

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais - POSMAT

Murilo Candido de Azevedo

**Método de Traços de Fissão, U-Pb e U-Th/He no mineral zircão: Termocronologia da
Província Borborema e sua relação com a Bacia Potiguar**

PRESIDENTE PRUDENTE

2026

MURILO CANDIDO DE AZEVEDO

Método de Traços de Fissão, U-Pb e U-Th/He no mineral zircão:
Termocronologia da Província Borborema e sua relação com a Bacia Potiguar

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz

Coorientador: Dr. Cleber José Soares

Presidente Prudente

2026

D285m	de Azevedo, Murilo Candido Método de traços de fissão, U-Pb e U-Th/He no mineral zircão : termocronologia da Província Borborema e sua relação com a Bacia Potiguar / Murilo Candido de Azevedo. -- Presidente Prudente, 2026 157 p. : il., tabs., mapas Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente Orientadora: Carlos Alberto Tello Sáenz Coorientadora: Cleber José Soares 1. Mineral Zircão. 2. Método de Traços de Fissão. 3. Geocronologia U-Pb. 4. Província Borborema. 5. Bacia Potiguar. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(s).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MURILO CANDIDO DE AZEVEDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 06 de novembro de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de MURILO CANDIDO DE AZEVEDO, intitulada **Método de Traços de Fissão, U-Pb e U-Th/He no mineral zircão: Termocronologia da Província Borborema e sua relação com a Bacia Potiguar**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / UNESP / Câmpus de Presidente Prudente - FCT, Prof. Dr. TIAGO AMANCIO NOVO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Geologia / Universidade Federal de Minas Gerais, Prof. Dr. EDUARDO AUGUSTO CAMPOS CURVO (Participação Virtual) do(a) Instituto de Física / Universidade Federal do Mato Grosso, Prof. Dr. DEUBER LINCON DA SILVA AGOSTINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / UNESP / Câmpus de Presidente Prudente - FCT, Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / UNESP / Câmpus de Presidente Prudente - FCT. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ

RESUMO

Esta pesquisa aplicou de forma integrada a metodologia de datação tripla (Traços de Fissão [MTF], U-Pb e U-Th/He) em zircão para investigar a evolução termocronológica da Província Borborema (PB) e sua relação tectônica com a Bacia Potiguar (BP). Técnicas de caracterização mineral, como microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de catodoluminescência (CL), permitiram correlacionar o estado estrutural dos cristais, especialmente os efeitos de metamictização, com a viabilidade analítica. A geocronologia U-Pb em 14 corpos plutônicos da PB revelou magmatismo Neoproterozoico-Cambriano (521–619 Ma), associado ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, além de heranças crustais, como zircões Paleoproterozoicos no Domínio São José do Campestre, indicando reciclagem significativa. A termocronologia de baixa temperatura (MTF-LA e U-Th/He) revelou história de exumação complexa e multifásica. A maioria das amostras mostrou relação inversa entre idade e concentração de urânio, indicando que idades mais recentes, como os pulsos Cretáceos/Cenozoicos (78–62 Ma), representam “idades de metamictização”, ligadas à redução da temperatura de fechamento em zircões uraníferos. Por outro lado, pulsos Paleozoicos (Ordoviciano ~460 Ma; Carbonífero–Permiano 350–260 Ma) e Mesozoicos (Triássico–Jurássico 242–170 Ma) refletem eventos de exumação genuínos, associados à fragmentação de Gondwana e ao rifteamento do Atlântico Sul. Na Bacia Potiguar, a análise de zircões detríticos confirmou proveniência heterogênea, dominada por fontes do norte da PB. Picos etários U-Pb refletem erosão de blocos crustais Paleoarqueanos a Neoproterozoicos. A Formação Açu (~341 Ma) preserva assinatura térmica Paleozoica das rochas-fonte, enquanto a Formação Jandaíra (12–180 Ma) registra resfriamento pós-deposicional vinculado à reativação Cretácea-Cenozóica. Os resultados demonstram conexão direta entre episódios tectônicos na PB e a evolução sedimentar da BP. A abordagem integrada distingue efeitos de danos de radiação de eventos tectônicos reais, oferecendo restrições cruciais à reconstituição geodinâmica da margem equatorial brasileira e à modelagem de sistemas petrolíferos.

Palavras-chave: Caracterização do Mineral Zircão. Método de Traços de Fissão. Sistemática U-Pb. Geocronologia. Província Borborema. Bacia Potiguar.

ABSTRACT

This research applied an integrated triple-dating methodology (Fission Track [FT], U-Pb, and U-Th/He) in zircon to investigate the thermochronological evolution of the Borborema Province (BPv) and its tectonic relationship with the Potiguar Basin (PB). Mineral characterization techniques, such as scanning electron microscopy and cathodoluminescence (CL) spectroscopy, allowed the correlation between the structural state of the crystals, especially metamictization effects, and analytical viability. U-Pb geochronology in 14 plutonic bodies from the BPv revealed Neoproterozoic–Cambrian magmatism (521–619 Ma), associated with the Brasiliano/Pan-African Cycle, as well as crustal inheritance, including Paleoproterozoic zircons in the São José do Campestre Domain, indicating significant recycling. Low-temperature thermochronology (FT-LA and U-Th/He) revealed a complex, multiphase exhumation history. Most samples showed an inverse relationship between age and uranium content, suggesting that younger ages, such as Cretaceous/Cenozoic pulses (78–62 Ma), represent "metamictization ages" caused by kinetic effects (lowered closure temperatures) in uranium-rich zircons. In contrast, Paleozoic (Ordovician ~460 Ma; Carboniferous–Permian 350–260 Ma) and Mesozoic (Triassic–Jurassic 242–170 Ma) cooling pulses are interpreted as genuine exhumation events related to the breakup of Gondwana and the rifting of the South Atlantic. In the Potiguar Basin, the analysis of detrital zircons confirmed heterogeneous provenance, primarily sourced from northern BPv. U-Pb age peaks reflect erosion of Paleoproterozoic to Neoproterozoic crustal blocks. The Açú Formation (~341 Ma) preserves the Paleozoic thermal signature of the source rocks, whereas the Jandaíra Formation (12–180 Ma) records post-depositional cooling associated with Cretaceous–Cenozoic reactivation. The results establish a direct link between tectonic reactivation episodes in the BPv and the sedimentary evolution of the PB. This integrated approach, capable of distinguishing radiation damage effects from true tectonic events, provides essential thermochronological constraints for reconstructing the geodynamics of the Brazilian equatorial margin and for modeling petroleum systems.

Keywords: Zircon Mineral Characterization. Fission Track Method. U-Pb Systematics. Geochronology. Borborema Province. Potiguar Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da porção Norte da Província Borborema e Bacia Potiguar com amostragem.	2
Figura 2 - Variações Externas da Morfologia do Zircão	6
Figura 3 - Reclassificação de Grãos Após Ataque Químico.	8
Figura 4 - Mapa da porção Norte da Província Borborema	19
Figura 5 - Brasil e África no contexto de Gondwana Ocidental, com a Província Borborema acima do cráton São Francisco	20
Figura 6 - Mapa Geológico da Bacia Potiguar (A). Imagem por Satélite da Região (B).	23
Figura 7 - Carta Estratigráfica da Bacia Potiguar	24
Figura 8 - Processos de separação: (A) coleta da rocha; (B) britador de mandíbula Jaw Crusher; (C) peneiras granulométricas; (D) mesa vibratória; (E) Frantz; (F) funil de separação com líquidos pesados; (G) porção de minerais separados	32
Figura 9 - Equipamentos de montagem do zircão: (A) separação manual de minerais; (B) chapa térmica para incrustação do zircão em polímero teflon; (C) matriz de zircão encrustada em polímero teflon; (D) lixamento e polimento em politriz, (E) ataque químico em forno elétrico	33
Figura 10 - Microscópio óptico Leica MC170 HD	34
Figura 11 - Contagem de traços espontâneos em grão homogêneo	34
Figura 12 - Sistema LA-ICP-MS	35
Figura 13 - Sistema LA-ICP-MS do <i>London Geochronology Center</i>	36
Figura 14 - Micrografia de zircão com região delimitada para o laser com luz transmitida e aumento nominal de 500x	37
Figura 15 - As séries de decaimento de ^{232}Th , ^{235}U e ^{238}U , que formam a base dos métodos das séries U-Th-Pb, U-Th-He e U-Th	40
Figura 16 - Ilustração das diferentes meias-vidas de ^{232}Th , ^{238}U e ^{235}U por meio do decaimento do isótopo-pai e do crescimento interno do isótopo-filho	41
Figura 17 - Diagrama de concórdia Wetherill	44
Figura 18 - Representação esquemática do efeito da incorporação de chumbo comum Pb_c nos diagramas de concórdia U-Pb. (a) Diagrama de Concórdia Inverso (Tera-Wasserburg), no qual a interseção com o eixo Y representa a composição do Pb_c . (b) Diagrama de Concórdia Convencional (Wetherill).	45
Figura 19 - Element 2 HR-ICP-MS	48
Figura 20 - MTF-LA da amostra OD-3: (A) Estimativa de Densidade Kernel, (B) Média Ponderada; (C) Radial plot.	52
Figura 21- U-Pb na amostra OD-3: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel; (C) Radial plot.	53
Figura 22 - MTF da amostra FCT: (A) Estimativa de Densidade Kernel, (B) Média Ponderada; (C) Radial plot.	54
Figura 23 - U-Pb na amostra FCT: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel; (C) Radial plot.	55
Figura 24 - MTF na amostra Apodi: (A) Flutuação de Idades; (B) Radial plot.	56
Figura 25 - U-Pb na amostra Apodi: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel.	57
Figura 26 - MTF na amostra Açú: (A) Distribuição de Idades em scatter; (C) Radial Plot.	59
Figura 27 - U-Pb na amostra Açú: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel.	61

Figura 28 - Amostra FT06: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de U-Pb Tera-Wasserburg, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	64
Figura 29 - Amostra CEBP321: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	66
Figura 30 - Amostra CEBP35: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	69
Figura 31 - Amostra CEBP317: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	71
Figura 32 - Amostra CEBP314: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	72
Figura 33 - Amostra FT02: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	75
Figura 34 - Amostra FT04: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	77
Figura 35 - Amostra CEBP112: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	79
Figura 36 - Amostra FT03: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	80
Figura 37 - Amostra W03: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	83
Figura 38 - Amostra CEBP219: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Estimativa de Densidade Kernel; (D) Idade Média Ponderada.	85
Figura 39 - Amostra CEBP285: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	86
Figura 40 - Amostra CEBCEI175: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	88
Figura 41 - Amostra CEBCEI031: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. - Propriedades do zircão	4
Tabela 2 - Coordenadas das Amostras da Província Boborema, Natal – RN, Brasil.....	18
Tabela 3 - Subdivisão de domínios tectônicos da Província Borborema.	20
Tabela 4 - Estratigrafia e principais características das unidades geológicas da Bacia Potiguar.	25
Tabela 5 - Processo de separação da amostra.....	31
Tabela 6 - Processo de Montagem da Amostra.	32
Tabela 7 - Valores dos fatores da Equação de Idade para MTF.....	38
Tabela 8 - Abundâncias, meias-vidas e constantes de decaimento dos principais isótopos naturais de urânio e tório.	40
Tabela 9 - Micrografia óptica de luz transmitida, Imagem de Elétrons Secundários e Catodoluminescência de grãos de diferentes categorias.....	49
Tabela 10 - Idades das amostras padrão de zircão utilizadas para calibração.	51
Tabela 11 - Idades U-Pb da Província Borborema	62
Tabela 12 - Idades U-Th/He de grãos selecionados da Província Borborema	91

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

a.u – Ausente de Unidade.
BDS – Detector Backscattering.
BSE – acrônimo de *Back-scattered electron*.
CL – catodoluminescência.
DCC – Domínio Ceará Central.
DETRAN – Detectores de Traços Nucleares.
DJ – Domínio Jaguaribeano.
DMC – Domínio Médio Coreaú.
DRPS – Domínio Rio Piranhas-Seridó.
DSJC – Domínio São José do Campestre.
EDS – Detector Energy dispersive spectroscopy.
FCT – Fish Canyon Tuff.
FWHM – acrônimo de *Full Width at Half Maximum*.
HR-ICP-MS - espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado de alta precisão.
IFGW - Instituto de Física "Gleb Wataghin".
IR – acrônimo de *Infrared light*.
IUGS - International Union of Geological Sciences.
KDE – Estimativa de Densidade Kernel.
LA-ICP-MS – espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado com ablação a laser.
MDE – Método do Detector Externo.
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura.
MO – Microscopia Óptica.
MTF – Método de Traços de Fissão.
MTF-LA – Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS
ppm - Partes por milhão.
REE – Rare Earth Elements/Elementos de Terras Raras.
ZAP – Zona de Annealing Parcial.
ZAT – Zona de Annealing Total.

LISTA DE SÍMBOLOS

%a – porcentagem atômica.

%p – porcentagem em peso.

°C – graus Celsius.

³⁹Ar – isótopo de argônio com massa atômica de 39u.

⁴⁰Ar – isótopo de argônio com massa atômica de 40u.

¹⁴⁷Sm – isótopo de samário com massa atômica de 147u.

²⁰⁴Pb - isótopo de chumbo com massa atômica 204u.

²⁰⁶Pb - isótopo de chumbo com massa atômica 206u.

²⁰⁷Pb - isótopo de chumbo com massa atômica 207u.

²⁰⁸Pb – isótopo de chumbo com massa atômica 208u.

²³²Th - isótopo de tório com massa atômica de 232u.

²³⁵U - isótopo de urânio com massa atômica de 235u.

²³⁸U - isótopo mais abundante de urânio com massa atômica de 238u.

⁴He – isótopo de hélio com massa atômica 4u.

⁹¹Zr – isótopo de zircônio com massa atômica 91u.

A - Ampere

a⁻¹ – por ano.

E – energia.

eV – elétron-volt.

g/cm³ – gramas por centímetro cúbico.

Ga – bilhões de anos (10⁹ anos).

HCl – ácido clorídrico.

HF – ácido fluorídrico.

HfO₂ – óxido de Háfnio.

ka – milhares de anos (10³ anos).

KOH – hidróxido de potássio.

Ma – milhões de anos (10⁶ anos).

MeV – mega elétron-volts (10⁶ eV).

NaOH – hidróxido de sódio.

R_M – probabilidade por núcleo alvo da reação ²³⁵U ocorrer na amostra durante a irradiação.

SiO₂ – dióxido de silício.

UO₂ – dióxido de urânio.

U-Pb – cronometria de urânio-chumbo.

U-Th/He – cronometria de urânio-tório/hélio.

ZrO₂ – dióxido de zircônio.

α – emissão alfa.

β – emissão beta.

ζ – calibração Zeta.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Zircão	3
1.1.1 Aplicações do zircão na indústria	7
1.1.2 Classificação do Zircão Pós-ataque químico	7
1.2 Métodos de Datação	9
1.2.1 Método de Traços de Fissão	9
1.2.2 Método U-Pb	10
1.2.3 Evolução cronológica das metodologias MTF e U-Pb	11
1.2.4 Método U-Th/He	13
1.3 Região de Interesse Geológico	14
1.3.1 Discussão geológica	15
1.4 Finalidade da pesquisa	15
2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÕES	17
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	18
3.1 Província Borborema	19
3.1.1 Domínio São José do Campestre	21
3.1.2 Domínio Rio Piranhas-Seridó	21
3.1.3 Domínio Jaguaribeano	22
3.1.4 Domínio Ceará Central	22
3.1.5 Domínio Médio Coreaú	22
3.2 Bacia Potiguar	22
3.2.1 Formação Açu	25
3.2.2 Formação Jandaíra	27
3.3 Conexão da Bacia Potiguar com a Província Borborema	28
3.4 Cráton do Congo	29
3.4.1 Conexão com a Província Borborema e Bacia Potiguar	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Preparação da Amostra	31
4.1.1 Montagem das amostras	32
4.1.2 Contagem dos Traços de Fissão	33
4.1.3 Espectrometria de massa (sistema LA-ICP-MS)	34
4.2 Fundamentos Teóricos das análises radiométricas	36
4.2.1 Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS	36
4.2.1.1 Calibração Zeta (ζ)	38

4.2.2 Sistemática U-Pb	39
4.2.2.1 Equação da Idade U-Pb	42
4.2.2.2 Diagrama de Concórdia	43
4.2.2.2.1 Diagrama de Concórdia Wetherill	43
4.2.2.2.2 Diagrama de Concórdia de Tera-Wasserburg	45
4.2.2.3 Interpretação de dados	46
4.3 Cronometria U-Th/He	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	49
5.2 Amostras Padrão	51
5.2.1 Amostra Kawamoto Granodiorito (OD-3)	52
5.2.2 Amostra <i>Fish Canyon Tuff</i> (FCT)	53
5.3 Bacia Potiguar	55
5.3.1 Amostra APODI	55
5.3.1.1 MTF-LA – Apodi	56
5.3.1.2 U-Pb - Apodi	57
5.3.2 Amostra AÇU	59
5.3.2.1 MTF - AÇU	59
5.3.2.2 U-Pb - AÇU	60
5.4 Província Borborema	62
5.4.1 São José do Campestre	63
5.4.1.1 Serrinha-Jundiaí (FT-06)	63
5.4.1.2 Monte das Gameleiras (CEBP-321)	65
5.4.1.3 Barcelona (CEBP-35)	67
5.4.2 Rio Piranhas-Seridó (DRPS)	69
5.4.2.1 Acari - Granito (CEBP-317)	70
5.4.2.2 Acari - Diorito (CEBP-314)	71
5.4.2.3 Serra da Garganta (FT-02)	73
5.4.2.4 Catolé do Rocha (FT-04)	75
5.4.2.5 Caraúbas (CEBP-112)	77
5.4.2.6 Umarizal (FT-03)	79
5.4.3 Jaguaribeano (DJ)	81
5.4.3.1 Pereiro (W-03)	81
5.4.3.2 Norte Jaguaribe (CEBP-219)	83
5.4.4 Ceará Central (DCC)	85
5.4.4.1 Quixadá (CEBP-285)	85
5.4.4.2 Uruburetama-Itapipoca (CEBCEI-175)	87

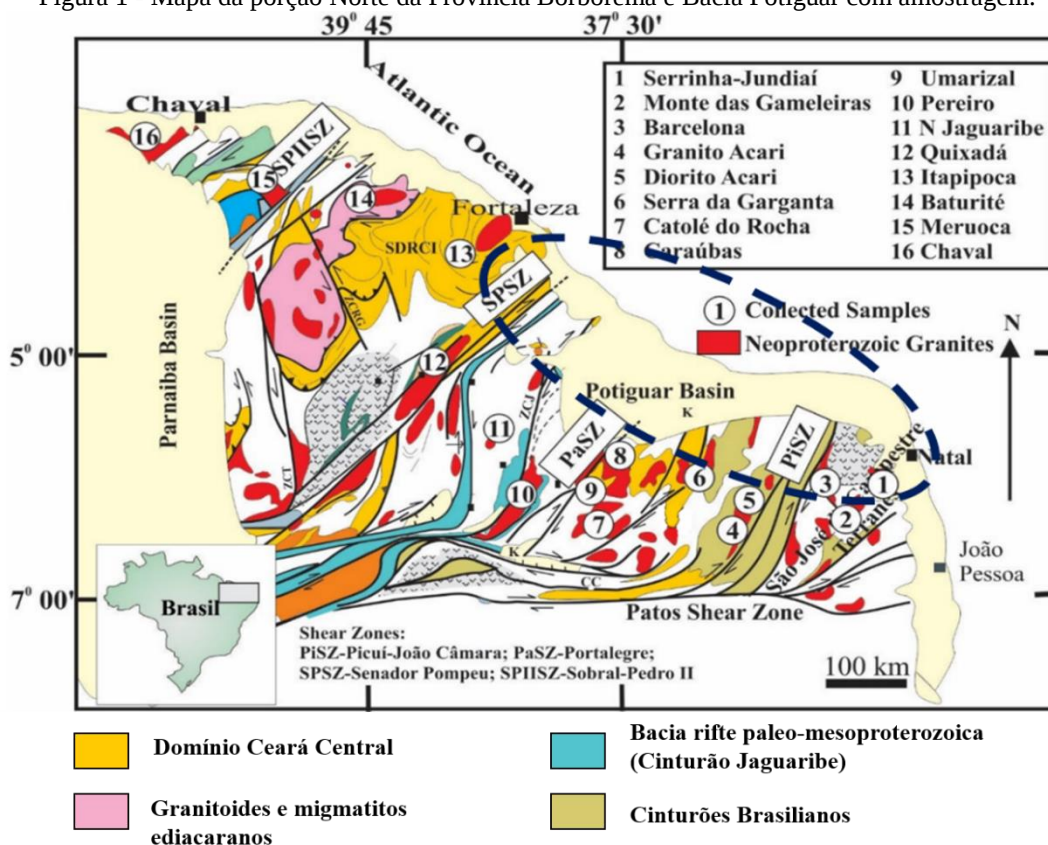
5.4.5 Médio Coreau (DMC)	88
5.4.5.1 Meruoca (CEBCEI-031).....	89
5.5 Idades U-Th/He.....	90
6 CONCLUSÃO.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO

A termocronologia tem se consolidado como uma ferramenta essencial para o entendimento da evolução geológica de bacias sedimentares e cinturões orogênicos, permitindo a reconstrução de trajetórias térmicas e eventos tectônicos ao longo do tempo geológico. Métodos como Traços de Fissão (MTF), U-Pb e U-Th/He aplicados ao mineral zircão oferecem abordagens complementares que auxiliam na obtenção de dados cronológicos precisos e na interpretação dos processos de exumação e resfriamento de diferentes contextos tectônicos (Reiners e Brandon, 2006). O zircão, em particular, destaca-se como um excelente registrador de informações geológicas devido à sua resistência química e mecânica, além de sua capacidade de incorporar e reter isótopos em sistemas fechados (Faure e Mensing, 2005).

A aplicação de métodos cronométricos no estudo de minerais acessórios como o zircão tem avançado significativamente nas últimas décadas, permitindo compreender em detalhes a história térmica e tectônica de bacias sedimentares e províncias geológicas. Esta tese de doutorado foca no uso combinado dos métodos MTF, U-Pb e U-Th/He para investigar a termocronologia da Bacia Potiguar e sua relação com a Província Borborema, regiões que podem ser vistas no mapa da Figura 1. A metodologia tripla possibilita análises complementares, fornecendo um retrato abrangente dos processos geológicos envolvidos na formação e evolução dessas regiões.

Figura 1 - Mapa da porção Norte da Província Borborema e Bacia Potiguar com amostragem.



Fonte: Prof. Dr Jaziel Martins de Sá, UFRN, Natal, Brasil.

Entre as metodologias empregadas na datação geológica, destaca-se o Método dos Traços de Fissão, técnica pioneira amplamente reproduzida em diversos laboratórios (Naeser, 1969; Gleadow *et al.*, 1976). Além desta, utiliza-se o U-Pb, técnica que se baseia na determinação das relações isotópicas entre urânio e chumbo em zircões, permitindo a obtenção de idades precisas para eventos de cristalização e metamorfismo (Gehrels 2014; Spencer *et al.*, 2016) bem como o U-Th/He, técnica que se fundamenta na medição da concentração acumulada de hélio resultante do decaimento dos isótopos de urânio e tório em zircões, sendo particularmente sensível a temperaturas de fechamento mais baixas (Reiners, 2005).

Essas três metodologias, designadas coletivamente de “datação tripla” por possibilitarem a realização de análises *in situ* a partir da mesma amostra, oferecem uma abordagem robusta para estudos termocronológicos. Tal estratégia é ideal para a investigação de bacias sedimentares, em que uma ampla faixa de temperaturas registradas – aproximadamente de 70 °C na apatita e ~ 180 °C no zircão (representando os limites inferiores do U-Th/He) até 900 °C (correspondente aos limites superiores do U-Pb) – pode ser explorada. Em tais estudos, a análise de um número significativo de grãos permite identificar idades

estatisticamente e geologicamente compatíveis, por meio da determinação simultânea dos isótopos parentais (U, Th, Sm) e de seus produtos filhos (Pb, traços de fissão e He) nos mesmos grãos correspondentes a uma alíquota, fornecendo uma reconstrução detalhada da evolução térmica e tectônica da região (Vermeesch, 2004).

Esta pesquisa é complementar com o estudo de Azevedo (2021), no qual relacionou traços de fissão e U-Th/He de amostras de Borborema em amostras de zircão; outros estudos também fizeram análises termocronológicas a partir dessas 3 metodologias de datação, como Vaz Santos (2024), estudo com traços de fissão, U-Pb e U-Th/He em amostras de zircão e apatita; Dias (2012), é um trabalho que realizou datações duplas em zircão, combinando métodos como Traços de Fissão e U-Pb para análise de zircões extraídos de rochas sedimentares da Bacia Bauru.

1.1 Zircão

O zircão (ZrSiO_4) é um mineral acessório amplamente presente em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, caracterizado por sua elevada estabilidade química e física. Sua estrutura cristalina permite a incorporação de elementos traço, como urânio (U), tório (Th) e háfnio (Hf), com concentrações médias de U e Th em torno de 419 ppm (Marsellos e Garver, 2010).

A razão Th/U é um parâmetro eficaz para distinguir a origem dos cristais de zircão. Valores superiores a 0,1 indicam geralmente uma gênese magmática, enquanto razões abaixo de 0,1 são características de processos metamórficos, resultantes da perda de tório para fluidos ou minerais concorrentes. Contudo, essa classificação geoquímica não deve ser usada isoladamente; é essencial validá-la com a análise textural (imagens de catodoluminescência).

Devido ao enriquecimento em isótopos radiogênicos e à resistência ao retrabalho metamórfico e sedimentar, o zircão é um dos principais minerais utilizados em geocronologia e termocronologia. Sua aplicação permite a determinação precisa de idades de cristalização, metamorfismo e exumação, fornecendo informações fundamentais para a reconstrução da evolução crustal e de processos geotectônicos.

Na tabela 1 se encontram suas principais propriedades cristalográficas e termocronológicas:

Tabela 1. - Propriedades do zircão

Fórmula Geral	ZrSiO₄
Dureza	7.5 Mohs
Densidade	4.6 g/cm ³
Ponto de fusão	~ 2500 °C
Índice de Refração	1.3 ~ 2.0
Estrutura Cristalina	Tetragonal
Impurezas comuns	Hf,Th,U,REE,O,H,H ₂ O , Fe,Al,P
Temperatura de fechamento MTF	180 °C ~ 230 °C
Temperatura de fechamento U-Pb	~900–1000°C
Temperatura de fechamento U-Th/He	150–200°C

Fonte: (Mindat; Minerals.net; Geoscience Australia).

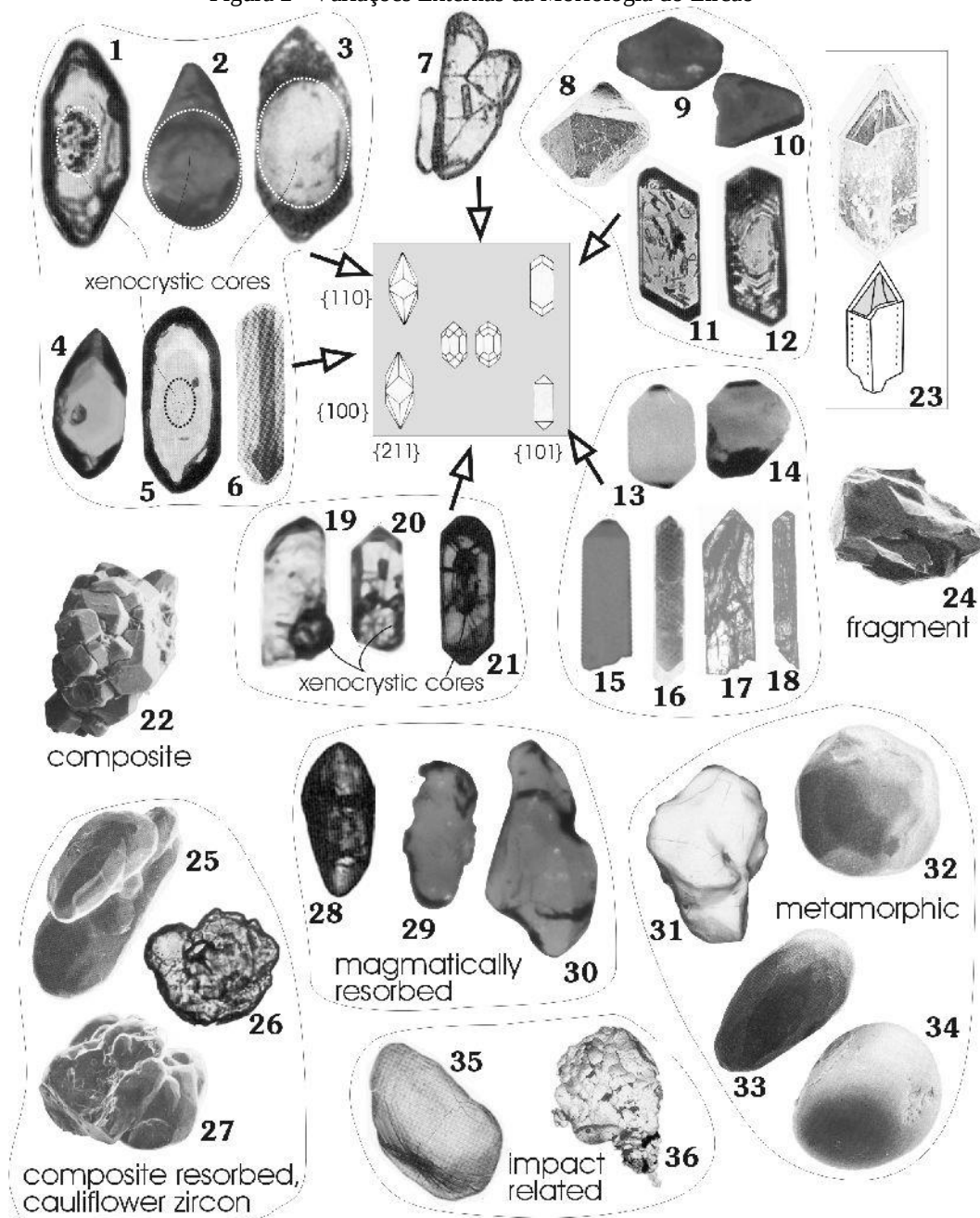
A estrutura cristalina do zircão pertence ao sistema tetragonal, caracterizada por uma rede de tetraedros de silício (SiO₄) e poliedros de zircônio (ZrO₈) (Mineralogical Association of Canada). Essa configuração confere ao mineral uma alta resistência a processos de metamorfismo e intempéries, preservando informações químicas e isotópicas ao longo de bilhões de anos. Estudos recentes têm explorado a incorporação de Hf no zircão, uma vez que o háfnio é um análogo químico do zircônio e pode substituí-lo na estrutura cristalina. A razão Zr/Hf no zircão tem sido utilizada como indicador da evolução magmática e do grau de diferenciação dos magmas (Silva; Costa; Machado, 2022). Além disso, a resistência térmica do zircão é notável, com a temperatura de fechamento para o sistema Hf no zircão estimada em cerca de 200 °C, o que assegura a retenção de informações isotópicas mesmo sob condições metamórficas moderadas (Bertotti; Chemale JR.; Kawashita, 2009). A aplicação de técnicas analíticas avançadas, como a espectrometria de massa com plasma acoplado por ablação a laser (LA-ICP-MS), tem permitido a obtenção de dados isotópicos de alta precisão em zircões, aprimorando a compreensão dos processos magmáticos e metamórficos. Por exemplo, a análise das razões isotópicas de Hf em zircões tem elucidado a contribuição de fontes mantélicas e crustais na formação de rochas graníticas (Bertotti; Chemale JR.; Kawashita, 2009).

O zircão é amplamente reconhecido como um mineral singular para estudos geocronológicos e termocronológicos devido à sua alta resistência química e mecânica, bem como à sua capacidade de reter isótopos radiogênicos ao longo de bilhões de anos, mesmo em condições geológicas extremas (Faure e Mensing, 2005; Reiners e Brandon, 2006). Cada

método aplicado ao zircão possui uma temperatura de fechamento distinta, permitindo a reconstrução de eventos térmicos em diferentes escalas temporais. O método U-Th/He apresenta uma temperatura de fechamento em torno de 180 °C, ideal para identificar processos de exumação superficial (Farley, 2002). O MTF possui uma temperatura de fechamento de aproximadamente 240 ± 20 °C, sendo amplamente utilizado para estudar a história de soterramento e exumação intermediária (Gallagher e Brown, 1997). Já o método U-Pb, que registra a idade de cristalização do mineral, tem uma temperatura de fechamento acima de 900 °C, tornando-se essencial para identificar eventos de cristalização magmática e metamórfica (Wetherill, 1956).

Na figura 2 temos um infográfico da grande variabilidade morfológica na qual o zircão pode se apresentar, a depender de seu contexto geológico.

Figura 2 - Variações Externas da Morfologia do Zircão



Fonte: Corfu *et al.*, 2003.

A Figura 2 apresenta as variações na morfologia externa dos grãos, com dimensões que variam entre 70 e 250 μm , evidenciando diferentes razões comprimento-largura e tipologias classificadas de acordo com o desenvolvimento de faces cristalinas prismáticas e piramidais. As análises revelam a presença de núcleos xenocristalinos, inclusões minerais e distintos graus de fraturamento. Observam-se ainda pirâmides isoladas em núcleos subarredondados, cristais geminados e sem prismas, além de formatos achatados. Adicionalmente, são identificados prismas fraturados, núcleos sobrecrecidos, agregados em plútons, cristais ocos e fragmentos

típicos de rochas máficas. Também são descritos grãos reabsorvidos, incluindo formas irregulares como o zircão em estrutura de couve-flor, além de exemplares submetidos a processos magmáticos, metamórficos ou associados a impactos meteoríticos, evidenciando a ampla diversidade morfológica desse mineral sob diferentes condições geológicas.

1.1.1 Aplicações do zircão na indústria

O zircão e sua derivada, a zircônia, são amplamente utilizados na indústria devido às suas propriedades, como alto ponto de fusão, resistência química e estabilidade térmica. A principal aplicação ocorre no setor cerâmico, que consome cerca de 54% da produção global, sendo 85% desse volume destinado à fabricação de ladrilhos. Além de atuar como opacificante, melhorando a brancura, o zircão é essencial em cerâmicas avançadas – tais como eletrocerâmicas e cerâmicas estruturais para componentes industriais e biomédicos. Na indústria de fundição e refratários, ele é empregado na moldagem em areia, na fundição sob pressão e em tintas refratárias, e sua resistência térmica, aliada à estabilidade dimensional, o torna indispensável para fornos e caldeiras industriais, especialmente quando combinado com compostos como alumina e magnésia (Zircon Association, s.d.; Periodic Table Guide, s.d.).

Além disso, o zircão desempenha um papel fundamental na eletrônica, sendo utilizado na fabricação de capacitores e sensores devido à sua alta constante dielétrica e estabilidade térmica; no setor de vidros, atua como absorvedor de raios X em tubos de raios catódicos e contribui para a resistência do vidro, sendo empregado também na fabricação de vidros para painéis de plasma. Na indústria nuclear, é utilizado como material estrutural por sua resistência e estabilidade em condições extremas. Por fim, no setor joalheiro, o zircão é valorizado pelo brilho intenso, variedade de cores e custo acessível, configurando-se como uma alternativa atraente a outras gemas preciosas (Zircon Association, s.d.; Periodic Table Guide, s.d.).

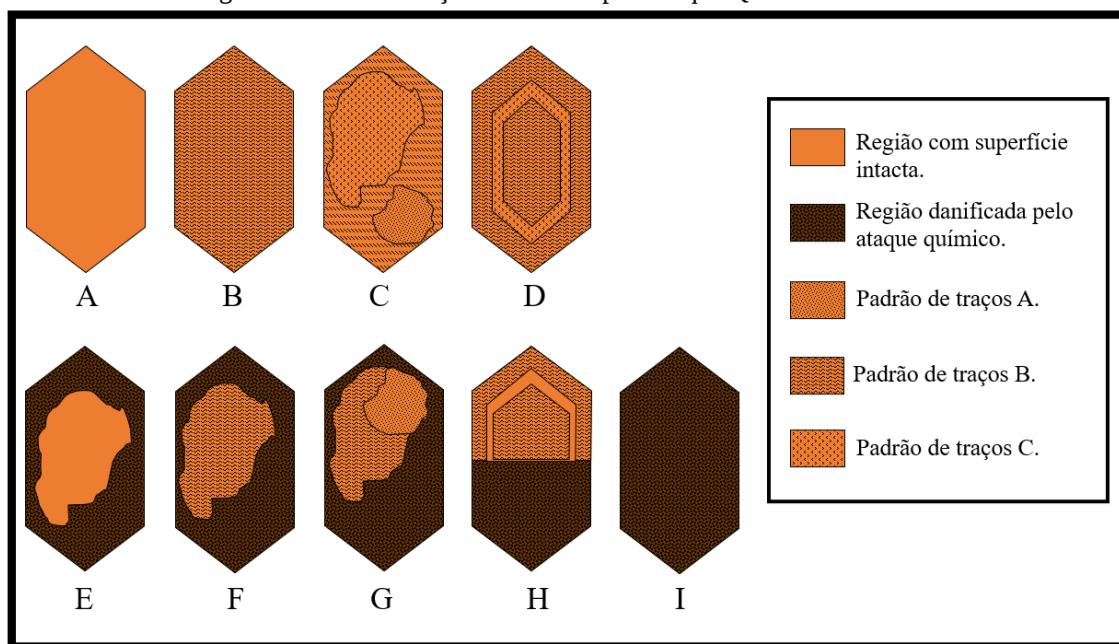
1.1.2 Classificação do Zircão Pós-ataque químico

Pesquisas na caracterização no zircão através da revelação de traços por ataque químico permitiram classificar quatro tipos de grãos: anômalos, homogêneos, híbridos e heterogêneos (Dias, 2008; Dias *et al*, 2009; Tello *et al.*, 2012; Resende, 2014; Resende, 2015; Resende *et al.*, 2019).

Azevedo (2021) propôs uma nova classificação para grãos de zircão, conforme Figura 3, integrando informações anteriores com novas definições baseadas na resposta ao ataque

químico. Nesta abordagem, *grãos íntegros* são aqueles cuja superfície permanece inalterada após o ataque químico; *grãos danificados* apresentam sua superfície completamente alterada de forma destrutiva, sendo sempre anômalos; *grãos híbridos* possuem tanto áreas íntegras quanto danificadas; *grãos homogêneos* apresentam uma distribuição uniforme de traços na região íntegra; e *grãos heterogêneos* exibem uma distribuição irregular de traços, ou mesmo mais de um padrão de distribuição de traços, delimitados de formas lineares (por zoneamento) ou de forma desproporcional.

Figura 3 - Reclassificação de Grãos Após Ataque Químico.



Fonte: Azevedo (2021).

Grão Íntegro – Anômalo [A], Homogêneo [B], Heterogêneo Irregular [C], em camadas [D]; Grão Híbrido – Anômalo [E], Homogêneo [F], Heterogêneo (Irregular [G], em camadas [H]); Grão Danificado – Anômalo [I].

A metamictização refere-se à degradação estrutural do cristal devido à autoirradiação por partículas alfa emitidas pelas cadeias de decaimento dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th . À medida que o grau de metamictização aumenta, a fração de áreas danificadas no mineral também cresce. Como resultado, amostras geologicamente mais jovens tendem a conter uma maior proporção de grãos íntegros, enquanto amostras mais antigas apresentam um número superior de grãos danificados e híbridos. Grãos altamente metamictizados sofrem maior perda de isótopos, incluindo a mobilização de Pb radiogênico em meio aquoso, o que pode impactar negativamente as idades U-Pb (Geisler *et al.*, 2003; Nasdala *et al.*, 2004).

A viabilidade da datação de um grão depende diretamente de seu estado estrutural. Regiões altamente danificadas podem comprometer a integridade do sistema isotópico, facilitando a difusão de radioisótopos. Grãos danificados não são adequados para aplicação do MTF nem para datação U-Pb (Tello *et al.*, 2012; Resende *et al.*, 2019). Em contrapartida, grãos homogêneos e heterogêneos são preferenciais para uma abordagem combinada, permitindo a obtenção simultânea de idades pelo MTF e U-Pb.

1.2 Métodos de Datação

1.2.1 Método de Traços de Fissão

O método de datação por traços de fissão baseia-se na formação de danos estruturais no retículo cristalino de minerais, como o zircão, resultantes da fissão espontânea do isótopo ^{238}U . Esses danos, denominados traços de fissão, apresentam-se como trilhas lineares visíveis por microscopia óptica após um ataque químico controlado. A densidade dessas trilhas é proporcional à concentração de urânio e ao tempo decorrido desde a cristalização ou resfriamento do mineral, permitindo a reconstrução de histórias térmicas e a determinação de idades de resfriamento em contextos sedimentares e tectônicos. A incorporação de espectrometria de massa com laser de ablação aprimora a precisão do método, minimizando incertezas associadas à quantificação do urânio e proporcionando idades compatíveis com as obtidas por técnicas convencionais, como o detector externo (Iwano *et al.*, 2020).

O decaimento do ^{238}U na rede cristalina ocorre por emissão de partículas alfa ou por fissão espontânea, sendo que os fragmentos da fissão possuem energias da ordem de centenas de MeVs. A fissão espontânea gera desarranjos estruturais lineares (traços latentes) com aproximadamente 20 μm de comprimento, que são preservados na estrutura cristalina abaixo da zona de annealing parcial (ZPAZ). Enquanto a acumulação de danos alfa progressivamente degrada a cristalinidade (metamictização), os traços de fissão funcionam como geotermômetros sensíveis, estáveis em temperaturas geológicas moderadas ($\sim 200\text{--}320^\circ\text{C}$), mas apagado total ou parcialmente em temperaturas superiores. Após corrosão química, esses traços latentes ampliam-se até dimensões micrométricas, permitindo sua observação e contagem por microscopia óptica para a datação pelo método MTF.

Na ausência de eventos térmicos intensos capazes de recrystalizar completamente os traços, estes acumulam-se ao longo do tempo, permitindo a estimativa da quantidade de ^{238}U que sofreu fissão espontânea. A idade obtida corresponde ao tempo transcorrido desde que o

mineral atingiu a temperatura de fechamento, sendo, portanto, um indicador robusto do início da amostra.

1.2.2 Método U-Pb

A datação U-Pb no zircão é uma das técnicas mais confiáveis para determinar idades geológicas, devido à incorporação de urânio (^{238}U e ^{235}U) e à exclusão de chumbo comum durante a formação do mineral. Durante o decaimento radioativo, o urânio transforma-se em chumbo (^{206}Pb e ^{207}Pb), e a razão isotópica resultante é usada para calcular a idade de cristalização do zircão.

Esse processo ocorre através de duas cadeias de desintegração independentes, conhecidas como séries do Urânio e do Actínio. O isótopo pai ^{238}U decai para o isótopo filho estável ^{206}Pb com uma meia-vida de aproximadamente 4,47 bilhões de anos, emitindo 8 partículas alfa e 6 partículas beta ao longo da cadeia. Simultaneamente, o isótopo ^{235}U decai para o ^{207}Pb com uma meia-vida significativamente menor, de cerca de 704 milhões de anos (série do Actínio), envolvendo a emissão de 7 partículas alfa e 4 beta. Como as taxas de decaimento são constantes e distintas, a existência desses dois geocronômetros acoplados no mesmo cristal permite avaliar a concordância isotópica, validando se o sistema permaneceu fechado desde a cristalização.

O método U-Pb é notável por sua alta precisão, sendo frequentemente aplicado na identificação de eventos magmáticos, metamórficos e sedimentares.

Avanços recentes em técnicas de ablação a laser permitiram maior resolução espacial e precisão, possibilitando a análise de zonas microscópicas de crescimento em cristais de zircão, o que é crucial para amostras heterogêneas. Por exemplo, melhorias no sistema de cones de amostragem em plasma aumentaram significativamente a sensibilidade e reduziram os efeitos de fracionamento isotópico, tornando a técnica ideal para análise de grãos pequenos e heterogêneos (Wu *et al.*, 2020). Além disso, o uso de padrões externos adequados para calibração minimizou os efeitos de matriz¹ e garantiu resultados consistentes, mesmo em condições adversas de análise (Shenghua *et al.*, 2020).

¹ O **efeito de matriz** ocorre quando as características físicas ou químicas da amostra interferem na medição do instrumento. No método LA-ICP-MS, diferenças estruturais (como o grau de dano no cristal) ou de composição entre a amostra e o padrão de referência fazem com que o laser vaporize o material de formas distintas. Isso altera a quantidade relativa de isótopos que chegam ao detector, gerando erros no cálculo da idade se não forem utilizados padrões compatíveis (*matrix-matching*).

1.2.3 Evolução cronológica das metodologias MTF e U-Pb

Hasebe *et al.* (2004) realizaram o primeiro estudo usando LA-ICP-MS para o MTF, uma prática teorizada por Cox *et al.* (2000) e Košler & Sylvester (2003). Posteriormente, Donelick *et al.* (2005), Hasebe *et al.* (2009) e Chew e Donelick (2012) adicionaram informações experimentais e demonstraram a eficácia dessa metodologia.

As metodologias geocronológicas têm experimentado avanços significativos graças às contribuições de Pieter Vermeesch, que aprimorou tanto a datação por traços de fissão quanto a U-Pb. Vermeesch (2019) apresentou uma abordagem estatística robusta para a termocronologia por traços de fissão, fundamentada na utilização de gráficos radiais, estimativas de densidade kernel e modelos de efeitos aleatórios, os quais permitiram quantificar com maior rigor as elevadas incertezas e a dispersão dos dados obtidos em análises detritais (Vermeesch, 2019). Posteriormente, Vermeesch (2022), o autor desenvolveu um novo algoritmo para a datação U-Pb por espectrometria de massa de íons secundários (SIMS), que, ao tratar os dados como informações composicionais por meio de estatísticas de log-razão e incorporar a natureza discreta dos sinais (modelo Poisson), corrigiu problemas críticos de acurácia e precisão decorrentes dos métodos tradicionais – garantindo resultados independentes da forma como os raios isotópicos são calculados (Vermeesch, 2022). Ademais, essas inovações foram integradas no software IsoplotR, lançado em 2018, ferramenta livre e de código aberto que implementa funções para regressão isocrona (inclusive em situações de dispersão excessiva ou “errocróns”), para a geração de distribuições acumuladas de idades e para o cálculo de médias ponderadas, contribuindo assim para a padronização e disseminação dos métodos geocronológicos modernos (Vermeesch, 2018).

Soares *et al.*, (2013) apresenta uma nova calibração para datação por traços de fissão baseada em LA-ICP-MS (MTF-LA), incorporando um fator de eficiência interna obtido pela medição do comprimento projetado dos traços de fissão.

Como evidencia Košler e Sylvester (2003), este artigo marca um ponto de transição incluindo o uso de comprimentos de onda de laser mais curtos, pulsos de laser mais curtos e o desenvolvimento de estratégias de amostragem aprimoradas para reduzir ainda mais o fracionamento de elementos.

Os primeiros trabalhos que desenvolveram a metodologia U-Pb *in situ* foram realizados com o desenvolvimento do espectrômetro de massa de íons secundários de alta resolução (SIMS ou SHRIMP). Esta técnica demonstrou a existência de heterogeneidades de idade dentro de cristais únicos de zircão e outras fases acessórias. A datação *in situ* por sonda iônica consegue

uma precisão analítica que é apenas uma ordem de magnitude inferior à da técnica convencional de espectrometria de massa de diluição isotópica-ionização térmica (ID-TIMS). No entanto, tem a vantagem de identificar mais facilmente porções concordantes de grãos, não requer tratamento químico de amostras antes da análise, é essencialmente não destrutiva e pode atingir maiores rendimentos de amostras.

O LA-ICP-MS surgiu em 1985 e tornou-se rapidamente uma ferramenta analítica importante para determinações de elementos traço em amostras geológicas. Os trabalhos pioneiros de Feng *et al.* (1993), Fryer *et al.* (1993), Hirata e Nesbitt (1995) e Jackson *et al.* (1996) demonstraram bem o potencial da amostragem a laser para datação *in situ* por ICPMS. No entanto, esses estudos também revelaram as principais dificuldades com o método, ou seja, grande e variável discriminação de isótopos (polarização de massa²) devido a efeitos de carga espacial na região da interface do instrumento e pilha de lentes eletrostáticas do ICPMS, fracionamento elementar de U e Pb no local de ablação e disponibilidade limitada de padrões minerais adequados necessários para corrigir a polarização de massa.

Além disso, a sensibilidade dos traços de fissão à temperatura permite inferências detalhadas sobre o histórico térmico de amostras geológicas, fornecendo informações sobre eventos de exumação, soterramento e atividade tectônica (Tagami & Matsu-Ura, 2019). Este método é particularmente valioso para estudos em minerais com maior resistência ao apagamento térmico (processo difusivo de restauração da rede cristalina que elimina os traços), como o zircão, que possui uma faixa de estabilidade até temperaturas de 350 °C.

O ataque químico desempenha um papel crucial em diversos métodos de datação, pois permite a identificação de regiões mineralógicas que mantêm um sistema fechado, contribuindo para a obtenção de idades U-Pb mais consistentes (Dias *et al.*, 2011; Tello *et al.*, 2012; Azevedo, 2021). De acordo com Tello *et al.* (2012), mesmo em áreas aparentemente homogêneas antes do ataque químico, podem ocorrer alterações na estrutura cristalina após esse procedimento. Esse fenômeno pode ser atribuído a processos de metamictização e/ou lixiviação que afetaram os grãos minerais (Resende *et al.*, 2019). Outra hipótese sugere que essas alterações resultam de um crescimento cristalográfico não uniforme da rede cristalina, levando a variações locais na estequiometria do zircão em relação ao ZrO₂ e SiO₂. Essas variações podem posicionar o

² A **polarização de massa** refere-se ao fracionamento instrumental sistemático decorrente da transmissão desigual de íons com diferentes relações massa/carga. No ICP-MS, o fenômeno é dominado pelo efeito de carga espacial na região da interface e nas lentes iônicas: a repulsão eletrostática mútua entre os cátions no feixe de plasma faz com que os isótopos mais leves (menor inércia) sejam dispersos radialmente com maior intensidade que os mais pesados. Isso resulta em uma detecção preferencial de massas maiores, exigindo correções matemáticas baseadas em padrões de referência para recuperar as razões isotópicas reais.

zircão em diferentes faces cristalográficas ou fases minerais, tornando-o mais suscetível à lixiviação ou metamictização (Resende *et al.*, 2019).

Além disso, o ataque químico empregado no MTF pode atuar como uma ferramenta auxiliar para outros métodos de datação, pois permite a visualização e delimitação de regiões menos afetadas por processos destrutivos, como metamictização, lixiviação e diferenciação estequiométrica. Dessa forma, a integração do ataque químico aos métodos de datação contribui para uma melhor compreensão da integridade estrutural dos minerais analisados, aumentando a precisão e confiabilidade das idades obtidas.

1.2.4 Método U-Th/He

O método de datação U-Th/He baseia-se no decaimento alfa de isótopos de urânio (^{238}U e ^{235}U) e tório (^{232}Th), resultando na produção de hélio (4He). Esse gás, retido no cristal de zircão, pode escapar em temperaturas elevadas, sendo a temperatura de fechamento (ou de retenção parcial de hélio) um parâmetro fundamental que varia de 140 °C a 200 °C, dependendo do tamanho do grão e da história térmica da amostra (Cai *et al.*, 2019). Assim, o método U-Th/He é particularmente eficaz para determinar idades de resfriamento em profundidades crustais rasas e reconstruir histórias térmicas de bacias sedimentares e áreas tectonicamente ativas.

Avanços recentes, como o uso de técnicas de ablação a laser e espectrometria de massa (LA-ICP-MS), têm permitido análises de alta precisão, aumentando a eficiência na obtenção de dados e reduzindo incertezas relacionadas à ejeção de partículas alfa e à heterogeneidade isotópica (Hao *et al.*, 2024). Em estudos recentes, foi demonstrada a combinação de U-Th/He com U-Pb em zircões, que possibilita identificar eventos térmicos e magmáticos em escalas temporais críticas, especialmente no intervalo entre 100 mil e 1 milhão de anos (Ito & Danišík, 2020).

Esse método também apresenta vantagens no estudo de mudanças tectônicas e magmáticas em bacias sedimentares profundas, ajudando a desvendar processos de exumação e eventos tectônicos regionais (Resende *et al.*, 2020). A integração de modelos térmicos avançados e análises experimentais permite uma interpretação mais robusta dos dados U-Th/He, contribuindo para aplicações em geociências básicas e aplicadas.

1.3 Região de Interesse Geológico

A Bacia Potiguar, situada na margem equatorial brasileira, preserva uma extensa sucessão sedimentar que registra as principais fases da evolução de uma margem passiva: rifte, pós-rifte e drift. Sua formação está diretamente associada à fragmentação do Supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul, resultando em um complexo arcabouço estrutural influenciado pela dinâmica tectônica regional (Matos, 1992).

A interação entre a Bacia Potiguar e a Província Borborema, uma das principais províncias geológicas do Brasil, é fundamental para compreender sua evolução. A Província Borborema apresenta um histórico de eventos tectônicos polifásicos, incluindo colisões e rifteamentos, que condicionaram a compartimentação estrutural da bacia e influenciaram a reativação crustal ao longo do tempo (Van Schmus *et al.*, 2008). Essas reativações tectônicas são cruciais para entender a proveniência sedimentar e os processos que moldaram a configuração atual da bacia.

Estruturalmente, a Bacia Potiguar apresenta uma disposição complexa de domínios tectônicos delimitados por falhas regionais e magmatismo granítico expressivo (Pedrosa *et al.*, 2010). Seu setor terrestre abriga um rifte abortado, originado em um regime extensional, enquanto a porção offshore contém um rifte desenvolvido em ambiente transtensional, que posteriormente evoluiu para uma bacia de margem passiva (Pessoa Neto *et al.*, 2007). Os limites geográficos da bacia incluem, ao oeste, o Alto de Fortaleza e a Bacia do Ceará; ao leste, o Alto Touros e a Bacia Pernambuco-Paraíba; ao sul, rochas pré-cambrianas da Província Borborema; e ao norte, sua transição para a encosta continental (Souto Filho *et al.*, 2000; Baesso, 2021).

