



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

“GEOCRONOLOGIA Pb-Pb POR EVAPORAÇÃO EM MONOCRISTAL DE ZIRCÃO, DO MAGMATISMO DA REGIÃO DE TUCUMÃ, SE DO ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL”


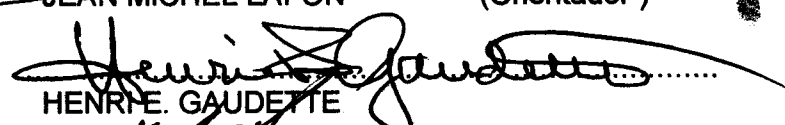
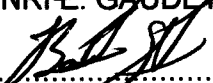
TESE APRESENTADA POR

VALTER GAMA DE AVELAR

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação : 16.10.1996

Comitê de Tese:


.....
JEAN MICHEL LAFON (Orientador)

.....
HENRI GAUDETTE

.....
JOÃO BATISTA SENA COSTA

BELÉM

***“Aos meus pais,
a todos os meus irmãos
que juntos proporcionaram
incentivos à conclusão dessa Tese.
À Rosangela, minha esposa, minha
melhor amiga.*”**

AGRADECIMENTOS

Manifesto meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização desse trabalho, em especial:

À Universidade Federal do Pará, por intermédio do Centro de Geociências, pela assistência e infra-estrutura disponível durante meu Curso de Pós-Graduação;

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-(CNPq) pela concessão da bolsa de estudo; e ao PADCT/FINEP pelos auxílios financeiros.

À CPRM/Belém que cedeu o material necessário à realização deste trabalho, e em especial ao geólogo Edésio Maria Buenano Macambira por toda atenção e apoio dispensados.

Aos membros integrantes da Banca de Tese: Prof. Dr. João Batista Sena Costa e Prof. Dr. Henri Eugene Gaudette, por terem aceito participar da avaliação desse trabalho;

Ao Prof. Dr. Jean-Michel Lafon pela orientação criteriosa deste trabalho e toda a sua prestimosa contribuição científica ao longo da minha formação profissional como geólogo.

Ao Prof. Dr. Moacir Macambira por colocar toda a infra-estrutura do LGI/UFPa disponível a este pesquisador, além das valiosas discussões ao longo desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Thomas Scheller pela sua indispensável contribuição e orientação no tratamento dos dados isotópicos.

À Família “Gama de Avelar” que sempre me incentivou.

À “Rosangela Batista de Avelar”, companheira de toda obra, pelo apoio e compreensão.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 . INTRODUÇÃO	5
2 . CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E DADOS GEOCRONOLÓGICOS DIS PONÍVEIS	7
2.1 - A PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS	7
2.1.1 - O Arqueano da PMC	9
2.1.2 - O Proterozóico da PMC	12
2.1.3 - Aspectos Evolutivos da PMC	13
2.2 - A REGIÃO DE TUCUMÃ	15
2.2.1 - Terreno Granito- <i>Greenstone</i>	15
2.2.1.1 - Grupo Tucumã	17
2.2.1.2 - Granodiorito Rio Maria	17
2.2.2 - Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas	18
2.2.2.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	19
2.2.2.2 - Grupo Sapucaia	19
2.2.2.3 - Granitóides Estratóides (Suíte Plaquê)	20
2.2.3 - Magmatismo Proterozóico	22
2.2.3.1 - Suíte Intrusiva Cateté	22
2.2.3.2 - Granito Seringa	22
2.2.3.3 - Granito Velho Guilherme	23
3 . OBJETIVOS	24
4 . GEOLOGIA E PETROGRAFIA DAS ROCHAS ESTUDADAS	27
4.1 - ORTOGNAISSE GRANODIORÍTICO DO COMPLEXO XINGU	27
4.2 - GRANODIORITO RIO MARIA (Granitóide do TGG)	34
4.3 - GRANITÓIDE ESTRATÓIDE DA SUÍTE PLAQUÊ	37

