

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais

Rosana Silveira Resende

**CARACTERIZAÇÃO DO MINERAL ZIRCÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE
TRAÇOS DE FISSÃO, ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN E MEV:
GEOCRONOLOGIA DO GRUPO BAURU**

Presidente Prudente – SP

2011

Rosana Silveira Resende

**CARACTERIZAÇÃO DO MINERAL ZIRCÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE
TRAÇOS DE FISSÃO, ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN E MEV:
GEOCRONOLOGIA DO GRUPO BAURU**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, área de concentração Caracterização de Materiais, sob a orientação do Professor Doutor Carlos Alberto Tello Sáenz.

Presidente Prudente

2011

Resende, Rosana Silveira.

Caracterização do mineral zircão através do Método de Traços de Fissão, espectroscopia micro-Raman e MEV: geocronologia do Grupo Bauru / Rosana Silveira Resende, 2011

113 f.

Orientador: Carlos Alberto Tello Sáenz

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2011


1. Caracterização do mineral zircão. 2. Método de Traços de Fissão. 3. Geocronologia. 4. Grupo Bauru. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ROSANA SILVEIRA RESENDE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DO(A) FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de setembro do ano de 2011, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro II - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. CARLOS JOSÉ LEOPOLDO CONSTANTINO do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. JULIO CESAR HADLER NETO do(a) Instituto de Física "Gleb Wataghin" / UNICAMP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ROSANA SILVEIRA RESENDE, intitulada "CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ZIRCÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO, MICROSCOPIA ÓTICA, ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN E MEV: GEOCRONOLOGIA DAS FORMAÇÕES PRESIDENTE PRUDENTE E VALE DO RIO DO PEIXE". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ



Prof. Dr. CARLOS JOSÉ LEOPOLDO CONSTANTINO

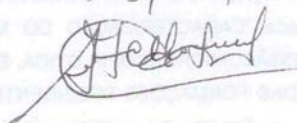


Prof. Dr. JULIO CESAR HADLER NETO

Título:

Caracterização do mineral zircão através do método de traços de fissão, espectroscopia Micro-Raman e MEV: Geocronologia do Grupo Bauru.

28/09/11



Aos meus queridos pais, Roberto e Izabel, e ao meu irmão Rodrigo. Sempre foram e serão minha maior inspiração, se faço algo bom é porque eles plantaram a semente do bem em meu coração. E também ao meu amado Wilber, que desde que nós conhecemos somos dois por um.

AGRADECIMENTOS

É comum lermos, em teses, os agradecimentos escritos como apontamentos nominais a várias pessoas. Se fosse fazer isso gastaria tantas páginas quantas são as desta dissertação de mestrado, pois haveria de agradecer a todas as pessoas que colaboraram para a realização deste feito e que, convictos de quão longe eu chegaria, acreditaram e me incentivaram a permanecer.

Tenho consciência da infinidade de pessoas que direta ou indiretamente contribuem de algum modo para que tudo em nossa jornada se realize e seria injusto de minha parte deixar de mencionar um ou outro nome. Por isso, gostaria de fazer um único agradecimento. Mas um agradecimento sincero e emocionado a todos aqueles que contribuíram de alguma maneira, seja com ideias, sorrisos, broncas, conversas, palavras de incentivo, caronas, esclarecimentos, enfim. Cada qual na sua função: papai e mamãe, irmão, tios e tias, príncipe da luz, professores, amigos, secretárias, coordenadores, técnicos de laboratório, colaboradores, técnicos de limpeza, parceiros evolutivos, conhecidos de passagem, entre outros.

Expresso também a minha gratidão à CAPES (vigência: 09./2009 a 02/2010) e à FAPESP, processo 2009/06465-0 (vigência: 03/2010 a 08/2011), pela concessão de bolsa de estudo. O recurso financeiro concedido a mim, por ambas as instituições de fomento, possibilitou que eu me dedicasse exclusiva e exaustivamente à realização deste trabalho.

*“Eu não sei o caminho para o sucesso,
mas sem dúvida o caminho para o fracasso
é agradar a todo mundo”.*

John Kennedy

*“Alguns denominam esperança à chama
que alimenta e dignifica cada batalha
vívda e que, se mantida vívida, transforma
e justifica a intensidade de todos os
esforços na direção em que um espírito se
move e faz com que possamos multiplicar
vitórias, alimentar os sonhos onde muitos
dos ditos sábios julgaram ser impossível”*

Wilber Moreira Candido

RESUMO

O Método de Traços de Fissão (MTF) foi aplicado a 42 amostras de zircão coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe que fazem parte do Grupo Bauru. Com a finalidade de dar continuidade ao aprimoramento do MTF em zircão, caracterizou-se a superfície de grãos deste mineral através de diferentes técnicas utilizadas em Ciências dos Materiais, tais como: microscopia ótica, espectroscopia Micro-Raman e microscopia eletrônica de varredura com *energy dispersive X-ray spectroscopy* (MEV/EDS). Esta caracterização foi realizada antes e após o ataque químico da superfície do mineral zircão. De acordo com a densidade de traços de fissão observada sob um microscópio ótico, os grãos de zircão foram classificados como: *homogêneo*, *heterogêneo*, *híbrido* e *anômalo*. Os resultados obtidos da análise das imagens óticas em conjunto com os espectros Raman mostraram que alguns grãos previamente classificados como *heterogêneos*, *híbridos* e *anômalos* possuem subfamílias. Outro resultado interessante foi obtido para grãos *heterogêneos*. Estes grãos apresentam densidades anisotrópicas de traços de fissão em algumas áreas da superfície do mesmo grão. Esta anisotropia pode estar relacionada à orientações cristalográficas diferenciadas, as quais podem ser melhor definidas através de imagens de MEV obtidas utilizando um detector de catodoluminescência. Além disso, foram obtidas as distribuições de idades dos grãos: *homogêneo*, *heterogêneo* e *híbrido*, sendo que os resultados mostram que estas distribuições são estatística e geologicamente compatíveis. Desta forma, conseguiu-se incrementar em 4 vezes a estatística dos grãos possíveis de serem datados. Estes aprimoramentos metodológicos foram utilizados para determinar a idade de grãos de zircão coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe. Os resultados das idades mostram que estas formações podem ter tido as mesmas fontes. As possíveis fontes são: Serra da Mantiqueira, Serra do Mar, Serra da Canastra e o Maciço de Goiás.

Palavras-chave: Caracterização do mineral zircão. Método de Traços de Fissão. Geocronologia. Grupo Bauru.

ABSTRACT

The Zircon Fission Track Method (ZFTM) was applied to 42 samples collected from Presidente Prudente and Vale do Rio do Peixe Formations that are part of the Bauru Group, São Paulo state, Brazil. In order to get improvements of the ZFTM under way, a characterization of the zircon surface was done using optical microscopy, micro-Raman spectroscopy and scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDS). This characterization was carried out before and after the chemical etching of the mineral surface. According to the fission track-density observed under an optical microscope the zircon grains were classified as: *homogeneous*, *heterogeneous*, *hybrid* and *anomalous*. The characterization results obtained through the optical analysis together with the Raman spectra showed that some of the grains previously classified as *heterogeneous*, *hybrid* and *anomalous* have subfamilies. Another interesting result is that for *heterogeneous* grains. It can be seen that those grains show anisotropic fission-track density, that is, in some areas of the same grain surface the fission-track density is different due to different crystallographic orientations which can be defined in a better way through the SEM-CL images. Besides that, the age distributions of *homogeneous*, *heterogeneous* and *hybrid* grains were obtained, showing that those distributions are statistically and geologically compatible. Therefore, it can be able to increase by four the statistic of the datable grains. These methodological improvements were used to determine the age of zircon grains. The ages of the Presidente Prudente and Vale do Rio do Peixe Formations may have had the same sources. They can be: Mantiqueira Mountain Range, Mountain Range of the Sea, Canastra Mountain Range and Goiás Massif.

Keywords: Zircon mineral characterization. Fission Track Method. Geochronology. Bauru Group.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Estágios da formação do traço de fissão baseado na teoria “*ion explosion spike*” de Fleischer, Price and Walker (após Fleischer *et al.* 1975). (A) Os fragmentos de fissão positivamente carregados induzem a ionização, por interações eletrônicas dos átomos da rede cristalina; (B) o agrupamento de íons positivamente carregados são deslocados de suas posições originais para posições intersticiais devido a ação da repulsão coulombiana mútua, concomitantemente, um grande número de vacâncias é criado; (C) a região tensionada relaxa elasticamente formando o traço de fissão..... 2
- Figura 2 - Carta litoestratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru. Tu=Analámitos Taiúva..... 13
- Figura 3 - Representação do sistema cristalino tetragonal do zircão. Os parâmetros n_{ϵ} (n'_{ϵ}) e n_{ω} são os índices de refração dos raios extraordinário e ordinário. O cristal de zircão exibe indicatriz uniaxial positiva em seu interior ($n_{\epsilon} > n_{\omega}$).. 19
- Figura 4 - Microscópio ótico Carl ZEISS®..... 21
- Figura 5 - Distribuição das amostras localizadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe..... 22
- Figura 6 - Histograma das etapas de separação de minerais..... 26
- Figura 7 - A) Imagem dos grãos de zircão montados no teflon PFA® (dimensões do pedaço de teflon 1x1 cm). B) Detalhes da matrix 10x10 dos mesmos grãos de zircão organizados ao longo do eixo-*c* 28
- Figura 8 - Imagens das etapas de prensagem dos grãos no teflon PFA®: A) Lâmina de alumínio com os grãos de zircão na chapa térmica; B) Pedaço de teflon PFA® caindo por gravidade sobre os grãos de zircão; C) Segunda lâmina de alumínio sendo pressionada sobre a primeira para fixar os grãos de zircão no teflon PFA® 29
- Figura 9 - Montagem do teflon e da mica na lâmina de vidro. A) Perfurações no teflon localizadas em um dos vértices e no meio de uma aresta oposta; B) Perfurações na mica especularmente simétricas 32
- Figura 10 - Empacotamento das amostras para irradiação 32
- Figura 11 - Diagrama de níveis de energia mostrando as origens dos espalhamentos Rayleigh e Raman. Os números 0, 1, 2 e 3 se referem aos níveis vibracionais. As setas mais largas indicam a maior probabilidade de ocorrência do espalhamento Rayleigh, porque o evento mais provável é a transferência de energia para moléculas no estado fundamental e a reemissão pelo retorno dessas moléculas ao estado fundamental. As setas mais à direita representam

- os espalhamentos Raman (*Stokes* e *anti-Stokes*) e as setas pontilhadas representam estados intermediários (ou virtuais) para onde as moléculas vão após sofrer colisão com um fóton de energia..... 36
- Figura 12 - Imagens óticas do grão *homogêneo* (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *homogêneo* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *homogêneo* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *homogêneo* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *homogêneo* atacado sob luz transmitida. As setas azuis apontam inclusões mineralógicas contidas no interior do mineral e os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição)..... 41
- Figura 13 - Espectro Raman do grão *homogêneo* antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc). 42
- Figura 14 - Imagens óticas do grão *heterogêneo* (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *heterogêneo* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *heterogêneo* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *heterogêneo* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *heterogêneo* atacado sob luz transmitida. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição)..... 44
- Figura 15 - Espectro Raman do grão *heterogêneo* antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc) 44
- Figura 16 - Imagens óticas do grão *híbrido* (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *híbrido* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *híbrido* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz transmitida; E) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz transmitida em maior profundidade. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição) e os círculos tracejados indicam regiões onde há traços (círculo tracejado vermelho) e regiões onde não há traços (círculo tracejado amarelo) 46
- Figura 17 - Espectro Raman do grão *híbrido* antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc) 47
- Figura 18 - Imagens óticas do grão *anômalo* (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *anômalo* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *anômalo* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *anômalo* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *anômalo* atacado sob luz transmitida. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição)..... 48
- Figura 19 - Espectro Raman do grão *anômalo* antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc) 49
- Figura 20 - Espectro padrão do zircão (ZrSiO_4) com as atribuições das bandas mais intensas. Para as vibrações internas do grupamento SiO_4 pequenos esboços

descrevem os movimentos dos átomos de oxigênio (bolas brancas) e dos átomos de silício (pequenas bolas pretas). A vibração interna SiO_4 , cuja atribuição é controversa não está relacionada a uma banda específica na imagem. O espectro Raman do HfSiO_4 (pontilhado) é mostrado para comparação. Nota-se que ambos são dominados por um padrão de “impressão digital” de vibrações SiO_4 muito similares 50

- Figura 21 - Imagens de um grão de zircão obtidas via microscopia ótica, catodoluminescência (MEV-CL) e elétrons secundários (MEV-SE). a) Imagem ótica do grão não-atacado (barra de escala de 10 μm e aumento de 1000X); b) imagem de MEV-CL do grão não-atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6500X); c) imagem de MEV-SE do grão não-atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6500X); d) imagem de MEV-CL do grão atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6000X); e) imagem de MEV-SE do grão atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6000X). Voltagem de aceleração de 15 kV e alcance de trabalho de 16,5 mm 56
- Figura 22 - Distribuição de idades obtidas dos grãos *homogêneos* 60
- Figura 23 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos *homogêneos* 60
- Figura 24 - Distribuição de idades obtidas dos grãos *heterogêneos* 61
- Figura 25 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos *heterogêneos* 61
- Figura 26 - Distribuição de idades obtidas dos grãos *híbridos* 62
- Figura 27 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos *híbridos* 62
- Figura 28 - Distribuição de idades dos grãos coletados na Formação Presidente Prudente . 65
- Figura 29 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão dos grãos coletados na Formação Presidente Prudente 65
- Figura 30 - Distribuição de idades obtidas dos grãos coletados na Formação Vale do Rio do Peixe 68
- Figura 31 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão dos grãos coletados na Formação Vale do Rio do Peixe 68
- Figura 32 - Distribuição de idades dos grãos coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe 70
- Figura 33 - Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas nos grãos coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostras de zircão do Grupo Bauru	23
Tabela 2 - Atribuições dos principais picos Raman do zircão obtidos usando laser 514,5 nm.....	50
Tabela 3 - Valores dos parâmetros analisados dos picos Raman para grãos de zircão	54
Tabela 4 - Composição química dos óxidos obtida via MEV/EDS	57
Tabela A.1 - Dados de idade obtidos via MTF de grãos de zircão classificados em <i>homogêneos, heterogêneos e híbridos</i>	84
Tabela A.2 - Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru	87

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	6
1.1 Método de Traços de Fissão.....	6
1.2 Equação da idade.....	8
CAPÍTULO 2 GEOLOGIA DA BACIA BAURU.....	12
2.1 Divisão estratigráfica	12
2.2 Características geológicas.....	14
2.3 Área de estudo	15
2.3.1 Formação Presidente Prudente.....	16
2.3.2 Formação Vale do Rio do Peixe.....	17
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 Características gerais do zircão.....	19
3.2 Preparação de amostras	20
3.2.1 Coleta de amostras	21
3.2.2 Separação de minerais.....	25
3.2.3 Montagem para grãos de zircão	27
3.2.4 Lixamento e polimento	29
3.2.5 Ataque químico dos traços espontâneos	30
3.2.6 Arranjo das amostras para irradiação e ataque químico dos traços induzidos	31
3.3 Caracterização de superfícies por espectroscopia e microscopia.....	33
3.3.1 Microscopia ótica e eletrônica	33
3.3.2 Espectroscopia Raman	35
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Resultados de microscopia ótica e Raman	39
4.1.1 Grãos <i>homogêneos</i>	40

4.1.2 Grãos <i>heterogêneos</i>	43
4.1.3 Grãos <i>híbridos</i>	45
4.1.4 Grãos <i>anômalos</i>	47
4.2 Resultados de MEV.....	55
4.3 Idades obtidas via MTF em zircão	58
4.3.1 Comparação das idades obtidas em grãos <i>homogêneos, heterogêneos e híbridos</i>	58
4.3.2 Idades obtidas de amostras coletadas nas Formações Presidente e Vale do Rio do Peixe.....	63
4.3.2.1 Formação Presidente Prudente	64
4.3.2.2 Formação Vale do Rio do Peixe	66
4.3.2.3 Geocronologia das Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe.....	69
CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE	83

INTRODUÇÃO

A datação de minerais através do Método de Traços de Fissão (MTF) foi concebida no início da década de 1960 por P. Buford Price, Robert L. Fleischer e Robert M. Walker. Esta técnica se baseia na possibilidade de se revelar quimicamente os traços de fissão produzidos, quase que exclusivamente, pelo decaimento espontâneo por fissão nuclear do isótopo mais abundante do urânio natural, o ^{238}U – presente como impureza na composição química dos minerais em concentrações da ordem de algumas partes por milhão. Como salienta Wagner e Haute (1992, p. 12), outros isótopos naturais do urânio e do tório, como os átomos de ^{235}U e ^{232}Th , possuem abundância isotópica muito baixa e meia-vida relativamente longa para produzir uma quantidade significativa de traços de fissão.

Comparado com outras técnicas de datação baseadas em radioisótopos naturais, o MTF é diferente porque ele não se baseia na medição da abundância isotópica por espectrometria de massas, mas sim, na contagem individual de traços de fissão (WAGNER; HAUTE, 1992, p. xi). Essa contagem, que permite determinar a densidade superficial de traços de fissão, é feita em um microscópio ótico porque um ataque químico causa o alargamento do diâmetro dos traços de fissão¹ que se estendem até a superfície do mineral, tornando-os oticamente visíveis.

A FIG. 1 mostra um esquema de formação do traço de fissão baseado na teoria “*ion explosion spike*”. De acordo com este modelo: (A) os traços de fissão resultam da intensa ionização da rede cristalina produzida pela passagem de fragmentos de fissão espontânea do núcleo de átomos de ^{238}U , que por serem altamente massivos e energéticos, arrancam um grande número de elétrons dos átomos do mineral deixando um agrupamento de íons

¹ Antes do ataque químico os traços de fissão tem um diâmetro da ordem de angstroms e após o ataque de alguns microns. O comprimento, por sua vez, se mantém constante e no caso do zircão vale ~12 μm .

positivamente carregados; (B) a repulsão coulombiana mútua destes íons positivos força o afastamento deles de suas posições originais para posições intersticiais ao mesmo tempo em que um grande número de vacâncias é criado; (C) após a perda total da energia dos fragmentos de fissão, a rede cristalina relaxa elasticamente, persistindo no mineral uma trilha de átomos deslocados de suas posições originais. A essa trilha dá-se o nome de traço latente².

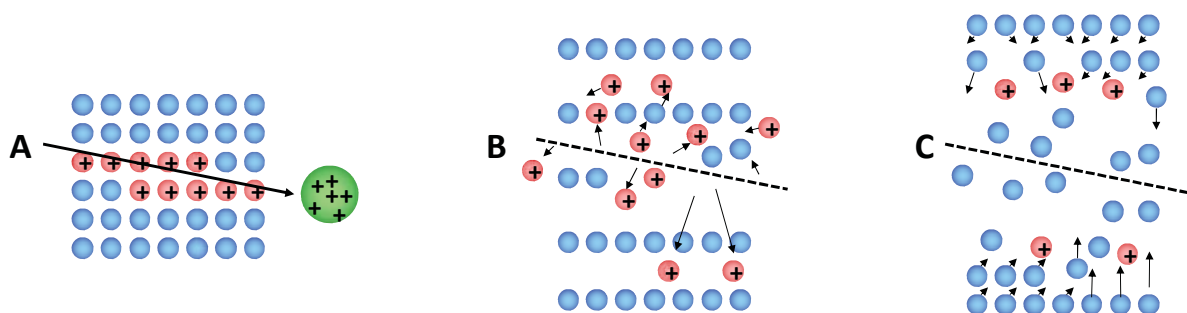


FIGURA 1 – Estágios da formação do traço de fissão baseado na teoria “*ion explosion spike*” de Fleischer, Price and Walker (após Fleischer *et al.* 1975). (A) Os fragmentos de fissão positivamente carregados induzem a ionização, por interações eletrônicas dos átomos da rede cristalina; (B) o agrupamento de íons positivamente carregados são deslocados de suas posições originais para posições intersticiais devido a ação da repulsão coulombiana mútua, concomitantemente, um grande número de vacâncias é criado; (C) a região tensionada relaxa elasticamente formando o traço de fissão. Modificado de: WAGNER, Günther A.; HAUTE, Peter Van den. **Fission-track dating**. 1992. p. 9.

Os traços de fissão são produzidos cumulativamente no mineral durante sua história geológica. Portanto, conhecendo-se a meia-vida para o decaimento natural por fissão espontânea do ^{238}U , o conteúdo de urânio da amostra e a quantidade de decaimentos ocorridos, é possível obter a idade de retenção dos traços no mineral. Esta idade de retenção de traços de fissão pode estar relacionada à cristalização do mineral ou a algum evento térmico que apagou total ou parcialmente os traços pré-existentes. Além da idade, a análise dos traços de fissão permite estudar a história térmica da região onde a amostra foi coletada através do fenômeno de *annealing* (encurtamento dos traços devido à ação da temperatura em tempos geológicos).

² Se refere ao traço de fissão que, quando não atacado, não pode ser observado sob um microscópio ótico.

Essa é uma das principais características da datação por traços de fissão. Caso a amostra tenha sofrido algum evento térmico, que causou o apagamento total dos traços (reconstrução total da rede cristalina), a idade obtida corresponde a este evento. Dias (2008) destaca que quando o *annealing* é parcial (o que pode acontecer mesmo a temperatura ambiente em tempos geológicos) a idade precisa ser corrigida. Isso pode ser feito via métodos de correção pelo comprimento que levam em conta o quanto os traços foram apagados.

A metodologia de análise de grãos de zircão possui duas frentes: *i*) datação de cristais de zircão ideais (grãos *homogêneos*), no sentido de que o ataque químico revela os traços de fissão isotropicamente. Atualmente, é a metodologia mais utilizada nos laboratórios de pesquisa em nível mundial; e *ii*) aproveitamento de grãos de zircão (não-ideais) onde o ataque químico revela os traços em algumas áreas da superfície do grão (grãos *heterogêneos* e *híbridos*).

De acordo com Dias *et al.* (2009) e Tello *et al.* (2011)³, grãos *heterogêneos* e *híbridos* podem ser utilizados para determinar suas idades, desde que, o conteúdo de urânio seja uniforme e que a área onde aparecem os traços possua a composição química padrão do zircão. A irradiação das amostras com nêutrons térmicos em um reator nuclear revela a uniformidade do conteúdo de urânio no grão analisado. A espectroscopia micro-Raman permite mostrar se a área específica do grão onde aparecem traços de fissão corresponde à rede cristalina do zircão. E o MEV/EDS permite acompanhar variações da composição química do grão de zircão antes e após o ataque químico.

Esta metodologia de datação de grãos de zircão “não-ideais” tem sido investigada no Laboratório de Microscopia do Grupo de Detectores de Traços Nucleares de Estado Sólido, DETRANES, com sede na FCT/DFQB - UNESP, Presidente Prudente - SP, sob

³ Effects of etching on zircon grains and implications to the fission-track method, de autoria de TELLO *et al.*, a ser publicado pela Applied Spectroscopy, 2011.

coordenação do Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz com o intuito de minimizar os problemas recorrentes à etapa de seleção de grãos de zircão para datação.

Dando continuidade ao aprimoramento metodológico do MTF em zircão, através das diferentes técnicas utilizadas em ciências dos materiais acima mencionadas, fez-se: *i)* o reconhecimento e classificação, em *homogêneo*, *heterogêneo*, *híbrido* e *anômalo*, de 514 grãos correspondentes a 14 das 42 amostras coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe; *ii)* datação via MTF de 42 amostras; *iii)* aquisição de espectros usando espectroscopia micro-Raman, cuja análise nos permite observar que é possível que cada família de grãos possua subfamílias; e *iv)* medidas de MEV/EDS, pelas quais se observou algumas inclusões mineralógicas, que podem ser outros minerais, os quais se pretende estudar futuramente.

Um dos principais objetivos deste trabalho é estudar os efeitos do ataque químico no mineral zircão através de diferentes técnicas de caracterização e suas implicações no MTF, com a finalidade de aprimorar esta metodologia. Com base nestes resultados atingiu-se o objetivo principal: determinar a idade de 42 amostras coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe – que de acordo com Fernandes (1998 *apud* FERNANDES; COIMBRA, 2000, p. 720) estão associadas ao Grupo Bauru – utilizando tanto grãos *homogêneos* quanto *heterogêneos* e *híbridos*.

A distribuição de idades obtidas dos grãos classificados como *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos* foram comparadas e se mostraram compatíveis tanto do ponto de vista estatístico quanto geológico. Baseado neste resultado, determinou-se as idades das 42 amostras, utilizando os três tipos de grão acima mencionados, e verificou-se que tais idades oscilam ao redor de diferentes populações de idades. Isto sugere que várias fontes podem ter fornecido material detrítico para originar a Bacia Bauru, entre as principais pode-se citar: Serra da Canastra, Serra da Mantiqueira, Serra do Mar e Serra Geral. Desta forma, esta

dissertação também está contribuindo a um melhor conhecimento da geologia da região de Presidente Prudente e cidades circunvizinhas.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO**1.1 MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO**

A análise de traços de fissão para a obtenção da idade de minerais, a partir da densidade superficial de traços espontâneos e induzidos, é realizada em uma área específica do mineral denominada campo. Os traços espontâneos são aqueles acumulados naturalmente ao longo da história térmica do mineral devido a fissão espontânea dos núcleos do isótopo de ^{238}U . Os traços induzidos, por sua vez, são obtidos através da irradiação do mineral com um fluxo de nêutrons térmicos em um reator nuclear. Esta irradiação induz a fissão dos núcleos do isótopo de ^{235}U .

Há dois procedimentos experimentais para determinar a idade por traços de fissão: o Método das Populações (MP) e o Método do Detector Externo (MDE) (WAGNER; HAUTE, 1992). Tagami e O'Sullivan (2005, p. 36) citam que no MP as densidades superficiais de traços espontâneos e induzidos são medidas na superfície interna de minerais usando duas alíquotas do mesmo mineral. Ou seja, usam-se diferentes grãos para se obter a densidade superficial de traços espontâneos e induzidos. Neste caso, as idades calculadas são médias das idades dos grãos analisados. Para tanto, considera-se, a priori, que todos os grãos pertençam a uma mesma população e que a distribuição de urânio seja uniforme em todos eles. Gallagher *et al.* (1998, p. 524) ressalta que a desvantagem desse método é negligenciar as informações geológicas contidas em grãos individuais, o que é uma séria limitação.

No MDE, os mesmos grãos são utilizados para obter a densidade superficial de traços espontâneos e induzidos. Ou seja, os grãos são datados individualmente, o que torna

possível observar flutuações significativas nas suas idades e possíveis variações no conteúdo de urânio. Neste procedimento, os traços espontâneos são atacados e revelados na superfície polida do grão de um mineral, enquanto os traços induzidos são gravados e revelados em um detector externo (TAGAMI; O'SULLIVAN, 2005, p. 36) (o mais utilizado é a mica muscovita). Para maiores detalhes sobre este procedimento, ver seção 3.2.6.

O MDE é bastante apropriado para datação de amostras de bacias sedimentares, pois nestas amostras se encontram sedimentos derivados da erosão de diversas rochas preexistentes, o que torna essa formação rica em diferentes populações de grãos, mesmo que eles sejam provenientes de uma mesma rocha-mãe. Portanto, uma vez que as amostras analisadas foram coletadas no Grupo Bauru, que é uma bacia sedimentar, optou-se pelo MDE para determinar suas respectivas idades.

Por outro lado, a história térmica da região onde a amostra foi coletada, é obtida analisando-se o comprimento de traços de fissão contidos inteiramente dentro do mineral e que são revelados pelo ataque químico porque cruzam algum traço de fissão superficial¹ ou alguma fratura ou plano de clivagem que atinge a superfície do grão (WAGNER; HAUTE, 1992, p. 47). Estes traços que não interceptam a superfície atacada do mineral são chamados de traços confinados².

¹ Traços superficiais são traços de fissão que interceptam a superfície atacada do mineral. São eles os traços utilizados para determinar a densidade de traços espontâneos.

² Quando se realizam medidas de comprimento de traços confinados selecionam-se apenas aqueles que sejam paralelos à superfície atacada do mineral.

1.2 EQUAÇÃO DA IDADE

A datação por traços de fissão fundamenta-se na equação diferencial que rege o decaimento radioativo, cuja integração permite que se descreva a acumulação de traços fósseis. Esta equação requer a medida direta da quantidade de urânio presente no mineral e dos átomos-filho de ^{238}U . Este último equivale ao número de decaimentos por fissão espontânea ocorridos e, conseqüentemente, ao número de traços espontâneos por unidade de volume do mineral. No MTF, estes parâmetros são obtidos indiretamente através da medida da densidade de traços de fissão.

Para evitar a medida direta de urânio presente na amostra, ela é irradiada com nêutrons térmicos, os quais vão induzir a fissão do isótopo de ^{235}U . Este procedimento é respaldado pela invariabilidade da razão isotópica de ^{238}U e ^{235}U em amostras naturais, ou seja, $C_{238}/C_{235} = \eta$ (ver por exemplo IUNES, 1990, p.4).

A idade dos grãos de zircão foram obtidas utilizando a Equação 1 e levando em consideração as demais equações explicitadas em 2, 3 e 4. Esta equação foi amplamente estudada pelo Grupo de Cronologia do IFGW/UNICAMP onde se inseriu o fator R_M ao considerar a calibração absoluta (IUNES, 1990, 1999; IUNES *et al.*, 2002a; IUNES *et al.*, 2002b; IUNES *et al.*, 2004; IUNES *et al.*, 2005) e se determinou o valor do λ_F obtido por diferentes métodos radiométricos (HADLER *et al.*, 1981; HADLER, 1982; GUEDES *et al.*, 2000; GUEDES *et al.*, 2001; GUEDES *et al.*, 2002; GUEDES *et al.*, 2003a; GUEDES *et al.*, 2003b; HADLER *et al.*, 2003).