A análise integrada de dados termocronológicos, geocronológicos e isotópicos tem sido essencial para a reconstrução da evolução sedimentar e tectônica da bacia. O uso do zircão como marcador geocronológico permite correlacionar os registros sedimentares às dinâmicas tectônicas regionais, evidenciando a influência da Província Borborema e sobre os processos que governaram a evolução da Bacia Potiguar ao longo do tempo. Na Província Borborema, estudos anteriores utilizando o método de Traços de Fissão em zircão revelaram idades associadas a eventos tectônicos que incluem a colisão Brasiliano-Pan-Africana e subsequentes reativações crustais. No Domínio São José do Campestre, foram identificadas idades de aproximadamente 240 Ma, 360 Ma e 560 Ma, enquanto no Domínio Rio Piranhas-Seridó, idades de ~160 Ma, ~300 Ma e ~360 Ma foram relacionadas a eventos de exumação e reativação tectônica (Van Schmus *et al.*, 2008). Esses pulsos tectônicos são interpretados como reflexos

da dinâmica intracontinental associada à fragmentação do supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul.

1.3.1 Discussão geológica

A evolução geológica da Bacia Potiguar e da Província Borborema ainda é tema de debate, especialmente quanto à sua tectônica, formação crustal e correlações intercontinentais. A Província Borborema, marcada por eventos orogênicos neoproterozoicos, apresenta estruturas complexas, como as zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco-Alagoas, que demandam maior detalhamento (Van Schmus *et al.*, 1995).

Um dos desafios é a correlação entre os cinturões Cariris Velhos e formações similares na África, como os escudos do Saara e Tuaregue, destacando a necessidade de dados geocronológicos e isotópicos para elucidar essas conexões tectônicas (Caxito *et al.*, 2020). Na Bacia Potiguar, as interações entre o rifteamento cretáceo e a sedimentação pós-rifte, especialmente na zona Cariri-Potiguar, ainda são discutidas (Peulvast & Bétard, 2015).

As zonas de cisalhamento tiveram papel crucial na redistribuição crustal e no desenvolvimento de recursos minerais, mas sua influência ainda carece de estudos detalhados (Neves *et al.*, 2000). Além disso, a história térmica dessas regiões aponta eventos complexos de resfriamento relacionados ao soerguimento e à erosão durante o Cretáceo e o Neógeno, cuja relação com fatores tectônicos e climáticos ainda não é totalmente compreendida (Neto *et al.*, 2009).

Pesquisas futuras devem focar em datações isotópicas detalhadas para identificar episódios de rifteamento e colisão na Província Borborema, além de modelagens geofísicas para revelar zonas de sutura ocultas. A compreensão das interações entre eventos magmáticos e tectônicos também pode fornecer contribuições relevantes sobre a evolução e os recursos naturais dessas regiões.

1.4 Finalidade da pesquisa

A integração dos métodos MTF, U-Pb e U-Th/He no zircão possibilita uma análise detalhada da história termocronológica da Bacia Potiguar e sua relação tectônica com a Província Borborema. O método U-Pb fornece idades absolutas associadas à cristalização do zircão, enquanto MTF e U-Th/He permitem identificar eventos de resfriamento e exumação, sendo ferramentas essenciais para a reconstrução da evolução térmica e tectônica da região.

(Reiners e Brandon, 2006). Essa abordagem é especialmente relevante para margens passivas, onde processos tectônicos e térmicos influenciam diretamente a sedimentação e a formação de bacias hidrocarboníferas (Gallagher e Brown, 1997).

Compreender a história térmica da Bacia Potiguar é crucial para modelar processos de geração, migração e acumulação de hidrocarbonetos, além de fornecer um modelo metodológico aplicável a outras bacias sedimentares. Este estudo busca preencher lacunas sobre a interação tectônica entre a Bacia Potiguar e a Província Borborema, contribuindo para a reconstrução geodinâmica da margem equatorial brasileira e para a exploração de recursos naturais (Matos, 1992).

A pesquisa visa interpretar trajetórias térmicas, identificar eventos tectônicos-chave e propor modelos evolutivos baseados nos dados obtidos. Além disso, avanços metodológicos são esperados nos três métodos de datação, com o uso de técnicas como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de massa (LA-ICP-MS), permitindo maior precisão nas idades e uma análise detalhada dos efeitos do ataque químico na rede cristalográfica do zircão.

2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÕES

O objetivo principal desta tese é aprimorar a metodologia de datação tripla (MTF, U-Pb e U-Th/He) em zircão, utilizando técnicas avançadas de caracterização de materiais para aprofundar a compreensão de sua estrutura cristalográfica e comportamento isotópico. Esse aprimoramento metodológico foi aplicado à análise de amostras coletadas na Bacia Potiguar, nas formações Jandaíra e Açú, e a sua possível relação com eventos magmáticos que teriam acontecido na Província Borborema, bem como identificar reativações tectônicas associadas à fragmentação do supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul no final do Jurássico.

Dentre os objetivos específicos:

- Aplicar a datação tripla (MTF, U-Pb e U-Th/He) para investigar a história termocronológica da Bacia Potiguar e sua relação tectônica com a Província Borborema.
- Caracterizar os grãos de zircão por meio de técnicas como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Óptica (MO), analisando variações estruturais e efeitos do ataque químico.
- Analisar a composição isotópica do zircão utilizando espectrometria de massa, correlacionando as variações com a morfologia e o histórico geológico dos grãos.
- Integrar os dados termocronológicos e geoquímicos para reconstruir a proveniência sedimentar das rochas rifte e pós-rifte da Bacia Potiguar.
- Correlacionar os eventos de resfriamento e exumação identificados na Bacia Potiguar com registros magmáticos que aconteceram na Província Borborema, permitindo a reconstituição de sua história tectônica e sedimentar.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

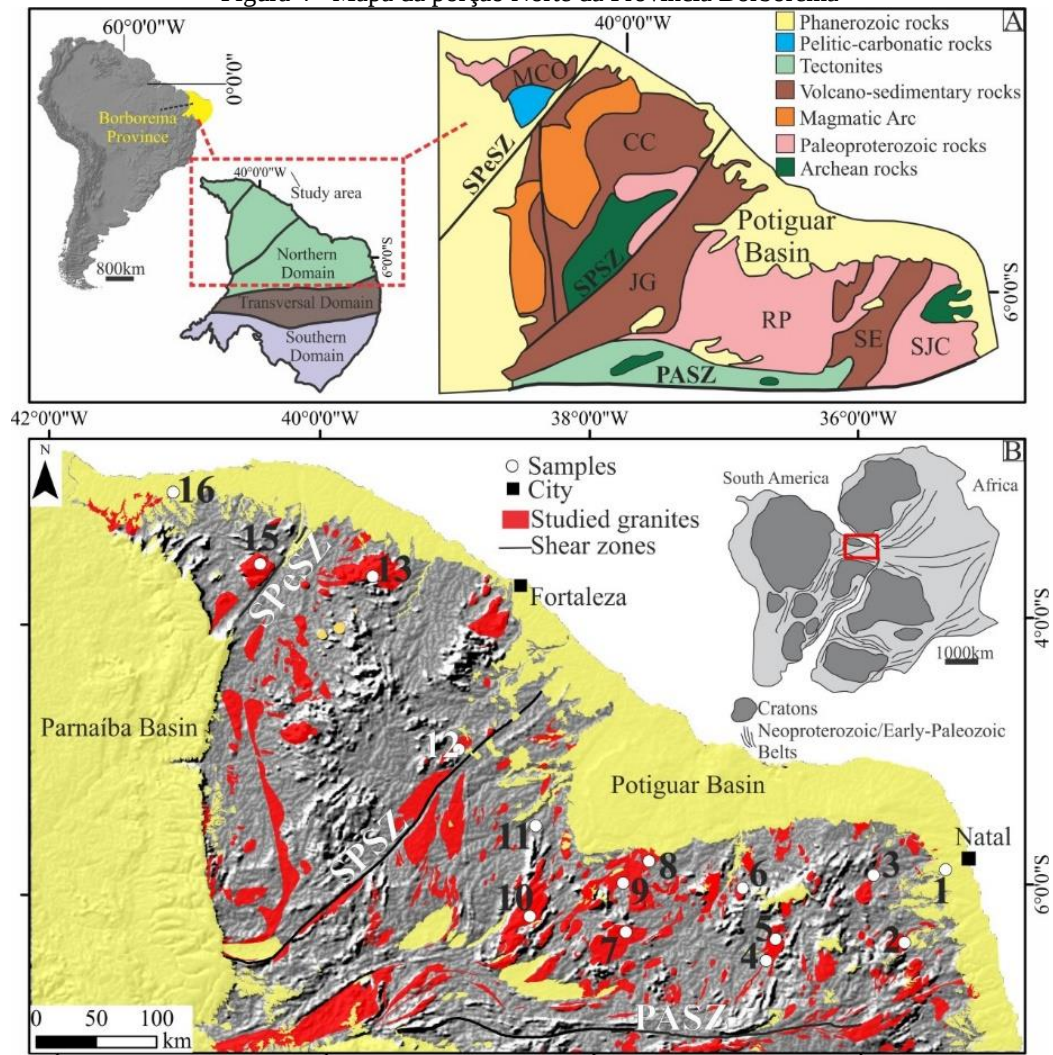
Neste tópico, será apresentada a descrição geológica detalhada da área de estudo, incluindo informações sobre a localização das amostras, como as vistas na tabela 2, com suas respectivas coordenadas geográficas, representadas como números no mapa da figura 4, com destaque para a Bacia Potiguar pelo pontilhado azul em elipse. Estão abordados também os tipos de rochas presentes, suas características petrográficas e as condições geológicas do ambiente, proporcionando um panorama completo sobre a geologia do local. A análise das amostras será complementada por uma descrição das principais unidades litológicas e das estruturas geológicas observadas, com ênfase nas implicações para a compreensão do contexto geológico da região.

Tabela 2 - Coordenadas das Amostras da Província Boborema, Natal – RN, Brasil.

Domínio tectônico	Identificação da Amostra	Litotipo	Nome do Granito (Plutão) ou Formação	Coordenadas UTM (Datum SAD_69-IBGE)	Zona UTM-Hemisfério	Coordenadas Geográficas
Bacia potiguar	Apodi	Calcários e folhelhos	Formação Jandaíra	632828 9377588	24S	5°36'36.0"S 37°48'00.0"W
	Açu	Arenitos siliciclásticos, siltitos e folhelhos	Formação Açu	716439 93824802	24S	5°33'00.0"S 37°03'00.0"W
São José do Campestre (DSJC)	FT-06 (1)	Monzogranito a granodiorito porfirítico (inferido)	Serrinha-Jundiá	0238708E 9348905S	25S	5°53'07,6"S 35°21'35,5"W
	CEBP-321 (2)	Granito metaluminoso subcalalino	Monte das Gameleiras	0204659E 9288476N	25S	6°25'48,4"S 35°40'11,6"W
	CEBP-35 (3)	Monzogranito porfirítico a biotite; Microgranito a biotite	Barcelona	0178926E 9344168N	25S	5°55'32,5"S 35°53'58,4"W
Rio Piranhas-Seridó (DRPS)	CEBP-317 (4)	Leucogranito / Biotite granito	Acari (Granito)	0753533E 9274446N	24S	6°33'31,5"S 36°42'26,1"W
	CEBP-314 (5)	Diorito / Quartzio diorito	Acari (Diorito)	0761664E 9292074N	24S	6°23'56,7"S 36°38'04,3"W
	FT-02 (6)	Tonalito a granodiorito a biotite; Quartzio diorito a anfibólio-biotite	Serra da Garganta	0734698E 9334634N	24S	6°00'55,5"S 36°52'47,0"W
	FT-04 (7)	Sienogranito a quartzio sienito	Católé do Rocha	0637599E 9299284N	24S	6°20'16,2"S 37°45'21,5"W
	CEBP-112 (8)	Monzogranito/sienogranito porfirítico (megacrístico)	Caraúbas	0657423E 9357965N	24S	5°48'24,1"S 37°34'41,4"W
	FT-03 (9)	Quartzio sienito, quartzio monzonito, charnockito, gabro, diorito	Umarizal	0635844E 9339899N	24S	5°58'13,9"S 37°46'21,7"W
	W-03 (10)	Monzogranito porfirítico a ferrohastingsite-biotite	Pereiro	0558679E 9313118N	24S	6°12'50,1"S 38°28'10,5"W
Jaguaribeano (DJ)	CEBP-219 (11)	Monzogranito, granodiorito, tonalito (inferido)	Norte Jaguaribe	0564060E 9387922N	24S	5°32'13,9"S 38°25'17,9"W
Ceará Central (DCC)	CEBP-285 (12)	Granito a granodiorito	Quixadá	0501302E 9451682N	24S	4°57'38,4"S 38°59'17,7"W
	CEBCEI-175 (13)	Granito e/ou ortognaisse (geral)	Uruburetama-Itapipoca	0431492E 9594665N	24S	3°40'00,9"S 39°37'00,9"W
Médio Coreaú (DMC)	CEBCEI-031 (15)	Granito a pertita, sienito quartzífero, granófiro	Meruoca	0338860E 9605694S	24S	3°33'58,3"S 40°27'02,7"W

Fonte: Prof. Dr. Jaziel Martins Sá, UFRN, Natal, Brasil.

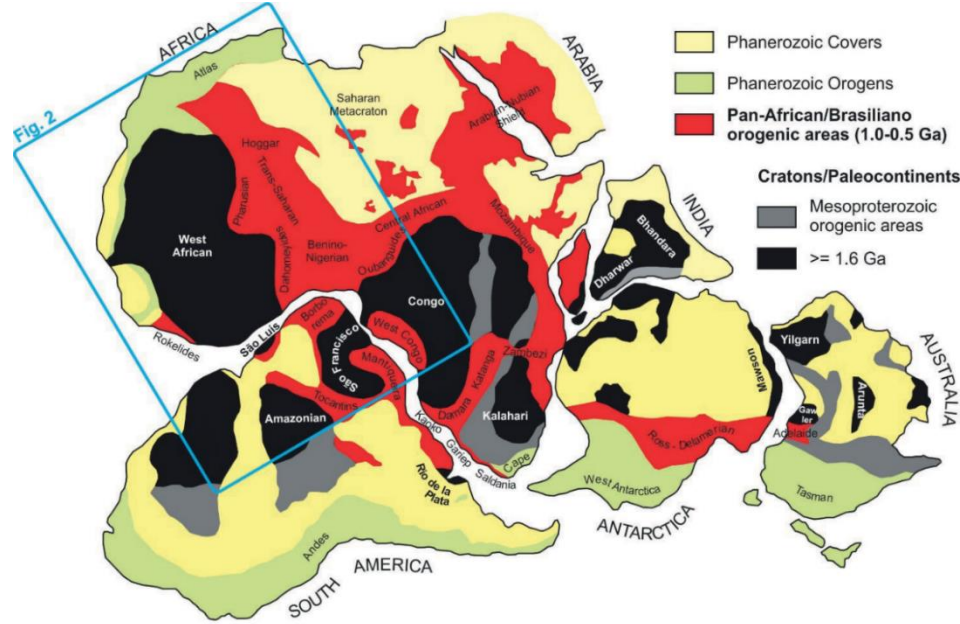
Figura 4 - Mapa da porção Norte da Província Borborema



3.1 Província Borborema

A Província Borborema, situada no nordeste do Brasil, é uma entidade geotectônica complexa e desempenha um papel fundamental na compreensão da evolução tectônica do Gondwana Ocidental. Esta província resulta da convergência entre o Cráton do Congo-São Francisco e o Cráton da África Ocidental-São Luís durante a Orogenia Brasiliana (de Araújo *et al.*, 2014), que está representada na figura 5 como um modelo esquemático para a evolução do NE do Brasil-NW da África durante o Neoproterozóico. Composta por um mosaico de blocos crustais antigos e cinturões móveis supracrustais consolidados no Neoproterozoico, sua configuração atual reflete múltiplos eventos tectônicos, metamórficos e magmáticos que moldaram sua estrutura ao longo do tempo.

Figura 5 - Brasil e África no contexto de Gondwana Ocidental, com a Província Borborema acima do cráton São Francisco



Fonte: (Caxito *et al.*, 2020)

A Província Borborema exhibe uma complexa história de resfriamento e exumação. Estudos de intemperismo identificaram diferentes perfis correlacionados a distintos domínios geomorfológicos: o Planalto da Borborema, a Depressão Sertaneja e as Planícies e Tabuleiros Costeiros. Perfis lateríticos profundos, com até 100 metros, são encontrados em altitudes elevadas no interior, enquanto perfis mais rasos ocorrem em áreas de menor elevação, refletindo a influência de processos paleoclimáticos e tectônicos na evolução do relevo (Lima, 2008).

Este cinturão orogênico é subdividido em diversos domínios e subprovíncias, cada um com características litológicas e estruturais distintas, conforme observado na tabela 3, delimitados por um intrincado sistema de zonas de cisalhamento sinuosas e ramificadas (Dantas *et al.*, 2004).

Tabela 3 - Subdivisão de domínios tectônicos da Província Borborema.

Subprovíncia	Domínios
Norte	Médio Coreaú (DMC)
	Ceará Central (DCC)
	Orós-Jaguaribeano (DJ)
	Rio Grande do Norte (Terreno Seridó e Terreno Rio Piranhas [DRPS], e Maciço São José do Campestre [DSJC])
Central	São Pedro ou São José do Caiano
	Piancó–Alto Brígida ou Salgueiro–Cachoeirinha
	Alto Pajeú

	Alto Moxotó
	Rio Capibaribe
	Pernambuco-Alagoas
<i>Sul</i>	Cinturões Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipano

Fonte: (Caxito *et al.*, 2020).

3.1.1 Domínio São José do Campestre

Localizado no extremo nordeste da província, é limitado ao sul pela Zona de Cisalhamento Patos e a oeste pela Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara (Nascimento *et al.*, 2018; da Silva Pinheiro *et al.*, 2023). O embasamento gnáissico, de idade arqueana a paleoproterozoica, é sobreposto por sequências metassedimentares do Grupo Seridó, ambas afetadas por um volumoso plutonismo do Ediacarano ao Cambriano. Exemplo disso é o Maciço São José do Campestre (Dantas *et al.*, 1998). Dentre os granitos estudados nesta tese, temos as idades da literatura: a) Serrinha-Jundiá: 576 ± 3 Ma; b) Monte das Gameleiras: 573 ± 7 Ma; c) Plúton Granítico Barcelona: idade ediacarana presumida (Cavalcante *et al.*, 2014; Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015).

3.1.2 Domínio Rio Piranhas-Seridó

Situado ao norte do Lineamento Patos e delimitado pelas zonas de cisalhamento Patos, Picuí-João Câmara e Portalegre (COSTA *et al.*, 2015; Nascimento *et al.*, 2018), contém litotipos metaplutônicos e metavulcanossedimentares de idade paleoproterozoica, além de augen gnaisses graníticos e rochas supracrustais neoproterozoicas do Grupo Seridó. Os corpos graníticos estudados nesta tese possuem idades encontradas de U-Pb em zircão na literatura: a) Granito de Acari: 579 ± 7 Ma; b) Serra da Garganta: 598 ± 5 Ma; c) Catolé do Rocha: 571 ± 3 Ma; d) Caraúbas: 574 ± 10 Ma; e) Umarizal: 593 ± 5 Ma (Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015; Nascimento *et al.*, 2018; Sá *et al.*, 2014a).

Além disso, batólitos como Quixaba, Pereiro (tipo Itaporanga) e Umarizal apresentam idades entre 618 ± 9 Ma e 570 ± 5 Ma, indicando um período de plutonismo ativo desde condições sintectônicas até pós-tectônicas (Sá *et al.*, 2014a). O granito Quixaba tem 618 ± 9 Ma, enquanto o granito Pereiro (tipo Itaporanga) possui 574 ± 34 Ma (Cavalcante *et al.*, 2014).

3.1.3 Domínio Jaguaribeano

Localizado entre as zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Portalegre/Farias Brito (Pinéo *et al.*, 2023), abriga o Terreno Jaguaribeano, cuja base é representada pelo Complexo Jaguaretama, com intercalações de mármore e rochas metassedimentares aluminosas (Sá *et al.*, 2014b). Estudos isotópicos indicam protólitos neoarqueanos entre 2,5 e 2,6 Ga para o granito Pereiro, enquanto os ortognaisses do Complexo Jaguaretama registram idades de 2.193 ± 16 Ma, compatíveis com o Complexo Caicó (Sá *et al.*, 2014b).

3.1.4 Domínio Ceará Central

Representado pelos corpos graníticos de Quixadá e Uruburetama-Itapipoca, está situado entre as zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Senador Pompeu (Pinéo *et al.*, 2023). Este domínio possui um núcleo arqueano com idades entre 2,79 e 2,69 Ga, composto por ortognaisses, migmatitos dioríticos a granodioríticos, anfibolitos e rochas metassedimentares. O granito Quixadá possui idade de 618 ± 9 Ma, enquanto não há informações isotópicas disponíveis para Uruburetama-Itapipoca.

3.1.5 Domínio Médio Coreau

Este domínio, representando a margem noroeste da Província Borborema (dos Santos *et al.*, 2008), contém um embasamento paleoproterozoico de gnaisses migmatíticos e granulitos de caráter juvenil, sobreposto por rochas do Paleoproterozoico tardio e Neoproterozoico intrudidas por granitos sin- a pós-tectônicos. Aqui se encontram os corpos graníticos de Meruoca e Chaval, que contribuem para a compreensão da evolução tectônica regional.

3.2 Bacia Potiguar

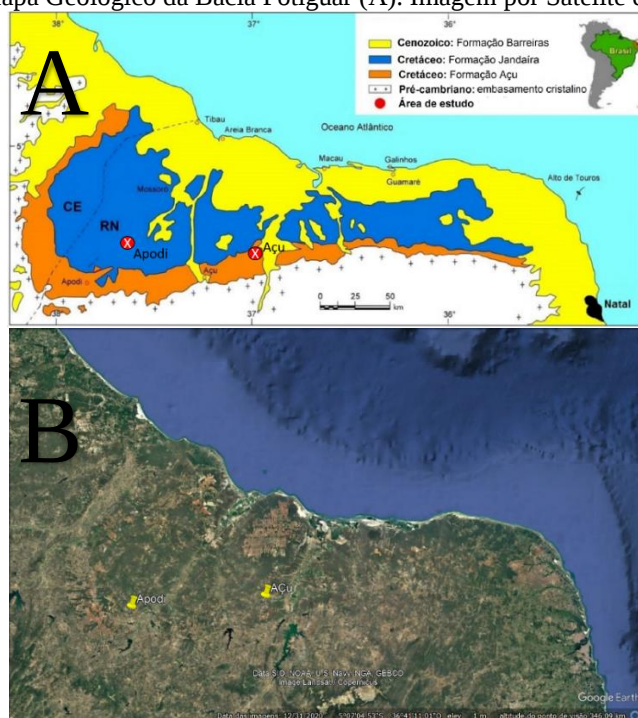
A Bacia Potiguar é uma bacia sedimentar localizada no nordeste brasileiro, na região acima dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, com uma faixa E-W com cerca de mais de 48.000 km², com porção submersa de 26.500 km² e emersa de 21.500 km². (Pessoa Neto *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2019). A porção emersa constitui um baixo planalto cuestiforme (Maia e Bezerra, 2014). A Bacia Potiguar, de forma mais abrangente, está localizada na porção Norte da Província Borborema, região estruturada no Ciclo Pan-Africano/Brasiliano

(Neoproterozoico), possuindo uma disposição complexa de domínios tectônicos limitados por falhas regionais e magmatismo granítico (Pedrosa *et al.*, 2010). Especula-se que a bacia se desenvolveu sobre um fundo de rochas pré-cambrianas da Província Borborema (Dantas, 1998; Gomes *et al.*, 2019). O magmatismo granítico teria gerado pulsos tectônicos nas rochas plutônicas em diferentes épocas do Fanerozoico (Azevedo, 2021).

A Bacia Potiguar no front é sustentada por rochas carbonáticas da Formação Jandaíra (93,6 a 88,6 Ma), a principal unidade aflorante da bacia. A macroestrutura é decomposta em sua porção central pelos rios Mossoró e Açu. Ao Norte, o relevo é caracterizado por amplitudes que variam entre 0 e 200 m de altitude. (Maia e Bezerra, 2014). As sequências tectonossedimentares das rochas da Bacia Potiguar estão divididas em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha. (Moura *et al.*, 2010, Pedrosa *et al.*, 2010).

O preenchimento sedimentar da bacia está ligado com diferentes sequências de sua evolução tectônica, denominadas de Rifte, Transicional e de Deriva continental, ou também chamadas de Rifte, Pós-Rifte e Drifte. Cada fase sendo responsável, respectivamente, pela deposição sedimentar das megassequências continental, transicional e marinha (Pedrosa *et al.*, 2010; Gomes *et al.*, 2019). Na figura 6 se mostra um mapa simplificado desta região.

Figura 6 - Mapa Geológico da Bacia Potiguar (A). Imagem por Satélite da Região (B).

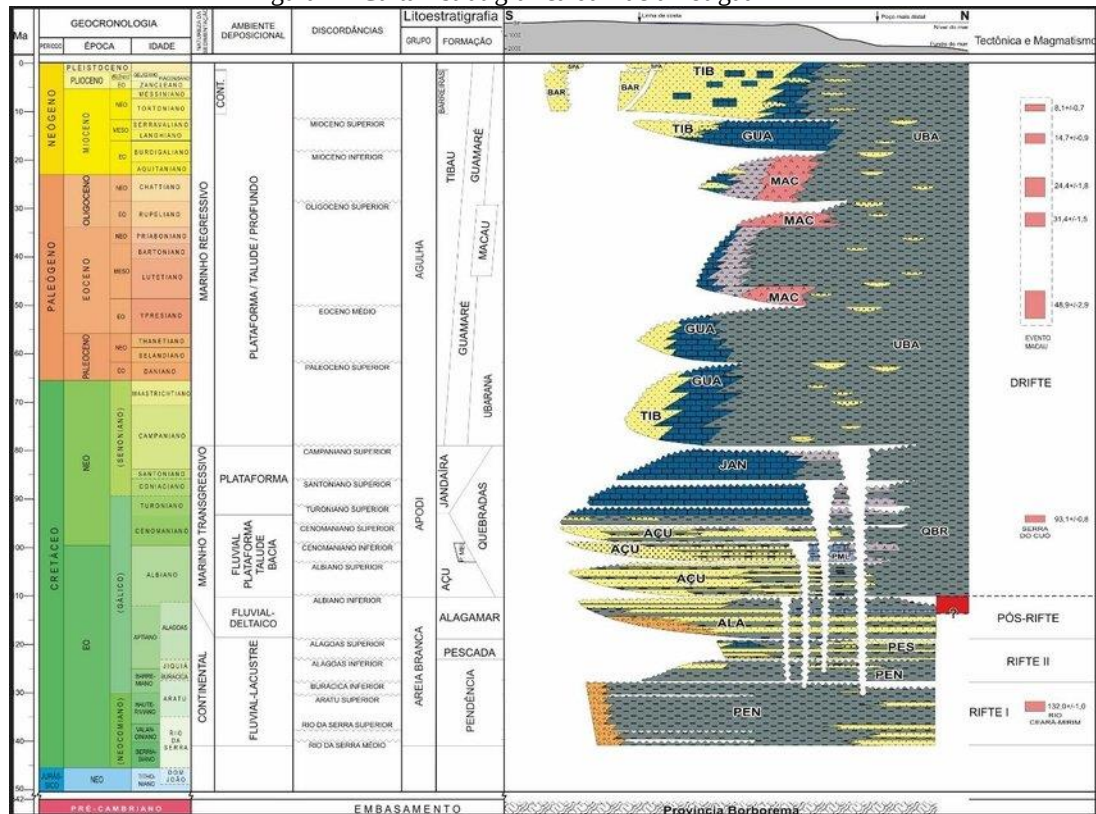


Fonte: Gomes *et al.*, 2019.

A carta estratigráfica da Bacia Potiguar da Figura 7 se concentra na evolução estrutural do rifte, sendo a estratigrafia de fundamental importância para a compreensão da região. Esta

ferramenta cronoestratigráfica estabelece as unidades de tempo e as sequências sedimentares essenciais para a análise detalhada do crescimento de falha. Ao fornecer o arcabouço geológico, esta carta permite correlacionar o desenvolvimento da arquitetura do rifte com os sistemas de falhas ativos na borda da bacia.

Figura 7 - Carta Estratigráfica da Bacia Potiguar



Fonte: Melo, 2016 (Modificado de Pessoa Neto *et al.*, 2007).

Peulvast e Bétard, 2021, examinaram cenários divergentes da evolução geomórfica das margens da região Nordeste do Brasil, no qual tomaram como base para seu modelo de morfoestratigrafia, a termocronologia de baixa temperatura, mais especificamente, a partir da interpretação de idades de traços de fissão em apatita. O conjunto de dados a ser obtido nesta tese poderá ajudar a melhorar o modelo de evolução de relevo do nordeste brasileiro de Peulvast e Bétard, 2021.

A Tabela 4 apresenta uma síntese integrada dos principais grupos estratigráficos da Bacia Potiguar, reunindo informações sobre as formações sedimentares e seus respectivos ambientes de deposição, idades e características litológicas. Nesta integração, o embasamento pré-cambriano é considerado a base estrutural da bacia, enquanto a “Formação Pendência” (Grupo Pendência) representa os primeiros depósitos associados ao rifteamento, caracterizados por sedimentos lacustres e deltaicos com elevado potencial gerador de hidrocarbonetos. As

formações Açu e Jandaíra (agrupadas no Grupo Ubarana) são interpretadas como os principais registros do Cretáceo Superior – atuando, respectivamente, como reservatório e selante – e, por fim, os depósitos do Grupo Macau, constituídos pela Formação Barreiras e sedimentos pós-Barreiras, evidenciam o preenchimento mais recente da bacia em ambiente costeiro e continental. Essa integração, baseada em diversos estudos e documentos técnicos (como Araripe & Feijó, 1994; Pessoa Neto *et al.*, 2007, entre outros), fornece um panorama coerente da evolução sedimentar e tectônica da região, servindo de importante ferramenta para a modelagem geológica e para a avaliação dos sistemas petrolíferos.

Tabela 4 - Estratigrafia e principais características das unidades geológicas da Bacia Potiguar.

Grupo	Formação	Idade/Período	Características/Descrição Principais	Ambiente de Deposição
Pré-Bacia	Embasamento Cristalino	Pré-Cambriano	Rochas ígneas e metamórficas que constituem o embasamento da bacia	–
Grupo Pendência	Formação Pendência	Cretáceo Inferior (ex.: Albiano)	Sequência inicial de sedimentação associada à fase de rifteamento – deposição de folhelhos e siltitos lacustres/deltaicos; reconhecida como principal rocha geradora de hidrocarbonetos	Lacustre/deltaico
Grupo Ubarana	Formação Açu	Cretáceo Superior (ex.: Turoniano)	Arenitos grossos de origem fluvial (e com contribuição eólica) que funcionam como principal reservatório de óleo e gás	Fluvial e aluvial
	Formação Jandaíra	Cretáceo Superior	Unidades predominantemente carbonáticas (calcários e margas marinhas), atuando como selante regional	Plataforma carbonática
Grupo Macau	Formação Barreiras	Paleógeno	Sedimentos continentais a costeiros, frequentemente intercalados com paleossolos e associados a retrabalhamento sedimentar	Costeiro e fluvial
Grupo Macau	Sedimentos Pós-Barreiras	Neógeno-Quaternário	Depósitos mais recentes (areias e argilas) que não apresentam relevância significativa para a geração de hidrocarbonetos	Fluvial e eólico

Fonte: Adaptado de (ANP, 2017); Melo, 2021; Neto *et al.*, 2007; Travassos *et al.*, 2021.

3.2.1 Formação Açu

A Formação Açu, situada na Bacia Potiguar, é uma unidade geológica de significativa relevância, especialmente no contexto da exploração de hidrocarbonetos no nordeste do Brasil. Formalizada em 1968 por Sampaio e Schaller, seus arenitos já eram conhecidos desde 1949,

conforme citado por Córdoba (2001). Estratigraficamente, a Formação Açu é composta por uma sequência de arenitos médios a muito grossos, esbranquiçados, intercalados com folhelhos e argilitos de tonalidade verde clara, além de siltitos castanho-avermelhados. Essas características litológicas indicam um ambiente deposicional predominantemente fluvial, com influências aluviais e possivelmente deltaicas.

Vasconcelos *et al.* (1990) propuseram uma subdivisão da Formação Açu em quatro unidades, designadas de Açu-1 a Açu-4, da base para o topo. A unidade Açu-1 é caracterizada por arenitos conglomeráticos a conglomerados, depositados em sistemas de leques aluviais e fluviais entrelaçados, refletindo reativações tectônicas nas áreas-fonte durante o Albiano. A unidade Açu-2 apresenta uma transição granulométrica, com arenitos conglomeráticos e grossos na base, passando gradualmente para arenitos finos e siltitos no topo, sugerindo uma diminuição na energia do ambiente deposicional ao longo do tempo. As unidades Açu-3 e Açu-4 mantêm essa tendência de granulação mais fina, com predominância de arenitos finos intercalados com folhelhos esverdeados, indicando uma progressão para ambientes deposicionais mais calmos, possivelmente associados a condições marinhas rasas ou estuarinas.

Do ponto de vista diagenético, estudos como o de Lima (2022) destacam a presença de crescimentos autigênicos precoces de K-feldspato nos arenitos fluviais da Formação Açu. Esses crescimentos, formados durante a eodiagênese inicial, são abundantes e indicam condições específicas de temperatura e química dos fluidos durante a deposição e soterramento inicial dos sedimentos. A análise desses aspectos diagenéticos é crucial para a compreensão da qualidade dos reservatórios, uma vez que influenciam diretamente a porosidade e a permeabilidade das rochas.

Em termos de termocronologia, embora não haja uma abundância de estudos específicos para a Formação Açu, pesquisas regionais na Bacia Potiguar sugerem que eventos tectônicos e térmicos significativos ocorreram durante o Cretáceo, afetando a maturação térmica dos sedimentos. Esses eventos teriam influenciado a geração e migração de hidrocarbonetos, bem como a evolução diagenética das rochas reservatório. A compreensão detalhada desses processos é essencial para a avaliação do potencial petrolífero da formação.

A importância da Formação Açu no contexto geológico e econômico da Bacia Potiguar é evidente, especialmente devido ao seu papel como principal produtora de hidrocarbonetos na região. Estudos detalhados de caracterização faciológica, estratigráfica e diagenética são essenciais para aprimorar o entendimento dos processos deposicionais e pós-deposicionais que controlam a qualidade dos reservatórios nesta formação. Pesquisas como a de Lima (2022)

contribuem significativamente para esse entendimento, revelando aspectos fundamentais sobre a arquitetura de fácies e a evolução diagenética dos depósitos da Formação Açu.

3.2.2 Formação Jandaíra

A Formação Jandaíra, integrante da Bacia Potiguar, é uma unidade geológica de destaque no contexto do Cretáceo Superior do nordeste brasileiro. Formalizada por Sampaio e Schaller em 1968, essa formação é composta predominantemente por rochas carbonáticas, como calcarenitos bioclásticos associados a foraminíferos bentônicos e, ocasionalmente, a algas verdes. Além disso, são encontrados calcilutitos com marcas de raízes, dismicrito e gretas de contração, indicando variações nas condições deposicionais ao longo do tempo.

Estratigraficamente, a Formação Jandaíra sucede a Formação Açu e é sobreposta pela Formação Barreiras. Sua deposição está associada ao evento de separação continental e abertura da margem equatorial brasileira durante o Cretáceo, refletindo mudanças significativas nos ambientes deposicionais da região.

Do ponto de vista paleontológico, a Formação Jandaíra é rica em fósseis, especialmente equinoides, que ocorrem de forma abundante, formando extensos bancos compostos por suas carapaças. Estudos como o de Oliveira (2013) realizaram revisões sistemáticas das espécies de equinoides presentes nessa formação, contribuindo para o entendimento da biodiversidade e paleoecologia do período.

Em relação à termocronologia, não há registros específicos de idades termocronológicas diretamente atribuídas à Formação Jandaíra. No entanto, estudos regionais na Bacia Potiguar indicam que eventos tectônicos e térmicos significativos ocorreram durante o Cretáceo, influenciando a evolução térmica das formações sedimentares da bacia. Esses eventos teriam impactado a maturação térmica dos sedimentos e a geração de hidrocarbonetos, aspectos relevantes para a exploração de recursos na região.

A Formação Jandaíra também apresenta feições cársticas notáveis, resultantes de processos de dissolução em suas rochas carbonáticas. A caracterização dessas estruturas tem sido aprimorada pelo uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), como drones equipados com sensores LiDAR (Light Detection and Ranging). A aplicação dessas tecnologias permite a geração de modelos digitais de terreno de alta resolução, fundamentais para o mapeamento detalhado da exocudez cárstica e para a compreensão da evolução geomorfológica da bacia.

A importância da Formação Jandaíra no contexto geológico da Bacia Potiguar é evidente, tanto do ponto de vista estratigráfico quanto econômico, especialmente em relação à exploração de hidrocarbonetos e recursos minerais associados às suas rochas carbonáticas.

3.3 Conexão da Bacia Potiguar com a Província Borborema

A relação entre a Bacia Potiguar e a Província Borborema tem sido amplamente explorada em estudos geológicos devido à influência significativa que a estruturação tectônica da província exerce sobre a gênese e a evolução da bacia. A Província Borborema, localizada no nordeste do Brasil, é composta por múltiplos terrenos tectônicos, delimitados por zonas de cisalhamento de escala regional. Segundo Souza *et al.* (2016), essas zonas de cisalhamento, como a Zona de Cisalhamento Patos, desempenharam um papel fundamental no controle da abertura e configuração da Bacia Potiguar durante o processo de rifteamento ocorrido no Cretáceo.

Outro aspecto relevante é a reativação de estruturas tectônicas preexistentes na Província Borborema, especialmente no embasamento cristalino. Essas estruturas, incluindo lineamentos NE-SW associados às zonas de cisalhamento, foram reativadas durante o rifteamento que levou à formação da Bacia Potiguar, influenciando diretamente o comportamento dos blocos crustais subjacentes e a arquitetura interna da bacia (Peulvast & Bétard, 2015).

A Província Borborema apresenta rochas com idades que variam do Paleoproterozoico ao Neoproterozoico, associadas a eventos orogenéticos como o Brasileiro (650-540 Ma). Durante o rifteamento cretáceo, por volta de 120 Ma, essas rochas foram submetidas a esforços tectônicos que moldaram a morfologia do embasamento da Bacia Potiguar (Baesso *et al.*, 2021). Esses eventos tectônicos foram significativos para definir as condições estruturais e estratigráficas da região.

Além disso, estudos baseados em análises de zircões detríticos demonstram que os sedimentos da Bacia Potiguar derivam, em grande parte, de terrenos localizados na Província Borborema. Conforme Baesso *et al.* (2021), a distribuição desses zircões reflete diferentes fontes sedimentares durante as fases de rifteamento e pós-rifte, evidenciando uma conexão direta entre as duas formações geológicas.

Portanto, a relação entre a Bacia Potiguar e a Província Borborema é marcada por uma interação geológica intrínseca. As estruturas tectônicas da província influenciaram significativamente a gênese e a evolução da bacia, seja pela reativação de estruturas

precambrianas, pela proveniência dos sedimentos ou pela continuidade tectônica entre as formações.

3.4 Cráton do Congo

O Cráton do Congo (C/SF) corresponde a um extenso bloco de embasamento arqueano a paleoproterozoico situado na África Central, caracterizado por um complexo granulítico heterogêneo que se estende por mais de 1200 km até a costa atlântica em Angola (Takodjou *et al.*, 2025). Sua formação envolveu a soldagem de núcleos arqueanos por cinturões móveis paleoproterozoicos (Delvaux *et al.*, 2013), consolidando um dos maiores crátons na paleogeografia proterozoica (Salminen *et al.*, 2016). O cráton é delimitado por orógenos do Neoproterozoico ao Cambriano que participaram da amalgamação do supercontinente Gondwana (Salminen *et al.*, 2016), apresentando domínios expostos como os blocos Kasai e Tanzânia, além dos complexos West-Nile e Ntem-Chailu (Takodjou *et al.*, 2025).

A porção sudoeste de Angola, conhecida como Bloco de Angola, integra o cráton e apresenta rochas com idades entre 3.2 e 1.2 Ga (Simão, 2022). O evento Eburniano/Transamazônico (2.2–2.0 Ga) foi crucial para sua evolução crustal (Neves, 2003), com metamorfismo afetando formações arqueanas e paleoproterozoicas por volta de 2.05 Ga em Camarões do Sul (Teutsong *et al.*, 2017). O cráton registra ainda expressivos eventos magmáticos mesoproterozoicos (1.5–1.38 Ga), incluindo a intrusão do Sill de Humpata (1502 ± 5 Ma) e do Complexo Intrusivo Kunene, com idades entre 1376 e 1363 Ma (Salminen *et al.*, 2016). No Neoproterozoico, um sistema de rifte fracassado originou a Bacia da Cuvette Centrale, posteriormente reativada por deformação compressional durante a aglutinação pan-africana (Delvaux *et al.*, 2013; Nyblade *et al.*, 2000).

Estudos geocronológicos U-Pb (SHRIMP) em granitoides eburneans do Bloco de Angola definem idades de cristalização de 1983.6 ± 3.9 Ma (amostra QUI-2A), 1800.4 ± 6.6 Ma (NAM-10A) e 1792.56 ± 6.3 Ma (NAM-10B), refletindo processos magmáticos e metamórficos entre 1.9 e 1.8 Ga (Simão, 2022). Do ponto de vista termocronológico, análises em Zâmbia revelam a evolução termo-tectônica da margem sul do cráton (Alessio *et al.*, 2019). A correlação com a Província Borborema (Brasil) indica que o resfriamento Ar-Ar em micas sin-cinemáticas ocorreu até cerca de 540 Ma e o resfriamento das porções profundas do orógeno até 552 Ma (Caxito *et al.*, 2020).

O Cráton do Congo e o Cráton São Francisco formaram, no Paleoproterozoico, o Paleocontinente São Francisco-Congo, cuja estabilidade se manteve até o Neoproterozoico,

quando se desenvolveram os orógenos Brasilianos-Pan-Africanos em suas margens (Alkmim *et al.*, 2007; Neves, 2003). A porção sudoeste de Angola se correlaciona com o Domínio Tectônico do Cabo Frio (DTCF), no sudeste do Brasil (Simão, 2022), que apresenta rochas ígneas Orosirianas (1.99–1.96 Ga) deformadas e metamorfizadas no Cambriano. Essa correlação é reforçada pela similaridade das idades de cristalização orosirianas/eburneas (1983–1800 Ma) e sugere que o rifteamento que abriu o Atlântico separou a borda do Bloco de Angola, deixando sua contraparte preservada no lado brasileiro (Simão, 2022).

3.4.1 Conexão com a Província Borborema e Bacia Potiguar

A Província Borborema representa a região orogênica que se desenvolveu entre o Cráton São Francisco–Congo e o Cráton Oeste Africano–São Luís (Caxito *et al.*, 2020). O magmatismo básico, intermediário e alcalino pós-Paleozoico está relacionado à abertura do Oceano Atlântico Sul (Mizusaki *et al.*, 1998).

A quebra do supercontinente Gondwana teve início no Permo-Triássico na margem Equatorial Brasileira e progrediu para sudeste, atingindo a Bacia Potiguar durante o Jurássico Médio/Cretáceo Inferior (pré-Aptiano). A resistência à fragmentação causada pela área cratônica São Francisco/Congo é evidenciada pelo padrão das idades magmáticas ao longo da margem continental do sudeste brasileiro.

A evolução geológica da Província Borborema envolveu a amalgamação dos paleocontinentes Oeste Africano–São Luís, São Francisco–Congo e Saharanos (Caxito *et al.*, 2020). A termocronologia da Província Borborema, juntamente com o contexto do Cráton do Congo, está inserida na grande rede orogênica do Gondwana Ocidental, onde eventos orogênicos Brasilianos-Pan-Africanos culminaram na fase de escape lateral e colapso gravitacional (Alkmim *et al.*, 2007).

Em Angola, as unidades Fanerozoicas incluem a formação de bacias de rift que evoluíram para extensões regionais no Mesozoico, como as bacias sedimentares de Namibe, Benguela e Kwanza, devido ao rifteamento decorrente da quebra do Gondwana. (Simão, 2022). A presença de evaporitos do Cretáceo (Aptiano) no lado brasileiro (Bacia Potiguar é uma bacia de rift que evoluiu neste contexto) e em Angola indicam a separação continental com as primeiras incursões marinhas. O magmatismo alcalino no SW de Angola (Complexos carbonatíticos Tchivira e Bonga) é correlacionável ao Cretáceo Inferior. (Simão, 2022)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram datados grãos de zircão de maneira simultânea com os métodos MTF e U-Pb, via LA-ICP-MS, 2 amostras provenientes da Bacia Potiguar (utilizando 80 ablações), e 14 amostras da Província Borborema (por meio de 342 ablações), em que cada ablação fornece dados para encontrar as idades em ambos os métodos. O procedimento analítico incluiu a separação mineral, montagem das amostras, revelação de traços, contagem e datação por espectrometria de massa, seguido do processamento dos dados. Parte das amostras da Província Borborema foi datada com base nos dados de Azevedo (2021), sendo incluídas na análise final. O processamento dos dados foi realizado utilizando a ferramenta online IsoplotR (Vermeesch, 2018), um software estatístico de código aberto voltado para geocronologia radiométrica, que permite a plotagem de dados U-Pb em diagramas de concórdia, incluindo os modelos de Wetherill e Tera-Wasserburg. Detalhes matemáticos adicionais sobre a construção dos diagramas de concórdia são apresentados nesta seção.

4.1 Preparação da Amostra

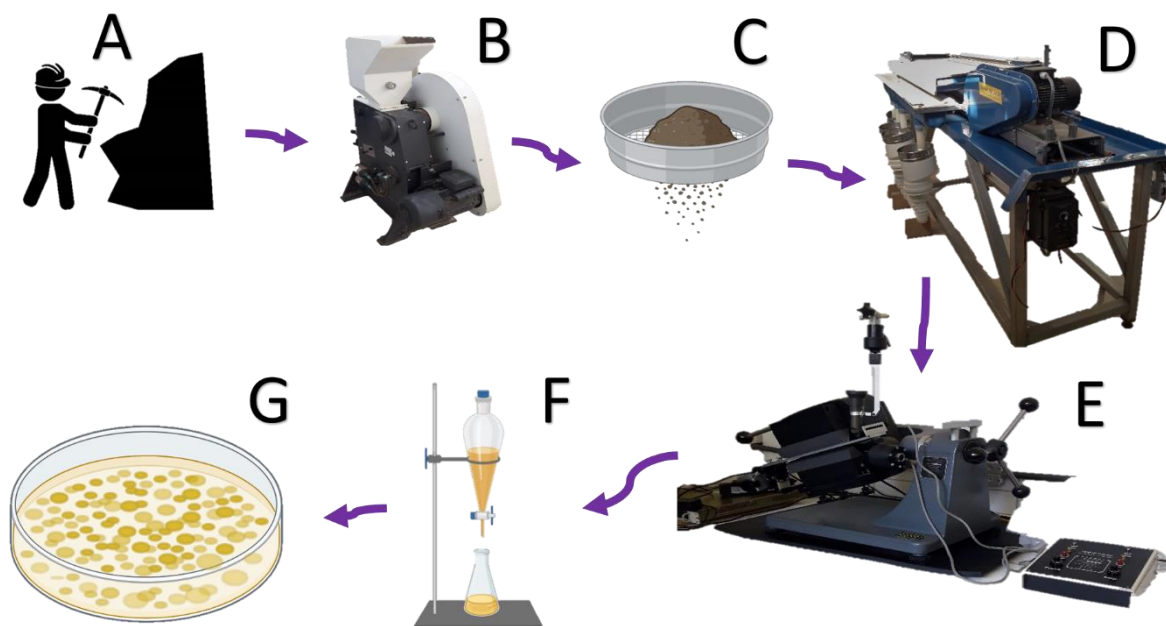
Tagami *et al.*, 1988, desenvolveram um procedimento laboratorial para o MTF por Detector Externo que foi paulatinamente adaptado pelo grupo DETRAN (Resende, 2015; Azevedo, 2021), protocolado na tabela 5 com os equipamentos representados na figura 8.

Tabela 5 - Processo de separação da amostra

Etapa	Equipamento	Procedimento	Tempo Estimado por amostra
A	Equipamentos para trabalho de campo	Coleta das amostras	Variável
B	britador de mandíbula <i>Jaw Crusher</i>	Pulverização	15 minutos
C	Agitador Magnético com Peneiras granulométricas	Para separação de grãos entre 180 μm a 250 μm	30 minutos
D	mesa vibratória	Separação gravimétrica para coleta dos grãos mais densos e pesados.	4 horas
E	Frantz Modelo LB-1	Separação magnética utilizando as correntes de 0,5 A, 1 A e 1,5 A	2 horas por corrente
F	Funis de Bromofórmio (densidade de 2,85–2,90 g/cm ³ a 20 °C)	Separação densitária, com a coleta da porção que decantou pela densidade do zircão ser maior.	5 minutos
G	Estereomicroscópio	Separação manual dos grãos por ser brilho, formato e opacidade.	Variável

Fonte: O Autor.

Figura 8 - Processos de separação: (A) coleta da rocha; (B) britador de mandíbula Jaw Crusher; (C) peneiras granulométricas; (D) mesa vibratória; (E) Frantz; (F) funil de separação com líquidos pesados; (G) porção de minerais separados



Fonte: O Autor.

4.1.1 Montagem das amostras

Após a separação dos minerais, os grãos de zircão passam pelo processo de montagem, descrito na tabela 6 e representado na figura 9.

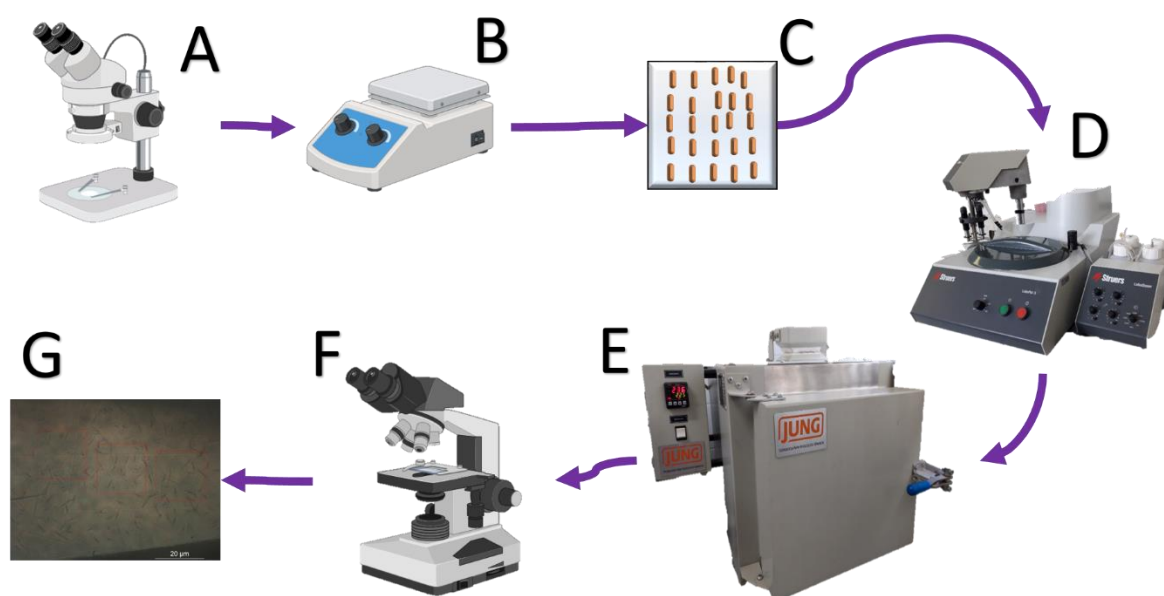
Tabela 6 - Processo de Montagem da Amostra.

Etapa	Equipamento	Procedimento	Tempo Estimado por Amostra
A	Estereomicroscópio	Montagem dos grãos em matriz com 100 grãos (10x10) em uma lâmina de vidro	Variável
B	Chapa Térmica 330 °C	Aquecimento da lâmina na chapa para o processo de incrustação no polímero teflon	20 minutos
C	Polímero teflon	Incrustação dos grãos dentro do polímero após prensagem em uma lâmina aquecida	15 segundos
D	politriz Struers	Lixamento e polimento da amostra	20 minutos
E	Forno elétrico Jung 225 °C	Ataque químico com a solução NaOH:KOH (1:1 em proporção de massa) por tempos variáveis até o traço atingir 2 µm e corte do ataque com uma solução de HCl 5%,	Variável

		seguida por lavagem em água.	
F	Microscópio	Observação dos grãos em alta ampliação para averiguar a revelação de traços	Variável
G	Microscópio	Contagem da densidade superficial dos traços de fissão e mapeamento.	Variável

Fonte: O Autor.

Figura 9 - Equipamentos de montagem do zircão: (A) separação manual de minerais; (B) chapa térmica para incrustação do zircão em polímero teflon; (C) matriz de zircão encrustada em polímero teflon; (D) lixamento e polimento em politriz, (E) ataque químico em forno elétrico



Fonte: O Autor.

4.1.2 Contagem dos Traços de Fissão

A contagem dos traços revelados nos grãos foi realizada utilizando o sistema de microscopia Leica DMRX (Figura 10), com aumentos nominais de 1000x e 1500x. A seleção das áreas de análise foi feita por meio do software Leica Application Suite, no qual campos de área definida são escolhidos em regiões específicas do grão para o cálculo da densidade superficial de traços (Figura 11). O método de contagem varia conforme o tipo de grão e só é aplicável quando os traços estão claramente visíveis. Em grãos heterogêneos, podem ocorrer variações na densidade de traços, sendo considerada, para a análise, a densidade da região onde será realizada a ablação a laser para espectrometria de massas. Durante a contagem, o foco deve ser ajustado continuamente para garantir a distinção entre traços reais e possíveis imperfeições da superfície mineral.

Figura 10 - Microscópio óptico Leica MC170 HD



Fonte: Azevedo (2021).