4.4 - GRANITO SERINGA	40
4.5 - GRANITO VELHO GUILHERME	40
5 . O MÉTODO DE DATAÇÃO POR EVAPORAÇÃO DE Pb EM MONOCRISTAL DE ZIRCÃO: Histórico e Premissas	46
5.1 - GENERALIDADES	46
5.2 - HISTÓRICO E PRINCÍPIOS DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO DE ZIR- CÃO	49
5.3 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS: Significado das idades.....	52
5.4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO DE ZIRCÃO EM MONOFILAMENTO SIMPLES NO LGI/UFPa	56
5.5 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO DE ZIRCÃO	59
6 . RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS	61
6.1 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	61
6.1.1 - Coleta e Preparação de Amostras	63
6.1.2 - Separação e Seleção dos Zircões	63
6.1.3 - Análises Isotópicas	66
6.1.4 - Cálculo das Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	68
6.1.4.1 - Cálculo da idade individual do grão de zircão	68
6.1.4.2 - Cálculo da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ da rocha estudada	69
6.2 - RESULTADOS ANALÍTICOS	69
6.2.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	69
6.2.1.1 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ a partir da análise de zircões de saprólito	70
6.2.1.2 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca	70
6.2.1.3 - Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada	74
6.2.2 - Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG)	77
6.2.2.1 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de saprólito	77
6.2.2.2 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca	77
6.2.2.3 - Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada	81
6.2.3 - Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	84
6.2.3.1 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de saprólito	84

6.2.3.2 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca	88
6.2.3.3 - Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada	88
6.2.4 - Granito Seringa	88
6.2.4.1 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de saprólito	91
6.2.4.2 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca	91
6.2.4.3 - Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada	96
6.2.5 - Granito Velho Guilherme	96
7 . DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	99
7.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS	99
7.1.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	99
7.1.2 - Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG)	104
7.1.3 - Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	105
7.1.4 - Granito Seringa	107
7.1.5 - Integração Geocronológica da Região de Tucumã no Contexto da PMC	108
7.2 - ASPECTOS METODOLÓGICOS	109
8 . CONCLUSÕES	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	130
ANEXO A - Razões isotópicas Pb/Pb dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	131
ANEXO B - Razões isotópicas Pb/Pb dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria	135
ANEXO C - Razões isotópicas Pb/Pb dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	139
ANEXO D - Razões isotópicas Pb/Pb dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granito Seringa	143
ANEXO E - Razões isotópicas Pb/Pb dos zircões de rocha fresca do Granito Velho Guilherme	149
ANEXO F - Mapa geológico e de pontos da região de Tucumã	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico integrado das Folhas SB.22-XC (Serra Pelada); SB.22-ZA (Serra dos Carajás); SB.22-ZC (Xinguara); SB.22-XA (Redenção) e SB.22-YB (São Félix do Xingu)	8
Figura 2 - Mapa geológico da região de Tucumã, simplificado a partir dos mapas geológicos das Folhas SB.22-YB e SB.22-ZA, CPRM	16
Figura 3 - Relação espacial e genética dos granitóides estratóides com as rochas gnaíssicas do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas-(CCI)	21
Figura 4 - Feições deformacionais no Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	28
Figura 5 - Veios graníticos entrecortando o Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	29
Figura 6 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	29
Figura 7 - Diagrama Q' versus P' de Debon & Lefort apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), para classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas da região de Tucumã	31
Figura 8 - Diagrama R1 - R2 de La Roche apud MACAMBIRA & VALE (no prelo) para classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas da região de Tucumã	31
Figura 9 - Diagrama K-C-N, com os "trends" Ca (Cálcio-alcalino) e TT (tonalito-trondhjemito), segundo Backer & Arth apud MACAMBIRA & VALE (no prelo)	31
Figura 10 - Diagrama das razões K_2O/MgO versus SiO_2 , de Rogers & Greenberg apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), mostrando os campos das suítes cálcio-alcalinas e dos granitos alcalinos	31
Figura 11- Diagrama Q-A-P normativo de STRECKEISEN (1976), para a classificação das rochas graníticas da região de Tucumã	33
Figura 12 - Diagrama R1-R2 de Batchelor & Bowden apud MACAMBIRA & VALE (no prelo) com os campos dos ambientes tectônicos	33
Figura 13- Fotomicrografia de lâmina delgada da rocha do Granodiorito Rio Maria	35
Figura 14- Fotomicrografia de lâmina delgada da rocha do Granodiorito Rio Maria	35
Figura 15- Fotomicrografia de lâmina delgada do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	38