A calibração absoluta é um procedimento adotado para determinar, de forma direta, a fração de átomos de ^{235}U que efetivamente fissionaram no mineral em decorrência da irradiação com um fluxo de nêutrons térmicos. Neste caso, exclui-se a necessidade de utilizar

uma amostra padrão que tenha sido datada através de outros métodos radiométricos, como por exemplo, Ar/Ar, U/Pb, etc. Esta calibração é realizada através de dosímetros (vidros dopados com urânio e tório com concentrações conhecidas) acoplados a micas e intercalados com as amostras a serem analisadas. Posteriormente, as micas acopladas aos dosímetros são analisadas sob um microscópio ótico a fim de determinar a densidade superficial de traços de fissão.

As medidas de λ_F foram feitas considerando os principais erros sistemáticos identificados na literatura através de dois experimentos: usando filmes finos de urânio natural como dosímetros de nêutrons e filmes infinitos dopados com ^{242}Pu como fontes de fragmentos de fissão, utilizados com o intuito de calibrar o detector usado na coleta de fragmentos de fissão espontânea do ^{238}U . Na literatura este parâmetro foi medido mais de 50 vezes sem que se chegasse a um valor comum (HADLER *et al.*, 1981; HADLER, 1982; GUEDES, 2001).

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{g(\rho_s/\rho_i)\lambda R_M}{(\varepsilon_{238}/\varepsilon_{235})C_{238}\lambda_F} + 1 \right] \quad (1)$$

$$R_M = R_U + \left(\frac{N_{Th}}{N_U} \right) \cdot R_{Th} \quad (2)$$

$$R_U = \frac{\rho_U^V}{N_U^V \varepsilon^V} \quad (3)$$

$$R_{Th} = \frac{\rho_{Th}}{N_{Th}^F \varepsilon^F} \quad (4)$$

λ é a constante de decaimento alfa do ^{238}U cujo valor é $1,55125 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ (JAFFEY *et al.*, 1971 *apud* IUNES *et al.*, 2002a); λ_F é a constante de decaimento por fissão espontânea do ^{238}U cujo valor é $(8,35 \pm 0,24) \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ (GUEDES *et al.*, 2000); ϵ_{238} (ϵ_{235}) é a razão entre o número de traços de fissão do ^{238}U (^{235}U) observados por unidade de superfície e o número de fissões espontâneas (induzidas) ocorridas no mineral por unidade de volume; ρ_s (ρ_i) é a densidade superficial de traços de fissão espontânea (induzida) de cada grão da amostra; C_{238} é a concentração isotópica do ^{238}U no urânio natural cujo valor é 0,99275 (LEDERER; SHIRLEY, 1978 *apud* IUNES *et al.*, 2002a); R_M é um parâmetro relacionado com a dosimetria de nêutrons ao qual a amostra foi submetida e é determinado utilizando a calibração absoluta como explicado em Iunes *et al.* (2002a); ρ_U^V é a densidade de traços induzidos na mica acoplada aos vidros dopados com urânio; $N_U^V \cdot \epsilon^V$ é um fator de calibração obtido usando filmes de urânio e tório natural (IUNES *et al.*, 2002a); $N_{\text{Th}}/N_{\text{U}}$ é a razão tório-urânio do mineral (IUNES *et al.*, 2002a; IUNES *et al.*, 2002b) e g é um fator de geometria relacionado ao detector externo.

Para o MP, g é igual a 1, uma vez que a geometria para determinar a densidade de traços espontâneos e induzidos é a mesma. Por outro lado, para o MDE, a geometria para determinar a densidade superficial de traços espontâneos (no grão) e a densidade superficial de traços induzidos (na mica) é diferente e depende do mineral que se esteja datando. Para o zircão g vale $(0,684 \pm 0,012)$ (IWANO; DANHARA, 1998).

O segundo termo da Equação 2 pode ser desconsiderado já que a razão tório-urânio geralmente não é significativa para amostras detríticas, sendo muito menor do que 1. Esta razão foi calculada a partir de dados obtidos com microsonda eletrônica e com espectrômetros de massa de alta sensibilidade (ICPMS-LA). De acordo com Iunes *et al.* (2005) este termo teria que ser considerado no caso de rochas pegmatíticas.

Foram utilizados dois vidros dopados com urânio, CN-2 e CN-5. O valor de $N_U^V \cdot \varepsilon^V$ para o CN-2 é $(1,348 \pm 0,041) \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ e para o CN-5 é $(4,169 \pm 0,15) \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. O valor de ρ_U^V é medido na mica justaposta ao vidro. Assim, colocando os valores de R_M calculados através da Equação 3 e as medidas de ρ_s e ρ_i na Equação 1 se obtêm as idades de cada grão.

Em condições isentas de *annealing* (encurtamento dos traços por efeitos de temperatura em tempos geológicos), a eficiência de detecção de traços de fissão induzida (ε_{235}) do isótopo de ^{235}U é igual à eficiência de detecção de fragmentos de fissão espontânea do isótopo de ^{238}U (ε_{238}) (BIGAZZI *et al.*, 1991).

O encurtamento dos traços ocorre quando o mineral sofre um aquecimento como consequência de um processo de difusão termicamente ativo. A zona de temperatura na qual os traços são encurtados varia para cada mineral e depende também da taxa de aquecimento (GUEDES *et al.*, 2004 e GUEDES *et al.*, 2005). Caso seja detectado que os traços registrados em mineral sofreram *annealing* parcial durante sua história térmica, a idade deste mineral pode, em princípio, ser corrigida através de técnicas de correção pelo comprimento do traço de fissão (WAGNER; STORZER, 1972).

GEOLOGIA DA BACIA BAURU**2.1 DIVISÃO ESTRATIGRÁFICA**

De acordo com Dal’Bó e Basilici (2010), a Bacia Bauru é atualmente dividida em: Grupo Bauru e Grupo Caiuá. Porém, esta subdivisão ainda é assunto recorrente entre pesquisadores. Na década de 1980, o Grupo Bauru era entendido como formado, da base para o topo, pelas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina, Uberaba e Marília (SOARES *et al.*, 1980). A partir da década de 1990 o Grupo Bauru sofreu modificações estratigráficas, com propostas de inclusão, reformulação e exclusão de unidades da Bacia Bauru (FERNANDES, 1992, 1998; FERNANDES; COIMBRA, 1994, 1996, 2000; BATEZELLI, 1998, 2003; PAULA; SILVA, 2003). Tais modificações foram motivadas pelo intenso esforço de pesquisadores em estudar áreas abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Goiás.

De acordo com Santos (2010), entre as principais proposições dos autores supracitados estão: a inclusão das Formações Uberaba (HASUI, 1968) – que só aflora na região do Triângulo Mineiro – e Araçatuba (ZAINÉ *et al.*, 1980 *apud* FERNANDES; COIMBRA, 2000) no Grupo Bauru e a reclassificação da Formação Caiuá na categoria de Grupo Caiuá (FERNANDES, 1992). Outras duas são: *i*) a interdigitação e contemporaneidade dos grupos defendida por Fernandes e Coimbra (1996), Fernandes (1998) e Fernandes e Coimbra (2000); e *ii*) a distinção em duas bacias.

Aqueles que defendem essa última proposição entendem que a sequência suprabasáltica estaria depositada em duas bacias e em intervalos distintos com base no

reconhecimento de uma superfície de descontinuidade regional, denominada de Geossolo Santo Anastácio (FÚLFARO *et al.*, 1999 *apud* DAL'BÓ e BASILICI, 2010), e dados paleomagnéticos (ERNESTO *et al.*, 2006 *apud* DAL'BÓ e BASILICI, 2010). Neste contexto, a Bacia Bauru teria parte de sua extensão territorial renomeada para Bacia Caiuá (Grupo Caiuá) referente ao Eocretáceo (Aptiano/Albiano), limitada a norte e nordeste pelo lineamento de Guapiara e a leste pelo platô basáltico da Formação Serra Geral.

Fernandes e Coimbra (2000) fazem uma revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru e propõem a seguinte litoestratigrafia: Formações Uberaba (HASUI, 1968), Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente (FERNANDES, 1998), Marília (SOARES *et al.*, 1980) – subdividida em membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã (BARCELOS, 1984) – e os Analcimitos Taiúva (FERNANDES, 1992), que são rochas vulcânicas localmente intercaladas na sequência. Assenta-se sobre basaltos da Formação Serra Geral (FIG. 2), do qual é separado por não-conformidade e apresenta passagem gradual, lateral e recorrente para o Grupo Caiuá.

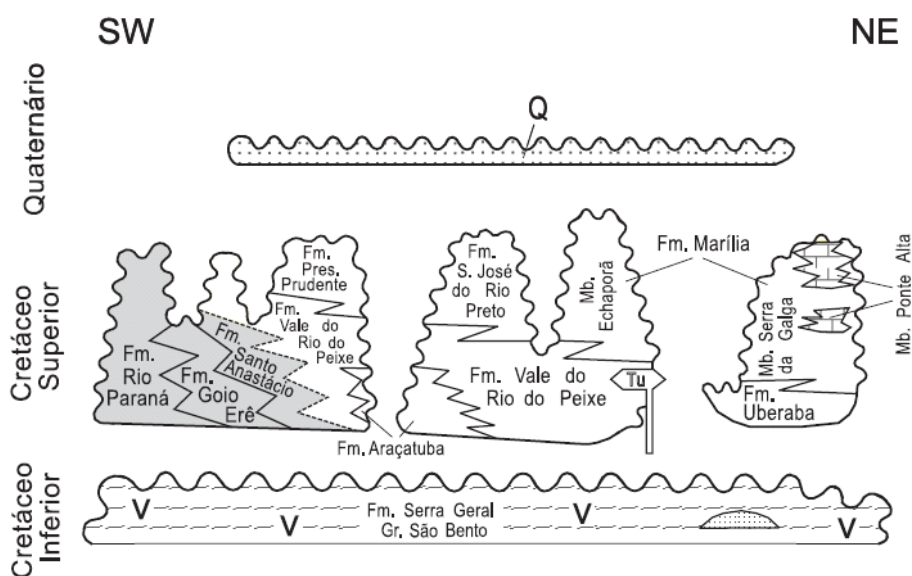


FIGURA 2 – Carta litoestratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru. Tu=Analámitos Taiúva. FONTE: FERNANDES; COIMBRA, 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo), p. 718.

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A Bacia Bauru, composta pelo Grupo Bauru e Caiuá, é uma bacia continental intracratônica, que teve seu desenvolvimento na porção centro-sul da plataforma sul-americana durante o Neocretáceo (Coniacino-Maastrichtiano), após a ruptura do continente Gondwana, quando houve a separação do continente sul-americano e africano (FERNANDES; COIMBRA, 2000; FERNANDES, 2004). Compreende área de aproximadamente 370.000 km² e apresenta depósitos continentais com espessura máxima de 300 m, essencialmente arenosos (FERNANDES; COIMBRA, 2000). Está localizada em regiões distribuídas pelo Triângulo Mineiro, São Paulo, noroeste do Paraná, sudeste de Mato Grosso do Sul e sul de Goiás.

Com relação à procedência dos clastos formadores das litofácies da Bacia Bauru, Coimbra (1976) diferencia as áreas-fontes pela referência de posição em quadrantes nas áreas em torno da bacia. Uma das fontes, localizada a noroeste, é identificada com sedimentos preexistentes, constituintes de depósitos gondwânicos da Bacia do Paraná.

Diversos autores ressaltam o papel dos altos estruturais limitantes do Grupo Bauru nos processos de origem dos sedimentos depositados em seus domínios. De acordo com Riccomini (1997), no início do Cretáceo (~ 140 Ma), na porção sudoeste no megacontinente Gondwana, o vulcanismo que resultou em acumulação de lavas basálticas da Formação Serra Geral, em área de 1.200.000 km², atingindo espessura de aproximadamente 1,7 km na zona de maior espessamento, provocou subsidência em grande parte da área de ocupação das lavas, dada a carga exercida por esse acúmulo de derrames. No Neocretáceo instala-se o Grupo Bauru, cujo depocentro está localizado sobre a zona de maior espessura da Formação Serra Geral.

Os limites do Grupo Bauru, essencialmente de caráter tectônico, correspondem à Antéclise de Rondonópolis a noroeste; ao soerguimento do Alto de Paranaíba a nordeste; aos alinhamentos do Rio Mogi-Guaçu, São Carlos – Leme e Ibitinga – Botucatu a leste; do rio Paranapanema a sudeste e Rio Piquiri ao sul (RICCOMINI, 1997).

2.3 ÁREA DE ESTUDO

Restringiu-se a área de estudo às Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe em decorrência destas formações estarem mais próximas da cidade de Presidente Prudente, onde está localizado o Laboratório de Microscopia com sede na FCT/DFQB - UNESP, Presidente Prudente - SP. Outro motivo para se ter escolhido estas formações geológicas se deve ao grande número de amostras coletadas pelo Prof. Dr. Manoel C. T. F. de Godoy nestas localidades. Tais amostras foram obtidas de poços perfurados pela SABESP na década de 1990. Além de amostras em profundidade, foram coletadas amostras na superfície destas formações, a fim de reunir uma quantidade suficiente de amostras para análise. A coleta em superfície foi realizada com o apoio do Prof. Dr. Manoel C. T. F. de Godoy, do Departamento de Geografia da FCT - UNESP, Presidente Prudente - SP e do Prof. Dr. Peter Hackspacher, do Instituto de Geociências da UNESP, Rio Claro - SP, ambos geólogos.

2.3.1 Formação Presidente Prudente

A Formação Presidente Prudente foi delimitada por Fernandes e Coimbra (2000) como unidade de ocorrência na parte superior de interflúvios dos rios do Peixe e Paranapanema (região de Presidente Prudente - SP), bem como dos rios Aguapeí e do Peixe (espigão Osvaldo Cruz-Adamantina-Pacaembu - SP). Corresponde à parte restrita da *litofácies* Taciba, de Soares *et al.* (1980).

Através de perfurações de poços tubulares na região de Presidente Prudente foi possível estimar a espessura máxima preservada em torno de 50 m. Os mesmos autores indicam como seções de referência dessa unidade três cortes de rodovia, um localizado a leste-sudeste (ESE) de Presidente Prudente - SP, no km 442,4 da SP425 e outros dois complementares na parte sul da cidade, no cruzamento entre as rodovias BR374 e SP425 e no km 456,4 da SP425.

Abaixo da Formação Presidente Prudente aflora a Formação Vale do Rio do Peixe, sendo o contato entre elas interdigitado, com gradual instalação da primeira (depósitos fluviais) sobre a segunda (depósitos eólicos). Ela é constituída principalmente por arenitos muito finos a finos (dominantes) de coloração marrom-avermelhado claro a bege (seleção moderada a má, matriz lamítica) e lamitos arenosos.

Sua deposição se deu em sistema fluvial meandrante arenoso fino, de canais rasos com sinuosidade relativamente baixa. A unidade é composta pela alternância de depósitos de preenchimento de canais amplos e rasos, com depósitos de planícies de inundação/arrombamento de diques marginais (*crevasse*) (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

2.3.2 Formação Vale do Rio do Peixe

A Formação Vale do Rio do Peixe é a unidade de maior extensão da parte leste da Bacia Bauru e constitui o substrato de boa parte do oeste de São Paulo e do Triângulo Mineiro. Sua espessura máxima foi medida em poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea e corresponde à cerca de 100 m (FERNANDES, 2004).

Assenta-se diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral. Passa gradualmente, a oeste e sudoeste, para unidades do Grupo Caiuá. A passagem do topo é gradual para o Membro Echaporã (Formação Marília), com contato marcado por diastemas com as Formações Presidente Prudente e São José do Rio Preto (FERNANDES, 2004).

A seção-tipo principal foi descrita no *corte* do km 87 da rodovia SP457 e seções complementares nos cortes de rodovia nas imediações de: Mirante do Paranapanema (rodovia SP272, km 41,8); Monte Aprazível (ombreira da represa Lavínio Luchesi); Andradina (SP300, ~ km 618); Olímpia (saída para Bebedouro), em São Paulo - SP; Santo Inácio - PR (PR317, km 83,6); Campina Verde - MG (MG497, km 120,7) e Bariri - SP (rodovia Piacatu-Gabriel Monteiro, 2 km de Piacatu) (FERNANDES, 2004).

É composta por arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, marrom-claro rosado a alaranjado, de seleção moderada a boa. As intercalações de estratos siltosos são mais frequentes na parte ocidental e norte da área. A sudoeste, a Formação Vale do Rio do Peixe transiciona para unidades de ambiente desértico interior (Santo Anastácio, Goio Erê e Rio Paraná), com aumento da frequência e do porte das intercalações com estratificação cruzada de origem eólica. Na borda leste, a formação exhibe maior imaturidade textural e granulação grossa (arenitos finos a médios), embora mantenha suas características básicas (geometria e estrutura sedimentares) (FERNANDES, 2004).

Seus depósitos são essencialmente eólicos, acumulados em extensas áreas planas, na forma de lençóis de areia e campos de dunas baixas. Provavelmente, os lamitos foram fixados em depressões, em corpos aquosos rasos e efêmeros, criados em períodos de elevação do nível freático. No norte do Paraná, há ocorrência restrita de conglomerados e arenitos conglomeráticos imaturos, ricos em ventifactos, denominada de Litofácies Mairá (FERNANDES, 1992) interpretados por Fernandes (1998) como depósitos de deflação retrabalhados por enxurradas de deserto.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ZIRCÃO

Trata-se de um mineral do Grupo dos nesossilicatos ou ortossilicatos (ZrSiO_4). Usualmente apresenta sistema cristalográfico tetragonal (FIG. 3) consistindo de tetraedros SiO_4 e octaedros Zr_2O_8 , cuja composição estequiométrica padrão é de 67,2%p de ZrO_2 e 32,8%p de SiO_2 (HOSKIN; SCHALTEGGER, 2003, p. 32). De acordo com Dana (1969), o zircão é um mineral acessório, amplamente distribuído em rochas ígneas, especialmente em granitos, granodioritos, sienitos e monzonitos e comumente em pegmatitos, xistos, gnaisses e quartzitos. Por conta de sua resistência à desintegração mecânica e química, é comumente encontrado como mineral pesado em arenitos (WAGNER; HAUTE, 1992, p. 185).

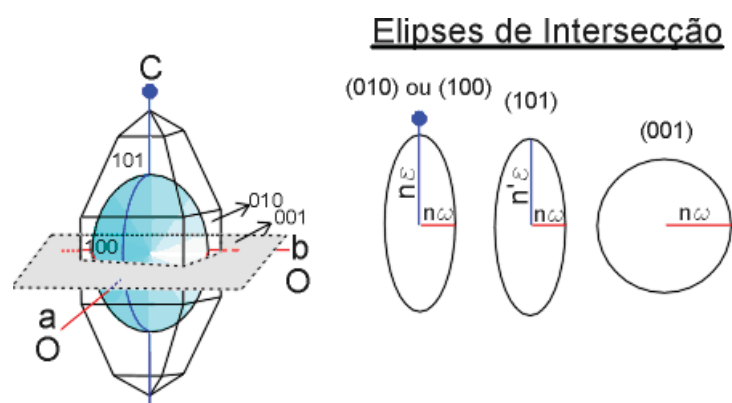


FIGURA 3 – Representação do sistema cristalino tetragonal do zircão. Os parâmetros n_{ϵ} (n'_{ϵ}) e n_{ω} são os índices de refração dos raios extraordinário e ordinário. O cristal de zircão exibe indicatriz uniaxial positiva em seu interior ($n_{\epsilon} > n_{\omega}$). Fonte: <www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/mosinaluni.html>

Seus grãos podem ser arredondados, ovóides e prismáticos, as vezes terminados ou não em pirâmides e bordas arredondadas, límpidos ou com pequenas inclusões (GASPARETTO; SANTOS, 2005). Possui brilho adamantinado, usualmente é translúcido, em alguns casos transparente. Apresenta coloração castanha, cinza, verde, vermelha e também incolor (DANA, 1969).

3.2 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Uma vez que as amostras analisadas foram coletadas no Grupo Bauru, que é uma bacia sedimentar, optou-se pelo MDE para determinar suas respectivas idades. O Laboratório de Microscopia conta com toda a infraestrutura para a datação dos traços de fissão, bem como o estudo da história térmica.

A análise dos traços de fissão é feita em um microscópio ótico Carl ZEISS[®], FIG. 4, com aumento de 150X na objetiva e 10X na ocular, ligado a um computador por uma câmera digitalizadora AxioCam MRc5 que juntamente com o software AxioVision e a mesa automática com movimentos de translação nos eixos x, y e z permitem localizar os grãos e suas respectivas imagens especulares na mica.

As densidades superficiais de traços espontâneos e induzidos são obtidas após a calibração do microscópio. Esta calibração é feita considerando-se quatro pontos referenciais: dois deles são furos nos teflons e nas suas respectivas micas e os outros dois são grãos de zircão de fácil identificação e cuja réplica esteja bem nítida na mica (ver 3.2.6). Estes referenciais são inseridos no programa anteriormente citado e com isso torna-se possível a contagem dos traços de fissão em áreas correlatas do grão e da mica.



FIGURA 4 – Microscópio ótico Carl ZEISS®.

3.2.1 Coleta de amostras

Após várias expedições ao campo realizadas pelo Grupo de Pesquisa DETRANES, um montante de 120 amostras foram obtidas. Desse total, 42 foram utilizadas para a realização deste trabalho: 27 delas foram coletadas em poços tubulares (identificadas pela profundidade) com o apoio do Prof. Dr. Manoel C. T. F. de Godoy. As demais foram coletadas na superfície de diferentes afloramentos com o apoio do Prof. Dr. Manoel C. T. F. de Godoy, do Prof. Carlos Alberto Tello Sáenz e do Prof. Dr. Peter Hackspacher. O processo de separação de minerais da rocha-mãe foi realizado no IGCE - UNESP, Rio Claro - SP, sob a supervisão do Prof. Dr. Peter Hackspacher e o procedimento de montagem, lixamento/polimento e ataque químico no Laboratório de Apoio à Microscopia, FCT/DFQB - UNESP, Presidente Prudente - SP.

As áreas demarcadas no mapa geológico, FIG. 5, indicam a localização em que as amostras de zircão foram coletadas, sendo que algumas delas apresentam a mesma coordenada, mas, profundidades diferentes (indica-se no mapa aquela com menor

profundidade). As coordenadas em UTM, bem como a profundidade em que tais amostras foram coletadas estão indicadas na TAB. 1. Amostras cuja profundidade não é informada foram coletadas em afloramentos que atingem a superfície.

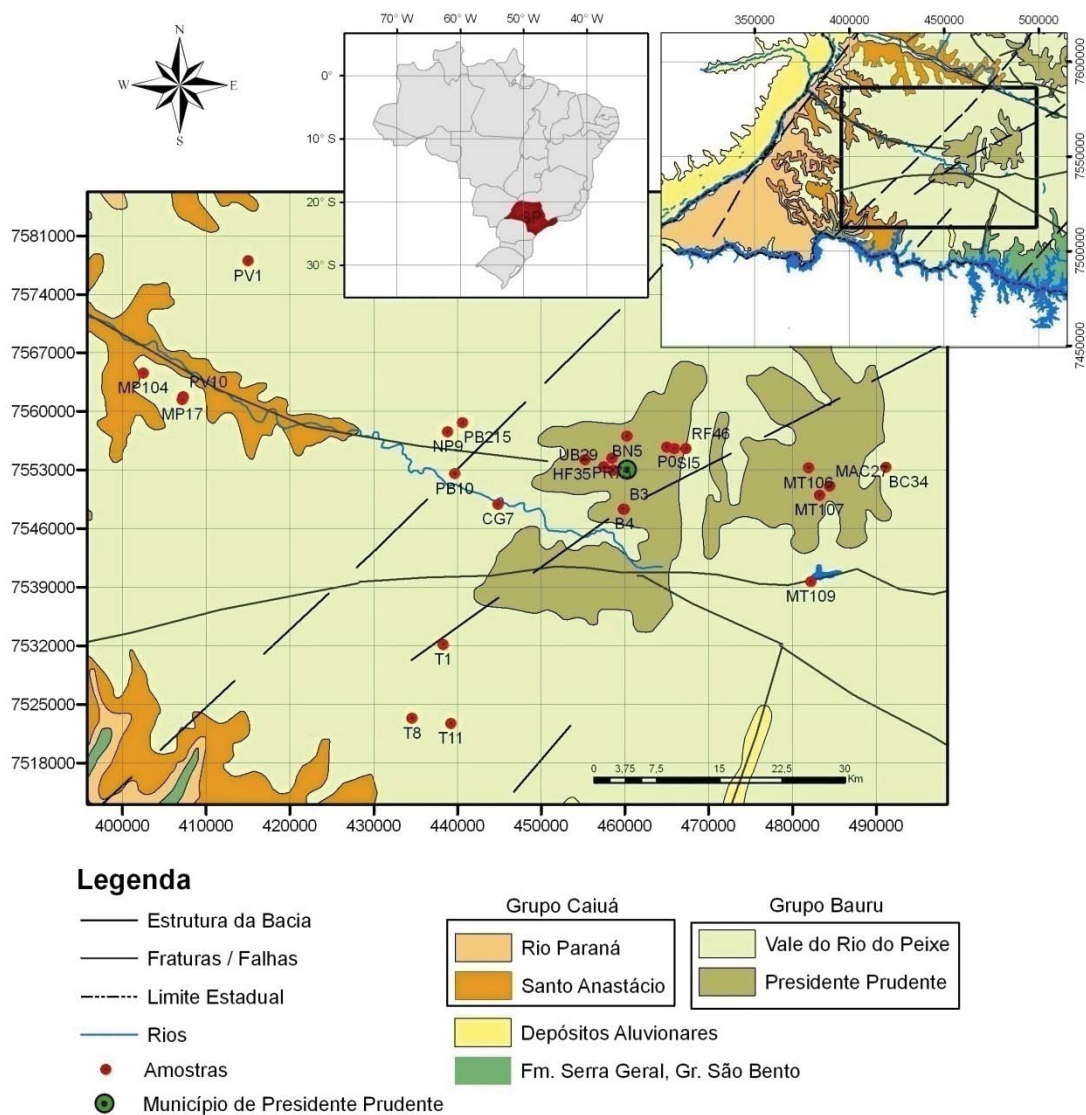


FIGURA 5 – Distribuição das amostras localizadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe.

TABELA 1
Amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Amostra	Local de coleta	Formação Geológica	Coordenadas (UTM)		Profund.
			N	E	
P0	Estádio Prudentão Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7555753	465030	0-20 m
P20	Estádio Prudentão Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7555753	465030	20-40 m
P73	Estádio Prudentão Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7555753	465030	73-79,5 m
P90	Estádio Prudentão Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7555753	465030	90-100 m
COB31	Centro Olímpico Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7553198	458263	140 m
UB29	Unesp Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7553700	457930	135 m
BN5	Bairro Brasil Novo Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7557022	460247	510 m ⁽¹⁾
HF35	Horto Florestal Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7554230	455295	35 m
HF50	Horto Florestal Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7554230	455295	50-60 m
HF105	Horto Florestal Presidente Prudente - SP	Presidente Prudente	7554230	455295	105-110 m
SI5	Fazenda Santa Inês - SP	Presidente Prudente	7555576	465980	5-20 m
SI25	Fazenda Santa Inês - SP	Presidente Prudente	7555576	465980	25 m
SI40	Fazenda Santa Inês - SP	Presidente Prudente	7555576	465980	40-60 m
SI80	Fazenda Santa Inês - SP	Presidente Prudente	7555576	465980	80-100 m
SI135	Fazenda Santa Inês - SP	Presidente Prudente	7555576	465980	135 m
PR75	Posto Real/Suninga	Presidente Prudente	7553855	458613	75-80 m
B3	Pirapozinho - SP	Presidente Prudente	7548335	459877	---
B4	Pirapozinho - SP	Presidente Prudente	7548335	459906	---
RF46	Regente Feijó - SP	Presidente Prudente	7555571	467320	46,3 m
RF120	Regente Feijó - SP	Presidente Prudente	7555571	467320	120,5 m

¹ Este valor se refere a altitude.

TABELA 1
Amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Amostra	Local de coleta	Formação Geológica	Coordenadas (UTM)		Profund.
			N	E	
RF136	Regente Feijó - SP	Presidente Prudente	7555571	467320	136,3 m
RF138	Regente Feijó - SP	Presidente Prudente	7555571	467320	138,85 m
MAC27	Martinópolis - SP	Presidente Prudente	7551100	484500	135 m
MT106	Martinópolis - SP	Presidente Prudente	7553240	481990	---
MT107	Martinópolis - SP	Presidente Prudente	7550000	483300	---
MT109	Martinópolis - SP	Vale do Rio do Peixe	7539650	482260	---
PB10	Presidente Bernardes - SP	Vale do Rio do Peixe	7552540	439740	---
PB215	Presidente Bernardes - SP	Vale do Rio do Peixe	7558640	440663	---
CG7	Coronel Goulart Álvares Machado - SP	Vale do Rio do Peixe	7548913	444898	379 m ⁽¹⁾
NP9	Nova Pátria Presidente Bernardes - SP	Vale do Rio do Peixe	7557584	438871	358 m ⁽²⁾
BC34	Bairro Beto Carreiro Presidente Prudente - SP	Vale do Rio do Peixe	7553300	491200	80 m
MP17	Marabá Paulista - SP	Vale do Rio do Peixe	7561396	407189	---
MP104	Marabá Paulista - SP	Vale do Rio do Peixe	7564550	402510	---
T1	Tarabí - SP	Vale do Rio do Peixe	7532160	438330	---
T8	Córrego da Água Boa - Jaraval Tarabí - SP	Vale do Rio do Peixe	7523330	434640	---
T9	Tarabí - SP	Vale do Rio do Peixe	7523330	434640	---
T11	Fazenda Concórdia Tarabí - SP	Vale do Rio do Peixe	7522750	439250	---
PV1	Presidente Venceslau - SP	Vale do Rio do Peixe	7577970	415064	---
PV4	Presidente Venceslau - SP	Vale do Rio do Peixe	7577970	415064	---
PV10	Presidente Venceslau - SP	Vale do Rio do Peixe	7561723	407322	---

¹ Este valor se refere a altitude.