Figura 11 - Contagem de traços espontâneos em grão homogêneo



Fonte: Azevedo (2021)

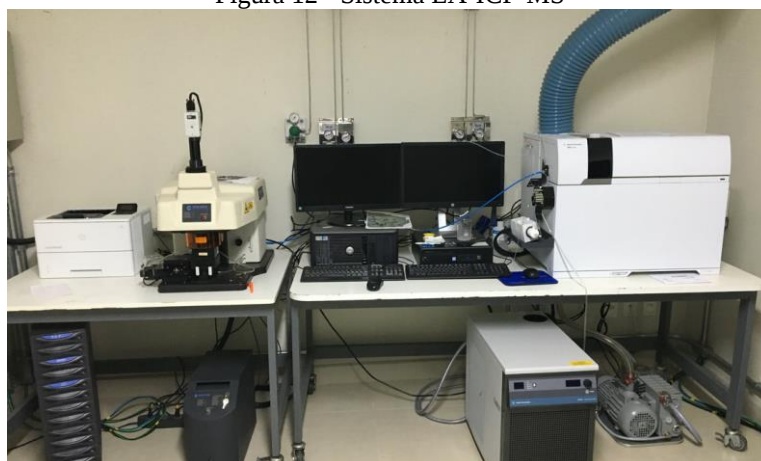
4.1.3 Espectrometria de massa (sistema LA-ICP-MS)

As metodologias de MTF-LA e U-Pb foram realizadas em espectrômetros de massa de 2 laboratórios diferentes. A amostra Açú da Bacia Potiguar e as amostras de Borborema foram feitas pelo laboratório da Chronuscamp, enquanto a aquisição de dados isotópicos da amostra Apodi foi realizada no laboratório de *London Geochronology Centre*.

As metodologias para obtenção de idade por espectrometria de massa seguem o padrão do artigo (Soares *et al.*, 2013). Para as medidas de espectroscopia de massa para MTF e U-Pb na amostra padrão OD-3 - amostra proveniente do Japão utilizada para confiabilidade da

metodologia - foi utilizado o sistema de equipamento LA-ICP-MS (figura 12) do laboratório Chronuscamp Research, que é comandado pelo Dr. Cleber José Soares, especializado em geotermocronologia, localizado em Itapira, São Paulo, Brasil. Para as análises de U-Pb em zircão, o laboratório utiliza um sistema LA-ICP-MS. O equipamento consiste em um laser de ablação NewWave de 213 nm Q-switched DPSS, com duração de ablação de 27 segundos, diâmetro do spot de 30 μm e energia de 2,28 mJ. A quantificação elementar é realizada por um espectrômetro de massa Agilent 7800 de quadrupolo (Pinto, 2020). Este sistema permite a determinação precisa das razões isotópicas de urânio e chumbo em cristais de zircão, essenciais para a datação geocronológica. O método de "*double dating*" combina as técnicas de U-Pb e traços de fissão, aumentando a precisão dos resultados.

Figura 12 - Sistema LA-ICP-MS



FONTE: Laboratório Chronuscamp.

O Professor Pieter Vermeesch é diretor do *London Geochronology Centre*, localizado no *University College London* (UCL), em Londres, Reino Unido. O centro possui instalações de ponta para análises geocronológicas, incluindo métodos U-Pb, U-Th/He e traços de fissão.

A datação U-Pb em zircão é realizada em um sistema de ablação a laser New Wave NWR 193nm acoplado a um ICP-MS (espectrômetro de massa com plasma acoplado indutivamente) Agilent 7700 baseado em quadrupolo (figura 13). Os dados em tempo real são processados usando o software GLITTER, com base em medições repetidas dos padrões de zircão Temora, GJ-2, 91500 e Plesovice, para corrigir o viés de massa instrumental³ e a fracionamento interelementar⁴ dependente da profundidade de Pb, Th e U.

³ O **viés de massa instrumental** (*mass bias*) refere-se à transmissão desigual de isótopos pelo espectrômetro, onde íons mais pesados são detectados com eficiência diferente dos leves (efeito de carga espacial), distorcendo as razões isotópicas (e.g., $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$).

⁴ A **fracionamento interelementar** decorre da ablação a laser: à medida que a cratera se aprofunda, a volatilidade diferencial entre o Chumbo e o Urânio altera a proporção desses elementos transportados ao plasma, fazendo

Figura 13 - Sistema LA-ICP-MS do *London Geochronology Center*



Fonte: *LONDON GEOCHRONOLOGY CENTRE*.

4.2 Fundamentos Teóricos das análises radiométricas

4.2.1 Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS

Nesta modalidade do MTF não é necessária a irradiação por um reator nuclear como na metodologia tradicional com o detector externo com a mica muscovita, tendo como vantagem um menor tempo para o processamento de dados. Neste método, é necessário selecionar pontos estratégicos do grão para a coleta de dados isotópicos. Há critérios para a seleção: evitar fraturas ou fissuras; de forma ideal, escolher mais de um ponto, no centro e na borda, para observar possíveis variações de urânio; evitar limites de zonação. A figura 14 mostra o exemplo de uma micrografia com um círculo vermelho indicando o ponto escolhido para ablação.

com que a razão Pb/U medida mude ao longo do tempo de análise. Ambos são corrigidos pela interpolação com padrões de referência (zircões) analisados sob as mesmas condições.

Figura 14 - Micrografia de zircão com região delimitada para o laser com luz transmitida e aumento nominal de 500x



Fonte: O Autor.

Nessa região marcada o laser do sistema LA-ICP-MS ablatará parte da amostra para análise, deixando um buraco com cerca de 30 µm de diâmetro no local da superfície. Os dados obtidos pelo equipamento servirão tanto para achar a idade em MTF quanto para achar a idade em U-Pb.

Com a ajuda das micrografias de cada grão, no espectrômetro se seleciona manualmente o local de ablação. Os dados dos isótopos encontrados são fornecidos em contagens por segundo pelo tempo de varredura do laser em uma planilha de excel. Para o MTF em zircão, interessamos a contagem do isótopo ^{91}Zr e ^{238}U . O próximo passo é descobrir a quantidade de urânio em partes por milhão (Uppm) da amostra, para isso utiliza-se a equação (1):

$$^{238}\text{U} = \frac{\frac{[C_U]_{UNK}}{[C_{Zr}]_{UNK}}}{\frac{[C_U]_{ref}}{[C_{Zr}]_{ref}}} ^{238}\text{U}_{ref} \quad (1)$$

Em que $[C_U]_{ref}$ e $[C_U]_{UNK}$ são as contagens por segundo da massa 238 do material de referência e da amostra a ser datada, respectivamente; $[C_{Zr}]_{ref}$ e $[C_{Zr}]_{UNK}$ são as contagens por segundo da massa 91 medidas durante a mesma análise do material de referência e do material a ser datado, respectivamente; U_{ref} é a concentração de urânio do material de referência previamente determinado. O material de referência utilizado para as idades de LA-ICP-MS para o zircão foi a amostra S9 (915000) (Wiedenbeck *et al.*, 1995) com 76 ppm de U.

Obtida a variável Uppm, utilizaremos a equação (2) de MTF adaptado para LA-ICP-MS para determinar a idade, obtida por Soares *et al.*, 2013:

$$t = \frac{1}{\lambda_{\alpha}} \ln \left[1 + \zeta_{ICPMS} \frac{1}{[nq]_{is} r_s} \frac{\rho_s}{238U} \right] \quad (2)$$

Em que ζ_{ICPMS} (3) são fatores constantes do material a ser datado:

$$\zeta_{ICPMS} = \frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_f} \frac{M}{g_{4\pi} \cdot N_A \cdot 10^{-6} \cdot d} \quad (3)$$

Dessas equações temos que $\lambda_{\alpha/f}$ é a constante alfa/decaimento de fissão espontânea do ^{238}U ; t é a idade por traços de fissão em Ma; ρ_s é a densidade de traços fósseis na superfície polida; r_s é a média do comprimento horizontal dos traços fósseis confinados; $g_{4\pi}$ é o fator de geometria para uma superfície interna; e $[nq]_{is}$ é o produto entre a eficiência de observação e de ataque químico; N_A é a constante de Avogrado; $238U$ é a concentração ($\mu\text{g/g}$) do isótopo ^{238}U determinado pelo LA-ICP-MS; d é densidade média do mineral e M o peso isotópico do ^{238}U . Os valores dessas constantes estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores dos fatores da Equação de Idade para MTF.	
Constante	Valor
λ_{α} (constante de decaimento alfa do ^{238}U)	$1,55125 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ (Jaffey <i>et al.</i> , 1971)
λ_f (constante de decaimento por fissão espontânea do ^{238}U)	$(8,37 \pm 0,17) \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ (Guedes <i>et al.</i> , 2003)
C_{238} (concentração isotópico do ^{238}U no urânio natural)	0,99275 (Lederer e Shirley, 1978)
g (fator de geometria relacionado ao detector externo)	$0,684 \pm 0,012$ (para o zircão) (Iwano e Danhara, 1998)
σ (seção de choque do ^{235}U)	570,8 barn (1 barn = 10^{-24} cm^2)

Fonte: Resende (2015).

4.2.1.1 Calibração Zeta (ζ)

Para o cálculo do MTF por LA-ICP-MS se utiliza uma calibração zeta (ζ), que surgiu historicamente para corrigir valores de fatores controversos como as variáveis de λ_f e o fator $[nq]_{is}$, os isolando da equação e os deixando em função de um único fator, o qual pode ser descoberto pela comparação com idades de amostras já conhecidas da literatura que foram

obtidas por diferentes métodos radiométricos. Pelos estudos de Hurford em (Vetter *et al.*, 1998, p. 19), obteve-se a equação a equação (4) para o fator ζ pelo método com detector externo, que foi adaptado para o LA-ICP-MS, na forma:

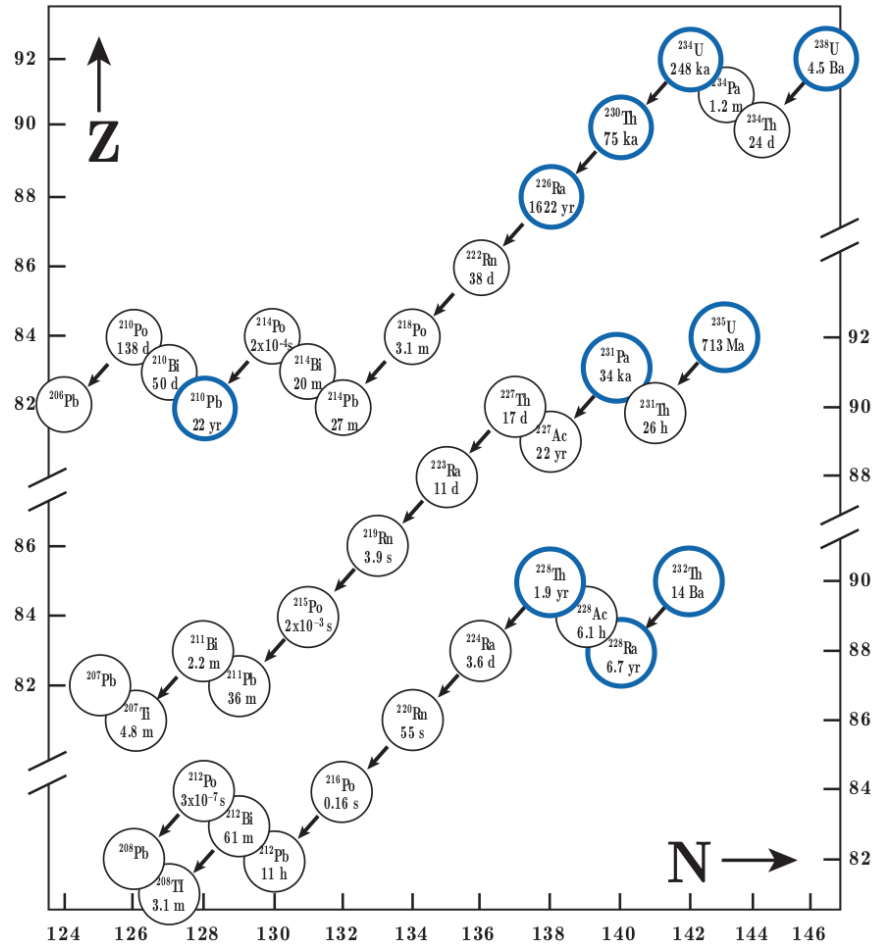
$$\zeta = \frac{e^{(t_{st}\lambda_\alpha)} - 1}{\lambda_\alpha g \frac{\rho_{st}}{U_{st}}} \quad (4)$$

Em que t_{st} = idade da amostra padrão em Ma; λ_α = constante de decaimento alfa; g = fator de geometria; ρ_{st} = densidade de traços espontâneos calculados da amostra padrão. Em que U_{st} = Uppm da amostra padrão. A amostra padrão utilizada para achar as idades da Província Borborema foram da alíquota da OD-3 (Iwano *et al.*, 2013).

4.2.2 Sistemática U-Pb

A cronometria U-Pb é uma técnica amplamente utilizada para determinar a idade de formação de minerais como zircão. Essa metodologia baseia-se no decaimento radioativo dos isótopos de urânio e tório (^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th) para isótopos de chumbo (^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb , respectivamente). A relação entre a quantidade de urânio e chumbo presente no mineral permite calcular o tempo decorrido desde o fechamento do sistema isotópico, ou seja, desde que o mineral cristalizou e não permitiu mais a difusão dos isótopos. A cadeia radioativa de cada um está ilustrada na figura 15. Cada cadeia radioativa vai levar um tempo diferente até atingir seu último isótopo em razão de suas diferentes meias-vidas, indicadas na tabela 8.

Figura 15 - As séries de decaimento de ^{232}Th , ^{235}U e ^{238}U , que formam a base dos métodos das séries U-Th-Pb, U-Th-He e U-Th



Fonte: Vermeesch (2014), modificado de Allègre (2008).

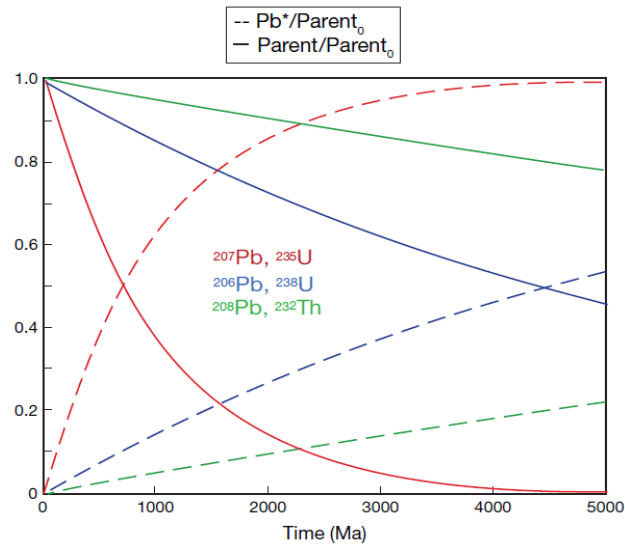
Tabela 8 - Abundâncias, meias-vidas e constantes de decaimento dos principais isótopos naturais de urânio e tório.

Isótopo	Abundância (%)	Meia-vida (anos)	Constante de decaimento (a^{-1})
^{238}U	99,2743	$4,468 \times 10^9$	$1,55125 \times 10^{-10}$
^{235}U	0,7200	$0,7038 \times 10^9$	$9,8485 \times 10^{-10}$
^{234}U	0,0057	$2,47 \times 10^5$	$2,806 \times 10^{-6}$
^{232}Th	100,00	$14,010 \times 10^9$	$4,9475 \times 10^{-11}$

Fonte: Faure, 1986, p. 284 Apud Resende, 2015, p. 45.

Quando não ocorre algum fenômeno que cause perda de algum destes isótopos-pais, eles passam a se acumular em uma relação inversamente proporcional em comparação com seus isótopos-filhos, os quais tendem a aumentar conforme o tempo, conforme visto na figura 16.

Figura 16 - Ilustração das diferentes meias-vidas de ^{232}Th , ^{238}U e ^{235}U por meio do decaimento do isótopo-pai e do crescimento interno do isótopo-filho.



Fonte: Schoene (2014).

A grande meia-vida dos isótopos do início da cadeia radioativa em comparação com os últimos, permite aplicar o conceito de equilíbrio secular, no qual o produto da quantidade (N) de isótopos-pais com suas respectivas constantes de decaimento (λ), é igual para os isótopos-filhos, cuja relação está representada na equação (5):

$$N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2 = \dots = N_n\lambda_n \quad (5)$$

Para os sistemas em que não houve processos de perda de isótopos da cadeia radioativa, os chamados sistemas fechados, o equilíbrio secular será atingido com o tempo da meia-vida mais longa de algum isótopo intermediário (Schoene, 2014 apud Resende, 2015). Em processos que ocorreram perda de parte dos isótopos da cadeia radioativa, é designado como sistema aberto, e está relacionado no zircão a fenômenos físico-químicos e geológicos, como metamorfismo, lixiviação, metamictização entre outros.

Para a sistemática U-Pb, os decaimentos de urânio passam a se acumular com temperaturas menores do que aproximadamente 900 °C, que representa a temperatura de fechamento para este sistema, considerada a maior temperatura de fechamento dos métodos de datação radioisotópicos, podendo indicar a idade de cristalização de um mineral. Detalhes adicionais dessa metodologia podem ser encontrados em Torquato e Kawashita (1996) e Williams (1998).

4.2.2.1 Equação da Idade U-Pb

As equações de crescimento para os dois isótopos de Pb radiogênico são dadas pelas equações 6 e 7:

$$^{206}\text{Pb} = ^{238}\text{U} (e^{\lambda^{238}t} - 1) \quad (6)$$

$$^{207}\text{Pb} = ^{235}\text{U} (e^{\lambda^{235}t} - 1) \quad (7)$$

Sendo:

- λ^{238} e λ^{235} : as constantes de decaimento dos isótopos ^{238}U e ^{235}U respectivamente.
- t: Tempo geológico decorrido desde a cristalização do mineral contendo urânio.
- $e^{\lambda t} - 1$: Termo exponencial que expressa o crescimento do chumbo radiogênico ao longo do tempo devido ao decaimento do urânio.

As idades correspondentes das equações 6 e 7, são respectivamente as equações 8 e 9:

$$t_{206} = \frac{1}{\lambda^{238}} \ln \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} + 1 \right) \quad (8)$$

$$t_{207} = \frac{1}{\lambda^{235}} \ln \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} + 1 \right) \quad (9)$$

Alguns minerais ígenos como o zircão, incorporam muito urânio e praticamente nenhum Pb em sua cristalização. Para esses minerais, o chumbo não radiogênico pode ser negligenciado, que não é o caso de outros minerais como a apatita, que necessita da correção de Pb comum em suas idades de U-Pb. (Vermeesch, 2004).

O sistema precisa estar fechado para produzir idades significativas e iguais (concordantes), do contrário, resultando em perda de Pb, fazem com que ambos os geocronômetros indiquem idades diferentes (discordantes). Neste caso de perda ou ganho de U, Pb ou Th, utiliza-se o método $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, pois é insensível à perda recente de U e até mesmo Pb, porque isso não afetaria a razão isotópica do Pb. Ele consiste em dividir os dois membros das equações (8 e 9), levando em conta a proporção natural de $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = \frac{1}{137,818}$; razão atômica adotada pela IUGS Subcommittee on Geochronology, resultando na equação 10:

$$\frac{{}^{207}\text{Pb}_*}{{}^{206}\text{Pb}_*} = \frac{\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right) - \left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0}{\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right) - \left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0} = \frac{1}{137,818} \frac{e^{\lambda_{235}t} - 1}{e^{\lambda_{238}t} - 1} \quad (10)$$

Essa equação se apresenta apenas em função do tempo; não possui solução direta e só é possível resolvê-las iterativamente através de programas como o isoplotR online.

4.2.2.2 Diagrama de Concórdia

Uma ferramenta gráfica e muito útil para investigar interrupções do sistema U-Pb, é através das curvas de concórdia. A curva resultante, conhecida como concórdia, representa as combinações dessas razões que indicam idades concordantes, ou seja, onde ambos os sistemas isotópicos fornecem a mesma idade. Quando uma amostra permanece como um sistema fechado desde sua cristalização, sem ganho ou perda de urânio ou chumbo, os dados isotópicos plotam exatamente sobre a curva da concórdia, indicando uma idade precisa de formação.

No entanto, processos geológicos posteriores, como metamorfismo ou intemperismo, podem causar a perda de chumbo radiogênico, resultando em desvios dos pontos de dados da curva da concórdia. Esses pontos discordantes geralmente se alinham ao longo de uma linha reta, conhecida como discordia.

Há mais de uma interpretação para os padrões de discordia, cujos eventos complexos deram origem a mais de 8 modelos nos últimos anos (Jäger e Hunziker, 2012 p. 111), que levam em conta diferentes fenômenos geológicos ou físico-químicos que possam ter causado a abertura do sistema, como: a) a recristalização de zircões durante o metamorfismo da rocha (modelo episódico); b) perda de chumbo por difusão (modelo de difusão); c) mais de um evento de perda de chumbo (modelo complexo); d) zonas de alteração em zircões metamórficos (modelo de alteração); e) baixa temperatura de annealing de zircões metamórficos (modelo da baixa temperatura de annealing) ou mesmo f) uma mistura de fases de um zircão (modelos de mistura).

4.2.2.2.1 Diagrama de Concórdia Wetherill

Este diagrama foi introduzido por G. W. Wetherill em 1956, no artigo intitulado "*Discordant uranium-lead ages, I*". Nele, Wetherill apresentou uma abordagem gráfica para interpretar idades discordantes no sistema U-Pb, plotando as razões isotópicas ${}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}$ no

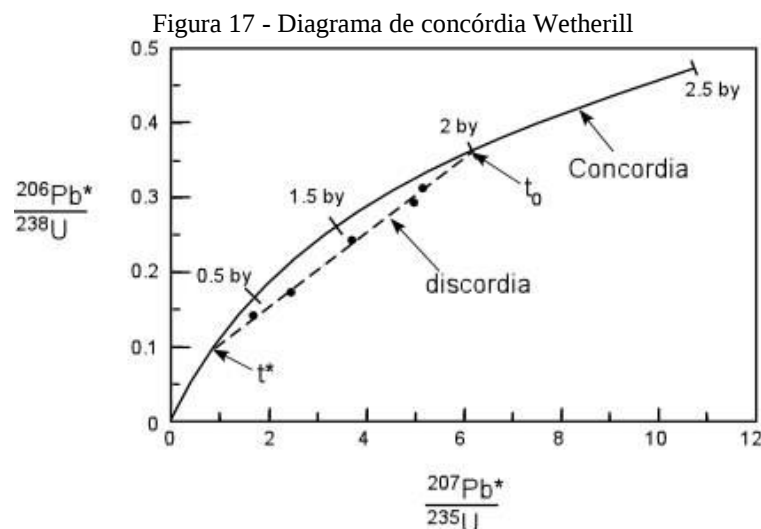
eixo y (equação 11) versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ no eixo y (equação 12) (Ludwig, 1988). A curva de concórdia é definida pelas seguintes equações paramétricas, onde t representa o tempo (idade):

$$\text{Eixo X: } \frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} = e^{\lambda_{235}t} - 1 \quad (11)$$

$$\text{Eixo Y: } \frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = e^{\lambda_{238}t} - 1 \quad (12)$$

A interseção da discordia com a concórdia em dois pontos distintos fornece duas idades: a interseção superior corresponde à idade de cristalização original do mineral, enquanto a interseção inferior indica o momento em que ocorreu a perturbação isotópica, como um evento de perda de chumbo. Essa abordagem permite não apenas determinar a idade de formação da amostra, mas também identificar e caracterizar eventos geológicos subsequentes que possam ter influenciado o sistema isotópico.

As idades concordantes ficarão na curva de concórdia, e as discordantes na reta de discórdia. Idades discordantes indicam que houve um evento geoquímico que abriu o sistema, sendo a intersecção inferior da reta com a curva, a idade em que tal evento ocorreu (indicado na figura 17 como t^*), designado em geocronologia como a idade do metamorfismo, enquanto a interceptação superior pode representar a idade de cristalização (t_0).



t_0 (Intercepto Superior): Representa a idade de cristalização original da rocha ou mineral. t^* (Intercepto Inferior): Representa a idade do evento geológico perturbador.

Fonte: Tulane university.

4.2.2.2 Diagrama de Concórdia de Tera-Wasserburg:

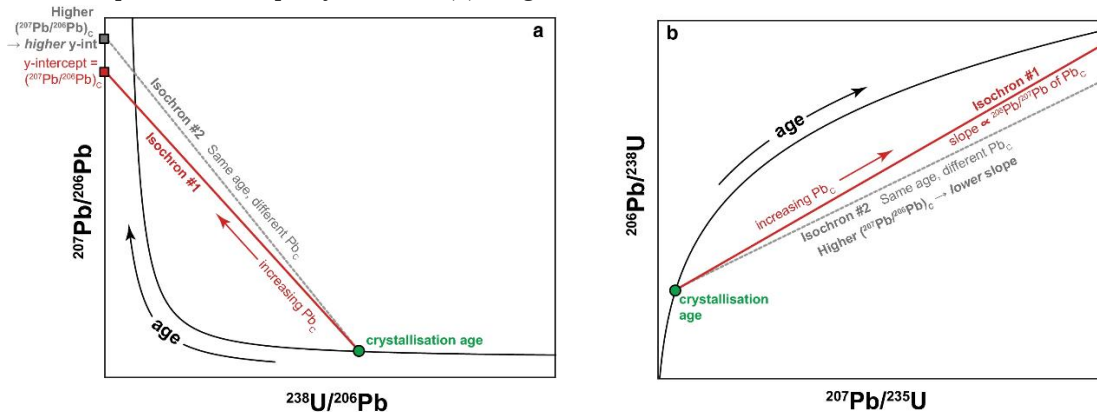
Em 1972, F. Tera e G. J. Wasserburg propuseram uma modificação ao diagrama original de Wetherill, resultando no que é conhecido como diagrama de Tera-Wasserburg. Este diagrama plota as razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ no eixo y (equação 13) e as razões inversas de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ no eixo x (equação 14), oferecendo uma perspectiva alternativa para a interpretação de dados U-Pb (Ludwig, 1988). As equações paramétricas para a curva de concórdia neste caso são:

$$\text{Eixo X: } \frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}} = \frac{1}{e^{\lambda_{238}t} - 1} \quad (13)$$

$$\text{Eixo Y: } \frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} = \frac{e^{\lambda_{235}t} - 1}{e^{\lambda_{238}t} - 1} \left(\frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}} \right) \quad (14)$$

É possível comparar e observar as diferenças dos dois tipos de gráficos de concórdia na figura 18, com uma ilustração esquemática do efeito de diferentes composições de Pb comum na isócrona definida por dados não corrigidos para Pb comum nos diagramas de concórdia de a) Tera-Wasserburg e b) Wetherill. São mostradas isócronas traçadas através de um conjunto hipotético de dados com a mesma idade, mas com uma variação na razão Pb-radiogênico/Pb-comum. Para cada diagrama, são apresentadas duas isócronas com a mesma idade de cristalização, porém com composições diferentes de Pb comum. a) no diagrama de concórdia de Tera-Wasserburg, a composição do Pb comum é determinada pela interseção da isócrona com o eixo y, enquanto b) no diagrama de Wetherill, ela está relacionada à inclinação da isócrona.

Figura 18 - Representação esquemática do efeito da incorporação de chumbo comum Pb_c nos diagramas de concórdia U-Pb. (a) Diagrama de Concórdia Inverso (Tera-Wasserburg), no qual a interseção com o eixo Y representa a composição do Pb_c . (b) Diagrama de Concórdia Convencional (Wetherill).



Fonte: Picazo *et al.*, 2019

O diagrama de Tera-Wasserburg facilita a correção do chumbo comum (^{204}Pb), que não é radiogênico e pode interferir nas razões isotópicas medidas. Essa abordagem é mais direta, pois o $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ é menos afetado pela presença de chumbo comum em comparação com as razões que envolvem ^{235}U . No diagrama de Wetherill, a presença de chumbo comum requer correções adicionais para manter a integridade dos dados.

4.2.2.3 Interpretação de dados

Pelo sistema U-Pb fornecer 3 idades, e uma idade de concórdia, é necessária cautela ao saber escolher qual idade devemos considerar e como iremos interpretá-la. Geralmente, utiliza-se a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para zircões mais antigos que aproximadamente 1,2 Ga (embora o limite exato possa variar), enquanto a idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ é utilizada para amostras mais jovens (Spencer *et al.*, 2016). A análise de isótopos de ^{207}Pb tem menor precisão e uma taxa de contagem quase dez vezes menor em comparação com ^{206}Pb , o que leva a uma maior imprecisão na idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para zircões mais jovens (Spencer *et al.*, 2016).

Em vez de optar por uma idade específica ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ou $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) com base em um limite arbitrário, pode ser preferível usar idades de concórdia de grão único, que representam uma média ponderada entre os dois métodos e oferecem melhor precisão (Vermeesch, 2020). As idades de concórdia são definidas como a idade U-Pb "mais provável", dada a composição da razão isotópica e sua incerteza analítica. Para amostras jovens (<1 Ga), a idade de concórdia é quase idêntica à idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, e para amostras antigas (>2 Ga), ela se aproxima da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Vermeesch, 2020).

A discordância surge quando as idades calculadas a partir de diferentes sistemas isotópicos não concordam dentro das incertezas analíticas. A discordância no sistema U/Pb geralmente ocorre devido à migração de Pb dentro da estrutura mineral. A discordância pode ser quantificada como a diferença percentual entre as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. No entanto, o nível aceitável de discordância é frequentemente arbitrário, variando de 1% a 30%, embora 10% seja um filtro comumente usado (Spencer *et al.*, 2016).

A interpretação de idades discordantes, particularmente em contextos metamórficos, é desafiadora devido a uma compreensão incompleta da perda parcial de Pb em zircão. A perda de Pb é possível em zircões parcialmente a fortemente metamórficos, enquanto a difusão de Pb na estrutura cristalina do zircão é insignificante até temperaturas de pelo menos 1000 °C. A interpretação do intercepto inferior das linhas de discordância em diagramas de concórdia requer cuidado, pois as idades do intercepto inferior podem ser significativas apenas se forem definidas por zircões com baixo teor de U ou se forem confirmadas por outros métodos geocronológicos

(Mezger e Krogstad, 1997). Ao lidar com unidades fanerozoicas que podem ter sofrido perda de chumbo, qualquer nível de perda de chumbo é mascarado pela incerteza da análise (Spencer *et al.*, 2016).

4.3 Cronometria U-Th/He

A cronometria U-Th/He baseia-se na emissão de partículas alfa durante o decaimento radioativo dos isótopos de urânio (U) e tório (Th) para seus produtos radiogênicos de chumbo (Pb). Essas partículas alfas, ao capturarem elétrons, se convertem em átomos de hélio (He). Com o tempo, as concentrações de Pb e He aumentam à medida que U e Th decaem, estabelecendo o “relógio” natural utilizado para a datação. Essa técnica requer a medição precisa das concentrações de U e Th e, em alguns casos, de samário (Sm)⁵, que pode contribuir com uma pequena fração da produção de hélio.

O decaimento dos isótopos de U e Th para He fornece um cronômetro sensível e versátil, capaz de investigar a cronologia e as taxas de processos geológicos e planetários. Essa abordagem é aplicada, por exemplo, no estudo de processos orogênicos (elevação, erosão e atividade de falhas), na datação de rochas vulcânicas, na reconstrução de histórias térmicas de meteoritos e bacias sedimentares, além de permitir o rastreamento dos efeitos de incêndios florestais na superfície terrestre. O método é capaz de fornecer idades que variam desde mais de 4 bilhões de anos (Ga) até menos de 5 mil anos (ka) (Flowers *et al.*, 2023).

No presente estudo, foram realizadas análises de U-Th/He em grãos de zircão de quatro amostras da Província Borborema (FT02, CEBP112, CEBP035 e CEBP285) e na amostra padrão Fish Canyon Tuff (FCT), conforme descrito por Yu *et al.* (2019), totalizando 17 grãos. As amostras da Província Borborema foram selecionadas com base em idades radiométricas previamente determinadas por outros métodos, permitindo a reconstrução de sua história térmica. Esses dados foram extraídos de Azevedo (2021) foram incorporados à interpretação global das idades obtidas.

As análises foram conduzidas no *Arizona Radiogenic Helium Dating Laboratory* (ARHDL), do Departamento de Geociências da Universidade do Arizona – Tucson, EUA, sob a supervisão do Prof. Dr. Carlos Tello (orientador desta tese) e com o acompanhamento do Dr.

⁵ O samário (Sm) ocorre naturalmente na estrutura cristalina de diversos minerais acessórios e contribui para o inventário de hélio radiogênico através do decaimento do isótopo ^{147}Sm . Este processo ocorre pela emissão de uma partícula alfa segundo a reação: $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd} + ^4\text{He}$. A correção da influência do Sm é mandatória em cronometria de alta precisão, pois sua omissão afetaria o cálculo da taxa de produção total de hélio, inserida na equação de idade fundamental.

Peter William Reiners. A quantificação dos isótopos parentais (U, Th e, quando aplicável, Sm) foi realizada através de procedimentos de dissolução e diluição química, seguidos de análises isotópicas por espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplado de alta resolução (Element 2 HR-ICP-MS – Figura 19). Este equipamento, reconhecido por sua precisão e acurácia, permite a medição de elementos traço e principais em soluções e sólidos, sendo essencial para a aplicação da cronometria U-Th/He.

Figura 19 - Element 2 HR-ICP-MS.



Fonte: Laboratório ARHDL – Universidade do Arizona.

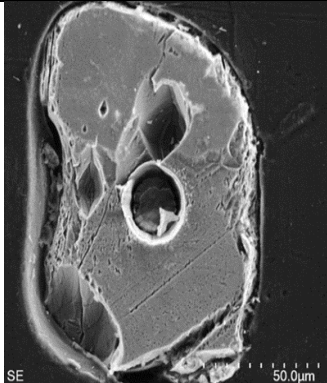
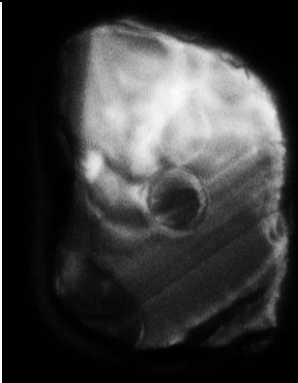
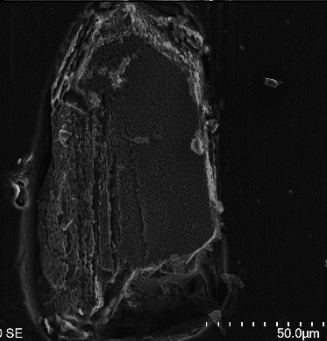
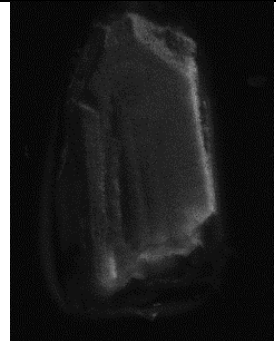
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

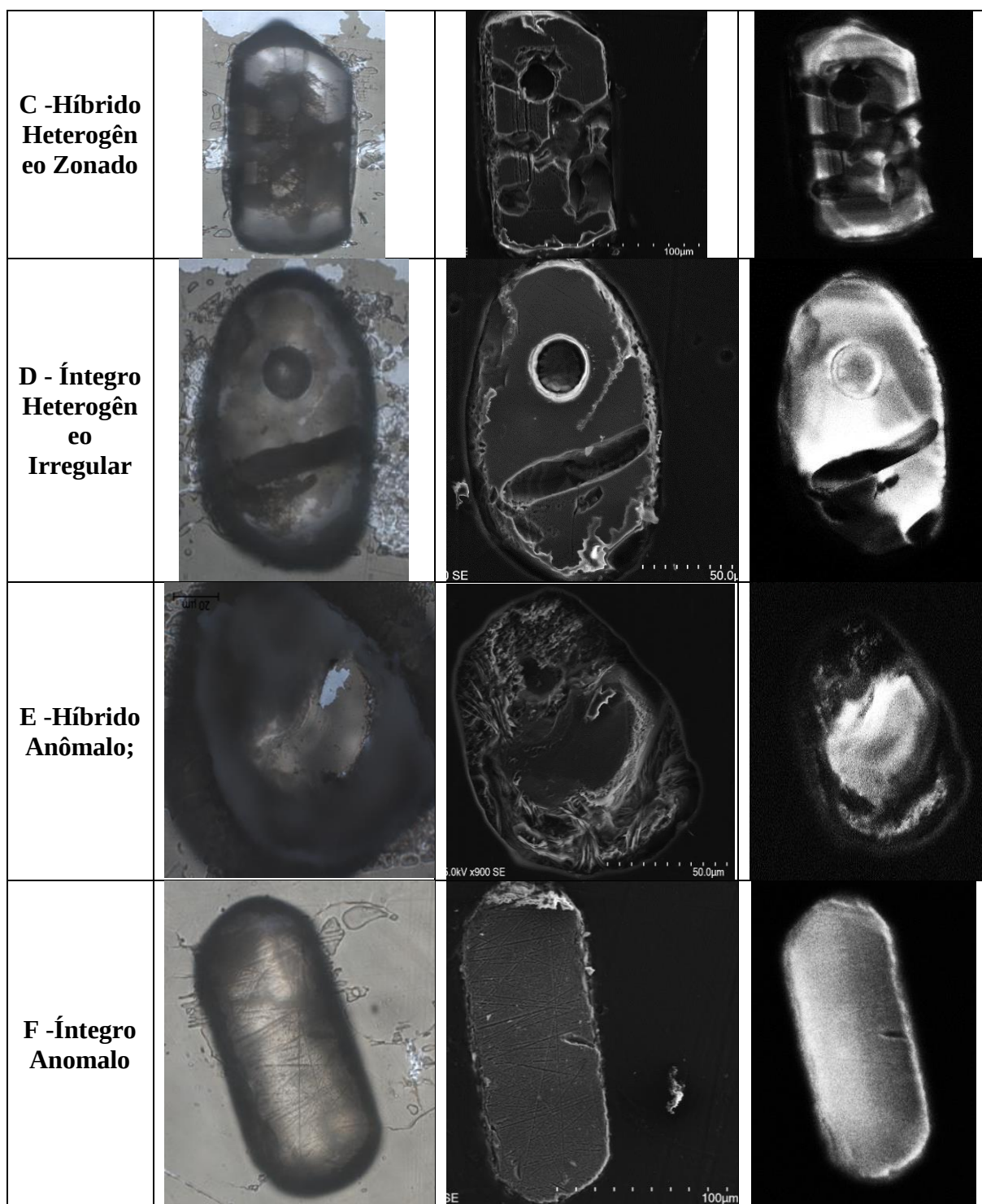
Nesta seção estão dispostas as idades obtidas das múltiplas amostras de zircão. Com utilização do software Origin 2024 para a obtenção dos gráficos de histograma; Wolfram Mathematica para a obtenção do qui-quadrado reduzido e a o isoplotR online (Vermeesch, 2018) para o cálculo das idades U-Pb e obtenção dos gráficos de concórdia.

5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Seis grãos de diferentes categorias de revelação de traços de fissão foram analisados por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) usando um detector de elétrons secundários e de catodoluminescência (CL) para verificar como a superfície de cada tipo de grão se apresenta com esta técnica pela variação na revelação de traços. As imagens podem ser vistas na Tabela 9, com aumentos variando de 500X a 900X, a uma energia de 15kV.

Tabela 9 - Micrografia óptica de luz transmitida, Imagem de Elétrons Secundários e Catodoluminescência de grãos de diferentes categorias

	1 - Micrografia Óptica	2 - Imagem de Elétrons Secundários	3 - Catodoluminescência
A - Híbrido Heterogêneo			
B - Íntegro Homogêneo			



As técnicas em MEV revelam detalhes da superfície acidentada do zircão após polimento e ataque químico. Os traços de fissão não apresentam diferença aparente através das imagens por EDS que lê a topografia do grão, mas indicam aspectos significativos por catodoluminescência que consegue fornecer detalhes interiores assim como a micrografia óptica, que se apresenta como a única para a contagem de traços.

A partir destas imagens, pode-se observar que as regiões sem revelação de traços aparecem mais brilhantes sob o detector de CL, como nos grãos Híbrido Heterogêneo (A), Híbrido Heterogêneo Zonado (C) e Íntegro Heterogêneo Irregular (D). No grão íntegro homogêneo (B), a imagem de CL é também mais uniforme. Os grãos anômalos, como o Híbrido (E) e Íntegro (F), mesmo sem traços, exibem regiões claras e escuras na superfície sob CL.

Dessa forma há uma relação entre a estrutura cristalina interna do grão e a revelação de traços em sua superfície, indicando que os traços apresentam diferentes densidades a depender da camada interna do grão.

5.2 Amostras Padrão

A amostra de zircão Kawamoto Granodiorito (OD-3) datada por U-Pb e MTF por Iwano *et al.*, 2013, foi utilizada para calibração das amostras da Província Borborema e da amostra Açú da Bacia Potiguar, pelo laboratório Chronuscamp. Já a amostra de zircão *Fish Canyon Tuff*, com idade amplamente conhecida pela literatura, foi utilizada como calibração para a amostra Apodi da Bacia Potiguar, pelo laboratório *London Geochronology Center*. As idades encontradas e as idades da literatura estão na tabela 10, para comparação, na qual se mostram compatíveis.

Tabela 10 - Idades das amostras padrão de zircão utilizadas para calibração.

Amostra	Idade U-Pb obtida (Ma)	Idade MTF obtida (Ma)	Idade U-Pb (literatura) (Ma)	Idade MTF (Literatura) (Ma)
OD-3	31,3 ± 0,21	IC: 33,3 ± 3,1	32,6 ± 0,6	33,0 ± 0,1
FCT	28,17 ± 0,11	IC: 28,9 ± 2,5	28,42 ± 0,03	28,3 ± 2,9

IC: Idade Central (por radial plot). As outras idades foram obtidas como média ponderada.

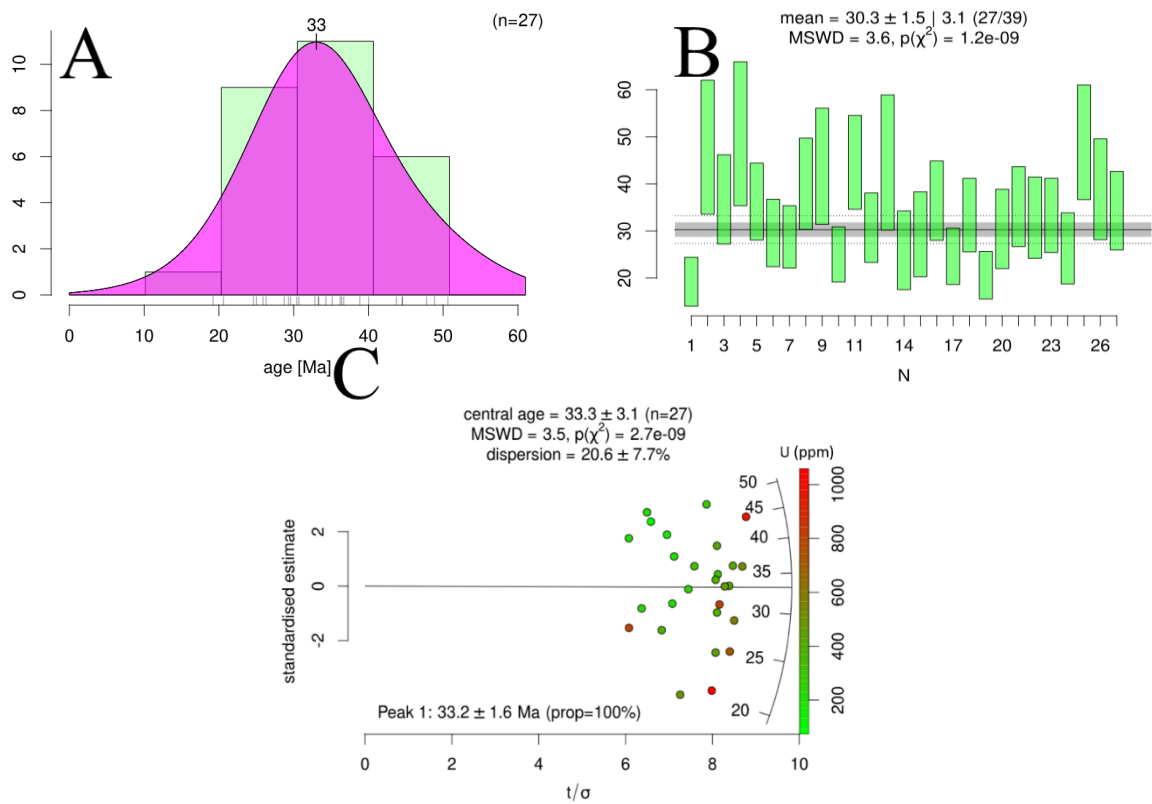
Fonte: adaptado de Iwano *et al.*, 2013; Schmitz e Bowring (2001)

Nessas alíquotas foram obtidas as idades via MTF-LA. As idades da amostra padrão OD-3 estão nos apêndices A ao D, assim como seus principais parâmetros de cálculo.

5.2.1 Amostra Kawamoto Granodiorito (OD-3)

Em relação ao MTF, na Figura 20 podemos observar a distribuição das idades MTF-LA da amostra padrão OD-3, resultando em um pico Estimativa de Densidade Kernel (KDE)⁶ de 33 Ma, uma idade média ponderada de $30,3 \pm 1,5$ Ma e uma idade central de $33,3 \pm 3,1$ Ma, que são coerentes com a idade $32,6 \pm 0,6$ Ma calculada por Iwano *et al.*, 2013. Os dados podem ser conferidos no apêndice A.

Figura 20 - MTF-LA da amostra OD-3: (A) Estimativa de Densidade Kernel, (B) Média Ponderada; (C) Radial plot.



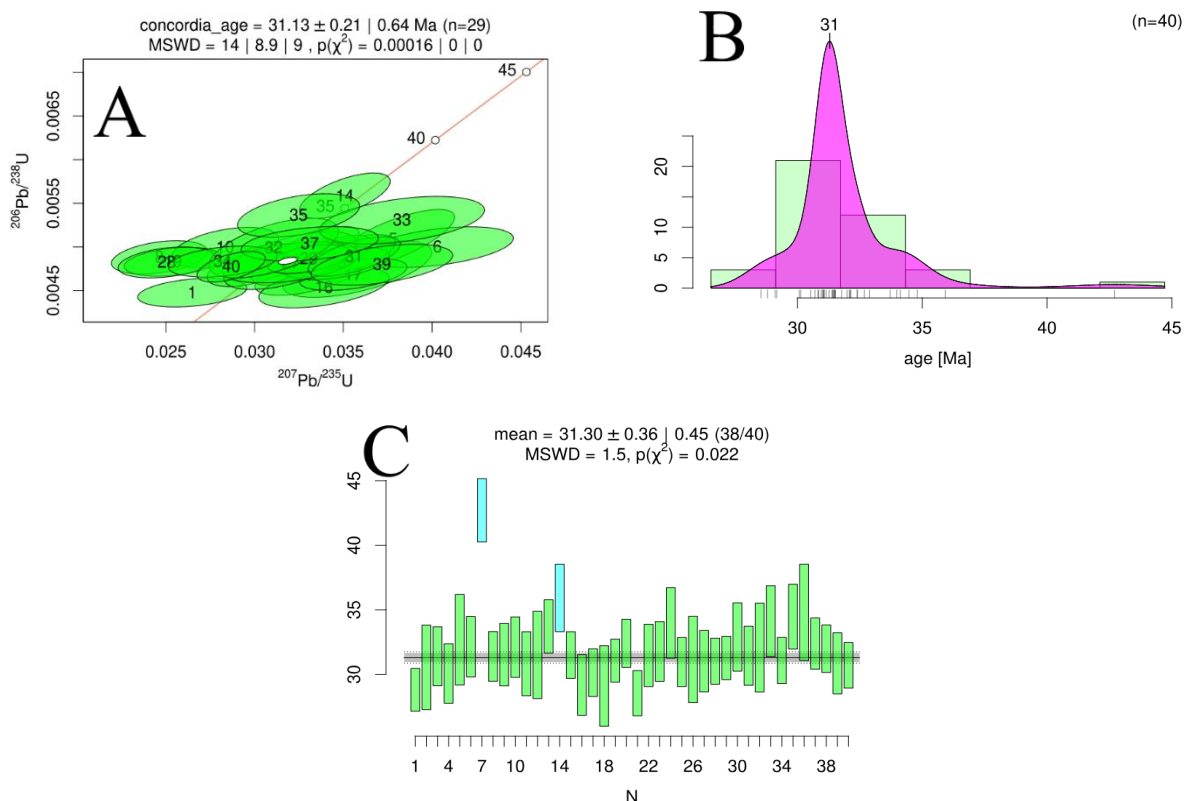
N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central.

Fonte: O Autor.

Em relação ao sistema U-Pb, a Figura 21 mostra o gráfico de distribuição de idades de concórdia de para a OD-3. As tabelas base de dados e as idades U-Pb podem ser encontradas no apêndice B.

⁶ Método estatístico não paramétrico que estima a função de densidade de probabilidade. O KDE atua suavizando os dados observados para apresentar uma curva de distribuição contínua, independente de intervalos fixos como os de um histograma.

Figura 21- U-Pb na amostra OD-3: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel; (C) Radial plot.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população.

Fonte: O Autor.

Com os três gráficos da Figura 21 apontando para idades ao redor de 31 Ma para a OD-3, ela pode ser considerada estatisticamente compatível com a idade de $33,0 \pm 0,1 \text{ Ma}$ determinada pelos pesquisadores de Iwano *et al.*, 2013. A coerência dos valores encontrados comparando-se com a literatura valida os métodos aplicados e confere confiança para as idades das outras amostras realizadas no mesmo laboratório.

5.2.2 Amostra *Fish Canyon Tuff* (FCT)

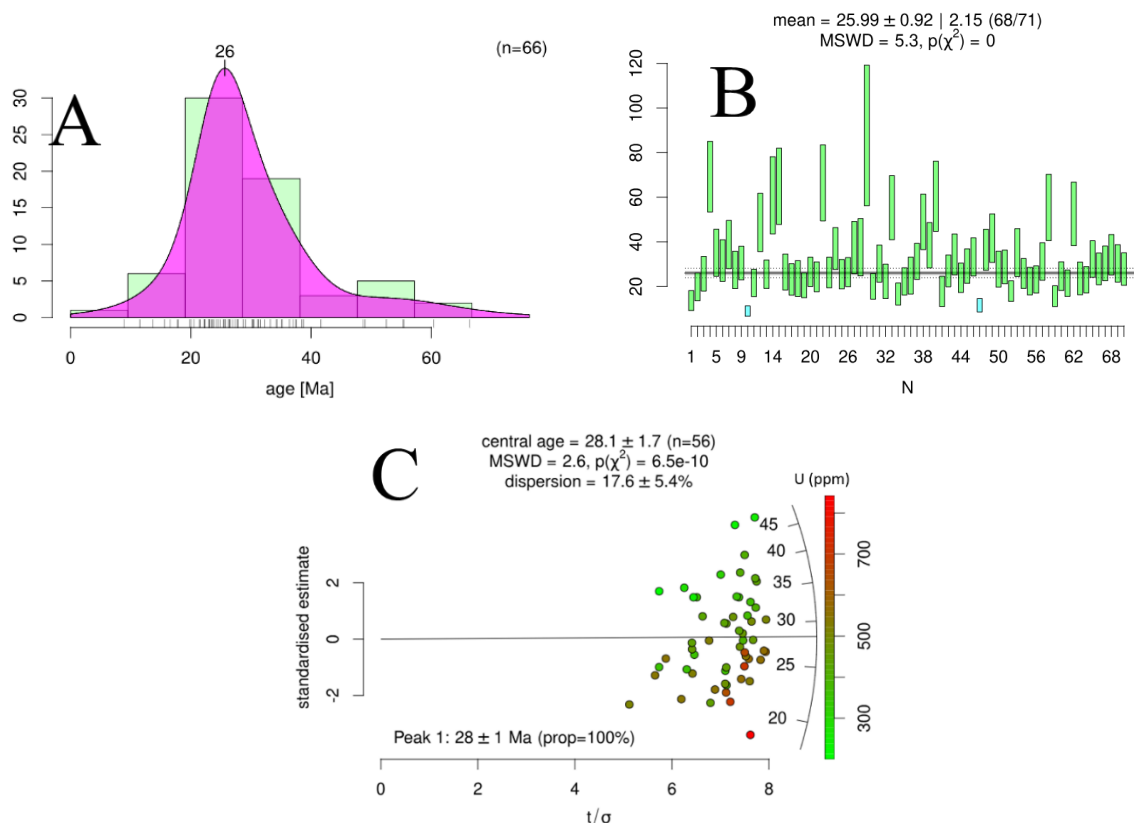
De acordo com estudos recentes, a datação U-Pb em zircão da FCT apresenta uma idade média muito próxima de 28,4 milhões de anos. Em um dos trabalhos, Schmitz e Bowring (2001) obtiveram, por meio da análise $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ em zircões, um valor ponderado de aproximadamente $28,42 \pm 0,03 \text{ Ma}$, demonstrando a alta precisão deste método para rochas jovens.

Paralelamente, a datação por traços de fissão aplicada ao zircão deste mesmo padrão tem fornecido uma idade de cerca de $28,3 \pm 2,9 \text{ Ma}$. Esse resultado, obtido a partir de estudos que utilizaram o Fish Canyon Tuff como material padrão para padronização da técnica (Naeser e Cebula, 1984), é compatível com as idades determinadas por outros métodos isotópicos (por

exemplo, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e K/Ar). Esses valores corroboram a idade amplamente aceita para o evento eruptivo associado à Fish Canyon Tuff, ocorrida há aproximadamente 28 milhões de anos.

Em relação ao MTF, a amostra FCT apresentou uma média ponderada de $25,93 \pm 0,92$ Ma, e uma idade central de $28,9 \pm 2,5$ Ma, conforme evidenciado na Figura 22. Congruente com o valor médio de 28,4 encontrado por outros laboratórios. Os dados podem ser encontrados no apêndice C.

Figura 22 - MTF da amostra FCT: (A) Estimativa de Densidade Kernel, (B) Média Ponderada; (C) Radial plot.