Figura 16 - Diagrama genético de Batchelor & Bowden apud MACAMBIRA & VALE (no prelo)	41
Figura 17 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granito Seringa	41
Figura 18 - Diagrama modal Q-A-P de STRECKEISEN (1976), modificado por Lameyre & Bowden apud MACAMBIRA & VALE (no prelo) mostrando os diferentes campos de classificação de rochas	42
Figura 19 - Diagrama de Chappell & White apud MACAMBIRA & VALE (no prelo) mostrando a origem do magma do Granito Seringa	42
Figura 20 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granito Velho Guilherme	43
Figura 21 - Diagrama Concórdia de WETHERILL (1956), ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$)	48
Figura 22 - Desenho da disposição de duplo filamento de Re, KOBER (1986)	51
Figura 23 - Imagem por microscopia eletrônica de zircões aquecidos no vácuo de um espectrômetro de massa	53
Figura 24 - Comportamento dos dados Pb/Pb por evaporação de zircão em relação ao Diagrama Concórdia	55
Figura 25- Comportamento teórico dos dados $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação de zircão	
Figura 26 - Fluxograma das principais etapas para obtenção de dados isotópicos Pb/Pb por evaporação de zircão	62
Figura 27 - Amostragem de saprólito: coleta de material	64
Figura 28 - Amostragem de saprólito: bateamento de material	65
Figura 29 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	71
Figura 30 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 9 zircões de saprólito do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	71
Figura 31 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 7 zircões de saprólito do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	73
Figura 32 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	73
Figura 33 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 3 zircões de rocha fresca do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	75

Figura 34 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 2 zircões de rocha fresca do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	75
Figura 35 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade final do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	76
Figura 36 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 2 zircões do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	76
Figura 37 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG)	78
Figura 38 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 6 zircões de saprólito do Granodiorítica Rio Maria	78
Figura 39 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 5 zircões de saprólito do Granodiorito Rio Maria	80
Figura 40 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria	80
Figura 41 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 5 zircões de saprólito do Granodiorito Rio Maria	82
Figura 42 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 6 zircões de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria	82
Figura 43 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 3 zircões de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria	83
Figura 44 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb final do Granodiorito Rio Maria	85
Figura 45 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 3 zircões do Granodiorito Rio Maria.	85
Figura 46 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê.	87
Figura 47 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 3 zircões de saprólito do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	87
Figura 48 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	89
Figura 49 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb final do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	89

Figura 50 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 3 zircões do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	90
Figura 51 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granito Seringa	92
Figura 52 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 6 zircões de saprólito do Granito	92
Figura 53 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 2 zircões de saprólito do Granito Seringa	94
Figura 54 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para determinação da idade Pb/Pb de 4 zircões de saprólito do Granito Seringa	94
Figura 55 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granito Seringa	95
Figura 56 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granito Velho Guilherme	97
Figura 57 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granito Velho Guilherme	98
Figura 58 - Quadro comparativo dos principais dados geocronológicos obtidos para as rochas arqueanas das regiões de Rio Maria, Gradaús, Carajás e Tucumã	101
Figura 59 - Dados geocronológicos Rb-Sr, Pb-Pb e U-Pb para os granitos anorogênicos da Província Mineral de Carajás	102
Figura 60 - Distribuição das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, com os erros analíticos dos zircões de rocha fresca e de saprólito	111
Figura 61 - Distribuição das médias de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, com erro analítico, dos zircões de rocha fresca e de saprólito e da idade final determinada para rochas estudadas da região de Tucumã	113

TABELAS

Tabela 01 - Coordenadas geográficas dos pontos de coletas de amostras	28
Tabela 02 - Características químicas das rochas gnaíssicas do Complexo Xingu	32
Tabela 03 - Características químicas do Granodiorito Rio Maria	36
Tabela 04 - Características químicas das rochas do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	39
Tabela 05 - Características químicas das rochas do Granito Seringa	44
Tabela 06 - Características químicas das rochas do Granito Velho Guilherme	44
Tabela 07 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e rocha fresca do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu	72

