



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

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GEOCRONOLOGIA U-Pb EM ZIRCÃO NO GRANODIORITO**  
**ANIL, PROVÍNCIA BORBOREMA - CE**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**THAYS FERREIRA DA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura (UFPA)**

---

**BELÉM - PA**  
**2019**

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

---

S383g Silva, Thays Ferreira  
Geocronologia U-Pb em zircão no Granodiorito Anil, Província  
Borborema - CE / Thays Ferreira da Silva - 2019  
xiii, 33 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de  
Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.  
Belém, 2019.

1. Magmatismo granítico. 2. Província Borborema. 3.  
Geocronologia U-Pb em zircão. 4. LA-MC-ICP-MS. 5. Granodiorito  
Anil. I. Título.

CDD 551.701

---



**Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Faculdade de Geologia**

**GEOCRONOLOGIA U-Pb EM ZIRCÃO NO GRANODIORITO  
ANIL, PROVÍNCIA BORBOREMA - CE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:**

**THAYS FERREIRA DA SILVA**

**Como requisito à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia**

**Data de Aprovação: 04 / 12 /2019**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura  
Orientador - UFPA**

**Prof. Dr. Marco Antonio Galarza  
Membro interno - UFPA**

**Ms. Luana Camile Silva Silva  
Membro externo - UFPA**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha avó Maria Marcelina, por tudo o que eu e minha família somos o mérito é seu; a minha mãe Franciele Ferreira por ser o pilar que me trouxe até aqui, à minha irmã Thayná Ferreira que me acompanha desde a barriga e torce por mim todos os dias; ao meu irmão Marco Antonio, minha alegria; à minha tia Glaucilene Gomes por tudo o que fez e faz por mim; ao meu avô Laércio Souza por ter me dado todo o apoio necessário; e ao meu padasto Andrey Ricardo por ter acolhido a mim e minha família da melhor maneira possível. Amo vocês, família. Agradeço muito a todos que sempre fizeram o possível para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências e a Faculdade de Geologia pela infraestrutura, suporte técnico e oportunidade de poder estar e me formar nessa instituição.

Ao meu orientador prof. Dr. Candido Moura pela orientação, apoio e ensinamentos durante essa caminhada.

Ao prof. Dr. Paulo Gorayeb por gentilmente ceder o material que utilizei na realização deste trabalho.

Aos professores da Faculdade de Geologia por transmitirem seu conhecimento no decorrer do curso.

Ao Laboratório de Geologia Isotópica (PARA-ISO) da UFPA, onde realizei as análises.

Ao Laboratório de Laminação da UFPA e Joelma Lobo pela confecção das lâminas delgadas e limpeza da pastilha.

Ao Laboratório de Petrografia da Graduação pela disponibilidade para a descrição petrográfica das amostras.

Ao Laboratório de Microanálises do IG-UFPA, onde foram feitas imagens de catodoluminescência (CL).

Ao geólogo Marcelo Vasquez por me permitir capturar as fotomicrografias das lâminas delgadas no Laboratório de Análises Minerais da Superintendência Regional de Belém (LAMIN-BE) do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Ao Clauber Assis pela ajuda no tratamento dos dados.

As minhas melhores amigas Geiseane Barbosa, Liliane Alves, Renata Ribeiro, Suzane Santos e Thais Motta que estão comigo, me acompanham (de perto ou de longe) desejando amor e energias positivas. Amo vocês, meninas.

Ao meu namorado Luciano Ribeiro por ser o meu melhor amigo, estar constantemente me incentivando, mostrando caminhos e possibilidades, me acolhendo e protegendo. Te amo, meu amor.

A minha turma Geologia UFPA 2015, em especial aos que estiveram ao meu lado durante a graduação: Artur Sarmiento, Fillipe Coelho, Ismayla Carneiro, Eliziane Pinto, Lucas Noronha, Plácido Cardoso, Felipe Profeta, Leonardo dos Reis, Silvio Sanches, Tissiana Franco e Wesley Achilles. Obrigada galera, pelas trocas e ajudas, dentro e fora da universidade.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta monografia e deste curso.

“Flutuo navegando sem tirar os pés do chão”

Bubuia

*Céu*

## RESUMO

A Província Borborema, inserida no contexto do Ciclo Pan-Africano/Brasiliiano, foi formada como resultado da convergência entre os crátons do Amazonas, Oeste Africano-São Luís e São Francisco-Congo durante o período de amalgamação do Gondwana Oeste. Associado ao Ciclo Brasiliiano há uma enorme e diversificada granitogênese que ao longo das últimas décadas tem sido tema de diversos estudos geocronológicos. O Granodiorito Anil é um batólito com área de aproximadamente 350 Km<sup>2</sup>, localizado geograficamente na porção noroeste do estado do Ceará, abrangendo a porção leste da Folha Ipu e oeste da Folha Santa Quitéria. O plúton possui uma forma alongada e elíptica, e está inserido no Domínio Ceará Central da Subprovíncia Setentrional da Província Borborema. Até a execução deste trabalho não se tinha registros de datações utilizando o método U-Pb em zircão, por isso, este trabalho de conclusão de curso realizou a datação do Granodiorito Anil aplicando este método geocronológico utilizando um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado e sistema de multicoletores conectado a microssonda de ablação a laser (LA-MC-ICP-MS – *Laser Ablation MultiCollector, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Assim, buscou-se definir a idade de cristalização deste corpo com uma técnica geocronológica robusta, exata e rápida visando definir a idade deste evento de magmatismo. As análises petrográficas indicam que o batólito estudado é constituído, predominantemente, por granodioritos com biotita como máfico dominante e/ou hornblenda. Localizadamente ocorrem quartzo monzodiorito, monzogranito, quartzo monzonito, monzonito e sienogranito. A análise geocronológica foi realizada em uma amostra coletada na fácies de borda mais fina do plúton, que representa um granodiorito hololeucocrático. As idades U-Pb em zircão obtidas ( $594 \pm 12$  Ma e  $604.9 \pm 8.6$  Ma) utilizando-se diferentes graus de concordância, se superpõem no limite dos erros analíticos com a idade isocrônica Rb-Sr de  $587 \pm 19$  Ma previamente publicada. Dessa forma o Granodiorito Anil não deve ser correlacionado aos plútons da Suíte Intrusiva Meruoca (~530 Ma), uma vez que existe uma diferença de idade de cerca de 80 Ma entre essas duas granitogêneses. Desse modo, o Granodiorito Anil pode estar relacionado aos granitoides tardios que ocorrem associados ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

Palavras-chave: Magmatismo granítico. Província Borborema. Geocronologia U-Pb em zircão. LA-MC-ICP-MS. Granodiorito Anil.

## ABSTRACT

The Borborema Province, inserted in the context of the Pan-African / Brazilian Cycle, was formed as a result of the convergence between the cratons of Amazonas, West Africa-São Luís and São Francisco-Congo during the amalgamation period of West Gondwana. Associated with the Brazilian Cycle there is a huge and diverse granitic magmatism that over the last decades has been the subject of several geochronological studies. Anil Granodiorite is a batholith with an area of approximately 350 km<sup>2</sup>, geographically located in the northwestern portion of the state of Ceará, covering the eastern portion of Folha Ipu and west of Folha Santa Quitéria. The pluton has an elongated and elliptical shape, and is inserted in the Central Ceará Domain of the Northern Subprovince of the Borborema Province. Until the execution of this work, there were no dating records using the U-Pb method in zircon, therefore, this course conclusion work performed the dating of the Anil Granodiorite applying this geochronological method using a mass spectrometer with inductively coupled plasma and system multi-collector sensor connected to a laser ablation probe (LA-MC-ICP-MS). Thus, we sought to define the age of crystallization of this body with a robust, accurate and fast geochronological technique aiming to define the age of this magmatism event. Petrographic analyzes indicate that the studied batholith is constituted, predominantly, by granodiorites with biotite as dominant mafic and/or hornblende. Locally occur quartz monzodiorite, monzogranite, quartz monzonite, monzonite and syenogranite. The geochronological analysis was performed on a sample collected on the facets of the thinnest edge of the pluton, which represents a hololeucocratic granodiorite. The U-Pb ages in zircon obtained ( $594 \pm 12$  Ma and  $604.9 \pm 8.6$  Ma) using different degrees of agreement, overlap in the limit of the analytical errors with the previously published Rb-Sr isochronic age of  $587 \pm 19$  Ma. Thus, Granodiorite Anil should not be correlated to the plutons of the Meruoca Intrusive Suite (~ 530 Ma), since there is an age difference of about 80 Ma between these two granitogens. Thus, Granodiorite Anil may be related to late granitoids that occur associated with the Tamboril-Santa Quitéria Complex.

Key-words: Granitic magmatism. Borborema Province. U-Pb geochronology in zircon. LA-MC-ICP-MS. Anil Granodiorite.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização à área de ocorrência do Granodiorito Anil. (a) área de abrangência do plúton no Brasil; (b) estradas de acesso, partindo-se de Belém; (c) articulação das folhas cartográficas Ipu e Santa Quitéria, com destaque para a localização da área do batólito nas mesmas; (d) Granodiorito Anil, inserido no retângulo destacado em vermelho. Fonte: Elaborado pela autora. ....2
- Figura 2 - Diagrama concórdia e discórdia U-Pb  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  de Wetherill (1956). .....5
- Figura 3 - Contexto geológico regional. (a) Localização da Província Borborema na América do Sul; e (c) Província Borborema e suas subdivisões em subprovíncias e domínios. Fonte: (Araújo 2014). ..... 8
- Figura 4 - Principais unidades da Província Borborema, com destaque para o magmatismo granítico que nela ocorre, onde é possível observar a localização e idade de alguns corpos. Fonte: (Araújo 2014). ..... 14
- Figura 5 - Mapa geológico do Granodiorito Anil e relação com suas encaixantes. Fonte: Modificado de Cavalcante *et al.* (2003). ..... 15
- Figura 6 - Classificação das rochas estudadas com base no diagrama Q-A-P Fonte: (Le Maitre 2002, Streckeisen 1976). ..... 17
- Figura 7 - Fotomicrografias, a nicóis cruzados, das principais microestruturas das fácies que ocorrem no Granodiorito Anil. (a) cristais de plagioclásio de granulação média a grossa fortemente alterado para sericita e argilominerais e inclusões de biotita; (b) microclina pertítica; fácies de granulação fina com textura granular hipidiomórfica; (c) textura mimerquítica destacada em vermelho,  $\text{qtz}_1$  com forma hipidiomórfica,  $\text{qtz}_2$  de granulometria mais fina ocorrendo como inclusões no plagioclásio e delimitando o crescimento da microclina e  $\text{qtz}_3$  compondo intercrescimento mimerquítico; (d)  $\text{qtz}_4$  em textura gráfica; (e) cristais de biotita formando aglomerados; e (f) hornblenda maclada. Fonte: Elaborado pela autora. ....20
- Figura 8 - Imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão datados por U-Pb no LA-MC-ICP-MS. Fonte: Elaborado pela autora. ....21
- Figura 9 - Diagrama  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  para as análises em cristais de zircão por LA-MC-ICP-MS da amostra QUI-01. (a) observa-se a concórdia com todos os cristais de zircão datados; (b) concórdia construída com base em seis análises; e (c) concórdia feita com dados de onze cristais selecionados. Fonte: Elaborado pela autora. ....22

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Series de decaimento radioativas naturais intermediárias do  $^{238}\text{U}$  para  $^{206}\text{Pb}$  e  $^{235}\text{U}$  para  $^{207}\text{Pb}$  resultantes da emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$ , representação do  $t_{1/2}$  = meia-vida e  $\lambda$  = constante de desintegração dos mesmos. Fonte: (Sato *et al.* 2008). .....5
- Tabela 2 - Idades de cristalização dos principais granitos da Subprovíncia Setentrional. Os números de 1 a 7 indicam a técnica analítica usada para a obtenção da idade: 1 U-Pb em zircão (LA-MC-ICP-MS); 2 U-Pb em zircão (SHRIMP); 3 U-Pb em zircão (ID-TIMS); 4 - U-Pb em zircão (?); 5 U-Pb em monazita; 6 Pb-Pb em zircão (ID-TIMS); 7 Rb-Sr em rocha total. Fonte: Elaborado pela autora (com base nos dados dos autores citados)..... 13
- Tabela 3 - Composição modal (semiquantitativa) das rochas que compõe o Granodiorito Anil. A=feldspato alcalino (microclina), P=plagioclásio. As amostras que apresentam a marcação “\*” possuem, além da biotita, hornblenda como mineral varietal. Fonte: Elaborado pela autora. .... 18
- Tabela 4 - Análises isotópicas U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS da amostra QUI-01 (pastilha ZR-03) utilizados para cálculo da idade de cristalização do Granodiorito Anil. Os zircões destacados em negrito foram utilizados para a construção da concórdia da figura 9b e estes, somados aos destacados em azul, foram empregados na construção da concórdia da figura 9c. Fonte: Elaborado pela autora. ....23

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	x
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	1
1.3 JUSTIFICATIVA .....	2
1.4 OBJETIVOS .....	2
1.5 MATERIAL E MÉTODOS .....	3
<b>1.5.1 Pesquisa bibliográfica</b> .....	3
<b>1.5.2 Petrografia</b> .....	3
<b>1.5.3 Elaboração dos mapas de localização e geológico</b> .....	3
<b>1.5.4 Geocronologia U-Pb</b> .....	4
1.5.4.1 Preparação de amostra .....	4
1.5.4.2 Princípios do método .....	4
1.5.4.3 O zircão .....	5
1.5.4.4 Procedimentos analíticos do LA-MC-ICP-MS .....	6
1.5.4.5 Microscopia eletrônica de varredura .....	7
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	8
2.1 ASPECTOS GERAIS .....	8
2.2 SUBPROVÍNCIA SETENTRIONAL .....	9
<b>2.2.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)</b> .....	9
<b>2.2.2 Domínio Ceará Central (DCC)</b> .....	10
<b>2.2.3 Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)</b> .....	11
2.3 GRANITOGÊNESE BRASILIANA DA PROVÍNCIA BORBOREMA .....	12
<b>3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	15
<b>4 RESULTADOS</b> .....	17
4.1 PETROGRAFIA .....	17
<b>4.1.1 Classificação e composição modal</b> .....	17

<b>4.1.2 Microestruturas</b> .....	18
<b>4.2 GEOCRONOLOGIA U-Pb POR LA-MC-ICP-MS</b> .....	21
<b>5 DISCUSSÕES</b> .....	24
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	26

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Borborema (Almeida *et al.* 1977, Almeida *et al.* 1981) localiza-se no nordeste do Brasil e está inserida no contexto do Ciclo Pan-Africano/Brasiliano. Foi formada como resultado da convergência entre os crátons do Amazonas, Oeste Africano-São Luís e São Francisco-Congo, em torno de 620-600 Ma, durante o período de amalgamação do Gondwana Oeste (Brito Neves *et al.* 2000, Brito Neves & Cordani 1991). Assim, essa província faz parte de um Sistema Orogênico Pan-Gondwana maior, que se estende mais ao sul e a nordeste, englobando as províncias Tocantins e África Central (Caby 1989, Trompette 1994).

A enorme e diversificada granitogênese associada ao Ciclo Brasileiro tem sido, ao longo das últimas décadas, tema de diversos estudos geocronológicos (U-Pb e Pb-Pb em zircão, monazita e apatita; Hanchar & Hoskin 2003) a partir de diferentes métodos (ID-TIMS, SHRIMP e LA-MC-ICP-MS). Entretanto, entre estas, o sistema de decaimento U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS tem se mostrado um dos mais eficazes, precisos e rápidos para a determinação da idade de cristalização de rochas ígneas.