² Este valor se refere a altitude.

TABELA 1
Amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Conclusão)

Amostra	Local de coleta	Formação Geológica	Coordenadas (UTM)		Profund.
			N	E	
PV12	Presidente Venceslau - SP	Vale do Rio do Peixe	7561723	407322	---
PV14	Presidente Venceslau - SP	Vale do Rio do Peixe	7561729	407322	---

3.2.2 Separação de minerais

A separação de minerais dos blocos de rocha coletados no campo envolve várias etapas, como ilustrado na FIG. 6. As etapas laboratoriais de seleção de grãos, montagem, lixamento/polimento e ataque químico descritas nas seções 3.2.3-3.2.5 seguiram o procedimento desenvolvido por Tagami *et al.* (1988), incluindo algumas adaptações feitas pelo Grupo Detranes para atender as especificidades das amostras e dos equipamentos disponíveis.

A primeira etapa a ser realizada é a britagem. Com uma marreta quebra-se a rocha até obter frações de ~ 5cm de dimensão (britagem manual). Na sequência, a amostra é triturada utilizando um britador Jaw-crusher para reduzir a amostra à pó. O pó de rocha (ou grãos) é gentilmente lavado com água e peneirado usando peneiras com granulometria de 53 e 180 μm .

Após o peneiramento são obtidos grãos com diâmetro maior que 180 μm , com diâmetro entre 53 e 180 μm e com diâmetro inferior a 53 μm . A porção de grãos com diâmetro entre 53 e 180 μm é passada em uma batéia automática, onde regula-se a velocidade de rotação, inclinação e fluxo de água. A batéia realiza uma separação preliminar entre minerais leves e pesados, estando o zircão entre estes últimos.

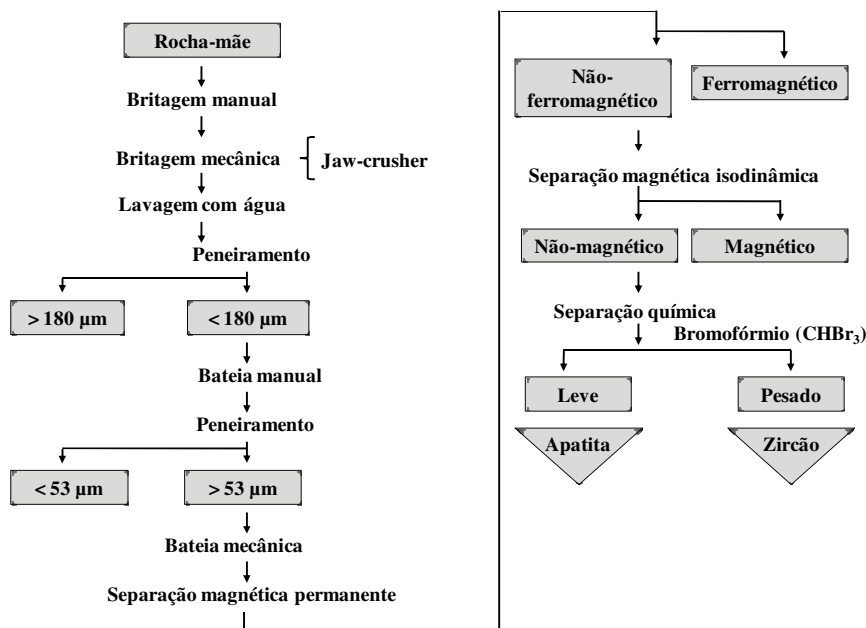


FIGURA 6 – Fluxograma das etapas de separação de minerais.

O próximo passo é a separação magnética, que separa os grãos em duas frações (ferromagnéticos e não-ferromagnéticos). A fração não-ferromagnética é processada usando um separador magnético isodinâmico (Frantz Modelo LB-1 com 20° de avanço lateral e 20° de avanço para frente). O separador isodinâmico separa os minerais em intervalos diferentes de susceptibilidade magnética. Cada mineral possui uma corrente elétrica característica neste separador – 1,5 A para o zircão (dado interno de laboratório). A fração não-magnética que contém os minerais desejáveis é então submetida a técnica de separação química.

O reagente químico ideal para uso em separação de minerais deve ser um líquido que na temperatura ambiente apresente densidade intermediária entre as das espécies minerais as quais se deseja separar, de maneira que os minerais com menor densidade flutuem no líquido. Este líquido deve ter baixo custo, ser atóxico, tampouco corrosivo, quimicamente inerte, sem odor forte, de fácil diluição e passível de recuperação (CAMPOS; LUZ; CARVALHO, 2004, p. 273). Um dos que melhor atende às exigências mencionadas é o

bromofórmio ($\rho = 2,87 \text{ g/cm}^3$), ideal para a separação de zircão, uma vez que este mineral possui densidade superior à do bromofórmio.

A fração não-magnética e o bromofórmio são misturados em um béquer na proporção de 1:4 em volume, respectivamente. Dessa maneira, os minerais mais pesados, como o zircão e a apatita, afundam no béquer, enquanto os minerais mais leves, como feldspato e quartzo, flutuam no bromofórmio. A fração leve é derramada em um funil contendo filtro de papel. Este processo é repetido várias vezes até que a maioria dos materiais mais leves sejam separados.

Os materiais assim obtidos são usualmente denominados concentrados. Este processo não elimina totalmente os minerais que não são zircão do seu concentrado. Isso nos leva a ter que efetuar uma seleção minuciosa dos grãos desse mineral mediante o reconhecimento de algumas de suas características óticas (cor, brilho, transparência) e estrutural (forma³).

3.2.3 Montagem para grãos de zircão

Uma pequena fração de grãos é espalhada em uma placa de *petri* e 100 grãos, com aproximadamente o mesmo tamanho e forma são selecionados, um a um, usando uma ponta fina através de uma lupa estereoscópica Carl Zeiss Jena[®], modelo Citoval 2 (10 a 100X de aumento ocular). Estes 100 grãos são ordenados em forma de matrix sobre uma lâmina de

³ Aparência externa geral de um cristal. Assim, uma forma consiste em um grupo de faces do cristal, todas tendo a mesma relação para com os elementos de simetria e exibindo as mesmas propriedades físicas e químicas (DANA, 1969, p. 28)

alumínio previamente untada com vaselina e encapada com folha de alumínio, de tal forma que, o eixo cristalográfico-*c* de todos os grãos estejam em uma mesma direção⁴ (FIG. 7B).

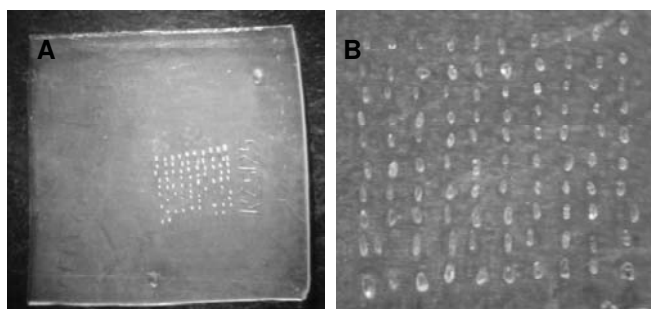


FIGURA 7 – A) Imagem dos grãos de zircão montados no teflon PFA[®] (dimensões do pedaço de teflon 1x1 cm). B) Detalhes da matrix 10x10 dos mesmos grãos de zircão organizados ao longo do eixo-*c*.

Na sequência, a lâmina contendo os grãos é colocada em uma chapa térmica⁵. Espera-se o sistema atingir a temperatura de 315°C e então, um pedaço de teflon PFA[®] com 0,50 mm de espessura e área de ~ 1 cm², é segurado verticalmente usando uma pinça, e aquecido por ~ 30s até que a borda do teflon que toca a lâmina derreta um pouco e ele permaneça vertical por si mesmo. Então, deixa-se o teflon cair lentamente. Uma segunda lâmina de alumínio pré-aquecida a 315°C é levemente pressionada sobre o teflon por cerca de 13 s (FIG. 8C), e desse modo os grãos de zircão se fixam no teflon. O arranjo completo é removido da chapa térmica e mantido em uma superfície plana até atingir a temperatura ambiente. Após o resfriamento, escreve-se o nome da amostra no verso do teflon. Na sequência a amostra é lixada e polida.

⁴ O conteúdo de urânio pode variar nas outras faces cristalográficas.

⁵ O efeito do encurtamento dos traços somente se torna significativo na temperatura de 315°C em tempos da ordem de milhões de anos.



FIGURA 8 – Imagens das etapas de prensagem dos grãos no teflon PFA[®]: A) Lâmina de alumínio com os grãos de zircão na chapa térmica; B) Pedaco de teflon PFA[®] caindo por gravidade sobre os grãos de zircão; C) Segunda lâmina de alumínio sendo pressionada sobre a primeira para fixar os grãos de zircão no teflon PFA[®].

3.2.4 Lixamento e polimento

Devido à espessura do teflon, torna-se conveniente fixar a face do teflon que não contém os grãos em um bloco cilíndrico e transparente. Para utilizar as superfícies internas dos minerais no MTF, é essencial remover certa espessura dos grãos para atingir a geometria 4π . De acordo com Tagami *et al.* (1988, p. 8), essa espessura corresponde à metade do comprimento do traço atacado, que varia para cada mineral, sendo de $\sim 6 \mu\text{m}$ para o zircão (KRISHNASWAMI *et al.*, 1974 *apud* TAGAMI *et al.*, 1988).

O lixamento consiste em três etapas: (1) lixamento manual usando lixa 1200; (2) lixamento automático usando lixa 2400 por 4 min a 70 rpm e (3) lixamento automático usando lixa 4000 por 7 min a 70 rpm. Estes procedimentos são realizados com uma massa de 400 g acima da montagem. Deve-se monitorar o grau de lixamento em cada etapa com o intuito de evitar um desgaste total dos grãos.

Após o lixamento, a amostra é polida com pasta (ou solução) de diamante com granulometria de $1 \text{ e } 1/4 \mu\text{m}$, por 6 min a 70 rpm e durante 10 min a 70 rpm, respectivamente. Concluído o lixamento e polimento, as montagens são removidas do bloco transparente e estão prontas para serem atacadas.

3.2.5 Ataque químico dos traços espontâneos

Os traços de fissão em minerais se tornam visíveis ao microscópio ótico por serem mais susceptíveis ou reativos⁶ ao ataque químico que o corpo do mineral. A alta reatividade dos traços de fissão pode ser atribuída às menores energias de dissociação dos átomos ao redor dos traços de fissão, ou, em outras palavras, em decorrência da distância média entre um átomo e outro ser maior. Conforme Garver (2005), o zircão é atacado com uma mistura *eutectic* de NaOH:KOH, razão de (1:1) em volume, em um forno aquecido a $(225 \pm 2)^\circ\text{C}$ por períodos que variam de 4 a 72 h.

O critério utilizado para atingir o tempo ideal de ataque é fazê-lo até que o diâmetro dos traços superficiais atinja $\sim 2 \mu\text{m}$ (YAMADA *et al.*, 1995). Segundo Tagami *et al.* (1996, p. 150), este não é um critério muito fácil de ser aplicado na prática, pois grãos individuais tendem a possuir diferentes taxas de ataque químico, provavelmente, devido à variações de idade e/ou à flutuações do conteúdo de urânio. O melhor a fazer nestas circunstâncias é monitorar o tempo de ataque até que a maioria dos traços confinados atinjam $\sim 1 \mu\text{m}$ de espessura e avaliar a densidade dos traços superficiais.

O ataque químico é realizado da seguinte maneira: coloca-se a mistura de NaOH:KOH em um béquer de teflon de forma cilíndrica com tampa e paredes largas em um forno pré-aquecido a $(225 \pm 2)^\circ\text{C}$, para que a mistura se liquefaça. Após a liquefação completa da mistura sólida as montagens de zircão são colocadas no béquer. Deve-se tomar o cuidado de colocar a superfície do teflon onde os grãos estão incrustados diretamente em contato com a mistura *eutectic*. Decorrido o tempo ideal de ataque, as amostras são removidas do béquer e neutralizadas imergindo-as numa solução de HCl (5%) (TAGAMI *et al.*, 1988, p.

⁶ Átomos são removidos através da ação do reagente químico. Isto acontece devido a taxa de corrosão do ataque na região do traço de fissão ser muito maior que a taxa de corrosão do ataque químico no corpo do mineral.

11). A mistura é agitada em um banho de ultrassom durante 15-20 min. Posteriormente, as amostras são lavadas com água destilada para remover o excesso de ácido clorídrico.

3.2.6 Arranjo das amostras para irradiação e ataque químico dos traços induzidos

No MDE as amostras de zircão são justapostas a um detector externo. Utiliza-se a mica muscovita como detector pelo fato desse mineral conter baixa quantidade de urânio natural e por possuir característica de registro de traços similar à dos minerais a serem datados (WAGNER; HAUTE, 1992, p. 77). Mesmo sabendo do baixo teor de urânio natural da mica muscovita, um pré-ataque é feito com uma solução de HF (48%) a 15°C durante 90 min. Isso evita que traços que fissionaram naturalmente na mica interfiram na densidade superficial de traços induzidos, superestimando o seu valor real. A neutralização do ataque químico padrão da mica muscovita é feita imergindo-a numa solução de bicarbonato de sódio saturada e, posteriormente, lavando-a com água destilada.

As folhas de mica pré-atacadas são cortadas em pedaços com dimensões iguais às das montagens de zircão, identificadas, justapostas às amostras de zircão e encapadas com um pedaço de folha de alumínio. Depois de encapadas, as montagens são perfuradas em pontos estratégicos – em um dos vértices e no meio de uma aresta oposta (FIG. 9B) – utilizando uma ponta-fina, com o intuito de facilitar a identificação exata da orientação da imagem especular do grão na mica com relação ao teflon. Os vidros dopados com urânio e tório são submetidos ao mesmo procedimento.

Na sequência as amostras são empilhadas (FIG. 10), empacotadas em um tubo apropriado e encaminhadas ao reator nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e

Nucleares (IPEN) em São Paulo para serem irradiadas. A fluência nominal de nêutrons térmicos utilizada para a irradiação do zircão é geralmente de 5×10^{14} nêutrons/cm².

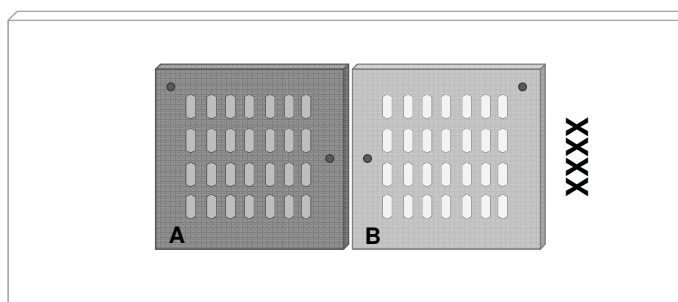


FIGURA 9 – Montagem do teflon e da mica na lâmina de vidro. A) Perfurações no teflon localizadas em um dos vértices e no meio de uma aresta oposta; B) Perfurações na mica especularmente simétricas.

Os traços induzidos são registrados na mica durante a irradiação e para torná-los visíveis ao microscópio óptico é necessário atacá-las novamente por mais 90 min. Feito isso, as montagens de zircão e suas correspondentes micas são fixadas em uma lâmina de vidro (FIG. 9), de tal forma que a primeira fileira de grãos, tanto no teflon quanto na mica, fique alinhada. Esse cuidado facilita a calibração das amostras no microscópio.

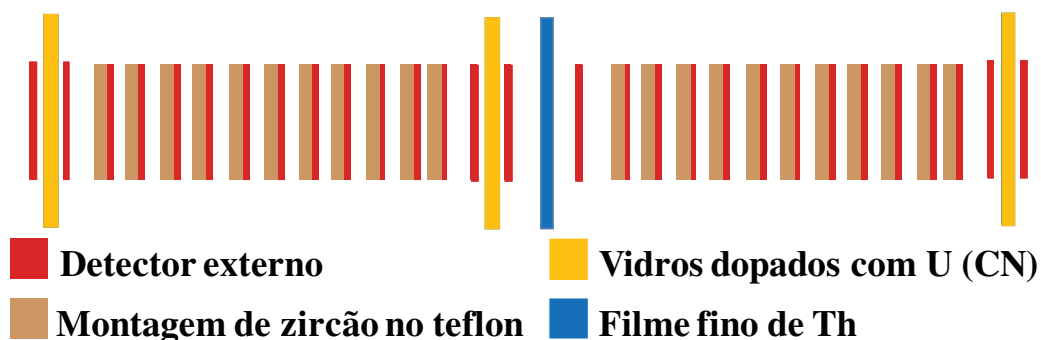


FIGURA 10 – Empacotamento das amostras para irradiação.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES POR ESPECTROSCOPIA E MICROSCOPIA

3.3.1 Microscopia ótica e eletrônica

A principal função de qualquer microscópio é reproduzir para o olho humano uma imagem ampliada e detalhada de objetos suficientemente pequenos para serem visíveis a olho nu. O método mais usual é a microscopia ótica, que utiliza luz visível ou ultravioleta como fonte de iluminação, seguida pela microscopia eletrônica (DEDAVID; GOMES; MACHADO; 2007, p. 9; SKOOG; HOLLER; NIEMAN; 2002, p. 488).

A diferença básica entre os microscópios ótico e eletrônico é que neste último a fonte de iluminação não é uma fonte de luz UV-*vis*, mas sim, um feixe de elétrons. Por ter um poder de resolução potencialmente alto, o microscópio eletrônico de varredura (MEV) é, atualmente, um dos instrumentos mais versáteis para a observação e análise de características microestruturais (inclusões, defeitos, fraturas, fases e etc) e composição química de objetos ou superfícies sólidas (ZHOU; WANG, 2007, p. 1, LYMAN *et al.*, 1990, p. 61).

Para obter uma imagem ampliada em milhares de vezes no MEV, a superfície de uma amostra é varrida várias vezes por um feixe de elétrons energéticos finamente focalizado e um detector capta o sinal produzido pela interação do feixe de elétrons com o material analisado. Vários tipos de sinais são produzidos nesse processo. Entre eles destacam-se: elétrons secundários, elétrons retroespalhados e emissão de raios X.

Quando o feixe de elétrons primários⁷ atinge a superfície da amostra, alguns elétrons são ejetados dos átomos da mesma. Estes são os elétrons secundários.

⁷ Provenientes da fonte emissora de elétrons.

Eventualmente, um elétron proveniente de uma camada eletrônica superior pode decair para ocupar a vacância deixada pelo elétron ejetado e, quando isso ocorre, fótons de raios X são emitidos. Além disso, alguns elétrons atingem a superfície e são refletidos. Estes são chamados elétrons retroespalhados.

De acordo com Zhou e Wang (2007, p. 2-3), os sinais provenientes dos elétrons secundários e retroespalhados são os de maior interesse para a formação da imagem. Para Goldstein *et al.* (2003, p. 1-2, 297, 323) a identificação qualitativa e as informações quantitativas dos elementos presentes em uma amostra, podem ser obtidas através da análise dos raios X emitidos pelo material como resultado do bombardeamento de elétrons⁸.

Um detector de raios X, chamado EDS (acrônimo de *energy dispersive X-ray spectrometer*), deve ser acoplado ao MEV para analisar esse sinal específico. O seu papel é decodificar a energia e a intensidade de cada raio X emitido. Uma vez que a transição eletrônica que gera um raio X é característica de um dado elemento, a detecção e a análise da distribuição de raios X emitidos permite identificar e quantificar os elementos constituintes da amostra.

A técnica de MEV/EDS tem sido amplamente empregada na caracterização de materiais por ser rápida e não-destrutiva. Segundo Moura (2011), o MEV/EDS tem permitido a investigação de feições superficiais, que é uma facilidade importante, pois torna possível a análise de defeitos estruturais resultantes da atuação de diversos processos no material – incluindo diagênese (deformação e metamorfismo) e processos resultantes da exposição do material a agentes atmosféricos (intemperismo).

As análises químicas de amostras do Grupo Bauru foram obtidas no Instituto de Geociências da USP, utilizando um microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 440I

⁸ Para um melhor entendimento das respostas e sinais provenientes dos elétrons retroespalhados, elétrons secundários e emissão de raios X emitidos por um determinado material recomenda-se GOLDSTEIN *et al.* Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: a text for biologists, materials sciences, and geologists. 2003, 586 p.

acoplado a um detector EDS, resolução nominal de 3 nm para alto vácuo, voltagem de aceleração de 15 kV, alcance de trabalho de ~ 16,5 mm, feixe de corrente de 10 pA e vácuo de 10^{-5} torr. As imagens foram obtidas com um aumento nominal de 6000X e /ou 6500X.

3.3.2 Espectroscopia Raman

Esta técnica foi descoberta experimentalmente em 1928, pelo físico indiano C. V. Raman (1888-1970) e seu aluno K. S. Khishanm (1898-1961) durante tentativas de encontrar um análogo ótico ao efeito Compton (SINGH, 2002 *apud* NAKAGOMI, 2008, p. 40). Na ocasião, eles observaram o efeito – predito teoricamente por Adolf Smekal em 1923 – do espalhamento⁹ de luz por moléculas com mudança de frequência através da alteração da cor dessa radiação espalhada.

Os espectros Raman são obtidos irradiando-se uma amostra com um laser de radiação monocromática ultravioleta, visível ou infravermelho próximo. Analisando-se a radiação espalhada, verifica-se a presença de luz com frequência idêntica à da luz incidente ν_{ex} (espalhamento Rayleigh) e pares de novas frequências do tipo $\nu_{ex} \pm \nu_w$, (espalhamento Raman), sendo ν_w uma frequência vibracional (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002, p. 385-387).

O diagrama de níveis de energia na FIG. 11 mostra um quadro qualitativo das origens do espalhamento Rayleigh e Raman. A seta grossa mais à esquerda mostra a variação de energia de uma molécula quando ela interage com os fótons da radiação incidente. A segunda seta, mais fina, mostra o tipo de variação que ocorreria se a molécula estivesse no

⁹ O espalhamento se refere à luz defletida da direção original da luz incidente.

primeiro nível vibracional do estado eletrônico fundamental. Por ser um processo não-quantizado, o estado energético final da molécula após interagir com o campo elétrico do feixe incidente é dito virtual (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002, p. 386).

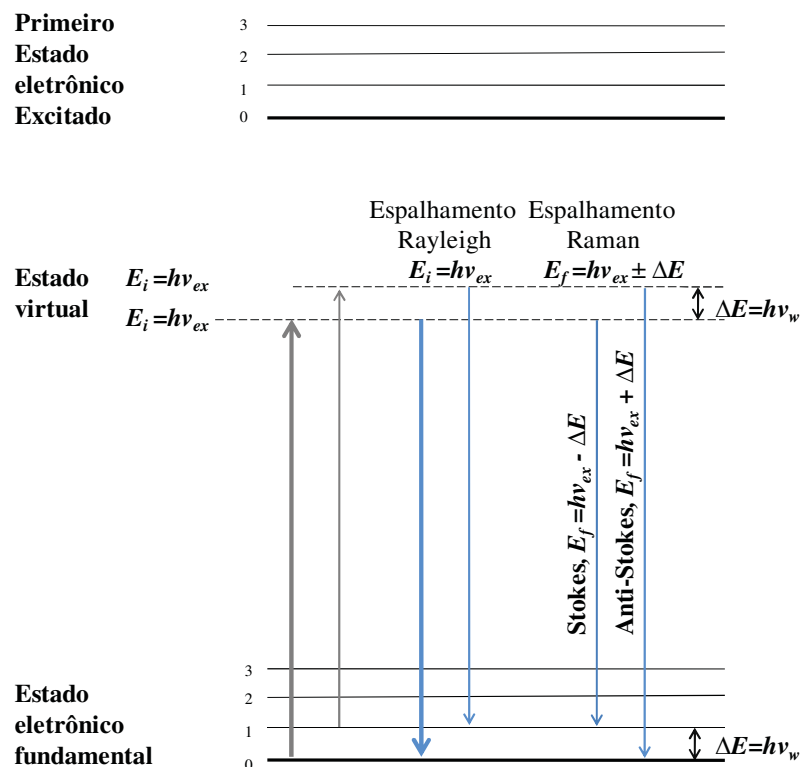


FIGURA 11 – Diagrama de níveis de energia mostrando as origens dos espalhamentos Rayleigh e Raman. Os números 0, 1, 2 e 3 se referem aos níveis vibracionais. As setas mais largas indicam a maior probabilidade de ocorrência do espalhamento Rayleigh, porque o evento mais provável é a transferência de energia para moléculas no estado fundamental e a reemissão pelo retorno dessas moléculas ao estado fundamental. As setas mais à direita representam os espalhamentos Raman (*Stokes* e *anti-Stokes*) e as setas pontilhadas representam estados intermediários (ou virtuais) para onde as moléculas vão após sofrer colisão com um fóton de energia. Modificado de: SKOOG; HOLLER; NIEMAN. **Princípios de análise instrumental**. 2002, p. 387.

O conjunto intermediário de setas ilustra as variações que produzem o espalhamento Rayleigh. Como não há perda ou ganho de energia nesse processo, as colisões entre fótons e moléculas são ditas elásticas. Finalmente, as variações que produzem os

espalhamentos Raman estão representadas à direita. O espalhamento inelástico da radiação é de dois tipos: espalhamento *Stokes* e *anti-Stokes*. Se a molécula ganha energia, a energia do fóton espalhado é menor que a do fóton incidente, originando as linhas *Stokes*. Mas, se a molécula perde energia durante o processo, a energia do fóton espalhado é maior que a do fóton incidente, originando as linhas *anti-Stokes*.

A diferença de energia entre o fóton espalhado e o fóton incidente, ΔE , é proporcional à energia dos níveis vibracionais (COULTHUP *et al.*, 1990, p. 70). Esses deslocamentos em comprimento de onda, ν_w , correspondem à região do IR (infrared) e dependem das ligações químicas das moléculas responsáveis pelo espalhamento (WILLIAMS, 1995, p. 291). Portanto, o espalhamento Raman oferece um método simples de medir frequências IR a partir de uma fonte de radiação UV-*vis* e NIR.

Os espectros Raman foram coletados utilizando um espectrômetro micro-Raman Renishaw modelo in-Via equipado com: detector CCD (do inglês *charge-coupled devices*), microscópio Leica DMLM, lentes de 5X, 25X e 50X de magnificação, laser de comprimento de onda de 514,5 nm, base motorizada para suporte e translação da amostra nos eixos x, y e z com passo de 0,1 μm , rede de difração de 1800 ranhuras/mm e polarizadores para luz incidente e espalhada. A aquisição e tratamento de dados foram feitos utilizando o software Renishaw Wire 3.2. As medidas foram realizadas no laboratório de pesquisa Materials and Surface Science Group, University of Windsor, Ontário - Canadá, sob co-orientação do Prof. Dr. Ricardo F. Aroca.

Depois de calibrar o espectrômetro Raman utilizando uma amostra padrão de sílica com frequência Raman centralizada em $520 \pm 1 \text{ cm}^{-1}$, as imagens óticas dos grãos de zircão foram obtidas em cada etapa de coleta de espectros, ou seja, antes e após o ataque químico descrito na seção 3.2.5. Após a aquisição das imagens grão a grão, mapeou-se os pontos na superfície dos grãos de onde os espectros foram coletados usando laser de

comprimento de onda de 514,5 nm. Vale ressaltar que a escolha desses pontos foi totalmente arbitrária. O mesmo procedimento foi efetuado após o ataque químico padrão do zircão com duração de 18h, tendo-se selecionado cuidadosamente os mesmos pontos escolhidos antes do ataque químico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DE MICROSCOPIA ÓTICA E RAMAN

As imagens óticas são obtidas para classificar os grãos de zircão e os espectros Raman para analisar se o grão, ou uma área específica dele, apresenta espectro característico do zircão. A classificação dos grãos é feita com base na revelação de traços de fissão. Portanto, somente é possível identificá-los através de análises óticas após o ataque químico deste mineral. De acordo com Dias (2008), há quatro tipos de grão de zircão. São eles: *homogêneo, heterogêneo, híbrido e anômalo*.

Os grãos *homogêneos*, ao serem atacados quimicamente, apresentam uma distribuição de traços espontâneos uniforme sobre toda a superfície do grão. Ocorre, no entanto, uma pequena perda de cristalinidade na superfície do grão (caracterizado pelo decréscimo na intensidade e aumento na FWHM¹ da banda principal), mas que não afeta significativamente sua estrutura cristalina.

Os grãos *heterogêneos* apresentam anisotropia de ataque químico, ou seja, a superfície atacada do mineral apresenta diferentes densidades de traços de fissão em áreas distintas do mesmo grão, o que caracteriza uma maior resistência da estrutura cristalina frente ao ataque químico nas regiões com densidade de traços espontâneos menor ou nula.

Os grãos *anômalos* ao serem atacados quimicamente não revelam traços em nenhuma parte de sua superfície e sua estrutura cristalina é completamente destruída devido à corrosão do ataque químico.

¹ FWHM – Acrônimo de *Full Width at Half Maximum*, que em português significa largura máxima a meia altura.