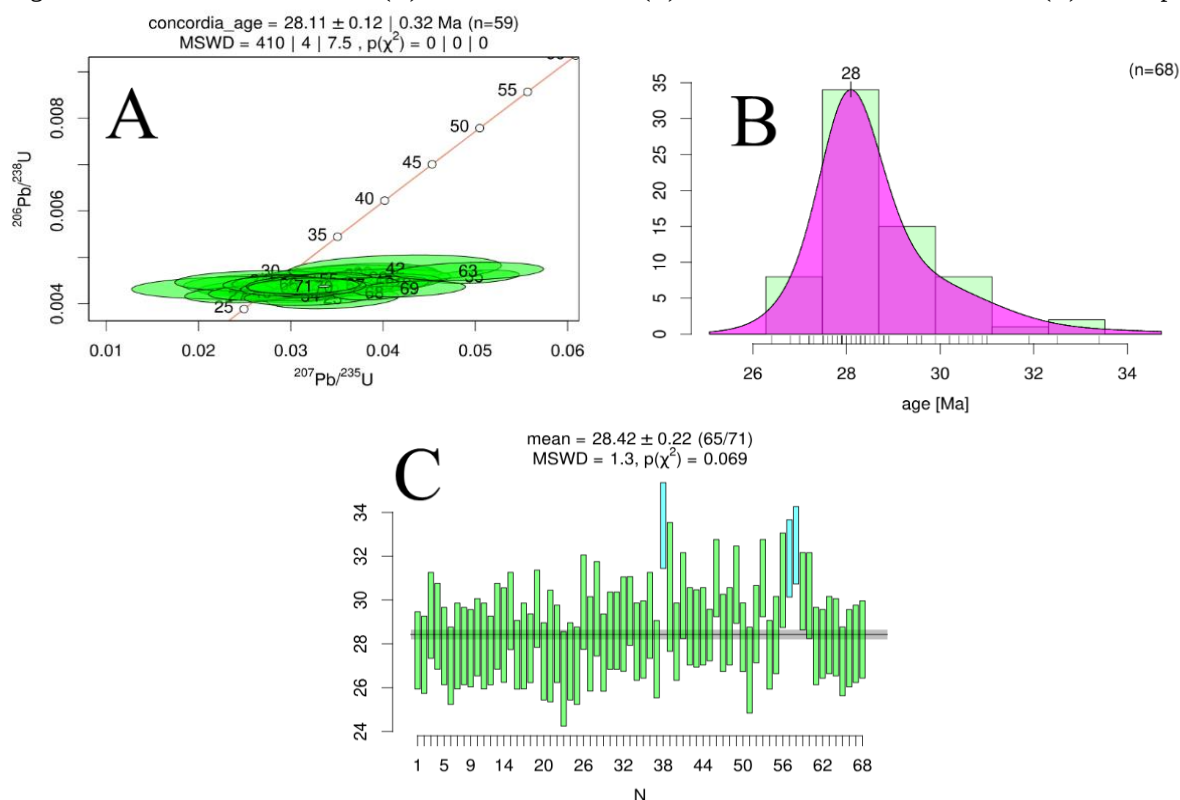


N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

Em relação ao sistema U-Pb, a idade de concórdia e a idade média ponderada resultaram em uma idade de $28,17 \pm 0,11$ Ma e $28,42 \pm 0,22$ Ma, com a idade média resultando no valor quase exato de Schmitz e Bowring (2001) com $28,42 \pm 0,03$ Ma, conforme evidenciado nos gráficos da Figura 23. Dessa forma, a metodologia de U-Pb se mostra confiável para o restante das amostras. Os dados podem ser encontrados no apêndice D.

Figura 23 - U-Pb na amostra FCT: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel; (C) Radial plot.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.3 Bacia Potiguar

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos para as amostras das formações Jandaíra (amostra Apodi) e Açú, pertencentes à Bacia Potiguar, com base nas análises realizadas pelos métodos MTF e U-Pb. Os dados obtidos revelam informações significativas sobre a composição, a evolução e a cronologia dessas unidades, permitindo uma melhor compreensão de seus processos deposicionais e tectônicos.

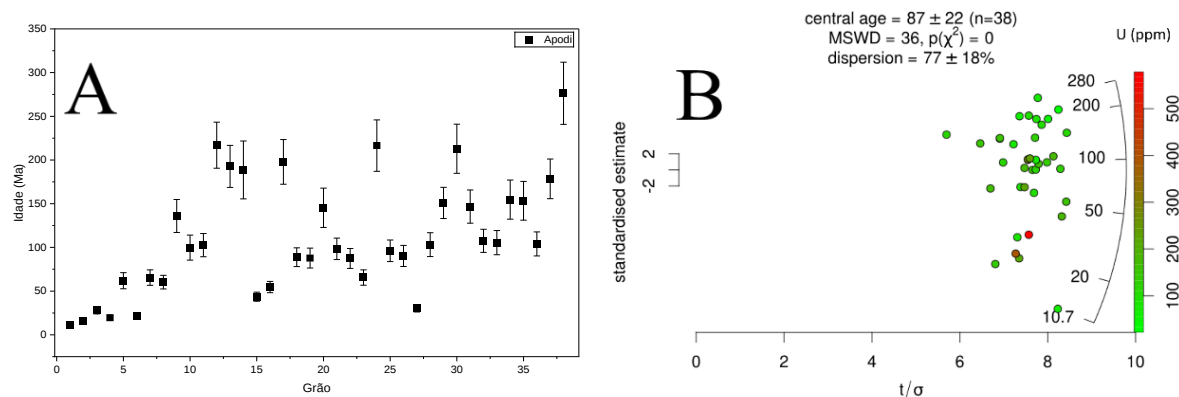
5.3.1 Amostra APODI

Através de 40 grãos da amostra Apodi da formação Jandaíra, foi realizado 40 ablações para o cálculo de idades U-Pb e MTF-LA. Com os dados disponíveis nos apêndices E e F.

5.3.1.1 MTF-LA – Apodi

Na Figura 24 estão os gráficos de MTF, nos quais também se percebe uma distribuição de idades, típica de bacia, porém com uma concentração maior em cerca de 100 Ma. As idades mais baixas também são esperadas visto que a temperatura de fechamento para o MTF é menor do que a do U-Pb.

Figura 24 - MTF na amostra Apodi: (A) Flutuação de Idades; (B) Radial plot.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central (ma).

Fonte: O Autor

A análise de traços de fissão em zircão aplicada às amostras da Formação Jandaíra da Bacia Potiguar revelou idades variando de 12 a 180 Ma, com uma idade média ponderada de 111 ± 3 Ma. Essa técnica fornece informações diretas sobre a história térmica das rochas, ao registrar o tempo decorrido desde que os zircões esfriaram abaixo da temperatura de fechamento do sistema, estimada em aproximadamente 240 ± 50 °C (De Moraes Neto *et al.*, 2008; Pestilho, 2018). Assim, as idades obtidas refletem o momento em que as rochas portadoras desses zircões atingiram temperaturas suficientemente baixas para preservar o registro dos traços de fissão, permitindo uma interpretação robusta da evolução térmica da região.

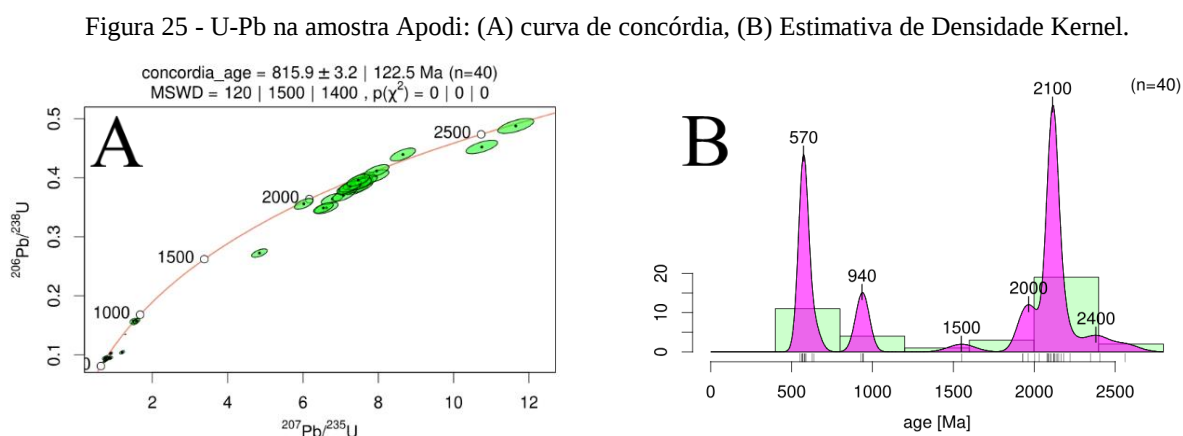
No contexto geológico regional, a Bacia Potiguar integra a Província Borborema, que possui uma história tectônica e termal complexa marcada por eventos de rifteamento, soerguimento, erosão e atividade vulcânica (Pestilho, 2018; Souza *et al.*, 2016). Esses processos influenciaram significativamente o regime térmico das rochas, de modo que as idades obtidas por MTF podem ser correlacionadas a distintos episódios de resfriamento. As idades mais elevadas, no intervalo de 180 a 66 Ma, podem representar o resfriamento associado ao soerguimento e erosão subsequentes ao rifteamento ocorrido durante o Cretáceo. Evidências

provenientes da Formação Açu indicam um aquecimento durante o Neocretáceo seguido de um resfriamento no início do Eoceno (De Claudino-Sales; Peulvast, s.d.; De Moraes Neto *et al.*, 2008).

Em contrapartida, as idades mais jovens, compreendidas entre 66 e 12 Ma, parecem estar associadas a eventos de ressurgimento ou à atividade vulcânica cenozóica na Bacia Potiguar, que podem ter ocasionado elevados gradientes geotérmicos e influenciado as paleotemperaturas registradas nos zircões (Pestilho, 2018; De Moraes Neto *et al.*, 2008). Estudos realizados na região do Planalto da Borborema identificaram um evento de resfriamento no Neocretáceo, com início entre 100 e 90 Ma, atribuído ao soerguimento regional e à erosão continental, bem como um subsequente episódio de resfriamento na transição Neocretáceo–Eoceno, ocorrido entre 65 e 50 Ma (De Claudino-Sales; Peulvast, s.d.; De Moraes Neto *et al.*, 2008). Tais eventos deixam um registro termocronológico que se reflete nas idades obtidas pelos métodos de traços de fissão.

5.3.1.2 U-Pb - Apodi

Na Figura 25 estão os gráficos de U-Pb, nos quais percebe-se a grande dispersão das amostras devido a ser uma bacia, em contraposição aos granitos das amostras padrão e da Província Borborema.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Concordia age = Idade de concórdia.

Fonte: O Autor.

A diversidade de idades obtidas reflete múltiplas fontes detríticas, destacando-se dois grupos principais. O primeiro corresponde ao Neoproterozoico (~580 Ma), compatível com zircões originados de eventos relacionados ao Ciclo Brasileiro, amplamente encontrado na

Província Borborema. O segundo grupo inclui idades de cerca de 2000 Ma, sugerindo contribuições de terrenos paleoproterozoicos, como o Maciço de Borborema, que se configura como uma das principais fontes sedimentares. Essa heterogeneidade na proveniência reforça a hipótese de sedimentação em um ambiente tectonicamente ativo, onde a erosão de fontes crustais de diferentes idades forneceu material detrítico transportado até a Bacia Potiguar.

A Formação Jandaíra, unidade na qual os zircões foram encontrados, é composta predominantemente por calcários e margas, e sua sedimentação ocorreu durante o Cretáceo Superior, no contexto da abertura do Atlântico Sul. O ambiente deposicional foi caracterizado por condições marinhas rasas, influenciadas por processos tectônicos associados à fragmentação do Gondwana. A diversidade das idades U-Pb dos zircões indica a integração de material detrítico oriundo de terrenos proximais, refletindo a influência de processos de levantamento tectônico e erosão regional durante a evolução da bacia sedimentar.

As idades U-Pb obtidas em amostras de zircão da Formação Jandaíra na Bacia Potiguar (com concentrações pelos picos em KDE em 580, 940, 1600, 2000, 2200 e 2500 Ma) fornecem importantes subsídios para a interpretação da proveniência sedimentar e da evolução tectono-estratigráfica da bacia. A idade de 2500 Ma, situada no Arqueano, pode estar relacionada ao Maciço São José do Campestre, como apontado por Pestilho (2018) e corroborado por Gamalho (2021) e Baesso (2021). Essa faixa temporal sugere a presença de material derivado de fontes muito antigas, evidenciando a complexa história geológica da região.

As idades compreendidas entre 2200 e 2000 Ma, correspondentes ao Paleoproterozoico, constituem a porção majoritária do embasamento da Província Borborema. Esses valores são recorrentes em toda a província, indicando uma vasta extensão de rochas formadas nesse intervalo temporal, como relatado por Pestilho (2018) e Baesso (2021).

A idade de 1600 Ma pode estar associada ao Cinturão Orós–Jaguaribe, o que reforça a existência de eventos tectônicos e magmáticos que contribuíram para a formação de núcleos cristalinos nesta região, conforme sugerido por Pestilho (2018).

Em relação à idade de 940 Ma, que se insere no Mesoproterozoico, observa-se que os zircões com idades correspondentes ao Cariris Velhos (~1,0 Ga) são pouco expressivos, o que pode refletir a relativa escassez de eventos magmáticos ou de erosão significativa nesta faixa etária (Baesso, 2021).

A idade de 580 Ma se situa no contexto do ciclo Brasileiro–Pan Africano, período durante o qual a maioria das intrusões registra idades de cristalização entre 0,62 e 0,63 Ga, conforme os dados de Pestilho (2018) e Baesso (2021). Essa associação evidencia a influência de processos tectônicos de larga escala na história evolutiva da bacia.

A Província Borborema, que compõe o embasamento da Bacia Potiguar, abriga rochas com idades que variam do Paleoarqueano ao Ordoviciano, fornecendo uma fonte diversificada de sedimentos. Estudos de proveniência, que utilizam o zircão detrítico como principal proxy, revelam que os sedimentos das rochas clásticas da Bacia Potiguar, tanto nas porções rifte quanto pós-rifte, têm origem predominantemente nas rochas do setor norte da Província Borborema, especificamente dos domínios do Rio Grande do Norte e do Ceará Central. Esses estudos indicam uma contribuição mínima ou inexistente de rochas oriundas do Domínio da Zona Transversal (Baesso, 2021).

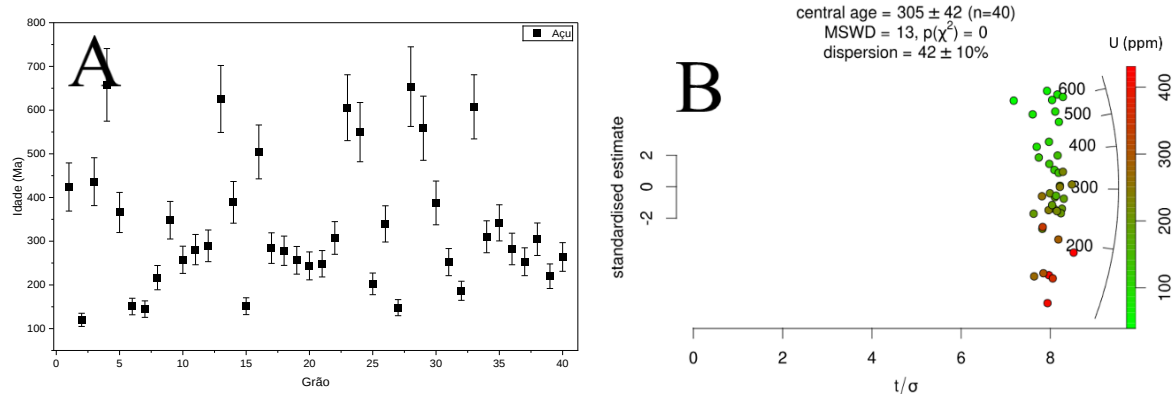
5.3.2 Amostra AÇU

Através de 40 grãos da da amostra da Formação Açú, foram realizadas 40 ablações para o cálculo de idades U-Pb e MTF-LA. Com os dados disponíveis nos apêndices G e H.

5.3.2.1 MTF - AÇU

Pelos gráficos da Figura 26, a amostra Açú obteve uma dispersão de idades de 100 a 700 Ma, com algumas concentrações em 250 Ma, 350 Ma e 650 Ma.

Figura 26 - MTF na amostra Açú: (A) Distribuição de Idades em scatter; (C) Radial Plot.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central (ma).

Fonte: O Autor

Em uma amostra de zircão de sedimentos da Formação Açú da Bacia Potiguar, a aplicação do método de traços de fissão, resultou em uma idade média de 341 ± 10 Ma e em uma pooled age de 292 ± 9 Ma. Esses valores refletem a história térmica dos zircões, considerando que os dados obtidos por traços de fissão não foram reiniciados após a deposição dos sedimentos. Dessa forma, as idades obtidas representam, de fato, as idades de proveniência,

ou seja, a idade das rochas de onde os zircões foram derivados (Baesso, 2021; De Moraes Neto *et al.*, 2008).

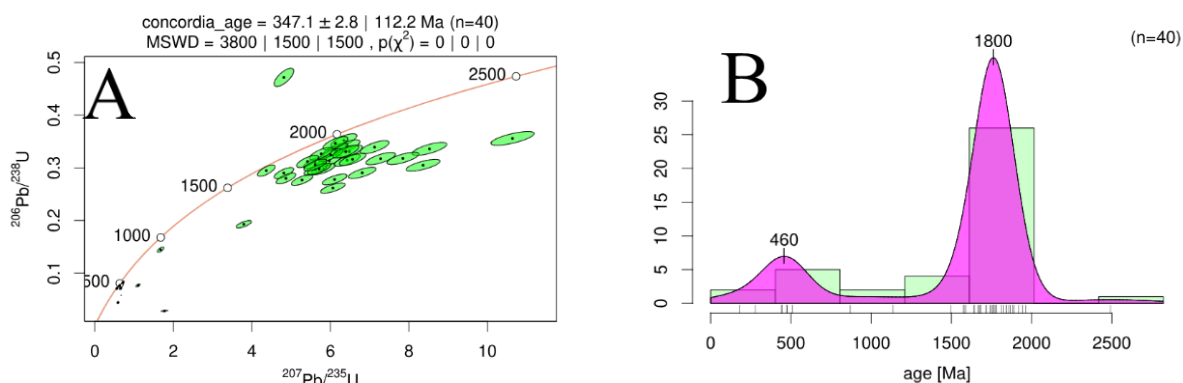
Observa-se uma significativa dispersão nas idades dos grãos individuais, o que evidencia a existência de populações etárias distintas e, consequentemente, a contribuição de múltiplas fontes para os sedimentos. As idades de 341 Ma e 292 Ma sugerem que diferentes grupos de zircões, cada qual proveniente de uma fonte com uma idade característica, coexistem na amostra. Assim, a análise de traços de fissão permite não só registrar a idade da extração do magma, mas também preservar a memória dos processos térmicos que afetaram os zircões antes de sua incorporação aos sedimentos (De Moraes Neto *et al.*, 2008).

No contexto regional, estudos na Província Borborema indicam a ocorrência de eventos de resfriamento no Neocretáceo, com início entre 100 e 90 Ma, atribuídos ao soerguimento regional e à erosão continental, bem como de eventos térmicos durante a transição Neocretáceo–Eoceno, entre 65 e 50 Ma (De Moraes Neto *et al.*, 2008). Adicionalmente, a análise de U/Pb em zircão detrítico tem sido empregada para definir as áreas fontes dos sedimentos, ao comparar as idades obtidas com os valores modelo que representam a extração de magma do manto. As idades das rochas do embasamento adjacente à bacia, variando entre 2,20–2,00 Ga e 1,90–1,70 Ga, sugerem que as prováveis áreas fontes dos sedimentos são as rochas da parte norte da Província Borborema. Considerando que a Bacia Potiguar é composta predominantemente por sedimentos derivados dessa província e que suas unidades litoestratigráficas e estruturas estão relacionadas aos três estágios de separação do supercontinente Gondwana (Baesso, 2021; De Moraes Neto *et al.*, 2008), a integração dos dados de traços de fissão com um mapa geocronológico regional—incluindo informações do Escudo Nigeriano—é fundamental para a reconstrução da configuração paleogeográfica e para aprimorar a interpretação dos processos de proveniência envolvidos (Cardoso, 2022; Baesso, 2021).

5.3.2.2 U-Pb - AÇU

Pelos gráficos da Figura 27, a amostra Açú obteve uma dispersão de idades com concentrações em 490 e 2000 Ma.

Figura 27 - U-Pb na amostra Açú: (A) curva de concórdia, (B) Estimativa de Densidade Kernel.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Concordia age = Idade de concórdia.

Fonte: O Autor.

A interpretação dos gráficos de U–Pb em zircão da Formação Açú da Bacia Potiguar revela uma distribuição bimodal de idades, com concentrações em aproximadamente 500 Ma e 2000 Ma, evidenciando a presença de contribuições provenientes de áreas fontes com histórias geológicas distintas. A técnica de datação U–Pb aplicada em zircões possibilita determinar a idade de cristalização dos minerais na rocha de origem, servindo como ferramenta para correlacionar as idades obtidas na amostra com aquelas presentes em potenciais áreas fontes dos sedimentos (Baesso, 2021; Pestilho, 2018). Assim, a presença de zircões com idades na ordem dos 500 Ma sugere a contribuição de rochas neoproterozóicas, enquanto as idades em torno de 2000 Ma indicam a influência de formações do Complexo Gnáissico-Migmatítico Paleoproterozoico.

A eficácia dessa metodologia depende diretamente da diversidade das litologias presentes nas áreas potenciais de proveniência. Se os eventos geológicos responsáveis pela geração dos zircões ocorreram de forma homogênea em todas as áreas, torna-se difícil identificar uma fonte específica. Entretanto, quando os terrenos fontes apresentam histórias geológicas marcadamente distintas, como é o caso da Província Borborema, torna-se possível estabelecer correlações mais precisas. Estudos na região indicam que os granitoides neoproterozóicos apresentam idades de cristalização em torno de 620–630 Ma e granitos associados à zona de cisalhamento Senador Pompeu situam-se entre 580 Ma e 590 Ma (Pestilho, 2018). Em contraste, o Complexo Gnáissico-Migmatítico Paleoproterozoico, que compõe grande parte do embasamento da Província, exhibe idades entre 2110 e 2190 Ma. Além disso, investigações de proveniência utilizando zircões detríticos na Bacia Potiguar apontam para populações importantes de idades no Paleoproterozoico (entre 2,20–2,00 Ga e 1,90–1,70 Ga) e

no Neoproterozoico (entre 0,62–0,55 Ga), confirmando a contribuição de fontes relacionadas ao ciclo Brasileiro–Pan Africano (Baesso, 2021).

Diante desse contexto, os sedimentos da Formação Açú parecem ter derivado predominantemente do Complexo Gnáissico-Migmatítico Paleoproterozoico e dos granitoides neoproterozóicos da Província Borborema. A variabilidade na contribuição de diferentes terrenos ao longo do tempo pode estar relacionada a mudanças nos padrões de drenagem e à evolução tectônica da região (Baesso, 2021).

5.4 Província Borborema

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos para as amostras da Província Borborema com base nas análises realizadas pelo método U-Pb e MTF. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela 11 e revelam informações significativas sobre a composição, a evolução e a cronologia dessas unidades, permitindo uma melhor compreensão de seus processos tectônicos. Os dados de cada amostra, incluindo as razões isotópicas e idades individuais podem ser encontrados nos apêndices do I ao AK.

Tabela 11 - Idades U-Pb da Província Borborema

Amostra	N	U-Pb			MTF-LA	
		Idade de Concórdia (Ma)	Idade Média Ponderada (Ma)	Picos KDE (Ma)	Idade Média (Ma)	Idade Central (Ma)
FT-06 (1)	34	568 ± 36	1817 ± 23	1900	265 ± 8	247 ± 34
CEBP-321 (2)	22	574 ± 6	581 ± 19	570/1900	288 ± 9	284 ± 23
CEBP-35 (3)	12	551 ± 6	541 ± 7	570	183 ± 6	173 ± 40
CEBP-317 (4)	18	583 ± 6	591 ± 11	590	214 ± 7	210 ± 28
CEBP-314 (5)	10	521 ± 6	495 ± 23	500	279 ± 9	275 ± 33
FT-02 (6)	23	574 ± 4	576 ± 8	310/480/590	197 ± 6	183 ± 34
FT-04 (7)	36	539 ± 3	537 ± 7	540	397 ± 11	378 ± 38
CEBP-112 (8)	9	619 ± 9	614 ± 16	630/1400	233 ± 8	181 ± 62
FT-03 (9)	36	583 ± 4	588 ± 8	600	411 ± 12	396 ± 36
W-03 (10)	30	1635 ± 10	1642 ± 44	950/1600	431 ± 13	311 ± 60
CEBP-219 (11)	9	-	485 ± 13	500	214 ± 8	194 ± 58
CEBP-285 (12)	33	581 ± 3	590 ± 6	580	261 ± 8	255 ± 17

CEBCEI-175 (13)	5	555 ± 13	561 ± 24	550	192 ± 7	191 ± 30
CEBCEI-031 (15)	9	467 ± 5	469 ± 10	470	321 ± 22	241 ± 41

Fonte: O Autor.

5.4.1 São José do Campestre

Neste subtópico apresentam-se as idades do domínio São José do Campestre.

5.4.1.1 Serrinha-Jundiá (FT-06)

A datação U–Pb para a amostra FT-06 (Figura 28) revelou uma idade média ponderada de 1817 Ma, indicando a presença de componentes paleoproterozoicos que podem representar tanto a idade dos protólitos quanto a incorporação de zircões herdados. O diagrama de Tera-Wasserburg para as idades U-Pb (Figura 28C) mostra grãos de zircão herdados do Pré-Cambriano com idades entre 1 e 2 Ga. O intercepto inferior, de 568 ± 36 Ma, sugere que um evento termal ou metamórfico, possivelmente associado ao Ciclo Brasileiro, causou a perda parcial de Pb nos zircões, reconfigurando o sistema isotópico. Essa presença de zircões herdados é uma característica recorrente em rochas graníticas da região, evidenciando a reciclagem de material crustal preexistente durante a formação dos granitos neoproterozoicos (Sá *et al.*, 2014). Desse modo, a amostra contém zircões de idade original paleoproterozoica (1817 Ma) que foram modificados por eventos tectônicos e magmáticos próximos a 568 Ma, o que corrobora os processos orogenéticos do Neoproterozoico no Domínio São José do Campestre. Estes resultados sugerem que o plúton Serrinha-Jundiá se intrometeu durante a Orogenia Brasileira, incorporando grãos de zircão pré-cambrianos que não atingiram a temperatura de recristalização necessária para redefinir suas idades.

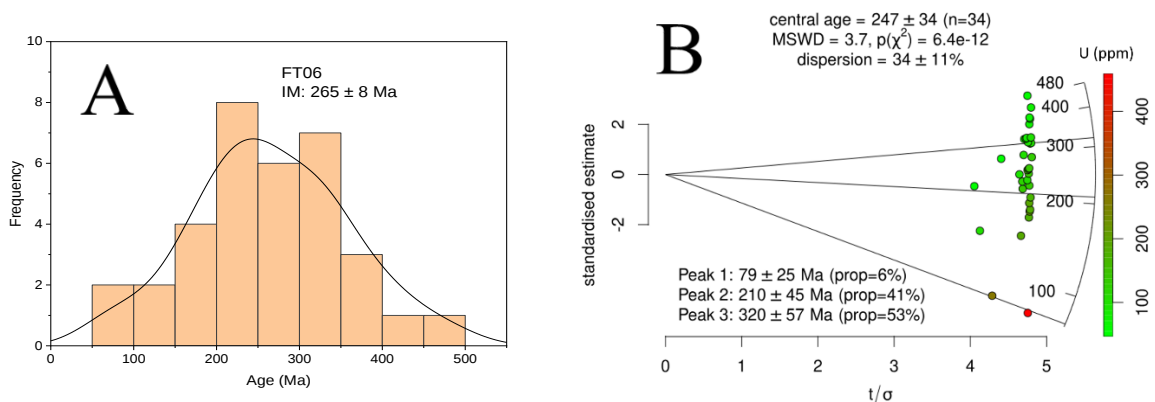
Em relação ao Método de Traços de Fissão (MTF-LA), a distribuição de idades em zircão para a amostra FT-06 (Figura 28A) revela uma ampla faixa etária, variando de 50 a 500 Ma, na qual se observam três populações de idade distintas. Tipicamente, as idades obtidas por MTF-LA via LA-ICP-MS apresentam um espectro amplo devido à variabilidade de urânio, e é recomendado interpretar apenas a idade média de todos os grãos para fins geológicos (Vermeesch, 2017). Contudo, como a análise envolve zircão separado de uma rocha plutônica, essas idades distintas podem ser interpretadas como reativações tectônicas relacionadas a falhas adjacentes, como as Zonas de Cisalhamento Patos e Picuí–João Câmara (Nascimento *et al.*, 2018; da Silva Pinheiro *et al.*, 2023). Uma razão adicional para distinguir essas idades é que

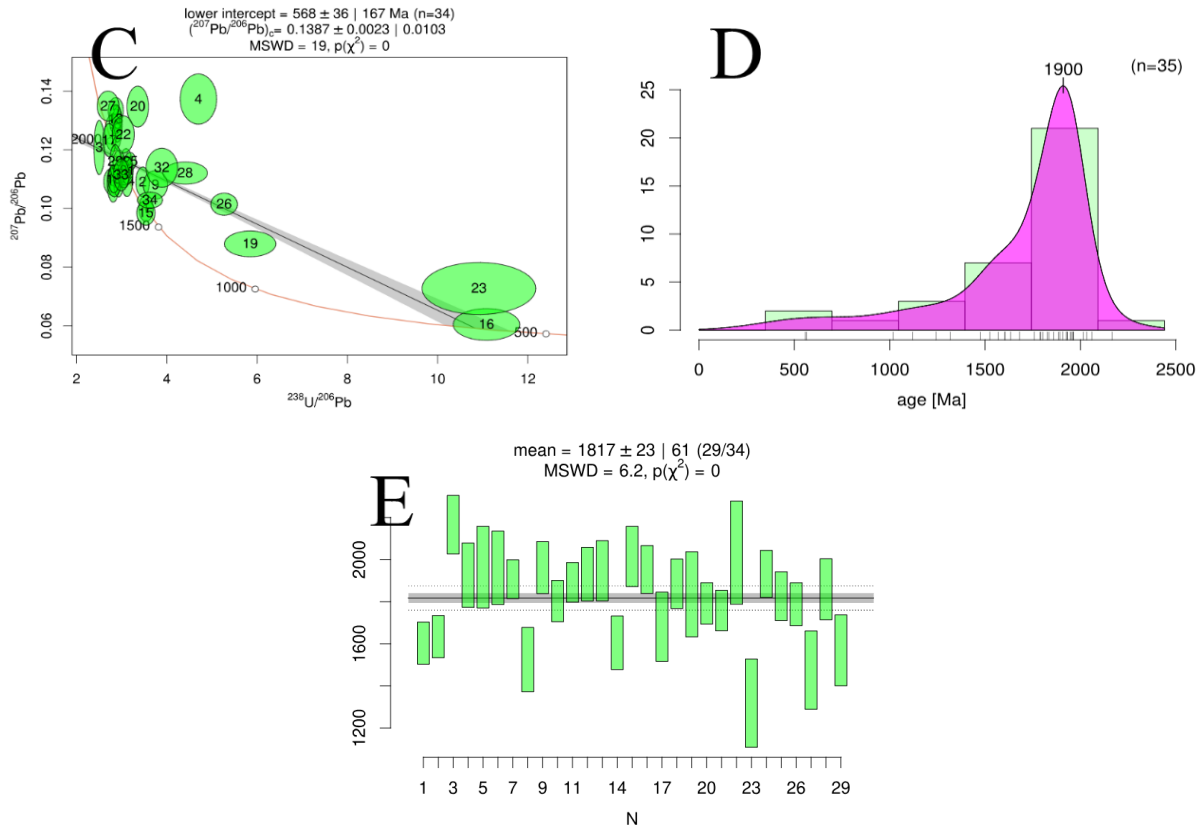
apenas uma idade média é observada nas amostras do Monte das Gameleiras e do granito Barcelona, que também pertencem ao Maciço São José do Campestre. As três populações de idades MTF-LA foram determinadas com base na distribuição de idades, suas flutuações e pelo radial plot (Figuras 28A, 28B). As idades médias ponderadas resultantes são: 353 ± 21 Ma (com $P(\chi^2)$ de cerca de 91%), 207 ± 10 Ma (com $P(\chi^2)$ entre 40-50%), e 78 ± 12 Ma (com $P(\chi^2)$ de cerca de 99%). É provável que estas idades registrem atividade tectônica na região de Serrinha-Jundiá durante os períodos Devoniano, Triássico e Cretáceo.

A população mais jovem, com idade central de aproximadamente 79 Ma, é composta por apenas dois grãos que exibem concentrações de urânio significativamente mais altas do que os demais. Isso sugere que as idades ZFT mais jovens desses grãos podem ter sido afetadas pela metamictização, o que resultaria em idades artificialmente mais jovens devido à redução da temperatura de fechamento do sistema. Em contraste, os grãos de zircão das populações mais antigas (~210 Ma e ~320 Ma) exibem concentrações de urânio semelhantes, mantendo a interpretação de eventos tectônicos de exumação.

A existência dessas cinco idades distintas (360, 270, 206, 170 e 78 Ma) pode ser interpretada como períodos de exumação da área de Serrinha-Jundiá, possivelmente associados a reativações tectônicas transcorrentes. Tais eventos tectônicos podem estar relacionados à evolução da paisagem na região, e idades de traços de fissão semelhantes são observadas, por exemplo, no Cinturão Brasília, nas formações Araxá e Canastra, e no Maciço Piumhi (Resende *et al.*, 2020).

Figura 28 - Amostra FT06: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de U-Pb Tera-Wasserburg, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.





N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.
Fonte: O Autor.

5.4.1.2 Monte das Gameleiras (CEBP-321)

As idades U-Pb obtidas para o granito Monte das Gameleiras (Figura 29) são de 574 Ma e 581 Ma, sugerindo sua cristalização durante o Ediacarano, um período associado à atividade magmática da Orogenia Brasileira/Pan-Africana (Arthaud *et al.*, 2015). A idade de concórdia determinada foi de $574 \pm 6 \text{ Ma}$, um resultado que é consistente com a literatura que indica a cristalização da rocha durante o Neoproterozoico. Em um contexto regional, os dados do Monte das Gameleiras se alinham com as idades de outros granitoides da Província Borborema, que geralmente variam de 620 Ma a 540 Ma (Arthaud *et al.*, 2015; Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015). Adicionalmente, os granitoides do Maciço São José do Campestre, como o tipo Itaporanga, apresentam idades entre 573 Ma e 576 Ma, que são atribuídas ao último evento de cisalhamento dúctil na área (Galindo *et al.*, 2005).

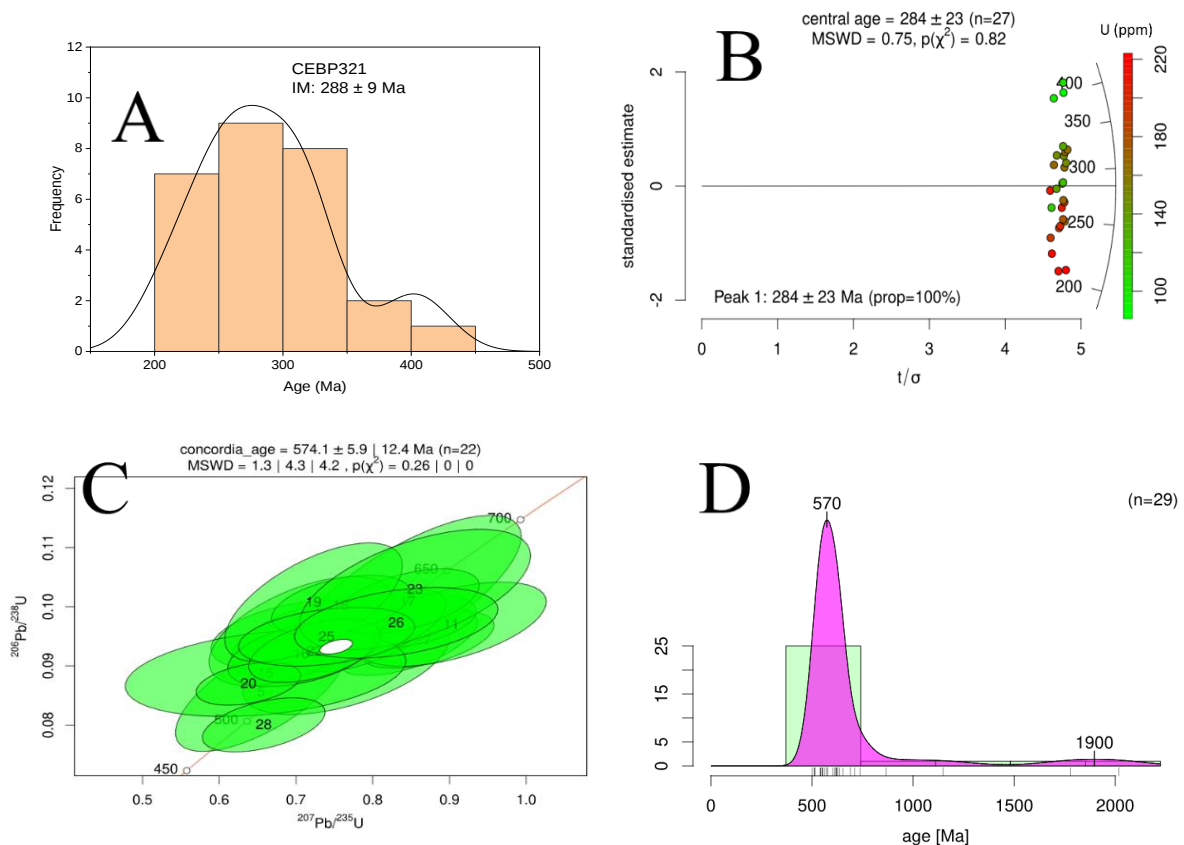
O plúton Monte das Gameleiras, ao se intrometer durante a orogenia Brasileira, incorporou apenas uma pequena quantidade de rochas do embasamento pré-cambriano, diferente do que ocorreu com Serrinha-Jundiá. Contudo, no diagrama de concórdia (Figura 29C), foram identificados grãos de zircão herdados do Pré-Cambriano com idades de $\sim 1 \text{ Ga}$,

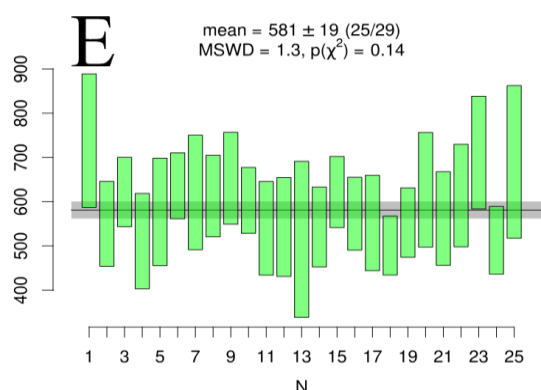
~1.6 Ga e ~1.8 Ga. A presença desses zircões herdados, que não são mostrados explicitamente na Figura 29C, sugere que eles não atingiram a temperatura necessária para redefinir suas idades cristalográficas U-Pb.

Em relação ao Método de Traços de Fissão (MTF-LA) em zircão, a distribuição de idades (Figura 29A) mostra uma faixa ampla de 200 a 450 Ma, com a presença de apenas uma população de idade. A idade média ponderada resultante dessa população é de 271 ± 11 Ma, com uma probabilidade de $P(\chi^2)$ entre 80-90%. Essa idade de resfriamento é interpretada como um importante evento de exumação que afetou o Monte das Gameleiras no período Permiano. A idade média do MTF-LA indica que este evento tectônico na região levou a rocha a atingir temperaturas em torno de 350°C, o que corresponde ao limite de recozimento (annealing) total para o MTF em zircão.

Embora esta amostra exiba uma única população de idade MTF-LA (271 ± 11 Ma), a análise demonstra concentrações de urânio variando entre 90 e 220 ppm. Esta observação está em concordância com a premissa de que a concentração de U pode influenciar a idade aparente, embora, neste caso, o efeito de metamictização não tenha sido suficiente para gerar populações estatisticamente separadas.

Figura 29 - Amostra CEBP321: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MTF-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.





N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.1.3 Barcelona (CEBP-35)

As amostras Serrinha-Jundiá (FT-06), Monte das Gameleiras (CEBP-321) e Barcelona (CEBP-35) (Figura 30), fazem parte do Maciço São José do Campestre, no Domínio São José do Campestre (DSJC) da Província Borborema, e fornecem dados cruciais sobre o magmatismo Neoproterozoico e a história de exumação subsequente, utilizando datações U-Pb e do Método de Traços de Fissão (MTF) em zircão.

Em relação às idades de cristalização (U-Pb), o granito Monte das Gameleiras (CEBP-321) e o granito Barcelona (CEBP-35) apresentaram idades consistentes com o magmatismo Ediacarano–Cambriano, associado à fase final do Ciclo Brasileiro/Pan-Africano. O Monte das Gameleiras revelou idades de 574 Ma e 581 Ma, com uma idade de concórdia de 574 ± 6 Ma, alinhando-se com outros granitoides da Província Borborema, que variam de 620 Ma a 540 Ma. O granito Barcelona apresentou idades de 551 Ma e 541 Ma, com um intercepto inferior de 584 ± 6 Ma. Já a amostra Serrinha-Jundiá (FT-06) revelou uma idade média ponderada U-Pb mais antiga, de 1817 Ma, indicando a presença de protólitos paleoproterozoicos ou a incorporação de zircões herdados. Para Serrinha-Jundiá, o intercepto inferior de 568 ± 36 Ma é interpretado como um evento termal ou metamórfico ligado ao Ciclo Brasileiro que causou perda parcial de Pb. A consistência das idades de cristalização (entre 568 Ma e 584 Ma) sugere que o magmatismo no Maciço São José do Campestre ocorreu durante a Orogenia Brasileira.

A análise da proveniência crustal, identificada pela presença de zircões herdados, demonstrou que os três plutões incorporaram material pré-cambriano. Serrinha-Jundiá (FT-06) contém zircões herdados do Pré-Cambriano com idades entre 1 e 2 Ga. Monte das Gameleiras

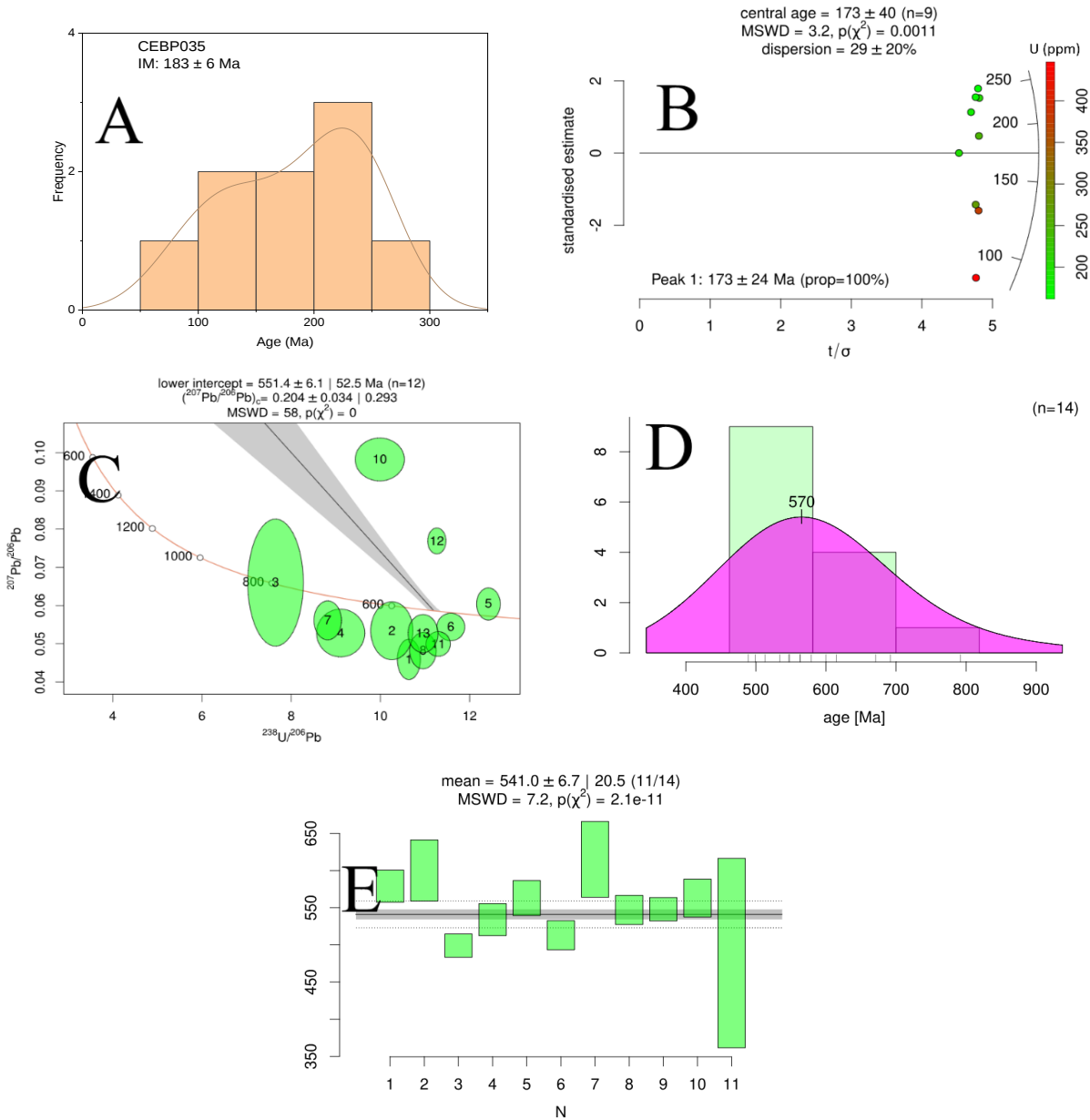
(CEBP-321) também possui grãos herdados de ~ 1 Ga, ~ 1.6 Ga e ~ 1.8 Ga, embora tenha incorporado menor quantidade de rochas do embasamento em comparação com Serrinha-Jundiá. Barcelona (CEBP-35) revelou a presença de zircões herdados com idades em torno de 800 Ma e 1.4 Ga. A ocorrência desses zircões herdados, que não tiveram seus sistemas U-Pb totalmente redefinidos, corrobora a reciclagem de material crustal preexistente durante a formação dos granitos neoproterozoicos.

As datações por MTF-LA em zircão revelaram a história de resfriamento e exumação pós-Brasiliana. Os resultados de MTF-LA, que registram o momento em que a rocha atingiu a temperatura de recozimento total ($\sim 350^{\circ}\text{C}$), variaram significativamente entre os plutões: a) (CEBP-321): Apresentou apenas uma população de idade, com idade média ponderada de 271 ± 11 Ma. Esta é interpretada como um importante evento de exumação que afetou a região no Permiano; b) (CEBP-35): Também exibiu uma única população, com idade média ponderada de 169 ± 13 Ma, datando do Jurássico; c) (FT-06): Demonstrou um espectro mais amplo (50 a 500 Ma), com três populações distintas: 353 ± 21 Ma (Devoniano), 207 ± 10 Ma (Triássico) e 78 ± 12 Ma (Cretáceo).

Em contraste com o plúton Serrinha-Jundiá (FT-06), o plúton Barcelona exibiu uma única população de idade Jurássica. Semelhante ao Monte das Gameleiras (CEBP-321), essa tendência sugere que a influência da concentração de urânio não foi forte o suficiente para criar populações etárias múltiplas discerníveis estatisticamente.

Em uma escala mais abrangente, a análise dos três plutões (FT-06, CEBP-321 e CEBP-35) sugere a ocorrência de cinco pulsos tectônicos e de exumação distintos, datados em aproximadamente 360, 270, 206, 170 e 78 Ma, que atingiram a temperatura de recozimento completa do zircão. A hipótese mais plausível é que estes múltiplos períodos de exumação estejam associados a reativações tectônicas transcorrentes após a Orogenia Brasiliana (~ 575 Ma), ligadas à evolução da paisagem regional. A observação de idades de traços de fissão semelhantes em outras áreas, como o Cinturão Brasília (Resende *et al.*, 2020), reforça esta interpretação de eventos tectônicos regionais.

Figura 30 - Amostra CEBP35: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.2 Rio Piranhas-Seridó (DRPS)

Neste subtópico apresentam-se as idades de U-Pb e MTF-LA do domínio Rio Piranhas-Seridó.

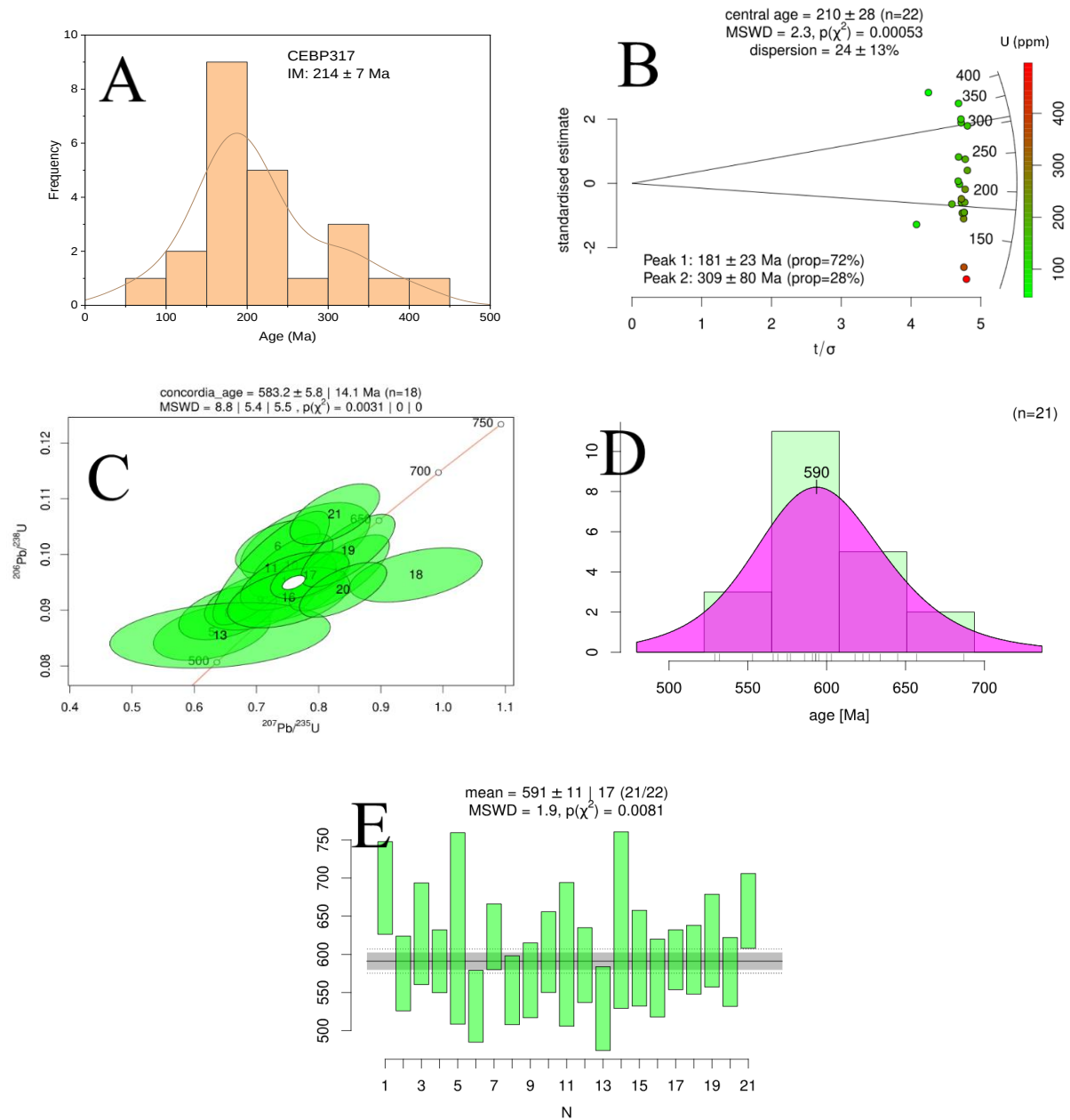
5.4.2.1 Acari - Granito (CEBP-317)

O granito Acari (CEBP-317), pertencente ao Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), apresenta idades U-Pb de 583 Ma e 591 Ma, conforme ilustrado na Figura 31. A sistemática U-Pb resultou em uma idade de concórdia de 583 ± 6 Ma, o que o enquadra no intervalo do magmatismo Ediacarano–Cambriano na Província Borborema (Da Silva Pinheiro *et al.*, 2023; Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015). Esta idade de cristalização é consistente com a literatura e pode ser associada a eventos significativos de colisão entre microcontinentes durante o Neoproterozoico, relacionados ao Ciclo Brasileiro–Pan-Africano (ca. 600–500 Ma) (Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015; Nascimento *et al.*, 2018; Sá *et al.*, 2014a).

Estudos prévios sobre o granito Acari indicam variações em suas idades, o que pode ser atribuído a diferenças metodológicas e à heterogeneidade das amostras analisadas. Uma isócrona Rb–Sr aplicada a sete amostras da fácies porfirítica grossa, por exemplo, sugeriu uma idade de 547 ± 25 Ma, enquanto datações U–Pb em zircão para a mesma fácies forneceram 555 ± 5 Ma (Legrand *et al.*, 1991) e 577 ± 5 Ma (Archanjo *et al.*, 2013) (Do Nascimento, Galindo & De Medeiros, 2015). As idades obtidas neste estudo (583–591 Ma) estão em consonância com intervalos de (590–600 Ma) observados em outros plútons regionais, como São José de Espinharas, Totoro e Cardoso (Hollanda *et al.*, 2013).