Diante disto, este trabalho de conclusão de curso buscou desenvolver o estudo geocronológico do Granodiorito Anil, um batólito do Domínio Ceará Central nomeado e descrito inicialmente por Gorayeb *et al.* (1994), e apresenta idade inédita obtida a partir do sistema isotópico urânio-chumbo (U-Pb) em cristais de zircão que foram analisados (*in situ*) por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado e sistema de multicoletores conectado a microsonda de ablação a laser (LA-MC-ICP-MS – *Laser Ablation MultiCollector, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*).

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O batólito estudado está geograficamente inserido na porção noroeste do estado do Ceará (figura 1a), abrangendo parte dos municípios de Cariré, Reriutaba, Santa Quitéria e Varjota na porção leste da Folha Ipu - SB.24-V-A-III (Abreu *et al.* 2014) e oeste da Folha Santa Quitéria (SB-24-V-B-I), ambas com escala 1:100.000 (Figura 1c).

O acesso, partindo-se de Belém/PA, pode ser realizado via terrestre seguindo as BR-316, BR-343 e BR-222 com chegada a Sobral (figura 1b), cerca de 40 Km distante da área em estudo. Para aproximar-se diretamente dos pontos com amostra coletada segue-se as CE-181 e CE-366, além de estradas pavimentadas menores (figura 1d).

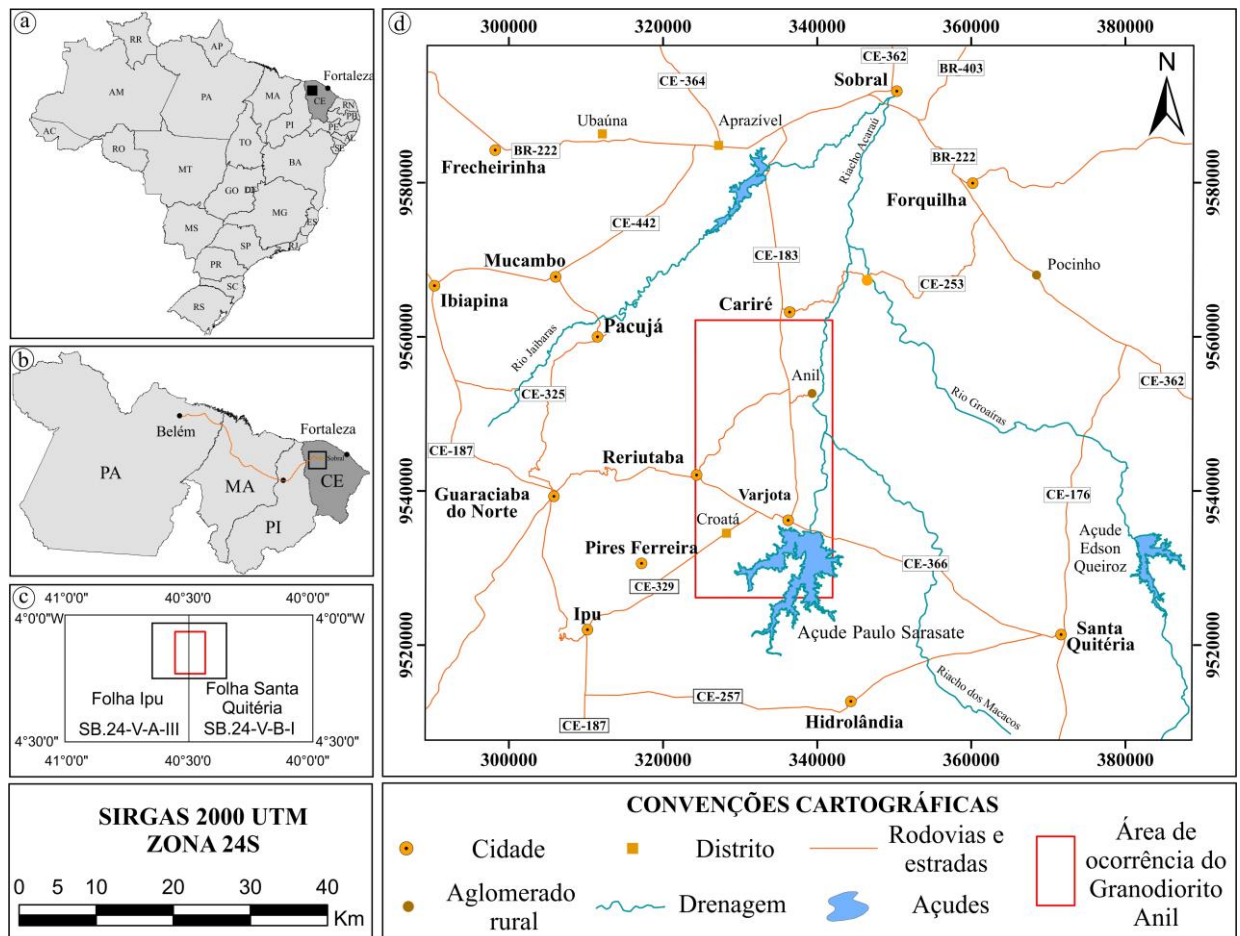


Figura 1 - Mapa de localização à área de ocorrência do Granodiorito Anil. (a) área de abrangência do plúton no Brasil; (b) estradas de acesso, partindo-se de Belém; (c) articulação das folhas cartográficas Ipu e Santa Quitéria, com destaque para a localização da área do batólito nas mesmas; (d) Granodiorito Anil, inserido no retângulo destacado em vermelho. Fonte: Elaborado pela autora.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Para o Granodiorito Anil, a idade de  $587 \pm 19$  Ma foi obtida por Gorayeb & Lafon (1995) por meio do método Rb-Sr, em rocha total. Todavia, desde então as técnicas geocronológicas evoluíram tornando-se mais precisas e exatas, e permitiram a identificação de diferentes episódios de magmatismo granítico na Província Borborema. Entre elas destaca-se a datação pelo sistema U-Pb em zircão via LA-MC-ICP-MS. Deste modo, neste trabalho aplicou-se esta técnica analítica para determinar com maior precisão e exatidão a idade do Granodiorito Anil.

### 1.4 OBJETIVOS

Tendo em vista a ausência de dados geocronológicos U-Pb em zircão para o Granodiorito Anil, este trabalho visa obter a idade deste plúton por LA-MC-ICP-MS – *Laser Ablation MultiCollector, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Isto permitirá

definir a idade deste evento de magmatismo por uma técnica geocronológica mais robusta e exata.

## 1.5 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.5.1 Pesquisa bibliográfica

Durante a elaboração deste estudo foi realizado levantamento bibliográfico em artigos científicos, capítulos de livro, anais de eventos, dissertações, teses e mapas, buscando-se extrair informações relacionadas a Província Borborema, com enfoque para a granitogênese brasileira da província e na datação geocronológica pelo método U-Pb em zircão.

### 1.5.2 Petrografia

A excursão de campo na qual foram coletadas as amostras estudadas foi realizada pelos professores Paulo Gorayeb e Candido Moura em 2008. Para a análise petrográfica foram descritas 17 lâminas delgadas cedidas pelo professor Paulo Gorayeb. A identificação (Deer *et al.* 1992) e descrição dos minerais e suas texturas magmáticas e de alteração (Mackenzie *et al.* 1982), utilizando os sistemas de luz natural e luz transmitida, foi feita a partir da manipulação do microscópio petrográfico LEICA DM 750P do Laboratório de Petrografia da Faculdade de Geologia da UFPA. Em seguida, para a obtenção das proporções estimadas (análises modais) foi realizada análise semiquantitativa (ou moda por visada) em dez partes não superpostas da lâmina, utilizando lente conforme a granulção da rocha. A captura das fotomicrografias foi realizada no Laboratório de Análises Mineraias da Superintendência Regional de Belém (LAMIN-BE) do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, com auxílio do microscópio petrográfico Olympus BX51-P acoplado a um sistema de captura de imagem do *software* Stream Basic. A classificação das amostras e siglas incluídas nas pranchas foi estabelecida conforme as regras de nomenclatura da IUGS - *International Union of Geological Society* (Le Maitre 2002).

### 1.5.3 Elaboração dos mapas de localização e geológico

O mapa geológico da área de estudo foi elaborado utilizando-se o *software* ArcGis® 10.5, com base em *shapefiles* existentes do banco de dados do Serviço Geológico do Brasil, DNIT e *Google Earth Pro*, com o sistema de referência SIRGAS 2000. Para a finalização do *layout* foi utilizado o aplicativo Corel Draw® v 2018.

### 1.5.4 Geocronologia U-Pb

Uma amostra representativa do Granodiorito Anil (QUI-01) foi selecionada para análise geocronológica no Laboratório de Geologia Isotópica (PARA-ISO) da Universidade Federal do Pará, utilizando o método U-Pb em zircão via LA-MC-ICP-MS.

#### 1.5.4.1 Preparação de amostra

A datação U-Pb em zircão foi realizada em pastilha previamente preparada e disponibilizada pelo professor Candido Moura. A pastilha com cristais de zircão foi preparada utilizando a infraestrutura laboratorial da UFPA e envolveu as seguintes etapas: (i) trituração; (ii) peneiramento sob água corrente, a partir do uso de três peneiras com granulometria variando entre 250, 175 e 125  $\mu\text{m}$ , a fim de concentrar minerais pesados em frações entre 250-175  $\mu\text{m}$  e 175-125  $\mu\text{m}$ ; (iii) separação de minerais pesados dos leves, empregando-se bateias grandes e médias com água; (iv) separação magnética, com retirada de minerais máficos utilizando imã de neodímio revestido com papel impermeável; (v) microbateamento com álcool etílico em “pedra petri” para concentração de cristais de zircão; (vi) separação de ~60 cristais de zircão para a amostra, utilizando lupa binocular que auxilia na seleção daqueles preferencialmente euédricos e transparentes, evitando-se os que apresentam fraturas, inclusões e porções metamictizadas; e (vii) construção de pastilhas que contenham tais zircões pré-selecionados, os quais posteriormente foram fixados em resina epóxi de dimensão padronizada (*mounts*) e polidas para que sua seção transversal fique em evidência.

#### 1.5.4.2 Princípios do método

O **sistema geocronológico U-Pb** tem como base o decaimento dos isótopos radioativos pai  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  e seus respectivos isótopos radiogênicos filhos  $^{206}\text{Pb}$  e  $^{207}\text{Pb}$  que compõe, para cada par pai vs. filho uma série de decaimentos que geram diferentes elementos através da emissão de partículas alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ) (Dickin 2005, Faure 1991, Faure & Mensing 2005). O decaimento do  $^{238}\text{U}$  para o  $^{206}\text{Pb}$  envolve a emissão de  $8\alpha + 6\beta^-$  e o decaimento do  $^{235}\text{U}$  para o  $^{207}\text{Pb}$  envolve a emissão de  $7\alpha + 4\beta^-$  (Dickin 2005, Faure 1991, Faure & Mensing 2005). Nesse processo são gerados diversos elementos com seus respectivos tempos de meia vida (Jaffey *et al.* 1971) (tabela 1).

Tabela 1 - Series de decaimento radioativas naturais intermediárias do  $^{238}\text{U}$  para  $^{206}\text{Pb}$  e  $^{235}\text{U}$  para  $^{207}\text{Pb}$  resultantes da emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta$ , representação do  $t_{1/2}$  = meia-vida e  $\lambda$  = constante de desintegração dos mesmos. Fonte: (Sato *et al.* 2008).

$8\alpha + 6\beta$					$7\alpha + 4\beta$										
$^{238}\text{U}_{92}$	$\rightarrow$	$^{234}\text{Th}_{90}$	$\rightarrow$	$^{234}\text{Pa}_{91}$	$\rightarrow$	$^{234}\text{U}_{92}$	$\rightarrow$	$^{235}\text{U}_{92}$	$\rightarrow$	$^{231}\text{Th}_{90}$	$\rightarrow$	$^{231}\text{Pa}_{91}$	$\rightarrow$	$^{227}\text{Ac}_{89}$	$\rightarrow$
$^{230}\text{Th}_{90}$	$\rightarrow$	$^{226}\text{Ra}_{88}$	$\rightarrow$	$^{222}\text{Rn}_{86}$	$\rightarrow$	$^{218}\text{Po}_{84}$	$\rightarrow$	$^{223}\text{Fr}_{87}$	$\rightarrow$	$^{223}\text{Ra}_{88}$	$\rightarrow$	$^{219}\text{Rn}_{86}$	$\rightarrow$	$^{215}\text{Po}_{84}$	$\rightarrow$
$^{214}\text{Pb}_{82}$	$\rightarrow$	$^{214}\text{Bi}_{83}$	$\rightarrow$	$^{214}\text{Po}_{84}$	$\rightarrow$	$^{210}\text{Pb}_{92}$	$\rightarrow$	$^{211}\text{Pb}_{82}$	$\rightarrow$	$^{211}\text{Bi}_{83}$	$\rightarrow$	$^{211}\text{Po}_{84}$	$\rightarrow$	$^{217}\text{Pb}_{92}$	
$^{210}\text{Bi}_{83}$	$\rightarrow$	$^{210}\text{Po}_{84}$	$\rightarrow$	$^{206}\text{Pb}_{82}$											
$T_{1/2}$ anos =	$4,47 \times 10^9$	$\lambda$ (anos $^{-1}$ ) =			$1,55125 \times 10^{-10}$	$T_{1/2}$ anos =	$0,704 \times 10^9$	$\lambda$ (anos $^{-1}$ ) =			$9,8485 \times 10^{-10}$				

A partir da análise na amostra estudada, as razões isotópicas medidas são plotadas no **diagrama concórdia** desenvolvido por Wetherill (1956), que representa a idade de cristalização da rocha no intercepto superior dos minerais que permaneceram com o sistema fechado desde sua formação, tendo como base os geocronômetros  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  e  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ . Em alguns casos, os pontos analisados podem se alinhar fora da curva concórdia, em uma reta denominada **discórdia**, seu significado geológico (ou não) depende se a perda de Pb é episódica (p.ex evento tectônico) ou contínua (zircão metamórfico) (Sato *et al.* 2008) (figura 2).

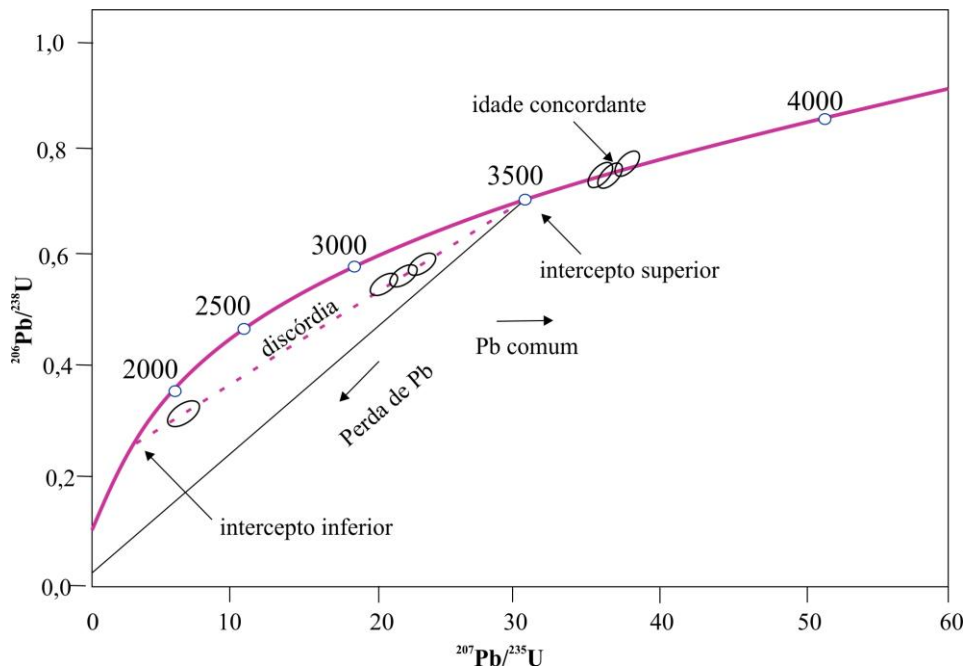


Figura 2 - Diagrama concórdia e discórdia U-Pb  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  de Wetherill (1956).