Os grãos *híbridos* são uma combinação de dois tipos de grãos. Apresentam áreas completamente destruídas (característica de grão *anômalo*), enquanto algumas áreas do mesmo grão têm sua estrutura cristalina preservada e apresentam densidade de traços de fissão espontânea uniforme (característica do grão *homogêneo*).

Os espectros Raman e as imagens óticas foram obtidos em 25 grãos correspondentes à amostra SI25 coletada na Formação Presidente Prudente. Os espectros Raman foram obtidos em pontos diferentes em cada um desses 25 grãos. Desse total, 6 grãos se soltaram do teflon após o ataque químico. Quando isso acontece não há como recuperá-los e, portanto, analisá-los. As análises micro-Raman foram realizadas antes e depois do ataque químico. Foram analisados: 4 grãos *homogêneos*, 2 *heterogêneos*, 2 *anômalos* e 11 *híbridos*. Tendo-se obtido resultados similares para cada um destes tipos de grãos, optou-se por apresentar os resultados de apenas um grão representativo de cada categoria.

4.1.1 Grãos homogêneos

A FIG. 12A mostra a superfície polida do grão *homogêneo* não atacado quando observado ao microscópio óptico sob luz refletida. Pode-se observar algumas imperfeições na superfície devido ao polimento. A FIG. 12B ilustra o grão não-atacado sob luz transmitida, de onde detalhes internos do grão são visíveis – as inclusões apontadas pelas setas azuis se encontram abaixo da superfície polida. Tais inclusões são geralmente incorporadas à estrutura do mineral durante sua cristalização e podem ser grãos primários de zircão ou grãos de outros minerais, como apatita, monazita, diamante, etc, (EWING, R.C., 2007).

Depois do ataque químico (FIG. 12C) a análise microscópica sob luz refletida mostra que o ataque permite observar alguns traços confinados (traços brancos e brilhantes contidos inteiramente no interior do cristal). A superfície prismática do grão atacado observada ao microscópio ótico com luz transmitida (FIG. 12D) mostra que a densidade de traços de fissão é uniforme, como era de se esperar para este tipo de grão.

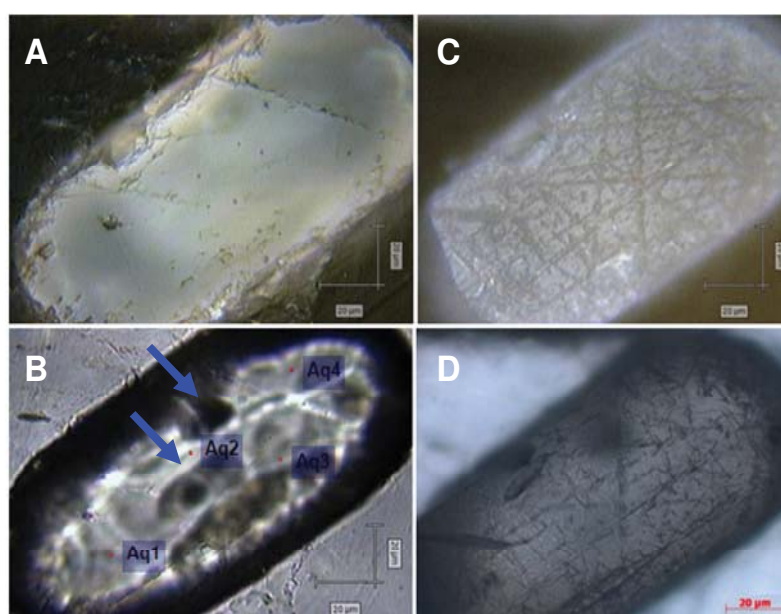


FIGURA 12 – Imagens óticas do grão *homogêneo* (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *homogêneo* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *homogêneo* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *homogêneo* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *homogêneo* atacado sob luz transmitida. As setas azuis apontam inclusões mineralógicas contidas no interior do mineral e os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição).

Os quatro grãos identificados como *homogêneos* tiveram o mesmo comportamento espectroscópico mostrado na FIG. 13. Na FIG. 12B estão assinalados os 4 pontos de aquisição dos espectros Raman. Eles foram similares, o que mostra que a rede

crystalina na superfície, antes do ataque, não é afetada pela presença das inclusões mineralógicas no grão.

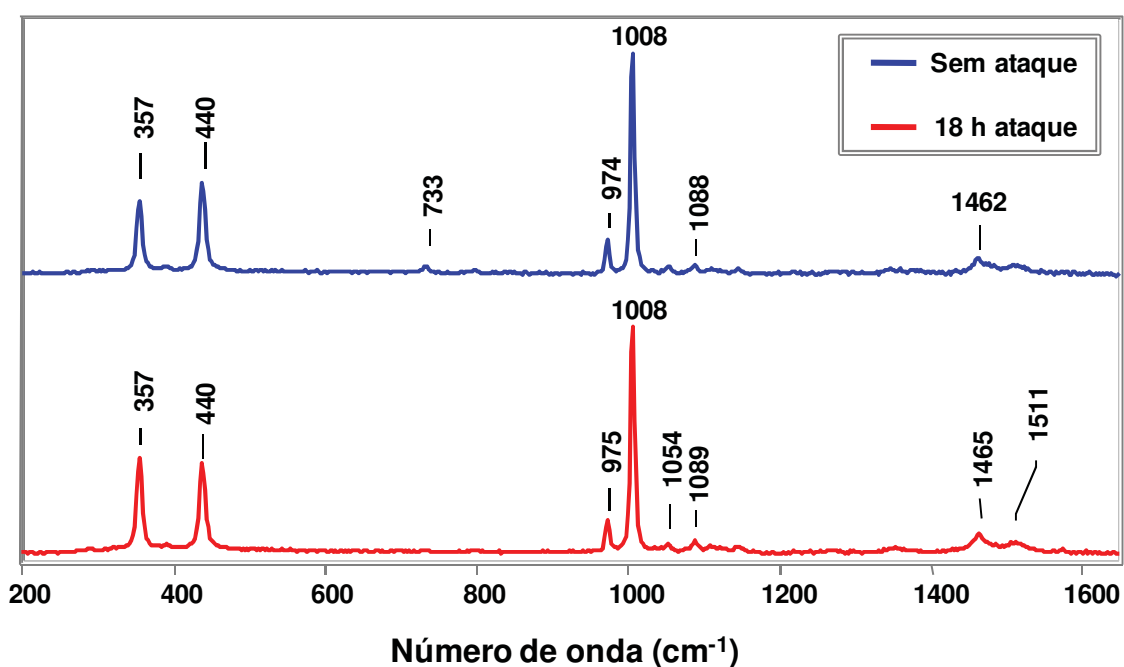


FIGURA 13 – Espectro Raman do grão *homogêneo* antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc).

Também pode ser observado pela FIG. 13 que, mesmo após 18 h de ataque químico, uma porcentagem significativa da estrutura cristalina do zircão é mantida. Isso indica que este tipo de grão é apropriado para a datação através do MTF. Entretanto, uma vez que, apenas cerca de 10% dos grãos coletados em bacias sedimentares são *homogêneos*, é importante continuar procurando por outros grãos de zircão que possam ser usados para datação via MTF a fim de melhorar a estatística de grãos datados.

4.1.2 Grãos heterogêneos

A FIG. 14A mostra a superfície do grão *heterogêneo* não-atacado observada sob luz refletida. Nota-se uma superfície limpa, polida, brilhante e com algumas imperfeições concentradas nas bordas. A FIG. 14B é análoga a anterior (sem ataque químico), entretanto, observada sob luz transmitida, onde também se pode observar algumas inclusões mineralógicas. As FIG. 14C e 14D mostram o mesmo grão depois do ataque químico observado sob luz refletida e transmitida, respectivamente. Nestas figuras se pode observar claramente a desuniformidade de traços de fissão em diferentes áreas do mesmo grão.

A FIG. 15 ilustra o espectro micro-Raman obtido neste tipo de grão. Foram assinalados na FIG. 14B os 3 pontos de aquisição dos espectros. Assim como no caso dos espectros de grãos *homogêneos*, os espectros coletados nos 3 pontos foram similares, mostrando uniformidade cristalográfica na superfície tanto antes como depois do ataque químico. Ou seja, o fato de termos traços distribuídos de forma não uniforme pela superfície não afeta significativamente a estrutura cristalina da superfície do grão, mesmo após o ataque químico.

Comparando os espectros Raman deste grão com os obtidos para o grão *homogêneo*, resultados similares são encontrados, exceto pela inversão dos picos Raman em 357cm^{-1} e 439cm^{-1} observada nos espectros do grão *homogêneo* e pelo fato do pico Raman em 1007cm^{-1} diminuir mais intensamente comparado aos outros picos do espectro do grão *heterogêneo*. Isto pode acontecer porque as vibrações não são totalmente simétricas.

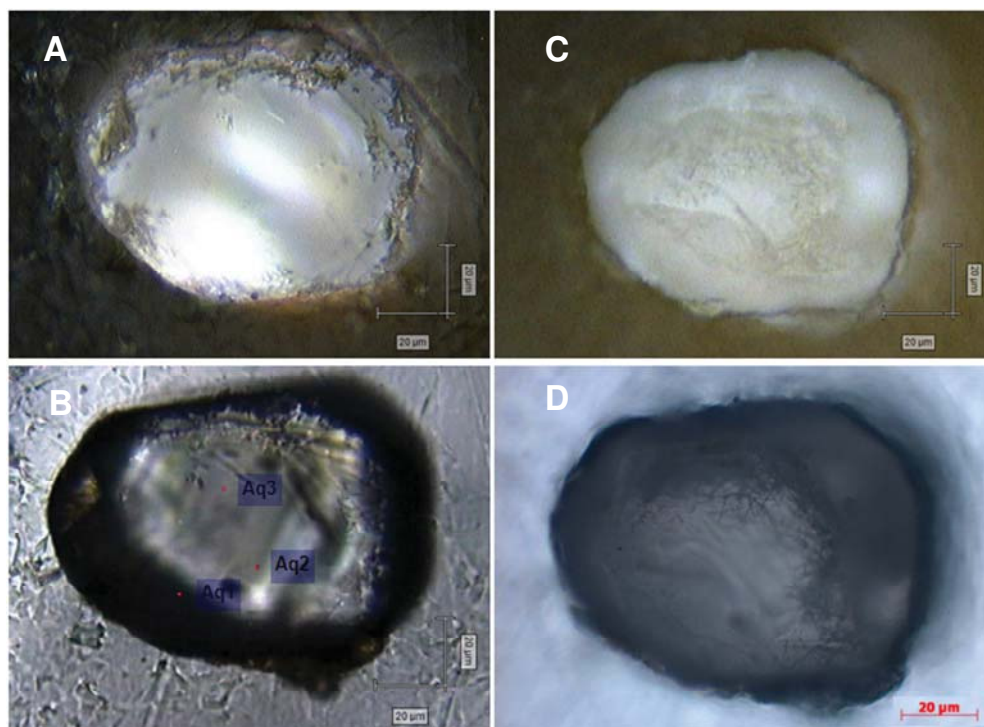


FIGURA 14 – Imagens óticas do grão heterogêneo (barra de escala de 20 μm e aumento de 500X). A) Imagem do grão heterogêneo não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão heterogêneo não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão heterogêneo atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão heterogêneo atacado sob luz transmitida. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição).

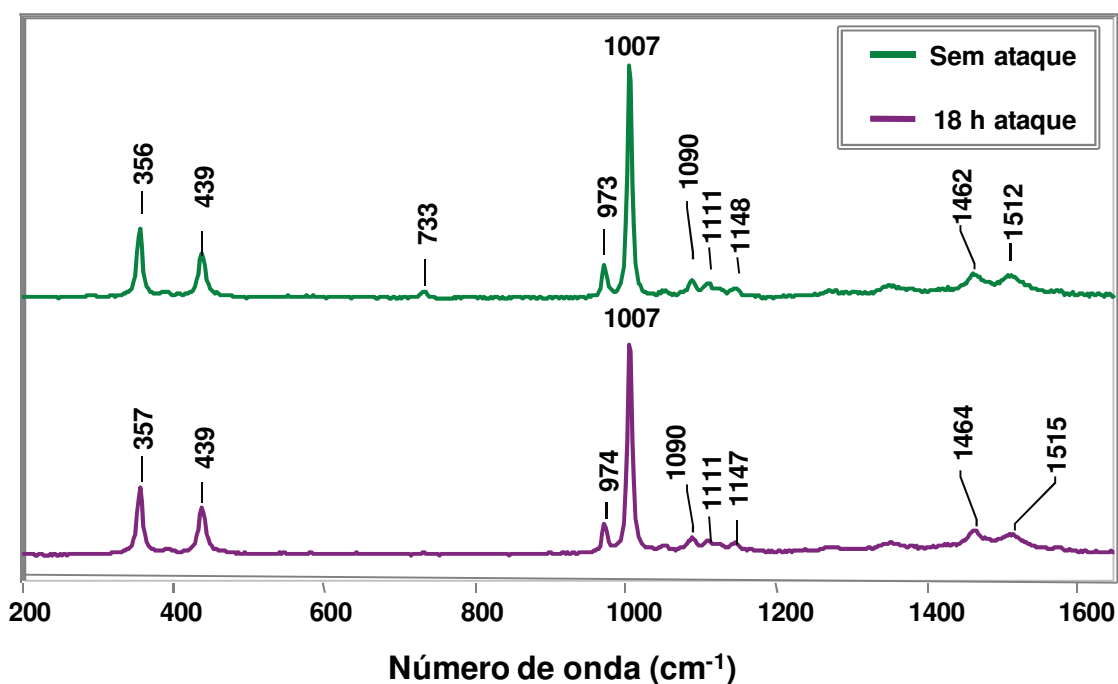


FIGURA 15 – Espectro Raman do grão heterogêneo antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc).

4.1.3 Grãos híbridos

Nas FIG. 16A e 16C, o grão *híbrido* é observado através do microscópio óptico com luz refletida antes e depois do ataque químico, respectivamente. Uma particularidade deste grão é observada na FIG. 16C, onde há desuniformidade de traços de fissão na área destacada (círculo tracejado vermelho), o que caracteriza o grão classificado como *heterogêneo*. Isto pode ser uma evidência de que dentro dos grãos denominados *híbridos*, pode haver uma subfamília. A FIG. 16B mostra o grão não atacado quando observado sob luz transmitida. Pode-se observar uma superfície lisa onde se destaca uma área “brilhante” indicando que a luz se transmite quase que totalmente.

Esta análise mostra que nesta área a estrutura cristalina pode possuir algumas imperfeições, as quais se tornam evidentes depois do ataque químico mostrado na FIG. 16D (círculo tracejado em amarelo). A borda enegrecida, na FIG. 16B, corresponde ao corpo do mineral submerso no teflon. Por outro lado, as FIG. 16D e 16E foram obtidas variando-se a profundidade focal para evidenciar a região demarcada em amarelo (onde a superfície foi danificada devido ao ataque químico) e a região do grão onde aparecem os traços.

Na FIG. 17 são apresentados os espectros micro-Raman obtidos no grão *híbrido*. Excepcionalmente para este tipo de grão, os espectros de todos os pontos de aquisição estão dispostos nesta figura. Um resultado interessante é que os espectros foram adquiridos em pontos onde um deles está na área “brilhante” (ponto Aq1, FIG. 16B) e o outro na área onde a luz transmitida está distribuída uniformemente (ponto Aq2, FIG. 16B). Um pequeno decréscimo na intensidade dos picos Raman é observado no espectro coletado no ponto Aq1, tanto antes quanto após o ataque químico, em comparação à intensidade dos picos Raman referentes ao espectro coletado no ponto Aq2. Uma inversão pode ser observada entre os

picos Raman em 354 e 438 cm^{-1} após o ataque químico. O oposto pode ser observado nos espectros do grão *homogêneo*. De acordo com a TAB. 2, o pico Raman em 356 cm^{-1} pode ser um fónon e isto explicaria este comportamento diferenciado.

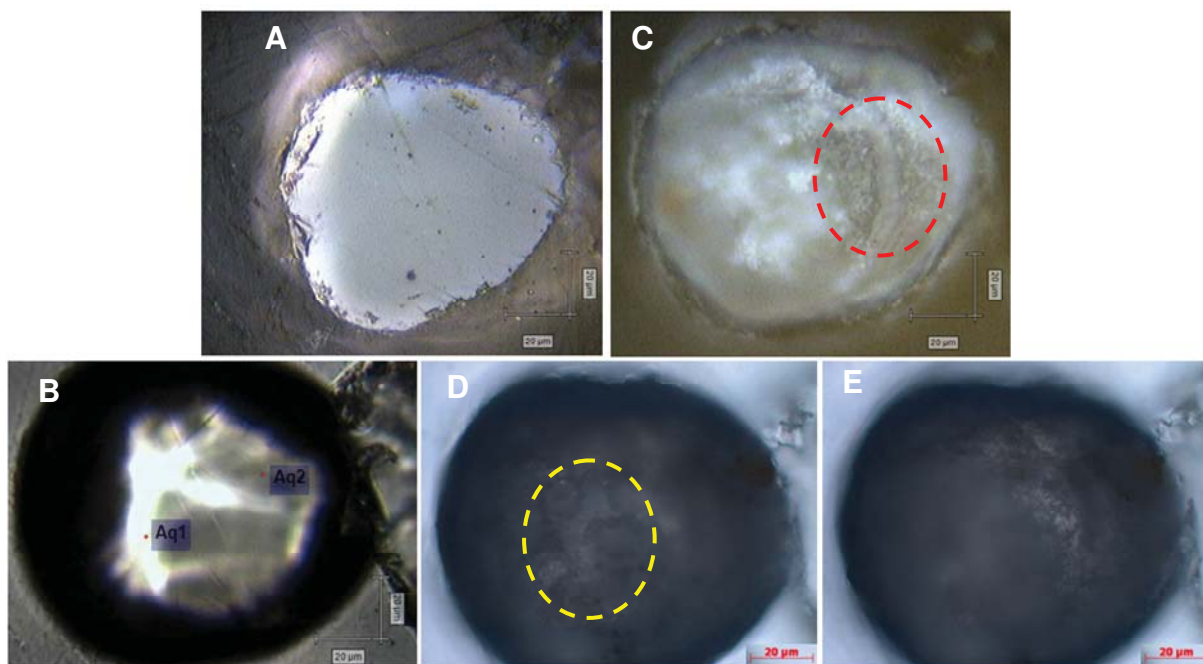


FIGURA 16 – Imagens óticas do grão *híbrido* (barra de escala de $20\ \mu\text{m}$ e aumento de $500\times$). A) Imagem do grão *híbrido* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *híbrido* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz transmitida; E) Imagem do grão *híbrido* atacado sob luz transmitida em maior profundidade. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição) e os círculos tracejados indicam regiões onde há traços (círculo tracejado vermelho) e regiões onde não há traços (círculo tracejado amarelo).

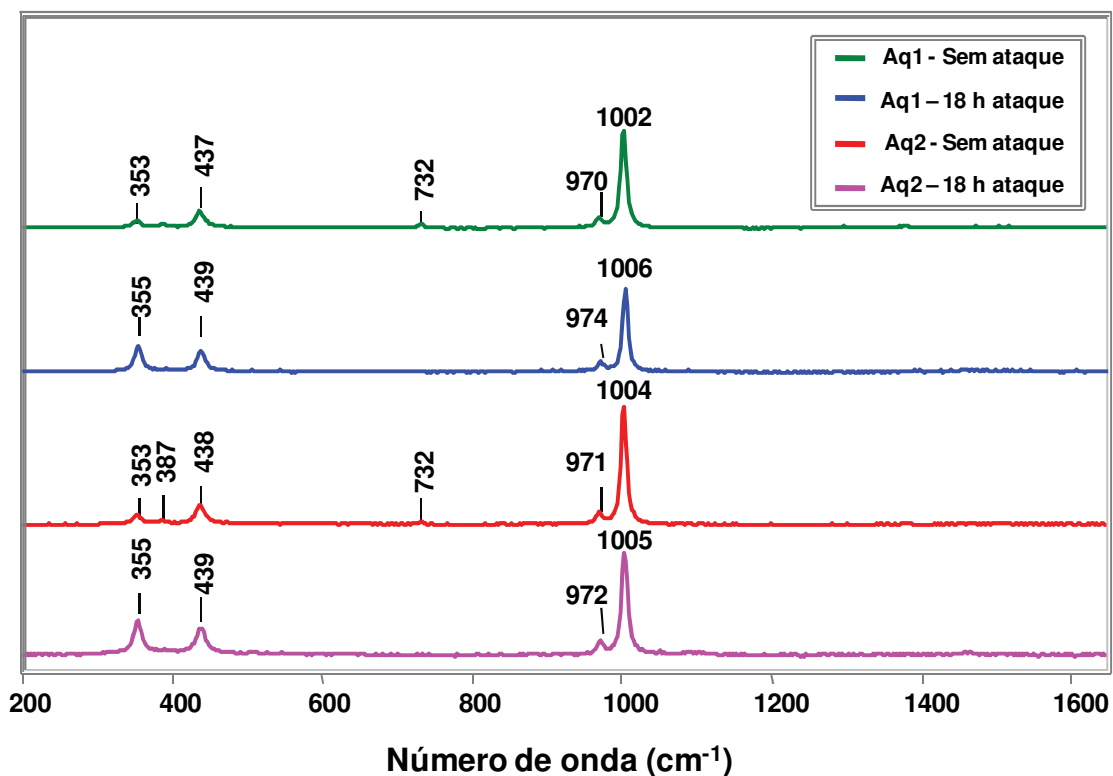


FIGURA 17 – Espectro Raman do grão híbrido antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc).

4.1.4 Grãos anômalos

Na FIG. 18A pode-se visualizar um grão *anômalo* não-atacado sob luz refletida e na FIG. 18B sob luz transmitida. A superfície do grão *anômalo* não-atacado observada sob luz refletida se mostra lisa, tal como qualquer outro grão de zircão antes do ataque. Ou seja, o seu comportamento anômalo somente se manifesta após o ataque químico. Por outro lado, na FIG. 18B, pode-se observar áreas “brilhantes” espalhadas em toda a superfície do grão de zircão mostrando que a rede cristalina pode ter várias imperfeições, o que fica evidenciado depois do ataque químico na FIG. 18D. Este efeito acontece em parte da área do grão classificado como híbrido. Esta análise pode auxiliar na identificação do grão antes do ataque químico e com

isso permitir excluir o montante de grãos inutilizáveis para datação durante a etapa de seleção de grãos e isso representa um grande avanço no aprimoramento do MTF em zircão.

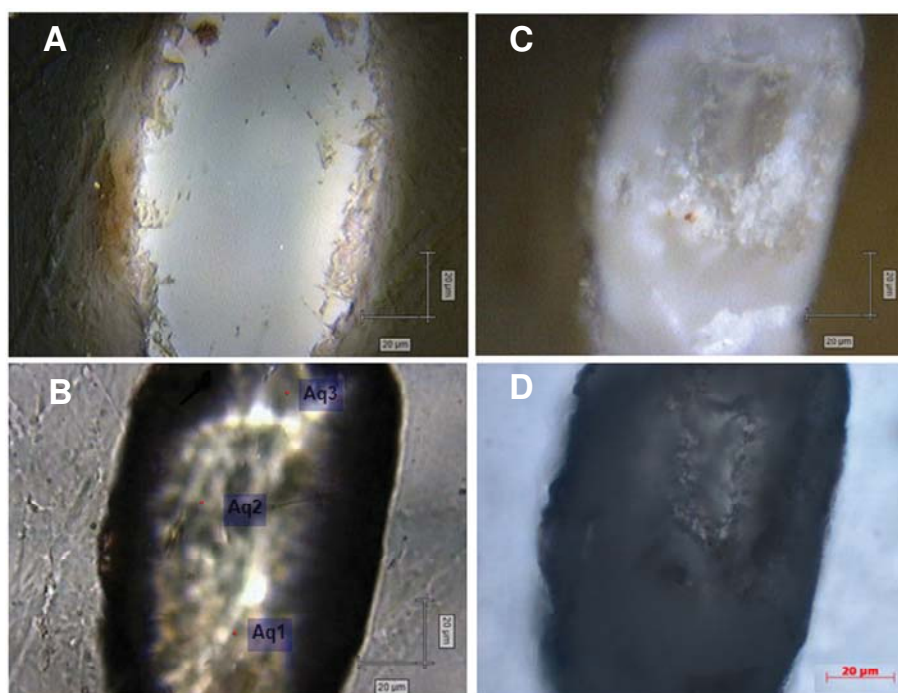


FIGURA 18 – Imagens óticas do grão *anômalo* (barra de escala de 20 µm e aumento de 500X). A) Imagem do grão *anômalo* não atacado sob luz refletida; B) Imagem do grão *anômalo* não atacado sob luz transmitida; C) Imagem do grão *anômalo* atacado sob luz refletida; D) Imagem do grão *anômalo* atacado sob luz transmitida. Os pontos vermelhos indicam os pontos de aquisição espectral (Aq – abreviação de Aquisição).

Pode ser visto nas FIG. 18C e 18D que a superfície de um grão *anômalo* é totalmente corroída após o ataque químico. Entretanto, os resultados dos espectros micro-Raman (FIG. 19) tomados nos pontos: Aq1, Aq2 e Aq3 da FIG. 18B, mostram, através dos picos de intensidade, que ainda há um arranjo periódico de moléculas que vibram na frequência do infravermelho. Este resultado difere do obtido por Dias (2008), onde nenhuma resposta era observada logo após as primeiras 6 h de ataque. Isto pode indicar que alguns grãos *anômalos* preservam parte de sua cristalinidade mesmo após o ataque químico. Esta é mais uma evidência de que se pode ter subfamílias de grãos em cada categoria. Este grão não

pode ser usado para datação por não revelar traços de fissão, o que coincide com o resultado de Dias (2008).

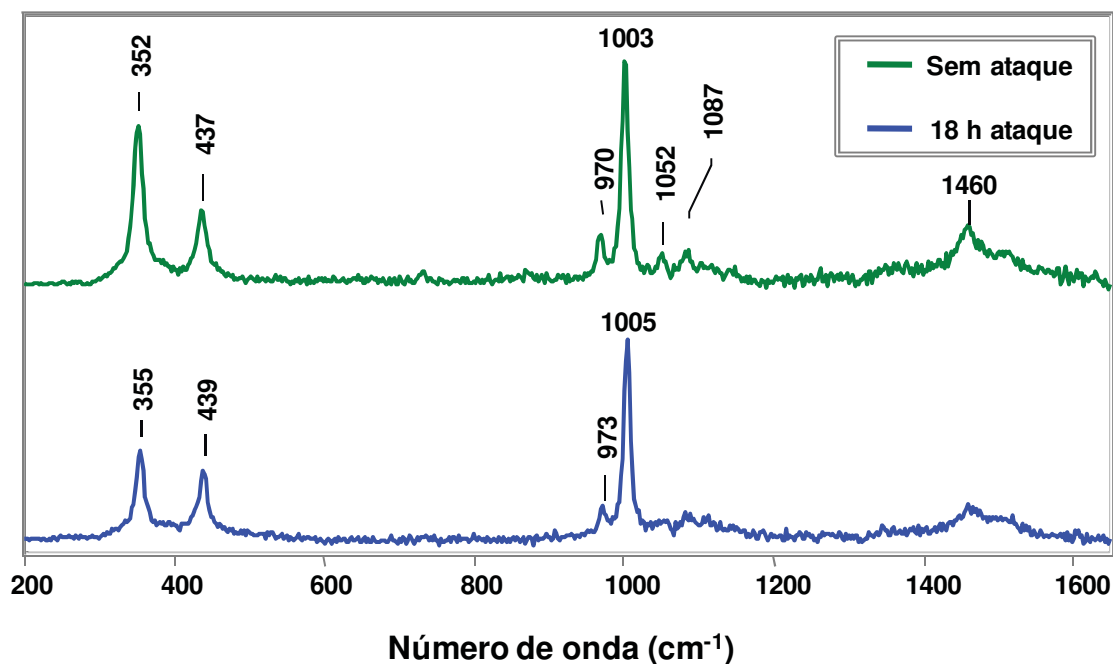


FIGURA 19 – Espectro Raman do grão anômalo antes e após o ataque químico (LL 514,5 nm, Pow.=50%, 1 acc).