Em relação ao Método de Traços de Fissão em zircão (MTF-LA), a distribuição de idades na amostra CEBP-317 (Figura 31A) exibe um amplo intervalo etário, variando de 50 a 450 Ma, com a identificação de duas populações distintas. As idades médias ponderadas dessas populações são 309 ± 32 Ma (com $P(\chi^2)$ entre 80–90%) e 170 ± 9 Ma (com $P(\chi^2)$ entre 20–30%). Este plúton, localizado na região de Acari, registra, portanto, dois eventos tectônicos que ocorreram durante os períodos Carbonífero (309 Ma) e Jurássico (170 Ma), os quais podem ser interpretados como duas idades de exumação distintas.

Figura 31 - Amostra CEBP317: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

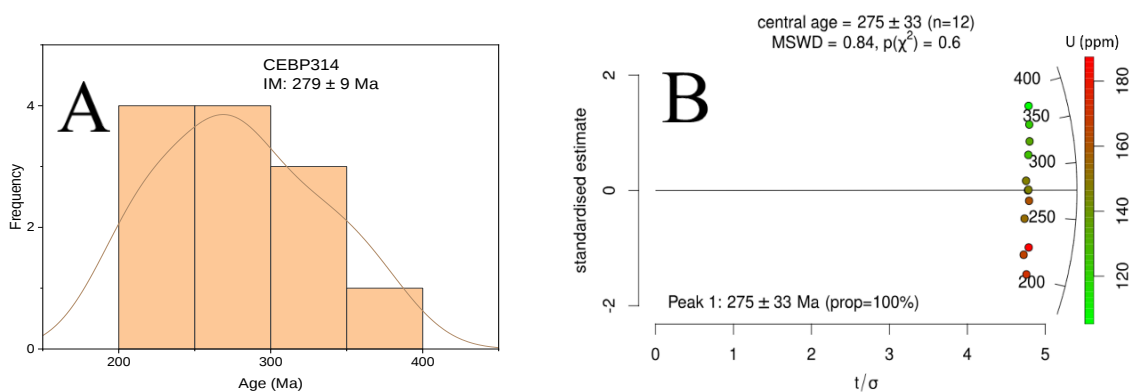
5.4.2.2 Acari - Diorito (CEBP-314)

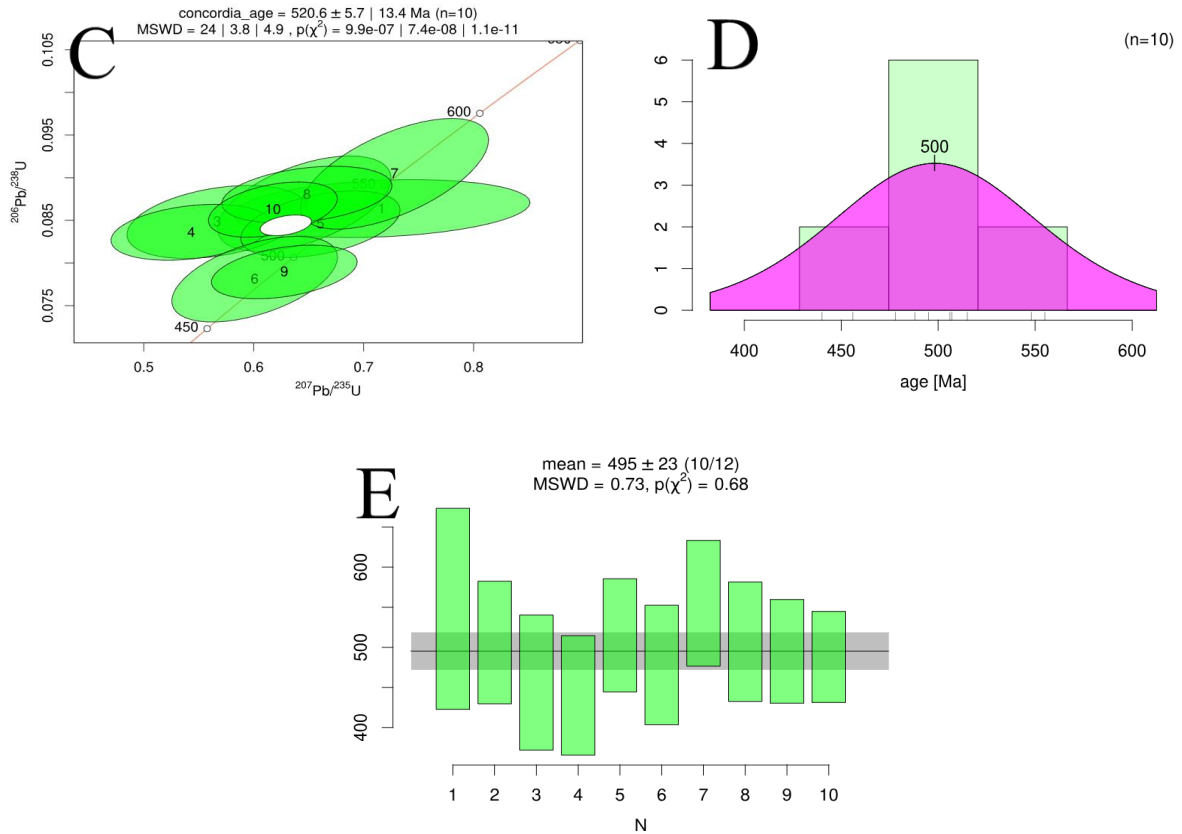
O granito "Acari - Diorito (CEBP-314)", localizado no Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), foi analisado por datações U-Pb e do Método de Traços de Fissão (MTF-LA) em zircão.

As datações U–Pb para o diorito do Acari (Figura 32) resultaram em idades de 521 Ma e 495 Ma, situando o plúton no intervalo do magmatismo Ediacarano–Cambriano na Província Borborema. A idade de concórdia determinada foi de 521 ± 6 Ma (275, Tabela 11). Em comparação com as datações anteriores para o granito Acari, que indicam idades geralmente mais antigas (por exemplo, 577 ± 5 Ma por U–Pb), as idades obtidas para o diorito (521 Ma e 495 Ma) sugerem a ocorrência de um evento magmático mais tardio. A discrepância entre a idade de concórdia e a idade média ponderada (495 ± 23 Ma) pode ser atribuída a processos como perda de chumbo, alteração hidrotermal ou múltiplos eventos de crescimento dos zircões, demandando análises complementares para elucidar essas discordâncias. A idade de concórdia de 521 ± 6 Ma se alinha estatisticamente com a amostra do Granito Acari (CEBP-317). Estes resultados sugerem que o Plúton Diorito Acari, que foi alojado durante a Orogenia Brasileira, não incorporou rochas pré-cambrianas.

Em relação ao Método de Traços de Fissão em zircão (MTF-LA), a distribuição de idades para a amostra CEBP-314 (Figuras 32A, B) mostra uma faixa etária de 200 a 400 Ma, com uma única população de idade. A idade média ponderada desta população é de 261 ± 16 Ma, com $P(\chi^2)$ entre 60-70%. Embora esta amostra contenha apenas 11 grãos datados, sua idade média MTF-LA está alinhada com o pulso tectônico do Permiano registrado pela amostra CEBP-317 (Granito Acari). A idade de 261 Ma indica o registro de um evento de exumação na região.

Figura 32 - Amostra CEBP314: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada





N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.2.3 Serra da Garganta (FT-02)

O estudo geocronológico e termocronológico do plúton da Serra da Garganta (FT-02), localizado no Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), permitiu delinear uma evolução termo-tectônica complexa, marcada por uma intrusão Neoproterozoica e múltiplos eventos subsequentes de resfriamento e exumação. A datação U–Pb em zircão (Figura 33) estabeleceu uma idade de concórdia de 574 ± 4 Ma e uma idade média ponderada de 576 ± 8 Ma. Estes resultados situam de forma robusta a cristalização do magma no período Ediacarano, sendo inteiramente compatíveis com o ápice da atividade magmática associada ao ciclo Brasiliano/Pan-Africano (Arthaud *et al.*, 2015). A similaridade estatística entre a idade de concórdia e a idade média ponderada atesta a integridade do sistema isotópico U-Pb, sugerindo pouca perda de chumbo pós-cristalização. Embora a literatura prévia para este plúton tenha reportado uma idade ligeiramente mais antiga (598 ± 5 Ma) (Nascimento *et al.*, 2018), o valor obtido de 574 Ma é estatisticamente alinhado com outras amostras do domínio, como o Granito

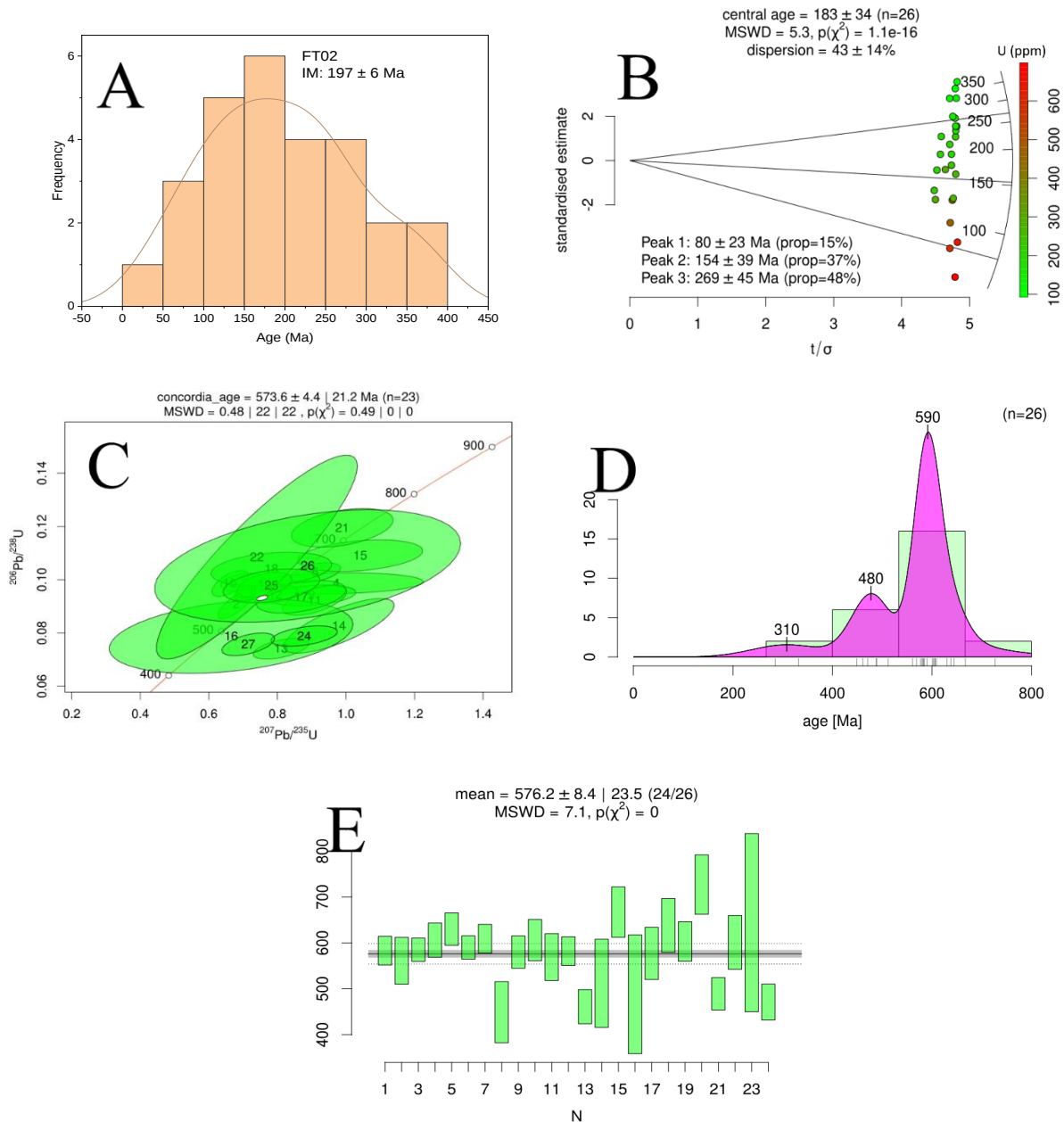
Acari (CEBP-317) e o Diorito Acari (CEBP-314), reforçando a cronologia de intrusão Brasileira.

Em contraste com a coerência dos dados de alta temperatura, a termocronologia de baixa temperatura obtida pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) revelou um espectro de idades amplo, que variou de 25 Ma a 400 Ma, indicando um registro complexo de exumação e reativações. A distribuição etária não homogênea sugere que a rocha foi afetada por quatro populações etárias distintas de resfriamento, em vez de um evento singular, o que é interpretado geologicamente como reflexo das reativações tectônicas regionais que afetaram o plúton. As populações identificadas incluem idades médias ponderadas de 349 ± 36 Ma (Carbonífero) e 230 ± 16 Ma (Triássico), que representam dois eventos tectônicos cruciais de exumação. Adicionalmente, foram registradas populações mais jovens, como 134 ± 10 Ma e 72 ± 9 Ma, que são interpretadas como eventos adicionais que ocorreram tanto antes quanto depois da fragmentação do Gondwana e da abertura do Oceano Atlântico Sul, no Cretáceo e Paleogeno.

Dessa forma, a cronologia integrada para a Serra da Garganta estabelece uma idade de cristalização Neoproterozoica (574 Ma), enquanto o registro de MTF-LA documenta a complexidade da história termal fanerozoica. A presença de múltiplas populações de idade MTF-LA nesta amostra, em contraste com a relativa simplicidade do sistema U-Pb, sublinha o impacto persistente das reativações tectônicas transcorrentes na Província Borborema, fornecendo um registro detalhado de quando o plúton Serra da Garganta resfriou abaixo da isoterma de recozimento total (aproximadamente 350°C) em diferentes momentos do Paleozoico e Mesozoico.

Com teores de U variando de 110 a 1200 ppm, esta cinética inversamente proporcional do tempo para quantidade de U sugere que a idade mais jovem, parte das quatro populações identificadas (349 Ma, 230 Ma, 134 Ma e 72 Ma), é provavelmente relacionada à metamictização. A alta concentração de urânio em certos grãos teria causado danos estruturais, reduzindo a temperatura de fechamento e gerando idades artificialmente mais jovens. As populações mais antigas (349 Ma e 230 Ma) são interpretadas como eventos de exumação Paleozoico e Triássico.

Figura 33 - Amostra FT02: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

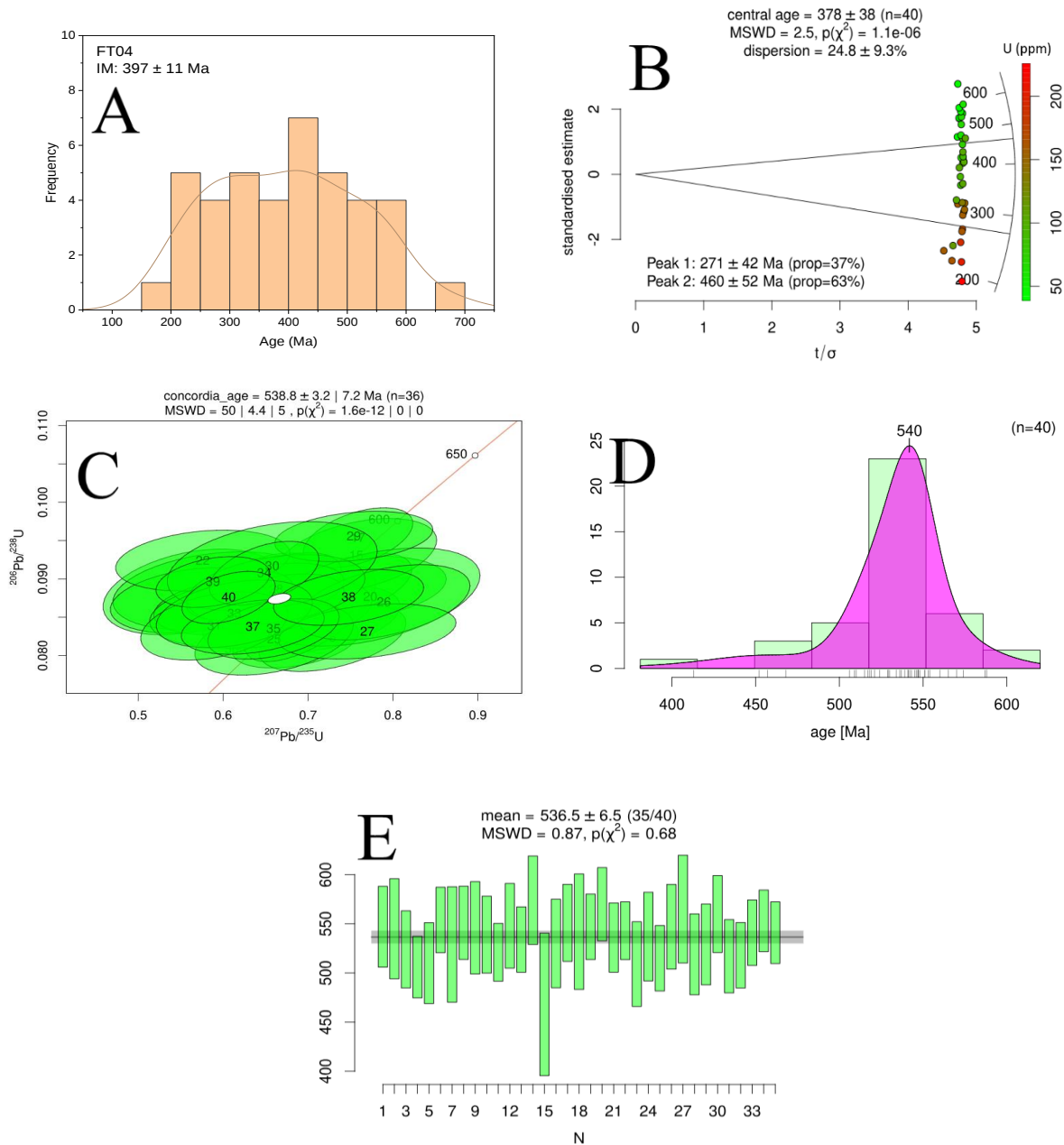
5.4.2.4 Catolé do Rocha (FT-04)

A análise integrada do Granito Catolé do Rocha (FT-04), situado no Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), estabelece a idade de cristalização magmática no Neoproterozoico tardio e documenta subsequentes e significativos eventos de exumação fanerozoica. Pela datação U-Pb em zircão (Figura 34), foram obtidas idades de concórdia de 539 ± 3 Ma e uma

idade média ponderada de 537 ± 7 Ma. Estes resultados situam o plúton no intervalo do magmatismo Ediacarano–Cambriano na Província Borborema (281, Tabela 11), sendo estatisticamente robustos, dada a proximidade entre a idade de concórdia e a idade média ponderada, o que sugere a ausência de perdas significativas de chumbo ou alterações pós-cristalização. Embora o magmatismo na região de Catolé do Rocha tenha sido tradicionalmente referenciado em torno de 580 Ma (Hollanda *et al.*, 2013), os resultados atuais de aproximadamente 539 Ma reforçam sua associação com a fase final do ciclo Brasileiro/Pan-Africano. Essa idade de cristalização de alta temperatura indica que o plúton solidificou-se em condições orogenéticas do Brasileiro.

Complementarmente, a termocronologia de baixa temperatura, determinada pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) no zircão (Figuras 34A, B), revela uma história de resfriamento complexa com idades distribuídas entre 150 e 700 Ma. Essa análise identificou duas populações etárias principais de MTF-LA: 466 ± 21 Ma e 263 ± 13 Ma. Essas idades, correspondendo aos períodos Ordoviciano e Permiano, respectivamente, são interpretadas como o registro de dois eventos tectônicos significativos que marcaram a exumação da região. Essa coerência interna da amostra é notável, com baixa variação das idades individuais em torno de suas médias. Os eventos de exumação estão potencialmente relacionados à dinâmica do Lineamento Patos e são delimitados pelas zonas de cisalhamento Patos, Picuí-João Câmara e Portalegre. Em síntese, os dados demonstram que, após a cristalização em alta temperatura durante a Orogenia Brasileira (539 Ma), o Plúton Catolé do Rocha sofreu resfriamento, cruzando a isoterma de 350 °C em torno de 460 Ma e, novamente, em 260 Ma, o que configura dois eventos de exumação cruciais para a evolução tectônica e crustal do Domínio Rio Piranhas-Seridó. Um aspecto adicional e importante desta amostra é a ausência de zircões herdados precambrianos, o que sugere uma origem magmática distinta dos plútons do Domínio São José do Campestre, que frequentemente incorporam material crustal mais antigo.

Figura 34 - Amostra FT04: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.2.5 Caraúbas (CEBP-112)

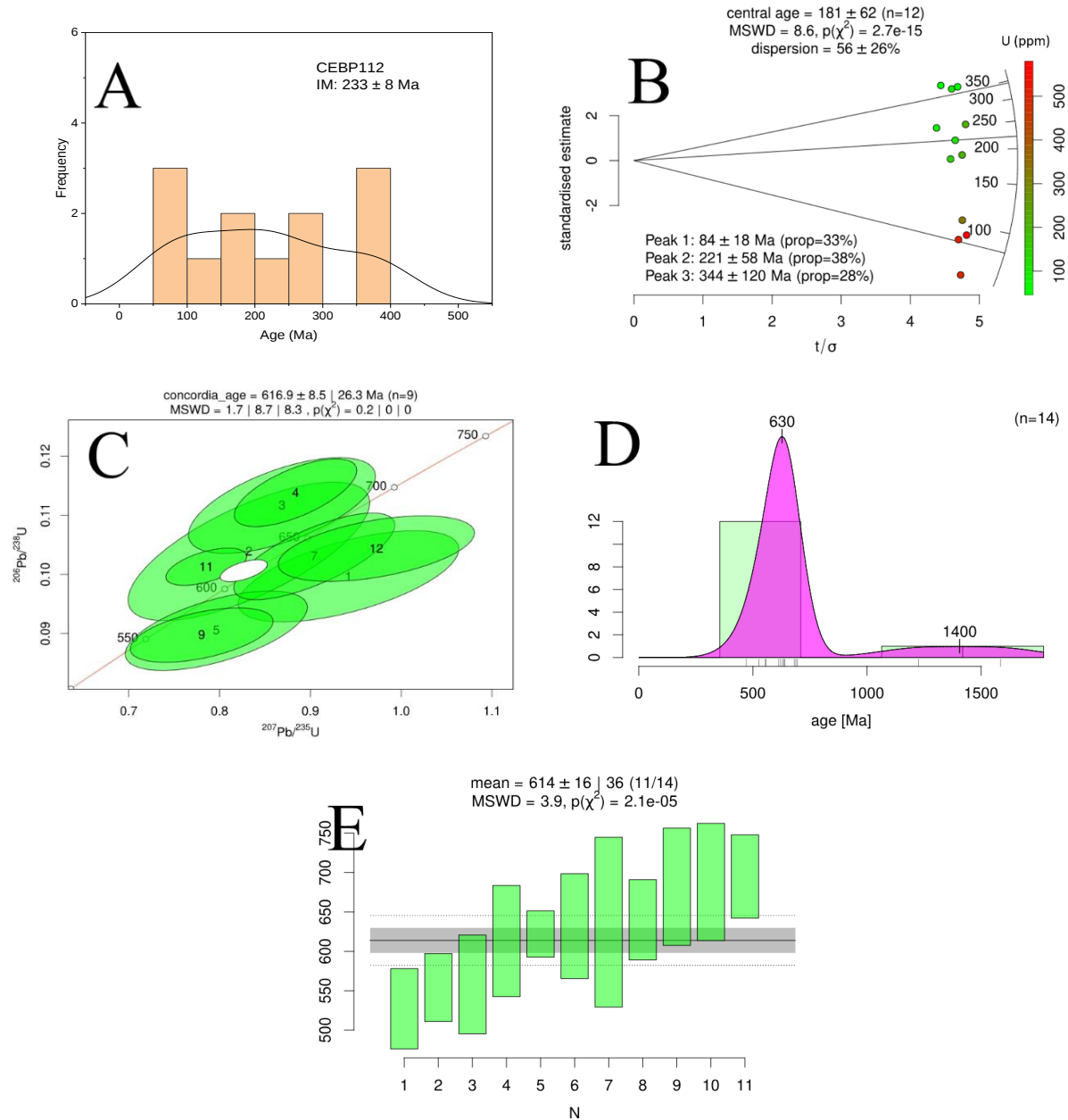
A investigação geocronológica e termocronológica integrada do Granito Caraúbas (CEBP-112), situado no Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), estabelece a idade de cristalização magmática e revela uma complexa história de resfriamento fanerozoico, refletindo a dinâmica tectônica pós-orogênica da Província Borborema. Os dados U-Pb em zircão (Figura

35) apontaram para uma idade de concórdia de 619 ± 9 Ma e uma idade média ponderada de 614 ± 16 Ma. Esses valores situam o plúton na fase inicial do magmatismo Ediacarano, sendo inteiramente compatíveis com o contexto do Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, o qual é caracterizado por eventos magmáticos que, regionalmente, ocorreram entre 650 e 625 Ma (BRITO NEVES., 2003). A concordância estatística entre as idades de concórdia e média ponderada sugere que o sistema isotópico permaneceu íntegro após a cristalização, sem perdas significativas de chumbo. A idade U-Pb, portanto, é interpretada como representativa da cristalização do magma em um ambiente tectônico associado à colisão do Gondwana Ocidental, evidenciando a robustez da datação magmática. Adicionalmente, a presença de picos de Estimativa de Densidade Kernel (KDE) em 1400 Ma indica que o plúton Caraúbas incorporou zircões herdados paleoproterozoicos em sua formação, embora a idade de cristalização predominante seja Neoproterozoica.

Em contraste com a idade de cristalização de alta temperatura, a termocronologia por Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) revelou uma história de baixa temperatura multifacetada, com uma distribuição de idades ampla, variando de 50 a 400 Ma. Essa dispersão etária permitiu a identificação de três populações distintas de idade MTF-LA, que são interpretadas como o registro de múltiplos eventos de exumação e reativação tectônica que afetaram a região. As idades médias ponderadas dessas populações são: 279 ± 25 Ma (Permiano), 133 ± 17 Ma (Cretáceo Inferior) e 75 ± 9 Ma (Cretáceo Superior). A ocorrência desses pulsos de resfriamento no Permiano, no Cretáceo Inferior e no Cretáceo Superior sugere que o plúton Caraúbas foi submetido a eventos de reativação que o resfriaram abaixo da temperatura de fechamento do zircão para MTF em momentos distintos ao longo do Fanerozoico. Esses dados termocronológicos são vitais para a reconstrução da história de levantamento crustal no Domínio Rio Piranhas-Seridó, complementando o registro de intrusão magmática tardia do ciclo Brasileiro (617 Ma).

A população mais jovem correspondente ao Cretáceo Superior, é considerada suspeita, pois inclui três grãos com concentrações de urânio notavelmente altas (variando de 480 a 580 ppm). Esses elevados teores de U sugerem que suas idades ZFT podem ter sido afetadas por metamictização, resultando em idades artificialmente mais jovens, o que é consistente com a cinética $t \sim U$ observada.

Figura 35 - Amostra CEBP112: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

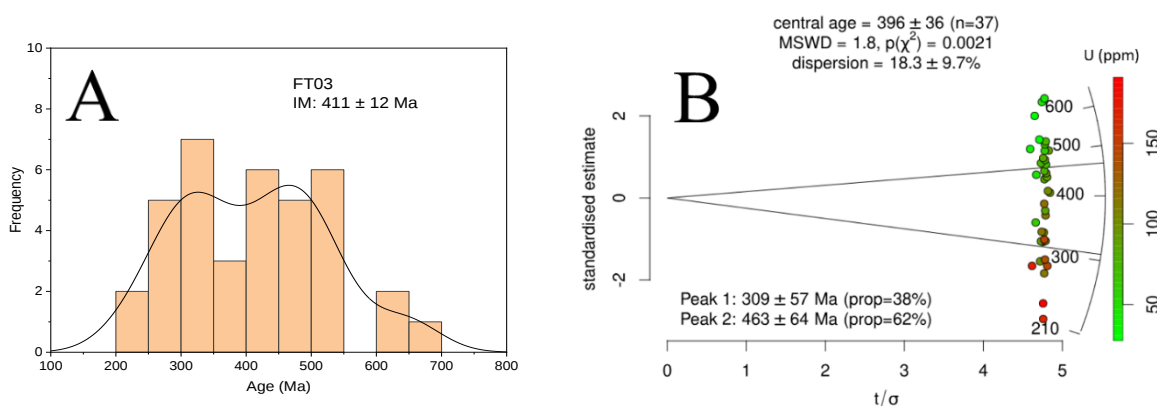
5.4.2.6 Umarizal (FT-03)

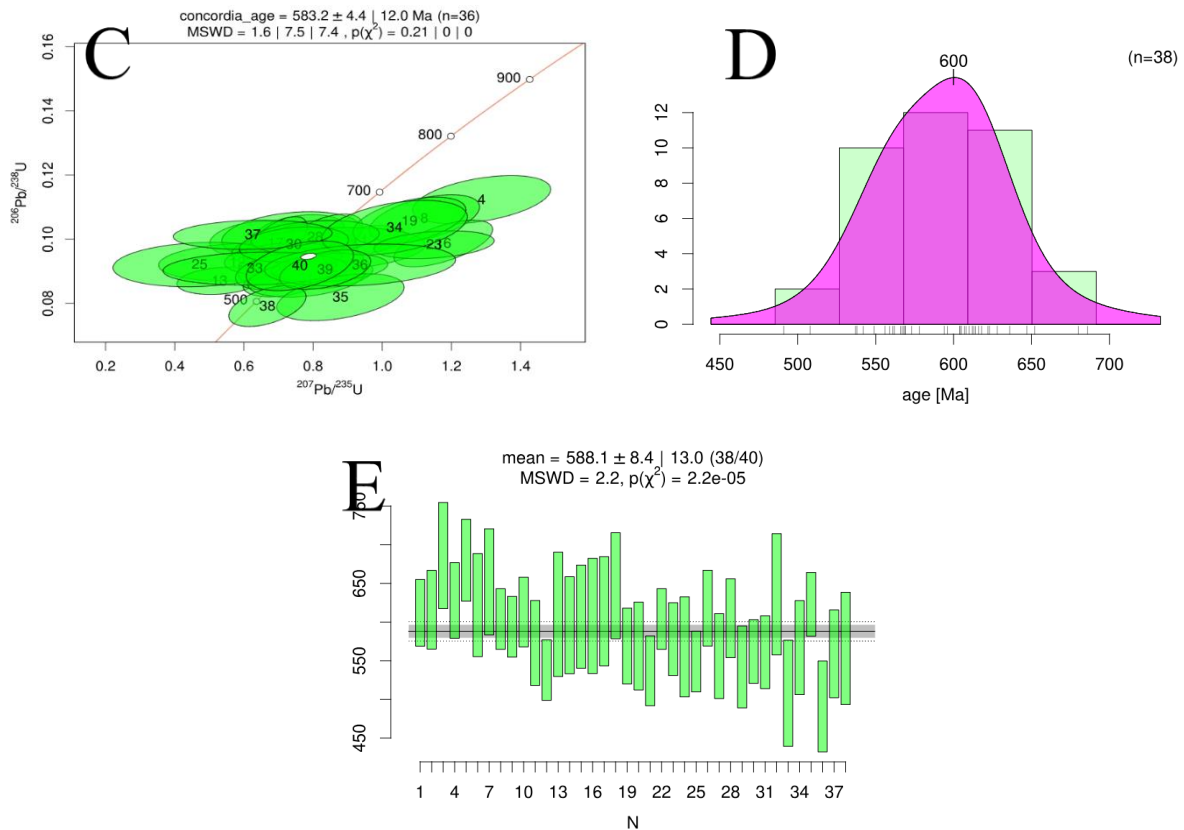
A análise geocronológica e termocronológica integrada do Plúton Umarizal (FT-03), situado no Domínio Rio Piranhas-Seridó (DRPS), delimita sua idade de cristalização no Neoproterozoico tardio e detalha sua subsequente história de resfriamento e exumação no Fanerozoico. Os dados U–Pb em zircão (Figura 36) indicaram uma idade de concórdia de 583

± 4 Ma e uma idade média ponderada de 588 ± 8 Ma. A estreita proximidade estatística entre esses valores sugere a integridade do sistema isotópico U-Pb, com ausência de perdas significativas de chumbo após a cristalização. Tais idades situam a intrusão do plúton no período Ediacarano, em consonância com a intensa atividade magmática e tectônica associada à fase final do ciclo Brasiliano/Pan-Africano (ca. 580–600 Ma). Essa interpretação magmática é reforçada pela literatura regional; embora Sá *et al.*, (2014b) tenham reportado uma idade de 601 ± 11 Ma para o Granito Umarizal, e outra idade de concórdia de 570 ± 5 Ma, os resultados obtidos neste estudo corroboram a ocorrência do magmatismo Ediacarano.

Em contraste, o Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) revelou um registro de baixa temperatura mais complexo (Figuras 36A, B), com uma distribuição de idades ampla, variando entre 200 e 700 Ma. A análise estatística da dispersão permitiu a identificação de duas populações etárias distintas de MTF-LA, que são interpretadas como o registro de importantes eventos de resfriamento e exumação: a primeira em 467 ± 21 Ma e a segunda em 287 ± 16 Ma. Essas idades correspondem, respectivamente, aos períodos Ordoviciano e Permiano, indicando os momentos em que o corpo plutônico transpassou a isoterma de recozimento total (aproximadamente 350 °C para o zircão). A correlação temporal dessas idades MTF-LA com as registradas em plútons vizinhos do DRPS (como Catolé da Rocha (FT-04), Diorito Acari (CEBP-314) e Granito Acari (CEBP-317)) sugere que esses eventos de exumação do Ordoviciano e do Permiano representam pulsos tectônicos regionalmente extensos. Dessa forma, a investigação demonstra que o Plúton Umarizal, após cristalizar-se durante a colisão continental Brasileira, atuou como um registrador sensível dos eventos de reativação crustal no Paleozoico e Mesozoico.

Figura 36 - Amostra FT03: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada





N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.
Fonte: O Autor.

5.4.3 Jaguaribeano (DJ)

Neste subtópico apresentam-se as idades de U-Pb e MTF-LA do domínio Jaguaribeano.

5.4.3.1 Pereiro (W-03)

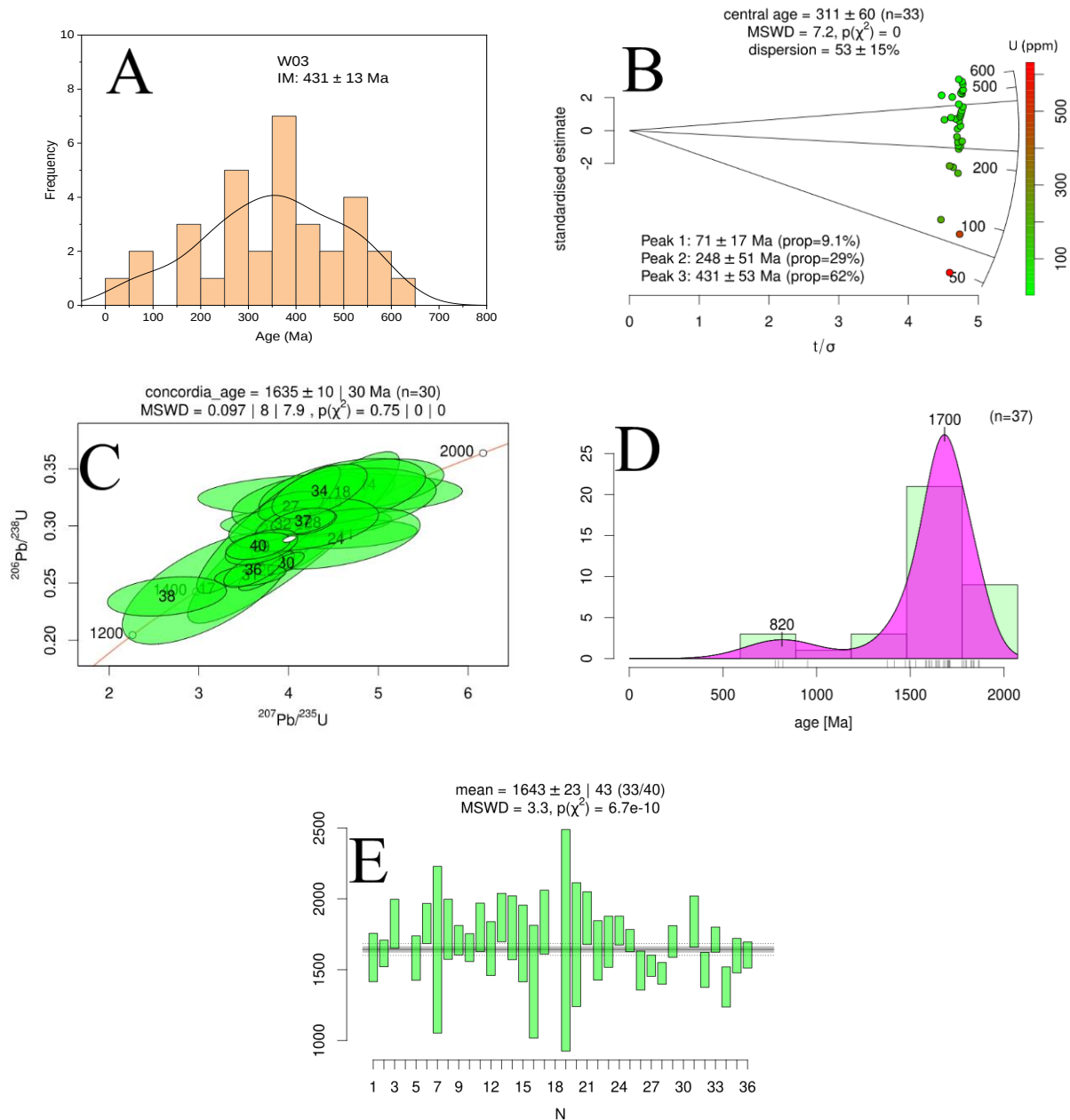
A análise integrada do granito Pereiro (W-03), localizado no Domínio Jaguaribeano (DJ) da Província Borborema, revela uma história complexa que abrange desde a herança Paleoproterozoica até múltiplos eventos de resfriamento e exumação no Fanerozoico. A datação U-Pb em zircão (Figura 37C) demonstrou a presença de dois grupos etários distintos. Um grupo, que exibe idades de concórdia de 1635 ± 10 Ma e média ponderada de 1642 ± 44 Ma, situa-se no intervalo Estateriano (1,60–1,40 Ga) e é interpretado como zircões herdados de rochas preexistentes, refletindo a componente crustal antiga incorporada pelo magma. Embora a idade U-Pb de concórdia de 1.6 Ga represente a idade de cristalização para esta análise específica, estudos prévios indicaram um intercepto inferior na curva de concórdia para este granito em 574 ± 34 Ma, que representa o momento de solidificação do magma e o evento

Ediacarano. Esta idade neoproterozoica o classifica como tipo Itaporanga, alinhado com o plutonismo ativo da Província Borborema, que varia entre 618 ± 9 Ma e 570 ± 5 Ma. A proximidade entre a idade de concórdia e a idade média ponderada do componente antigo (1635 Ma e 1642 Ma, respectivamente) sugere que o sistema isotópico U-Pb se manteve robusto, sem perda significativa de chumbo após a cristalização original deste componente herdado.

Em contraste com o registro de alta temperatura, a termocronologia por Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) no zircão (Figuras 37A, B) revela uma ampla distribuição de idades, abrangendo a faixa de 50 a 600 Ma. Essa complexidade etária permitiu a identificação de três populações distintas de MTF-LA, com idades médias ponderadas de 493 ± 29 Ma, 264 ± 14 Ma e 62 ± 8 Ma. As duas primeiras populações etárias são interpretadas como o registro de eventos de exumação que ocorreram durante o período Cambriano e Permiano, enquanto a idade mais jovem, de aproximadamente 62 Ma, está provavelmente associada a um evento tectônico significativo que afetou a região de Pereiro durante o Paleogeno, após a abertura do Oceano Atlântico Sul. A exumação no Paleozoico e Cenozoico registrada pelo MTF-LA no Plúton Pereiro documenta o resfriamento da rocha, que cruzou a isoterma de 350 °C. Esses dados termocronológicos, combinados com a complexa história magmática U-Pb, sublinham o papel do granito Pereiro como um registrador sensível dos eventos de formação crustal e reativação tectônica subsequente no Domínio Jaguaribeano.

A população de idade mais jovem (71 ± 17 Ma), registrada no Paleogeno, pode ter sido afetada por processos de metamictização devido às altas concentrações de urânio em certos grãos. Esta interpretação é fundamental, pois idades cenozoicas/cretáceas muito jovens em plútons podem ser artefatos cinéticos resultantes da metamictização. As populações mais antigas (493 Ma e 264 Ma) são interpretadas como eventos de exumação Paleozoico.

Figura 37 - Amostra W03: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.3.2 Norte Jaguaribe (CEBP-219)

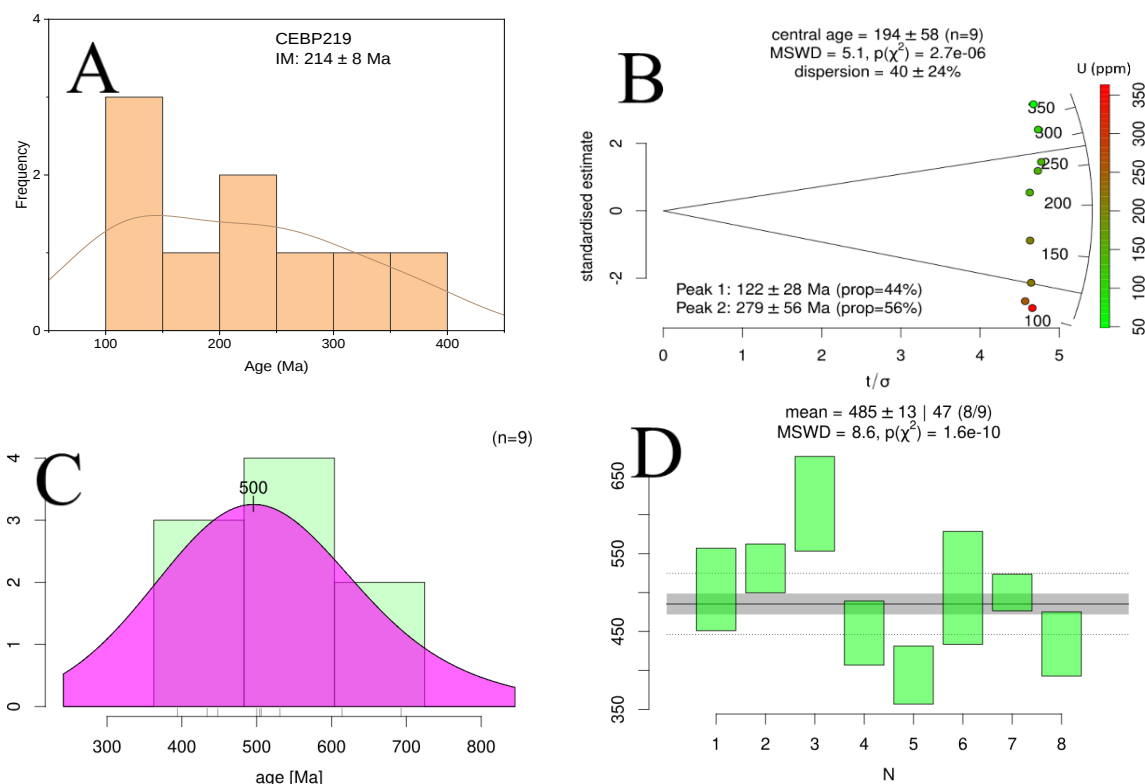
A análise geocronológica U-Pb para o granito Norte Jaguaribe (Figura 38) resultou em uma idade média ponderada de 485 ± 13 Ma, com o pico de Estimativa de Densidade Kernel (KDE) situando-se em 500 Ma. Esses valores posicionam o evento de cristalização no período Ordoviciano Inferior. Considerando que a maior parte da atividade magmática associada ao

ciclo Brasileiro/Pan-Africano no Domínio Jaguaribeano e na Província Borborema em geral está concentrada no Neoproterozoico a Cambriano (ca. 660 Ma a 570 Ma) (302, Arthaud *et al.*, 2015), a idade de 485 Ma pode representar um evento magmático subsequente, potencialmente decorrente de processos de extensão pós-colisional (303, Garcia *et al.*, 2018), ou, alternativamente, uma perturbação tardia ou reaquecimento que reajustou parcialmente o sistema isotópico U-Pb. É pertinente notar, contudo, que não foi possível obter uma idade de concórdia U-Pb precisa, e a literatura regional não possui registros de magmatismo mais jovem que 520 Ma neste domínio, o que sugere que o resultado obtido de 485 Ma deve ser interpretado com cautela no que tange à idade absoluta de intrusão, recomenda-se aumentar a amostragem de zircões para confirmação.

Em complemento, a termocronologia de baixa temperatura obtida pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) revelou uma distribuição de idades ampla, variando entre 100 e 400 Ma. Essa dispersão etária foi desmembrada em duas populações principais que registram eventos de resfriamento e exumação que afetaram o corpo plutônico. A população mais antiga foi datada em 266 ± 26 Ma (Permiano), com $P(\chi^2)$ entre 40–50%, e a população mais jovem em 117 ± 13 Ma (Cretáceo), com $P(\chi^2)$ entre 60–70%. Estas idades são interpretadas como o registro de dois eventos tectônicos fanerozoicos que levaram o plúton Norte Jaguaribe a resfriar abaixo da temperatura de recozimento total (350 °C para o MTF em zircão) durante o Permiano e, mais recentemente, no Cretáceo. Dessa forma, os dados de baixa temperatura fornecem uma cronologia clara dos processos de exumação, indicando que, independentemente da idade exata da intrusão, o Domínio Jaguaribeano experimentou reativações tectônicas significativas durante o Paleozoico Superior e o Mesozoico.

Sem a presença de grãos com concentrações de urânio particularmente elevadas, é crucial notar que a população mais jovem, de (Cretáceo), é considerada robusta, pois os grãos correspondentes apresentam concentrações de urânio (entre 200 e 350 ppm) que estão geralmente abaixo do limite para metamictização significativa. Consequentemente, as idades de MTF-LA, Permiana e Cretácea, são interpretadas como registros válidos de exumação tectônica, sendo a mais jovem possivelmente associada à abertura do Oceano Atlântico Sul.

Figura 38 - Amostra CEBP219: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Estimativa de Densidade Kernel; (D) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.4 Ceará Central (DCC)

Neste subtópico apresentam-se as idades de U-Pb e MTF-LA do domínio Ceará Central.

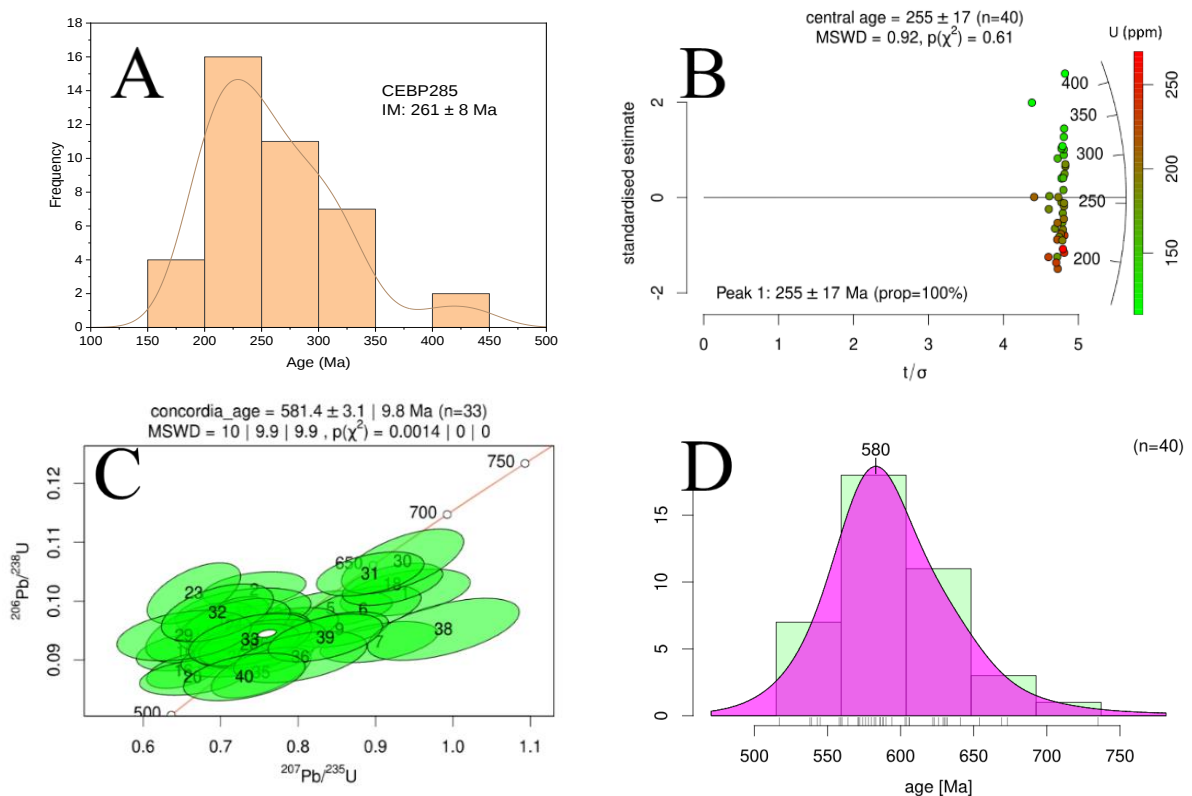
5.4.4.1 Quixadá (CEBP-285)

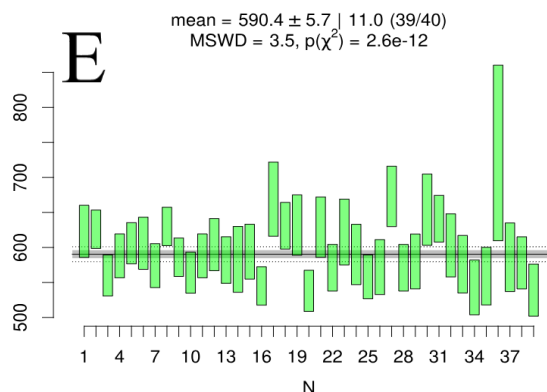
A investigação geocronológica integrada do Granito Quixadá (CEBP-285), situado no Domínio Ceará Central (DCC) da Província Borborema, permite o estabelecimento de sua idade de cristalização no Neoproterozoico e a delimitação de um evento de exumação no Mesozoico, evidenciando a história termo-tectônica pós-Brasiliana. A datação U-Pb em zircão (Figura 39) indicou idades de concórdia de 581 ± 3 Ma e uma idade média ponderada de 590 ± 6 Ma (247, 307, Tabela 11). A estreita concordância entre esses valores sugere a integridade do sistema isotópico U-Pb, com ausência de perdas significativas de chumbo, o que confere robustez à interpretação da idade de cristalização. Estes resultados situam o plúton no período Ediacarano, sendo compatíveis com o pico de atividade ígnea em torno de 575 Ma amplamente

documentado na Província Borborema. Dessa forma, a idade de cristalização de alta temperatura reflete a emissão do magma em um ambiente tectônico associado à orogênese Brasileira/Pan-Africana (308, De Aguiar Dalan *et al.*, 2019; Costa, 2015; Nascimento, 2018).

Em complemento, a termocronologia de baixa temperatura obtida pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) em zircão (Figuras 39A, B), revelou uma distribuição de idades na faixa de 150 a 450 Ma. Esta distribuição, com flutuações etárias observadas, resultou em uma idade média ponderada de 242 ± 8 Ma, com uma probabilidade $P(\chi^2)$ entre 80–90%. Essa idade é interpretada como o registro de um evento de exumação que ocorreu durante o período Triássico, momento em que o corpo plutônico resfriou abaixo da temperatura de recozimento total (aproximadamente 350 °C para o zircão). Essa idade de exumação pode ser correlacionada com a população etária mais jovem registrada no Plúton Catolé do Rocha (FT-04), localizado no Domínio Rio Piranhas–Seridó. A idade U-Pb de 581 Mado Granito Quixadá é, portanto, um registro da fase de aglutinação continental Brasileira/Pan-Africana (310, Neves *et al.*, 2003; Valcácio *et al.*, 2022), enquanto o evento Triássico MTF-LA documenta a subsequente história de levantamento e exumação crustal no Domínio Ceará Central.