#### 1.5.4.3 O zircão

O zircão ( $\text{ZrSiO}_4$ ) é um mineral que exerce um papel importante para o entendimento da evolução da Terra. A partir da observação do decaimento do U (urânio) para o (Pb) chumbo, ele pode ter seu uso como geocronômetro aplicado geologicamente para obtenção de idades de magmatismo, dispersão de massas continentais e elaboração de modelos tectônicos de

determinada área (Harley *et al.* 2007, Rubato & Hermann 2007), uma vez que este mineral acessório ocorre em todos os tipos de rocha (ígneas, metamórficas e sedimentares) (Chichorro 2009). Sua versatilidade é decorrente da resistência do mineral a processos físicos, químicos e geológicos, além de possuir uma estrutura cristalina que propicia alojamento de elementos como o U, P, Sc, Nb, Hf, Ti, Y, Th além de elementos terras raras. Técnicas analíticas aplicadas ao zircão vêm sendo utilizadas para determinar com maior refinamento e acurácia a idade de cristalização de rochas magmáticas, entre os equipamentos existentes o LA-MC-ICP-MS merece destaque e foi o instrumento operado para a obtenção dos dados desta monografia.

#### 1.5.4.4 Procedimentos analíticos do LA-MC-ICP-MS

Para a análise U-Pb em zircão de uma amostra representativa do Granodiorito Anil foi utilizado um espectrômetro de massa multicoletor com plasma indutivamente acoplado (MC-ICP-MS - *MultiCollector, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) conectado a microsonda de ablação a laser (LA - *Laser Ablation*). O LA, acoplado ao MC-ICP-MS, é do tipo Nd YAG 213nm, modelo LSX-213 G2 e marca CETAC. Este equipamento realiza as análises *in situ* com *spot size* de 25 µm em aproximadamente 40 segundos de tempo de integração. O MC-ICP-MS é do modelo Neptune e marca Thermo Finnigan, abrangendo em sua estrutura nove coletores Faraday e quatro contadores de íons configurados para medir simultaneamente: isótopos de urânio (U), tório (Th) e chumbo (Pb), além do mercúrio (Hg) uma vez que este elemento está presente nos gases argônio (Ar) e hélio (He). O Ar é utilizado para a formação do plasma do MC-ICP-MS e o He para carregar os elementos de interesse para o laser para o espectrômetro (Milhomem Neto *et al.* 2017).

Ao final da análise a interferência de massa do isótopo  $^{204}\text{Hg}$  no  $^{204}\text{Pb}$  deve ser corrigida, utilizando como referência a do  $^{202}\text{Hg}$ . As abundâncias dos isótopos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{206}\text{Pb}$ , são medidas em coletores Faraday e determinadas em volts (V). As abundâncias dos isótopos  $^{204}\text{Pb}$  +  $^{204}\text{Hg}$  e  $^{207}\text{Pb}$  são obtidos por canais contadores de íons (multiplier ion counting - MIC's) em contagens por segundo (cps), em decorrência de suas baixas concentrações desses isótopos do Pb no zircão. A abundância do isótopo  $^{202}\text{Hg}$  é igualmente obtida no MIC. A aquisição dos dados isotópicos é feita no modo estático em baixa resolução. A configuração dos nove coletores e sua relação com os elementos supracitados, bem como os parâmetros de instrumentação do laser para o LA-MC-ICP-MS da UFPA, é descrita em detalhe por Milhomem Neto *et al.* (2017). Para garantir a eficácia, reprodutibilidade e acurácia do método e das análises foi utilizado como material de referência internacional o zircão BB ( $562.58 \pm 0.26$  Ma; Santos *et al.* 2017) e o zircão GJ-1 ( $608,5 \pm 1,5$  Ma; Jackson *et al.* 2004). Os dados e os gráficos

utilizados foram tratados no *Microsoft Excel* 2003, *Isoplot/EX* (Ludwig 2003) e no *Corel Draw*<sup>®</sup> X8.

#### 1.5.4.5 Microscopia eletrônica de varredura

Com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca LEO-ZEISS 1430 acoplado ao sistema de Mono-CL da GATAN, pertencente ao Laboratório de Microanálises do IG-UFPA, foram feitas imagens de catodoluminescência (CL) dos cristais de zircão selecionados. Com elas foram identificadas estruturas internas e melhores porções para a análise *in situ*.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1 ASPECTOS GERAIS

A Província Borborema - PB (Almeida *et al.* 1977, Almeida *et al.* 1981) está situada na Plataforma Sul Americana (Figura 3a), compreendendo uma área de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup> do Nordeste brasileiro. Limita-se pela Província da Margem Continental Equatorial a norte, Cráton São Francisco ao sul, Província da Margem Continental Leste a leste e pela Bacia do Parnaíba a oeste. Foi formada como resultado da convergência entre os crátons do Amazonas, Oeste Africano-São Luís e São Francisco-Congo, em torno de 620-600 Ma, no ciclo Pan-Africano/Brasiliano, durante o período de amalgamação do Gondwana Oeste (Brito Neves & Cordani 1991, Brito Neves *et al.* 2000).

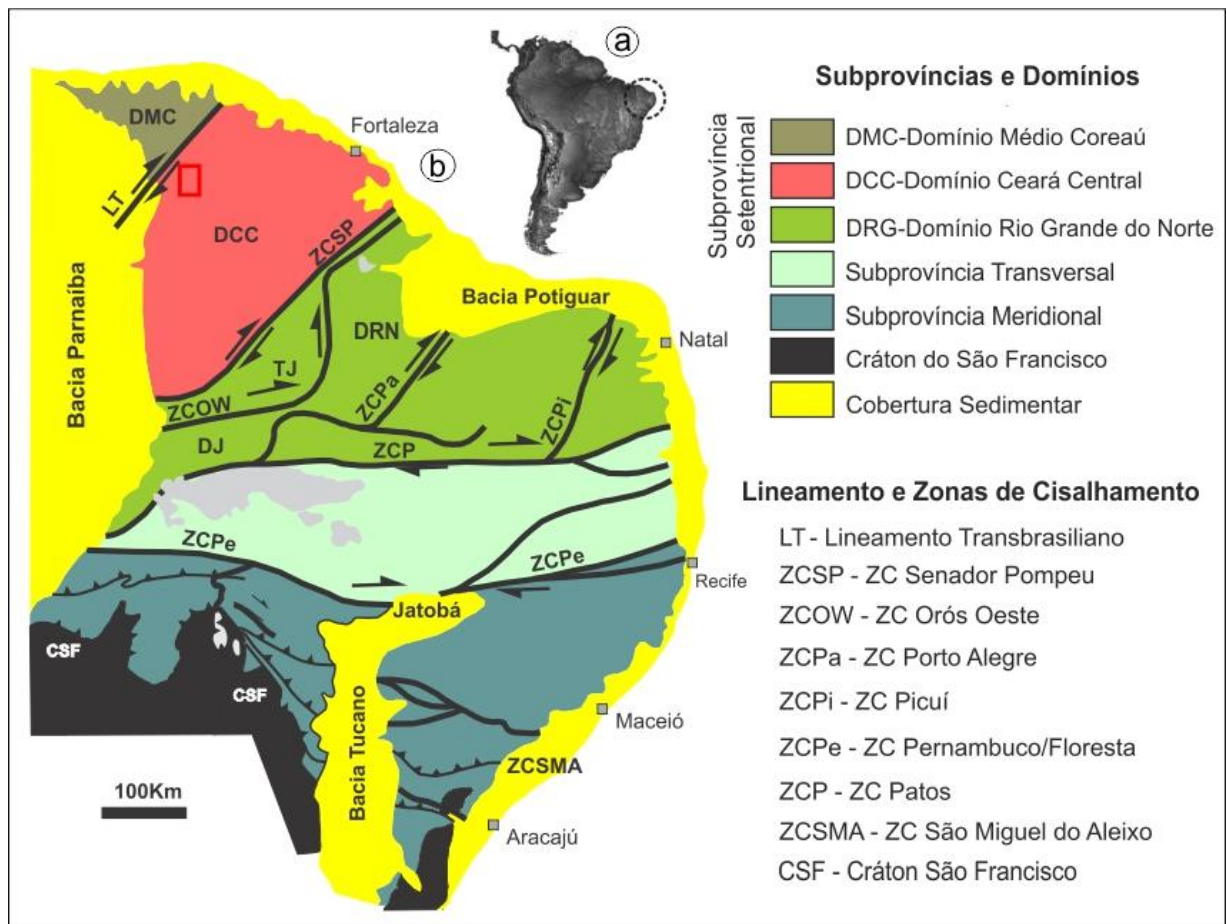


Figura 3 - Contexto geológico regional. (a) Localização da Província Borborema na América do Sul; e (c) Província Borborema e suas subdivisões em subprovincias e domínios. Fonte: (Araújo 2014).

Diversos autores (Arthaud *et al.* 2008, Brito Neves *et al.* 2000, Delgado *et al.* 2003, Hasui 2012, Sá 1994, Santos *et al.* 2000, Trompette 1994, Van Schmus *et al.* 1995) propuseram diferentes modelos de compartimentação para a Província Borborema. Entre estes, o escolhido para ser abordado nesta monografia foi o apresentado inicialmente por Trompette (1994) e constantemente trabalhado por Brito Neves *et al.* (2000), que em sua proposta de subdivisão do

arcabouço geotectônico da Província Borborema definiu três grandes subprovíncias: Setentrional, Transversal (ou Central) e Meridional (Figura 3b), com base nas características geológicas, assinaturas crustais de Nd e diferenças de idades U–Pb.

Segundo Santos *et al.* (2004) tais subprovíncias e domínios são compostas, de forma geral, por três grupos de rocha: (i) embasamento representado por complexos gnáissicos e migmatíticos; (ii) sequências supracrustais deformadas e metamorfasadas; e (iii) plútons graníticos brasileiros. O batólito em estudo encontra-se na subprovíncia Setentrional, que por sua vez, é dividida em três domínios: Rio Grande do Norte, Ceará Central e Médio Coreaú (Araújo *et al.* 2010, 2012, Arthaud *et al.* 2008, Caby & Arthaud 1986, Castro 2004, Fetter *et al.* 2003, Oliveira 2008, Santos *et al.* 2008, 2009, Van Schmus *et al.* 2011).

## 2.2 SUBPROVÍNCIA SETENTRIONAL

### 2.2.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)

Está inserido no extremo noroeste do estado do Ceará, sendo delimitado a sudeste pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II e a oeste pelas coberturas sedimentares da Bacia do Parnaíba.

O **Terreno Granja** ou **Complexo Granja** (Nascimento *et al.* 1981) é representado por rochas ortoderivadas paleoproterozoicas com idade de 2,36 a 2,29 Ga (Fetter 1999; Fetter *et al.* 2000) derivados de suítes do tipo TTG, granulitos orto e paraderivados além de migmatitos formados em ambiente de arco magmático em 2,5 a 2,3 Ga (Santos 1999). Essas rochas foram granulitizadas e migmatizadas no intervalo de 553-557 Ma, segundo idades U-Pb em titanita nos migmatitos e isócrona mista Sm-Nd nos granulitos (Bizzi *et al.* 2003).

O **Grupo Martinópole** é composto por sequências supracrustais neoproterozoicas de uma unidade metavulcanossedimentar composta por uma associação de rochas metamórficas da fácies xisto verde a anfíbolito (Santos *et al.* 2004, 2008) que, segundo Prado *et al.* (1979), inclui as formações São Joaquim (quartzitos com cianita, BIF's, mármore, paragnaisses, rochas cálcio-silicáticas e metavulcanitos félsicos), Covão (micaxistos, mármore e metavulcanitos félsicos) e Santa Teresinha (micaxistos, mármore, BIF's e metarriolitos). Santos *et al.* (2004) propuseram a inserção da Formação Goiabeira (metapelitos, e paragnaisses quartzo-feldspáticos) na porção basal do grupo.

O **Grupo Ubajara** (Nascimento & Gava 1979) formado por rochas metassedimentares de ambiente continental-marinho de idade ediacarana (Chiglino *et al.* 2015) é constituído, da base para o topo, pelas formações Trapiá (meta-arenitos, metassiltitos e meta-arcóseos) associada a ambiente fluviomarinho, Caiçara (pelitos distais, ardósias, arenitos, siltitos e

quartzitos) interpretada como de ambiente marinho raso, Frecheirinha (calcários, margas, siltitos e arenitos) depositada em ambiente marinho e Coreau (arenitos arcoseanos, grauvas e conglomerados) de origem fluvial (Arthaud 2007, Arthaud et al. 2008, Castro 2004, Garcia et al. 2014, Gorayeb et al. 1988, Hasui 2012, Santos et al. 2002, 2008).

O **Grupo Jaibaras**, depositado em uma bacia extensional no cambro-ordoviciano, foi formada a partir de pequenos *riftes* implantados ao longo de algumas zonas de cisalhamento brasileiras. É composto por rochas não metamorfizadas a fracamente metamorfizadas das formações Massapê (conglomerados polimíticos e brechas), Pacujá (arenitos arcoseanos, folhelhos micáceos, arcóseos, siltitos e argilitos), Parapuí (basaltos, andesitos, riolitos, dacitos e vulcanoclastitos) e Aprazível (conglomerados e brechas) (Brito Neves et al. 1999, Gorayeb et al. 1988, Hasui 2012).

### 2.2.2 Domínio Ceará Central (DCC)

O Domínio Ceará Central é limitado a sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e a noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II, sendo encoberto a sudeste e oeste pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba.

As rochas mais antigas deste domínio ocorrem no **Maciço de Tróia** (Brito Neves 1975) e foram reunidas no **Complexo Cruzeta** (Oliveira & Cavalcante 1993). Elas são representadas por gnaisses TTG's e migmatitos do Neoarqueano (2.8 a 2.7 Ga) por Fetter (1999) que, adicionalmente, propôs a divisão dos blocos: (i) Pedra Branca de  $2698 \pm 8$  Ma (Araújo et al. 2017) e (ii) Mombaça, datado em  $2793 \pm 6$  Ma por U-Pb SHRIMP (Araújo et al. 2017). Esses blocos são seccionados pela zona de cisalhamento Sabonete-Inharé. Recentemente foram incluídos dois terrenos tipo granito-*greenstone* paleoproterozoicos ao maciço: (i) *greenstone belt* de Algodões ao norte datado em  $2236 \pm 55$  Ma pelo sistema Sm-Nd em isócrona de rocha total (Costa et al. 2015, Martins et al. 2009); e (ii) *greenstone belt* da Serra das Pipocas ao sul (Pessoa & Archanjo 1984, Pessoa et al. 1986, Sousa 2016) de  $2151 \pm 9$  Ma obtida em metadacitos a partir de análises U-Pb (TIMS) em zircão.