A FIG. 20 ilustra o espectro Raman padrão de uma amostra de zircão sintética obtido por Nasdala *et al.* (2003). Os modos vibracionais estão relacionados às ligações químicas Si-O. As atribuições dos principais picos Raman estão mostrados na TAB. 2, que sumariza dados da literatura (DAWSON *et al.*, 1971; SYME *et al.*, 1977; NASDALA *et al.*, 2003; GEISLER *et al.*, 2005)

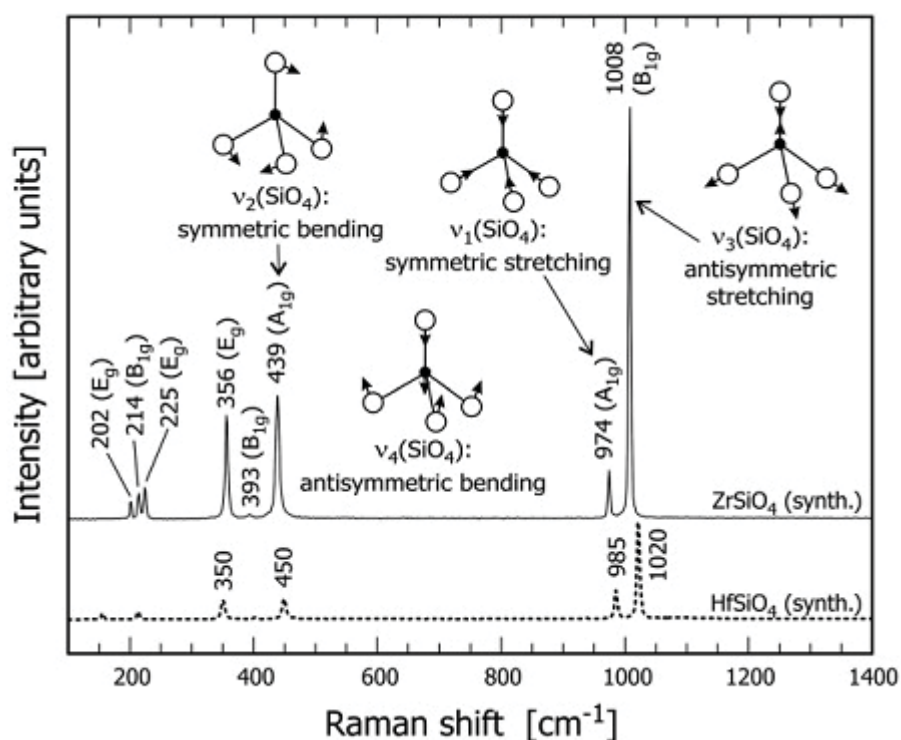


FIGURA 20 – Espectro padrão do zircão (ZrSiO_4) com as atribuições das bandas mais intensas. Para as vibrações internas do grupamento SiO_4 pequenos esboços descrevem os movimentos dos átomos de oxigênio (bolas brancas) e dos átomos de silício (pequenas bolas pretas). A vibração interna SiO_4 ν_4 , cuja atribuição é controversa não está relacionada a uma banda específica na imagem. O espectro Raman do HfSiO_4 (pontilhado) é mostrado para comparação. Nota-se que ambos são dominados por um padrão de “impressão digital” de vibrações SiO_4 muito similares. Fonte: NASDALA *et al.*, 2003. Spectroscopy method applied in zircon, p. 445.

TABELA 2

Atribuições dos principais picos Raman do zircão obtidos usando laser 514,5 nm.

λ (cm^{-1})	Atribuições vibracionais
356	E_g (SYME <i>et al.</i> (1977)) ou SiO_4 ν_4 (DAWSON <i>et al.</i> (1971))
393	E_g (SYME <i>et al.</i> (1977)) ou B_{1g} (DAWSON <i>et al.</i> (1971))
439	SiO_4 ν_2 (A_{1g})
974	SiO_4 ν_1 (A_{1g})
1008	SiO_4 ν_3 (B_{1g})

ν_1 – estiramento simétrico; ν_2 – deformação simétrica; ν_3 – estiramento antissimétrico; ν_4 – deformação antissimétrica; A_{1g} e B_{1g} – modos internos de vibração; E_g – modos externos.

Fazendo-se uma análise global dos espectros micro-Raman pode-se observar que eles são similares ao espectro padrão do zircão ilustrado na FIG. 20. No entanto, uma análise minuciosa revela que a *largura máxima a meia altura* (FWHM) varia ao se comparar os espectros do grão atacado e não-atacado, independentemente do tipo de grão analisado. Ou seja, a maior rugosidade do grão de zircão, depois do ataque químico, se reflete de forma significativa nos valores da FWHM. Isso indica que a superfície da amostra perde cristalinidade depois do ataque químico, como era de se esperar, pois os ataques químicos corroem de forma intensa a superfície do grão.

Analisando as informações listadas na TAB. 3, pode-se verificar que:

- i) Os espectros Raman estão sempre se deslocando para a região azul do espectro eletromagnético após o ataque químico. Este deslocamento pode ser quantificado analisando o pico Raman mais intenso. Entretanto, tem-se de considerar que um pequeno deslocamento ($\sim 1\text{cm}^{-1}$) pode ser fruto de pequenas variações de calibração do equipamento ou em decorrência da eficiência de detecção do detector CCD para cada energia do fóton espalhado;
- ii) Ao analisar o pico em torno de 1008 cm^{-1} , o deslocamento é de $0,5\text{ cm}^{-1}$ para o grão *homogêneo*, $0,6\text{ cm}^{-1}$ para o *heterogêneo*, $1,3\text{ cm}^{-1}$ para o *híbrido* e é maior para o *anômalo* $2,9\text{ cm}^{-1}$. Ou seja, o deslocamento devido ao efeito do ataque químico é maior para os grãos *anômalo* e *híbrido* e entre os grãos *homogêneo* e *heterogêneo* a diferença é insignificante ($0,5$ e $0,6\text{ cm}^{-1}$, respectivamente);
- iii) O pico Raman que mais sensível ao deslocamento de pico é o 393 cm^{-1} , que fornece: $1,7\text{ cm}^{-1}$ para o grão *homogêneo*, $2,3\text{ cm}^{-1}$ para o grão *heterogêneo* e $3,6\text{ cm}^{-1}$ para o grão *híbrido*, mas que não está presente no grão *anômalo*. Entretanto, a intensidade relativa desse pico é a mais baixa entre as bandas do espectro Raman do zircão estudado;

- iv) O deslocamento do pico ($\Delta\bar{\nu}$) é o parâmetro que melhor descreve o efeito do ataque químico. A intensidade relativa não possui um comportamento constante no caso do grão *homogêneo* (ora aumenta e ora diminui), ela aumenta no caso do grão *heterogêneo* e *híbrido* e diminui no caso do grão *anômalo*;
- v) A FWHM não depende da altura do pico, ela depende apenas do desvio padrão do pico ($FWHM = 2\sqrt{2\ln 2} \cong 2,354\sigma$, onde σ é a distribuição do desvio padrão, no caso de uma função Gaussiana – BEVINGTON; ROBINSON, 2002, .p. 29). O fato da potência do laser ter variado a cada dia (o número de contagens de fótons durante a calibração não se manteve constante dia após dia, uma vez que, o laser não estava devidamente fixado à mesa), não exclui a validade de nossos dados de FWHM dos picos Raman. Assim como a FWHM, a intensidade relativa não possui um comportamento constante frente ao ataque químico. Considerando os grãos *homogêneo*, *heterogêneo* e *anômalo* a intensidade relativa aumenta para os picos Raman em 356 cm^{-1} , 391 cm^{-1} , 439 cm^{-1} , 974 cm^{-1} e diminui para o pico Raman em 1008 cm^{-1} , e sempre aumenta para o grão *híbrido*. A maior diferença para o valor da FWHM é atribuída ao grão *anômalo*, aos picos Raman em 352 cm^{-1} e 437 cm^{-1} , sendo respectivamente: $2,40\text{ cm}^{-1}$ e $6,30\text{ cm}^{-1}$. O pico Raman em 387 cm^{-1} é o que possui maior variação da FWHM, mas como sua intensidade é muito baixa optamos por não analisá-lo;
- vi) Pode ser visto que o grão *anômalo* apresenta um comportamento diferenciado quando se observa as variáveis ($\Delta\bar{\nu}$) (possui o maior deslocamento), intensidade relativa (é o único para o qual a intensidade relativa diminui para os picos Raman em 352 cm^{-1} , 437 cm^{-1} , 970 cm^{-1}) e a FWHM (com exceção do pico Raman em 387 cm^{-1} para o grão *híbrido*, os picos Raman em 352 cm^{-1} e 437 cm^{-1} são os que apresentam maior valor de FWHM);

vii) Os picos Raman dos grãos *híbridos* e *anômalos* são os que se distinguem mais intensivamente dos picos Raman do zircão padrão mesmo antes do ataque químico. Ainda assim, estes grãos podem ser considerados zircões. Pequenos deslocamentos podem ocorrer devido a mudanças no meio ambiente ao redor do zircão. O meio dielétrico do zircão muda. Deve ser notado que o pico Raman em 393 cm^{-1} não aparece apenas para o grão *anômalo*.

Dos parâmetros analisados (frequência Raman, intensidade do pico, FWHM, intensidade relativa), a intensidade do pico é o único que não pode ser utilizado para analisar os efeitos do ataque químico, uma vez que a potência real do laser variou entre os dias das medidas.

TABELA 3

Valores dos parâmetros analisados dos picos Raman para grãos de zircão.

GRÃO HOMOGÊNEO											
Não-atacado						Atacado					
$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\Delta\bar{\nu}$	ΔI	$\Delta FWHM$	ΔRI
356,5	5550	8,3	0,455401	356,9	7172	8,4	0,510823	0,4	1622	0,1	0,06
390,6	277	16	0,042395	392,3	375	17	0,056097	1,7	98	1,0	0,01
439,5	6943	8,9	0,631646	439,7	6821	9	0,538322	0,2	-122	0,1	-0,09
733,4	452	8,3	0,029011	..	..	..	..	..	..	..	..
974,2	2346	5,9	0,119069	974,7	2280	6,5	0,092683	0,5	-66	0,6	-0,03
1007,5	16965	6,3	1	1008	17617	6,2	1	0,5	652	-0,1	0,00
GRÃO HETEROGÊNEO*											
$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\Delta\bar{\nu}$	ΔI	$\Delta FWHM$	ΔRI
356,1	5962	8,6	0,354346	356,8	8097	9	0,385742	0,7	2135	0,4	0,03
390,4	367	14	0,031309	392,7	457	16	0,039955	2,3	90	2,0	0,01
438,9	3952	10,5	0,295963	439,4	5863	10,8	0,347013	0,5	1911	0,3	0,05
733,4	562	7,5	0,024088	734	234	7,1	0,006452	0,6	-328	-0,4	-0,02
973,5	2692	6,9	0,112638	974	3349	7,6	0,120211	0,5	657	0,7	0,01
1006,7	20701	7,4	1	1007,3	26043	7,7	1	0,6	5342	0,3	0,00
GRÃO HÍBRIDO											
$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\Delta\bar{\nu}$	ΔI	$\Delta FWHM$	ΔRI
353,3	1986	12,2	0,10886	354,6	2569	12,9	0,432906	1,3	583	0,7	0,32
387,1	682	10,6	0,022707	390,7	300	23,5	0,054247	3,6	-382	12,9	0,03
437,5	4236	13,4	0,255502	439,1	2059	14,9	0,401254	1,6	-2177	1,5	0,15
732,4	586,4	8,1	0,016488	..	..	..	..	..	..	..	..
970,8	2460,3	8,52	0,091094	972,1	913	9,7	0,105729	1,3	-1547,3	1,18	0,01
1003,5	25795,3	8,9	1	1004,8	8153	9,5	1	1,3	-17642,3	0,6	0,00
GRÃO ANÔMALO											
$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	I (u.a.)	FWHM	RI	$\Delta\bar{\nu}$	ΔI	$\Delta FWHM$	ΔRI
352,30	6245,00	15,50	1,06	355,20	2513,00	17,90	0,66	2,9	-3732	2,4	-0,39
437,40	2734,00	16,10	0,48	439,00	1815,00	22,40	0,60	1,6	-919	6,3	0,12
969,70	1646,00	10,30	0,17	972,80	827,00	11,00	0,14	3,1	-819	0,7	-0,04
1002,50	8567,00	11,20	1,00	1005,40	6356,00	10,50	1,00	2,9	-2211	-0,7	0,00

$\bar{\nu}$ – número de onda (ou frequência Raman); I – intensidade; FWHM – Largura máxima a meia altura; RI – intensidade relativa ((área do pico mais intenso ou pico principal)).

* Referente à Aq2.

4.2 RESULTADOS DE MEV

Através das imagens de MEV pode-se observar que antes e após o ataque químico os grãos de zircão apresentam características químicas e topográficas diferenciadas. A FIG. 21 ilustra esse comportamento. Pode-se observar que o grão de zircão sem ataque (FIG.21a) apresenta uma superfície lisa quando observada ao microscópio ótico com luz transmitida. É importante ressaltar que a luz transmitida é espalhada de forma uniforme em toda a superfície focalizada do grão não-atacado.

A imagem de MEV do mesmo grão, obtida por catodoluminescência, revela detalhes marcantes da estrutura interna do cristal, como o crescimento de suas respectivas faces cristalográficas (FIG. 21b). Detalhes complementares sobre a topografia do grão podem ser observados na imagem obtida por elétrons secundários (FIG. 21c).

Nas FIG. 21d e 21e pode-se observar uma imagem obtida por catodoluminescência e elétrons secundários, respectivamente, do mesmo grão, agora atacado. Através da imagem ilustrada na FIG 21d, observando-se no lado direito da fratura que corta o grão ao meio, pode-se concluir que não houve superposição da rede cristalográfica em diferentes ângulos. Esta conclusão fica fortalecida pelo fato de termos uma densidade uniforme de traços (pontos pretos) na superfície prismática paralela ao eixo-*c* (face 2, FIG. 21b). No lado esquerdo da fratura acontece o mesmo efeito, porém, com uma densidade de traços menor que a do lado direito.

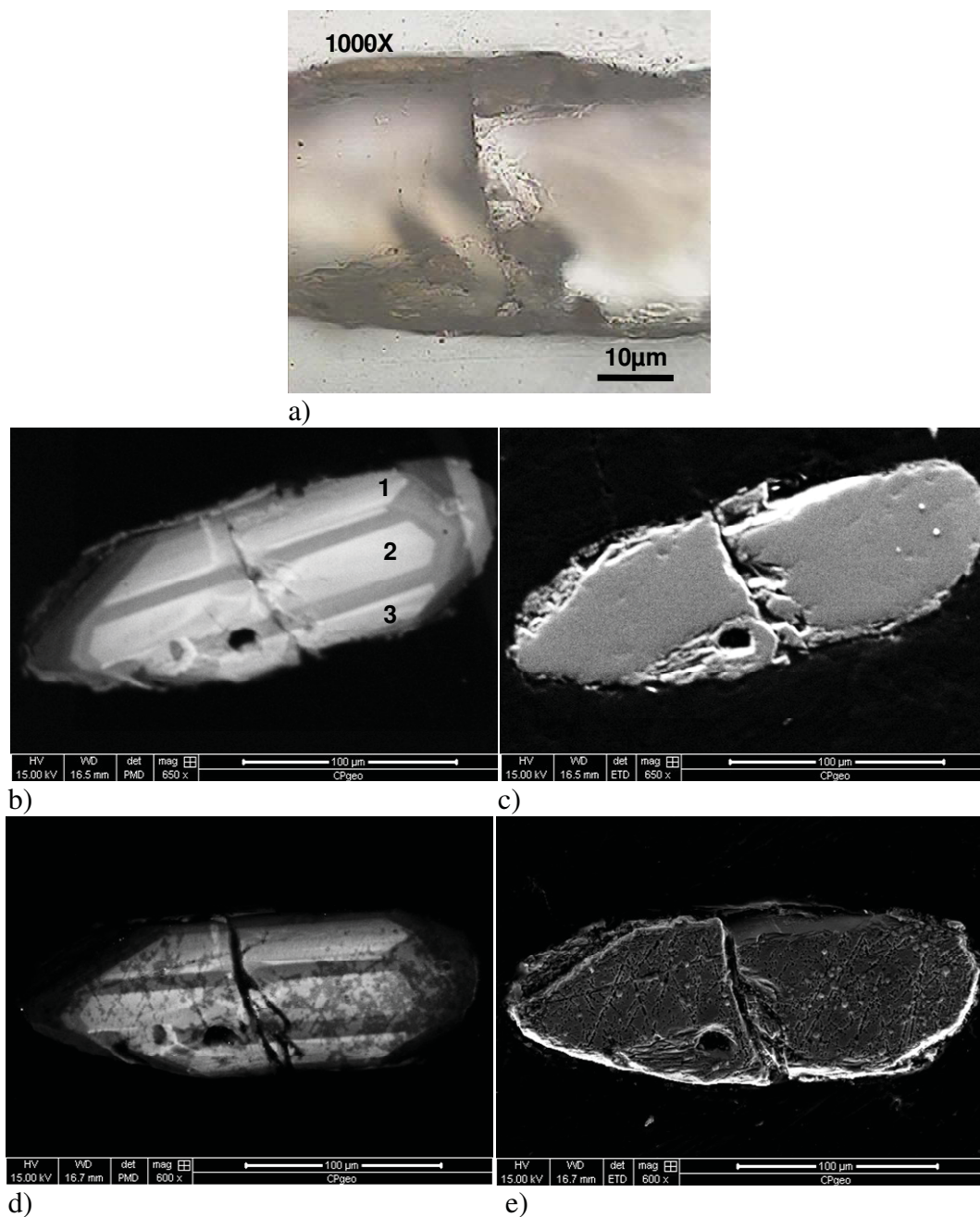


FIGURA 21 – Imagens de um grão de zircão obtidas via microscopia ótica, catodoluminescência (MEV-CL) e elétrons secundários (MEV-SE). a) Imagem ótica do grão não-atacado (barra de escala de 10 μm e aumento de 1000X); b) imagem de MEV-CL do grão não-atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6500X); c) imagem de MEV-SE do grão não-atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6500X); d) imagem de MEV-CL do grão atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6000X); e) imagem de MEV-SE do grão atacado (barra de escala de 100 μm e aumento de 6000X). Voltagem de aceleração de 15 kV e alcance de trabalho de 16,5 mm.

Por outro lado, pode-se notar que nas faces 1 e 3, a quantidade de traços é menor tanto no lado direito como no lado esquerdo da fratura com relação à face 2. De acordo com a

nomenclatura estabelecida por Dias (2008), este grão zircão é denominado *heterogêneo*. Esta análise pode explicar a diferença de densidade que ocorre para este tipo de grão. Ao observá-los sob um microscópio ótico, aparentemente, apenas uma superfície prismática é focalizada. No entanto, como mostrado nas FIG.21b e 21d, têm-se três superfícies prismáticas diferentes. Tagami e O'Sullivan (2005, p. 25) destacam que há uma forte anisotropia de ataque químico em função das faces cristalinas em minerais, tal como o zircão e titanita.

As análises de composição química foram realizadas no MEV utilizando detector EDS e os resultados estão expressos em porcentagem em peso (%p) na TAB. 4. Foram analisados 20 grãos na amostra T11, 15 na amostra PB30 e 15 na amostra MT107. Pode-se observar desta tabela que a composição química destas amostras está dentro dos valores esperados do zircão. Além disso, a variação da composição química, antes e após o ataque químico, não é significativa. Dentre as três amostras analisadas a que melhor se enquadra no perfil de composição química padrão do zircão (67,22% de ZrO_2 e 32,78% de SiO_2) é a amostra T11, seguida pela amostra PB30.

TABELA 4
Composição química dos óxidos obtida via MEV/EDS.

	T11	MT107	PB30
	Amostra não atacada		
ZrO₂	68,97 ± 0,70	55,95 ± 2,97	65,58 ± 2,94
SiO₂	31,03 ± 0,70	43,81 ± 2,88	34,42 ± 2,94
Outros	0,003 ± 0,006	0,24 ± 0,93	0,002 ± 0,006
	Amostra atacada*		
ZrO₂	66,33 ± 5,24	58,85 ± 3,06	62,27 ± 6,75
SiO₂	32,32 ± 4,98	41,05 ± 3,04	36,87 ± 7,44
Outros	1,34 ± 2,44	0,10 ± 0,35	0,86 ± 1,74

*Dezoito horas de ataque para as três amostras.

4.3 IDADES OBTIDAS VIA MTF EM ZIRCÃO

4.3.1 Comparação das idades obtidas em grãos *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos*

Um dos objetivos principais deste trabalho é mostrar que, além dos grãos de zircão *homogêneos*, os grãos *heterogêneos* e *híbridos* também podem ser utilizados para determinar a idade de traços de fissão. Para tanto, realizou-se uma comparação da distribuição de idades obtidas em cada caso. Analizou-se um montante de 514 grãos, provenientes de amostras coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe. Desse total, 10% (50 grãos) foram classificados como *homogêneos*, ~ 10% (53 grãos) como *heterogêneos*, ~ 20% (104 grãos) como *híbridos* e ~ 60% (307 grãos) como *anômalos*. Esta análise detalhada do percentual correspondente a cada tipo de grão, até então, não havia sido realizada. Vale lembrar que apenas os grãos *homogêneos* são utilizados para datação pela comunidade científica da área de traços de fissão. As FIG. 22, 24 e 26 mostram, respectivamente, a distribuição de idades obtidas dos grãos *homogêneos*, cujo valor médio é de : (271 ± 22) Ma; a distribuição de idades dos grãos *heterogêneos*, cujo valor médio é de: (270 ± 18) Ma; e a distribuição de idades dos grãos *híbridos*, cujo valor médio é de: (251 ± 13) Ma. As FIG. 23, 25 e 27 exibem a flutuação das idades ao redor do valor médio obtida para os grãos *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos*, respectivamente. Os segmentos verticais para cima e para baixo do ponto central da idade é o desvio padrão do valor médio (erro experimental da idade), calculado considerando distribuições de Poisson. A flutuação aleatória de idades ao redor do valor médio indica que há consistência interna na obtenção das idades, ou seja, não há estruturas que possam estar indicando erros sistemáticos.

Pode-se deduzir das distribuições de idades mostradas nas FIG. 22, 24 e 26 que elas são semelhantes. Por outro lado, uma análise estatística das distribuições, utilizando o teste do Qui-Quadrado (χ^2), revela que o valor do Qui-Quadrado reduzido (χ^2_v) para as três vale 0,519, o que corresponde a um valor de probabilidade do teste do Qui-Quadrado $P(\chi^2_v)$ igual a 0,60 (BENVINGTON; ROBINSON, 1992, p. 255). Este valor está dentro do intervalo de [0,5; 0,95], o que indica que as três distribuições são estatisticamente compatíveis.

Deve-se notar que, considerando os grãos *heterogêneos* e *híbridos*, o número de grãos datáveis quadruplica, e isso aumenta consideravelmente a estatística das idades obtidas em cada amostra de zircão. Trata-se de um grande avanço, principalmente em se tratando de rochas detríticas, pois, a quantidade de grãos do tipo *homogêneo* encontrada em amostras desse tipo de rocha após a separação de minerais é, em geral, muito pequena, de modo que, a exclusão dos grãos *heterogêneos* e *híbridos*, inviabilizariam a datação de muitas amostras.

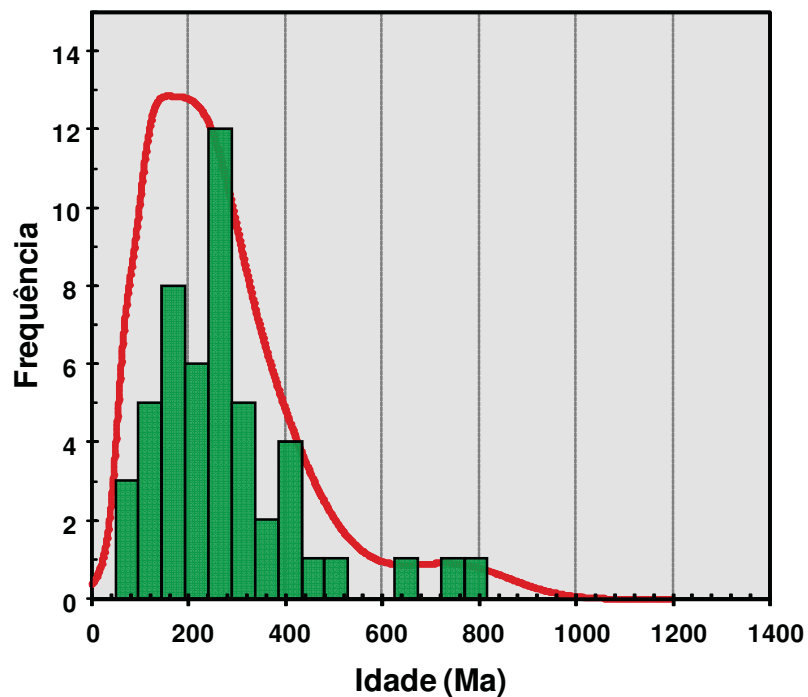


FIGURA 22 – Distribuição de idades obtidas dos grãos homogêneos.

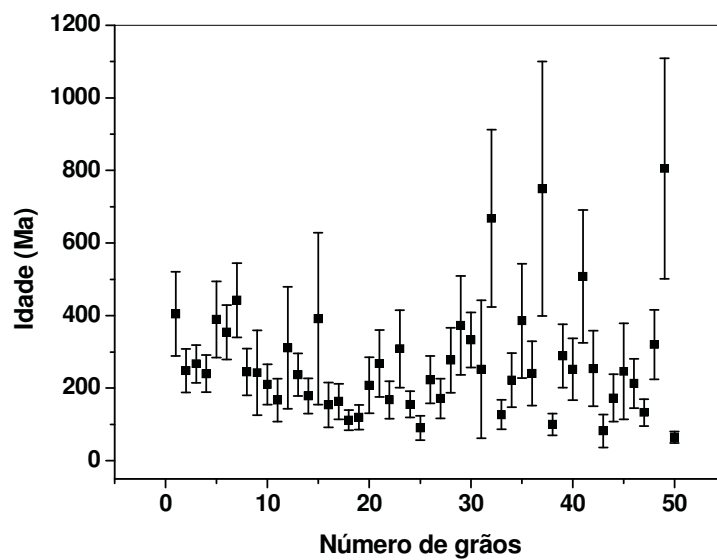


FIGURA 23 – Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos homogêneos.

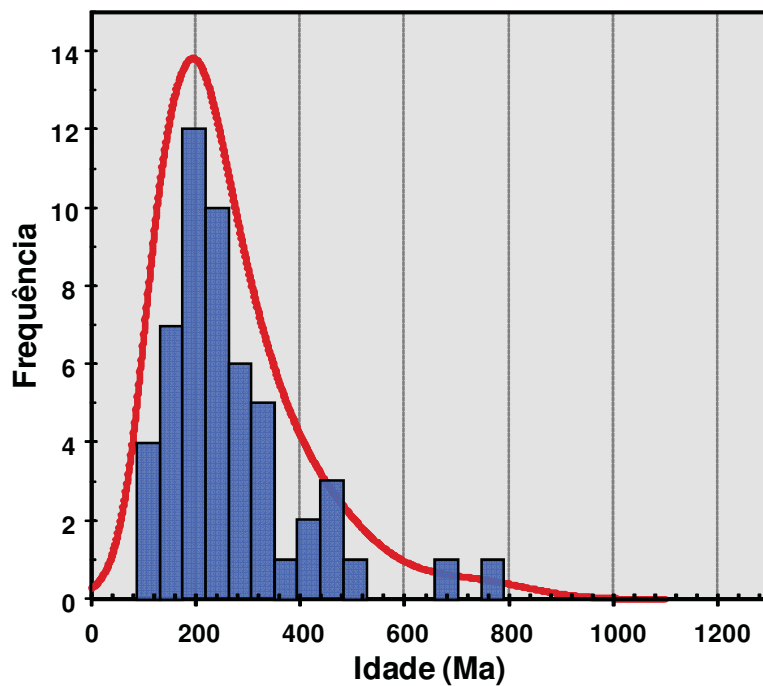


FIGURA 24 – Distribuição de idades obtidas dos grãos heterogêneos.

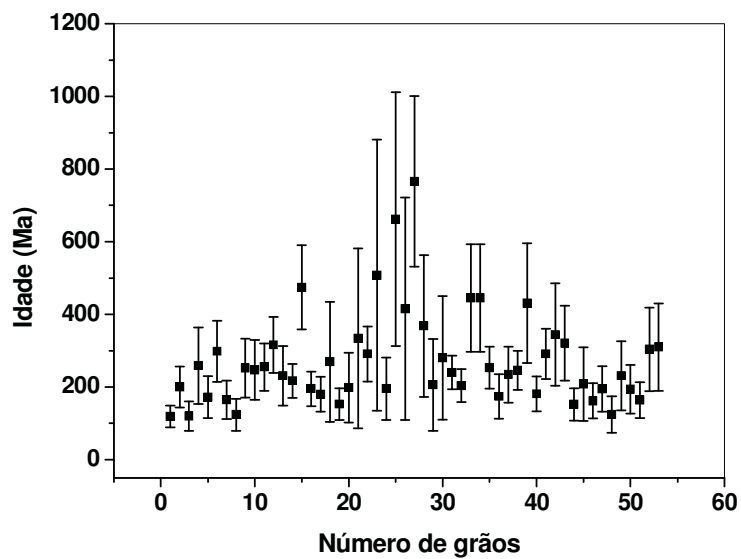


FIGURA 25 – Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos heterogêneos.

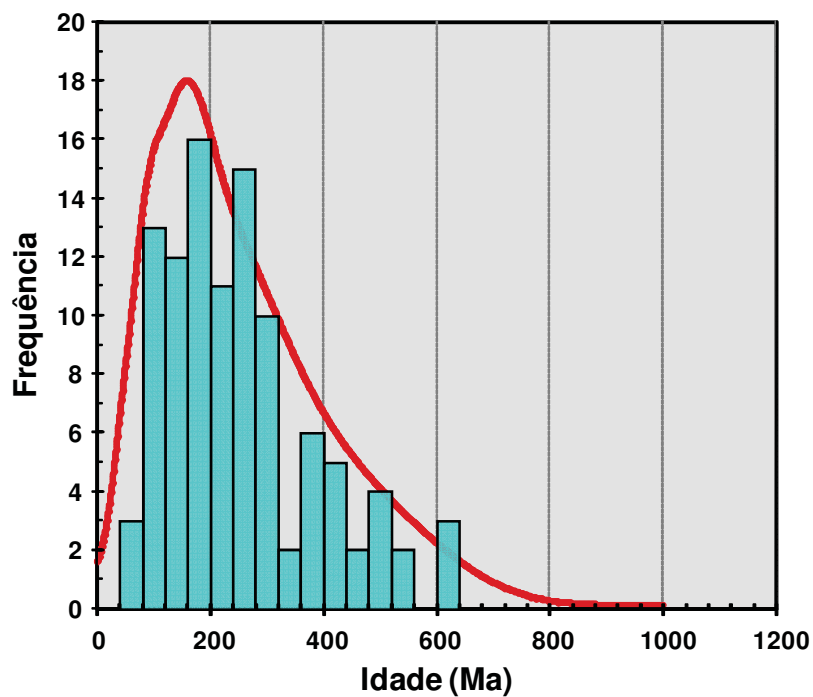


FIGURA 26 – Distribuição de idades obtidas dos grãos híbridos.