Figura 39 - Amostra CEBP285: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada





N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

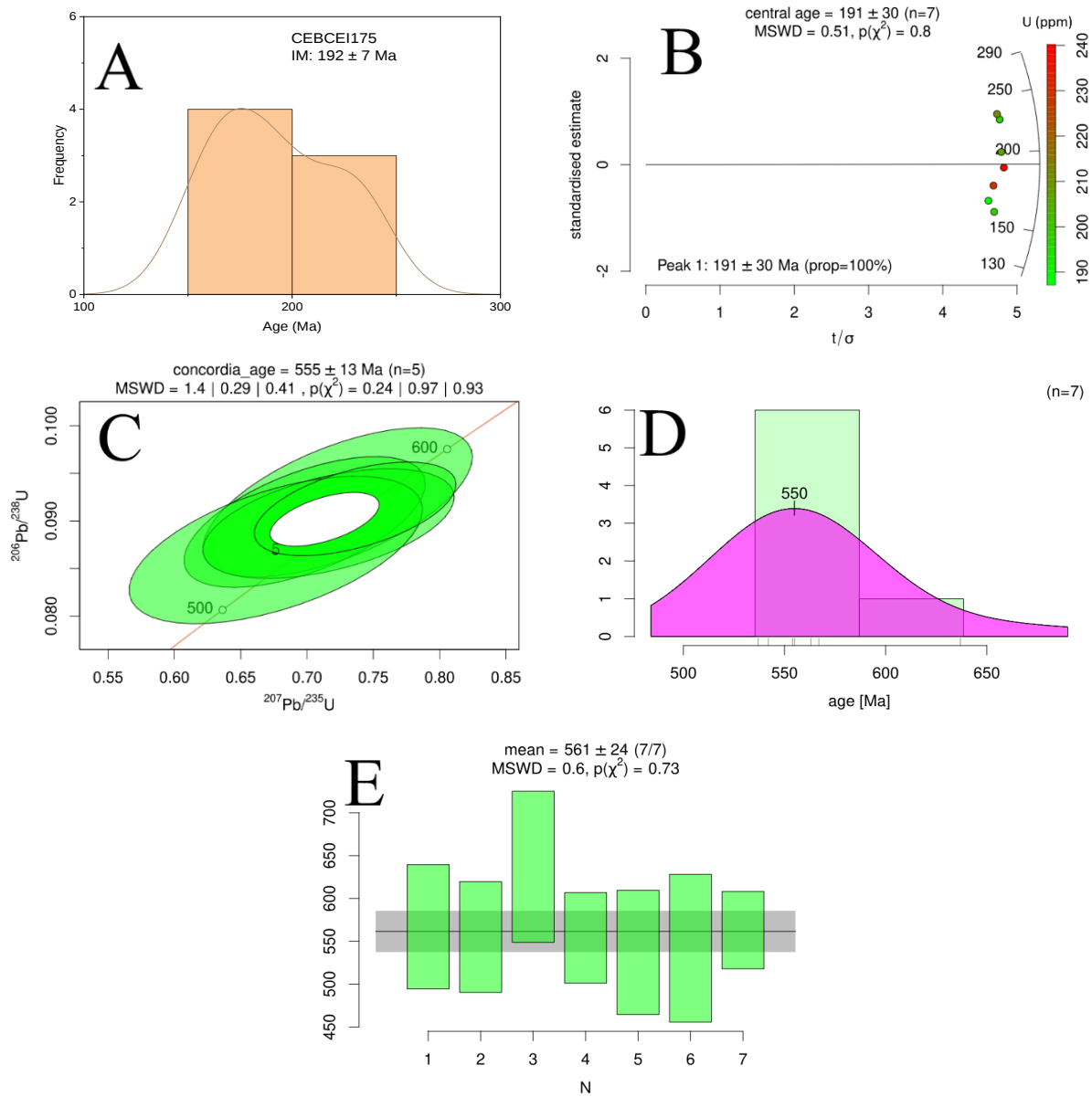
5.4.4.2 Uruburetama-Itapipoca (CEBCEI-175)

Os resultados de datação U–Pb em zircão (Figura 40) indicam idades concordantes em torno de 555 Ma e uma idade média ponderada de 561 Ma (Tabela 11), situando a intrusão no final do período Ediacarano. A similaridade entre essas idades atesta a estabilidade do sistema isotópico, e os valores são consistentes com a fase final do magmatismo Ediacarano–Cambriano documentado na Província Borborema, período marcado por intensa atividade ígnea em torno de 575 Ma (Hollanda *et al.*, 2013; De Aguiar Dalan *et al.*, 2019). No entanto, uma análise mais profunda no diagrama de concórdia sugere um possível componente mais antigo, com uma idade de 666 ± 13 Ma, que pode ser associada ao Arco Magmático Santa Quitéria, um sistema de arcos continentais neoproterozoicos (ca. 650 a 600 Ma) relacionado a eventos de subducção e colisão do Ciclo Brasileiro (315 Ma, Saraiva dos Santos *et al.*, 2008).

Em contraste com a história de alta temperatura, a termocronologia de baixa temperatura determinada pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) (Figuras 40A, B) revela uma faixa de idades entre 150 e 250 Ma. Embora a amostra apresente um número limitado de apenas seis grãos datados, o que resulta em uma baixa probabilidade $P(\chi^2)$ entre 5–10%, a idade média ponderada de 185 ± 15 Ma é notável por ser o primeiro registro de MTF para esta região. Essa idade é interpretada como o momento em que o plúton Uruburetama-Itapipoca resfriou abaixo da isoterma de recozimento total (aproximadamente 350 °C para o zircão), registrando um evento tectônico significativo que ocorreu durante o período Jurássico. Tal pulso de exumação pode ser correlacionado com o evento registrado na amostra CEBP-035, do Granito Barcelona, sugerindo que a reativação tectônica durante o Mesozoico foi um processo regionalmente estendido que afetou diferentes domínios da Província Borborema. Em suma, o Granito Uruburetama-Itapipoca atua como um registrador da cristalização continental

Ediacarana, ao mesmo tempo em que sua história termal MTF-LA documenta a evolução da exumação crustal no Fanerozoico.

Figura 40 - Amostra CEBCEI175: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2 = valor qui-quadrado; $P(\chi^2)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.4.5 Médio Coreá (DMC)

Neste subtópico apresentam-se as idades de U-Pb e MTF-LA do domínio Médio Coreá.

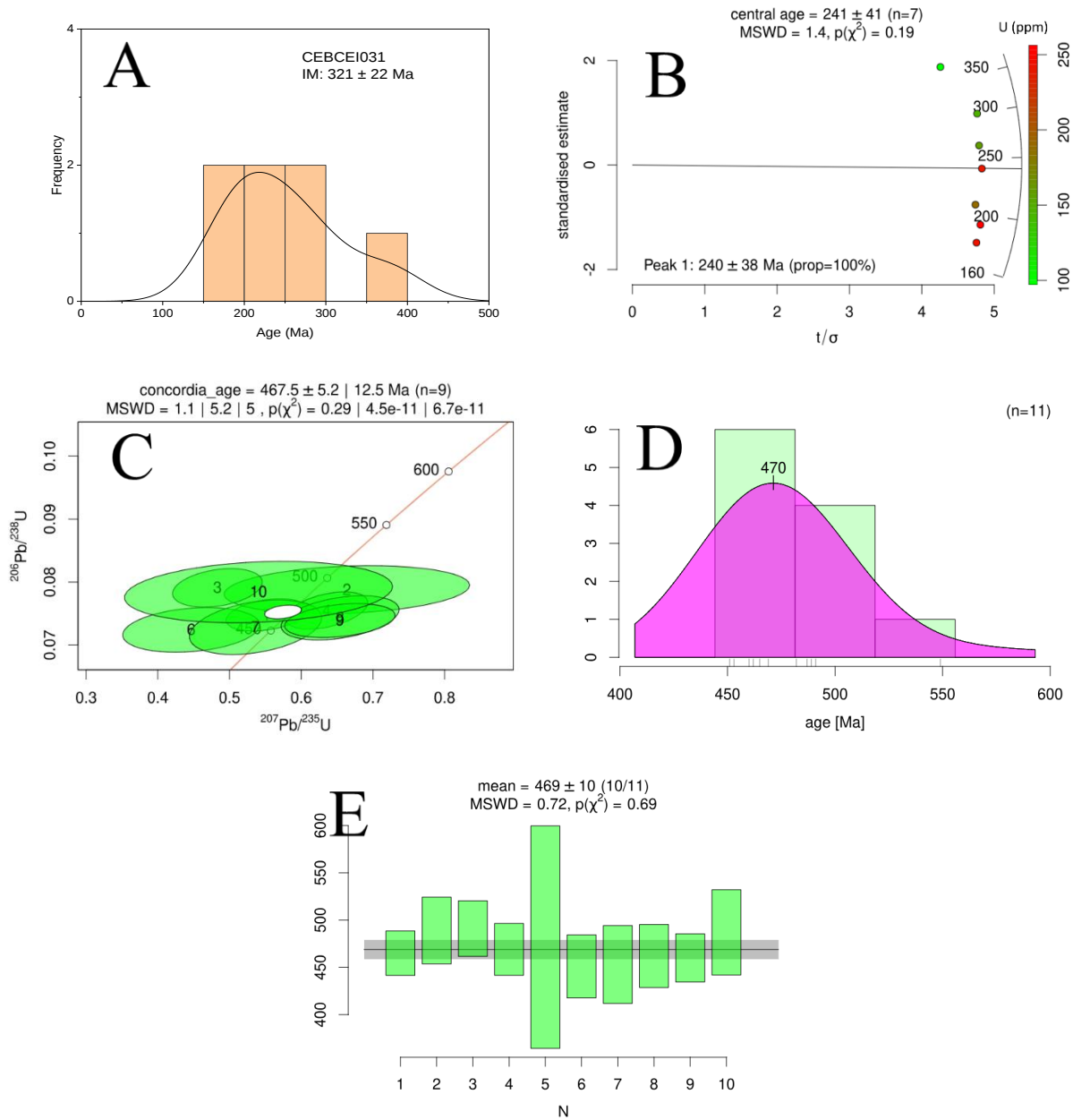
5.4.5.1 Meruoca (CEBCEI-031)

As datações U–Pb em zircão, que fornecem a idade de cristalização (Figura 41), resultaram em uma idade de concórdia de 583 ± 6 Ma e uma idade média ponderada de 591 ± 11 Ma (Tabela 11). Estes valores situam a intrusão magmática no intervalo do magmatismo Ediacarano–Cambriano da Província Borborema, estando em consonância com a atividade ígnea intensa associada aos eventos de colisão do ciclo Brasileiro-Pan-Africano (ca. 600-500 Ma).

É fundamental notar que estudos prévios para a mesma fácies do Granito Acari reportaram variações nas idades, possivelmente em função de heterogeneidade das amostras ou de diferenças metodológicas. Conforme discutido por Do Nascimento, Galindo & De Medeiros (2015), datações anteriores obtiveram idades distintas para a fácies: uma isócrona Rb–Sr indicou 547 ± 25 Ma, enquanto datações U–Pb em zircão forneceram idades de 555 ± 5 Ma (Legrand *et al.*, 1991) e 577 ± 5 Ma (Archanjo *et al.*, 2013) para a mesma fácies. Os resultados obtidos neste estudo (583–591 Ma) estão, portanto, em consonância com o intervalo de 590 Ma a 600 Ma observado em outros plútons regionais, como São José de Espinharas, Totoro e Cardoso (Hollanda *et al.*, 2013).

Em contraste, a termocronologia de baixa temperatura obtida pelo Método de Traços de Fissão via LA-ICP-MS (MTF-LA) revelou um registro complexo de exumação, com idades dispersas entre 50 e 450 Ma. Essa dispersão permitiu a identificação de duas populações etárias distintas de MTF-LA, que sugerem que a rocha foi submetida a múltiplos pulsos tectônicos de resfriamento: a primeira população foi determinada em 309 ± 32 Ma e a segunda em 170 ± 9 Ma. Estas idades são interpretadas como o registro de dois eventos tectônicos que afetaram o Granito Acari durante os períodos Carbonífero e Jurássico, respectivamente, indicando o momento em que o plúton esfriou abaixo da isoterma de recozimento total (em torno de 350 °C para o zircão). Portanto, enquanto o sistema U–Pb estabelece a idade de cristalização no Ediacarano, os dados de MTF-LA documentam subsequentes eventos de reativação crustal e exumação fanerozoica no Domínio Rio Piranhas-Seridó.

Figura 41 - Amostra CEBCEI031: (A) Histograma de idades via MTF-LA, (B) Radial Plot MFT-LA, (C) Diagrama de concórdia U-Pb, (D) Estimativa de Densidade Kernel; (E) Idade Média Ponderada.



N = quantidade de grãos datados; χ^2_v = valor qui-quadrado; $P(\chi^2_v)$ = probabilidade de pertencerem a uma mesma população. Central age = Idade central. Mean = Idade Média Ponderada.

Fonte: O Autor.

5.5 Idades U-Th/He

Os resultados das idades U-Th/He obtidos para as amostras da Província Borborema foram validados ao se constatar que a idade da amostra padrão FCT é estatisticamente compatível com os dados da literatura (Yu *et al.*, 2019). No zircão a metodologia U-Th/He apresenta uma temperatura de fechamento de aproximadamente 180 °C, enquanto o Método de

Traços de Fissão (MTF) atinge cerca de 240 °C, o que resulta em idades próximas, mas com valores sistematicamente maiores para o MTF. Ressalta-se que os grãos de zircão analisados por U-Th/He não foram os mesmos utilizados nas datações por MTF e U-Pb.

Na Tabela 12, são apresentadas as idades U-Th/He obtidas a partir de 16 grãos de zircão previamente selecionados das amostras coletadas na Província Borborema, tendo a amostra padrão FCT (Fish Canyon Tuff) como referência (Reiner *et al.*, 2005). A amostra FT-02, oriunda da Serra da Garganta (Domínio Rio Piranhas-Seridó), revelou duas populações de idade, uma em torno de 230 Ma e outra de aproximadamente 300 Ma, compatíveis com os valores obtidos via MTF para essa mesma amostra. Essa concordância reforça a interpretação de que essas idades estão associadas a eventos de reativação tectônica da rocha plutônica brasileira. Além disso, tais reativações podem estar relacionadas às idades de exumação das rochas pré-cambrianas do embasamento, expostas na crosta durante a intrusão do plúton Serra da Garganta.

Tabela 12 - Idades U-Th/He de grãos selecionados da Província Borborema

Alíquota	Idade Média Individual (Ma)	Idade Média Geral (Ma)	Massa (g)*	⁴ He(nmol/g)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	eU(ppm)
Zircão								
<i>FCT</i>	29,28 ± 0,46	29,28 ± 0,46	6,13	47,06	338,80	168,64	0,51	378,43
<i>FT02 (DRPS)</i>	<i>Zr1</i>	229,68 ± 3,20	6,65	672,90	610,60	284,20	0,48	677,38
	<i>Zr2</i>	227,62 ± 3,06	12,6	629,58	535,74	276,81	0,53	600,79
	<i>Zr3</i>	300,95 ± 4,24	5,83	260,11	180,80	72,42	0,41	197,82
	<i>Zr4</i>	314,70 ± 4,13	5,13	463,25	290,44	156,27	0,55	327,16
<i>CEBP112 (DRPS)</i>	<i>Zr1</i>	169,24 ± 2,78	5,49	1614,08	2087,99	466,36	0,23	2197,58
	<i>Zr2</i>	180,39 ± 2,93	9,49	962,87	1104,81	362,64	0,34	1190,03
	<i>Zr3</i>	248,00 ± 3,99	1,56	1413,58	1461,31	686,43	0,48	1622,62
	<i>Zr4</i>	211,66 ± 3,54	1,76	327,89	381,40	116,09	0,31	408,68
<i>CEBP035 (DSJC)</i>	<i>Zr1</i>	165,14 ± 2,71	18,6	504,91	613,52	191,53	0,32	658,53

CEBP285 (DCC)	Zr2	316,84 ± 7,20		54,5	283,11	166,65	57,56	0,35	180,18
	Zr3	267,05 ± 3,60		4,56	417,94	330,56	153,71	0,48	366,69
	Zr4	284,62 ± 3,72		15,0	707,10	494,73	220,25	0,46	546,49
	Zr1	305,81 ± 4,01		15,4	275,41	173,87	88,90	0,52	194,76
	Zr2	323,23 ± 4,34	323,35 ±	5,27	285,10	186,42	93,05	0,51	208,29
	Zr3	319,57 ± 4,23	0,92	10,9	354,94	216,57	106,61	0,50	241,63
	Zr4	348,77 ± 4,63		9,82	193,27	104,46	59,71	0,59	118,49

⁴He(nmol/g) = Quantidade de mols por grama; eU (ppm) = concentração efetiva de urânio em partes por milhão.

*massa elevada à potência de (10⁻⁶). Zr = grão de zircão.

A tabela apresentada fornece dados detalhados de idades U-Th/He de grãos de zircão provenientes de granitos localizados na Província Borborema. As idades medidas variam amplamente entre 165 e 348 Ma, refletindo diferentes episódios de resfriamento ao longo da história termal da região. Essas idades foram obtidas em amostras de três domínios geológicos distintos: Rio Piranhas-Seridó, São José do Campestre e Ceará Central. Além disso, os dados incluem parâmetros químicos como concentrações de hélio, urânio, tório e a razão Th/U, que fornecem informações complementares sobre as condições térmicas e químicas dos grãos analisados.

As idades U-Th/He refletem o momento em que os zircões esfriaram abaixo da temperatura de fechamento para difusão de hélio, que geralmente está entre 180 °C e 200 °C. Esse evento está relacionado ao levantamento e à erosão crustal, os quais são indicativos da evolução tectono-termal da região. No domínio Rio Piranhas-Seridó, as idades variam de 169 a 314 Ma, sugerindo um registro de eventos térmicos complexos, possivelmente associados a fases de reativação tectônica durante o Paleozoico e o Mesozoico. Por outro lado, o domínio São José do Campestre apresenta idades similares, entre 165 e 316 Ma, reforçando a ideia de múltiplos episódios de resfriamento e reativações vinculadas à evolução do rifteamento do Atlântico Sul. Finalmente, o domínio Ceará Central exibe as idades mais antigas, de 305 a 348 Ma, indicando possíveis eventos de resfriamento relacionados ao final do Ciclo Brasileiro.

A heterogeneidade dos dados entre os domínios reflete a complexidade geológica da Província Borborema, que é marcada por eventos tectônicos distintos e sobrepostos ao longo de sua história.

6 CONCLUSÃO

A presente tese atingiu seu objetivo principal ao aprimorar e aplicar de forma integrada a metodologia de datação tripla (MTF, U-Pb e U-Th/He) em zircão, proporcionando um entendimento aprofundado da evolução termocronológica da Província Borborema e sua relação tectônica com a Bacia Potiguar. O uso de técnicas avançadas de caracterização, como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de catodoluminescência (CL), permitiu correlacionar o estado estrutural dos cristais, em especial os efeitos de metamictização e dano, com a viabilidade analítica. Constatou-se que regiões sem revelação de traços exibem maior brilho nas imagens de CL. A validação das metodologias U-Pb e MTF-LA com as amostras padrão OD-3 e FCT reforçou a precisão e a robustez dos métodos empregados.

Os dados obtidos forneceram restrições geocronológicas e termocronológicas detalhadas para 14 corpos plutônicos da Província Borborema, além de zircões detríticos das formações Jandaíra (Apodi) e Açú da Bacia Potiguar. A geocronologia U-Pb revelou intensa atividade magmática Neoproterozoica e Cambriana associada ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, com idades de cristalização concentradas entre 521 Ma e 619 Ma. Foram identificadas variações significativas na herança crustal entre os domínios estruturais da província. No Domínio São José do Campestre, a presença recorrente de zircões herdados Paleoproterozoicos e Mesoproterozoicos indica forte reciclagem crustal. Já nos Domínios Rio Piranhas–Seridó e Ceará Central, predominam idades Ediacaranas com pouca ou nenhuma herança mais antiga. No Domínio Jaguaribeano e Médio Coreau, observou-se tanto forte herança mesoproterozoica quanto idades mais jovens associadas a magmatismo Ordoviciano Inferior.

A termocronologia de baixa temperatura (MTF-LA e U-Th/He) revelou uma história de exumação complexa e multifásica durante o Fanerozoico. Foram identificados múltiplos pulsos de resfriamento abaixo de aproximadamente 350 °C (MTF) e entre 180–200 °C (U-Th/He), os quais variam entre os diferentes domínios tectônicos. Esses eventos foram interpretados como resultado de reativações crustais regionais ligadas à fragmentação do supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul. No Paleozoico, eventos de resfriamento Ordovicianos (~460 Ma) e Carbonífero-Permianos (350–260 Ma) foram registrados em diversas intrusões graníticas, confirmados por idades U-Th/He no final desse período. No Mesozoico, pulsos expressivos de resfriamento Triássico (~242–230 Ma) e Jurássico (~170–185 Ma) acompanharam a fase inicial de rifteamento da margem equatorial. Eventos Cenozoicos (78–72 Ma) indicam que a exumação continuou após a abertura plena do Atlântico Sul.

A análise dos zircões detríticos das formações sedimentares Apodi (Jandaíra) e Açu revelou uma proveniência sedimentar heterogênea e complexa, predominantemente derivada do setor norte da Província Borborema (Domínios Rio Grande do Norte e Ceará Central). A geocronologia U-Pb identificou múltiplos picos etários, que refletem a erosão de diferentes blocos crustais, incluindo fontes Paleo/Mesoarqueanas, Paleoproterozoicas, Mesoproterozoicas e Neoproterozoicas, associadas aos principais núcleos cristalinos e cinturões orogênicos regionais. A termocronologia MTF-LA da Formação Açu (idades médias ~341 Ma) indica a preservação da assinatura térmica das rochas-fonte, relacionada a eventos de exumação paleozoicos. Já na Formação Jandaíra, as idades mais jovens (12–180 Ma) refletem eventos de resfriamento pós-deposicionais associados ao rifteamento Cretáceo e à atividade tectônica e/ou vulcânica Cenozóica.

Os resultados obtidos estabelecem uma conexão direta entre a consolidação crustal e os episódios de reativação tectônica da Província Borborema e a sedimentação da Bacia Potiguar. A distribuição temporal e espacial das idades de resfriamento Permo-Triássicas e Jurássico-Cretáceas coincide com a evolução rifte intracontinental responsável pela fragmentação de Gondwana e pela abertura do Atlântico Sul. A heterogeneidade dos dados termocronológicos entre domínios reflete o papel estruturante das zonas de cisalhamento transcorrentes, como Patos e Picuí–João Câmara, na compartimentação tectônica e na reativação do embasamento.

Os resultados também indicam que estes corpos plutônicos da Província Borborema foram submetidos a múltiplos eventos de exumação, como evidenciado por algumas amostras que exibem mais de uma população de idade por traços de fissão em zircão. Para a maioria das amostras, observou-se uma relação inversa entre a idade e a concentração de urânio. Nesses casos, a presença de zircões metamictizados, que são causados por altas concentrações de urânio, provavelmente levou a idades ZFT artificialmente mais jovens devido a uma temperatura de fechamento reduzida. Este fenômeno é consistente com observações prévias e pode ser referido como uma idade de metamictização.

Em síntese, a aplicação integrada da datação tripla em zircão permitiu datar a cristalização magmática dos plutões da Província Borborema, rastrear a proveniência sedimentar da Bacia Potiguar e mapear com precisão os momentos de exumação crustal. Essa abordagem fornece restrições termocronológicas essenciais para a reconstituição geodinâmica da margem equatorial brasileira e representa uma contribuição significativa para modelos de evolução tectônica e sedimentar de margens passivas, com implicações diretas na compreensão da arquitetura e da história térmica de sistemas petrolíferos da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESSIO, B. L., GLORIE, S., COLLINS, A. S., JOURDAN, F., JEPSON, G., NIXON, A., SIEGFRIED P.R. & CLARK, C. The thermo-tectonic evolution of the southern Congo Craton margin as determined from apatite and muscovite thermochronology. *Tectonophysics*, 766, 398-415, 2019.
- ALLÈGRE, C. J. *Isotope geology*. Cambridge University Press, 2008.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Bacia Potiguar*. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-de-blocos-exploratorios/14a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/areas-oferta/sumario-potiguar.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- ALKMIM, F. F., PEDROSA-SOARES, A. C., NOCE, C. M., & CRUZ, S. C. P. Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuai-Congo Ocidental. *Geonomos*, 2007.
- ARARIPE, P. D. T., & FEIJÓ, F. J. Bacia potiguar. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8(1), 127-141, 1994.
- Archanjo, C. J., Viegas, L. G., Hollanda, M. H. B., Souza, L. C., & Liu, D. Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): constraints from UPb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. *Gondwana Research*, 23(2), 701-714, 2013.
- Arizona Radiogenic Helium Dating Laboratory ARHDL. Geosciences E2: Thermochronology. University of Arizona. Disponível em: <https://www.geo.arizona.edu/~reinners/geosE2/geose2.htm>.
- ARTHAUD, M. H., FUCK, R. A., DANTAS, E. L., SANTOS, T. J. S., CABY, R., & ARMSTRONG, R. The Neoproterozoic Ceará group, Ceará central domain, NE Brazil: depositional age and provenance of detrital material. New insights from U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 223-237, 2015.
- AZEVEDO, M. C. Caracterização cristalográfica e isotópica do mineral zircão através do método de traços de fissão, U-Pb e U-Th/He: geocronologia da província Borborema, RN, Brasil. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista. 2021
- BAESSO, A., REMUS, M. V. D., PEREIRA, B. R. B., ALKMIM, A. R., LANA, C. C., VIGNOL-LELARGE, M. L., & PORCHER, C. C. Insights into sedimentary provenance and the evolution of the Potiguar Basin, NE Brazil, using U–Pb ages and Lu–Hf isotopes in detrital zircons. *Marine and Petroleum Geology*, 131, 105170, 2021.
- BAESSO, Anderson. Proveniência dos arenitos da Bacia Potiguar utilizando U/Pb e Lu/Hf em zircão detrítico. 2021.
- BERTOTTI, A. L.; CHEMALE JR., F.; KAWASHITA, K. Lu-Hf em zircão por LA-MC-ICP-MS: aplicação em gabro do Ofiolito Aburrá, Colômbia. Repositório USP, 2009.

BRITO NEVES, Benjamim Bley de *et al.* Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. *Geologia USP. Série Científica*, v. 3, p. 25-38, 2003.

Cai, C., Qiu, N., Li, H., Stockli, D. F., Chang, J., & Liu, N. Study of the closure temperature of (U-Th)/He in detrital zircon obtained from natural evolution samples. *Science China Earth Sciences*. 2019.

CARDOSO, Letícia Muniz da Costa. Idades U-Pb por LA-ICP-MS em veios de carbonatos de calcários da Formação Jandaíra, região sudoeste da Bacia Potiguar, NE do Brasil. 2022.

CAVALCANTE, R., GALINDO, A. C., DA SILVA, F. C. A., & de SOUZA, R. F. Química mineral e condições de cristalização do Plúton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41(3), 257-272, 2014.

CAXITO, F. D. A., SANTOS, L. C. M. D. L., GANADE, C. E., BENDAOUD, A., FETTOUS, E. H., & BOUYO, M. H. Toward an integrated model of geological evolution for NE Brazil-NW Africa: The Borborema Province and its connections to the Trans-Saharan (Benino-Nigerian and Tuareg shields) and Central African orogens. *Brazilian Journal of Geology*, 50(2). 2020.

CHEW DM, DONELICK RA. Combined apatite fission track and U-Pb dating by LA-ICP-MS and its application in apatite provenance analysis. *Quant Min Microanal Sed Sediment Rocks: Mineral Assoc Canada, Short Course 42*:219–247, 2012.

CÓRDOBA, V. C. *A evolução da plataforma carbonática Jandaíra durante o neocretáceo na bacia Potiguar: análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica*. 2001. 239 f (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro), 2001.

CORFU, F., HANCHAR, J. M., HOSKIN, P. W., & KINNY, P. Atlas of zircon textures. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 469-500, 2003.

COSTA, Alan Pereira da; NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite do; GALINDO, Antônio Carlos; DANTAS, Alexandre Ranier. 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*, São Paulo, v. 15, n. 3-4, p. 83-105, mar. 2015.

COX R, KOŠLER J, SYLVESTER P, HODYCH J Apatite fission-track (FT) dating by LAM-ICP-MS analysis. *J Conf Abstr*, p 322, 2000.

da SILVA PINHEIRO, D., LUCAS, D., DO NASCIMENTO, M. A. L., & VILALVA, F. C. J. Padrões de distribuição de elementos terras-raras nas suítes plutônicas Ediacaranas a Cambrianas no extremo nordeste da Província Borborema, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 23(4), 3-21, 2023.

DANTAS, E. L., HACKSPACHER, P. C., VAN SCHMUS, W. R., & BRITO NEVES, B. D. Archean accretion in the São José do Campestre Massif, Borborema Province, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2), 221-228. 1998.

DANTAS, E. L., VAN SCHMUS, W. R., HACKSPACHER, P. C., FETTER, A. H., DE BRITO NEVES, B. B., CORDANI, U., ... & WILLIAMS, I. S. The 3.4–3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, 130(1-4), 113-137. 2004.

DE AGUIAR DALAN, C., VILALVA, F. C. J., & NASCIMENTO, M. A. L. Reavaliação das condições de cristalização de granitos alcalinos ediacaranos dos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre, Província Borborema, NE-Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 19(1), 129-152, 2019.

DE ARAÚJO, I. L., DE MORAES, R. A. V., DANTAS, E. L., VIDOTTI, R. M., & FUCK, R. A. Tectonic framework of the São José do campestre massif, borborema province, based on new aeromagnetic data. *Brazilian Journal of Geophysics*, 32(3), 445-463, 2014.

DE CLAUDINO-SALES, Vanda; PEULVAST, Jean-Pierre. EVOLUÇÃO MORFOESTRUTURAL DO RELEVO DA MARGEM CONTINENTAL DO ESTADO DO CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL.

de MORAIS NETO, J. M., GREEN, F. P., KARNER, G. D., & FLECHA DE ALKMIM, F. Age of the Serra do Martins Formation, Borborema Plateau, northeastern Brazil; constraints from apatite and zircon fission-track analysis. *Boletim de Geociencias da Petrobras*, v. 16, p. 23-52, 2008.

DELVAUX, DAMIEN; KIPATA, M. LOUIS; KADIMA, ETIENNE. Brittle destabilization of the Congo cratonic plate during and after the Pan-African assembly of Gondwana. In: COLLOQUIUM OF AFRICAN GEOLOGY, 24., Addis Ababa, Ethiopia. Abstract Volume. p. 9, 2013.

DIAS, A. N. C.; C. A. S. TELLO, F. CHEMALE JR., M. C. T. F. DE GODOY, F. GUADAGNIN, P.J. IUNES, C. J. SOARES, A. M. A. OSÓRIO, M. P. BRUCKMANN. Fission track and U/Pb in situ dating applied to detrital zircon from the Vale do Rio do Peixe Formation, Bauru Group, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, 298-305. 2011.

DIAS, A.N.C.; TELLO S., C.A.; CONSTANTINO, C.J.L.; SOARES, C.J. OSÓRIO, A.M.; NOVAES, F.P. Micro-Raman spectroscopy and SEM/EDX applied to improve the zircon Fission Track Method used for dating geological formations. *Journal of raman spectroscopy*, [S.I.], v. 40, p. 101-106, 2009.

DIAS, Airton Natanael Coelho. Análise integrada pelo método U-Pb e traços de fissão em zircão: caracterização, datação e interpretação. 2012.

DIAS, Airton Natanael Coelho. Método de traços de fissão em zircão: estudos geocronológicos no grupo Bauru. 2008.

Do NASCIMENTO, M. A. L., GALINDO, A. C., & DE MEDEIROS, V. C. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 281–299. 2015.

DONELICK RA, O'Sullivan PB, Ketcham RA. Apatite fission-track analysis. *Rev Mineral Geochem* 58(1):49–94. 2005.

dos SANTOS, T. J. S., FETTER, A. H., HACKSPACHER, P. C., VAN SCHMUS, W. R., & NETO, J. N. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(3), 271-284, 2008.

FARLEY, K. A. (2002). (U-Th)/He dating: Techniques, calibrations, and applications. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 47(1), 819-844.

FAURE, G. The U-Th-Pb methods of dating. Principles of isotope geology. 2 ed. New York, USA: John Wiley & Sons, p. 282-308. 1986.

FAURE, G.; MENSING, T. M. Isotopes: principles and applications. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.

FENG R, MACHADO N, LUDDEN J. Lead geochronology of zircon by LaserProbe-Inductively coupled plasma mass spectrometry (LP-ICPMS). *Geochim Cosmochim Acta* 57:3479-3486, 1995.

FLOWERS, R. M.; ZEITLER, P. K.; DANIŠÍK, M.; REINERS, P. W.; GAUTHERON, C.; KETCHAM, R. A.; METCALF, J. R.; STOCKLI, D. F.; ENKELMANN, E.; BROWN, R. W. (U-Th)/He chronology: Part 1. Data, uncertainty, and reporting standards. *GSA Bulletin*, v. 135, n. 1-2, p. 104-136, 2023. <https://doi.org/10.1130/B36266.1>

FRYER, B. J.; JACKSON, S. E.; LONGERICH, H. P. The application of laser ablation microprobe-inductively coupled plasma mass spectrometry (LAM-ICPMS) to in situ (U)-Pb geochronology. *Chemical Geology*, v. 109, p. 1-8, 1993.

GALINDO, A. C., SOUZA, Z. S., DANTAS, E. L., ANTUNES, A. F., DIAS, L. G. S., ALVES DA SILVA, F. C., & LAUX, J. H. Geocronologia U-Pb de granitoides tipo Itaporanga (Monte das Gameleiras e Serrinha), Maciço S ao José de Campestre, NE do Brasil. In *Proceeding of the 21st Symposium Geology of Northeastern*, Abstract (Vol. 21, pp. 150-152). 2005.

GALLAGHER, K.; BROWN, R. W. Fission track analysis and its applications to geological problems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 25, p. 519-572, 1997.

GAMALHO, Brenda da Rocha. Análise varietal de granada e turmalina no estudo de proveniência dos arenitos offshore da Bacia Potiguar, NE do Brasil. 2021.

GARCIA, M. D. G. M., PARENTE, C. V., DA SILVA FILHO, W. F., & DE ALMEIDA, A. R. Age of magmatic events in the Eopaleozoic Jaibaras Basin, NE Brazil: Constraints from U-Pb zircon geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 113-126, 2018.

GEHRELS, George. Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 42, n. 1, p. 127-149, 2014.

GEISLER, T., RASHWAN, A.A., RAHN, M.K.W., POLLER, U., ZWINGMANN, H., PIDGEON, R.T., SCHLEICHER, H., TOMASCHEK, F. Low-temperature hydrothermal alteration of natural metamict zircons from the Eastern Desert, Egypt. *Mineralogical Magazine* 67, 485–508. 2003.

GEOSCIENCE AUSTRALIA. *Australian Mineral Facts: Zircon*. Disponível em: <https://www.ga.gov.au/education/minerals-energy/australian-mineral-facts/zircon#:~:text=Zircon's%20hardness%20makes%20it%20useful,control%20rods%20and%20super%20alloys..> Acesso em: 18 fev. 2025.

GLEADOW AJW, HURFORD AJ, QUAIFE RD. Fission track dating of zircon: improved etching techniques. *Earth Planet Sci Lett* 33:273–276, 1976.

GOMES, I. P., VERÍSSIMO, C. U. V., BEZERRA, F. H. R., SANTOS, J. L. DOS, & CÂMARA, J. R. DE F. Fraturas, carste e cavernas nos calcários Jandaíra em Felipe Guerra, Rio Grande do Norte. *Geologia USP. Série Científica*, 19(1), 43-67, 2019.

GUEDES, S.; HADLER, J.C.; SARKIS, J.E. S.; OLIVEIRA, K.M. G.; KAKAZU, M.H.; IUNES, P.J.; SAIKI, M.; TELLO S., C.A.; PAULO, S.R. *Spontaneous-fission decay constant of ^{238}U measured by nuclear track techniques without neutron irradiation*. *JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY*, [S.I.], v. 258, n. 1, p. 117-122, 2003a.

HAO, Y., WANG, Y., ZHANG, Z., YU, J., WANG, Y., PANG, J., & ZHENG, D. Advancing (U-th)/he zircon dating: novel approaches in sample preparation and uncertainty reduction. *Lithosphere*, 2023(Special 14), lithosphere_2023_258, 2024.

HASEBE N, BARBARAND J, JARVIS K, CARTER A, HURFORD AJ. Apatite fission-track chronometry using laser ablation icp-ms. *Chem Geol* 207(3):135–145. 2004.

HASEBE N, CARTER A, HURFORD AJ, ARAI S. The effect of chemical etching on LA-ICP-MS analysis in determining uranium concentration for fission-track chronometry. *Geol Soc, London, Spec Publ* 324(1):37–46. 2009.

HIRATA, T.; NESBITT, R. W. U-Pb isotope geochronology of zircon: Evaluation of the laser probe-inductively coupled plasma mass spectrometry technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, p. 2491-2500, 1995

HOLLANDA, M. H. B. M. D., ARCHANJO, C. J., & GALINDO, A. C. Cronologia do magmatismo bimodal neoproterozóico na faixa Seridó e embasamento. *Boletim de resumos*, 2013.

ITO, H.; DANIŠÍK, M. Dating late Quaternary events by the combined U-Pb LA-ICP-MS and (U-Th)/He dating of zircon: A case study on Omachi Tephra suite (central Japan). *Terra Nova*, v. 32, p. 134-140, 2020. Disponível em: <https://consensus.app/papers/dating-late-quaternary-events-by-the-combined-u-pb-ito-danišik/e5d322dfb2ce5b5cab51c4a43aae08fa>. Acesso em: 18 jan. 2025.

IWANO, H.; DANHARA, T. A re-investigation of the geometry factors for fission-track dating of apatite, sphene and zircon. In: HAUTE, P.V.D.; CORTE, F. (Eds.). *Advances in Fission-Track Geochronology*. Netherlands: Kluwer Academic, p. 47-66, 1998.

- IWANO, H., DANHARA, T., DANHARA, Y., HIRABAYASHI, S., NAKAJIMA, T., SAKAI, H., & HIRATA, T. Zircon fission-track and U–Pb double dating using femtosecond laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry: A technical note. *Island Arc*, 29(1), e12348, 2020.
- IWANO, H.; ORIHASHI, Y.; TAKAFUMI, H.; MASATSUGU, O.; TOHRU, D.; KENJI, H.; NORIKO, H.; SHIGERU, S.; AKIHIRO, T.; YASUTAKA, H.; AYA, K.; HISATOSHI, I.; KENICHIRO, T.; JUN-ICHI, K.; QING, C.; YOSHIKAZU, K.; YASUHIRO, H.; KOSHI, Y. An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard. *Island Arc* 22, 382-394. 2013.
- JACKSON, S. E.; LONGERICH, H. P.; HORN, I.; DUNNING, R. The application of laser ablation microprobe (LAM)-ICP-MS to in situ U-Pb zircon geochronology. *J Conf Abstr*, v. 1, p. 283, 1996.
- JAFFEY, A.H., FLYNN, K.F., GLENDENIN, L.E., BENTLEY, W.C., ESSLING, A.M. *Precision measurements of half-lives and specific activities of ^{235}U and ^{238}U* . PHYSICAL REVIEW C: NUCLEAR PHYSICS, [S.I.], v. 4, n. 5, p. 1889-1906, 1971.
- JÄGER, Emilie; HUNZIKER, Johannes C. (Ed.). *Lectures in isotope geology*. Springer Science & Business Media, 2012.
- KOŠLER, Jan; SYLVESTER, Paul J. Present trends and the future of zircon in geochronology: laser ablation ICPMS. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, v. 53, n. 1, p. 243-275, 2003.
- LEDERER, C.M.; SHIRLEY, V.S. **Table of Isotopes**. 7. ed. New York: Wiley-Interscience. 1523 p., 1978.
- LEGRAND, J. M., DEUTSCH, S., & SOUZA, L. C. Datação U/Pb e granitogênese do Maciço de Acari (RN). *SBG*, 14, 172-174, 1991.
- LIMA, J. L. *Caracterização faciológica da Formação Açú (Albiano da Bacia Potiguar) no poço 3-BRSA-349-RN com o uso de perfil de imagem microrresistiva*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/17042/1/LIMA%2C%20J.L.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- LIMA, M. G. A história do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas. 2008. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/18345>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- LONDON GEOCHRONOLOGY CENTRE. Equipment. Disponível em: <https://www.london-geochron.com/p/equipment.html>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- Ludwig, K. R. (1998). "On the treatment of concordant uranium-lead ages." *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(4), 665-676.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rêgo. Inversão neotectônica do relevo na Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 1, 2014.

MARSELLOS, A. E., & GARVER, J. I. Radiation damage and uranium concentration in zircon as assessed by Raman spectroscopy and neutron irradiation. *American Mineralogist*, 95(8-9), 1192-1201. 2010.

MATOS, R. M. D. The northeast Brazilian rift system. *Tectonics*, Washington, v. 11, n. 4, p. 766-791, 1992.

MELO, Anderson Henrique de. *Análise estratigráfica integrada do Albiano ao Campaniano da Bacia Potiguar: da escala sísmica à de reservatórios*. 2021. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/45437>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MELO, Alanny Christiny Costa de. Evolução dos sistemas de falhas de borda do Rifte Potiguar com base em curvas de crescimento de falhas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MEZGER, K., & KROGSTAD, E. J. Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: An evaluation. *Journal of metamorphic Geology*, 15(1), 127-140, 1997.

MINDAT. *Zircon*. Disponível em: <https://www.mindat.org/min-4421.html>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MINERALOGICAL ASSOCIATION OF CANADA. Epidote. Mindat, [s.d.]. Disponível em: <https://www.mindat.org/min-4421.html>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MINERALS.NET. *Zircon*. Disponível em: <https://www.minerals.net/mineral/zircon.aspx>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MIZUSAKI, ANA MARIA PIMENTEL; THOMAZ FILHO, ANTONIO; DE CESERO, PEDRO. Ages of the magmatism and the opening of the South Atlantic Ocean. *Pesquisas em Geociências*, v. 25, n. 2, p. 47-57, 1998.

MOURA-LIMA, E. N., SOUSA, M. O. L., BEZERRA, F. H. R., AQUINO, M. R. DE, VIEIRA, M. M., LIMA-FILHO, F. P., FONSECA, V. P. DA, & AMARAL, R. F. DO. Sedimentação e deformação tectônica cenozoicas na porção central da Bacia Potiguar. *Geologia USP. Série Científica*, 10(1), 15-28. 2010.

NAESER, C. W. Etching fission tracks in zircons. *Science*, v. 165, n. 3891, p. 388-388, 1969.

NAESER, C.W.; CEBULA, G.T. Re-collection of Fish Canyon Tuff for fission-track standardization. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, v. 10, n. 3, p. 393-402, 1984. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/70013615>. Acesso em: 23 fev. 2025.

NASCIMENTO, M. A., de MEDEIROS, V. C., & ARCHANJO, C. J. Plúton Serra da Garganta como registro de magmatismo cálcio-alcálico no Domínio Rio Piranhas–Seridó, Nordeste da Província Borborema. *Pesquisas em Geociências*, 45(1), 0620, 2018.

NASDALA, L., REINERS, P.W., GARVER, J.I., KENNEDY, A.K., STERN, R.A., BALAN, E., WIRTH, R. Incomplete retention of radiation damage in zircon from Sri Lanka. *American Mineralogist* 89, 219–231, 2004.

NETO, J. M., HEGARTY, K. A., KARNER, G. D., & ALKMIM, F. F. D. Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 26, n. 7, p. 1070-1086, 2009.

NETO, O. P., SOARES, U. M., DA SILVA, J. F., ROESNER, E. H., FLORENCIO, C. P., & DE SOUZA, C. V. Bacia potiguar. *Bol. Geociencias Petrobras*, 15(2), 357-369, 2007.

NEVES, S. P., VAUCHEZ, A., & FERAUD, G. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). *Precambrian research*, 99(1-2), 1-32, 2000.

NEVES, Sérgio Pacheco. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics*, v. 22, n. 4, 2003.

NYBLADE, Andrew A.; KNOX, Ronald P.; GURROLA, Harold. Mantle transition zone thickness beneath Afar: implications for the origin of the Afar hotspot. *Geophysical Journal International*, v. 142, n. 2, p. 615-619, 2000.

OLIVEIRA, J. S. *Revisão Sistemática dos Equinoides (Echinodermata) da Formação Jandaíra, Bacia Potiguar*. 2013. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5397/1/JOSEVANIA_OLIVEIRA.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025.

PEDROSA JR, Nilo Costa; CASTRO, David Lopes de; MATOS, João Paulo Lopes de. Assinaturas magnéticas e gravimétricas do arcabouço estrutural da bacia Potiguar emersa, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, p. 265-278, 2010.

PEULVAST, Jean-Pierre; BÉTARD, François. Morphostratigraphic constraints and low temperature thermochronology: Lessons from a review of recent geological and geomorphological studies in northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 111, p. 103464, 2021.d

PERIODIC TABLE. *The Periodic Table of Elements*. Disponível em: <https://periodictable.com/>. Acesso em: 27 jan. 2025.

PESSOA NETO, O.C.; SOARES, U.M.; SILVA, J.G.F.; ROESNER, E.H.; FLORÊNCIO, C.P.; SOUZA, C.A.V. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 357- 369, 2007.

PESTILHO, André Luiz Silva. Aplicação de inclusões fluidas à reconstrução da história de migração de hidrocarbonetos na Bacia Potiguar, RN. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

PEULVAST, J. P.; BÉTARD, F. Landforms and landscape evolution of the equatorial margin of Northeast Brazil: An overview. *Springer*, 2015.

PICAZO, S. M., EWING, T. A., & MÜNTENER, O. *Paleocene metamorphism along the Pennine-Austroalpine suture constrained by U– Pb dating of titanite and rutile (Malenco, Alps)*, *Swiss J. Geosci.*, 112, 517–542, 2019.

PINÉO, T. R. G., COSTA, F. G. D., BASTO, C. F., RODRIGUES, J. B., MEDEIROS, V. C. D., PALHETA, E. S. D. M. & SANTANA, J. D. S. New zircon U-Pb dating and review of geological and geochronological data with implications for lithostratigraphy and crustal evolution of North Borborema Province, northeastern Brazil, 2023.

PINTO, Taís Fontes. Aplicação da termocronologia traços de fissão em apatitas nos carbonatitos do Rio Grande do Sul-Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020.

REINERS, P. W. Zircon (U-Th)/He thermochronometry. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 58(1), 151-179, 2005.

REINERS, P. W.; BRANDON, M. T. Using thermochronology to understand orogenic erosion. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Palo Alto, v. 34, p. 419-466, 2006.

REINERS, P.W. Zircon (U-Th)/He thermochronometry. *Rev. Mineral. Geochem.* 58, 151–179, 2005.

RESENDE, R. S.; TELLO, C. A. S; STUANI, L. A. P.; ELTON, L. D. The effect of chemical and physical imperfections in zircon grains in influencing the U-Pb age analyses: Insights from zircon fission track etching. *LITHOS*; p. 346-347, 2019.

RESENDE, ROSANA SILVEIRA ; SÁENZ, CARLOS ALBERTO TELLO ; CURVO, EDUARDO AUGUSTO CAMPOS ; CONSTANTINO, CARLOS JOSÉ LEOPOLDO ; AROCA, RICARDO F. ; NAKASUGA, WAGNER MASSAYUKI,. Raman Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy Characterizations of Fission Track Method Datable Zircon Grains. *Applied Spectroscopy*, v. 68, p. 549-556, 2014

RESENDE, ROSANA SILVEIRA. *Aprimoramento da Sistemática U-Pb através do Método de Traços de fissão e técnicas de Caracterização: Termocronologia da Faixa Brasília e sua Correlação com a Bacia do Paraná*. Teses de Doutorado – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015.

RESENDE, ROSANA SILVEIRA; Tello S., C. A.; DANTAS, E. L.; HACKSPACHER, P.; Chaves M., C.A.; GLASMACHER, U. A. Thermochronology and exhumation history of the basement and sediments of the NNE border of the Paraná basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, p. 102512, 2020.

SÁ, J. M., GALINDO, A. C., LEGRAND, J. M., DE SOUZA, L. C., & MAIA, H. N. Os granitos ediacaranos no contexto dos terrenos Jaguaribeano e Rio Piranhas-Seridó no Oeste do RN, Província Borborema. *Estudos Geológicos*, 24(1), 4-22. 2014b.

SÁ, J. M., SOUSA, L. C., LEGRAND, J. M., GALINDO, A. C., MAIA, H. N., & FILLIPPI, R. R. U-pb and Sm-Nd data of the Rhyacian and Statherian orthogneisses from Rio Piranhas-Seridó and Jaguaribeano terranes, Borborema Province, northeast of Brazil. *Geologia USP, Série Científica*, 14(3), 97-110. 2014a.

SALMINEN, J. M., EVANS, D. A. D., TRINDADE, R. I. F. D., OLIVEIRA, E. P., PIISPA, E. J., & SMIRNOV, A. V. Paleogeography of the Congo/São Francisco craton at 1.5 Ga: expanding the core of Nuna supercontinent. *Precambrian Research*, 286, 195-212, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2016.09.011>

SAMPAIO, A. V., & SCHALLER, H. Introdução à Estratigrafia da Bacia Potiguar. Rio de Janeiro. *Boletim Técnico da Petrobras*, 11(1), 19-44, 1968.

SCHMITZ, M.D.; BOWRING, S.A. U-Pb zircon and titanite systematics of the Fish Canyon Tuff: an assessment of high-precision U-Pb geochronology and its application to young volcanic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 65, p. 2571-2587, 2001. Disponível em: <https://dggs.alaska.gov/pubs/id/14493>. Acesso em: 23 fev. 2025.

SCHOENE, B. (2014). "U–Th–Pb Geochronology." *Treatise on Geochemistry*, 2nd Edition, Volume 4, Pages 341-378, 2014.

SHENGHUA, L., XIN, W., HUIXIA, S., HUI, Z., & BINGBING, L. Improvement in the Analytical Capabilities of LA-ICP-MS for High Spatial Resolution U-Pb Dating of Zircon Using Mixed-Gas Plasma. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1819639, 2020.

SILVA, R. M.; COSTA, L. P.; MACHADO, P. D. Quartzo e zircão como marcadores da evolução magmático-hidrotermal do Granito Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás. ResearchGate, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SOARES, C. J.; GUEDES, S.; HADLER, J. C.; MERTZ-KRAUS, R.; ZACK, T.; IUNES, P. J. Novel calibration for LA-ICP-MS-based fission track thermochronology. *PHYSICS AND CHEMISTRY OF MINERALS*, 2013.

SOUTO FILHO, J.D., CORREA, A.C.F., NETO, E.S., TRINDADE, L.A.F. Alagamar-açu petroleum system, onshore Potiguar basin, Brazil: a numerical approach for secondary migration. In: Mello, M.R., Katz, B.J., Orgs (Eds.), *Petroleum Systems of South Atlantic Margins*, vol. 73. AAPG Memoir, pp. 151–158, 2000.

SOUZA, S. F., CASTRO, D. L., BEZERRA, F. H. R., & BARBOSA, J. A. Relações do arcabouço tectônico do Rifte Potiguar com as estruturas do embasamento adjacente: análise de dados gravimétricos e magnéticos. *Geologia USP*, 16, 4-60, 2016.

SPENCER, C. J., KIRKLAND, C. L., & TAYLOR, R. J. Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U–Pb zircon geochronology. *Geoscience Frontiers*, 7(4), 581-589, 2016.

SIMÃO, E. R. Caracterização geológica dos granitoides do paleoproterozóico e rochas associadas do SW de Angola e correlação com o domínio tectônico do Cabo Frio (RJ). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2022.

TAGAMI, T.; LAL, N.; SORKHABI, R. B.; ITO, H.; NISHIMURA, S. Fission track dating using the external detector method: a laboratory procedure. In: *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University: series of geology and mineralogy*. Kyoto: [s.n.], v. 53, n. 1-2, p. 1-30, 1988.

TAGAMI, T.; MATSU-URA, S. Thermal annealing characteristics of fission tracks in natural zircons of different ages. *Terra Nova*, v. 31, p. 257–262, 2019. Disponível em: <https://consensus.app/papers/thermal-annealing-characteristics-of-fission-tracks-in-tagami-matsu-ura/81bdcc55d5dd5e028182900c529f1a4a>. Acesso em: 18 jan. 2025.

TAKODJOU WAMBO, J. D., GANNO, S., NZENTI, J. P., AND ASIMOW, P. D.: Archean shear tectonics in the Congo craton: insights from Petro-structural characterization and U-Pb geochronology of the Memve'ele mylonite, Southern Cameroon, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-20667, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-20667>, 2025.

TELLO S., C.A.; CURVO, E.A.C.; DIAS, A.N.C.; SOARES, C.J.; CONSTANTINO, C.J.L.; ALENCAR, I.; GUEDES, S.; PALISSARI, R.; HADLER N., J.C. Effects of etching on zircon grains and implications to the fission-track method. *APPLIED SPECTROSCOPY*, [S.I.], v.66, n. 5, p. 545-551, 2012

TERA, F.; WASSERBURG, G. J. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 14, n. 3, p. 281-304, 1972.

TEUTSONG, T., BONTOGNALI, T. R., NDJIGUI, P. D., VRIJMOED, J. C., TEAGLE, D., COOPER, M., & VANCE, D. Petrography and geochemistry of the Mesoarchean Bikoula banded iron formation in the Ntem complex (Congo craton), Southern Cameroon: implications for its origin. *Ore Geology Reviews*, 80, 267-288, 2017.

TORQUATO, J. R.; KAWASHITA, K. VII - Metodologias de datação dos sistemas U,Th-Pb. In: Celso Dal Ré Carneiro. (Org.). *Geocronologia Nuclear*. São Paulo: Ed. UNICAMP, v. 9, p. 153-189, 1996.

TRAVASSOS, Ricardo de Moraes; SAUDINO, Cibele; FREITAS, Isabelle de Almeida. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). *Bacia Potiguar - Sumário Geológico e Setores em Oferta (Atualização)*. 2021. Brasília: ANP, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/oferta-permanente/opc/arquivos/sg/potiguar.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 27 jan. 2025.

VALCÁCIO, Samir do Nascimento; SOUZA, Zorano Sérgio de; OLIVEIRA, Elson Paiva de. U-Pb zircon age of Ediacaran Umarizal Granite Suite and emplacement mechanism with high-T hornfels generation in Jucurutu Formation, Borborema Province, NE, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 52, p. e20200129, 2022.

VAN SCHMUS, W. R., OLIVEIRA, E. P., DA SILVA FILHO, A. F., TOTEU, S. F., PENAYE, J., & GUIMARÃES, I. P. Proterozoic links between the Borborema province, NE Brazil, and the central African fold belt, 2008.

- VAN SCHMUS, W. R., DE BRITO NEVES, B. B., HACKSPACHER, P. C., & BABINSKI, M. UPb and SmNd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4), 267-288, 1995.
- VASCONCELOS, E. P., LIMA NETO, F. F., & ROOS, S. Unidades de correlação da Formação Açú, Bacia Potiguar. In *SBG/Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 36, pp. 227-240), 1990.
- VAZ SANTOS, Bruno Henrique. Dissertação de Mestrado. Método de traços de fissão e U-Pb nos minerais apatita e zircão: termo-cronologia dos andes peruanos na região de Yura, Arequipa-Peru. 2024.
- VERMEESCH P. How many grains are needed for a provenance study? *Earth Planet Sci Lett* 224(3):441–451, 2004.
- Vermeesch, P. Isotope Geology Part I: Radiometric Geochronology. *LondonnGeochronology Centre, University College London*, 81, 2014.
- VERMEESCH, P. On the treatment of discordant detrital zircon U–Pb data. *Geochronology Discussions*, 1-19, 2020.
- VERMEESCH, P. An algorithm for U–Pb geochronology by secondary ion mass spectrometry. *Geochronology*, v. 4, p. 561–576, 2022.
- VERMEESCH, P. IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers*, v.9, p.1479-1493, 2018.
- VERMEESCH, P. Statistics for Fission-Track Thermochronology. [S.l.]: Springer, 2019.
- VETTER, J. ACKERMANN, R. NEUMANN, L. NISTOR, R. SCHOLZ (AUTH.), PETER VAN DEN HAUTE, FRANS DE CORTE (eds.) *Advances in Fission-Track Geochronology: A selection of papers presented at the International Workshop on Fission-Track Dating*, Ghent, Belgium, 1996. Solid Earth Sciences Library 10. Springer Netherlands. 1998.
- WETHERILL, G. W. Discordant uranium-lead ages. *Transactions, American Geophysical Union*, Washington, v. 37, n. 3, p. 320-326, 1956.
- WIEDENBECK, M., ALLE, P., CORFU, F., GRIFFIN, W.L., MEIER, M., OBERLI, F., VON QUADT, A., RODDICK, J.C., SPIEGEL, W. Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter* 19, 1-23. 1995.
- WILLIAMS, I. S. U–Th–Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben, M. A., Shanks III, W.C., Rydley, W.I. (Eds.), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Rev. Econ. Geol.* 7, 1 – 35, 1998.
- WU, S., YANG, M., YANG, Y., XIE, L., HUANG, C., WANG, H., & YANG, J. Improved in situ zircon U–Pb dating at high spatial resolution (5–16 μm) by laser ablation–single collector–sector field–ICP–MS using Jet sample and X skimmer cones. *International Journal of Mass Spectrometry*, 456, 116394, 2020.