Tabela 08 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e rocha fresca do Granodiorito Rio Maria	79
Tabela 09 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e rocha fresca do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê	86
Tabela 10 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e rocha fresca do Granito Seringa	93
Tabela 11 - Síntese dos dados geocronológicos Pb/Pb por evaporação de zircões obtidos para as rochas da região de Tucumã	100

RESUMO

A região de Tucumã, no sudeste do Estado do Pará (Amazônia Oriental-Brasil), constitui-se numa continuidade a sudoeste da Província Mineral de Carajás-PMC. A compartimentação arqueana dessa região é representada por um terreno granito-*greenstone* preservado-(TGG), incluindo granitóides arqueanos (Granodiorito Rio Maria) e seqüências supracrustais (Grupo Tucumã), e pelo Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas-(CCI) que inclui ortognaíesses granodioríticos e tonalíticos (Complexo Xingu), granulitos (Complexo Pium), e granitóides estratóides (Suíte Plaquê). No Proterozóico, a região é marcada pela intrusão de vários corpos graníticos anorogênicos (Granitos Seringa e Velho Guilherme), que cortam todas as unidades arqueanas.

Os resultados geocronológicos, aqui apresentados para as rochas arqueanas e proterozóicas da região de Tucumã, foram obtidas através do método Pb/Pb por evaporação em monocristais de zircões separados de saprólito e de rochas frescas. Os zircões de um ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu forneceram uma idade Pb/Pb de 2972 ± 16 Ma (2σ), enquanto que os zircões do Granodiorito Rio Maria apresentaram uma idade de 2850 ± 17 Ma (2σ). Os zircões do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê definiram uma idade Pb/Pb de 2729 ± 29 Ma (2σ).

Dentre os corpos de granitos anorogênicos, somente os zircões do Granito Seringa possibilitaram a determinação da idade Pb/Pb, definida em torno de 1893 ± 15 Ma (2σ). Os zircões do Granito Velho Guilherme não revelaram quantidades suficientes de Pb que possibilitassem o cálculo da idade dessa rocha.

As idades Pb/Pb por evaporação obtidas nesse trabalho são similares às idades fornecidas pelo método U/Pb em zircões de rochas correlatas na PMC, particularmente na região de Rio Maria, e são interpretadas em termos de idades de cristalização. A idade obtida para a rocha do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê (2729 ± 29 Ma) deve ser entendida como uma idade mínima para a cristalização dessa rocha, face a ausência de outras informações geocronológicas U/Pb nesse tipo de rochas em toda a PMC. As idades Rb/Sr entre 2,57 Ga e 2,74 Ga, anteriormente obtidas respectivamente para as rochas gnaíssicas (Complexo Xingu) e para os

granitóides arqueanos do TGG, bem como a idade Rb/Sr de 1,75 Ga obtida para o Granito Seringa, devem ser consideradas como idades rejuvenescidas.

Os dados geocronológicos aqui apresentados indicam a existência de pelo menos 4 eventos magmáticos distintos para a região de Tucumã, confirmando que essa porção da PMC teve uma evolução similar aos terrenos granito-*greenstone* da região de Rio Maria, onde os mesmos eventos foram reconhecidos.

A idade Pb/Pb por evaporação obtida para o ortognaísse granodiorítico do Complexo Xingu de 2972 ± 16 Ma, representa o dado mais antigo até então encontrado para as rochas arqueanas da região de Tucumã. A idade Pb/Pb em torno de 2850 ± 17 Ma do Granodiorito Rio Maria, confirma a idade do magmatismo TTG associado aos *greenstone-belts* ocorrido a cerca de 2,85-2,87 Ga, na porção centro-sul da PMC. A idade de 2729 ± 29 Ma do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê fornece uma idade para a estruturação do cinturão de cisalhamento Itacaiúnas.

A idade de 1893 ± 15 Ma obtida para o Granito Seringa confirma que a formação dos granitos anorogênicos na PMC, ocorreu num curto intervalo de tempo durante o Proterozóico Inferior (1,87-1,89 Ga).

As similaridades das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ fornecidas pelos zircões de material saprolítico e rocha fresca das mesmas rochas, demonstram a eficácia do uso de saprólito para o estudo geocronológico Pb/Pb em zircões.

Finalmente, as idades Pb/Pb em zircões de rochas arqueanas e proterozóica da região de Tucumã obtidas neste trabalho, demonstram a potencialidade do método para a determinação da idade de cristalização de rochas antigas na região Amazônica.