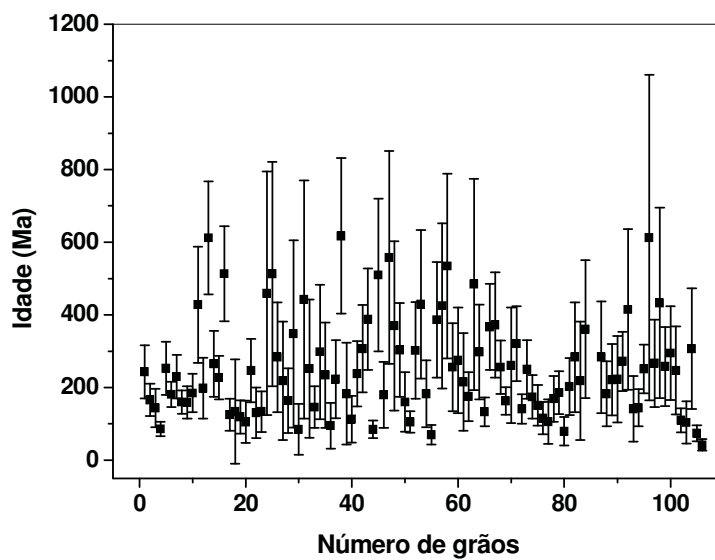


FIGURA 27 – Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas dos grãos híbridos.

4.3.2 Idades obtidas de amostras coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe

Avanços significativos no aprimoramento do MTF em zircão foram obtidos mediante a caracterização da superfície de grãos de zircão através de microscopia ótica, espectroscopia micro-Raman e MEV. Com base nos resultados obtidos observou-se que cada tipo de grão, especificamente os grãos *heterogêneos*, *híbridos* e *anômalos* podem possuir subfamílias com características diferenciadas. Dessa maneira estes estudos ajudaram a refinar os critérios de seleção de grãos desde a montagem até a obtenção da idade via MTF.

Estes avanços metodológicos foram aplicados na datação de 42 amostras de zircão coletadas nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe. As idades de todos os grãos correspondentes a cada amostra analisada estão tabeladas (ver ap. A, TAB. A.2). Idades obtidas através do MTF em zircão fornecem o tempo no qual o grão passou pela isoterma de 220°C.

Ao analisar amostras de bacias sedimentares deve-se considerar que: *i*) os grãos encontrados em bacias provêm de alguma rocha ígnea denominada fonte; *ii*) os grãos podem ter sofrido algum evento térmico antes de ter sido erodido; e *iii*) os traços podem ter sofrido *annealing* parcial ou total. O *annealing* parcial fica registrado no comprimento dos traços confinados, de tal maneira que, analisando a distribuição dos comprimentos, informações da história térmica da amostra podem ser obtidas e, conseqüentemente, da região onde ela foi coletada. O *annealing* total ocorre quando a temperatura do metamorfismo associado a algum evento tectônico pontual ou regional atinge valores acima de 220°C. A idade calculada neste caso corresponde à idade do referido evento tectônico. Um exemplo deste tipo de evento ocorre quando há reativação de falha geológica na fonte.

As idades dos grãos de zircão, quando da ocorrência isolada do primeiro caso, marcam a denudação da parte superior de uma Serra (Fonte) que ocasionalmente estava soerguendo. Nessa situação, os grãos que porventura erodiram, apresentam idades calculadas superiores às idades daqueles que sofreram algum evento térmico.

4. 3. 2.1 Formação Presidente Prudente

A FIG. 28 mostra a distribuição de idades obtidas de amostras coletadas na Formação Presidente Prudente e a FIG. 29 exibe as idades individuais na ordem em que elas foram obtidas. Analisando esta última, pode-se observar que as idades oscilam ao redor de vários valores médios, o que indica a existência de várias fontes que forneceram material detrítico para originar esta formação. Estas fontes estão localizadas ao redor da Bacia do Paraná. Pelo menos 5 períodos de idades estariam marcando as idades das fontes. São eles: 125, 200, 300, 400 e 600 Ma. Estas idades correspondem às principais orogenias que ficaram registradas na plataforma sul-americana. A larga distribuição de idades ilustrada no histograma da FIG. 28 confirma a existência destas 5 populações principais de idades.

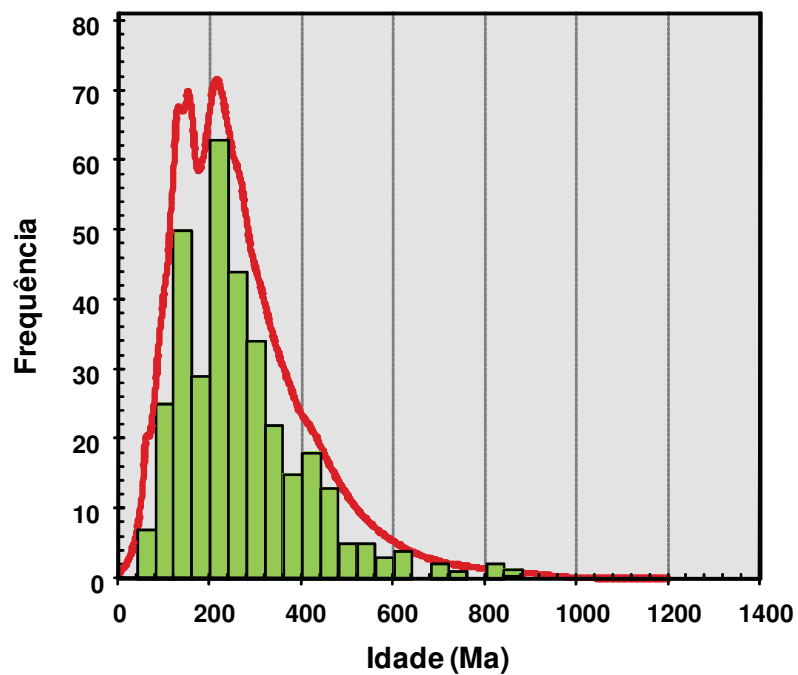


FIGURA 28 – Distribuição de idades dos grãos coletados na Formação Presidente Prudente.

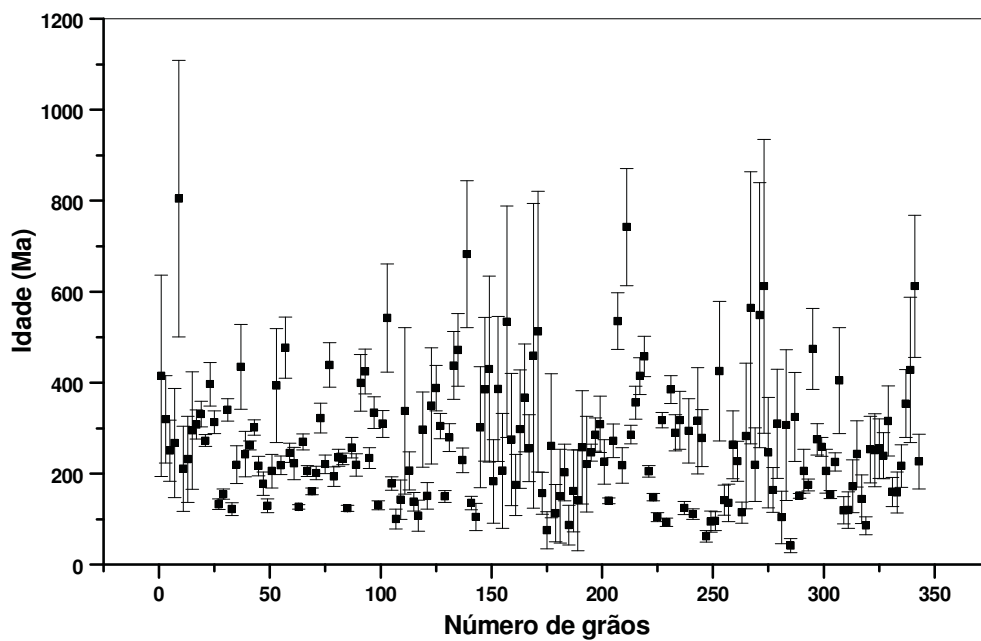


FIGURA 29 – Idades individuais com seu respectivo desvio padrão dos grãos coletados na Formação Presidente Prudente.

De acordo com a FIG. 2, a Formação Presidente Prudente está no topo da coluna estratigráfica do Grupo Bauru, com uma espessura máxima ao redor de 50 m. Ele teria se formado há aproximadamente 60 Ma através de paleodrenagens de interflúvios dos rios do Peixe e Paranapanema (região de Presidente Prudente - SP), bem como dos rios Aguapeí e do Peixe (espigão Osvaldo Cruz-Adamantina-Pacaembú - SP). Portanto, os grãos de zircão teriam sido transportados junto com os arenitos muito finos através destas paleodrenagens e depositados nesta formação geológica. Dados internos de traços de fissão em apatita (CONSTÂNCIO *et al.*, 2009) permitem deduzir que a Bacia Bauru não sofreu temperaturas acima de 120°C, ou seja, as amostras de zircão coletadas nesta formação, em geral, não sofreram *annealing*. Desse modo, as idades dos grãos de zircão estão indicando orogenias vinculadas diretamente com as fontes que originaram esta bacia.

4.3.2.2 Formação Vale do Rio do Peixe

A FIG. 30 mostra a distribuição de idades obtidas de amostras coletadas na Formação Vale do Rio do Peixe. Esta larga distribuição de idades mostra que as fontes que a originaram podem ter sido várias. Pela FIG. 31 pode-se observar que as idades obtidas individualmente oscilam ao redor de vários valores médios, tendo como principais períodos: 125, 200, 300, 400 e 600 Ma.

De acordo com a FIG. 2, a Formação Vale do Rio do Peixe está localizada logo abaixo da Formação Presidente Prudente, com uma espessura máxima ao redor de 100 metros e assenta-se diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral. Ou seja, os arenitos transportados por efeitos eólicos teriam se estratificado em extensas áreas planas.

Considerando um aumento da espessura de estratificação (*velocidade de estratificação*) constante no tempo, a Formação Vale do Rio do Peixe teria se estratificado nos últimos 40 Ma e a Formação Presidente Prudente nos últimos 20 Ma. Levando em consideração esta proposição e o fato de que as fontes podem ter sido comuns a ambas formações e que as amostras não sofreram *annealing*, as idades dos grãos de zircão coletados na Formação Vale do Rio do Peixe teriam que ser maiores do que aquelas encontradas para grãos coletados na Formação Presidente Prudente. Isto porque grãos provenientes de maiores altitudes, teoricamente, passaram pela isoterma de 240°C antes daqueles localizados em menores altitudes. Ou seja, os grãos de zircão localizados no topo de unidades geológicas são mais antigos que aqueles localizados em menores altitudes.

Desse modo, os grãos de zircão da Formação Presidente Prudente deveriam ser mais novos do que os grãos de zircão coletados na Formação Vale do Rio do Peixe. No entanto, as distribuições das idades destas formações (FIG. 28 e 30) mostram que elas são semelhantes. Significa que estas formações são indistinguíveis do ponto de vista das idades dos grãos de zircão. Estes resultados sugerem que as idades de ambas formações podem ser analisadas de modo conjunto para estudar a sua geocronologia.

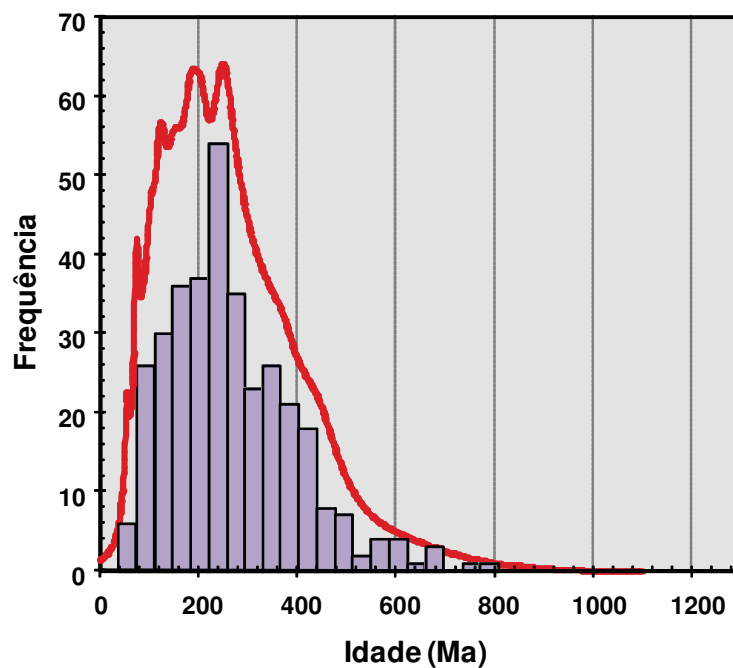


FIGURA 30 – Distribuição de idades obtidas dos grãos coletados na Formação Vale do Rio do Peixe.

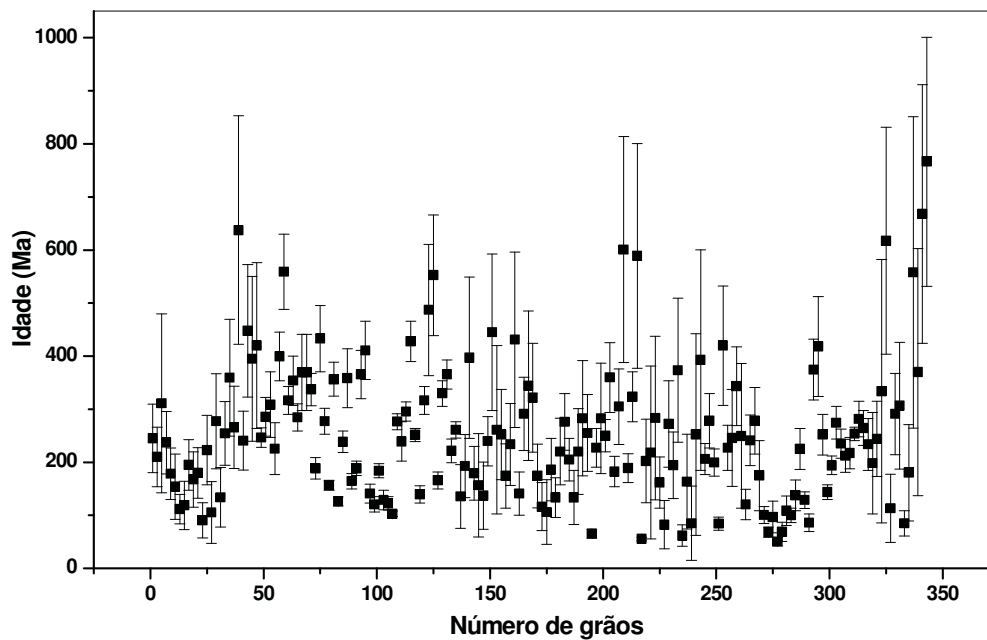


FIGURA 31 – Idades individuais com seu respectivo desvio padrão dos grãos coletados na Formação Vale do Rio do Peixe.

4.3.2.3 Geocronologia das Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe

A FIG. 32 reúne as idades das Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe. A distribuição de idades se estende de 42 a 870 Ma, o que é típico de amostras coletadas em bacias sedimentares. Cabe ressaltar que este intervalo é similar ao de cada uma individualmente. A FIG. 33 mostra como as idades oscilam ao redor de 5 populações. Estas populações estão centralizadas em 125, 200, 300, 400 e 600 Ma.

Idades ao redor de 125 Ma podem ser atribuídas à abertura do Atlântico Sul e à orogenia que deu origem a Serra da Mantiqueira baixa, pois, como mostra os resultados de trabalhos realizados pelo Grupo Detranes, há grãos de zircão nesta Serra com idades próximas a 125 Ma. As outras quatro idades ao redor de 200, 300, 400 e 600 Ma também podem ser correlacionadas a ciclos orogênicos dentro da plataforma sul-americana, entre os quais pode-se citar: Gondwanide, Famatiniano, Brasileiro médio e o início do Brasileiro (DIAS *et al.*, 2011). Isso mostra que estas orogenias podem ser diretamente correlacionadas com as diferentes fontes que deram origem às formações analisadas neste trabalho. Algumas das possíveis fontes são: Serra da Mantiqueira baixa (orogenia em 125 Ma), Serra da Mantiqueira alta, Planalto de Jundiaí, Serra do Mar e Serra da Canastra (orogenias em 200, 300 e 400 Ma) e Maciço de Goiás (orogenias em 600 Ma).

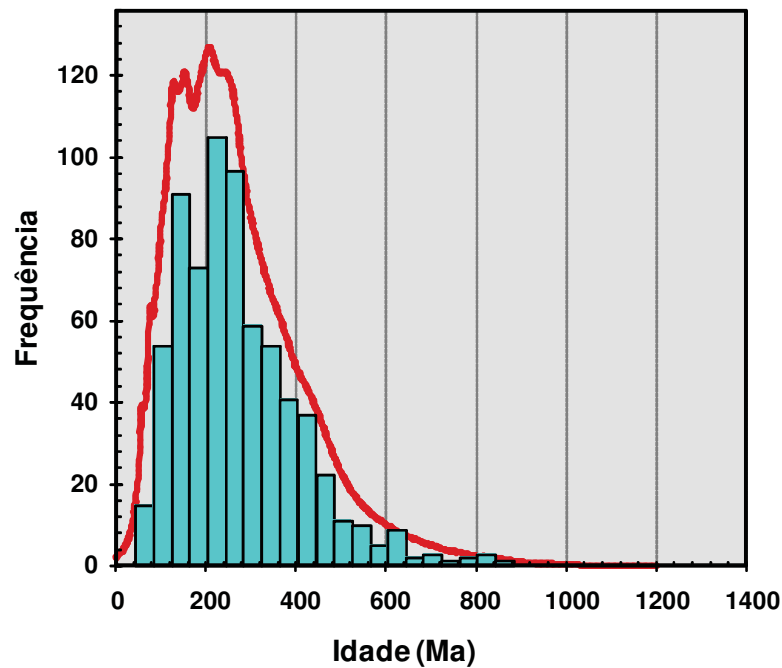


FIGURA 32 – Distribuição de idades dos grãos coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe.

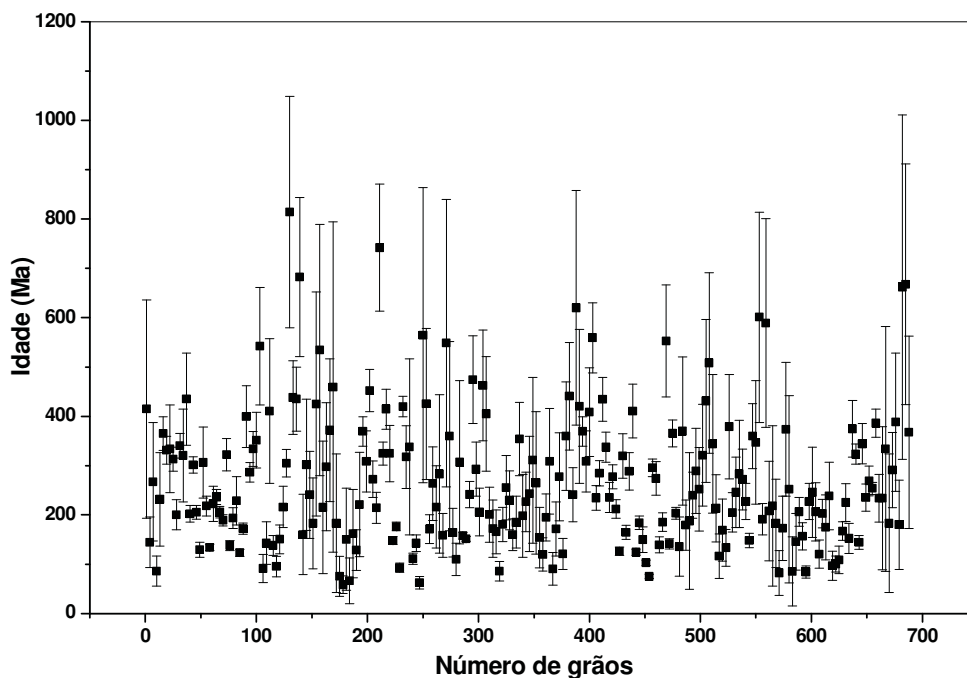


Figura 33- Idades individuais com seu respectivo desvio padrão obtidas nos grãos coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe.

Estas fontes teriam fornecido material detrítico durante 60 Ma para formar o que hoje é conhecido por Grupo Bauru. Durante os primeiros 40 Ma, o material detrítico veio dessas fontes através de transporte eólico, dando origem à Formação Vale do Rio do Peixe e nos últimos 20 Ma, o material detrítico veio destas e muito possivelmente de outras fontes através de transportes fluviais, dando origem à Formação Presidente Prudente, que está localizada acima da Formação Vale do Rio do Peixe.

Em algumas amostras (PV1, PV14 e NP9) idades maiores que 700 Ma foram obtidas. A análise da superfície dos grãos que apresentaram idades acima de 700 Ma revelou que os traços induzidos sofreram espalhamento (caso em que o contorno da imagem especular do grão na mica não corresponde ao contorno do grão). Há duas possibilidades para explicar este comportamento: *i*) diferentes taxas de corrosão em áreas distintas da superfície do mesmo grão; e *ii*) um mal acoplamento entre mica e teflon. Por este motivo, idades acima de 600 Ma não foram interpretadas geologicamente.

CONCLUSÃO

O Método de Traços de Fissão (MTF) foi aplicado em grãos de zircão objetivando estudar a geocronologia do Grupo Bauru, especificamente as Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe. Este objetivo foi alcançado através da datação de 42 amostras de zircão coletadas nas unidades geológicas supracitadas. Toda metodologia científica é constantemente aprimorada à medida que novas técnicas de investigação surgem no campo científico. A motivação deste trabalho foi dar continuidade aos estudos metodológicos com respeito aos avanços obtidos anteriormente pelo Grupo Detranes (DIAS *et al.*, 2008; DIAS *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2011; TELLO *et al.*, 2011).

Para lograr este objetivo, procedeu-se com a caracterização da superfície de grãos de zircão através de Microscopia Ótica, Espectroscopia micro-Raman e MEV. Por meio da utilização dessas técnicas, avanços significativos no aprimoramento do MTF em zircão foram alcançados, entre eles: *i*) grãos classificados como *heterogêneos*, *híbridos* e *anômalos* possuem subfamílias; *ii*) idades de grãos *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos* são estatística e geologicamente compatíveis; *iii*) a composição química não muda de forma substancial antes e depois do ataque químico em áreas onde os traços estão distribuídos de maneira uniforme; *iv*) a largura máxima a meia altura (FWHM) dos picos principais do espectro micro-Raman aumenta significativamente depois do ataque químico nos grãos *híbridos* e *anômalos* e *v*) os grãos *heterogêneos* apresentam diferentes densidades de traços na sua superfície em decorrência da presença de múltiplas faces cristalinas.

Estes novos avanços metodológicos foram aplicados aos grãos de zircão coletados nas Formações Presidente Prudente e Vale do Rio do Peixe, pertencentes ao Grupo Bauru. As distribuições de idades obtidas nestas formações são similares, portanto, pode-se inferir que as fontes que as originaram seriam as mesmas. A idade estratigráfica do Grupo Bauru gira em

torno de 60 Ma. Uma vez que a Formação Presidente Prudente está acima da Formação Vale do Rio do Peixe, esta última teria se formado no intervalo de 60-20 Ma. E a Formação Presidente Prudente teria se formado nos últimos 20 Ma. Isto sugere que os grãos de zircão coletados na Formação Vale do Rio do Peixe seriam mais velhos que os da Formação Presidente Prudente. No entanto, isso não acontece. Portanto, a diferença entre estas formações é que uma se formou a partir de transportes eólicos (Formação Vale do Rio do Peixe) e a outra a partir de paleodrenagens fluviais (Formação Presidente Prudente).

Este resultado também sugere que as fontes que deram origem a estas formações seriam as mesmas. De acordo com a distribuição de idade das duas formações pode-se inferir que as fontes podem ser: Serra da Mantiqueira baixa (menor que 1000 m), Serra da Mantiqueira alta (maior que 1000 m), Serra do Mar, Planalto de Jundiaí, Serra da Canastra e o Maciço de Goiás.

REFERÊNCIAS

BARCELOS, J. H. **Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do grupo bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo.** 1984. 190 f. Tese (Livre Docência) – Inst. Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1984.

BATEZELLI, Alessandro. **Redefinição litoestratigráfica da Unidade Araçatuba e da sua extensão regional na Bacia Bauru no Estado de São Paulo.** 1998. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

BATEZELLI, Alessandro. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes.** 2003. 183 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BATEZELLI, A.; GOMES, N. S.; PERINOTTO, J. A. de J. Petrografia e evolução diagenética dos arenitos da porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). **Revista Brasileira de Geociências.** v.35, n.3, p. 311-322. 2005.

BENVINGTON, Philip R.; ROBINSON, D. Keith. In: _____. **Data reduction and error analysis for the physical sciences.** 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1992, p. 29, 225.

BIGAZZI, G.; HADLER N., J. C.; IUNES, P. J.; OSÓRIO A., A. M. Fission track D_s/D_i measurements in artificial glass under conditions free from fading and radiation. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - B53**, North-Holland, p. 67-70, 1991.

CAMPOS, A. R.; LUZ, A. B.; CARVALHO, E. A. Separação em meio denso. Separata de: **Tratamento de minérios.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. cap. 7, p. 273. Comunicação técnica elaborada para a 4ª edição do livro de Tratamento de minérios.

COIMBRA, A. M. **Arenitos da Formação Bauru**: estudos de áreas-fonte. 1976. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

CONSTÂNCIO JR., M.; TELLO S., C. A.; DIAS, A. N. C.; SOARES, C. J.; RESENDE, S. R.; MELLO, A. R.; GOMES, M. R.; PEREIRA, L. A. S.; PEREIRA, G. V. M.; MARMOLEJO, E. M.; OSÓRIO, A. M. **Fission Track-Geochronology applied on Presidente Prudente Formation, Bauru Group, Brazil**. Resumo. In: 2010 The Meeting of the Americas, Foz do Iguaçu – PR. [Anais eletrônicos...]. Não paginado.

COULTHUP, N. B.; DALY, L. H.; WIBERLEY, S. E. Pure rotational Raman spectra. In: _____. **Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy**: vibrational and rotational spectra. 3th ed. Boston: Ed. Academic Press, 1990. chapter 1, p. 70.

CURVO, E. A. C.; IUNES, P. J.; GUEDES, S.; PALISSARI, R.; HADLER, J. C. Comparison of population and external detector method dating in epidote. **Radiation Measurements**, [S.I.], v. 42, n. 8, p. 1307-1314, 2007.

DAL'BÓ, P. F. F.; BASILICI, G. Estimativas de paleoprecipitação e gênese de feições cálcicas e argílicas em paleossolos da formação Marília (Neocretáceo da Bacia Bauru). **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 29, n. 1, p. 33-47, 2010.

DANA, James D; HURLBUT JR., Cornelius S. Mineralogia descritiva: silicatos. In: _____. **Manual de mineralogia**. Tradução: Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro: LTC, EDUSP, 1969. p. 441- 442.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. p. 9.

DIAS, A. N. C. **Método de traços de fissão em zircão**: estudos geocronológicos no Grupo Bauru. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

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, A. N. C. *et al.* **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, n. 2-3, p. 298-305, 2011.

ERNESTO, M.; BATEZELLI, A.; SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; FÚLFARO, V.J. **Início da sedimentação suprabasáltica na Bacia do Paraná: paleomagnetismo do Grupo Caiuá (oeste de São Paulo e noroeste do Paraná)**. In: Simpósio do Cretáceo do Brasil, 7 e Simpósio do Terciário do Brasil, 1, 2006, Serra Negra. Boletim... Serra Negra: UNESP, 2006, p. 48.

EWING, R. C. Displaced by radiation. **Nature**, v. 445, p. 161-162, Jan. 2007.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá**. São Paulo. 1992. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, p. 195-205, 1996.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], v. 30, n. 4, p. 720, 2000.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 53-66, 2004.

FÚLFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. **Santo Anastácio: um Geossolo cretácico na Bacia Caiuá**. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Simposio sobre el Cretácico de aAmérica del Sur, 1, 1999, Serra Negra. Boletim... Serra Negra: UNESP, 1999, p. 125-130.

GALLAGHER, K.; BROWN, R.; JOHNSON, C. Fission track analysis and its application to geological problems. **Annual Review of Earth Planetary Sciences**, [S.I.], v. 26, p. 519-572, 1998.

GARVER, J. I. Etching zircon age standards for fission-track analysis. **Radiation Measurements**, [S.I.], v. 37, p. 47-53, 2005.

GASPARETTO, N. V. L.; SANTOS, M. L. O emprego de minerais pesados como indicador da proveniência da cobertura pedológica do arenito Caiuá na região noroeste do Paraná. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 32, n. 1, p. 63-67, 2005. ISSN 1807-9806.

GOLDSTEIN, J.; NEWBURY, D.; JOY, D.; LYMAN, C.; ECHLIN, P.; LIFSHIN, E.; SAWYER, L.; MICHAEL, J. In: _____. **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: a text for biologists, materials sciences, and geologists**. 3rd ed. New York: Springer, 2003. p.1-2, 297, 323.

GUEDES, Sandro. **Duas novas determinações da constante de decaimento por fissão espontânea do ^{238}U , λ_F , utilizando-se técnicas de traços de fissão**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Física) – UNICAMP, Campinas – SP, 2001.