YU, S., CHEN, W., SUN, J., & SHEN, Z. Diffusion of helium in FCT zircon. *Science China Earth Sciences*, 62(4), 719–732. 2019.

ZIRCON ASSOCIATION. Chemical Applications. Disponível em: <https://www.zircon-association.org/chemical-applications.html>. Acesso em: 18 fev. 2025.

Zircon. The Hudson Institute of Mineralogy. Disponível em: <<https://www.mindat.org/min-4421.html>>. Acessado em 12 de Dezembro de 2020.

APÊNDICES

AMOSTRAS PADRÃO

OD-3

APÊNDICE A - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra padrão OD-3.

<i>Grão</i>	<i>N_s</i>	<i>ρ_s</i>	<i>A</i>	<i>Uppm</i>	<i>e.[U]</i>	<i>Idade (Ma)</i>	<i>e.[I]</i>	<i>Grão</i>	<i>N_s</i>	<i>ρ_s</i>	<i>A</i>	<i>Uppm</i>	<i>e.[U]</i>	<i>Idade (Ma)</i>	<i>e.[I]</i>
4	127	20	6.35	622	9.33	13.60	1.84	32	70	12	5.83	265	3.97	29.30	4.60
5	79	20	3.95	110	1.65	47.79	7.26	33	198	16	12.38	202	3.03	81.27	10.10
6	133	24	5.54	628	9.42	11.75	1.57	34	281	24	11.71	427	6.41	36.42	4.30
9	273	16	17.06	302	4.52	74.96	8.89	35	273	24	11.38	206	3.10	73.02	8.66
10	143	16	8.94	324	4.85	36.71	4.84	36	202	24	8.42	455	6.82	24.62	3.05
12	75	8	9.38	246	3.69	50.64	7.80	37	260	24	10.83	432	6.47	33.37	3.98
13	116	16	7.25	502	7.53	19.23	2.65	38	190	12	15.83	1023	15.34	20.60	2.58
14	328	24	13.67	175	2.62	103.5	12.00	41	104	20	5.20	227	3.41	30.43	4.30
15	352	24	14.67	538	8.07	36.23	4.17	42	211	24	8.79	332	4.98	35.17	4.33
16	206	24	8.58	386	5.79	29.58	3.65	43	131	20	6.55	265	3.98	32.83	4.41
18	294	24	12.25	567	8.51	28.73	3.38	44	238	20	11.90	475	7.13	33.30	4.02
20	208	16	13.00	432	6.47	40.03	4.94	45	91	12	7.58	384	5.75	26.30	3.85
21	97	16	6.06	184	2.76	43.74	6.29	46	70	12	5.83	880	13.20	8.83	1.39
22	267	20	13.35	709	10.64	25.03	2.98	49	358	16	22.38	327	4.91	90.53	10.40
23	383	12	31.92	951	14.27	44.57	5.08	50	174	16	10.88	296	4.44	48.84	6.21
25	216	12	18.00	780	11.70	30.69	3.76	51	107	16	6.69	229	3.43	38.86	5.46
26	275	24	11.46	219	3.28	69.43	8.23	52	103	16	6.44	723	10.85	11.85	1.68
28	60	8	7.50	224	3.36	44.53	7.33	53	203	20	10.15	393	5.90	34.31	4.25
30	60	4	15.00	771	11.56	25.89	4.26	54	125	20	6.25	529	7.93	15.74	2.14
31	378	24	15.75	187	2.81	411.0	12.68								

ρ_s = Densidade superficial de traços espontâneos (10^6 cm^{-2}); A – Área utilizada para contagem no grão (10^{-6} cm^2); N_s = número de traços contados para determinar ρ_s . $e.[U]$ – erro associado à quantidade de urânio em partes por milhão; $e.[I]$ – erro associado à idade.

APÊNDICE B – Razões e Idades U-Pb de zircões da amostra OD-3.

Nº	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						%conc
	<i>R.86</i>	<i>e[R.86]</i>	<i>R..76</i>	<i>e.[R.76]</i>	<i>t.75</i>	<i>e[t.75]</i>	<i>t.86</i>	<i>e[t.86]</i>	<i>t.76</i>	<i>e[t.76]</i>	<i>t.conc</i>	<i>e[t.conc]</i>	
1	223.371	3.350565	0.042927	0.001931715	26.54	2.44	28.80	0.84	0.00	189.59	28.77	0.84	8
2	210.6506	5.8982168	0.054683	0.002132637	35.69	3.30	30.53	1.67	398.28	171.32	30.22	1.66	15

3	204.802	3.891238	0.050356	0.002114952	33.84	3.01	31.40	1.17	210.42	190.81	31.37	1.17	12
4	213.9158	4.278316	0.051217	0.001587727	32.96	2.35	30.07	1.18	249.57	139.83	29.98	1.17	9
5	196.7777	5.5097756	0.053969	0.001349225	37.67	2.72	32.68	1.79	368.74	110.39	32.01	1.78	6
6	200.0604	3.8011476	0.058506	0.002281734	40.12	3.34	32.14	1.19	547.78	166.96	31.85	1.19	2
7	150.448	2.25672	0.127575	0.005740875	112.23	9.88	42.74	1.25	2064.03	155.53	40.91	1.23	0
8	204.884	3.278144	0.036625	0.00153825	24.71	2.15	31.39	0.98	0.00	162.72	31.03	0.98	11
9	204.0042	4.080084	0.052061	0.001301525	35.10	2.16	31.52	1.23	287.06	112.01	31.33	1.23	0
10	200.2928	3.8055632	0.041185	0.001606215	28.37	2.38	32.10	1.19	0.00	174.63	31.95	1.19	0
11	208.6793	4.3822653	0.045546	0.001411926	30.09	2.18	30.82	1.27	0.00	138.50	30.80	1.26	24
12	204.1375	5.71585	0.048694	0.00121735	32.84	2.38	31.50	1.72	132.07	115.22	31.45	1.72	5
13	190.7161	3.0514576	0.063317	0.002849265	45.43	4.16	33.71	1.05	717.94	187.27	33.43	1.05	0
14	178.98	3.40062	0.045555	0.001047765	35.01	2.01	35.92	1.33	0.00	104.57	35.89	1.33	0
15	204.2281	3.0634215	0.028823	0.001210566	19.56	1.69	31.49	0.92	0.00	117.19	29.98	0.90	8
16	220.4725	4.6299225	0.054242	0.002115438	33.86	2.89	29.17	1.20	380.10	171.87	29.02	1.20	7
17	213.4451	3.4151216	0.055067	0.001707077	35.48	2.38	30.13	0.94	413.94	135.81	29.96	0.94	0
18	221.0406	6.1891368	0.021937	0.000987165	13.79	1.42	29.10	1.59	0.00	105.81	19.54	1.30	0
19	207.0551	2.8987714	0.038161	0.001602762	25.47	2.18	31.06	0.85	0.00	163.19	30.88	0.85	4
20	198.4404	2.976606	0.065735	0.001643375	45.33	2.53	32.40	0.95	797.01	102.72	31.48	0.94	0
21	225.3909	3.6062544	0.024859	0.000969501	15.32	1.26	28.54	0.89	0.00	98.32	25.24	0.84	14
22	204.3908	4.087816	0.050531	0.001162213	34.02	2.00	31.46	1.23	218.45	104.33	31.35	1.23	4
23	202.43	3.84617	0.064402	0.00289809	43.57	4.08	31.77	1.18	753.91	186.18	31.36	1.17	4
24	189.2284	3.9737964	0.067921	0.001698025	49.03	3.06	33.98	1.39	865.21	101.61	31.85	1.35	11
25	207.7687	3.3242992	0.052234	0.001619254	34.59	2.32	30.95	0.97	294.64	138.71	30.87	0.97	32
26	206.4545	5.780726	0.047959	0.001870401	32.00	2.96	31.15	1.71	96.18	180.94	31.14	1.71	29
27	207.3207	4.146414	0.048184	0.00216828	32.01	3.04	31.02	1.21	107.25	208.35	31.02	1.21	0
28	207.3512	3.110268	0.037682	0.001582644	25.12	2.17	31.01	0.91	0.00	155.26	30.78	0.91	19
29	205.6783	2.8794962	0.049315	0.001232875	33.01	1.82	31.27	0.86	161.78	114.59	31.24	0.86	0
30	195.5083	4.1056743	0.028896	0.000895776	20.47	1.49	32.89	1.35	0.00	92.58	27.94	1.24	10
31	204.5313	3.8860947	0.052851	0.001215573	35.53	2.04	31.44	1.17	321.38	102.42	31.18	1.16	0
32	200.5052	5.6141456	0.045206	0.001763034	31.07	2.88	32.07	1.76	0.00	188.35	32.05	1.75	11
33	188.4402	3.9572442	0.052368	0.00235656	38.16	3.65	34.12	1.40	300.49	201.13	34.04	1.40	0
34	206.9696	3.104544	0.042352	0.001778784	28.24	2.43	31.07	0.91	0.00	189.31	31.03	0.91	0
35	186.5279	3.5440301	0.043953	0.001714167	32.45	2.72	34.47	1.28	0.00	171.48	34.43	1.28	0
36	184.7355	5.172594	0.036206	0.00090515	27.06	1.96	34.80	1.90	0.00	97.71	31.34	1.79	39
37	198.5666	3.1770656	0.047704	0.00214668	33.07	3.05	32.38	1.01	83.55	209.28	32.38	1.01	0
38	201.0593	3.0158895	0.020578	0.000637918	14.22	0.95	31.98	0.94	0.00	68.27	23.22	0.79	7
39	208.4553	4.169106	0.056224	0.002192736	37.06	3.13	30.85	1.21	460.23	169.48	30.63	1.20	0

40	209.4974	3.142461	0.043598	0.001002754	28.71	1.52	30.70	0.90	0.00	96.36	30.62	0.90	8
-----------	----------	----------	----------	-------------	-------	------	-------	------	------	-------	-------	------	---

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; *%conc* – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

FCT

APÊNDICE C - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra FCT

Grão	Uppm	1 σ	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ_s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1 σ (Ma)	Grão	Uppm	1 σ	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ_s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1 σ (Ma)
1	528.1	7.9	57	0.9	0.63	13.64	2.28	37	549.0	8.2	54	0.45	1.20	24.85	4.23
2	544.1	8.2	64	0.675	0.95	19.82	3.20	38	380.3	5.7	141	1.35	1.04	31.21	4.13
3	364.4	5.5	74	0.9	0.82	25.65	3.97	39	266.2	4.0	155	1.35	1.15	48.94	6.35
4	373.6	5.6	308	1.35	2.28	69.19	8.08	40	420.2	6.3	128	0.9	1.42	38.44	5.19
5	364.4	5.5	76	0.675	1.13	35.10	5.39	41	380.9	5.7	137	0.675	2.03	60.41	8.04
6	431.8	6.5	81	0.675	1.20	31.57	4.76	42	512.2	7.7	36	0.45	0.80	17.77	3.47
7	325.7	4.9	100	0.9	1.11	38.74	5.53	43	476.3	7.1	127	1.125	1.13	26.94	3.64
8	442.9	6.6	72	0.675	1.07	27.38	4.27	44	358.8	5.4	122	1.125	1.08	34.33	4.68
9	507.9	7.6	184	1.35	1.36	30.49	3.84	45	374.2	5.6	106	1.35	0.79	23.86	3.36
10	1618.1	24.3	143	1.125	1.27	8.94	1.18	46	437.3	6.6	126	1.125	1.12	29.10	3.94
11	550.8	8.3	94	0.9	1.04	21.56	3.13	47	372.3	5.6	147	1.35	1.09	33.22	4.36
12	76.7	1.2	78	0.45	1.73	252.48	38.47	48	1203.5	18.1	137	1.125	1.22	11.52	1.53
13	246.6	3.7	119	1.125	1.06	48.68	6.67	49	441.0	6.6	159	1.125	1.41	36.40	4.70
14	559.4	8.4	169	1.35	1.25	25.44	3.25	50	412.2	6.2	136	0.9	1.51	41.62	5.55
15	259.5	3.9	94	0.675	1.39	60.84	8.83	51	528.1	7.9	87	0.675	1.29	27.74	4.10
16	201.8	3.0	130	1.125	1.16	64.89	8.73	52	464.3	7.0	132	1.125	1.17	28.72	3.85
17	458.8	6.9	72	0.675	1.07	26.43	4.12	53	818.9	12.3	145	1.125	1.29	17.90	2.35
18	524.4	7.9	72	0.675	1.07	23.12	3.60	54	261.9	3.9	73	0.9	0.81	35.18	5.46
19	358.2	5.4	50	0.675	0.74	23.51	4.10	55	540.4	8.1	138	1.125	1.23	25.80	3.43
20	689.4	10.3	112	0.9	1.24	20.53	2.85	56	479.1	7.2	106	1.125	0.94	22.36	3.15
21	564.9	8.5	178	1.35	1.32	26.53	3.36	57	564.3	8.5	129	1.125	1.15	23.10	3.11
22	445.3	6.7	107	1.125	0.95	24.28	3.41	58	474.1	7.1	117	0.9	1.30	31.15	4.29
23	187.1	2.8	148	1.35	1.10	66.40	8.70	59	218.4	3.3	120	1.125	1.07	55.40	7.58
24	649.6	9.7	135	0.9	1.50	26.25	3.50	60	623.2	9.3	77	0.9	0.86	15.62	2.39
25	428.8	6.4	157	1.125	1.40	36.97	4.79	61	693.7	10.4	135	0.9	1.50	24.58	3.28
26	571.1	8.6	144	1.125	1.28	25.48	3.36	62	631.2	9.5	107	0.9	1.19	21.42	3.01
27	583.3	8.7	183	1.35	1.36	26.41	3.33	63	276.0	4.1	115	0.9	1.28	52.51	7.26
28	296.9	4.5	66	0.675	0.98	37.40	5.98	64	364.4	5.5	68	0.9	0.76	23.58	3.74
29	223.9	3.4	50	0.675	0.74	37.57	6.55	65	531.8	8.0	145	1.35	1.07	22.96	3.02
30	246.6	3.7	43	0.225	1.91	87.68	16.09	66	409.1	6.1	157	1.35	1.16	32.30	4.18
31	449.0	6.7	89	1.125	0.79	20.04	2.95	67	459.4	6.9	152	1.35	1.13	27.85	3.63

32	451.5	6.8	108	0.9	1.20	30.20	4.24	68	496.2	7.4	149	1.125	1.32	30.33	3.97
33	544.7	8.2	48	0.45	1.07	22.27	3.94	69	372.3	5.6	126	1.125	1.12	34.17	4.63
34	255.2	3.8	140	1.125	1.24	55.31	7.33	70	437.3	6.6	105	0.9	1.17	30.31	4.28
35	783.3	11.7	77	0.675	1.14	16.57	2.53	71	403.0	6.0	133	1.35	0.99	27.78	3.72
36	405.4	6.1	107	1.35	0.79	22.23	3.12								

N_S = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm^2 (10^{-5}); ρ_S = densidade de traços espontâneos 10^7 (traços/ cm^2). I = Idade in ma.

APÊNDICE D – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra FCT

Identi- ficado r	Razões Isotópicas								Idades (Ma)								
	U (ppm)	Th/U	²³⁸ U / ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁸ Pb / ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁸ Pb / ²³² Th	2s abs	% conc
1	528.1	0.488	232.6	3.786	0.046	0.003	0.169	0.007	27.3	3.8	27.7	0.9	0.0	315.7	30.1	2.7	27.3
2	544.1	0.593	234.2	3.839	0.047	0.003	0.205	0.008	27.5	3.8	27.5	0.9	28.7	326.6	29.8	2.4	27.5
3	364.4	0.989	219.3	3.847	0.052	0.004	0.335	0.012	32.6	4.8	29.3	1.0	280.9	330.9	31.2	2.5	32.6
4	373.6	0.615	223.7	4.004	0.052	0.004	0.195	0.009	31.8	4.6	28.8	1.0	269.4	323.7	28.7	2.7	31.8
5	364.4	0.391	230.9	3.734	0.052	0.004	0.124	0.008	31.0	4.8	27.9	0.9	281.3	353.2	27.8	3.8	31.0
6	431.8	0.407	238.1	3.968	0.053	0.004	0.149	0.007	30.9	4.1	27.0	0.9	341.0	293.0	31.0	3.1	30.9
7	325.7	0.630	230.4	4.247	0.055	0.004	0.204	0.010	32.8	4.9	27.9	1.0	403.5	333.9	28.4	2.8	32.8
8	442.9	0.432	230.4	3.716	0.053	0.004	0.156	0.008	31.4	4.3	27.9	0.9	306.7	311.2	31.6	3.3	31.4
9	507.9	0.378	231.5	3.751	0.048	0.003	0.163	0.007	28.5	3.7	27.8	0.9	84.8	302.9	37.7	3.6	28.5
10	1618.1	0.196	4.4	0.044	0.102	0.001	0.043	0.001	1464.6	24.1	1331.9	23.7	1662.7	44.4	1004.5	35.7	1464.6
11	550.8	0.494	227.3	3.616	0.051	0.003	0.180	0.007	30.7	3.6	28.3	0.9	222.5	267.7	32.3	2.6	30.7
12	76.7	0.502	4.4	0.051	0.088	0.002	0.159	0.003	1346.9	32.9	1320.9	27.0	1388.4	72.9	1405.9	61.4	1346.9
13	246.6	0.749	230.9	4.267	0.050	0.005	0.268	0.014	29.7	6.3	27.9	1.0	185.6	493.7	31.2	3.3	29.7
14	559.4	0.528	232.6	3.245	0.051	0.003	0.173	0.007	30.0	3.4	27.7	0.8	222.5	257.9	28.5	2.3	30.0
15	259.5	0.888	223.2	3.986	0.056	0.005	0.317	0.013	34.5	6.2	28.8	1.0	453.0	397.5	32.3	2.8	34.5
16	201.8	0.740	226.2	4.607	0.045	0.006	0.242	0.014	27.6	7.6	28.4	1.1	0.0	672.6	29.2	3.4	27.6
17	458.8	0.480	217.9	3.323	0.061	0.003	0.169	0.007	38.4	4.3	29.5	0.9	636.9	238.0	32.7	2.9	38.4
18	524.4	0.559	234.2	3.291	0.056	0.003	0.197	0.008	32.7	3.5	27.5	0.8	435.0	237.9	30.4	2.4	32.7
19	358.2	0.620	230.4	4.247	0.056	0.004	0.194	0.010	33.7	4.9	27.9	1.0	464.8	320.6	27.3	2.9	33.7
20	689.4	0.601	231.5	3.215	0.041	0.003	0.202	0.007	24.7	3.5	27.8	0.8	0.0	320.3	29.2	2.2	24.7

21	564.9	0.476	217.4	3.308	0.053	0.003	0.159	0.006	33.7	3.6	29.6	0.9	335.5	233.9	31.1	2.6	33.7
22	445.3	0.503	236.4	3.912	0.056	0.003	0.188	0.009	32.8	4.0	27.2	0.9	461.3	268.0	32.0	3.0	32.8
23	187.1	0.455	230.4	5.309	0.041	0.008	0.174	0.014	24.3	9.7	27.9	1.3	0.0	808.9	33.5	5.4	24.3
24	649.6	0.666	229.4	3.682	0.060	0.003	0.233	0.008	35.7	3.8	28.0	0.9	588.1	226.2	30.8	2.3	35.7
25	428.8	0.524	243.3	5.328	0.061	0.005	0.211	0.012	34.7	5.7	26.4	1.1	652.0	344.7	33.5	4.0	34.7
26	571.1	0.472	236.4	3.912	0.053	0.004	0.179	0.008	30.7	4.2	27.2	0.9	313.6	304.8	32.4	3.0	30.7
27	583.3	0.576	238.7	3.987	0.042	0.004	0.192	0.008	24.1	4.3	27.0	0.9	0.0	394.1	28.1	2.6	24.1
28	296.9	1.028	215.1	4.162	0.059	0.005	0.324	0.013	37.5	6.1	29.9	1.1	555.0	351.8	29.6	2.6	37.5
29	223.9	0.693	229.9	4.756	0.055	0.006	0.245	0.015	32.9	7.6	28.0	1.1	405.5	515.8	31.1	3.9	32.9
30	246.6	0.729	216.9	4.235	0.058	0.006	0.238	0.012	36.8	7.0	29.6	1.1	531.8	416.1	30.4	3.3	36.8
31	449.0	0.450	233.1	3.804	0.050	0.003	0.154	0.008	29.4	4.0	27.6	0.9	182.8	312.0	29.7	3.1	29.4
32	451.5	0.629	224.7	3.535	0.062	0.004	0.242	0.009	38.0	4.6	28.6	0.9	681.7	256.9	34.5	2.8	38.0
33	544.7	0.464	225.2	3.551	0.058	0.003	0.170	0.007	35.4	4.0	28.6	0.9	527.3	240.1	32.8	3.0	35.4
34	255.2	0.610	222.7	4.464	0.043	0.006	0.225	0.013	26.9	7.3	28.9	1.1	0.0	587.3	33.3	3.9	26.9
35	783.3	1.131	218.3	2.860	0.079	0.003	0.450	0.010	49.2	3.6	29.5	0.8	1162.4	137.8	36.8	1.9	49.2
36	405.4	0.672	228.8	3.666	0.056	0.004	0.224	0.009	33.8	4.5	28.1	0.9	460.9	292.8	29.4	2.5	33.8
37	549.0	0.759	130.9	1.885	0.306	0.007	0.866	0.019	283.5	13.7	49.1	1.4	3499.8	73.6	175.2	9.0	283.5
38	380.3	0.360	227.8	3.632	0.055	0.004	0.129	0.007	33.2	4.3	28.2	0.9	411.2	286.9	31.7	3.5	33.2
39	266.2	0.511	219.8	3.864	0.063	0.005	0.183	0.010	39.1	6.1	29.3	1.0	692.3	328.7	32.8	3.8	39.1
40	420.2	0.442	235.8	3.894	0.046	0.004	0.157	0.008	27.0	4.7	27.3	0.9	7.0	412.6	30.5	3.2	27.0
41	380.9	1.472	192.7	2.970	0.195	0.006	0.806	0.020	132.5	8.8	33.4	1.0	2782.5	104.3	57.3	3.3	132.5
42	512.2	0.670	210.1	5.296	0.063	0.007	0.256	0.016	41.4	8.5	30.6	1.5	719.4	434.0	36.7	4.9	41.4
43	476.3	0.450	228.6	3.919	0.055	0.004	0.170	0.007	33.0	4.2	28.1	0.9	399.2	281.8	33.4	3.1	33.0
44	358.8	0.865	213.2	3.637	0.092	0.005	0.386	0.013	58.5	6.2	30.2	1.0	1460.5	196.2	42.2	3.0	58.5
45	374.2	0.666	223.7	3.503	0.065	0.004	0.233	0.009	39.7	4.8	28.8	0.9	765.3	248.7	31.6	2.6	39.7
46	437.3	0.454	224.2	3.519	0.046	0.003	0.154	0.007	28.1	4.0	28.7	0.9	0.0	342.3	30.6	3.0	28.1
47	372.3	0.702	223.7	3.503	0.054	0.004	0.251	0.010	33.2	4.5	28.8	0.9	365.0	301.8	32.3	2.6	33.2
48	1203.5	0.949	226.2	2.559	0.069	0.002	0.367	0.008	41.9	2.6	28.4	0.6	904.1	123.7	34.5	1.6	41.9
49	441.0	0.435	207.5	3.013	0.102	0.004	0.280	0.009	66.6	5.6	31.0	0.9	1660.7	150.8	62.6	4.3	66.6
50	412.2	0.494	225.7	3.567	0.047	0.004	0.173	0.008	29.0	4.5	28.5	0.9	72.4	363.2	31.4	2.9	29.0
51	528.1	0.510	223.7	3.503	0.052	0.003	0.196	0.007	32.1	3.7	28.8	0.9	291.8	255.7	34.6	2.7	32.1
52	464.3	0.471	209.6	3.077	0.105	0.004	0.276	0.009	67.5	5.4	30.7	0.9	1705.4	141.5	56.3	3.9	67.5
53	818.9	1.205	227.3	3.099	0.059	0.002	0.409	0.010	35.9	3.0	28.3	0.8	578.6	174.4	30.2	1.6	35.9
54	261.9	0.396	240.4	4.623	0.056	0.005	0.144	0.009	32.2	5.4	26.8	1.0	457.7	370.8	30.5	3.9	32.2
55	540.4	0.494	222.2	3.457	0.055	0.003	0.181	0.007	33.8	3.8	28.9	0.9	394.5	248.8	33.2	2.6	33.8
56	479.1	0.439	207.5	3.013	0.126	0.004	0.328	0.010	81.5	5.8	31.0	0.9	2040.3	120.9	72.7	4.7	81.5
57	564.3	0.457	233.6	3.275	0.055	0.003	0.161	0.006	32.6	3.5	27.5	0.8	425.8	236.1	30.4	2.5	32.6

58	474.1	0.461	226.2	3.583	0.066	0.003	0.190	0.007	40.1	4.0	28.4	0.9	809.2	202.2	36.7	3.0	40.1
59	218.4	0.551	208.3	3.906	0.085	0.006	0.271	0.013	55.7	7.4	30.9	1.1	1318.8	253.8	47.7	4.8	55.7
60	623.2	0.635	201.6	2.845	0.169	0.005	0.489	0.012	111.2	6.4	31.9	0.9	2550.4	90.3	77.0	4.2	111.2
61	693.7	0.662	197.6	2.734	0.098	0.003	0.330	0.009	67.1	4.9	32.5	0.9	1585.2	130.5	50.9	3.1	67.1
62	631.2	0.646	211.9	3.142	0.084	0.003	0.299	0.009	54.1	4.4	30.4	0.9	1296.3	151.6	44.1	2.8	54.1
63	276.0	0.582	212.8	3.622	0.076	0.005	0.278	0.011	48.6	6.7	30.2	1.0	1084.4	273.3	45.4	3.8	48.6
64	364.4	0.791	230.4	3.716	0.051	0.004	0.257	0.010	30.4	4.3	27.9	0.9	233.0	322.1	28.4	2.4	30.4
65	531.8	0.438	229.4	3.156	0.057	0.003	0.153	0.006	33.9	3.5	28.0	0.8	473.0	225.4	30.6	2.6	33.9
66	409.1	0.411	226.8	3.599	0.049	0.003	0.133	0.007	30.1	4.1	28.4	0.9	167.2	318.7	28.8	3.0	30.1
67	459.4	0.402	227.3	3.616	0.061	0.003	0.152	0.008	37.0	3.9	28.3	0.9	645.7	221.5	33.6	3.5	37.0
68	496.2	0.593	236.4	3.353	0.067	0.003	0.222	0.008	39.1	4.0	27.2	0.8	849.2	209.2	32.0	2.5	39.1
69	372.3	1.093	231.5	3.751	0.072	0.004	0.383	0.013	42.9	5.0	27.8	0.9	998.8	232.3	30.6	2.2	42.9
70	437.3	0.472	229.9	3.699	0.056	0.003	0.184	0.007	33.6	4.1	28.0	0.9	454.9	264.4	34.2	2.9	33.6
71	403.0	0.501	228.3	3.649	0.052	0.004	0.190	0.008	31.4	4.5	28.2	0.9	287.5	323.5	33.5	2.9	31.4

%*conc* – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

BACIA POTIGUAR

APODI

APÊNDICE E - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra APODI

Grão	Uppm	1 σ	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ_s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1 σ (Ma)	Grão	Uppm	1 σ	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ_s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1 σ (Ma)
1	236.5	3.5	104	0.3	3.47	4.81	0.68	21	128.9	1.9	158	0.6	2.63	87.80	11.36
2	85.1	1.3	223	0.5	4.46	10.70	1.30	22	157.5	2.4	74	0.3	2.47	145.36	22.48
3	195.2	2.9	182	0.5	3.64	5.83	0.74	23	142.5	2.1	189	0.5	3.78	98.37	12.32
4	145.3	2.2	90	0.3	3.00	15.66	2.30	24	163.2	2.4	150	0.5	3.00	87.35	11.41
5	95.5	1.4	120	0.3	4.00	27.78	3.80	25	224.8	3.4	133	0.5	2.66	65.54	8.77
6	218.2	3.3	123	0.4	3.08	19.55	2.66	26	72.4	1.1	124	0.5	2.48	216.51	29.42
7	174.0	2.6	84	0.2	4.20	61.89	9.24	27	166.9	2.5	165	0.5	3.30	96.16	12.34
8	381.4	5.7	117	0.3	3.90	20.87	2.87	28	182.9	2.7	133	0.5	2.66	90.27	12.08
9	108.2	1.6	126	0.4	3.15	65.48	8.87	29	558.2	8.4	141	0.5	2.82	30.13	3.98
10	109.1	1.6	153	0.5	3.06	60.27	7.84	30	216.3	3.2	140	0.4	3.50	103.16	13.66
11	88.4	1.3	114	0.3	3.80	135.98	18.83	31	120.9	1.8	274	0.5	5.48	150.89	17.89
12	124.6	1.9	99	0.3	3.30	99.76	14.28	32	110.5	1.7	142	0.4	3.55	212.88	28.12
13	83.7	1.3	158	0.5	3.16	102.59	13.27	33	133.6	2.0	156	0.5	3.12	146.71	19.02
14	42.3	0.6	232	0.5	4.64	216.98	26.32	34	184.8	2.8	212	0.5	4.24	107.57	13.23
15	61.1	0.9	193	0.4	4.83	192.72	24.06	35	238.4	3.6	144	0.4	3.60	105.43	13.88
16	127.9	1.9	49	0.2	2.45	188.66	33.11	36	163.7	2.5	95	0.4	2.38	154.73	22.38
17	190.9	2.9	246	0.6	4.10	43.60	5.24	37	239.8	3.6	95	0.3	3.17	153.30	22.18
18	166.0	2.5	270	0.6	4.50	54.66	6.49	38	279.8	4.2	140	0.4	3.50	103.98	13.77
19	98.3	1.5	159	0.3	5.30	197.81	25.55	39	109.1	1.6	173	0.6	2.88	178.46	22.70
20	140.1	2.1	241	0.5	4.82	88.79	10.71	40	87.9	1.3	163	0.5	3.26	276.35	35.54

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE F – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra Apodi.

Identificado	Razões Isotópicas									Idades (Ma)							
	U (ppm)	Th/U	$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	2s abs	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	2s abs	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$	2s abs	% conc
1	236.5	2.024	10.6	0.130	0.068	0.002	0.708	0.013	645	27	581	13	875	105	655	28	90
2	85.1	1.877	10.9	0.136	0.060	0.002	0.581	0.011	576	27	568	13	609	124	568	25	99
3	195.2	0.951	10.4	0.116	0.059	0.001	0.297	0.005	585	20	590	12	566	85	596	24	101
4	145.3	1.482	11.0	0.126	0.061	0.001	0.446	0.008	576	22	562	12	634	95	546	22	98
5	95.5	0.469	2.6	0.028	0.140	0.002	0.134	0.002	2177	30	2124	38	2229	46	2144	82	98
6	218.2	0.756	2.5	0.026	0.138	0.002	0.217	0.003	2170	28	2135	37	2204	42	2154	75	98
7	174.0	0.445	2.6	0.028	0.141	0.002	0.126	0.002	2164	29	2083	37	2242	43	2072	76	96
8	381.4	0.291	3.7	0.040	0.129	0.002	0.092	0.002	1793	29	1552	29	2086	48	1675	69	87
9	108.2	0.283	2.7	0.030	0.135	0.002	0.081	0.002	2083	31	2002	37	2164	48	2000	84	96
10	109.1	0.643	2.6	0.028	0.141	0.002	0.184	0.003	2179	30	2120	38	2234	46	2134	80	97
11	88.4	0.498	6.4	0.074	0.069	0.002	0.160	0.004	929	30	941	20	902	89	995	47	101
12	124.6	0.795	2.6	0.028	0.137	0.002	0.232	0.004	2140	30	2091	38	2189	46	2140	78	98
13	83.7	1.096	2.5	0.027	0.143	0.002	0.306	0.005	2224	32	2182	40	2262	48	2150	80	98
14	42.3	0.563	2.6	0.031	0.141	0.002	0.167	0.003	2171	36	2103	42	2236	56	2184	96	97
15	61.1	0.651	2.9	0.033	0.138	0.002	0.189	0.004	2063	33	1930	37	2198	53	1951	80	94
16	127.9	0.535	9.6	0.110	0.084	0.002	0.240	0.005	801	25	638	14	1286	78	920	41	80
17	190.9	0.843	2.5	0.026	0.138	0.002	0.232	0.004	2183	29	2166	38	2198	43	2109	75	99
18	166.0	0.569	2.8	0.030	0.123	0.002	0.167	0.003	1979	29	1962	35	1997	46	2003	74	99
19	98.3	0.219	6.5	0.073	0.072	0.001	0.067	0.002	946	28	928	19	989	80	936	53	98
20	140.1	0.521	2.4	0.026	0.140	0.002	0.152	0.003	2226	30	2222	39	2229	45	2289	85	100
21	128.9	0.292	2.7	0.029	0.139	0.002	0.090	0.002	2120	30	2030	37	2209	46	2183	87	96
22	157.5	1.378	11.2	0.127	0.060	0.001	0.449	0.008	562	21	551	12	604	94	580	24	98
23	142.5	0.364	2.6	0.028	0.137	0.002	0.108	0.002	2136	30	2087	37	2183	45	2178	83	98
24	163.2	0.553	2.6	0.028	0.138	0.002	0.163	0.003	2141	29	2079	37	2202	44	2153	79	97
25	224.8	0.680	2.2	0.023	0.172	0.002	0.193	0.003	2502	29	2406	41	2580	40	2446	86	96
26	72.4	0.572	10.6	0.135	0.057	0.002	0.182	0.005	562	30	580	14	489	142	596	34	103
27	166.9	0.642	2.0	0.022	0.173	0.002	0.189	0.003	2577	31	2562	44	2588	42	2705	99	99
28	182.9	0.650	6.3	0.068	0.072	0.001	0.200	0.004	960	24	944	18	996	65	956	38	98
29	558.2	0.524	2.3	0.023	0.143	0.002	0.149	0.002	2302	28	2348	39	2261	41	2382	83	102
30	216.3	0.607	2.5	0.026	0.141	0.002	0.180	0.003	2193	29	2143	37	2240	43	2235	81	98
31	120.9	0.519	6.4	0.072	0.073	0.001	0.172	0.004	964	27	940	19	1018	77	1027	46	98

32	110.5	0.694	10.8	0.126	0.060	0.001	0.208	0.005	576	23	569	12	605	104	552	26	99
33	133.6	0.441	2.6	0.027	0.137	0.002	0.130	0.002	2158	30	2122	38	2192	45	2197	84	98
34	184.8	0.587	2.6	0.027	0.140	0.002	0.170	0.003	2175	29	2121	37	2226	44	2156	79	98
35	238.4	0.678	9.8	0.106	0.064	0.001	0.219	0.004	650	20	627	13	733	76	657	27	96
36	163.7	0.521	2.6	0.027	0.137	0.002	0.152	0.003	2143	29	2102	37	2183	44	2156	80	98
37	239.8	0.550	2.5	0.026	0.137	0.002	0.167	0.003	2169	29	2151	37	2186	44	2294	84	99
38	279.8	0.397	2.9	0.030	0.136	0.002	0.117	0.002	2052	28	1929	34	2177	43	1974	73	94
39	109.1	0.603	10.6	0.123	0.065	0.002	0.210	0.005	623	24	583	13	772	98	654	31	94
40	87.9	0.631	10.9	0.132	0.062	0.002	0.203	0.005	590	26	566	13	687	115	586	30	96

%conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

AÇU

APÊNDICE G - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra Açu

Grão (Matriz)	N _s	Área	ρ _s	U(ppm)	e.[U]	Idade (Ma)	e.[I]	Grão (Matriz)	N _s	Área	ρ _s	U(ppm)	e.[U]	Idade (Ma)	e.[I]
5	154	5,00E-06	30,80	93,68	1,41	424.01	55.11	54	230	6,00E-06	38,33	201,71	3,03	248.47	30.17
6	183	5,00E-06	36,60	402,51	6,04	120.08	15.13	55	226	5,00E-06	45,20	191,34	2,87	307.44	37.43
10	187	5,00E-06	37,40	110,44	1,66	436.30	54.75	56	197	5,00E-06	39,40	82,72	1,24	605.54	75.33
12	181	5,00E-06	36,20	69,68	1,05	657.80	83.01	57	208	5,00E-06	41,60	96,65	1,45	549.64	67.78
14	188	5,00E-06	37,60	133,18	2,00	365.77	45.86	58	220	5,00E-06	44,00	285,19	4,28	202.45	24.75
20	187	4,00E-06	46,75	409,04	6,14	150.58	18.90	59	221	6,00E-06	36,83	140,78	2,11	339.66	41.50
21	148	5,00E-06	29,60	269,75	4,05	144.64	18.94	62	199	5,00E-06	39,80	354,51	5,32	147.94	18.37
22	168	5,00E-06	33,60	203,25	3,05	216.68	27.71	68	111	4,00E-06	27,75	53,76	0,81	653.71	91.07
23	205	6,00E-06	34,17	127,38	1,91	347.98	43.01	70	145	4,00E-06	36,25	82,82	1,24	558.54	73.46
25	235	6,00E-06	39,17	198,70	2,98	257.53	31.18	71	159	4,00E-06	39,75	132,62	1,99	387.64	50.08
26	207	5,00E-06	41,40	192,30	2,88	280.78	34.65	77	214	5,00E-06	42,80	221,81	3,33	252.21	30.96
30	190	4,00E-06	47,50	213,87	3,21	289.46	36.23	83	296	5,00E-06	59,20	416,81	6,25	186.60	21.90
32	216	5,00E-06	43,20	87,67	1,32	625.48	76.68	85	239	5,00E-06	47,80	100,01	1,50	607.58	73.37
34	217	5,00E-06	43,40	144,26	2,16	389.04	47.66	90	286	5,00E-06	57,20	239,98	3,60	310.14	36.56
40	171	5,00E-06	34,20	297,79	4,47	151.30	19.29	91	239	4,00E-06	59,75	226,76	3,40	342.00	41.30
42	222	6,00E-06	37,00	94,01	1,41	504.38	61.58	93	167	3,00E-06	55,67	257,19	3,86	282.25	36.13
43	211	6,00E-06	35,17	161,28	2,42	284.30	34.98	98	186	4,00E-06	46,50	240,22	3,60	253.00	31.78
44	243	6,00E-06	40,50	189,86	2,85	278.25	33.52	101	226	4,00E-06	56,50	241,52	3,62	304.53	37.08
48	204	5,00E-06	40,80	207,94	3,12	256.38	31.71	104	169	3,00E-06	56,33	335,62	5,03	219.94	28.10
51	147	4,00E-06	36,75	197,39	2,96	243.51	31.94	105	197	0,000005	39,40	194,95595	2,92	263.92	32.83

ρ_s = Densidade superficial de traços espontâneos (10⁶ cm⁻²); N_s = número de traços contados para determinar ρ_s; A - área total de contagem do grão em cm²; e.[U] – erro associado à quantidade de urânio em partes por milhão; e.[I] – erro associado à idade.

APÊNDICE H – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra AÇU.

Grão (Matriz)	Sequência	Razões Isotópicas					Idades (Ma)							
		<i>R.86</i>	<i>e[R.86]</i>	<i>R..76</i>	<i>e.[R.76]</i>	<i>t.75</i>	<i>e[t.75]</i>	<i>t.86</i>	<i>e[t.86]</i>	<i>t.76</i>	<i>e[t.76]</i>	<i>t.conc</i>	<i>e[t.conc]</i>	<i>%.conc</i>
5	1	3.393488	0.050902	0.107578	0.001614	1706.5	35.06	1664.88	44.02	1757.97	54.88	1700.02	35.72	94.56
6	2	5.184394	0.077766	0.142757	0.002141	1591.68	34.09	1136.99	31.27	2260.14	51.76	1025.44	36.23	33.88
10	3	2.840916	0.042614	0.130778	0.001962	2024.59	37.22	1944.14	50.35	2107.65	52.65	2019.25	38.81	91.93
12	4	3.443507	0.051653	0.170181	0.002553	2087.16	37.57	1643.54	43.52	2558.67	50.21	1714.76	62.23	56.45
14	5	3.355841	0.050338	0.141915	0.002129	1950.61	36.77	1681.32	44.4	2249.93	51.83	1848.27	47.02	71.07
20	6	3.181392	0.047721	0.148363	0.002225	2035.98	37.28	1761.97	46.25	2326.37	51.39	1948.99	47.5	72.39
21	7	3.448591	0.051729	0.120496	0.001807	1787.6	35.67	1641.4	43.47	1962.78	53.51	1750.12	39.51	82.17
22	8	3.190629	0.047859	0.138271	0.002074	1971.86	36.9	1757.5	46.15	2204.88	52.08	1917.88	43.59	77.42
23	9	14.04658	0.210699	0.066941	0.001004	512.65	17.08	443.33	12.85	835	62.5	442.89	13.25	38.72
25	10	12.17498	0.182625	0.062982	0.000945	546.49	17.93	508.86	14.68	706.67	63.83	513.93	14.85	67.45
26	11	2.809615	0.042144	0.216909	0.003254	2492.19	39.38	1962.81	50.76	2957.16	48.41	2150.55	84.95	59.58
30	12	13.02453	0.195368	0.104076	0.001561	753.97	22.58	476.86	13.79	1697.22	55.28	406.51	13.62	-12.26
32	13	2.933632	0.044004	0.13664	0.00205	2034.89	37.28	1890.87	49.16	2184.26	52.21	2017.36	40.71	85.60
34	14	3.823654	0.057355	0.168218	0.002523	1984.97	36.98	1497.66	40.09	2539.24	50.3	1442.02	53.95	48.40
40	15	14.05729	0.210859	0.057584	0.000864	454.49	15.55	443	12.84	512.98	65.93	445.05	12.76	85.36
42	16	3.573504	0.053603	0.126232	0.001893	1796.79	35.73	1590.54	42.29	2045.35	53	1721.84	42.3	74.98
43	17	3.370878	0.050563	0.137467	0.002062	1919.22	36.57	1674.72	44.25	2194.75	52.13	1833.76	45.22	73.12
44	18	3.225639	0.048385	0.131319	0.00197	1917.74	36.56	1740.79	45.77	2114.89	52.6	1877.74	41.56	80.59
48	19	3.612764	0.054191	0.13839	0.002076	1865.51	36.22	1575.21	41.93	2206.38	52.07	1714.79	48.02	66.62
51	20	3.149603	0.047244	0.166386	0.002496	2146.43	37.88	1777.51	46.6	2520.86	50.4	1977.3	56.54	65.41
54	21	13.08668	0.1963	0.059906	0.000899	496.64	16.67	474.68	13.73	599.21	64.99	478.24	13.74	76.81
55	22	2.948052	0.044221	0.152404	0.002286	2127.14	37.78	1882.85	48.98	2372.31	51.16	2078.65	45.42	76.99
56	23	2.992874	0.044893	0.133205	0.001998	1995.09	37.04	1858.35	48.43	2139.86	52.45	1977.04	40.31	85.92
57	24	3.355634	0.050335	0.139092	0.002086	1933.27	36.66	1681.41	44.4	2215.15	52.01	1844.12	45.75	72.60
58	25	3.022764	0.045341	0.142186	0.002133	2043.56	37.32	1842.37	48.07	2253.22	51.81	2005.95	43.08	79.94
59	26	2.975906	0.044639	0.184062	0.002761	2288.5	38.56	1867.55	48.64	2689.07	49.58	2094.34	62.96	63.94
62	27	3.081444	0.046222	0.134351	0.002015	1977.13	36.93	1811.78	47.38	2154.82	52.36	1948.14	41.3	82.70
68	28	2.883647	0.043255	0.12819	0.001923	1994.04	37.04	1919.22	49.8	2072.51	52.85	1988.59	38.52	92.32
70	29	3.059847	0.045898	0.127995	0.00192	1941.17	36.71	1822.92	47.64	2069.82	52.87	1925.01	39.45	87.31
71	30	22.69825	0.340474	0.09681	0.001452	469.47	15.95	277.93	8.16	1562.7	56.25	232.25	7.74	-39.60

77	31	6.919841	0.103798	0.084105	0.001262	999.11	26.98	870.13	24.42	1294.11	58.37	892.68	25.97	60.82
83	32	3.280372	0.049206	0.199032	0.002985	2271.06	38.47	1715.28	45.18	2817.54	48.99	1652.86	66.73	51.37
85	33	3.203893	0.048058	0.125925	0.001889	1887.51	36.37	1751.13	46	2041.05	53.04	1862.24	39.78	84.71
90	34	3.272984	0.049095	0.133333	0.002	1918.3	36.57	1718.68	45.26	2141.54	52.44	1865.9	42.64	78.09
91	35	3.14499	0.047175	0.179067	0.002686	2213.61	38.21	1779.79	46.66	2643.5	49.8	1945.98	65.27	60.95
93	36	3.598187	0.053973	0.159445	0.002392	1991.26	37.02	1580.87	42.06	2449.02	50.76	1656.11	57.66	56.91
98	37	35.4082	0.531123	0.456252	0.006844	1036.66	27.56	179.54	5.31	4105.05	44.57	100.56	4.03	-83.24
101	38	3.16317	0.047448	0.150685	0.00226	2054.7	37.38	1770.84	46.45	2352.95	51.26	1962.94	48.24	71.77
104	39	3.023393	0.045351	0.140219	0.002103	2031.13	37.25	1842.04	48.07	2229.14	51.93	1997.64	42.48	80.98
105	40	2.119346	0.03179	0.07406	0.001111	1787.7	35.67	2491.64	62	1042.2	60.54	1677.95	33.32	182.03

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

PROVÍNCIA BORBOREMA (Parâmetros de U-Pb e MTF-LA)

São José do Campestre (DSJC)
Serrinha-Jundiá (FT-06)

APÊNDICE I - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra FT06

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	105.32	361	2.40	1.50	319.02	66.67	19	128.4	212	1.60	1.33	232.09	49.57
2	110.87	56	0.8	0.7	142.99	34.66	20	124.79	261	1.40	1.86	333.34	70.50
3	144.34	319	2.00	1.60	248.21	52.08	21	82.97	336	2.40	1.40	375.25	78.60
4	67.00	290	2.00	1.45	477.44	100.54	22	140.23	336	2.40	1.40	224.66	47.06
5	213.96	343	2.00	1.72	180.99	37.88	23	115.27	289	2.40	1.20	234.89	49.47
6	104.7	303	2.00	1.52	323.12	67.93	24	64.07	50	0.8	0.625	219.60	54.19
7	171.62	372	2.40	1.55	203.57	42.50	25	113.71	391	2.40	1.63	320.01	66.71
8	83.46	389	2.40	1.62	430.08	89.67	26	263.91	74	0.8	0.925	79.77	18.61
9	443.99	301	2.00	1.51	77.16	16.23	27	171.65	293	1.50	1.95	255.47	53.78
10	91.85	276	2.00	1.38	335.19	70.73	28	139.95	217	1.60	1.36	218.19	46.55
11	38.59	282	2.40	1.18	662.11	139.59	29	184.17	360	2.40	1.50	183.87	38.43
12	194.01	334	2.00	1.67	194.17	40.68	30	61.75	94	1.20	0.783	284.16	64.51
13	137.08	418	2.40	1.74	284.58	59.21	31	79.38	340	2.40	1.42	396.27	82.97
14	137.43	316	2.00	1.58	258.04	54.17	32	107	386	2.40	1.61	335.34	69.93
15	98.95	236	1.60	1.48	332.65	70.67	33	104.18	183	1.60	1.14	246.64	53.11
16	109.68	228	1.60	1.43	290.87	61.90	34	84.24	357	2.40	1.49	392.17	81.98
17	178.39	326	2.40	1.36	172.05	36.08	35	191.01	197	1.60	1.23	145.95	31.29
18	143.47	332	2.00	1.66	259.66	54.41							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE J – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra *FT06*

Razões Isotópicas								Idades (Ma)						
Seq	Uppm	R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	105.3221	3.541897	0.064732	0.100064	0.001851	895.9561	27.02986	1612	41	1603	51	1624	67	101
2	110.8687	3.466052	0.062019	0.109097	0.002074	613.1361	24.92135	1701	42	1634	51	1784	68	104

3	144.3433	2.503643	0.049092	0.120791	0.003783	443.6807	22.95231	2066	64	2166	71	1967	109	95
4	67.00395	4.700333	0.165708	0.137297	0.0035	2178.246	56.44867	1639	69	1243	78	2193	87	132
5	213.9633	2.871643	0.068734	0.133285	0.001854	41.04869	3.36367	2032	48	1926	78	2141	48	106
6	104.7014	2.806845	0.083591	0.109161	0.001925	805.5107	27.71305	1878	58	1964	99	1785	63	96
7	171.6209	2.813417	0.075466	0.125845	0.002607	242.8599	15.6665	1999	58	1961	89	2040	72	102
8	83.45507	2.905627	0.042467	0.128645	0.002474	160.0745	11.3724	1991	41	1907	47	2079	66	104
9	443.9946	2.655406	-	0	-	-	-	0	NA	2060	NA	10000	NA	0
10	91.85149	3.747296	0.110103	0.108031	0.001993	585.8972	24.19479	1629	55	1525	78	1766	66	107
11	38.58768	2.811494	0.053347	0.108395	0.00256	838.8685	27.91127	1871	51	1962	63	1772	85	95
12	194.0088	3.099552	0.049888	0.116323	0.00167	475.5493	23.09145	1848	36	1803	50	1900	51	102
13	137.0802	2.931442	0.043641	0.10867	0.00196	777.9873	27.32129	1838	39	1892	48	1776	65	97
14	137.4315	2.864152	0.056802	0.130452	0.00204	114.6242	8.60304	2015	43	1931	65	2103	54	104
15	98.9446	2.836333	0.062493	0.109457	0.002259	780.7332	27.50555	1872	51	1947	73	1790	74	96
16	109.6779	3.53711	0.082291	0.098494	0.001724	968.7629	27.40447	1601	46	1605	65	1595	64	100
17	178.3945	41.08115	0.301205	0.060453	0.002218	542.3791	17.55606	569	39	557	28	619	155	102
18	143.4695	2.725089	0.058935	0.123297	0.002331	326.6114	19.14206	2009	49	2015	73	2004	66	100
19	128.3979	2.826795	0.049784	0.109927	0.001881	764.343	27.40201	1878	41	1953	58	1797	61	96
20	124.7893	5.846102	0.233114	0.087934	0.0018	674.1857	22.55491	1140	60	1018	74	1380	77	112
21	82.97278	3.357444	0.097452	0.134718	0.002847	3.93585	0.33723	1905	61	1681	84	2160	72	113
22	140.2299	2.944019	0.055343	0.114878	0.002075	550.2132	24.70949	1881	44	1885	60	1877	64	100
23	115.2715	3.035924	0.099911	0.12525	0.002603	239.7085	15.43562	1929	66	1835	103	2032	72	105
24	64.07064	40.91408	0.514987	0.07273	0.003631	449.0553	16.2174	662	65	565	50	1006	199	117
25	113.7136	3.120308	0.050721	0.109425	0.002203	688.2496	26.26078	1791	43	1792	50	1789	72	100
26	263.9113	3.189494	0.05169	0.116025	0.001254	468.7647	22.8409	1822	32	1758	49	1895	38	104
27	171.6489	5.270331	0.120611	0.101442	0.001543	507.8536	21.36185	1315	40	1120	46	1650	55	117
28	139.9496	2.697481	0.098411	0.13493	0.00209	2162.297	38.61904	2098	69	2033	125	2162	53	103
29	184.1674	4.408212	0.20185	0.112062	0.001557	404.1478	20.22952	1528	74	1318	107	1832	49	116
30	61.74714	2.86097	0.049905	0.115983	0.002346	532.3687	24.50535	1914	45	1932	57	1894	71	99
31	79.37684	3.053504	0.05775	0.111765	0.001924	626.5002	25.67455	1827	42	1826	59	1827	61	100
32	106.9981	3.128609	0.052723	0.112871	0.001887	573.3015	24.83993	1815	39	1788	52	1845	59	102
33	104.1767	3.89025	0.142781	0.113868	0.002726	423.6394	21.1373	1641	70	1475	95	1861	85	111
34	84.24415	2.990818	0.070037	0.111448	0.002223	653.8348	26.10652	1842	51	1859	74	1822	71	99
35	191.0087	3.627834	0.113969	0.102854	0.001112	764.2219	26.10949	1615	53	1569	86	1675	39	103

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Monte das Gameleiras (CEBP-321)