ABSTRACT

The Tucumã region, southeast of the State of Pará (Eastern Amazônia, Brasil), represents the southwestern part of the Metallogenetic Província of Carajás (PMC). The principal Archean geotectonic units of the region consist of well-preserved granite-greenstone terrains (TGG), (Rio Maria Granodiorite and Tucumã group) and the Itacaiúnas shear belt which includes granodioritic and tonalitic orthogneisses (Xingu Complex), granulites (Pium Complex) and stratoid granitoids (Plaquê Suite). During Proterozoic times, the region is characterized by intrusions of various anorogenic granitic bodies (Seringa and Velho Guilherme Granites) which crosscut all the archean units.

This study presents some new geochronological results for the archean and proterozoic units of the Tucumã region which have been obtained by thermal evaporation technique on single zircons, separated from saprolitic and fresh rock materials. An age of 2972 ± 16 Ma (2σ) have been obtained for zircons from granodioritic orthogneisses of the Xingu Complex. On body of the Rio Maria Granodiorite provided an age of 2850 ± 17 Ma (2σ). Zircons from a Plaquê granitoid gave an age of 2729 ± 29 Ma (2σ).

Among the anorogenic granites, only the Seringa Granite gave an age of 1893 ± 15 Ma (2σ) while the Velho Guilherme did not give any results.

The Pb/Pb ages are similar to the U/Pb ages obtained on zircons from correlated rocks from the granite-greenstones terrains of Rio Maria region, and are interpreted as cristallization ages. The age of the Plaquê granitoid is considered as a minimum age of the cristallization once no U/Pb data are available for this kind of rocks in the PMC. The Rb/Sr ages between 2,57 and 2,74 Ga previously obtained respectively from the Xingu Complex gneisses and Rio Maria Granodiorite in the Tucumã region, as well as the Rb/Sr age of 1,75 Ga of the Seringa Granite must be regarded as disturbed ages.

The geochronological results point out the existence of at least 4 magmatic events in the Tucumã region which confirms that this area underwent a similar evolution than the TGG of the Rio Maria and Serra dos Gradaús regions where the same events have been recognized.

The Pb/Pb age of 2972 ± 16 Ma for the Xingu Complex orthogneisses represents the oldest age in the Tucumã region. The Pb/Pb age of 2850 ± 17 Ma for the Rio Maria

Granodioritic confirms that the magmatism associated to the greenstone belts occurs at ca. 2,85-2,87 Ga. The Pb/Pb result for the Plaquê granitoid provide an minimum age of 2729 ± 29 Ma from the main structuration of the Itacaiúnas shear belts.

The age of 1893 ± 15 Ma obtained for the Seringa Granite confirms that the formation of the anorogenic granite occurs in a very short period of time during lower Proterozoic.

The similarity of the ages obtained on saprolitic and fresh material from the same rocks point out the validity of using saprolitic samples for Pb/Pb geochronology on zircons.

Finally, the Pb/Pb ages on zircons from archean and proterozoic rocks from the Tucumã obtained in the work, demonstrate the potenciality of the method for determination of age of cristallization for old units in the Amazonian region.

1. INTRODUÇÃO

A Província Mineral de Carajás-(PMC), no sudeste do Estado do Pará, tem sido alvo de estudos multidisciplinares, principalmente de natureza geológica, geoquímica, geofísica e geocronológica, face ao seu potencial metalogenético (Fe, Cu, Au, Mn, Ni). Entretanto, os trabalhos até então publicados ainda são insuficientes diante da extensão e complexidade geológica regional dessa província. As regiões de Rio Maria e Carajás destacam-se como áreas melhor conhecidas do ponto de vista geológico e geocronológico, enquanto que outras regiões da PMC ainda carecem de estudos mais detalhados, como é o caso, por exemplo, da região de São Félix do Xingu-Tucumã.

Atualmente os trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-(CPRM/Serviço Geológico do Brasil-Belém) e do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (CG/UFGPA) que, intermediados por projetos financiados pela FINEP e/ou CNPq, muito têm contribuído para o avanço do conhecimento geológico e geocronológico da PMC. Esses trabalhos constam de mapeamento geológico na escala de 1:250.000 e abrangem as Folhas SB.22-XC (Serra Pelada), SB.22-ZA (Serra dos Carajás), SB.22-YB (São Félix do Xingu), SB.22-ZC (Xinguara) e SB.22-XA (Redenção).