As rochas que ocupam a maior área neste domínio estão incluídas no **Grupo Ceará** ou **Complexo Ceará** (Arthaud 2007, Arthaud et al. 2008) que registra rochas neoproterozoicas supracrustais representadas pelas unidades Canindé (metatexitos, rochas metabásicas e granulitos félsicos e máficos cortados por diques de basalto), Independência (metatexitos, xistos e quartzitos com lentes de anfíbolitos, mármore e rochas calcissilicáticas), Quixeramobim e Arneiroz, além do Grupo Novo Oriente e Unidade Choró (Pedrosa Júnior 2015).

O **Complexo Tamboril-Santa Quitéria** trata-se de um volumoso conjunto de rochas plutônicas de composição granítica a monzogranítica datada de 660 a 614 Ma (Brito Neves *et al.* 2003, Fetter *et al.* 2003), ou de 620 e 611 Ma (Castro 2004), ou 650-610 Ma (Costa *et al.* 2013). Esses plútons trudem rochas migmatíticas e cálcio-silicáticas preservadas (Araújo *et al.* 2012, Arthaud *et al.* 2008).

### 2.2.3 Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)

O Domínio Rio Grande do Norte está a norte da Zona de Cisalhamento Patos e a leste da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.

O **Terreno São José do Campestre** é delimitado pelo Lineamento Patos e pela Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara e engloba o Maciço São José do Campestre, que corresponde a crosta continental mais antiga da América do Sul e inclui seis diferentes episódios de geração magmática, definidos de acordo com datações U-Pb em zircão (Dantas *et al.* 2004, 2013): i) Unidade gnáissica Bom Jesus de  $3412 \pm 8$  Ma; (ii) Complexo Presidente Juscelino no intervalo de  $3356 \pm 21$  Ma e  $3251$  Ma; iii) Complexo Brejinho com idades de  $3333 \pm 77$  Ma e  $3187 \pm$  Ma; iv) Unidade gnáissica São Pedro do Potengi cristalizado em  $3120 \pm 22$  Ma; v) Complexo Senador Elói de Souza datado em  $3033 \pm 3$  Ma; e vi) Complexo São José do Campestre,  $2685 \pm 9$  Ma a  $2655 \pm 4$  Ma. Essas rochas são circundadas por terrenos paleoproterozoicos dos complexos João Câmara, Santa Cruz (com idade U-Pb 2,25 Ga) e Serrinha Pedro Velho, gerado em 2,20 Ga (Dantas 1997, Dantas *et al.* 2004).

O **Complexo Granjeiro** (Vasconcelos *et al.* 1998), de idade entre 3.2 a 2.5 Ga é constituído por gnaisses orto- e paraderivados de afinidade TTG associados a anfibolitos e por uma sequência metavulcanosedimentar representada por metamáficas, metaultramáficas, metachert, quartzito ferrífero, formação ferrífera bandada, metatufo máfico, metavulcânica félsica, metagrauvaca, meta-arcóseo, mármore e rocha cálcio-silicática (Freimann 2014, Hollanda *et al.* 2015, Silva *et al.* 1997). Mais recentemente Alcemi (2016) propôs, com base em seus dados geológicos e geocronológicos, que fossem distinguidas duas unidades no Complexo Granjeiro: (i) Sequência Metavulcanosedimentar Arrojado (quartzitos, metagrauvas, meta-arcóseo, xisto, mármore, rochas cálcio-silicáticas, metachert, formações ferríferas bandadas, gonditos e metavulcânicas ultramáficas, máficas e félsicas); e (ii) Ortognaisses indivisos do Complexo Granjeiro (ortognaisses de composição quartzo-diorítica a granodiorítica). Essas rochas são recobertas por metassedimentos da Formação Lavras da Mangabeira. As diferentes unidades da região são estruturadas na direção E-W, associada ao

desenvolvimento da Zona de Cisalhamento Patos, uma megaestrutura em *duplex* de caráter transcorrente ativa entre 550 e 520 Ma (Monié *et al.* 1997).

O **Terreno Jaguaribe** tem rochas do embasamento datadas em 2,2 Ga, representadas pelo Complexo Jaguaratama (ortognaisses migmatíticos com afinidade TTG) e pelo Complexo Acopiara de 2,22 Ga (paragnaisses). Sobre essas rochas foram desenvolvidas sequências metavulcanossedimentares do Grupo Orós–Jaguaribe, de idade entre 1,6-1,8 Ga (Cavalcante 1999, Fetter 1999).

O **Terreno Rio Piranhas** trata-se embasamento paleoproterozoico correlacionado aos complexos São Vicente (2,16 Ga, U-Pb) e Caicó (2,24 Ga, U-Pb). (Legrand *et al.* 1991, Sá 1994). O **Terreno Seridó** ou **Faixa Seridó** é composto por rochas neoproterozoicas que abrangem parte do Grupo Seridó, representado pelas formações: (i) Jucurutu de 650 Ma (xistos, paragnaisses e metarcóseos) e Complexo Serra dos Quintos associado a ele; (ii) Equador (quartzitos e conglomerados) e (iii) Seridó (biotita xisto) além do Complexo Serra dos Quintos associado a Formação Jucurutu (Brito Neves *et al.* 2000, Hollanda *et al.* 2015).

### 2.3 GRANITOGÊNESE BRASILIANA DA PROVÍNCIA BORBOREMA

A granitogênese brasileira na Província Borborema ocupa cerca de 30% de seu território (Brito Neves *et al.* 2003) e se expressa com diferentes características mineralógicas, texturais, geoquímicas e geocronológicas na forma de plútons, batólitos, *stocks*, diques e veios. Por conta disso, os diversos pulsos magmáticos vêm sendo estudados por muitos autores desde a década de 60 quando pioneiramente Almeida *et al.* (1967) os agrupou. No decorrer do tempo, outros autores também apresentaram propostas de classificação para os granitoides da província.

Bizzi *et al.* (2003), utilizando informações de diversos autores (Araújo *et al.* 2014, Brito Neves *et al.* 2000, Ferreira *et al.* 1998, Ferreira & Santos 2000, Sial 1986, Gorayeb *et al.* 1994, Guimarães *et al.* 1999, Santos & Medeiros 1997, Santos *et al.* 2001) nomeou três supersuítas com base no posicionamento temporal de colocação dos corpos magmáticos, são elas: (i) **supersuíte cedo a sinorogênica**, que inclui rochas deformadas comumente com estruturas gnáissicas e/ou migmatíticas, além das suítas peraluminosas Rajada, Faixa Riacho do Pontal; Garrote-Serra Negra, Terreno Canindé-Marancó, e a Suíte Tamboril-Santa Quitéria (formada por complexos graníticos associados a migmatitos), incluídos no Domínio Ceará Central; (ii) **supersuíte sin a tardiorogênica** constituída pelas suítas Conceição e Itaporanga de composição calcialcalina, trondhjemítica Serrita e granitos da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, Zona de Cisalhamento Orós, Complexo Granítico Quixadá-Quixeramobim e Granito Chaval; e (iii) **supersuíte pós-brasiliana**, que corresponde a granitoides que ocorrem nos

complexos anelares de Tauá e Taperuaba, *stocks* graníticos do tipo São Paulo e Reriutaba e Suíte Intrusiva Meruoca

Também é possível agrupá-los com base nas idades de cristalização dessas rochas. Brito Neves *et al* (2003), amparado por análises geocronológicas da literatura e outros dados U-Pb em zircão de suas rochas foi o primeiro a propor intervalos de tempo para a formação do magmatismo da província, são elas: 650 - 625 Ma; 580 - 570 Ma e 545 - 520 Ma. Do mesmo modo Araújo *et al* (2013) definiu, com base no agrupamento de diversas idades U-Pb em zircão (LA-MC-ICP-MS, SHRIMP, ID-TIMS e evaporação de Pb) de diferentes autores, oito intervalos de colocação para granitos da Província Borborema: granitoides I pré-colisionais (~800-650 Ma); pré-colisionais I recentes (645-630 Ma); granitoides pré-colisionais II (~630 Ma); granitoides sin-colisionais I (615-606 Ma); granitoides sin-colisionais II (~580-570 Ma); granitoides sin-transcorrentes (580-570 Ma); tardi a pós-transcorrente (~530 Ma); e granitos anarogênicos (500-460 Ma). As idades de alguns granitoides da Subprovíncia Setentrional podem ser observadas na tabela 2 e a distribuição espacial na figura 4.

Tabela 2 - Idades de cristalização dos principais granitos da Subprovíncia Setentrional. Os números de 1 a 7 indicam a técnica analítica usada para a obtenção da idade: 1 U-Pb em zircão (LA-MC-ICP-MS); 2 U-Pb em zircão (SHRIMP); 3 U-Pb em zircão (ID-TIMS); 4 - U-Pb em zircão (?); 5 U-Pb em monazita; 6 Pb-Pb em zircão (ID-TIMS); 7 Rb-Sr em rocha total. Fonte: Elaborado pela autora (com base nos dados dos autores citados).

<b>DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ</b>				
<b>Unidade</b>	<b>Idade (Ma)</b>	<b>Litotipos</b>	<b>Técnica</b>	<b>Referência</b>
Granito Chaval	591 ± 10	-	3	Fetter 1999
	632 ± 4		1	Aragão 2018
Granito Meruoca	523 ± 5	-	2	Archanjo et al. 2009
Granito Mucambo	532 ± 7	-	4	Fetter 1999
<b>DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL</b>				
Granodiorito Anil	587 ± 19	granodiorito	7	Gorayeb & Lafon (1995) este trabalho
	594 ± 12		1	
	604.9 ± 8.6			
Granito Uruburetama	559 ± 10	-	1	Gorayeb et al. 2018
	634 ± 10			
Granito do Pajé	528 ± 9	monzogranito	6	Nascimento 2012
Granito Serra do Barriga	522 ± 7	sienogranito	5	Mattos et al. 2007
Batólito de Quixadá	585 ± 4	monzonitos	1	
Batólito de Quixeramobim	587 ± 14	monzogranito	1	Nogueira (2004)
Batólito de Senador Pompeu	561 ± 15	granodiorito	1	
Poço Verde	599 ± 16	hiperstênio diorito	4	Dantas 1997
<b>DOMÍNIO RIO GRANDE DO NORTE</b>				
Acari	572 ± 5	leucogranito equigranular	2	Archanjo et al. 2013
Stock Serra da Acauã	579 ± 3	biotita monzogranito	2	Silva et al 2019
Plúton Tororó	591 ± 3	diorito	2	Archanjo et al. 2013

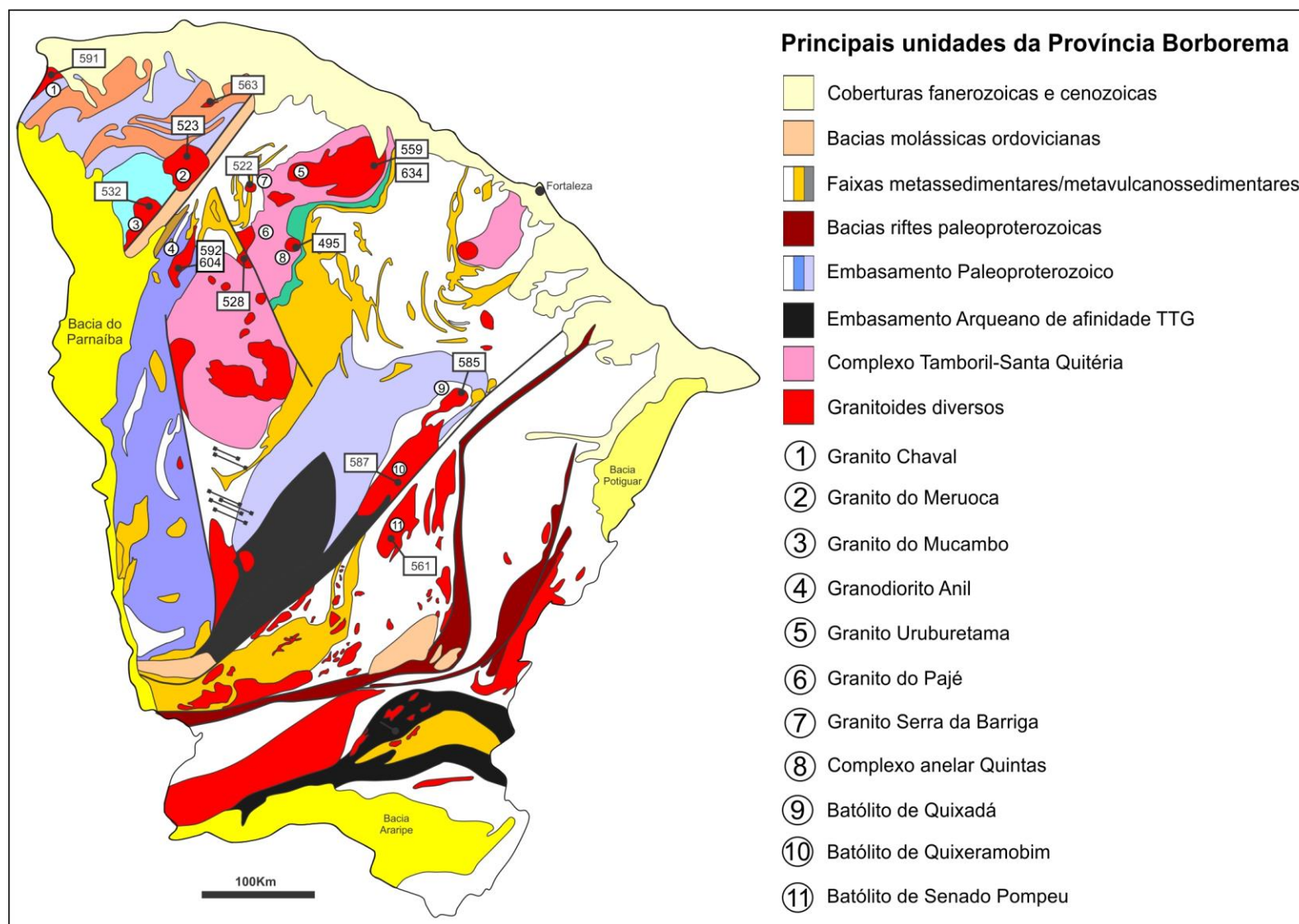


Figura 4 - Principais unidades da Província Borborema, com destaque para o magmatismo granítico que nela ocorre, onde é possível observar a localização e idade de alguns corpos. Fonte: (Araújo 2014).

### 3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Os primeiros autores que caracterizaram o batólito em estudo foram Costa *et al.* (1979), que se referiam ao plúton como “Granitoide tipo Araras”, e descreveram um granito metassomático equigranular com biotita e hornblenda e, mas restritamente, áreas de composição diorítica. Estes autores atribuíram a origem deste corpo magmático à processos de anatexia em terrenos migmatíticos durante o Proterozóico Inferior.

Gorayeb *et al.* (1994), quando definiram e formalizaram para o batólito em questão o termo “**Granodiorito Anil**” com base no código de nomenclatura estratigráfico, o descreveram com forma elíptica, alongado na direção preferencial NNE-SSW (subconcordante à estruturação regional), em uma área de aproximadamente 350 Km<sup>2</sup>, sendo 35 Km de comprimento e 11 Km de largura máxima (Figura 5). As rochas que o compõe são predominantemente granodioríticas com pequenas variações monzograníticas e, localmente, ocorrem álcali-granitos, quartzo sienitos, pegmatitos e aplitos como diferenciados tardios expostos na forma de veios, bolsões, massas irregulares e corpos alongados.