APÊNDICE K - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP321

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	123.49	317	2.00	1.59	287.42	60.33	184.54	352	1.60	2.20	267.37	55.92	55.92
2	176.79	316	1.60	1.98	250.89	52.66	189.56	157	0.8	1.96	232.83	50.62	50.62
3	90.79	327	2.00	1.64	399.73	83.81	199.05	260	1.20	2.17	244.57	51.73	51.73
4	206.32	154	0.6	2.57	278.77	60.69	165.62	182	0.8	2.28	307.13	66.15	66.15
5	167.66	322	1.60	2.01	269.18	56.47	204.98	287	1.20	2.39	261.80	55.15	55.15
6	91.00	130	4.67	2.78	665.27	146.65	145.70	298	1.60	1.86	286.28	60.23	60.23
7	101.72	181	1.00	1.81	395.14	85.14	163.84	475	2.00	2.38	323.70	67.13	67.13
8	116.68	163	1.20	1.36	261.23	56.65	138.31	208	1.20	1.73	280.79	60.03	60.03
9	218.10	404	2.00	2.02	208.68	43.46	106.52	319	1.60	1.99	414.96	87.08	87.08
10	148.17	211	1.00	2.11	318.12	67.96	147.24	334	1.60	2.09	316.76	66.36	66.36
11	210.97	232	1.20	1.93	206.51	43.91	165.34	367	2.00	1.84	249.28	52.07	52.07
12	148.53	410	2.00	2.05	308.55	64.23	185.28	240	1.20	2.00	242.58	51.50	51.50
13	165.10	380	1.60	2.38	321.28	67.03	134.29	316	1.60	1.98	328.30	68.91	68.91
14	162.92	354	1.60	2.21	303.72	63.51	212.91	166	0.8	2.08	219.40	47.53	47.53
15	53.13	405	2.00	2.03	818.54	170.46							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE L – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP321

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%.conc
1	123.49	10.23257	0.315851	0.079263	0.005428	467.6	17.7	738	77	601	35	1178	265	123
2	176.79	2.770016	0.115668	0.126512	0.002132	690.5	30.2	2018	77	1987	140	2049	58	102
3	90.79	10.59591	0.301078	0.055327	0.002883	609.6	18.8	550	49	581	31	424	228	95
4	206.32	10.61723	0.267501	0.065095	0.002368	541.6	17.9	622	40	580	27	776	150	107
5	167.66	11.69455	0.556677	0.05554	0.002828	543.8	17.3	511	55	529	47	433	222	97
6	91.00	11.0838	0.424037	0.061546	0.00374	538.9	17.6	577	62	557	40	657	255	104
7	101.72	10.5916	0.220887	0.066961	0.002339	530.6	17.8	636	38	582	23	836	143	109
8	116.68	9.782898	0.517534	0.059917	0.002951	633.3	19.5	621	66	627	62	600	209	99
9	218.10	9.879759	0.192883	0.096503	0.002753	368.9	17.1	866	39	622	23	1557	105	139
10	148.17	10.26434	0.207033	0.061723	0.002987	586.4	18.7	613	47	599	23	664	203	102

11	210.97	10.30407	0.308725	0.067465	0.003197	543.7	18.2	653	53	597	33	851	193	109
12	148.53	10.31593	0.260217	0.060703	0.00208	590.2	18.7	603	38	596	28	628	145	101
13	165.10	10.50664	0.265522	0.053482	0.003226	628.7	19.2	540	54	586	28	348	267	92
14	162.92	10.4305	0.410115	0.053479	0.003058	634	19.3	543	57	590	43	348	253	92
15	53.13	11.27056	0.378264	0.054005	0.005836	576.7	18	515	90	548	35	370	477	94
16	184.54	10.86606	0.266467	0.055721	0.002766	589.7	18.4	543	46	568	26	440	216	96
17	189.56	9.909048	0.219521	0.060765	0.002398	617.6	19.3	622	41	620	26	630	167	100
18	199.05	9.977321	0.206958	0.054917	0.002422	656.8	19.8	573	42	616	24	408	193	93
19	165.62	9.928076	0.405117	0.052078	0.002665	682.7	20.3	552	55	619	47	288	229	89
20	204.98	11.49717	0.195104	0.053225	0.002139	568.8	17.8	501	34	538	17	337	178	93
21	145.70	6.160689	0.262931	0.093965	0.003163	650.7	23.5	1149	73	970	75	1507	125	118
22	163.84	10.80772	0.254721	0.056796	0.002404	586	18.4	553	40	570	25	483	183	97
23	138.31	9.716789	0.392811	0.060293	0.003589	635.4	19.6	627	66	631	48	613	252	99
24	106.52	3.263809	0.112714	0.112695	0.002883	919.1	30.1	1778	71	1723	102	1843	91	103
25	147.24	10.53492	0.22516	0.056552	0.003376	605.1	18.8	562	54	585	23	473	259	96
26	165.34	10.28012	0.25805	0.061952	0.003728	583.7	18.6	614	59	598	28	671	252	103
27	185.28	10.33035	0.411572	0.076052	0.003898	484.1	17.7	711	65	596	44	1096	201	119
28	134.29	12.49465	0.291439	0.059654	0.002616	482.5	16.2	513	39	496	22	590	186	103
29	212.91	11.97258	0.340674	0.084589	0.007148	365.5	15.5	690	88	517	28	1305	322	133

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Barcelona (CEBP-35)

APÊNDICE M - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP-35

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	205.76	126	0.8	1.58	172.95	38.22	6	210.18	444	2.00	2.22	237.45	49.33
2	436.37	321	2.00	1.61	83.68	17.56	7	249.40	422	2.00	2.11	190.89	39.71
3	172.19	385	2.00	1.93	251.06	52.36	8	275.27	311	2.00	1.56	128.08	26.90
4	190.90	224	1.20	1.87	220.12	46.88	9	181.87	310	1.60	1.94	239.46	50.30
5	372.11	407	2.00	2.04	124.03	25.83							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área em cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE N – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP35

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	205.76	10.63835	0.105849	0.045914	0.002166	474	36	579	11	0	224	575	11	0
2	172.19	10.25661	0.193478	0.053412	0.003109	549	51	600	21	345	258	597	21	174
3	190.90	7.648538	0.254516	0.066005	0.006799	796	117	792	49	806	423	792	48	98
4	372.11	9.108737	0.221208	0.052804	0.002557	596	48	671	30	319	216	658	29	210
5	210.18	12.4207	0.10886	0.060403	0.001723	521	24	499	8	617	121	500	8	81
6	249.40	11.57791	0.128265	0.054396	0.001473	507	23	534	11	386	119	532	11	138
7	275.27	8.818866	0.126047	0.056124	0.002083	639	37	692	18	456	161	688	18	152
8	181.87	10.95566	0.12167	0.048191	0.001948	481	31	563	12	108	187	558	12	523
9	279.52	12.06663	0.125129	0.059434	0.001876	526	27	513	10	582	134	514	10	88
10	183.11	9.985836	0.225506	0.098219	0.002298	870	37	615	26	1590	86	565	27	39
11	484.14	11.29526	0.111563	0.04994	0.001324	483	21	547	10	191	121	541	10	286
12	348.87	11.26462	0.084072	0.07689	0.001392	673	19	548	8	1117	71	547	8	49
13	215.40	10.95518	0.137015	0.052679	0.002041	516	32	563	13	314	173	561	13	179
14	105.55	12.69087	0.893266	0.057119	0.045598	490	611	489	65	495	3448	489	65	99

R.86 = razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; R..76 = razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb. t.75: Idades ²⁰⁷Pb/²³⁵U (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²³⁵U; t.86: Idades ²⁰⁶Pb/²³⁸U (Ma); e[t.86]: Erro padrão da idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U; t.76: Idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Rio Piranhas-Seridó (DRPS)
Acari - Granito (CEBP-317)

APÊNDICE O - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP317

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	62.47	69	0.6	1.15	408.38	96.11	13	255.59	314	1.60	1.96	173.48	36.42
2	1144.49	168	0.6	2.80	55.78	12.07	14	195.42	342	1.60	2.14	245.74	51.44
3	156.26	207	1.40	1.48	213.12	45.58	15	148.06	249	1.20	2.08	313.20	66.38
4	95.90	52	0.8	0.65	153.38	37.61	16	142.68	246	1.20	2.05	320.90	68.05
5	220.76	270	1.60	1.69	172.71	36.48	17	480.86	382	1.60	2.39	112.71	23.51
6	201.75	310	2.00	1.55	173.58	36.46	18	250.92	253	1.20	2.11	189.60	40.15
7	208.38	423	2.00	2.12	228.33	47.49	19	237.21	340	1.60	2.13	201.95	42.29
8	208.85	326	1.90	1.72	185.44	38.88	20	109.57	211	1.20	1.76	357.39	76.35
9	150.49	223	1.60	1.39	208.67	44.45	21	358.90	307	1.60	1.92	121.28	25.49
10	158.61	212	1.20	1.77	250.16	53.43	22	253.58	299	1.60	1.87	166.59	35.04
11	156.33	426	2.00	2.13	304.70	63.36	23	186.92	151	1.00	1.51	182.39	39.76
12	193.04	253	1.60	1.58	184.90	39.16							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE P – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP317

Seq	Uppm	Razões Isotópicas				Idades (Ma)								
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	62.47	8.896137	0.214315	0.062233	0.00354	685	60	687	31	681	238	687	30	101
2	1144.49	17.85178	1.070161	0.073989	0.002579	459	50	351	40	1040	138	301	42	34
3	156.26	10.7246	0.253153	0.058344	0.002535	568	42	575	25	542	186	574	25	106
4	95.90	9.795119	0.283112	0.055321	0.002568	585	48	627	34	424	203	618	33	148
5	220.76	10.41634	0.197967	0.058646	0.002001	583	34	591	21	553	146	590	21	107
6	201.75	9.674641	0.519508	0.115668	0.006138	989	93	634	64	1890	187	536	64	34
7	208.38	11.62936	0.276502	0.053002	0.002982	495	47	532	24	328	250	529	23	162
8	208.85	9.85953	0.187596	0.052534	0.001719	559	32	623	22	308	146	610	21	202
9	150.49	9.400118	1.38297	0.053475	0.001864	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	158.61	11.16883	0.247322	0.052972	0.002329	511	39	553	23	327	196	548	22	169
11	156.33	10.90025	0.258284	0.055878	0.002597	543	43	566	25	447	202	563	25	127
12	193.04	10.20129	0.24208	0.055961	0.00154	572	31	603	27	450	120	593	25	134

13	255.59	10.25021	0.439294	0.053821	0.001661	553	44	600	48	363	136	564	41	165
14	195.42	10.50354	0.235379	0.057221	0.002024	569	36	586	25	499	153	584	24	117
15	148.06	11.70018	0.329379	0.054461	0.005956	503	88	529	28	389	481	528	28	136
16	142.68	9.499538	0.464238	0.080729	0.011329	787	160	645	59	1214	541	645	59	53
17	480.86	10.34156	0.298153	0.062516	0.001698	615	36	595	32	691	114	601	32	86
18	250.92	10.83975	0.260172	0.059106	0.002828	569	46	569	26	570	204	569	25	100
19	237.21	10.38427	0.186809	0.059191	0.001622	589	29	593	20	573	117	592	20	103
20	109.57	10.38076	0.214667	0.072035	0.002918	681	44	593	23	986	162	594	23	60
21	358.90	9.931877	0.263018	0.061056	0.001527	623	33	618	31	640	105	620	30	97
22	253.58	10.67627	0.229404	0.065019	0.001727	619	31	577	23	774	110	582	23	75
23	186.92	9.324082	0.193136	0.055878	0.001626	611	32	657	25	447	127	645	24	147

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Acari - Diorito (CEBP-314)

APÊNDICE Q - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP314

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	108.27	363	2.00	1.82	372.88	77.91	7	170.09	305	2.00	1.53	202.11	42.48
2	145.78	358	2.00	1.79	275.22	57.53	8	160.34	378	2.00	1.89	264.43	55.18
3	134.51	395	2.00	1.98	327.78	68.31	9	123.11	385	2.00	1.93	348.47	72.68
4	127.04	355	2.00	1.78	312.28	65.29	10	184.45	366	2.00	1.83	223.29	46.64
5	140.38	344	2.00	1.72	274.64	57.48	11	146.73	298	1.60	1.86	284.32	59.81
6	152.54	269	1.60	1.68	247.58	52.30	12	164.91	254	1.60	1.59	216.76	45.90

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE R – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP314

Razões Isotópicas							Idades (Ma)							
Seq	Uppm	R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	108.27	11.57641	0.18586	0.06017	0.004533	548.5	17.6	548	64	534	16	609	319	103
2	145.78	11.49892	0.30186	0.053901	0.002289	506	16.6	506	39	538	27	366	188	94
3	134.51	11.79039	0.242986	0.048487	0.002688	455.9	15.3	456	43	525	20	122	256	87
4	127.04	11.96195	0.191757	0.047141	0.002475	440.5	14.9	440	38	518	16	55	245	85
5	140.38	11.82698	0.223243	0.056696	0.002306	515	16.8	515	36	523	19	479	176	98
6	152.54	12.80339	0.336396	0.055823	0.002457	477.8	15.8	478	38	485	24	444	192	99
7	170.09	11.05503	0.324111	0.058402	0.002221	555.4	17.8	555	40	558	31	544	163	99
8	160.34	11.36194	0.175665	0.053455	0.002473	507.5	16.6	507	38	544	16	347	205	93
9	123.11	12.66688	0.206259	0.057704	0.002306	494.7	16.3	495	33	490	15	518	172	101
10	184.45	11.5929	0.177789	0.051939	0.001851	488.3	16.1	488	29	533	15	282	160	92
11	146.73	12.03286	0.247999	0.13655	0.006745	956	25.7	956	65	515	20	2183	168	186
12	164.91	11.11499	0.232854	0.074763	0.003519	666.1	20.3	666	49	555	22	1061	186	120

R.86 = razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; R..76 = razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb. t.75: Idades ²⁰⁷Pb/²³⁵U (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²³⁵U; t.86: Idades ²⁰⁶Pb/²³⁸U (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U; t.76: Idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t.conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Serra da Garganta (FT-02)

APÊNDICE S - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra FT02

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	234.04	112	0.8	1.40	135.55	30.26	15	114.18	370	2.00	1.85	360.74	75.33
2	572.29	238	1.20	1.98	78.88	16.75	16	214.11	365	1.40	2.61	272.98	57.03
3	233.28	380	1.60	2.38	229.03	47.78	17	190.69	391	1.90	2.06	242.52	50.56
4	210.63	124	0.8	1.55	166.35	36.81	18	191.57	431	2.00	2.16	252.59	52.51
5	131.14	452	2.00	2.26	383.04	79.53	19	178.76	383	1.90	2.02	253.19	52.81
6	206.34	149	0.7	2.13	232.00	50.62	20	461.63	246	1.20	2.05	100.90	21.40
7	207.15	143	0.8	1.79	194.63	42.59	21	132.06	236	1.20	1.97	332.32	70.60
8	1116.69	60	0.4	1.50	30.69	7.36	22	306.56	182	0.8	2.28	167.74	36.13
9	194.36	268	1.60	1.68	194.39	41.07	23	627.55	470	2.00	2.35	85.19	17.67
10	273.76	309	2.00	1.55	127.96	26.88	24	156.72	296	1.52	1.95	278.45	58.59
11	139.43	411	2.00	2.06	328.98	68.48	25	208.93	238	1.20	1.98	213.80	45.41
12	272.50	388	2.00	1.94	161.00	33.57	26	246.09	267	1.40	1.91	175.07	36.99
13	676.62	362	2.00	1.81	60.97	12.74	27	297.87	117	0.72	1.63	123.73	27.51
14	466.32	284	1.10	2.58	125.56	26.46							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área em cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE T – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra FT02

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%.conc
1	234.04	10.55838	0.155583	0.119167	0.007662	953	80	583	16	1943	225	578	16	30
2	572.29	11.00801	0.2732	0.054258	0.001065	526	25	561	26	381	86	540	24	147
3	233.28	10.53313	0.124703	0.055058	0.001295	551	22	585	13	414	103	581	13	141
4	210.63	10.13942	0.166184	0.071489	0.007542	689	105	606	19	971	422	606	19	62
5	131.14	9.742989	0.145401	0.064381	0.001896	657	31	630	18	753	122	632	18	84
6	206.34	10.4274	0.123325	0.055192	0.001474	556	25	590	13	419	117	587	13	141
7	207.15	10.08894	0.138201	0.051011	0.001726	537	30	609	16	240	153	601	15	254
8	1116.69	13.87404	0.561622	0.103533	0.003292	718	52	449	34	1688	115	342	33	27
9	194.36	10.62471	0.180095	0.069354	0.00389	652	55	580	18	908	226	580	18	64
10	273.76	10.14833	0.203481	0.048686	0.001235	515	26	606	23	132	117	569	20	459
11	139.43	10.84359	0.268792	0.071485	0.00244	656	40	569	26	970	136	570	27	59

12	272.50	10.59016	0.154989	0.061004	0.00185	593	30	582	16	638	128	582	16	91
13	676.62	13.49469	0.291253	0.079378	0.002771	603	37	461	19	1181	135	453	19	39
14	466.32	12.09671	0.613618	0.086002	0.003778	694	66	512	49	1337	166	469	51	38
15	114.18	9.173677	0.203799	0.069322	0.004721	725	73	667	28	907	275	668	28	74
16	214.11	12.70983	0.914822	0.061324	0.01266	518	174	488	66	650	869	489	66	75
17	190.69	10.68726	0.285138	0.067377	0.003727	635	57	577	29	849	225	578	29	68
18	191.57	9.615503	0.239237	0.05459	0.004835	587	80	638	30	394	389	635	29	162
19	178.76	10.20214	0.20039	0.056415	0.002134	575	37	603	22	468	164	600	22	129
20	461.63	18.94103	0.712764	0.077755	0.003596	455	43	332	24	1140	180	317	24	29
21	132.06	8.370465	0.207795	0.060075	0.003369	698	61	727	33	605	238	724	33	120
22	306.56	9.216782	1.329766	0.049499	0.003631	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	627.55	22.10376	0.880794	0.070879	0.001915	372	29	285	22	953	108	256	22	30
24	156.72	12.68512	0.249289	0.08083	0.003277	640	42	489	18	1216	156	484	18	40
25	208.93	10.23603	0.270133	0.058127	0.003986	587	64	601	30	534	294	600	29	113
26	246.09	9.512007	0.781809	0.061302	0.011546	645	192	644	99	649	793	644	98	99
27	297.87	13.20306	0.30206	0.068488	0.002568	548	36	471	20	882	152	470	21	53

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Catolé do Rocha (FT-04)

APÊNDICE U - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra FT04

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	91.70	402	2.40	1.68	405.29	84.42	21	135.90	383	2.00	1.92	314.86	65.68
2	48.49	254	2.40	1.06	481.39	101.93	22	70.56	351	2.00	1.76	545.77	114.15
3	64.75	395	2.40	1.65	557.30	116.14	23	156.04	405	2.00	2.03	290.54	60.51
4	87.59	332	2.40	1.38	351.87	73.74	24	151.74	491	2.40	2.05	301.59	62.49
5	97.98	436	2.40	1.82	411.18	85.46	25	91.85	396	2.00	1.98	475.66	99.12
6	91.09	414	2.40	1.73	419.69	87.35	26	104.41	461	2.40	1.92	408.12	84.70
7	156.21	261	1.20	2.18	311.21	65.82	27	63.78	337	2.40	1.40	485.42	101.67
8	156.49	125	0.8	1.56	224.68	49.68	28	53.63	332	2.40	1.38	565.21	118.44
9	140.46	447	2.40	1.86	296.71	61.63	29	103.92	295	1.60	1.84	394.02	82.92
10	58.77	290	2.00	1.45	541.63	114.06	30	45.41	289	2.40	1.20	580.31	122.22
11	78.97	392	2.40	1.63	457.05	95.27	31	64.86	420	2.40	1.75	589.99	122.74
12	160.28	182	1.20	1.52	213.14	45.91	32	219.09	369	2.00	1.85	190.02	39.68
13	150.52	508	2.40	2.12	314.23	65.06	33	95.43	319	2.00	1.60	371.82	78.02
14	74.73	340	2.40	1.42	420.10	87.96	34	166.32	394	2.00	1.97	265.70	55.38
15	72.94	345	2.00	1.73	520.04	108.83	35	107.00	552	2.40	2.30	474.34	98.03
16	199.22	352	1.85	1.90	215.09	44.98	36	114.93	193	1.60	1.21	235.97	50.66
17	189.04	328	1.60	2.05	243.67	51.08	37	92.20	422	2.40	1.76	422.54	87.90
18	48.44	288	2.40	1.20	543.71	114.53	38	104.46	411	2.00	2.06	435.47	90.65
19	106.29	407	2.40	1.70	355.40	74.00	39	104.13	238	1.60	1.49	319.10	67.77
20	52.19	261	1.60	1.63	678.71	143.55	40	159.83	373	2.00	1.87	261.83	54.66

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE V – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra FT04

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%.conc
1	91.70	11.28366	0.227182	0.060984	0.003749	565	55	547	21	638	259	548	21	86
2	48.49	11.32454	0.292657	0.046194	0.003268	453	54	545	26	7	334	536	26	8174
3	64.75	11.79876	0.243927	0.061434	0.002904	549	43	524	20	653	199	525	20	80
4	87.59	12.23563	0.204603	0.060835	0.002493	530	36	506	16	632	173	507	16	80
5	97.98	12.15293	0.263357	0.064278	0.002786	556	41	510	21	750	179	511	21	68
6	91.09	11.14604	0.181762	0.054009	0.002348	519	37	554	17	370	192	552	17	150
7	156.21	11.70377	0.349147	0.059657	0.002013	540	37	529	30	590	143	531	29	90

8	156.49	13.59849	0.303141	0.061429	0.002594	491	36	457	19	653	178	458	19	70
9	140.46	11.20335	0.208835	0.061143	0.002028	569	33	551	19	643	140	552	19	86
10	58.77	11.30504	0.265301	0.048178	0.003763	469	60	546	24	107	362	541	24	511
11	78.97	11.46769	0.230464	0.047194	0.003268	456	52	539	20	58	324	534	20	930
12	160.28	11.87181	0.186994	0.054504	0.001804	498	28	521	15	391	146	519	15	133
13	150.52	11.26187	0.238057	0.052804	0.002059	506	35	548	22	319	174	542	21	172
14	74.73	11.57947	0.199921	0.051038	0.00293	482	45	534	17	242	259	531	17	221
15	72.94	10.7476	0.228189	0.059015	0.002745	572	44	574	23	567	198	573	23	101
16	199.22	13.27368	0.550422	0.056222	0.001939	467	40	468	37	460	150	468	36	102
17	189.04	10.48488	0.175299	0.057735	0.001757	573	30	587	18	519	131	586	18	113
18	48.44	11.66118	0.267131	0.05451	0.004351	505	65	530	23	391	351	530	23	136
19	106.29	11.20691	0.21511	0.054426	0.00207	520	34	551	20	388	167	548	19	142
20	52.19	11.41126	0.340889	0.064022	0.003937	582	59	542	30	741	255	543	30	73
21	135.90	11.29014	0.181659	0.054162	0.002575	515	40	547	17	377	210	545	16	145
22	70.56	10.82408	0.190428	0.045236	0.003195	462	53	570	19	0	338	563	18	0
23	156.04	11.52473	0.210969	0.055695	0.002402	518	37	536	18	439	188	535	18	122
24	151.74	11.38593	0.170156	0.051165	0.001973	489	31	543	15	247	174	538	15	219
25	91.85	12.17946	0.282835	0.058326	0.003085	515	46	509	22	541	227	509	22	94
26	104.41	11.50184	0.26564	0.06587	0.003108	591	46	537	23	801	194	539	23	67
27	63.78	12.02726	0.212731	0.067177	0.003535	580	48	515	17	842	215	515	17	61
28	53.63	11.28451	0.236667	0.054238	0.003312	516	51	547	22	380	269	546	21	144
29	103.92	10.46723	0.146671	0.057255	0.002776	570	43	588	15	500	209	588	15	118
30	45.41	10.9111	0.28367	0.05208	0.003767	513	61	565	28	288	324	562	27	196
31	64.86	11.9246	0.259024	0.051012	0.00286	471	44	519	21	240	253	515	21	216
32	219.09	13.76206	0.321823	0.054126	0.001691	440	27	452	20	375	138	450	20	120
33	95.43	11.70409	0.246733	0.052077	0.002998	486	46	529	21	288	258	526	21	184
34	166.32	11.02044	0.206775	0.051837	0.001868	507	32	560	20	277	162	552	19	202
35	107.00	11.97966	0.230972	0.057309	0.002518	514	38	517	19	502	190	517	19	103
36	114.93	15.10813	0.628609	0.058992	0.005246	437	68	413	33	566	380	414	33	73
37	92.20	11.94242	0.207744	0.055015	0.002826	499	42	518	17	412	225	518	17	126
38	104.46	11.41593	0.194331	0.061939	0.002803	567	41	541	17	671	190	542	17	81
39	104.13	11.16166	0.168624	0.04762	0.0021	470	34	553	16	79	205	546	15	697
40	159.83	11.41887	0.181561	0.050249	0.001682	481	28	541	16	205	152	533	16	263

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Caraúbas (CEBP-112)

APÊNDICE W - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP112

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	326.54	299	2.00	1.50	104.00	21.88	8	214.88	292	1.60	1.83	191.62	40.34
2	98.61	89	0.8	1.11	253.32	57.84	9	62.27	322	2.00	1.61	566.45	118.83
3	64.99	214	2.00	1.07	366.42	78.22	10	119.13	187	1.60	1.17	220.84	47.49
4	102.56	436	2.00	2.18	469.28	97.53	11	73.36	102	0.8	1.28	386.20	86.96
5	496.19	225	1.20	1.88	85.96	18.30	12	480.53	261	2.00	1.31	61.89	13.09
6	151.88	149	1.20	1.24	184.55	40.27	13	120.10	157	0.8	1.96	363.76	79.09
7	560.73	450	2.00	2.25	91.24	18.95	14	219.62	398	1.60	2.49	254.30	52.98

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE X – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra *CEBP112*

Seq	Uppm	Razões Isotópicas					Idades (Ma)							
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	326.54	11.73871	0.306338	0.055164	0.001339	507	28	527	26	418	106	519	24	126
2	98.61	10.03254	0.317007	0.068576	0.002897	674	51	613	36	885	171	617	37	69
3	64.99	9.624967	0.443159	0.058128	0.002697	615	59	637	55	534	199	628	51	119
4	102.56	8.956919	0.265284	0.056464	0.002167	635	45	682	38	470	167	667	35	145
5	496.19	8.78671	0.180652	0.056344	0.001322	643	29	695	27	465	102	674	24	149
6	151.88	11.05194	0.335394	0.063868	0.002655	595	45	558	32	736	172	562	32	76
7	560.73	13.20517	0.177416	0.065877	0.001976	531	27	471	12	802	123	471	12	59
8	214.88	9.704087	0.28194	0.063676	0.001757	654	38	632	34	730	115	639	34	87
9	62.27	4.772819	0.161451	0.096713	0.002208	1354	60	1226	74	1561	84	1356	68	79
10	119.13	11.14324	0.233499	0.063091	0.002242	586	36	554	22	710	148	556	22	78
11	73.36	3.584915	0.118438	0.100693	0.003521	1608	76	1586	91	1636	127	1603	76	97
12	480.53	9.872195	0.125228	0.056258	0.001088	589	20	622	15	462	84	615	14	135
13	120.10	9.58205	0.208105	0.067626	0.002698	690	45	640	26	856	162	643	26	75
14	219.62	8.872033	0.261865	0.078136	0.002377	807	46	688	38	1149	118	695	40	60

R.86 = razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; R..76 = razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb. t.75: Idades ²⁰⁷Pb/²³⁵U (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²³⁵U; t.86: Idades ²⁰⁶Pb/²³⁸U (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U; t.76: Idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Umarizal (FT-03)

APÊNDICE Y - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra FT03

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	132.84	301	1.60	1.88	316.41	66.54	21	89.03	357	2.40	1.49	371.67	77.70
2	98.45	578	3.20	1.81	407.03	84.04	22	84.99	335	2.00	1.68	436.22	91.38
3	37.20	336	2.00	1.68	959.26	200.93	23	80.64	332	2.00	1.66	454.97	95.34
4	167.89	166	0.8	2.08	277.00	60.00	24	107.81	321	2.00	1.61	332.22	69.70
5	102.86	457	2.40	1.90	410.57	85.22	25	41.20	154	1.60	0.963	513.99	111.90
6	32.48	244	1.60	1.53	994.45	210.95	26	161.07	305	2.00	1.53	213.25	44.82
7	34.96	239	2.80	0.854	536.16	113.84	27	93.00	264	2.00	1.32	317.11	67.04
8	143.76	330	1.60	2.06	320.44	67.16	28	113.96	329	2.40	1.37	269.75	56.54
9	62.37	343	2.40	1.43	504.47	105.60	29	97.95	250	2.00	1.25	285.82	60.56
10	95.12	387	2.00	1.94	449.76	93.79	30	118.76	329	1.60	2.06	384.77	80.65
11	185.01	304	1.60	1.90	230.99	48.56	31	77.12	371	2.00	1.86	528.58	110.36
12	33.49	187	2.00	0.935	609.52	131.08	32	73.22	347	2.00	1.74	520.98	109.01
13	79.94	349	2.00	1.75	481.44	100.72	33	49.93	202	2.00	1.01	447.38	95.80
14	87.49	418	2.40	1.74	440.45	91.64	34	134.92	349	2.00	1.75	289.58	60.58
15	46.20	336	2.40	1.40	659.02	138.04	35	142.21	428	2.40	1.78	280.96	58.42
16	112.28	366	2.00	1.83	362.85	75.79	36	46.95	280	2.00	1.40	649.06	136.88
17	107.53	368	2.40	1.53	318.54	66.53	37	86.41	305	1.60	1.91	486.38	102.23
18	38.06	334	2.20	1.52	854.21	178.96	38	76.48	263	1.60	1.64	474.31	100.28
19	115.13	275	1.60	1.72	333.13	70.30	39	91.06	500	2.40	2.08	503.71	104.33
20	62.64	196	2.00	0.98	348.68	74.79	40	74.38	380	2.40	1.58	469.90	98.04

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE Z – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra FT03

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%.conc
1	132.84	10.03326	0.189184	0.069073	0.003277	677	49	612	22	900	192	614	22	68
2	98.45	9.979628	0.222192	0.045762	0.003739	497	65	616	26	0	390	607	25	0
3	37.20	8.133353	0.217639	0.075186	0.006946	834	107	748	37	1073	364	749	37	70
4	167.89	8.900195	0.242892	0.083136	0.004764	840	71	686	35	1272	219	686	35	54
5	102.86	9.765637	0.2045	0.053947	0.003522	575	59	628	25	368	288	625	24	171
6	32.48	8.984875	0.193555	0.101939	0.008979	956	110	680	27	1659	320	677	27	41
7	34.96	9.867464	0.288942	0.05282	0.005696	561	94	622	34	320	480	619	34	194

8	143.76	9.392907	0.268254	0.07646	0.003874	764	61	652	35	1106	198	654	35	59
9	62.37	10.17932	0.181923	0.05703	0.004469	581	70	604	20	492	339	604	20	123
10	95.12	10.3655	0.187885	0.061343	0.00331	606	51	594	20	650	227	594	20	91
11	185.01	10.02129	0.19854	0.053117	0.001994	557	36	613	23	333	167	604	22	184
12	33.49	10.76638	0.277796	0.045426	0.0072	465	118	573	28	0	708	570	27	0
13	79.94	11.49167	0.228297	0.044137	0.004093	431	65	538	20	0	449	533	20	0
14	87.49	10.07749	0.358286	0.059899	0.003053	608	56	610	41	599	216	610	40	102
15	46.20	10.31655	0.293485	0.063174	0.008376	621	124	596	32	713	552	597	32	84
16	112.28	10.13355	0.304609	0.086518	0.003415	790	53	607	34	1349	149	594	35	45
17	107.53	10.11382	0.342299	0.050737	0.002141	534	44	608	38	228	191	579	35	267
18	38.06	10.00634	0.309923	0.018583	0.007292	231	160	614	36	0	780	590	34	0
19	115.13	9.464761	0.274056	0.074085	0.004053	743	64	647	35	1043	216	649	35	62
20	62.64	10.83556	0.253362	0.062703	0.004538	595	67	569	25	697	302	570	25	82
21	89.03	10.8359	0.293223	0.053668	0.002836	528	48	569	29	356	234	564	28	160
22	84.99	11.5165	0.259186	0.059619	0.003704	547	55	537	23	589	264	537	23	91
23	80.64	10.17319	0.183328	0.084881	0.005019	777	66	604	20	1312	225	603	20	46
24	107.81	10.65846	0.234727	0.055137	0.005227	546	81	578	24	417	415	577	24	139
25	41.20	10.85668	0.33342	0.037167	0.007991	392	139	568	33	0	776	562	32	0
26	161.07	2.4081	0.041125	0.120616	0.001994	2099	41	2239	63	1965	58	2086	40	114
27	93.00	11.23915	0.222901	0.069882	0.003605	628	51	549	20	924	208	550	21	59
28	113.96	9.938395	0.211482	0.058114	0.005323	600	84	618	25	533	393	618	24	116
29	97.95	11.10324	0.293508	0.056986	0.004075	543	63	556	28	490	309	555	27	113
30	118.76	10.16312	0.231429	0.054914	0.004594	565	74	605	26	408	367	603	26	148
31	77.12	11.40034	0.305323	0.064551	0.00545	586	77	542	27	759	349	543	27	71
32	73.22	10.96982	0.219872	0.067493	0.005307	624	74	562	21	852	320	563	21	66
33	49.93	11.00368	0.254214	0.050472	0.008611	497	133	561	24	216	774	560	24	260
34	134.92	9.650397	0.323723	0.07253	0.005505	722	84	636	40	1000	302	637	40	64
35	142.21	12.20516	0.445074	0.077868	0.006035	641	80	508	35	1143	302	505	35	44
36	46.95	10.87324	0.316921	0.073817	0.00865	671	116	567	31	1036	464	567	31	55
37	86.41	9.862022	0.180205	0.04476	0.006678	493	115	623	21	0	687	620	21	0
38	76.48	12.63506	0.413399	0.061247	0.003681	520	55	491	30	647	253	492	30	76
39	91.06	11.04711	0.306343	0.06692	0.003907	616	59	559	29	834	238	560	29	67
40	74.38	10.89779	0.377109	0.060232	0.004567	575	72	566	37	611	321	566	37	93

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %.conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Jaguaribeano (DJ)
Pereiro (W-03)

APÊNDICE AA - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra W03

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	221.47	108	1.20	0.9+06	92.40	20.69	21	64.51	254	2.00	1.27	435.79	92.28
2	84.97	290	2.00	1.45	379.39	79.90	22	146.56	225	1.20	1.88	286.51	61.01
3	125.74	284	2.00	1.42	253.56	53.44	23	134.94	326	2.00	1.63	270.85	56.79
4	24.39	111	2.00	0.555	501.07	111.94	24	82.12	163	1.20	1.36	368.07	79.83
5	609.50	152	1.20	1.27	47.42	10.33	25	67.96	347	2.00	1.74	559.59	117.09
6	76.50	362	2.00	1.81	520.28	108.71	26	46.28	200	1.20	1.67	776.09	166.27
7	61.37	325	2.00	1.63	579.52	121.53	27	102.24	258	1.60	1.61	351.43	74.36
8	96.80	286	2.00	1.43	329.71	69.47	28	87.91	317	2.00	1.59	400.19	84.00
9	103.15	275	1.60	1.72	370.70	78.23	29	188.40	239	1.60	1.49	179.06	38.02
10	144.55	252	1.60	1.58	244.81	51.85	30	177.10	181	1.20	1.51	192.14	41.40
11	48.13	349	2.00	1.75	780.98	163.38	31	102.48	233	1.60	1.46	317.48	67.49
12	69.49	325	2.00	1.63	514.42	107.88	32	85.28	299	2.00	1.50	389.42	81.91
13	89.10	320	1.60	2.00	494.58	103.77	33	36.37	260	2.00	1.30	770.68	163.02
14	38.39	295	2.00	1.48	824.83	173.59	34	48.22	169	1.20	1.41	636.35	137.69
15	19.05	132	1.20	1.10	1202.99	264.86	35	220.30	152	0.8	1.90	194.54	42.39
16	32.84	166	1.20	1.38	898.86	194.71	36	95.41	123	0.8	1.54	358.84	79.46
17	107.96	246	2.00	1.23	255.75	54.23	37	46.23	254	2.00	1.27	600.24	127.10
18	124.25	237	1.60	1.48	267.38	56.79	38	80.10	208	1.60	1.30	361.34	77.25
19	464.09	268	1.60	1.68	82.13	17.35	39	65.45	298	2.00	1.49	501.34	105.47
20	93.25	353	2.00	1.77	419.49	87.73	40	65.97	173	1.20	1.44	481.99	104.14

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE AB – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra W03

Seq	Uppm	Razões Isotópicas				Idades (Ma)								
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	221.47	3.583844	0.113446	0.107304	0.002828	1660	66	1586	87	1753	95	1660	69	90
2	84.97	3.512867	0.059891	0.098095	0.002502	1603	48	1615	48	1587	93	1609	42	102
3	125.74	7.78826	0.434436	0.103034	0.005108	1054	96	779	80	1679	179	716	89	46
4	24.39	3.057098	0.086139	0.101423	0.004741	1744	89	1824	88	1649	170	1782	74	111
5	609.50	2.533154	0.050896	0.117058	0.001861	2028	44	2145	72	1911	56	1999	42	112

6	76.50	3.59571	0.104848	0.101213	0.00337	1609	70	1582	80	1646	121	1601	69	96
7	61.37	3.054599	0.070455	0.098919	0.01317	1724	220	1826	72	1603	487	1819	70	114
8	96.80	3.449019	0.364853	0.101479	0.005533	1645	190	1641	300	1651	198	1648	166	99
9	103.15	3.135294	0.1105	0.098546	0.003795	1699	84	1785	108	1596	141	1710	80	112
10	144.55	3.297325	0.058987	0.100347	0.009151	1673	149	1708	53	1630	332	1705	52	105
11	48.13	3.414615	0.059308	0.11501	0.00777	1757	114	1656	50	1879	239	1662	49	88
12	69.49	3.106006	0.087421	0.096839	0.004613	1693	89	1799	87	1563	175	1744	72	115
13	89.10	3.430255	0.116728	0.096972	0.003059	1613	73	1649	97	1566	116	1614	72	105
14	38.39	2.974637	0.081379	0.105382	0.006909	1799	117	1868	87	1720	236	1848	79	109
15	19.05	3.113377	0.116498	0.101814	0.00981	1732	168	1796	115	1657	350	1780	106	108
16	32.84	3.347998	0.1585	0.096352	0.060923	1627	1008	1685	138	1554	2326	1684	137	108
17	107.96	4.074181	0.331718	0.091377	0.008673	1430	188	1415	203	1454	354	1424	179	97
18	124.25	3.034731	0.111125	0.101247	0.007496	1749	135	1836	115	1646	269	1801	101	112
19	464.09	2.053515	0.079721	0.476978	0.01343	3551	93	2558	161	4171	82	1346	159	61
20	93.25	3.299541	0.448157	0.098938	0.027426	1661	495	1707	399	1603	1013	1691	362	106
21	64.51	3.365914	0.259373	0.092223	0.003663	1588	136	1677	223	1471	148	1536	120	114
22	146.56	6.282477	0.261907	0.089137	0.005839	1100	102	952	72	1406	246	963	74	68
23	134.94	2.982619	0.089563	0.126018	0.024601	1950	335	1864	95	2042	676	1866	95	91
24	82.12	3.460714	0.130668	0.113689	0.008645	1736	138	1636	107	1858	269	1659	104	88
25	67.96	3.3205	0.104217	0.100432	0.007595	1668	131	1697	92	1631	275	1690	86	104
26	46.28	7.370091	1.119679	0.061944	0.004588	781	181	820	229	671	311	765	170	122
27	102.24	3.153588	0.053467	0.092078	0.003006	1639	59	1776	52	1468	121	1714	44	121
28	87.91	3.302693	0.045528	0.102323	0.002161	1688	41	1705	40	1666	77	1696	35	102
29	188.40	3.835409	0.103372	0.104451	0.002191	1583	54	1494	70	1704	76	1586	57	88
30	177.10	3.737849	0.053574	0.107737	0.001605	1629	33	1528	38	1761	53	1596	35	87
31	102.48	3.892433	0.058574	0.100895	0.004331	1543	71	1474	39	1640	156	1481	38	90
32	85.28	3.316813	0.064901	0.094707	0.002346	1621	50	1699	57	1521	92	1644	46	112
33	36.37	1.517386	0.041983	0.075364	0.001762	2092	63	3263	139	1077	92	1786	65	303
34	48.22	3.027063	0.088688	0.095444	0.003856	1702	81	1840	92	1536	149	1742	71	120
35	220.30	7.606291	0.300728	0.065996	0.002477	799	59	796	58	805	154	797	54	99
36	95.41	3.820697	0.091913	0.099999	0.002857	1551	58	1499	63	1623	104	1529	57	92
37	46.23	3.288024	0.050461	0.099247	0.003133	1666	56	1712	45	1609	115	1697	41	106
38	80.10	4.194808	0.123713	0.080506	0.007922	1313	148	1378	72	1209	380	1371	69	114
39	65.45	3.552104	0.079834	0.095286	0.003691	1571	70	1599	62	1533	143	1588	56	104
40	65.97	3.539149	0.060388	0.094006	0.003409	1563	63	1604	47	1507	134	1592	44	106

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Norte Jaguaribe (CEBP-219)

APÊNDICE AD - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP219

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	60.09	206	2.00	1.03	381.04	81.51	6	149.04	173	1.20	1.44	217.80	47.06
2	148.95	264	1.60	1.65	248.82	52.60	7	213.21	184	1.60	1.15	122.35	26.34
3	143.58	336	2.00	1.68	262.53	54.99	8	116.55	269	1.60	1.68	322.15	68.05
4	207.12	176	1.20	1.47	160.15	34.57	9	351.94	194	1.20	1.62	104.35	22.39
5	252.84	144	1.20	1.20	107.78	23.58							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE AE – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP219

Seq	Uppm	Razões Isotópicas					Idades (Ma)							
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	60.09	12.29619	0.353821	0.049212	0.004725	446	71	504	27	157	440	501	27	321
2	148.95	11.64098	0.189093	0.100883	0.00382	798	45	531	16	1640	138	520	16	32
3	143.58	10.0038	0.274126	0.059309	0.002322	606	43	614	31	577	167	613	31	106
4	207.12	13.90708	0.349873	0.074119	0.003017	559	40	448	21	1044	161	444	22	43
5	252.84	15.85383	0.401339	0.080331	0.003064	538	37	394	19	1204	147	383	19	33
6	149.04	12.24488	0.472043	0.065035	0.003075	558	51	506	37	775	195	509	37	65
7	213.21	8.8056	3.057663	0.12252	0.084564	1087	1011	693	447	1992	2405	666	452	35
8	116.55	12.39737	0.158404	0.051272	0.001988	458	29	500	12	252	175	498	12	198
9	351.94	14.36328	0.364229	0.074176	0.002247	546	33	434	21	1045	120	425	21	42

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.86]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Ceará Central (DCC)
Quixadá (CEBP-285)

APÊNDICE AF - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBP285

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	156.33	255	1.20	2.13	304.00	64.36	21	168.67	397	2.00	1.99	264.02	55.01
2	185.10	330	1.60	2.06	250.25	52.45	22	208.64	254	1.20	2.12	228.24	48.33
3	220.88	255	1.40	1.82	186.12	39.40	23	208.99	323	1.60	2.02	217.49	45.62
4	187.82	491	2.00	2.46	292.58	60.63	24	228.76	158	0.8	1.98	194.74	42.32
5	157.27	393	2.00	1.97	279.96	58.35	25	201.00	416	2.00	2.08	232.72	48.43
6	185.67	490	2.00	2.45	295.31	61.19	26	135.03	335	2.00	1.68	277.99	58.24
7	138.21	428	2.00	2.14	345.18	71.77	27	185.46	160	0.8	2.00	242.34	52.62
8	183.06	217	1.20	1.81	222.33	47.43	28	147.08	415	2.00	2.08	315.24	65.61
9	178.14	378	2.00	1.89	238.49	49.77	29	139.72	417	2.00	2.09	332.98	69.29
10	241.98	431	2.00	2.16	200.78	41.74	30	186.27	284	1.60	1.78	214.60	45.23
11	177.97	450	2.00	2.25	283.20	58.81	31	147.10	334	1.60	2.09	317.05	66.43
12	119.16	472	2.00	2.36	438.28	90.90	32	219.68	248	1.20	2.07	211.91	44.92
13	178.19	248	1.60	1.55	196.18	41.59	33	190.93	424	2.00	2.12	249.39	51.87
14	192.75	422	2.00	2.11	245.93	51.16	34	157.89	392	2.00	1.96	278.18	57.99
15	231.85	446	2.00	2.23	216.58	44.99	35	263.95	382	1.60	2.39	203.88	42.53
16	193.67	382	2.00	1.91	221.98	46.31	36	128.05	367	2.00	1.84	320.09	66.86
17	149.30	411	2.00	2.06	307.73	64.06	37	178.97	164	0.8	2.05	257.11	55.74
18	193.64	265	1.20	2.21	256.00	54.11	38	192.59	362	2.00	1.81	211.71	44.24
19	230.29	234	1.20	1.95	191.05	40.61	39	208.17	95	0.4	2.38	256.11	58.08
20	178.87	364	2.00	1.82	228.90	47.82	40	122.64	89	0.4	2.23	402.62	91.93

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE AG – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBP285

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%.conc
1	156.33	9.859915	0.158925	0.067136	0.002205	672	35	623	19	841	134	625	19	74
2	185.10	9.80875	0.12012	0.052915	0.001829	564	31	626	14	324	154	621	14	193
3	220.88	11.02546	0.154068	0.061088	0.001649	576	26	560	15	641	114	561	15	87
4	187.82	10.47602	0.149146	0.056056	0.00211	561	34	588	16	454	164	586	16	130

5	157.27	10.13756	0.134453	0.061935	0.002253	620	35	606	15	671	153	607	15	90
6	185.67	10.14287	0.171085	0.065077	0.001958	643	32	606	19	776	124	609	19	78
7	138.21	10.74714	0.164497	0.070536	0.002162	654	32	574	16	943	123	575	17	61
8	183.06	9.736326	0.114312	0.077671	0.002195	753	32	630	14	1138	110	630	14	55
9	178.14	10.50693	0.136209	0.065065	0.001771	627	28	586	14	775	112	588	14	76
10	241.98	10.94174	0.158161	0.051923	0.001907	511	31	564	15	281	165	559	15	201
11	177.97	10.46562	0.150149	0.059763	0.001834	589	30	588	16	594	130	588	16	99
12	119.16	10.18893	0.173242	0.053891	0.002485	556	41	604	19	365	204	600	19	165
13	178.19	10.58041	0.163141	0.057812	0.001756	570	29	582	17	522	131	581	17	111
14	192.75	10.56247	0.234656	0.051836	0.001973	525	35	583	24	277	171	572	23	210
15	231.85	10.36263	0.185924	0.053135	0.001407	543	26	594	20	334	118	582	19	178
16	193.67	11.3448	0.155484	0.053655	0.001415	510	23	545	14	356	117	540	14	153
17	149.30	9.143634	0.200569	0.094488	0.002833	899	43	669	27	1517	111	650	28	44
18	193.64	9.72351	0.137977	0.065039	0.001627	663	27	631	17	775	103	634	17	81
19	230.29	9.705526	0.181397	0.080002	0.001931	771	32	632	22	1196	93	630	23	53
20	178.87	11.48515	0.164796	0.055339	0.002203	517	34	538	15	425	174	537	14	127
21	168.67	9.754656	0.185401	0.075201	0.002171	735	35	629	22	1073	114	631	23	59
22	208.64	10.80057	0.17437	0.05685	0.001671	554	28	571	17	485	127	569	17	118
23	208.99	9.868212	0.205491	0.047648	0.001465	518	30	622	24	81	143	586	22	768
24	228.76	10.43315	0.203712	0.054311	0.00197	549	34	590	22	383	160	584	21	154
25	201.00	11.05315	0.167791	0.057777	0.002179	551	34	558	16	520	162	558	16	107
26	135.03	10.78312	0.196912	0.058735	0.002535	569	40	572	20	556	185	572	19	103
27	185.46	9.087716	0.15664	0.071568	0.001866	746	32	673	22	973	104	678	22	69
28	147.08	10.80498	0.174153	0.057763	0.001859	561	30	571	17	520	138	570	17	110
29	139.72	10.6234	0.197448	0.050298	0.002565	510	43	580	20	208	232	574	20	279
30	186.27	9.368178	0.197166	0.063553	0.001737	670	33	654	26	726	114	657	25	90
31	147.10	9.558607	0.139342	0.061936	0.001751	648	30	641	17	671	119	642	17	96
32	219.68	10.20129	0.208754	0.051498	0.001918	536	35	603	23	262	168	590	22	230
33	190.93	10.70299	0.208158	0.057324	0.002262	561	37	576	21	503	170	574	21	115
34	157.89	11.96427	0.160817	0.051477	0.002243	473	34	517	13	261	196	515	13	198
35	263.95	11.38075	0.228582	0.062111	0.001781	569	30	543	20	677	120	545	21	80
36	128.05	11.0493	0.217377	0.064377	0.00252	599	39	559	21	753	162	560	21	74
37	178.97	8.284904	0.392031	0.207922	0.007817	1518	93	735	64	2889	120	419	53	25
38	192.59	10.50386	0.237819	0.075282	0.002539	698	40	586	25	1075	133	586	25	55
39	208.17	10.66512	0.18863	0.064632	0.002039	616	33	578	19	761	130	580	19	76
40	122.64	11.47646	0.217953	0.060834	0.002415	557	37	539	19	632	168	539	19	85

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Uruburetama-Itapipoca (CEBCEI-175)

APÊNDICE AH - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBCEI-175

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	189.09	165	1.20	1.38	164.41	35.63	5	227.97	212	1.20	1.77	175.07	37.39
2	238.28	477	2.40	1.99	188.23	39.03	6	211.71	263	1.20	2.19	232.82	49.22
3	206.75	367	2.00	1.84	200.11	41.80	7	198.26	221	1.60	1.38	157.60	33.59
4	197.73	320	1.60	2.00	227.57	47.75							

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área em cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE AI – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBCEI175

Seq	Uppm	Razões Isotópicas						Idades (Ma)						
		R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	189.09	10.87465	0.37915	0.05706	0.0026	553	48	567	37	493	197	564	36	115
2	238.28	11.12531	0.347778	0.056361	0.00243	538	44	555	33	466	187	552	32	119
3	206.75	9.634105	0.36808	0.054837	0.003399	588	64	637	45	405	272	627	43	157
4	197.73	11.14555	0.29245	0.057919	0.002741	548	45	554	27	526	203	553	27	105
5	227.97	11.50085	0.419307	0.056445	0.00316	525	54	537	37	469	243	536	36	114
6	211.71	11.40916	0.493366	0.051348	0.002451	490	49	542	44	255	215	522	41	213
7	198.26	10.95644	0.241597	0.058535	0.002107	560	36	563	23	549	154	563	23	103

R.86 = razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$; R..76 = razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. t.75: Idades $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$; t.86: Idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; t.76: Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.

Médio Coreaú (DMC)
Meruoca (CEBCEI-031)

APÊNDICE AJ - Idades obtidas através do MTF via LA-ICP-MS em zircões da amostra CEBCEI-031

Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)	Grão	Uppm	N _s	A (10 ⁵ cm ²)	ρ _s (10 ⁷ cm ⁻²)	Idade (Ma)	1σ (Ma)
1	239.35	302	1.60	1.89	178.10	37.45	7	71.811	78	0.4	1.95	593.65	137.59
2	67.978	330	2.00	1.65	533.17	111.75	8	188.8	278	1.60	1.74	207.37	43.74
3	159.88	375	2.00	1.88	263.12	54.92	9	250.43	426	2.00	2.13	191.88	39.90
4	236.49	505	2.00	2.53	239.98	49.69	10	148.62	318	1.60	1.99	299.18	62.79
5	50.529	466	2.00	2.33	977.89	202.89	11	46.277	379	1.60	2.37	1.076.98	224.72
6	58.904	362	1.60	2.26	824.54	172.29	12	102.92	70	0.4	1.75	378.09	88.82

N_s = número de traços de fissão espontâneos contados. Área in cm² (10⁻⁵); ρ_s = densidade de traços espontâneos 10⁷ (traços/cm²). I = Idade in ma.

APÊNDICE AK – Razões Isotópicas e Idades U-Pb de zircões da amostra CEBCEI031

<i>Razões Isotópicas</i>								<i>Idades (Ma)</i>						
Seq	Uppm	R.86	e[R.86]	R..76	e.[R.76]	t.75	e[t.75]	t.86	e[t.86]	t.76	e[t.76]	t.conc	e[t.conc]	%conc
1	239.35	13.36987	0.187639	0.053507	0.002105	446	30	465	12	349	174	464	12	133
2	67.98	12.69127	0.250753	0.061113	0.00633	517	84	489	18	642	436	489	18	76
3	159.88	12.64519	0.199439	0.044325	0.002239	400	34	491	15	0	214	484	14	0
4	236.49	13.24697	0.211886	0.061087	0.002028	500	28	469	14	641	140	470	14	73
5	50.53	12.88109	0.845282	0.050129	0.00397	436	71	482	60	200	360	468	56	241
6	58.90	13.81051	0.276505	0.044747	0.003812	375	54	451	17	0	391	448	17	0
7	71.81	13.72867	0.333644	0.053413	0.003524	436	49	453	21	345	293	453	21	131
8	188.80	13.45498	0.259575	0.06387	0.003039	511	40	462	17	736	197	463	17	63
9	250.43	5.977557	-	0	-	0	NA	997	NA	10000	NA	NA	NA	10
10	148.62	13.5342	0.2021	0.064215	0.002939	511	38	460	13	748	190	460	13	61
11	46.28	12.75349	0.32413	0.050003	0.006957	439	99	487	23	194	634	486	23	251
12	102.92	11.24432	0.264242	0.051039	0.002311	493	39	549	24	242	205	541	23	227

R.86 = razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; e[R.86] = erro padrão associado à razão isotópica ²³⁸U/²⁰⁶Pb; R..76 = razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; e.[R.76] = erro padrão associado à razão isotópica ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb. t.75: Idades ²⁰⁷Pb/²³⁵U (Ma); e[t.75]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²³⁵U; t.86: Idades ²⁰⁶Pb/²³⁸U (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁶Pb/²³⁸U; t.76: Idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (Ma); e[t.76]: Erro padrão da idade ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb; t.conc: média ponderada das idades t.86 e t.76 (Ma); e[t.conc] – erro padrão associado à t..conc; %conc – concordância percentual entre as idades t.86 e t.76.