GUEDES, S.; HADLER N., J.C.; IUNES, P. J., PAULO, S. R.; ZUÑIGA, A. The spontaneous fission decay constant of ^{238}U using SSNTD. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, [S.I.], v. 245, n. 2, p. 441-442, 2000.

GUEDES, S.; HADLER, J. C.; IUNES, P. J.; BURKE, A. K.; KAKAZU, M. H.; SARKIS, J. E. S.; PAULO, S. R.; TELLO S., C. A. 2001. Determination of the ^{238}U spontaneous fission decay constant without neutron irradiation. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, [S.I.], v. 253, n. 1, p. 73-76, 2002.

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.

GUEDES, S.; HADLER N., J. C.; IUNES, ZUÑIGA, A.; TELLO S., C. A.; PAULO, S. R. The use of the U(n,f) reaction dosimetry in the determination of the λ_F value through fission-track techniques. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, [S.I.], v. 496, p. 215-221, 2003b.

GUEDES, S.; HADLER N., J. C.; IUNES, P. J.; TELLO S., C. A. kinetic model for the relationship between confined fission-track length shortening and fission-track age reduction in minerals. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, [S.I.], v. 217, p. 627-636, 2004.

GUEDES, S.; HADLER N., J. C.; IUNES, P. J.; OLIVEIRA, K. M. G.; MOREIRA, P. A. F. P.; TELLO S., C. A. Kinetic model for annealing of fission tracks in zircon. **Radiation Measurements**, [S.I.], v. 40, p. 517-521, 2005.

HADLER, J.C.; LATTES, C. M. G.; MARQUES, A.; MARQUES, M. D. D.; SERRA, D. A. B.; BIGAZZI, G. Measurement of the spontaneous-fission disintegration constant of ^{238}U . **Nuclear Tracks**, v. 5, n. 1-2, p. 45-52, 1981.

HADLER, J. C. **Medida da constante de desintegração do ^{238}U por fissão espontânea**. 1982. Tese (Doutorado em Ciências) – UNICAMP, Campinas–SP, 1982.

HADLER, J.C.; BIGAZZI, G.; GUEDES, S.; IUNES, P. J.; ODDONE, M.; TELLO, C. A.; PAULO, S. R. Spontaneous ^{238}U fission half-life measurements based on fission-track

techniques. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry** , [S.I.], v. 256, n. 1, p. 155-157, 2003

HASUI, Y. 1968. **A Formação Uberaba**. In: XXII Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG. p.167-179, 1968.

HOSKIN, P. W. O; SCHALTEGGER, U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, [S.I.], v. 53, p. 27-62, 2003. ISSN: 15296466.

IUNES, P. J. **Datação com o método dos traços de fissão: estudo da dosimetria de nêutrons com filmes finos de urânio natural**. 1990. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP, Campinas, SP, 1990.

_____. **Aplicação da dosimetria de neutrons através de filmes finos de urânio natural e tório na datação pelo método dos traços de fissão**. 1999. 76 f. Tese (Doutorado em Física) – Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP, Campinas, SP, 1999.

IUNES, P. J.; HADLER N., J. C.; BIGAZZI, G.; TELLO S., C. A.; GUEDES, S.; PAULO, S. R. Durango apatite fission-track dating using length-based age corrections and neutron fluence measurements by thorium thin films and natural U-doped glasses calibrated through natural uranium thin films. **Chemical Geology**, [S.I.], v. 187, p. 201-211, 2002a.

IUNES, P. J.; BIGAZZI, G.; HADLER N., J.C.; TELLO S., C. A.; GUEDES, S.; PAULO, S. R.; BALESTRIERI, M. L.; NORELLI, P.; ODDONE, M.; OSÓRIO, A. M.; ZUÑIGA, A. The Th/U ratio in minerals by a fission-track technique: application to some reference samples in order to estimate the influence of Th in fission-track dating. **Radiation measurements**, [S.I.], v. 35, p. 195-201, 2002b.

IUNES, P. J.; HADLER N., J. C.; BIGAZZI, G.; GUEDES, S.; ZUÑIGA G., A.; PAULO, S. R.; TELLO S., C. A. Uranium and thorium thin film calibrations by particle track techniques. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, [S.I.], v. 262, n. 2, p. 461-468, 2004.

IUNES, P. J.; BIGAZZI, G.; HADLER N., J. C.; LAURENZI, M. A.; BALESTRIERI, M. L.; NORELLI, P.; OSÓRIO A., A. M.; GUEDES, S.; TELLO S., C. A.; PAULO, S. R.; MOREIRA, P. A. F. P.; PALISSARI, R.; CURVO, E. A. C. U and Th thin film neutron dosimetry for fission-track dating: application to the age standard Moldavite. **Radiation measurements**, v. 39, p. 665-668, 2005.

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, 1998, p. 47-66.

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 . **Phys. Rev. C** 4, p. 1889-1906, 1971.

KRISHNASWAMI, S.; LAL, D.; PRABHU, N.; MACDOUGALL, D. Characteristics of fission-track in zircon: applications to geochronology and cosmology. **Earth Planet. Sci. Lett.**, [S.I.], v. 22, p. 51-59, 1974.

LEDERER, C.M.; SHIRLEY, V. S. **Table of Isotopes**. 7th ed. New York: Wiley-Interscience, 1978. 1523 p.

LYMAN, C. E.; NEWBURY, D. E.; GOLDSTEIN, J. I.; WILLIAMS, D. B.; ROMIG JR., A. D.; FIORI, C. E. JOY, D. C.; LIFSHIN, E.; PETERS, K. **Scanning electron microscopy, x-ray microanalysis, and analytical electron microscopy: a laboratory workbood**. In: _____. New York: Plenum Press, 1990, p. 61. ISBN: 0-306-43591-8.

NAKAGOMI, Fábio. **Efeitos da distribuição da população de cobalto e magnésio nas propriedades estruturais e magnéticas de nanopartículas de $\text{Co}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ e $\text{Mg}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$** . 2008. 43 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

NASDALA, L.; ZHANG, M.; KEMPE, U.; PANCZER, G.; GAFT, M.; ANDRUT, M.; PLÖTZE, M. Spectroscopic methods applied to zircon. In: HANCHAR, J. M.; HOSKIN, P. W. O. (Eds). **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, [S.I.], v. 53, p. 427-467, 2003. ISSN 1529-6466.

PAULA E SILVA, Flávio de. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 166 f. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2003.

RICCOMINI, Cláudio. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], v. 27, n. 2, p. 153-162, 1997.

SANTOS, Caio Almeida dos. Do substrato à superfície da morfoestrutura a morfoescultura. In: _____. **Cronogeomorfologia do relevo da cidade de Marília-SP através do Método de Traços de Fissão (MTF)**. 2010. cap. 1. Não paginado. Projeto de pesquisa de doutorado.

SINGH, Rajinder. C.V. Raman and discovery of the Raman effect. In: **Physics in Perspective**. Basel: Birkhäuser, v. 4, n. 4, p. 399-420, 2002. Birkhäuser Basel.

SKOOG, D. A; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Introdução aos métodos espectrométricos. In: _____. **Princípios de análise instrumental**. Tradução: Ignez Caracelli...[*et al.*]. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. cap. 18, p. 385-387, 488. ISBN 85-7307-976-2.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO N., A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo – SP, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

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

TAGAMI, T.; CARTER, A.; HURFORD, A. J. Natural long-term annealing of the zircon fission-track system in Vienna Basin deep borehole samples: constraints upon the partial annealing zone and closure temperatures. **Chemical Geology**, [S.I.], v. 130, p. 147-157, 1996.

TAGAMI, T.; O'SULLIVAN, P. B. Fundamentals of fission-track thermochronology. In: REINERS, P. W.; EHLERS, T. A. (Eds). **Reviews in Mineralogy & Geochemistry**, [S.I.], v. 58, p. 19-47, 2005. ISSN 1529-6466.

UTSUNOMIYA, S., PALENIK C. S., VALLEY, J. W., CAVOSIE, A. J., WILDE, S. A.; SWING, R. C. Nanoscale occurrence of Pb in an Archean zircon. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [S.I.], v. 68, n. 22, p. 4679-4686, 2004.

YAMADA, R., TAGAMI, T., NISHIMURA, S. Confined fission-track length measurement of zircon: assessment of factors affecting the paleotemperature estimate. **Chemical Geology**, [S.I.], v. 122, p. 249-258, 1995.

WAGNER, G. A.; STORZER, D. Fission track length reductions in minerals and the thermal history of rocks. **Trans. Amer. Nucl. Soc.**,v. 15, p. 127-128, 1972.

WAGNER, Günther A.; HAUTE, Peter Van den. In: _____. **Fission-track dating**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, v. 6, 1992. 292 p.

ZAINE, J.E.; BARBOUR JUNIOR, E.; NEGREIROS, J.H.; RODRIGUES, M.E.; BARRETO, M.L.K.; ETCHEBEHERE, M.L. de C.; OLIVEIRA, M.S.; LUZ, O.T.; ANTONINI, S.A.; MUZARDO, V.A. (Coordenadores). **Geologia do Bloco 38 e 44: Região de Araçatuba/Tupã e Marília**. São Paulo: PAULIPETRO, Relatório, BP - 014/80, v. 2, 50 p, 1980.

ZHOU, W.; APKARIAN, R. P.; WANG, Z. L.; JOY, D. Fundamentals of scanning electron microscopy. In: ZHOU, Weilie; WANG, Zhong Lin (Eds). **Scanning microscopy for nanotechnology**. New York: Springer, 2007. chapter 1, p. 1-3.

WILLIAMS, Q. Infrared, Raman and optical spectroscopy of earth materials. In: AHRENS, Thomas J. (Ed). **Mineral physics and crystallography: a handbook of physical constants**. [S.I.]: American Geophysical Union, 1995, p. 291.

APÊNDICE

APÊNDICE A – TABELAS

TABELA A.1

Dados de idade obtidos via MTF de grãos de zircão classificados em *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos*.*(Continua)*

Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
MT106										
1	Homogêneo	405 \pm 116	24	Homogêneo	389 \pm 105	7	Homogêneo	237 \pm 59	Híbrido	131 \pm 70
2	Homogêneo	248 \pm 60	MT107			9	Homogêneo	179 \pm 49	Híbrido	134 \pm 56
3	Heterogêneo	119 \pm 30	1	Híbrido	160 \pm 32	10	Homogêneo	391 \pm 237	SI5	
4	Heterogêneo	200 \pm 56	2	Heterogêneo	231 \pm 82	11	Homogêneo	154 \pm 62	Híbrido	160 \pm 82
5	Heterogêneo	120 \pm 40	3	Híbrido	159 \pm 45	12	Homogêneo	163 \pm 49	Híbrido	105 \pm 30
6	Heterogêneo	259 \pm 105	4	Híbrido	185 \pm 53	13	Híbrido	134 \pm 144	Homogêneo	127 \pm 40
7	Heterogêneo	172 \pm 58	5	Heterogêneo	217 \pm 47	14	Homogêneo	112 \pm 28	Híbrido	302 \pm 133
8	Heterogêneo	298 \pm 84	6	Heterogêneo	474 \pm 116	15	Homogêneo	120 \pm 34	Homogêneo	222 \pm 74
9	Híbrido	243 \pm 73	7	Homogêneo	354 \pm 75	16	Híbrido	119 \pm 46	Homogêneo	386 \pm 158
10	Híbrido	166 \pm 44	8	Homogêneo	442 \pm 102	17	Homogêneo	208 \pm 77	Homogêneo	241 \pm 89
11	Híbrido	144 \pm 53	9	Híbrido	428 \pm 160	18	Heterogêneo	195 \pm 48	Híbrido	430 \pm 204
12	Heterogêneo	165 \pm 53	10	Híbrido	198 \pm 84	19	Homogêneo	268 \pm 92	Homogêneo	750 \pm 350
13	Híbrido	86 \pm 20	11	Híbrido	612 \pm 156	20	Homogêneo	168 \pm 52	Híbrido	183 \pm 92
14	Heterogêneo	124 \pm 44	12	Híbrido	265 \pm 91	21	Homogêneo	309 \pm 107	Híbrido	70 \pm 27
15	Híbrido	253 \pm 73	13	Híbrido	227 \pm 60	22	Heterogêneo	180 \pm 48	SI25	
16	Híbrido	181 \pm 35	14	Híbrido	513 \pm 131	23	Homogêneo	155 \pm 36	Híbrido	386 \pm 159
17	Heterogêneo	252 \pm 81	MT109			24	Homogêneo	91 \pm 33	Híbrido	425 \pm 227
18	Heterogêneo	247 \pm 82	1	Homogêneo	245 \pm 64	25	Heterogêneo	269 \pm 165	Heterogêneo	206 \pm 126
19	Heterogêneo	255 \pm 65	2	Homogêneo	243 \pm 117	26	Homogêneo	223 \pm 65	Homogêneo	100 \pm 30
20	Homogêneo	267 \pm 52	3	Homogêneo	210 \pm 56	27	Homogêneo	172 \pm 55	Híbrido	534 \pm 255
21	Homogêneo	240 \pm 51	4	Homogêneo	167 \pm 59	28	Híbrido	105 \pm 58	Híbrido	256 \pm 121
22	Híbrido	230 \pm 60	5	Homogêneo	311 \pm 168	29	Híbrido	247 \pm 87	Híbrido	275 \pm 145
23	Heterogêneo	316 \pm 77	6	Híbrido	125 \pm 44	30	Homogêneo	277 \pm 89	Híbrido	215 \pm 134

TABELA A.1
 Dados de idade obtidos via MTF de grãos de zircão classificados em homogêneos, heterogêneos e híbridos.

(Continua)

Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
SI25											
9	Híbrido	175 \pm 67	14	Híbrido	146 \pm 57	27	Heterogêneo	415 \pm 306	18	Heterogêneo	291 \pm 69
10	Híbrido	484 \pm 291	PV14			29	Homogêneo	668 \pm 244	19	Homogêneo	254 \pm 104
11	Híbrido	298 \pm 130	1	Híbrido	298 \pm 185	30	Híbrido	303 \pm 129	20	Heterogêneo	344 \pm 141
12	Híbrido	133 \pm 40	3	Heterogêneo	198 \pm 96	31	Heterogêneo	766 \pm 235	21	Híbrido	250 \pm 81
13	Híbrido	367 \pm 118	4	Híbrido	234 \pm 145	33	Heterogêneo	368 \pm 195	T8		
14	Híbrido	372 \pm 145	6	Híbrido	95 \pm 63	T1			1	Heterogêneo	321 \pm 103
15	Híbrido	256 \pm 74	7	Heterogêneo	334 \pm 248	1	Híbrido	163 \pm 38	2	Homogêneo	213 \pm 68
16	Heterogêneo	280 \pm 170	8	Híbrido	223 \pm 107	2	Heterogêneo	240 \pm 46	3	Híbrido	174 \pm 60
SI40											
1	Híbrido	459 \pm 335	9	Híbrido	617 \pm 214	3	Heterogêneo	204 \pm 45	4	Híbrido	151 \pm 56
2	Heterogêneo	153 \pm 44	10	Híbrido	183 \pm 140	4	Heterogêneo	445 \pm 148	5	Híbrido	116 \pm 45
3	Híbrido	512 \pm 309	11	Híbrido	113 \pm 64	5	Homogêneo	289 \pm 87	6	Heterogêneo	152 \pm 45
PV1											
1	Homogêneo	373 \pm 136	12	Híbrido	238 \pm 90	6	Híbrido	261 \pm 159	7	Híbrido	106 \pm 61
2	Homogêneo	333 \pm 76	13	Heterogêneo	291 \pm 76	7	Heterogêneo	445 \pm 148	8	Híbrido	169 \pm 63
3	Híbrido	1040 \pm 753	14	Heterogêneo	508 \pm 373	8	Homogêneo	252 \pm 85	9	Híbrido	186 \pm 59
4	Híbrido	62 \pm 20	15	Híbrido	307 \pm 120	9	Heterogêneo	253 \pm 58	10	Híbrido	80 \pm 39
5	Homogêneo	252 \pm 190	17	Híbrido	388 \pm 140	10	Heterogêneo	174 \pm 61	11	Homogêneo	133 \pm 37
8	Híbrido	164 \pm 89	18	Híbrido	85 \pm 24	11	Híbrido	321 \pm 103	T11		
9	Híbrido	348 \pm 258	19	Híbrido	510 \pm 210	12	Heterogêneo	234 \pm 77	1	Heterogêneo	208 \pm 101
10	Híbrido	85 \pm 70	20	Híbrido	180 \pm 91	13	Heterogêneo	246 \pm 54	2	Híbrido	202 \pm 79
11	Híbrido	442 \pm 328	22	Heterogêneo	195 \pm 86	14	Heterogêneo	431 \pm 165	3	Híbrido	283 \pm 151
13	Híbrido	252 \pm 190	23	Híbrido	558 \pm 293	15	Heterogêneo	181 \pm 48	4	Híbrido	218 \pm 163
			24	Heterogêneo	662 \pm 349	16	Híbrido	141 \pm 41	5	Híbrido	361 \pm 190
			25	Híbrido	370 \pm 233	17	Homogêneo	508 \pm 183	8	Híbrido	283 \pm 154

TABELA A.1
 Dados de idade obtidos via MTF de grãos de zircão classificados em *homogêneos*, *heterogêneos* e *híbridos*.

		(Conclusão)			
Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	Tipo de grão	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
T11					
9	Híbrido	183 \pm 89	3	Homogêneo	320 \pm 96
10	Heterogêneo	162 \pm 48	5	Híbrido	144 \pm 51
11	Híbrido	222 \pm 98	6	Híbrido	251 \pm 67
12	Homogêneo	82 \pm 45	7	Híbrido	613 \pm 448
13	Híbrido	223 \pm 119	8	Híbrido	267 \pm 120
14	Híbrido	272 \pm 81	9	Heterogêneo	124 \pm 50
15	Homogêneo	173 \pm 65	10	Homogêneo	805 \pm 304
16	Heterogêneo	194 \pm 63	P73		
17	Homogêneo	246 \pm 132	1	Híbrido	433 \pm 262
P0					
1	Híbrido	415 \pm 221	2	Heterogêneo	231 \pm 95
2	Híbrido	141 \pm 91	3	Híbrido	258 \pm 109
RF138					
			4	Híbrido	295 \pm 129
			1	Híbrido	247 \pm 121
			2	Heterogêneo	194 \pm 67
			3	Heterogêneo	164 \pm 49
			4	Heterogêneo	304 \pm 115
			5	Heterogêneo	310 \pm 120
			6	Híbrido	110 \pm 33
			7	Híbrido	104 \pm 58
			8	Homogêneo	65 \pm 16
			9	Híbrido	307 \pm 166
			10	Híbrido	74 \pm 22
			11	Híbrido	42 \pm 16
		

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	
P0																		
1	2,08	45	0,83	4	415 ± 221	6	2,11	91	1,29	28	273 ± 13	5	2,11	76	1,10	24	301 ± 17	
2	1,04	15	1,24	3	141 ± 91	7	2,08	15	1,03	5	334 ± 89	6	2,15	31	1,29	14	264 ± 28	
3	2,99	86	1,55	15	320 ± 96	8	2,43	35	1,01	11	397 ± 48	7	2,01	29	1,47	16	217 ± 21	
5	1,56	45	1,82	11	144 ± 51	9	2,01	29	0,37	4	870 ± 248	8	2,26	65	1,74	19	205 ± 14	
6	2,36	136	1,57	19	251 ± 67	10	1,47	53	0,78	17	313 ± 25	9	2,08	30	1,86	9	178 ± 26	
7	3,13	45	0,83	2	613 ± 448	11	2,36	85	1,29	28	305 ± 15	10	1,74	25	2,07	10	134 ± 19	
8	1,99	43	1,24	6	267 ± 120	12	1,09	47	1,38	15	133 ± 12	11	2,01	29	2,48	12	130 ± 15	
9	0,81	35	1,10	8	124 ± 50	13	0,88	38	0,73	8	200 ± 30	12	2,19	63	1,38	15	251 ± 21	
10	2,08	165	0,41	8	805 ± 304	14	1,61	58	1,74	19	155 ± 11	13	1,88	27	1,45	7	206 ± 37	
P20																		
1	0,93	40	1,82	11	86 ± 31	15	1,32	19	0,92	10	240 ± 37	14	2,01	29	1,03	5	307 ± 72	
2	2,08	60	1,65	6	211 ± 93	16	1,81	78	0,88	17	340 ± 25	15	2,08	15	0,83	4	394 ± 125	
P73																		
1	1,63	47	0,62	3	433 ± 262	17	1,32	38	0,64	7	340 ± 58	16	2,27	49	1,74	19	206 ± 15	
2	1,53	33	1,10	8	231 ± 95	18	1,94	28	2,69	13	122 ± 14	17	2,15	31	1,56	17	218 ± 20	
3	1,49	43	0,96	7	258 ± 109	19	1,60	23	0,83	4	320 ± 94	18	2,27	49	2,30	25	157 ± 10	
4	1,47	74	0,83	6	295 ± 129	20	1,63	47	1,24	6	220 ± 42	19	2,26	65	0,73	8	477 ± 67	
P90																		
1	1,60	46	0,72	14	365 ± 34	21	1,57	68	0,55	6	468 ± 85	20	2,55	55	3,03	33	134 ± 7	
2	1,88	81	1,01	11	308 ± 32	22	1,46	78	0,55	13	435 ± 94	21	2,00	72	1,29	14	246 ± 21	
3	3,72	107	1,65	34	371 ± 15	23	1,81	21	0,67	6	442 ± 40	UB29						
4	2,57	74	1,29	14	331 ± 28	COB31						1	2,65	51	0,95	10	437 ± 53	
5	1,74	50	1,19	13	243 ± 24	1	2,22	16	1,45	7	243 ± 50	2	2,65	17	1,89	10	222 ± 36	
COB31																		
1	1,60	46	0,72	14	365 ± 34	2	1,99	43	1,56	17	202 ± 17	3	2,19	28	1,61	17	216 ± 21	
2	1,88	81	1,01	11	308 ± 32	3	2,25	81	1,36	41	262 ± 10	4	2,81	72	3,53	42	127 ± 5	
3	3,72	107	1,65	34	371 ± 15	4	2,22	16	1,65	8	213 ± 40	5	2,76	53	1,85	22	236 ± 15	

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$					
UB29																						
6	3,02	58	1,76	21	270 \pm 18	9	2,19	42	1,34	16	257 \pm 22	3	0,83	24	0,62	3	227 \pm 85					
7	2,79	125	1,28	27	343 \pm 16	10	2,15	55	1,98	21	172 \pm 11	4	0,69	20	0,83	4	143 \pm 43					
8	2,62	67	2,02	24	206 \pm 12	11	2,26	29	1,64	13	219 \pm 25	5	0,94	34	1,45	7	111 \pm 19					
9	2,59	83	1,51	32	270 \pm 12	12	1,72	33	1,26	15	216 \pm 21	6	0,83	24	0,41	3	338 \pm 183					
10	2,89	74	2,86	34	161 \pm 7	13	1,72	33	0,67	8	399 \pm 62	7	1,02	20	0,41	4	411 \pm 147					
11	2,60	50	2,18	26	189 \pm 11	14	2,42	31	2,27	12	170 \pm 20	8	1,01	34	0,83	7	206 \pm 42					
12	3,20	41	2,52	20	202 \pm 15		HF35										9	1,11	24	1,45	2	131 \pm 22
13	3,05	39	0,84	10	559 \pm 71	1	1,78	64	0,69	10	424 \pm 49	10	1,01	44	1,24	3	138 \pm 20					
14	2,24	43	1,09	13	322 \pm 33	2	3,01	65	1,74	19	287 \pm 20	11	1,13	29	1,38	6	140 \pm 17					
15	2,19	14	1,51	8	229 \pm 45	3	1,81	39	1,29	14	234 \pm 23	12	0,52	40	0,83	7	108 \pm 34					
16	2,11	27	1,51	18	221 \pm 21	4	2,73	59	1,65	18	275 \pm 20	13	0,69	29	1,24	9	96 \pm 21					
17	2,11	27	2,44	29	138 \pm 10	5	2,22	48	1,10	12	334 \pm 35	14	0,97	49	0,55	10	297 \pm 83					
18	2,60	50	0,92	11	439 \pm 49	6	2,01	29	3,10	15	110 \pm 11	15	0,51	15	0,62	4	140 \pm 59					
19	2,50	32	1,34	16	293 \pm 28	7	1,42	41	1,84	20	130 \pm 10	16	0,88	20	0,99	6	151 \pm 29					
BN5																						
1	1,64	21	1,34	16	194 \pm 21	8	1,37	59	0,64	7	351 \pm 56	17	0,78	35	0,96	4	137 \pm 25					
2	1,72	22	2,84	15	97 \pm 11	9	2,57	37	1,38	15	310 \pm 29	18	0,86	11	0,41	3	349 \pm 128					
3	2,00	64	1,34	16	235 \pm 19	10	1,74	25	1,24	6	234 \pm 49	19	1,06	38	0,83	6	216 \pm 42					
4	1,64	21	1,13	6	229 \pm 49	11	1,53	55	0,46	5	542 \pm 119		HF105									
5	1,60	92	1,09	23	232 \pm 13	12	1,42	41	0,92	10	258 \pm 32	1	1,94	56	0,83	9	388 \pm 50					
6	1,93	37	2,60	31	118 \pm 7	13	1,76	38	1,65	18	178 \pm 15	2	1,72	62	0,64	7	440 \pm 70					
7	2,08	40	2,69	32	124 \pm 7		HF50										3	2,36	51	1,29	14	305 \pm 28
8	2,13	41	1,68	20	202 \pm 15	1	0,59	17	1,10	4	92 \pm 28	4	1,53	66	1,10	12	231 \pm 23					
						2	0,73	21	1,24	6	100 \pm 22	5	1,81	26	2,02	22	150 \pm 13					

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
HF105																	
6	1,88	27	0,37	4	814 \pm 234	12	1,11	24	1,82	11	70 \pm 27	1	0,90	13	0,83	2	183 \pm 140
7	1,85	40	1,10	12	280 \pm 31		SI25					2	1,64	59	1,76	17	157 \pm 46
8	1,71	37	1,01	11	282 \pm 33	1	2,26	65	0,96	7	386 \pm 159	3	2,01	29	0,92	10	362 \pm 139
9	1,71	37	0,64	7	438 \pm 75	2	1,42	41	0,55	4	425 \pm 227	4	0,83	6	1,86	9	76 \pm 41
10	1,81	26	1,19	13	252 \pm 29	3	1,53	33	1,24	3	206 \pm 126	5	0,69	5	1,24	6	95 \pm 58
11	1,85	40	0,64	7	472 \pm 80	4	1,04	45	1,76	17	100 \pm 30	6	1,94	42	1,24	3	261 \pm 159
12	1,94	42	0,73	8	435 \pm 65	5	2,26	65	0,69	5	534 \pm 255	7	0,69	45	2,01	17	59 \pm 18
13	1,39	40	1,01	11	230 \pm 27	6	1,59	80	1,03	5	256 \pm 121	8	0,69	10	1,03	5	113 \pm 63
14	1,39	40	1,19	13	195 \pm 20	7	2,73	59	1,65	4	275 \pm 145	9	0,82	59	1,03	10	133 \pm 48
15	1,94	28	0,46	5	682 \pm 161	8	1,60	23	1,24	3	215 \pm 134	10	0,56	8	0,62	3	151 \pm 103
16	1,67	12	1,03	5	269 \pm 76	9	1,94	42	1,86	9	175 \pm 67		SI135				
17	1,11	24	1,38	15	136 \pm 15	10	1,83	66	0,62	3	484 \pm 291	1	1,07	139	0,83	18	217 \pm 59
SI5																	
1	1,46	21	1,03	5	160 \pm 82	11	2,22	80	1,24	6	298 \pm 130	2	1,17	84	0,96	14	202 \pm 62
2	1,71	74	1,86	18	105 \pm 30	12	0,87	69	1,10	16	133 \pm 40	3	0,97	7	2,48	3	66 \pm 46
3	0,53	38	0,47	16	127 \pm 40	13	2,20	111	0,99	12	367 \pm 118	4	1,06	23	2,07	5	87 \pm 44
4	2,22	64	0,83	6	302 \pm 133	14	1,86	67	0,83	8	372 \pm 145	5	1,30	28	2,48	6	88 \pm 41
5	1,79	103	0,91	11	222 \pm 74	15	2,03	117	1,32	16	256 \pm 74	6	1,60	23	1,65	4	162 \pm 90
6	1,11	80	0,32	7	386 \pm 158	16	1,39	40	0,83	3	280 \pm 170	7	1,01	29	0,83	4	204 \pm 111
7	1,59	80	0,74	9	241 \pm 89		SI40					8	0,69	10	0,83	2	141 \pm 110
8	1,60	69	0,41	5	430 \pm 204	1	2,31	50	0,826	2	459 \pm 335	9	1,37	69	1,79	13	129 \pm 41
9	1,36	147	0,20	5	750 \pm 350	2	1,60	92	1,756	17	153 \pm 44	10	1,60	46	1,03	5	258 \pm 124
10	1,67	24	1,03	5	183 \pm 92	3	1,56	56	0,496	3	512 \pm 309	11	1,81	26	1,65	4	183 \pm 100
						..	..	..	..	..	..	12	1,37	59	1,03	5	221 \pm 106