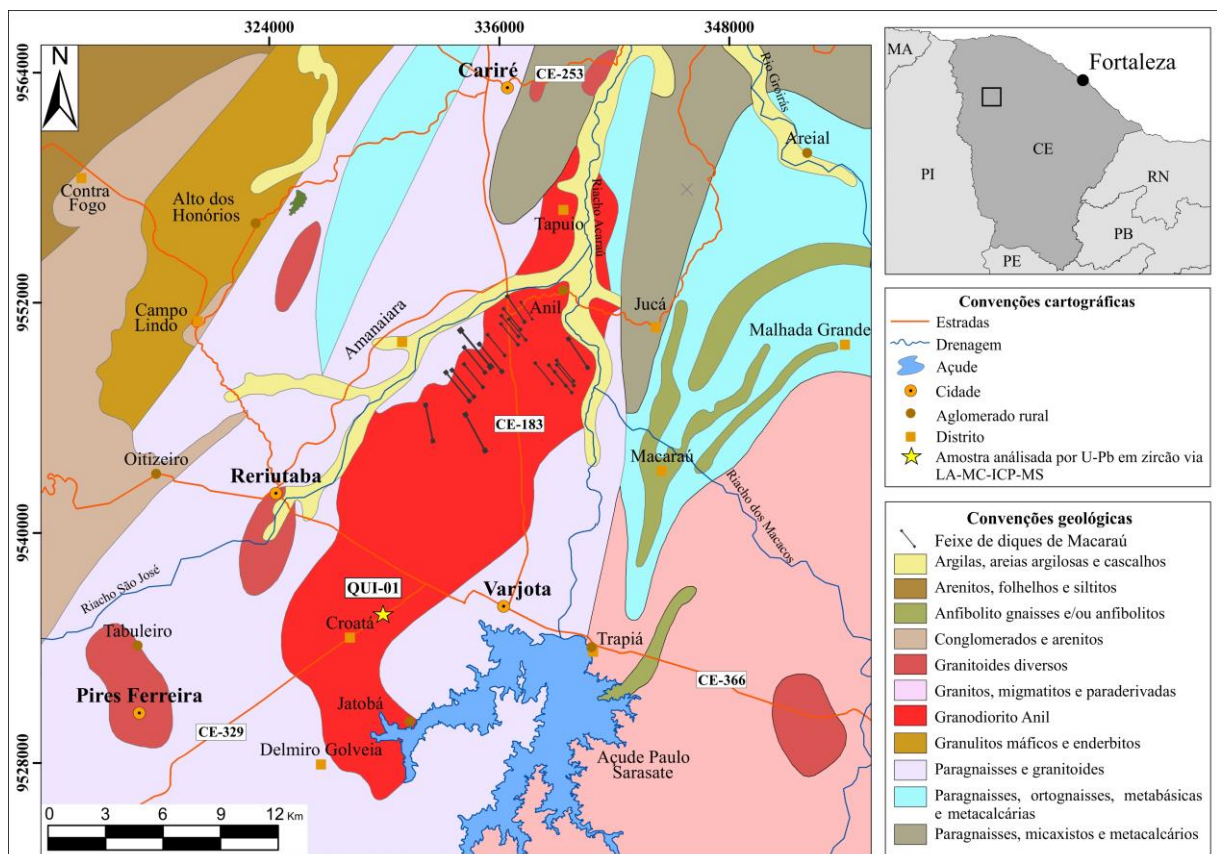


Figura 5 - Mapa geológico do Granodiorito Anil e relação com suas encaixantes. Fonte: Modificado de Cavalcante *et al.* (2003).

Representando as encaixantes Gorayeb *et al.* (1994) descrevem uma sequência supracrustal de alto grau metamórfico, do Paleoproterozóico, constituída por paragneisses

aluminosos com sillimanita, rochas calcio-silicáticas, granulitos, granitoides e milonitos. Cavalcante (2003) representa na mesma região rochas pertencentes a Unidade Independência e Canindé. Além dessas unidades, o Granodiorito Anil e suas encaixantes são afetadas pelo Feixe de Diques de Macaraú, de composição dacítica e riolítica representada por rochas afaníticas com forma tabular de comprimento entre 0,5 a 3 Km e largura de até 50 m, orientado na direção N40° W sobre o corpo e encaixantes (Gorayeb *et al.* 1994).

Estudos cartográficos de Gorayeb *et al.* (1994) apontaram que o contato do Granodiorito Anil com o gnaiss encaixante é marcado pela presença de estruturas de fluxo magmático (evidenciada por biotitas e fenocristais de feldspato orientados), redução da granulometria dos cristais e aumento na frequência dos mesmos, além de mudanças composicionais (com enriquecimento em álcali-feldspato e quartzo). Essas características foram importantes para os autores proporem que o batólito fosse intrusivo, portanto, não estaria vinculado a anatexia sintectônica ou a processos metamórficos regionais, como proposto por Costa *et al.* (1979). Para Gorayeb *et al.* (1994) este plúton foi cristalizado a partir de um magma granodiorítico pobre em voláteis, cuja homogeneidade composicional granodiorítica difere apenas por algumas frações alcaligraníticas e quartzo sieníticas em seu interior.

Gorayeb & Lafon (1995) obtiveram uma idade isocrônica de  $587 \pm 19$  Ma para seis amostras do Granodiorito Anil através do sistema isotópico rubídio-estrôncio (Rb-Sr) em rocha total. Na análise, a razão isotópica inicial foi de  $0,70442 \pm 0,00013$  e o MSWD de 1,59. Devido ao plúton apresentar características essencialmente ígneas e também pelo baixo valor da razão Rb/Sr a idade obtida foi considerada como de cristalização.

Gorayeb *et al.* (1994) propuseram que o Granodiorito Anil fosse correlacionado a outros granitos de caráter anarogênico da província, como os Granitos do Meruoca ( $523 \pm 9$  Ma, Archanjo *et al.* 2009), Mucambo ( $532 \pm 6$  Ma, Fetter 1999), Serra da Barriga ( $522 \pm 7$  Ma, Mattos *et al.* 2007) e Pajé ( $528,9 \pm 2,7$  Ma, Nascimento 2012) no que eles denominaram **Suíte Intrusiva Meruoca**. Todavia, considerando a idade Rb-Sr do Granodiorito Anil a inclusão desse plúton na Suíte Meruoca parece pouco provável.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PETROGRAFIA

#### 4.1.1 Classificação e composição modal

Foi realizada uma reavaliação das informações petrográficas do Granodiorito Anil com base na descrição microscópica de 17 lâminas delgadas cedidas pelo professor Paulo Gorayeb. De modo geral, essas rochas tem cristais variando de granulação fina a grossa e mostram microestruturas similares entre si. Apresentam quartzo, plagioclásio e microclina como mineralogia essencial. A biotita representa o mineral varietal (qualificador) em todas as amostras e mais restritamente a hornblenda (essa distinção pode ser observada na tabela 3). Os minerais acessórios primários são constituídos por zircão, titanita, apatita, alanita e opacos. Os minerais secundários, produtos de alteração de biotita e feldspatos, são representados por clorita, argilominerais, epidoto, muscovita e carbonato. Desenvolvem textura predominante granular hipidiomórfica e, subordinadamente, mirmequítica, pertítica e porfirítica

Nesse contexto, foi possível diferenciar seis grupos de granitoides. De acordo com a composição modal com as proporções de quartzo, plagioclásio e microclina recalculados a 100% e utilizando o diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976), as rochas foram classificadas como **granodiorito** (variedade mais abundante), **quartzo monzodiorito**, **monzogranito**, **quartzo monzonito**, **monzonito** e **sienogranito** (Figura 6). Todas as variedades são hololeucocráticas, com exceção da amostra A-17 que é leucocrática.

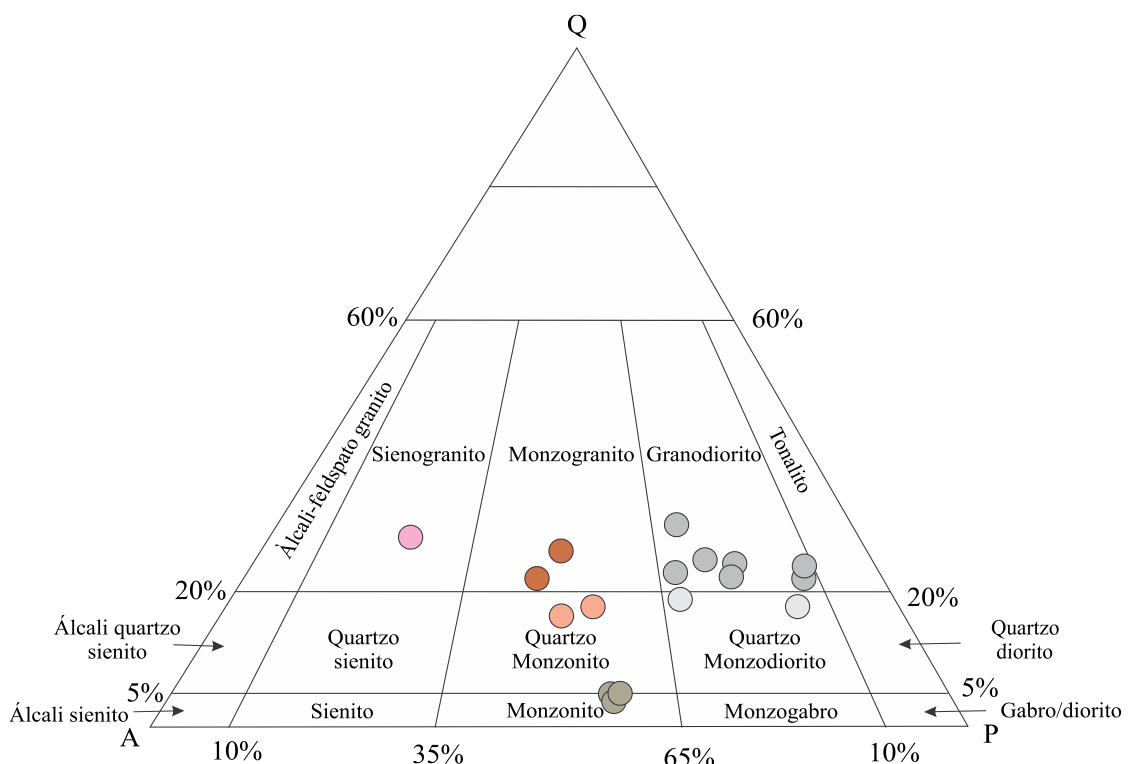


Figura 6 - Classificação das rochas estudadas com base no diagrama Q-A-P Fonte: (Le Maitre 2002, Streckeisen 1976).

Tabela 3 - Composição modal (semiquantitativa) das rochas que compõe o Granodiorito Anil. A=feldspato alcalino (microclina), P=plagioclásio. As amostras que apresentam a marcação “\*” possuem, além da biotita, hornblenda como mineral varietal. Fonte: Elaborado pela autora.

Variedade		Granodiorito						Quartzo monzodiorito		
Mineral   Amostra	A-1	A-3	A-5	A-8a	A-14	A-14b	A-17 *	A-2	A-7	
Quartzo	21	21	29	23	24	22	22	18	19	
Plagioclásio	48	69	47	55	67	59	46	67	54	
Microclina	23	9	20	16	8	18	17	11	26	
Biotita	8	1	4	6	1	1	12	4	2	
Hornblenda	-	-	-	-	-	-	3	-	-	
Titanita	-	Tr	-	Tr	-	Tr	Tr	-	Tr	
Apatita	-	-	-	Tr	-	-	-	-	-	
Allanita	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	
Zircão	-	-	Tr	Tr	-	-	-	-	-	
A+P	71	78	71	71	74	77	66	80	80	
Índice de cor (M')	8	1	4	6	1	1	15	4	2	
%100	Quartzo	22,82	21,21	30,2	24,46	24,24	22,22	25,88	18,75	19,38
	Plagioclásio	52,17	69,69	48,95	58,51	67,67	59,59	54,11	69,79	55,1
	Microclina	25	9,09	20,83	17,02	8,08	18,19	20	11,45	26,53
Variedade		Monzogranito		Quartzo monzonito		Monzonito			Sienogranito	
Mineral   Amostra	A-8b	A-16 *	A-6 *	A-10 *	A-11	A-12	A-13	A-9 *		
Quartzo	21	24	15	17	4	5	5	28		
Plagioclásio	36	34	37	42	52	55	54	16		
Microclina	42	33	38	35	40	38	40	54		
Biotita	1	7	8	5	4	1	1	1		
Hornblenda	-	2	2	1	-	-	-	1		
Titanita	Tr	-	-	-	Tr	-	Tr	-		
Apatita	Tr	-	-	-	-	-	-	Tr		
Allanita	-	Tr	-	-	-	-	-	-		
Zircão	Tr	-	-	-	-	Tr	-	-		
A+P	78	67	75	77	92	93	94	70		
Índice de cor (M')	1	9	10	6	4	1	1	2		
%100	Quartzo	21,21	26,37	16,66	18,08	4,16	5,05	5,05	28,57	
	Plagioclásio	36,36	37,36	41,11	44,68	55,25	55,55	54,54	16,32	
	Microclina	42,42	36,26	42,22	37,97	41,66	38,38	40,4	55,1	

#### 4.1.2 Microestruturas

Apesar das diferentes fácies existentes no Granodiorito Anil apresentarem pequenas diferenças texturais, as similaridades mineralógicas observadas sob microscópio permitiram que fosse realizada uma descrição única para essas rochas. Desse modo, a seguir serão descritos os principais aspectos mineralógicos e microestruturais dos minerais das seis fácies individualizadas.

O **plagioclásio** ocorre como cristais hipidiomórficos a xenomórficos de hábito prismático de dimensões que variam de 0,5 a 8 mm, com contatos retos e/ou irregulares com o quartzo, microclina, biotita e opacos. Nem todos os cristais exibem maclamento evidente, mas quando ocorrem são predominantemente dos tipos albita (polissintético) e albita-periclina e, de modo subordinado, carlsbad. Pontualmente observam-se maclas deformadas e cristais com zonação. É comum a alteração para sericita (sericitização), epidoto (saussuritização) e carbonato no interior dos cristais (figura 7a). Localmente há pequenas inclusões de biotita e quartzo. Nos contatos com a microclina desenvolvem textura mimerquítica com quartzo vermicular ou goticular em seu interior.

A **microclina** tem cristais hipidiomórficos e xenomórficos com tamanhos que variam de 0,5 a 10 mm. O maclamento xadrez, quando visível, é incipiente. Caracteriza-se por ser moderada a fortemente pertítica (figura 7b). O contato com o quartzo e biotita são retos. Compõe textura mimerquítica com intercrescimento de quartzo (figura 7d).

O **quartzo** apresenta quatro tipos petrográficos: Quartzo 1 - desenvolve cristais xenomórficos e hipidiomórficos de hábito granular com contatos retos a suturados entre si e retos com os demais minerais (figura 7c). Alguns cristais ocorrem com leve extinção ondulante; Quartzo 2 - tem forma xenomórfica, granulação fina a muito fina e cristais arredondados. Ocorrem como pequenas inclusões nas bordas do feldspato ou marcando seu limite de crescimento (figura 7c); Quartzo 3 - ocorre como pequenos cristais em forma de gotas que compõe intercrescimento mimerquítico na microclina em contato com o plagioclásio (figura 7c); e Quartzo 4 tem forma de gotículas que geram intercrescimento granofírico com a microclina (figura 7d).

A **biotita** é o mineral máfico principal, estando presente em todas as variedades. Por vezes forma pequenos aglomerados (figura 7e). Tem cristais hipidiomórficos de hábito lamelar, coloração marrom em luz natural e pleocroísmo fraco variando entre marrom claro a marrom escuro em nicóis cruzados. Os cristais exibem contatos retos a irregulares com o quartzo, plagioclásio e microclina. É comum a alteração para clorita (cloritização) parcial ou totalmente (constituindo pseudomorfo), bem como a inclusão de opacos.