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	
PR75																		
1	1,53	49	0,66	14	382 ± 35	5	3,44	22	1,51	18	356 ± 36	3	0,86	31	0,69	5	212 ± 49	
2	1,37	35	0,92	22	247 ± 18	6	3,05	39	1,18	14	404 ± 40	4	0,81	29	1,10	12	125 ± 15	
3	1,80	46	0,80	17	369 ± 30	7	3,12	40	1,18	14	414 ± 40	5	0,83	36	0,41	2	338 ± 179	
4	1,44	37	0,84	10	286 ± 37	8	2,97	19	0,63	5	717 ± 182	6	0,90	26	0,52	5	294 ± 70	
5	1,30	25	1,43	17	153 ± 15	9	2,97	76	1,01	12	458 ± 45	7	0,92	33	0,55	4	280 ± 79	
6	0,94	30	0,50	6	308 ± 62	10	3,12	20	1,51	8	325 ± 57	8	1,17	42	1,79	13	111 ± 11	
7	1,00	32	0,76	9	221 ± 32	11	3,05	39	2,35	28	205 ± 13	9	1,25	45	0,96	7	219 ± 36	
8	1,25	8	0,92	11	226 ± 49	12	2,89	37	1,43	17	318 ± 28	10	0,78	28	0,41	3	316 ± 117	
B3																		
1	3,18	61	1,09	13	452 ± 43	13	2,97	38	3,19	38	148 ± 8	11	1,39	30	1,65	12	143 ± 17	
2	2,81	54	3,19	38	140 ± 6	14	2,65	51	0,95	10	437 ± 53	12	1,14	41	0,69	5	278 ± 63	
B4																		
3	2,81	18	1,51	8	293 ± 53	15	2,97	19	4,54	24	105 ± 10	RF136						
4	3,59	23	2,08	11	273 ± 37	1	2,58	130	2,48	24	177 ± 9	1	1,27	55	0,41	3	509 ± 179	
5	2,42	31	2,18	26	176 ± 13	2	2,44	88	1,29	25	318 ± 17	2	0,60	13	1,65	8	62 ± 13	
6	3,20	41	0,92	11	535 ± 62	3	2,50	54	1,52	11	278 ± 31	3	0,83	18	1,10	4	129 ± 39	
7	2,81	18	2,08	11	214 ± 32	4	1,57	34	2,89	14	93 ± 9	4	0,76	22	1,38	5	95 ± 23	
8	2,34	15	1,70	9	218 ± 39	5	1,48	32	1,24	6	202 ± 40	5	0,94	34	0,28	2	564 ± 299	
9	2,58	33	1,85	22	221 ± 17	6	1,79	90	0,77	15	385 ± 30	6	0,69	20	1,24	6	96 ± 21	
B4																		
1	3,28	21	0,67	8	742 ± 129	7	2,08	120	0,83	25	420 ± 21	7	0,90	26	0,83	4	185 ± 54	
2	2,97	19	3,78	20	125 ± 13	8	1,42	41	0,83	9	290 ± 39	8	1,06	38	0,41	3	425 ± 153	
3	3,20	41	1,76	21	286 ± 21	RF120						9	0,88	38	0,41	3	356 ± 128	
4	3,12	60	1,51	18	325 ± 24	1	1,11	40	1,24	9	152 ± 21	10	0,86	31	1,03	5	142 ± 33	
B4																		
1	3,12	60	1,51	18	325 ± 24	2	1,04	30	0,55	6	317 ± 64	11	0,97	35	0,96	7	171 ± 29	
2	3,12	60	1,51	18	325 ± 24	2	1,04	30	0,55	6	317 ± 64	12	0,66	19	0,83	4	136 ± 41	

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
RF136																	
13	1,37	59	1,10	8	210 \pm 30	6	1,61	93	2,48	15	110 \pm 33	17	1,77	34	0,67	8	411 \pm 64
14	0,86	31	0,55	4	263 \pm 75	7	1,02	22	1,65	4	104 \pm 58	18	1,87	72	1,93	23	154 \pm 9
15	0,83	30	0,83	4	171 \pm 49	8	0,85	67	2,20	32	65 \pm 16	19	1,25	24	0,42	5	462 \pm 112
16	1,11	40	0,83	6	227 \pm 44	9	1,53	33	0,83	4	307 \pm 166	20	1,80	46	1,26	15	226 \pm 20
17	0,53	19	0,41	3	216 \pm 84	10	1,09	47	2,48	18	74 \pm 22	21	1,35	26	1,01	12	213 \pm 26
18	0,83	30	1,24	6	115 \pm 23	11	0,61	22	2,48	12	42 \pm 16	MAC27					
19	0,93	40	0,55	4	283 \pm 78	RF138											
20	0,69	15	0,41	2	283 \pm 161	1	1,87	60	1,89	40	158 \pm 7	1	1,81	117	0,73	16	405 \pm 116
21	0,76	22	0,62	3	209 \pm 79	2	1,56	20	0,76	4	325 \pm 98	2	1,77	115	1,19	26	248 \pm 60
22	0,94	34	0,28	2	564 \pm 299	3	1,48	19	1,01	12	233 \pm 32	3	1,30	56	1,83	31	119 \pm 30
23	1,03	37	1,10	4	159 \pm 44	4	1,93	99	2,03	43	151 \pm 5	4	1,57	79	1,31	19	200 \pm 56
24	0,81	29	0,62	3	220 \pm 81	5	2,23	57	0,67	8	513 \pm 73	5	1,28	46	1,79	13	120 \pm 40
25	0,87	25	1,03	5	143 \pm 34	6	1,72	11	1,32	7	206 \pm 48	6	1,71	37	1,10	8	259 \pm 105
26	0,92	33	0,28	2	548 \pm 291	7	1,67	32	1,09	13	241 \pm 23	7	2,55	55	2,48	12	172 \pm 58
27	0,94	34	0,83	6	194 \pm 38	8	1,76	45	1,60	19	175 \pm 13	8	2,52	109	1,40	17	298 \pm 84
28	1,03	37	0,28	2	612 \pm 323	9	1,83	47	1,26	15	230 \pm 20	9	2,58	93	1,77	15	243 \pm 73
29	0,89	32	0,41	2	360 \pm 191	10	1,80	23	0,59	7	474 \pm 89	10	2,04	103	2,07	20	166 \pm 44
RF138																	
1	1,53	33	1,03	5	247 \pm 121	11	1,87	24	1,09	13	271 \pm 32	11	1,94	28	2,27	11	144 \pm 53
2	1,17	59	1,01	11	194 \pm 67	12	1,61	31	0,92	11	275 \pm 34	12	2,44	123	2,48	12	165 \pm 53
3	1,01	80	1,03	15	164 \pm 49	13	1,25	16	0,67	8	293 \pm 55	13	1,68	109	3,31	32	86 \pm 20
4	1,70	49	0,93	9	304 \pm 115	14	2,34	45	1,43	17	259 \pm 21	14	1,53	66	2,07	10	124 \pm 44
5	2,06	74	1,10	8	310 \pm 120	15	3,33	64	1,51	18	346 \pm 25	15	2,82	61	1,86	18	253 \pm 73
						16	1,72	11	1,32	7	206 \pm 48	16	2,79	221	2,59	47	181 \pm 35
						17	2,03	73	1,34	13	252 \pm 81	17	2,03	73	1,34	13	252 \pm 81

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	
MT106																		
18	1,50	140	1,01	11	247 \pm 82	1	1,50	140	0,69	20	245 \pm 64	24	0,73	42	0,92	10	91 \pm 33	
19	2,32	117	1,52	22	255 \pm 65	2	2,22	48	1,03	5	243 \pm 117	25	1,48	32	0,62	3	269 \pm 165	
20	2,26	195	1,41	46	267 \pm 52	3	1,94	154	1,05	19	210 \pm 56	26	2,72	137	1,38	15	223 \pm 65	
21	2,31	216	1,61	35	240 \pm 51	4	2,03	73	1,38	10	167 \pm 59	27	1,94	56	1,29	14	172 \pm 55	
22	2,50	90	1,82	22	230 \pm 60	5	1,53	33	0,55	4	311 \pm 168	28	0,76	22	0,83	4	105 \pm 58	
23	2,53	73	1,33	29	316 \pm 77	6	1,25	45	1,14	11	125 \pm 44	29	1,51	76	0,69	10	247 \pm 87	
24	1,68	109	0,71	19	389 \pm 105	7	1,60	161	0,76	23	237 \pm 59	30	3,06	110	1,24	12	277 \pm 89	
MT107																		
1	1,31	85	1,38	60	160 \pm 32	8	0,97	28	0,41	4	265 \pm 144	31	1,90	41	1,65	4	131 \pm 70	
2	2,29	33	1,65	12	231 \pm 82	9	1,56	135	0,99	18	179 \pm 49	32	1,13	49	0,96	7	134 \pm 56	
3	1,74	50	1,84	20	159 \pm 45	10	2,18	47	0,62	3	391 \pm 237							
4	2,13	46	1,93	21	185 \pm 53	11	1,49	43	1,10	8	154 \pm 62	1	0,93	60	1,29	25	121 \pm 32	
5	2,86	103	2,20	40	217 \pm 47	12	1,37	89	0,95	15	163 \pm 49	2	2,60	75	1,70	33	255 \pm 60	
6	1,79	155	0,62	24	474 \pm 116	13	0,97	7	0,83	1	134 \pm 144	3	1,04	45	0,67	13	258 \pm 86	
7	1,87	175	0,87	37	354 \pm 75	14	1,40	91	1,43	26	112 \pm 28	4	1,53	44	0,70	17	359 \pm 110	
8	2,00	216	0,74	27	442 \pm 102	15	2,13	46	2,02	22	120 \pm 34	5	1,86	67	0,91	22	339 \pm 91	
9	2,15	62	0,83	9	428 \pm 160	16	1,94	42	1,86	9	119 \pm 46	6	1,98	57	1,24	18	266 \pm 77	
10	1,71	37	1,45	7	198 \pm 84	17	1,71	74	0,93	9	208 \pm 47	7	3,19	46	1,19	36	441 \pm 109	
11	2,73	177	0,72	21	612 \pm 156	18	1,63	164	0,94	24	195 \pm 48	8	2,39	86	0,61	11	637 \pm 215	
12	1,81	65	1,14	11	265 \pm 91	19	1,81	65	0,76	11	268 \pm 92	9	1,72	62	0,63	19	450 \pm 128	
13	2,06	74	1,52	22	227 \pm 60	20	1,90	82	1,29	14	168 \pm 52	10	1,86	67	1,29	39	241 \pm 55	
14	2,27	180	0,72	21	513 \pm 131	21	1,52	120	0,55	10	309 \pm 107	11	1,50	54	0,99	24	252 \pm 68	
..	..	..	..	..	..	22	2,19	126	1,38	20	180 \pm 48	12	1,71	74	0,63	19	448 \pm 125
..	..	..	..	..	..	23	1,70	171	1,24	27	155 \pm 36	13	1,90	41	0,50	9	620 \pm 238

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
 Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	
PB10																		
14	2,64	57	1,10	8	395 ± 155	12	3,12	20	1,32	7	370 ± 72	15	1,42	41	1,47	20	165 ± 14	
15	1,81	39	1,79	13	169 ± 57	13	3,05	39	1,09	13	434 ± 45	16	1,35	39	1,84	17	126 ± 10	
16	1,76	38	0,69	10	420 ± 156	14	3,12	20	1,32	7	370 ± 72	17	1,74	75	1,56	9	189 ± 14	
PB215																		
1	1,80	46	0,61	13	479 ± 48	15	2,65	34	0,59	7	689 ± 119	18	1,42	51	0,83	9	288 ± 38	
2	0,82	21	0,67	8	204 ± 35	16	2,89	37	1,34	16	337 ± 30	19	1,81	78	0,83	20	365 ± 46	
3	1,22	78	0,84	20	242 ± 15	17	2,58	33	1,01	12	399 ± 46	CG7						
4	1,19	38	0,46	11	422 ± 50	18	3,59	23	3,02	16	189 ± 20	1	2,29	33	1,86	9	196 ± 28	
5	1,25	24	0,76	9	275 ± 42	19	2,81	36	1,89	10	235 ± 30	2	2,18	47	0,83	9	411 ± 55	
6	1,41	18	0,67	8	346 ± 63	BC34						3	1,88	27	1,01	11	292 ± 38	
7	1,34	60	0,67	8	330 ± 47	1	2,15	31	0,83	9	433 ± 62	4	2,01	29	2,27	11	141 ± 18	
NP9																		
1	2,97	19	1,13	6	408 ± 90	2	1,81	52	1,38	15	222 ± 19	5	2,36	51	3,03	33	124 ± 6	
2	2,58	33	1,01	12	399 ± 46	3	2,27	49	1,38	15	277 ± 24	6	2,50	18	3,31	16	121 ± 14	
3	2,71	52	1,60	19	268 ± 19	4	2,33	67	0,92	10	422 ± 49	7	2,29	33	2,27	11	160 ± 20	
4	3,05	39	0,84	10	559 ± 71	5	1,09	63	1,19	23	156 ± 9	8	2,13	46	1,84	20	184 ± 13	
5	2,42	31	1,51	18	253 ± 22	6	1,61	58	1,29	14	212 ± 19	9	2,15	31	2,07	10	166 ± 22	
6	3,05	39	1,51	18	317 ± 26	7	1,76	38	0,83	16	356 ± 32	10	1,67	24	2,07	10	129 ± 18	
7	3,36	43	2,27	12	234 ± 25	8	1,65	83	0,57	11	480 ± 50	11	1,94	14	2,07	10	150 ± 26	
8	2,65	17	1,18	14	354 ± 46	9	1,56	45	2,11	23	126 ± 8	12	2,22	32	2,89	14	123 ± 13	
9	2,77	71	1,51	18	289 ± 20	10	1,89	68	0,93	9	340 ± 43	13	1,81	26	1,86	9	155 ± 23	
10	2,58	33	1,43	17	284 ± 26	11	1,94	56	1,38	15	238 ± 20	14	2,13	46	3,31	36	103 ± 5	
11	2,65	68	0,50	6	797 ± 145	12	1,57	34	0,83	9	320 ± 45	15	2,08	45	1,38	15	239 ± 21	
BC34																		
11	2,65	68	0,50	6	797 ± 145	13	1,57	34	0,73	8	358 ± 56	16	2,08	90	1,19	23	276 ± 15	
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		
NP9																		
BC34																		
CG7																		
BC34																		

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
18	1,81	13	1,19	13	239 \pm 37	21	3,44	44	2,46	13	221 \pm 22	7	1,54	133	0,57	11	445 \pm 148
19	1,94	14	2,89	14	107 \pm 15	22	3,12	40	2,44	29	203 \pm 12	8	2,50	54	1,65	12	252 \pm 85
1	3,15	101	1,68	20	296 \pm 18	23	3,33	64	2,02	24	261 \pm 15	10	1,85	173	1,22	28	253 \pm 58
2	3,75	48	3,02	16	197 \pm 17	1	0,89	32	0,66	12	225 \pm 80	11	2,40	121	1,24	12	321 \pm 103
3	3,23	62	1,18	14	428 \pm 38	2	0,83	12	1,03	10	136 \pm 60	12	1,74	75	1,24	12	234 \pm 77
4	3,28	42	1,89	10	274 \pm 34	3	1,23	62	0,69	20	297 \pm 83	13	1,99	215	1,35	31	246 \pm 54
5	3,34	107	2,10	25	251 \pm 13	4	0,86	37	0,74	18	193 \pm 59	14	1,33	96	0,51	8	431 \pm 165
6	3,44	44	2,02	24	269 \pm 18	5	1,11	24	0,50	9	370 \pm 150	15	1,98	100	1,84	20	181 \pm 48
7	2,81	18	3,21	17	139 \pm 16	6	1,49	43	0,62	9	397 \pm 152	16	0,98	85	1,17	17	141 \pm 41
8	2,89	37	1,70	9	268 \pm 37	7	1,62	35	1,14	11	238 \pm 86	17	2,57	148	0,83	9	508 \pm 183
9	3,05	39	1,51	18	317 \pm 26	8	1,47	53	1,38	20	179 \pm 51	18	1,86	134	1,06	27	291 \pm 69
10	3,75	24	3,21	17	185 \pm 19	9	1,31	66	1,93	28	114 \pm 29	19	0,63	68	0,41	7	254 \pm 104
11	2,97	19	0,95	5	487 \pm 123	10	1,16	25	1,24	3	157 \pm 59	20	2,29	33	1,10	8	344 \pm 141
12	2,73	35	3,21	17	136 \pm 12	11	0,69	5	0,62	3	188 \pm 139	21	1,49	107	0,99	12	250 \pm 81
13	4,06	26	1,13	6	553 \pm 114	12	1,18	17	1,45	7	137 \pm 63						
14	3,64	70	1,18	14	481 \pm 42												
15	3,75	24	3,59	19	166 \pm 16	1	1,79	142	1,84	29	163 \pm 38	1	1,74	75	0,90	13	321 \pm 103
16	3,36	43	3,78	20	142 \pm 10	2	2,43	280	1,69	45	240 \pm 46	2	1,14	74	0,90	13	213 \pm 68
17	3,18	61	1,51	18	330 \pm 24	3	2,78	140	2,27	33	204 \pm 45	3	1,35	68	1,30	11	174 \pm 60
18	3,59	69	3,11	37	184 \pm 8	4	2,05	133	0,76	11	445 \pm 148	4	1,85	40	2,07	10	151 \pm 56
19	3,33	64	1,43	17	365 \pm 27	5	1,55	145	0,89	14	289 \pm 87	5	1,28	37	1,86	9	116 \pm 45
20	3,70	71	2,86	34	205 \pm 9	6	1,94	42	1,24	3	261 \pm 159	6	2,00	72	2,20	16	152 \pm 45
												7	2,08	15	3,31	4	106 \pm 61

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
8	1,67	36	1,65	10	169 \pm 63	19	1,75	63	0,69	5	423 \pm 92	3	2,08	45	0,83	4	283 \pm 151
9	1,99	86	1,79	13	186 \pm 59	20	1,04	30	0,62	3	283 \pm 104	4	1,60	23	0,83	2	218 \pm 163
10	2,36	17	4,96	6	80 \pm 39	21	1,56	45	1,79	13	148 \pm 15	5	1,78	64	0,55	4	361 \pm 190
11	1,64	59	2,07	20	133 \pm 37	22	1,36	49	0,92	10	250 \pm 30	8	2,08	30	0,83	4	283 \pm 154
T8																	
1	0,83	24	1,03	5	137 \pm 33	23	1,03	37	1,10	8	159 \pm 24	9	1,67	36	1,03	5	183 \pm 89
2	1,08	31	0,83	4	220 \pm 62	24	1,78	64	0,83	6	360 \pm 66	10	1,77	89	1,24	15	162 \pm 48
3	1,25	36	0,55	4	379 \pm 106	25	0,75	27	1,52	11	85 \pm 11	11	1,94	56	0,99	6	222 \pm 98
4	1,35	39	0,83	6	276 \pm 53	26	0,89	32	0,83	8	182 \pm 29	12	0,48	24	0,66	4	82 \pm 45
5	1,01	29	1,24	6	138 \pm 28	27	1,28	37	0,62	3	347 \pm 125	13	3,26	47	1,65	4	223 \pm 119
6	1,00	36	0,83	6	205 \pm 40	28	0,83	30	0,46	5	305 \pm 71	14	2,33	151	0,96	14	272 \pm 81
7	0,87	25	0,28	2	521 \pm 282	29	0,87	25	1,45	7	102 \pm 19	15	1,42	51	0,93	9	173 \pm 65
8	0,97	21	1,24	3	134 \pm 51	30	1,13	49	0,31	3	601 \pm 213	16	0,95	109	0,55	12	194 \pm 63
9	1,20	26	0,83	4	246 \pm 71	31	1,08	39	0,69	5	265 \pm 60	17	1,81	39	0,83	4	246 \pm 132
10	1,08	31	0,83	3	220 \pm 81	32	1,23	53	1,10	8	189 \pm 27						
11	0,83	30	0,83	2	171 \pm 91	33	1,09	47	0,96	7	191 \pm 32	1	2,10	106	0,93	9	373 \pm 136
12	0,69	20	0,41	3	283 \pm 109	34	1,42	51	0,73	8	324 \pm 47	2	2,30	182	1,14	29	333 \pm 76
13	0,83	24	0,96	7	147 \pm 27	35	0,92	33	0,41	3	371 \pm 135	4	0,81	29	2,20	16	62 \pm 20
14	0,83	30	0,55	4	255 \pm 72	36	1,11	40	0,31	3	589 \pm 212	5	0,63	18	0,41	2	252 \pm 190
15	1,11	40	0,69	5	272 \pm 61	37	0,97	35	0,55	4	297 \pm 83	8	0,81	29	0,83	4	164 \pm 89
16	0,87	25	2,27	11	65 \pm 9	38	1,16	50	3,58	26	55 \pm 3	9	1,74	25	0,83	2	348 \pm 258
17	1,33	48	1,10	8	205 \pm 30							10	0,42	6	0,83	2	85 \pm 70
18	1,30	56	0,96	7	227 \pm 37	1	1,90	41	1,03	5	208 \pm 101	11	1,11	24	0,41	2	442 \pm 328
						2	1,69	73	0,94	8	202 \pm 79	13	1,25	18	0,83	2	252 \pm 190
T9																	
1	0,83	24	1,03	5	137 \pm 33	23	1,03	37	1,10	8	159 \pm 24	9	1,67	36	1,03	5	183 \pm 89
2	1,08	31	0,83	4	220 \pm 62	24	1,78	64	0,83	6	360 \pm 66	10	1,77	89	1,24	15	162 \pm 48
3	1,25	36	0,55	4	379 \pm 106	25	0,75	27	1,52	11	85 \pm 11	11	1,94	56	0,99	6	222 \pm 98
4	1,35	39	0,83	6	276 \pm 53	26	0,89	32	0,83	8	182 \pm 29	12	0,48	24	0,66	4	82 \pm 45
5	1,01	29	1,24	6	138 \pm 28	27	1,28	37	0,62	3	347 \pm 125	13	3,26	47	1,65	4	223 \pm 119
6	1,00	36	0,83	6	205 \pm 40	28	0,83	30	0,46	5	305 \pm 71	14	2,33	151	0,96	14	272 \pm 81
7	0,87	25	0,28	2	521 \pm 282	29	0,87	25	1,45	7	102 \pm 19	15	1,42	51	0,93	9	173 \pm 65
8	0,97	21	1,24	3	134 \pm 51	30	1,13	49	0,31	3	601 \pm 213	16	0,95	109	0,55	12	194 \pm 63
9	1,20	26	0,83	4	246 \pm 71	31	1,08	39	0,69	5	265 \pm 60	17	1,81	39	0,83	4	246 \pm 132
10	1,08	31	0,83	3	220 \pm 81	32	1,23	53	1,10	8	189 \pm 27						
11	0,83	30	0,83	2	171 \pm 91	33	1,09	47	0,96	7	191 \pm 32	1	2,10	106	0,93	9	373 \pm 136
12	0,69	20	0,41	3	283 \pm 109	34	1,42	51	0,73	8	324 \pm 47	2	2,30	182	1,14	29	333 \pm 76
13	0,83	24	0,96	7	147 \pm 27	35	0,92	33	0,41	3	371 \pm 135	4	0,81	29	2,20	16	62 \pm 20
14	0,83	30	0,55	4	255 \pm 72	36	1,11	40	0,31	3	589 \pm 212	5	0,63	18	0,41	2	252 \pm 190
15	1,11	40	0,69	5	272 \pm 61	37	0,97	35	0,55	4	297 \pm 83	8	0,81	29	0,83	4	164 \pm 89
16	0,87	25	2,27	11	65 \pm 9	38	1,16	50	3,58	26	55 \pm 3	9	1,74	25	0,83	2	348 \pm 258
17	1,33	48	1,10	8	205 \pm 30							10	0,42	6	0,83	2	85 \pm 70
18	1,30	56	0,96	7	227 \pm 37	1	1,90	41	1,03	5	208 \pm 101	11	1,11	24	0,41	2	442 \pm 328
						2	1,69	73	0,94	8	202 \pm 79	13	1,25	18	0,83	2	252 \pm 190

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Continua)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma) $\pm 1\sigma$
14	1,08	31	1,24	9	146 \pm 57	22	0,69	20	1,45	7	82 \pm 16	16	0,97	35	1,52	11	109 \pm 13
						23	1,18	34	0,83	6	241 \pm 47	17	1,28	37	0,96	7	225 \pm 38
1	0,97	35	0,41	2	393 \pm 208	24	1,32	57	1,10	8	203 \pm 29	18	0,88	38	0,69	5	216 \pm 49
2	0,92	33	1,93	14	81 \pm 8	25	1,14	41	0,69	5	278 \pm 63	19	1,04	45	1,38	10	129 \pm 16
3	1,34	58	1,10	8	206 \pm 30	26	1,06	38	1,82	11	99 \pm 12	20	0,74	32	0,83	6	152 \pm 30
4	1,50	65	0,96	7	263 \pm 42	27	0,64	23	0,62	3	175 \pm 66	21	0,73	21	1,45	7	86 \pm 16
5	1,37	59	0,83	6	278 \pm 51	28	0,90	26	0,83	4	185 \pm 54						
6	0,89	32	0,96	7	157 \pm 27												
7	1,46	63	1,24	9	199 \pm 25	1	0,97	28	1,65	8	100 \pm 16	1	1,81	39	1,50	29	202 \pm 12
8	1,16	50	1,10	8	178 \pm 26	2	0,78	28	0,55	4	238 \pm 68	2	1,67	36	0,73	8	375 \pm 58
9	1,02	22	2,07	10	84 \pm 12	3	0,66	19	1,65	12	68 \pm 9	3	1,00	86	0,40	12	413 \pm 40
10	0,69	20	1,45	7	82 \pm 16	4	0,67	24	1,03	5	110 \pm 27	4	1,17	42	0,46	5	418 \pm 94
11	1,39	60	0,55	4	420 \pm 112	5	0,63	18	1,10	4	97 \pm 30	5	1,22	97	0,63	19	323 \pm 21
12	1,30	56	0,96	7	227 \pm 37	6	0,72	26	1,10	8	112 \pm 18	6	1,39	20	0,92	10	252 \pm 38
13	1,11	48	0,83	6	227 \pm 43	7	0,73	21	2,48	9	50 \pm 8	7	1,53	77	3,49	38	74 \pm 3
14	0,76	33	0,69	5	188 \pm 43	8	0,65	28	1,10	8	100 \pm 16	8	1,18	34	1,38	15	144 \pm 14
15	0,90	26	0,62	3	246 \pm 92	9	0,56	16	1,38	5	69 \pm 18	9	1,81	46	1,50	8	359 \pm 53
16	1,60	69	0,83	6	324 \pm 59	10	0,86	31	1,65	6	89 \pm 18	10	1,60	46	1,38	15	194 \pm 17
17	1,41	61	0,69	5	343 \pm 75	11	0,66	19	1,03	5	109 \pm 28	11	1,91	55	0,92	10	344 \pm 41
18	1,01	29	0,83	4	206 \pm 59	12	0,53	19	0,83	3	109 \pm 42	12	1,67	48	1,01	11	275 \pm 31
19	0,61	22	0,41	2	250 \pm 136	13	0,81	29	1,38	10	100 \pm 14	13	1,77	51	2,02	22	147 \pm 10
20	1,23	53	0,96	7	215 \pm 35	14	1,00	43	1,01	11	167 \pm 19	14	1,42	41	1,01	11	235 \pm 27
21	0,97	28	1,38	5	120 \pm 28	15	0,52	15	0,64	7	138 \pm 29	15	1,62	35	1,19	13	227 \pm 24
												16	0,93	47	0,73	8	212 \pm 31

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

TABELA A.2
 Dados obtidos via MTF de amostras de zircão do Grupo Bauru.

(Conclusão)

Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ	Grão	$\rho_s \cdot 10^7$ cm ⁻²	N_s	$\rho_i \cdot 10^6$ cm ⁻²	N_i	Idade (Ma)±1σ
17	1,63	47	1,01	11	269 ± 30	4	1,16	25	0,83	3	234 ± 145	18	0,99	64	1,96	19	85 ± 24
18	1,34	29	1,03	10	217 ± 29	5	2,06	74	1,40	17	244 ± 71	19	3,01	65	0,96	7	510 ± 210
19	1,39	30	2,30	25	102 ± 8	6	1,39	10	2,48	3	95 ± 63	20	1,11	24	1,03	5	180 ± 91
20	2,03	73	1,33	29	254 ± 12	7	1,11	24	0,55	2	334 ± 248	22	0,75	27	0,64	7	195 ± 86
21	1,85	40	0,73	8	415 ± 63	8	1,84	53	1,38	5	223 ± 107	23	1,89	68	0,55	4	558 ± 293
22	1,56	56	0,92	10	282 ± 33	9	1,75	126	0,46	10	617 ± 214	24	1,69	61	0,41	4	662 ± 349
23	1,64	71	0,70	17	386 ± 28	10	1,81	13	1,65	2	183 ± 140	25	1,39	20	0,62	3	370 ± 233
24	1,46	42	0,92	10	264 ± 33	11	2,22	16	3,31	4	113 ± 64	27	2,08	30	0,83	2	415 ± 306
25	1,26	100	0,56	34	371 ± 15	12	1,77	51	1,24	9	238 ± 90	29	1,47	95	0,35	9	668 ± 244
26	1,74	25	1,24	6	234 ± 49	13	1,93	139	1,10	20	291 ± 76	30	1,76	38	0,96	7	303 ± 129
1	1,11	24	0,62	3	298 ± 185	14	2,57	37	0,83	2	508 ± 373	31	2,45	194	0,51	13	766 ± 235
3	1,63	47	1,38	5	198 ± 96	15	1,53	66	0,83	8	307 ± 120	33	2,45	53	1,10	4	368 ± 195
						17	1,59	126	0,68	9	388 ± 140	..	..	..	..	..	..

As idades foram obtidas através da Equação 1; ρ_s : densidade superficial de traços espontâneos; ρ_i : densidade superficial de traços induzidos (medidos na réplica dos grãos de zircão na mica); N_s (N_i): número de traços contados para determinar ρ_s (ρ_i).