A **hornblenda** apresenta cristais idiomórficos a hipidiomórficos maclados (figura 7f) com forma idiomórfica a hipidiomórficos, medindo entre 2 e 5 mm. Os contatos com quartzo, plagioclásio e microclina são retos a irregulares.

A **titanita** é representada por cristais idiomórficos a hipidiomórficos de cor marrom e hábito losangular. A **alanita** tem cristais idiomórficos localmente zonados que podem estar inclusos no plagioclásio e conter inclusões de minerais opacos. O **zircão** ocorre com forma

prismática e bipiramidal em cristais idiomórficos usualmente inclusos em plagioclásio e biotita. A **apatita** é hipidiomórfica a idiomórfica com cristais prismáticos e aciculares de cor marrom acastanhada. Os **minerais opacos** primários são hipidiomórficos com seções quadráticas e losangulares.

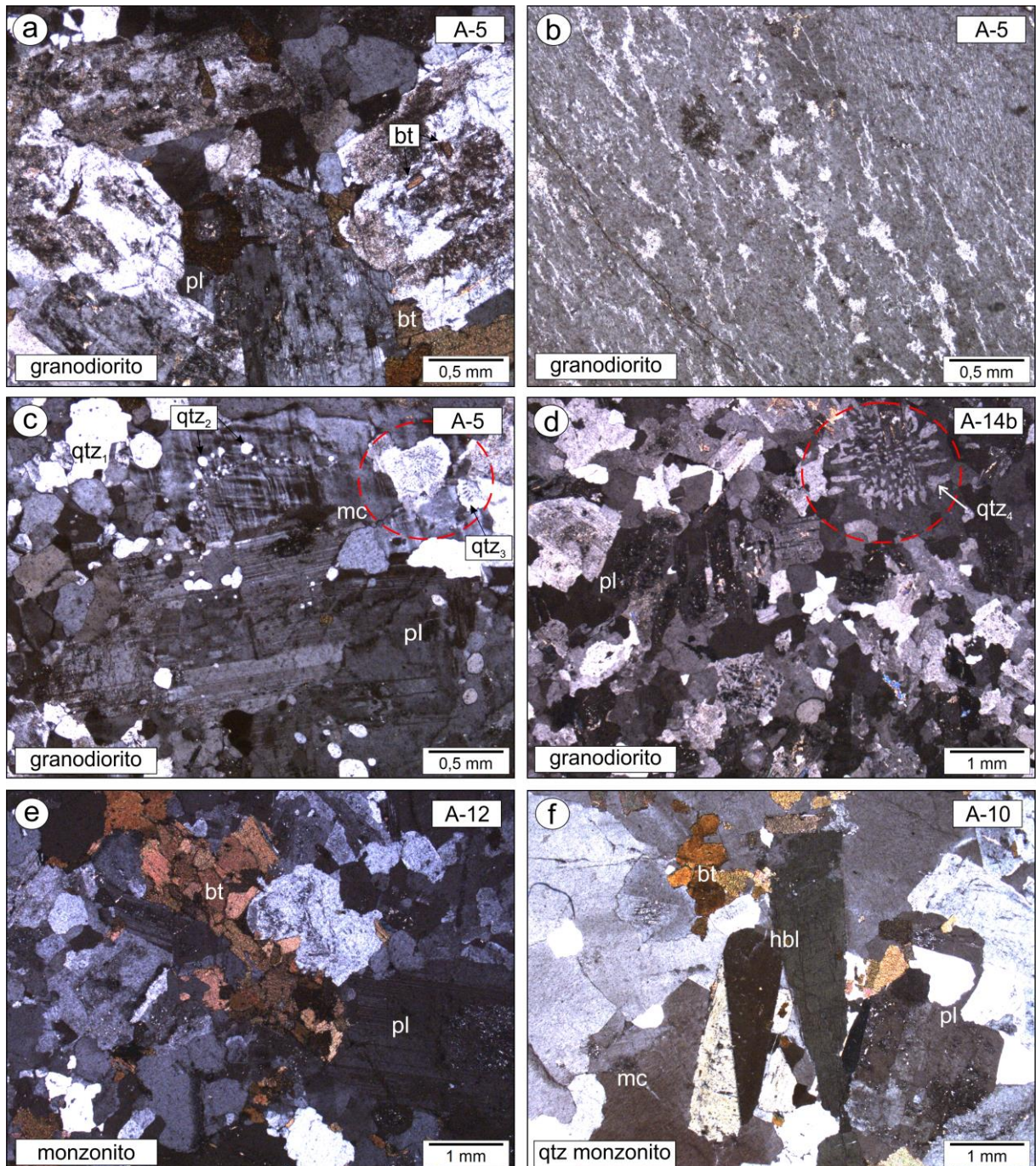


Figura 7 - Fotomicrografias, a nicóis cruzados, das principais microestruturas das fácies que ocorrem no Granodiorito Anil. (a) cristais de plagioclásio de granulação média a grossa fortemente alterado para sericita e argilominerais e inclusões de biotita; (b) microclina perítica; fácies de granulação fina com textura granular hipidiomórfica; (c) textura mimerquítica destacada em vermelho,  $qtz_1$  com forma hipidiomórfica,  $qtz_2$  de granulometria mais fina ocorrendo como inclusões no plagioclásio e delimitando o crescimento da microclina e  $qtz_3$  compondo intercrescimento mimerquítico; (d)  $qtz_4$  em textura gráfica; (e) cristais de biotita formando aglomerados; e (f) hornblenda maclada. Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2 GEOCRONOLOGIA U-Pb POR LA-MC-ICP-MS

A amostra QUI-01 (coordenadas 336659/9548430), coletada na CE-183, representa a fácies de borda mais fina do plúton. Os zircões analisados são euédricos a subédricos, tem forma prismática alongada e comprimento variando entre 120-300 $\mu$ m. Eles exibem zoneamento oscilatório característico de rochas ígneas, terminação bipiramidal (em alguns), pequenas inclusões e micro-fraturas, além de núcleos destacados. As imagens de catodoluminescência representativas e os pontos aproximados de análise são mostrados na figura 8.

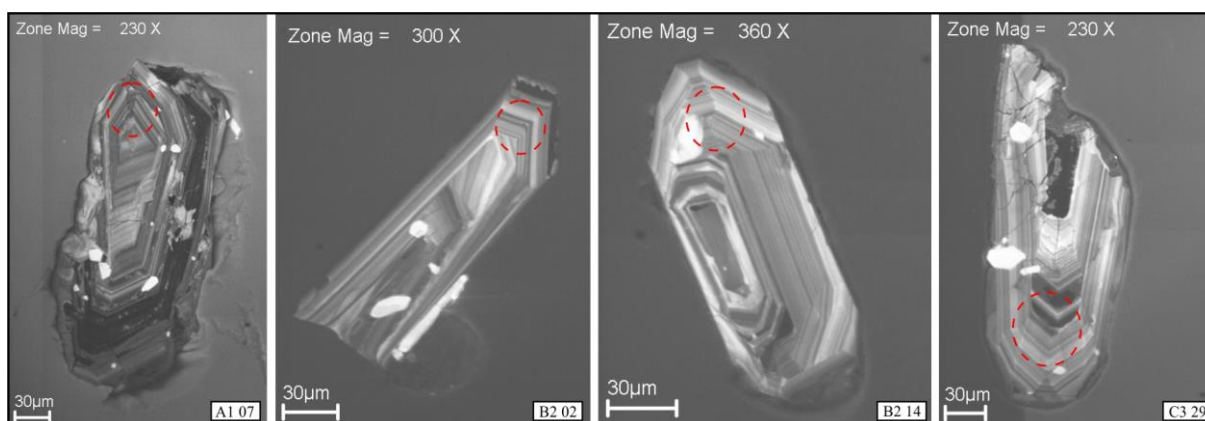


Figura 8 - Imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão datados por U-Pb no LA-MC-ICP-MS. Fonte: Elaborado pela autora.

Para as análises isotópicas U-Pb *in situ* foram analisados vinte e três cristais de zircão da amostra (tabela 4). Esses dados forneceram uma idade no intercepto inferior de  $585 \pm 75$  e no intercepto superior  $1760 \pm 280$  (MSWD = 40) (Figura 9a). Dentre o total de *spots*, dezoito foram descartados para os cálculos de idade por serem muito discordantes e/ou apresentarem valores de  $f^{206}$  muito elevados, o que, por sua vez, revela o alto teor de chumbo comum nos cristais de zircão analisados. Com base nas onze análises restantes foram construídas duas concórdias que podem ser interpretadas como idades de cristalização. A primeira utilizando seis análises (destacadas em preto na tabela) com grau de concordância variando entre 98,8 e 103,6 % forneceu idade de  $594 \pm 12$  Ma (MSWD = 0.0029) (figura 9b). A segunda, com as seis análises da primeira e mais cinco análises (destacadas em azul na tabela) com grau de concordância maiores, variando de 98,8 a 108,2 % (figura 9c), mostrou idade de  $604.9 \pm 8.6$  Ma (MSWD = 0.40).

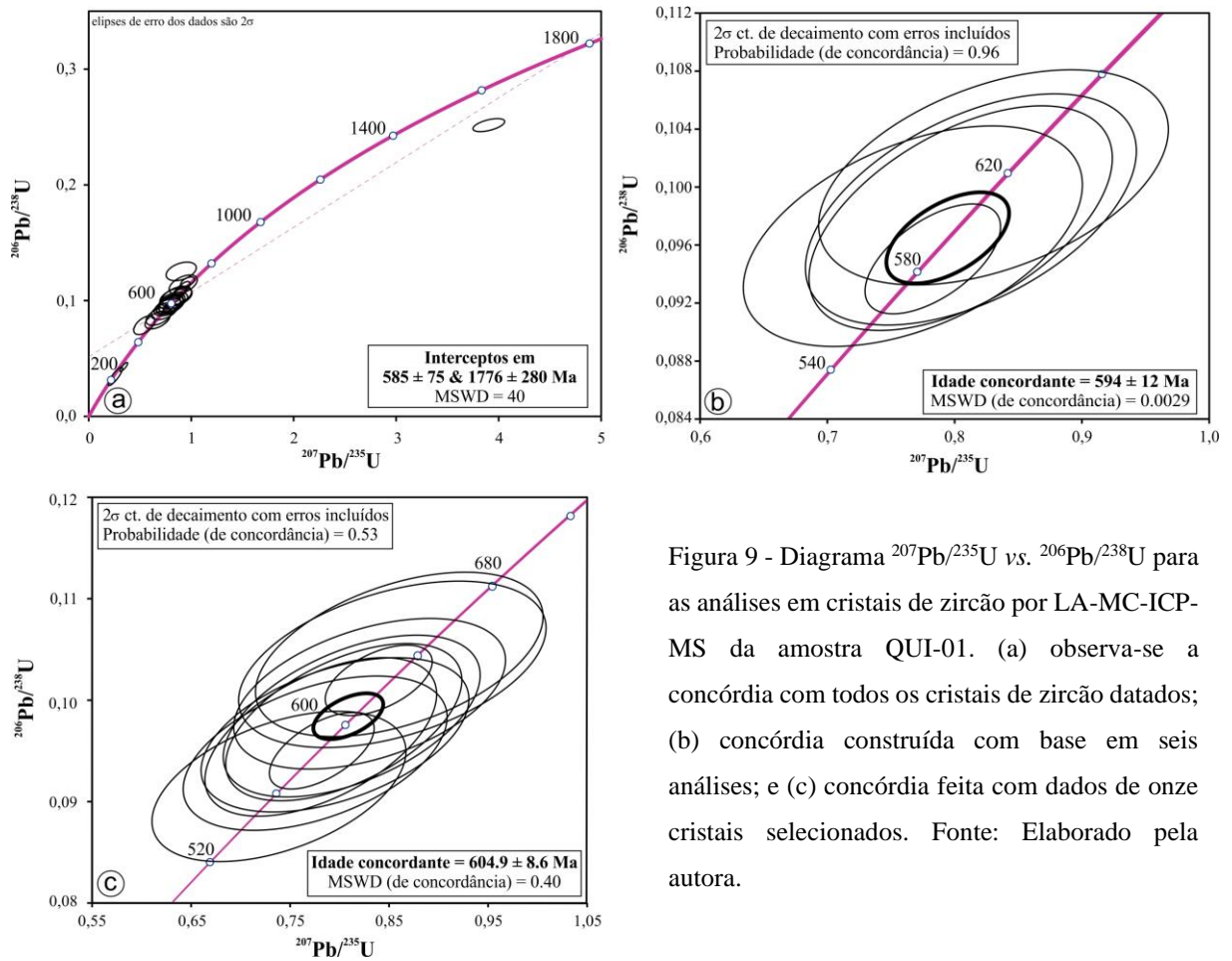


Figura 9 - Diagrama  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  para as análises em cristais de zircão por LA-MC-ICP-MS da amostra QUI-01. (a) observa-se a concórdia com todos os cristais de zircão datados; (b) concórdia construída com base em seis análises; e (c) concórdia feita com dados de onze cristais selecionados. Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Análises isotópicas U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS da amostra QUI-01 (pastilha ZR-03) utilizados para cálculo da idade de cristalização do Granodiorito Anil. Os zircões destacados em negrito foram utilizados para a construção da concórdia da figura 9b e estes, somados aos destacados em azul, foram empregados na construção da concórdia da figura 9c. Fonte: Elaborado pela autora.

Zircão	$f_{206}^a$	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}^b$	Razões isotópicas <sup>c</sup>						Idade (Ma)						Conc. (%) <sup>f</sup> (6/8) / (7/6)	
						$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$ (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$ (%)	Rho <sup>d</sup>	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^e$	1 $\sigma$ (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$ abs	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$ abs	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		1 $\sigma$ abs
<b>C3 18</b>	<b>0,0367</b>	<b>31,7</b>	<b>97,7</b>	<b>245,3</b>	<b>0,40</b>	<b>0,83973</b>	<b>2,63</b>	<b>0,10201</b>	<b>1,40</b>	<b>0,53</b>	<b>0,05970</b>	<b>2,23</b>	<b>626,2</b>	<b>8,7</b>	<b>619,0</b>	<b>16,3</b>	<b>592,9</b>	<b>13,2</b>	<b>105,6</b>
C3 19	0,0256	8,9	25,5	68,4	0,38	0,88799	2,98	0,10800	1,46	0,49	0,05963	2,60	661,1	9,7	645,3	19,3	590,3	15,4	112,0
C3 25	0,0080	16,6	12,5	56,4	0,22	3,90236	1,63	0,25196	0,89	0,55	0,11233	1,36	1448,6	12,9	1614,2	26,3	1837,5	25,1	78,8
C3 27	0,0112	9,6	47,9	69,7	0,69	0,87682	3,11	0,10630	1,55	0,50	0,05982	2,70	651,2	10,1	639,3	19,9	597,2	16,1	109,0
<b>C3 29</b>	<b>0,0466</b>	<b>25,3</b>	<b>56,6</b>	<b>190,7</b>	<b>0,30</b>	<b>0,78262</b>	<b>2,77</b>	<b>0,09508</b>	<b>1,62</b>	<b>0,59</b>	<b>0,05970</b>	<b>2,24</b>	<b>585,5</b>	<b>9,5</b>	<b>587,0</b>	<b>16,2</b>	<b>592,7</b>	<b>13,3</b>	<b>98,8</b>
C3 30	0,0257	20,3	68,5	122,2	0,56	0,91695	3,23	0,11071	2,26	0,70	0,06007	2,31	676,9	15,3	660,7	21,3	606,1	14,0	111,7
C3 32	0,0665	16,6	27,4	107,6	0,26	0,96804	2,91	0,11684	1,42	0,49	0,06009	2,54	712,4	10,1	687,5	20,0	606,8	15,4	117,4
B2 01	0,0327	33,7	202,5	426,6	0,48	0,34311	4,51	0,04321	3,79	0,84	0,05759	2,44	272,7	10,3	299,5	13,5	514,0	12,6	53,1
<b>B2 02</b>	<b>0,0485</b>	<b>14,3</b>	<b>22,5</b>	<b>120,7</b>	<b>0,19</b>	<b>0,81254</b>	<b>6,53</b>	<b>0,09849</b>	<b>3,30</b>	<b>0,51</b>	<b>0,05983</b>	<b>5,64</b>	<b>605,6</b>	<b>20,0</b>	<b>603,9</b>	<b>39,4</b>	<b>597,5</b>	<b>33,7</b>	<b>101,3</b>
B2 04	0,1625	87,5	258,8	949,7	0,27	0,26292	10,95	0,03514	9,36	0,86	0,05427	5,67	222,6	20,8	237,0	25,9	382,1	21,7	58,3
B2 08	0,0923	73,8	254,4	773,5	0,33	0,92360	5,99	0,11446	2,96	0,49	0,05852	5,21	698,6	20,7	664,3	39,8	549,3	28,6	127,2
B2 13	0,1139	39,6	50,6	184,7	0,28	0,90290	6,56	0,12581	2,59	0,39	0,05205	6,03	763,9	19,8	653,3	42,9	287,7	17,4	265,5
<b>B2 14</b>	<b>0,0294</b>	<b>48,0</b>	<b>90,7</b>	<b>460,9</b>	<b>0,20</b>	<b>0,80463</b>	<b>6,05</b>	<b>0,09789</b>	<b>3,23</b>	<b>0,53</b>	<b>0,05961</b>	<b>5,11</b>	<b>602,1</b>	<b>19,5</b>	<b>599,4</b>	<b>36,3</b>	<b>589,5</b>	<b>30,1</b>	<b>102,1</b>
B2 15	0,1127	20,4	29,8	144,1	0,21	0,54363	7,75	0,07930	4,07	0,52	0,04972	6,60	492,0	20,0	440,8	34,2	181,8	12,0	270,6
<b>B2 21</b>	<b>0,0140</b>	<b>67,4</b>	<b>166,1</b>	<b>690,6</b>	<b>0,24</b>	<b>0,78119</b>	<b>6,13</b>	<b>0,09643</b>	<b>3,30</b>	<b>0,54</b>	<b>0,05875</b>	<b>5,16</b>	<b>593,5</b>	<b>19,6</b>	<b>586,2</b>	<b>35,9</b>	<b>557,9</b>	<b>28,8</b>	<b>106,4</b>
<b>A1 01</b>	<b>0,1163</b>	<b>38,8</b>	<b>86,1</b>	<b>400,4</b>	<b>0,22</b>	<b>0,86065</b>	<b>6,90</b>	<b>0,10456</b>	<b>3,17</b>	<b>0,46</b>	<b>0,05970</b>	<b>6,13</b>	<b>641,1</b>	<b>20,3</b>	<b>630,5</b>	<b>43,5</b>	<b>592,6</b>	<b>36,3</b>	<b>108,2</b>
A1 03	0,0603	34,9	80,4	323,4	0,25	0,67460	7,47	0,08373	3,78	0,51	0,05843	6,44	518,3	19,6	523,5	39,1	546,1	35,2	94,9
<b>A1 04</b>	<b>0,0156</b>	<b>10,7</b>	<b>28,7</b>	<b>91,9</b>	<b>0,31</b>	<b>0,85339</b>	<b>7,43</b>	<b>0,10358</b>	<b>3,24</b>	<b>0,44</b>	<b>0,05975</b>	<b>6,69</b>	<b>635,3</b>	<b>20,6</b>	<b>626,5</b>	<b>46,5</b>	<b>594,7</b>	<b>39,8</b>	<b>106,8</b>
<b>A1 05</b>	<b>0,0752</b>	<b>97,6</b>	<b>178,5</b>	<b>665,8</b>	<b>0,27</b>	<b>0,83056</b>	<b>6,76</b>	<b>0,10070</b>	<b>3,01</b>	<b>0,44</b>	<b>0,05982</b>	<b>6,05</b>	<b>618,5</b>	<b>18,6</b>	<b>613,9</b>	<b>41,5</b>	<b>596,9</b>	<b>36,1</b>	<b>103,6</b>
<b>A1 06</b>	<b>0,0936</b>	<b>43,5</b>	<b>92,0</b>	<b>286,2</b>	<b>0,32</b>	<b>0,73897</b>	<b>7,10</b>	<b>0,09156</b>	<b>3,30</b>	<b>0,47</b>	<b>0,05854</b>	<b>6,28</b>	<b>564,7</b>	<b>18,6</b>	<b>561,8</b>	<b>39,9</b>	<b>550,0</b>	<b>34,5</b>	<b>102,7</b>
<b>A1 07</b>	<b>0,0676</b>	<b>25,4</b>	<b>56,3</b>	<b>207,6</b>	<b>0,27</b>	<b>0,77557</b>	<b>7,01</b>	<b>0,09483</b>	<b>3,27</b>	<b>0,47</b>	<b>0,05931</b>	<b>6,20</b>	<b>584,1</b>	<b>19,1</b>	<b>583,0</b>	<b>40,9</b>	<b>578,7</b>	<b>35,9</b>	<b>100,9</b>
<b>A1 08</b>	<b>0,0563</b>	<b>22,5</b>	<b>52,5</b>	<b>183,5</b>	<b>0,29</b>	<b>0,79557</b>	<b>6,94</b>	<b>0,09663</b>	<b>3,21</b>	<b>0,46</b>	<b>0,05971</b>	<b>6,16</b>	<b>594,6</b>	<b>19,1</b>	<b>594,3</b>	<b>41,3</b>	<b>593,2</b>	<b>36,5</b>	<b>100,2</b>
A1 09	0,1058	47,1	96,6	422,4	0,23	0,68657	7,30	0,08695	3,60	0,49	0,05727	6,35	537,5	19,4	530,7	38,7	501,9	31,9	107,1

a Fração do  $^{206}\text{Pb}$  não-radiogênico do ponto do zircão analisado, onde  $f_{206} = (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{t comum}} / (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{amostra}}$ ;

b Razão Th/U e concentrações de Pb, Th e U (ppm) calculadas com base no zircão de referência GJ-1;

c Corrigidas para o branco analítico (background), para o fracionamento interno Pb/U e normalizadas ao zircão de referência GJ-1 (ID-TIMS-valores/valores medidos);  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  calculada usando a equação  $= (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) * (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) * (137,88)$ ;

d Rho e a correlação de erro definido como o quociente dos erros propagados das razões  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  e  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ;

e Corrigida para o fracionamento de massa (mass-bias) por normalização ao zircão de referência GJ-1 e para Pb comum usando o modelo de evolução de Pb de Stacey & Kramers (1975);

f Grau de concordância,  $(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) = (\text{idade } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} * 100) / (\text{idade } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ , segundo Horstwood *et al.* (2016).

## 5 DISCUSSÕES

A análise U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS de uma amostra representativa da fácies granodiorítica do Granodiorito Anil permitiu calcular duas idades que se superpõem perfeitamente no limite dos erros analíticos. A de **594 ± 12 Ma** foi definida por seis cristais de zircão. Por sua vez, a de **604.9 ± 8.6 Ma** foi determinada com onze cristais de zircão. Considerando que o Granodiorito Anil não apresenta feições de deformação nem de metamorfismo, essas idades são representativas da época de cristalização desse plúton. A idade de 594 ± 12 Ma pode ser a mais correta por ser definida por cristais de zircão com maior grau de concordância, e possuir menor valor do parâmetro MSWD (figuras 9b e 9c). Todavia, a exatidão da idade de 594 ± 12 Ma, deve ser considerada com cautela devido a presença de Pb comum nos cristais de zircão analisados. Assim, assume-se neste trabalho uma idade em torno de 600 Ma como indicativa desse evento de magmatismo, e recomenda-se que novas análises U-Pb sejam realizadas para definir com maior exatidão a idade do Granodiorito Anil.

Gorayeb et al. (1994) incluiu o Granodiorito Anil na Suíte Intrusiva Meruoca juntamente com os granitos do Meruoca (523 ± 9), Mucambo (532 ± 6), Serra da Barriga (522 ± 7 Ma) e Pajé (528 ± 2,7 Ma). Estes corpos são interpretados como granitos pós-orogênicos (Gorayeb 2010). Entretanto, com idade em torno de 600 Ma definida neste trabalho para o Granodiorito Anil recomenda-se descartar a associação deste batólito com o evento magmático pós-orogênico, uma vez há uma diferença de idade de cerca de 80 Ma.

A sugerida idade de cristalização do Granodiorito Anil, em torno de 600 Ma, é similar a idade dos corpos graníticos mais jovens do Complexo Tamboril-Santa Quitéria que é constituído por granitoides gerados aproximadamente entre 660 e 610 Ma (Brito Neves et al. 2003, Castro 2004, Costa et al. 2013, Fetter et al. 2003). Neste sentido o Granodiorito Anil, que ocorre nas proximidades do Complexo Tamboril-Santa Quitéria, pode ser associado aos pulsos magmáticos mais jovens presentes neste Complexo.

## 6 CONCLUSÕES

A interpretação dos dados obtidos neste trabalho através de análise petrográfica possibilitaram concluir que o Granodiorito Anil constitui um corpo de composição relativamente homogênea, predominantemente granodiorítica com pequenas variações monzograníticas, quartzo monzoníticas, monzoníticas e sienograníticas. O estudo geocronológico realizado pelo método U-Pb em zircão via LA-MC-ICP-MS resultou em duas idades. A primeira de  $594 \pm 12$  Ma calculada com cristais de zircão com concordância entre 98,8 e 103,6 %. A segunda de  $604.9 \pm 8.6$  Ma obtida com cristais de zircão com concordâncias entre 98,8 e 108,2 %. Considerando que este corpo é essencialmente ígneo, pois não apresenta feições de deformação e metamorfismo, estas idades representam a época de cristalização do Granodiorito Anil, permitindo posicioná-lo no Ediacarano (Neoproterozóico). Considerando os erros analíticos, essas idades são similares e comparáveis com granitoides mais jovens que ocorrem associados ao Complexo Tamboril Santa-Quitéria. A idade U-Pb em zircão em torno de 600 Ma obtida neste trabalho contribui para o entendimento do quadro geocronológico dos pulsos magmáticos da Província Borborema. No entanto, em decorrência dos altos conteúdos de chumbo comum nos cristais analisados, é recomendável a realização de novas datações U-Pb em zircão para que seja obtida uma idade com maior precisão analítica do Granodiorito Anil.

## REFERÊNCIAS

- Abreu F.A.M., Nascimento R.S., Santos M.V., Moura C.A.V., Vilas R.N.N. 2014. Carta geológica: folha Ipu, SB.24-V-A-III.
- Almeida F.F. M., Leonardos Jr O.H., Valença J. 1967. Review on granitic rocks of northeast South America. *In: Symposium Recife*, 41 p.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, Atas*, 8, p. 363-391.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**(1–2):1-29.
- Ancelmi M.F. 2016. *Geocronologia e geoquímica das rochas arqueanas do Complexo Granjeiro, Província Borborema*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, São Paulo, 159 p.
- Aragão A.L.S. 2018. *Petrografia, geoquímica e geocronologia do granito Chaval, Noroeste da Província Borborema*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 110p.
- Araújo C.E G. de, Pinéo T.R.G., Caby R., Costa F.G., Cavalcante J.C., Vasconcelos A.M., Rodrigues J.B. 2010. Provenance of the Novo Oriente Group, southwestern Ceará Central Domain, Borborema Province (NE-Brazil): A dismembered segment of a magmapoor passive margin or a restricted rift-related basin?. *Gondwana Research*, **15**:454-470.
- Araújo C.E.G de, Cordani U.G., Basei M.A.S., Castro N.A., Sato K., Sproesser W.M. 2012. U-Pb detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreaú domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic implications for a longlived Neoproterozoic active continental margin. *Precambrian Research*, **206-207**:36-51.
- Araújo C.E.G. de 2014. *Evolução Tectônica da Margem Ativa Neoproterozóica do Orógeno Gondwana Oeste na Província Borborema (NE-Brasil)*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 243 p.
- Araújo C.E.G. de, Basei M.A.S., Grandjean F.C., Armstrong R., Brito R.S. 2017. Contrasting Archaean (2.85–2.68 Ga) TTGs from the Tróia Massif (NE–Brazil) and their geodynamic implications for flat to steep subduction transition. *Precambrian Research*, **297**, 1-18.
- Araujo C.E.G. de, Weinberg R.F., Cordani U.G. 2013. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. *Terra Nova*, Vol **26**, No. 2, 157–168.
- Archanjo C.J., Launeau P., Hollanda M.H.B.M., Macedo J.W.P. 2009. Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). *International Journal of Earth Sciences*, **98**:1793-1807.
- Archanjo C.J., Viegas L.G.F., Hollanda M.H.B.M., Souza L.C., Liu D. 2013. Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): constraints from U\|Pb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. *Gondwana Research*, **23**:701-714.

Arthaud M.H. 2007. Evolução Neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 170 p.

Arthaud M.H., Caby R., Fuck R.A., Dantas E.L., Parente C.V. 2008. Geology of the northern Borborema Province, and its correlations with Nigeria, NW Africa. In: Pankhurst R.J., Trouw R.A.J., Brito Neves B.B. de, Witt M.J. West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society of London, *Special Publications*, 294: 49-67.

Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds.). 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*: texto, mapas e SIG. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 692 p.

Brito Neves B. B. de & Cordani, U. G. 1991. Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic. *Precambrian Research*, 53 (1-2): 23-40.

Brito Neves B.B. de, Campos Neto M.C., Fuck R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana, no approach to the Brasiliano-Pan african Cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22(3):155-166.

Brito Neves B.B. de, Passarelli C.R., Basei M.A.S., Santos E.J. 2003. Idades U-Pb em Zircão de Alguns Granitos Clássicos da Província Borborema. *Revista do Instituto de Geociências – USP*. Geol. USP Sér. Cient. São Paulo, 3: 25-38.

Brito Neves B.B. de, Santos E.J., Van Schmus W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p. 151-182.

Brito Neves B.B.de. 1975. *Regionalização geotectônica do precambriano nordestino*. PhD Thesis, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 198 p.

Caby R. 1989. Precambrian terranes of Benin Nigeria and Northeast Brazil and the late Proterozoic South Atlantic fit. Geological Society of America, *Special Paper*, 230:145-158.

Caby R.& Arthaud M. H. 1986. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, 14:871-874.

Castro N. A. 2004. *Evolução Geológica Proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, 221 p.

Cavalcante J. C. 1999. *Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribiano, Província Borborema, NE do Brasil*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 289 p.

Cavalcante J.C., Vasconcelos A.M., Medeiros M.F., Paiva I.G. 2003. *Mapa geológico do estado do Ceará*. Fortaleza, CPRM. Escala 1:500.000.

Chichorro M. 2009. O zircão um mineral marcador dos grandes ciclos geológicos. In: 8º Encontro de Professores de Geociências do Alentejo e Algarve, Departamento de Ciências da Terra, FCT-UNL. [Resumos...] (Palestra).

Chiglino L., Gaucher C., Sial A.N., Ferreira V.P. 2015. Acritarchs of the Ediacaran Frecheirinha Formation, Ubajara Group, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **87**(2):635-649.

Costa A.P., Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Dantas A.R. 2015. Geologia, petrologia e geocronologia U-Pb do Plúton Granítico Serra da Rajada: implicações sobre a evolução magmática ediacarana na porção NE do Domínio Rio Piranhas-Seridó (NE da Província Borborema). *Geologia USP-Série Científica*, **15**(3-4):83-105.

Costa F.G., Araújo C.E.G.de, Amaral W.S., Vasconcelos A.M., Rodrigues J.B. 2013. U-Pb (LA-ICPMS) zircon ages and Nd isotopes for granitoids of the Tamboril-Santa Quitéria Complex, Ceará Central Domain: Implication for neoproterozoic syncollisional magmatism in north Borborema Province. *Revista do Instituto de Geociências*, **13**(2):159-174.

Costa M.A., França J.B., Lins C.A.C., Bacchiegga I.F., Habekost C.R., Cruz W.B. 1979. *Projeto Jaibaras*. Brasília, DF, MME/NDPM, 106 p.

Dantas E.L. 1997. *Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozoicos do Maciço Candás Brandão, NE do Brasil*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 208 p.

Dantas E.L., Souza Z.S., Wernick E., Hackspacher P.C., Xiaodong D., Li J.W. 2013. Crustal growth in the 3.4-2.7Ga São José de Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. *Precambrian Research*, **227**:120-156.

Dantas E.L., Van Schmus W.R., Hackspacher P.C., Fetter A., Brito Neves B.B., Cordani U.G., Nutman A.P., Williams I.S. 2004. The 3.4–3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, **130**:113-137.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. (eds). *Rock forming minerals*. 2nd ed. London, Longmans, 696 p.

Delgado I.M., Souza J.D., Silva L.C., Silveira Filho N.C., Santos R.A., Pedreira A.J., Guimarães J.T., Angelim L.A., Vasconcelos A.M., Gomes I.P., Lacerda Filho J.V., Valente C.R., Perrota M.M., Heinick C.A. 2003. Província Tocantins, *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Rio de Janeiro, CPRM, p. 281-292.

Dickin A. 2005. *Radiogenic isotope geology*. Cambridge University Press; 2 edition, 512 p.

Faure G. & Mensing T.M. 2005. *Isotopes: principles and applications*. 3rd ed ed. Hoboken, N.J: Wiley.

Faure G. 1991. Principles and Applications of *Geochemistry Geochimica et Cosmochimica Acta*, **55** (4): 1199-1200.

Ferreira C.A. & Santos E. J. 2000. *Jaguaribe SE. Folha SC 24-Z. Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco*. Escala 1:500.000. Geologia e metalogênese. Recife, CPRM. 1 CD-ROM. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil-PLGB).

Ferreira C.F.F., Naldrett A.J., Gorton M.P. 1998. REE and pyroxene compositional variation across the Niquelândia layered intrusion, Brazil: petrological and metallogenetic implications. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, **107(B)**:1-22.

Fetter A. H., Santos T.J.S., Van Schmus W.R., Hackspacher P.C, Brito Neves B. B., Arthaud M.H., Nogueira J.A., Wernick E. 2003. Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, **6**:265-273.

Fetter A.H. 1999. *U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará, NW Borborema Province*. PhD Thesis, University of Kansas, USA, 164 p.

Fetter A.H., Van Schmus W.R., Santos T.J.S., Nogueira Neto J.A., Athaud M.H. 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 "Atlântica". *Revista Brasileira de Geologia*, **30**:102-106.

Freimann M.A. 2014. *Geocronologia e petrografia de quartzo milonitos do duplex transcorrente de Lavras da Mangabeira*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 84p.

Garcia M.G.M., Santos T.J.S., Amaral W.S. 2014. Provenance and tectonic setting of neoproterozoic supracrustal rocks from the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): constraints from geochemistry and detrital zircon ages. *International Geology Review*, **56(4)**:1-20.

Gorayeb P.S.S. 2010. Estudo comparativo entre as províncias extensionais do NE da Província Tocantins e NW da Província Borborema. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Belém, *Anais*, CD-ROM.

Gorayeb P.S.S, Galarza Toro M.A., Silva-Silva L.C., Milhomem Neto J.M. 2018. Dados geocronológicos U-Pb-Hf e Sm-Nd do Granito Uruburetama - Arco Magmático Santa Quitéria - Norte da Província Borborema. In: SBG, 49º Congresso Brasileiro de Geologia; 9º Simpósio do Cretáceo do Brasil; 7º Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Rio de Janeiro, *Geologia: conhecer o passado para construir o futuro: anais*. (ST07 Geologia do Quaternário Antropoceno Geomorfologia Espeleologia), p. 529. Disponível em: <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/8184.pdf>. Acesso em: 10. 10.2018.

Gorayeb P.S.S. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia Rb-Sr do Granodiorito Anil-CE. In: SBG, 16 Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife. *Atas...* v.1, p. 274-276.

Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M., Correa J.A.M., Moura C.A.V. 1988. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara-Jaibaras. In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, v.6, p. 2678-2688.

Gorayeb P.S.S., Abreu, F.A.M., Lemos, R.L. 1994. O Granodiorito Anil: caracterização geológica e petrográfica. In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. *Anais...* v.1, p.156-158.

- Guimarães I.P., Silva Filho A.F., Almeida C.N., Melo E.B., Melo S.C., Araújo J.M.M., Sales A. 1999. Sm-Nd isotope geochemistry and U-Pb in zircon, ages of the Brasileiro granitoids from the Pajeú Paraíba terrain, Borborema Province, Northeast Brazil. *In: 2° South American Symposium on Isotope Geology, Córdoba, Argentina. Actas.*, p. 203-209.
- Hanchar J.M. & Hoskin P.W.O. 2003. Zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **53**(1): 469-500.
- Harley S.L., Kelly N.M., Andreas Moller. 2007. Zircon Behaviour and the thermal histories of mountain chains. *Elements*, **3** (1): 25-30
- 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, Ed. Beca, p. 254-288.
- Hollanda M.H.B.M., Archanjo C.J., Bautista J.R., Souza L.C. 2015. Detrital zircon ages and Nd isotope compositions of the Seridó and Lavras da Mangabeira basins (Borborema Province, NE Brazil): Evidence for exhumation and recycling associated with a major shift in sedimentary provenance. *Precambrian Research*, **258**:186-207.
- Horstwood M.S.A., Kosler J., Gehrels G., Jackson S.E., McLean N.M., Paton C., Pearson N.J., Sircombe K., Sylvester P., Vermeesch P., Bowring J.F., Condon D.J., Schoene B. 2016. Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U-(Th)-Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **40**(3): 311-332.
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. 2004. The application of laser ablation– inductively coupled plasma–mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, **211**:47-69.
- Jaffey A.H., Flynn K.F., Glendenin L.E., Bentley W.T., Essling A.M. 1971. Precision measurement of half-lives and specific activities of  $U^{235}$  and  $U^{238}$ . *Physical Review C*, **4**(5):1889.
- Le Maitre R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- Legrand J.M., Liegeois J.P., Deutsch S. 1991. Datação U-Pb e Rb-Sr das rochas pré-cambrianas da região de Caicó. Reavaliação da definição de um embasamento arqueano. *In: SBG, 14° Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, Abstract*, p. 276-279. (Boletim, 12).
- Ludwig K.R. 2003. User's Manual for Isoplot/Ex version 3.00 – A Geochronology Toolkit for Microsoft Excel, No. 4. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 70 p.
- Machenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C. 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. Harlow Essex, England, Longman Group Ltds, 148 p.
- Martins G., Oliveira E.P., Lafon J.M. 2009. The Algodões amphibolite–tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil: geochemical and geochronological evidence for Paleoproterozoic accretion of oceanic plateau/back–arc basalts and adakitic plutons. *Gondwana Research*, **15**:71-85.

- Mattos I. C., Artur A. C., Arthaud M. H., Nogueira Neto J. A. 2007. Geologia e geocronologia do stock granítico Serra do Barriga – Sobral/CE. *In: SBG, 22º Simp. Geol. Nordeste, Natal. Anais*, p.176.
- Milhomem Neto J.M., Lafon J.M., Galarza Toro M.A., Moura C.A.V. 2017. U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS no laboratório Pará-Iso (UFPA): metodologia e aplicação na porção sudeste do Escudo das Guianas. *In: Lima A. M. M. de, Gorayeb P. S. de S. (org.). Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG-Núcleo Norte, v.10, p. 333-346.
- Monié P., Caby R., Arthaud M.H. 1997. The neoproterozoic Brasiliano orogeny in northeast Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, **81**:241–264.
- Nascimento D.A. & Gava A. 1979. Novas Considerações sobre a Estratigrafia da Bacia Jaibaras. *In: SBG, 9º Simpósio de Geologia do Nordeste, Natal, Anais*, p. 9-29.
- Nascimento D.A., Gava A., Pires J.L., Teixeira W., França F.A.B., Cabral E.M.A., Stamford W.J.P., Ribeiro A.G., Barros M.J.G., Fonseca R.A. 1981. Geologia. *In: Brasil. Projeto RadamBrasil, Folha Fortaleza*, Rio de Janeiro, MME, p. 23-212. (Levantamentos de Recursos Naturais, v.21).
- Nascimento Y.E.S. 2012. *Petrografia, litoquímica e geocronologia do Granito do Pajé: um estudo comparativo com os granitóides da Suíte Intrusiva Meruoca, região Noroeste do Ceará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém 97 p.
- Nogueira J.F. 2004. *Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará Central*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Oliveira J.F. & Cavalcante J.C. 1993. Folha Mombaça. Folha SB–24–V–D–V. Escala:100.000. Geologia e Metalogênese. *In: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil, CPRM.
- Oliveira R.G. 2008. *Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozoico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 411 p.
- Pedrosa Júnior N. 2015. *Interpretação e Modelagem de Dados Geofísicos no Estudo da Evolução Geotectônica do Rifte de Jaibaras - NE do Brasil*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 208 p.
- Pessoa R.R. & Archanjo C.J. 1984. Tectônica de empurrões na região de Troia–CE. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, Anais...* p. 1721-1728.
- Pessoa R.R., Brito Neves B.B., Kawashita K., Pessoa D.R., Fuck R.A. 1986. Contribuição ao estudo de evolução geocronológica do Maciço de Troia–CE. *In: SBG, 12º Simpósio de Geologia do Nordeste, João Pessoa, Anais...*, p. 1721-1728.
- Prado F.S., Mendonça J.C.G.S., Moraes J.B.A., Medeiros M.F., Assunção P.R.S., Andrade V.A., Medeiros R.P. 1979. *In: Brasil. MME. Projeto Martinópole: relatório final*. Recife, DNPM/CPRM, v 5, Apêndice A.

Rubato D & Hermann J. 2007. Experimental zircon/melt and zircon/garnet trace element partitioning and implications for the geochronology of crustal rocks. *Chemical Geology*, **241**(1):38-61.

Sá E.F.J. de 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. PhD Thesis, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília,DF, 804 p.

Santos E. J. & Medeiros V.C. 1997. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone Domain, Borborema Province, NE Brazil. *In: SGM, 2º International Symposium on Granites and Associated Mineralizations–ISGAM, Salvador, Extended Abstracts and Program*, p. 237-239.

Santos E.J., Brito Neves B.B., Van Schmus W.R., Oliveira R.G., Medeiros V.C. 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. *In: Cordani U.G. et al. Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, Brazil, 31th International Geological Congress, p. 5-9.

Santos E.J., Ferreira C.A., Silva Júnior J.M.F. 2001. *Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba*. Escala 1: 500.000. Recife, CPRM, Convênio DNPM/CPRM/CDRM.

Santos M.M., Lana C., Scholz R., Buick I., Schmitz M.D., Kamo S.L., Wiedenbeck M. 2017. A New Appraisal of Sri Lankan BB Zircon as a Reference Material for LA-ICP-MS U-Pb Geochronology and Lu-Hf Isotope Tracing. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **41**(3), 335-358.

Santos T.J.S. 1999. *Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 186 p.

Santos T.J.S., Dantas E.L., Arthaud M.H., Fuck R.A., Pimentel M.M., Fetter A.H. 2004. Evidências de crosta juvenil neoproterozoica no Ceará. *In: SBG, 42º Congresso Brasileira de Geologia, Anais Digitais*, p. 1175.

Santos T.J.S., Fetter A.H., Nogueira Neto J.A. 2008. Correlation of the west margin of the Transbrasiliano–Kandi lineament in the Borborema Province (NE Brazil) and Pharusian belt (NW Africa). *In: Pankhurst R. J., Trouw R. A. J., Brito Neves B. B.de, Wit M. J. (eds.). West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations A cross the South Atlantic region*. Geological Society, London, p. 101-119. (Special Publications, 294).

Santos T.J.S., Garcia M.G.M., Amaral W.S., Caby R., Wernick E., Arthaud M. H., Dantas E.L., Santosh M. 2009. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, **15** (3-4): 454-470.

Santos T.J.S., Souza G.M., Queiroz H.B., Nogueira Neto J.A., Parente C.V. 2002. Tafrogênese estateriana no embasamento paleoproterozóico do NW da Província Borborema. Uma abordagem petrográfica, geoquímica e geocronológica. *In: SBG, 41º Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa. Anais...*, p. 337.

- Sato K., Basei M.A.S., Siga Júnior O., Sproesser W.M., Passarelli C.R. 2008. Novas técnicas aplicadas ao método U-Pb no CPGeo - IGc/USP: avanços na digestão química, espectrometria de massa (TIMS) e exemplos de aplicação integrada com SHRIMP. *Geol. USP Sér. Cient.*, **8**(2): 77-99.
- Sial A.N. 1986. Granitic rocks of Northeast Brazil: Current Knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(1): 54-72.
- Silva L.C., MacNaughton N.J., Vasconcelos A.M., Gomes J.R.C., Fletcher I.R. 1997. U-Pb SHRIMP ages in southern State of Ceará, Borborema Province, NE Brazil: Archean TTG accretion and Proterozoic crustal reworking. *In: SGM 2º International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, Salvador, Extended abstracts and program.* p. 280.
- Silva M.A., Galindo A.C., Souza R.F., Cavalcante R., Medeiros V.C. 2019. O Stock Serra da Acauã: um exemplo de granito tipo I fracionado oxidado no Domínio Rio Piranhas-Seridó, NE do Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, **19**(3):3-53.
- Sousa H.P. 2016. *Caracterização das unidades máfica-ultramáficas e potencial metalogenético da sequência metavulcanossedimentar Serra das Pipocas (Ceará): um provável greenstone belt.* MS Dissertation, Universidade Federal do Ceará, Ceará-CE, 203 p.
- Stacey J.S. & Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, **26**(2): 207-221.
- Streckeisen A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, **12**:1-33.
- Trompette R. 1994. *Geology of Western Gondwana, Pan-African (2000-500 Ma)-Pan-African Brasileiro aggregation of South America and Africa.* Balkema, Rotterdam A.A., 350 p.
- Van Schmus W.R., Brito Neves B.B., Hacsbacher P.C., Babinsky M., Fetter A., Dantas E.L. 1995. Neoproterozoic and late mesoproterozoic sedimentary and volcanic sequences in the Borborema province, NE Brazil. *In: 14º SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, Atas...*, p. 391-392. (Boletim, 2).
- Van Schmus W.R., Kozuch M., Brito Neves B.B. 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**: 227-252.
- Vasconcelos A.M., Prado F.S., Gomes F.E.M. 1998. *Mapa geológico da Folha Iguatú - SB.24-Y-B. Estado do Ceará.* Escala 1:250.000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Brasília,DF. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- Wetherill G.W. 1956. Discordant uranium-lead ages, I. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **37**(3): 320-326.