A área estudada nesse trabalho de tese encontra-se inserida nas porções sudeste e sudoeste respectivamente das Folhas SB.22-YB (São Félix do Xingu) e SB.22-ZA (Serra dos Carajás). Essa área, denominada de região de Tucumã, situa-se nas adjacências dos municípios de Tucumã e Ourilândia do Norte, sendo limitada pelos paralelos $51^{\circ} 20' 50''$ e $50^{\circ} 29' 23''$ e pelos meridianos $6^{\circ} 31' 38''$ e $7^{\circ} 00' 00''$. Os domínios ou compartimentos geotectônicos existentes na mesma, relacionam-se ao Terreno Granito-*Greenstone* do sul do Pará-(TGG) e ao Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas-(CCI), que englobam rochas arqueanas e proterozóicas, (COSTA et al. 1993, MACAMBIRA & VALE, no prelo).

O número bastante reduzido de trabalhos geocronológicos desenvolvidos nas rochas da região de Tucumã, dificulta a elaboração do quadro estratigráfico e evolutivo, bem como a caracterização das diferentes épocas do magmatismo arqueano e proterozóico da região. Essa pesquisa tem como principal objetivo, apresentar novos dados geocronológicos para diversas unidades de rochas magmáticas da referida região, através do método Pb/Pb por evaporação de

zircão em monofilamento. Esse método foi implantado recentemente no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA (GAUDETTE et al. 1993b).

O estudo geocronológico Pb/Pb por evaporação de zircão foi inteiramente desenvolvido no LGI/UFPA. As informações geológicas sobre a região de Tucumã foram cedidas pelos geólogos da CPRM, que realizaram o trabalho de mapeamento geológico, no âmbito das Folhas SB.22-YB (São Félix do Xingu) e SB.22-ZA (Serra dos Carajás). Esse estudo é parte integrante do Programa de Levantamentos Básicos do Brasil-(PLGB), através do Programa Grande Carajás.

2 . CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E DADOS GEOCRONOLÓGICOS DISPONÍVEIS

Nesse capítulo são abordados os aspectos gerais da geologia da PMC, os quais nortearão a intergração da região de Tucumã no contexto dessa província. São apresentadas em detalhes as unidades lito-estratigráficas e os dados geocronológicos existentes de acordo com os conhecimentos geológicos atuais.

2.1- A PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Os limites geográficos da Província Mineral de Carajás-(PMC) sofreram algumas modificações ao longo do tempo. Exemplo disso é que, no trabalho de HIRATA et al. (1982), a região de Redenção foi incluída na província. Já no mapa elaborado por DOCEGEO (1988), os limites da PMC abrangia as regiões de Carajás, Gradaús e Rio Maria. Atualmente, segundo os trabalhos desenvolvidos por COSTA et al. (1994a, b) e ARAÚJO et al. (1994), os limites da província foram estendidos até as regiões de Inajá, ao sul e de São Félix do Xingu, a oeste, compreendendo a área limitada pelos paralelos 5° e 9° S e meridianos 49° 30' e 5° 20' WGr (Figura 01).

Os primeiros trabalhos que contribuíram para o conhecimento do quadro geológico da PMC, remontam à década de 60. Dessa época merecem destaque os trabalhos de BARBOSA et al. (1966), RAMOS (1967) e ALMEIDA et al. (1968), que descreveram os aspectos geológicos regionais e prospectivos. Na década de 70, tem-se os registros das primeiras compartimentações em nível de províncias estruturais e das discussões sobre as gêneses das ocorrências minerais da província (SUSZCYNKY, 1972; RESENDE & BARBOSA, 1972; BEISIEGEL & FARIAS, 1978). É dessa época também, a tentativa de estabelecer a sucessão de eventos, montar quadros evolutivos e geotectônicos baseados em dados geocronológicos. Nesse contexto, destacam-se os trabalhos de GOMES et al. (1975), AMARAL, (1974), CORDANI et al. (1979), dentre outros.

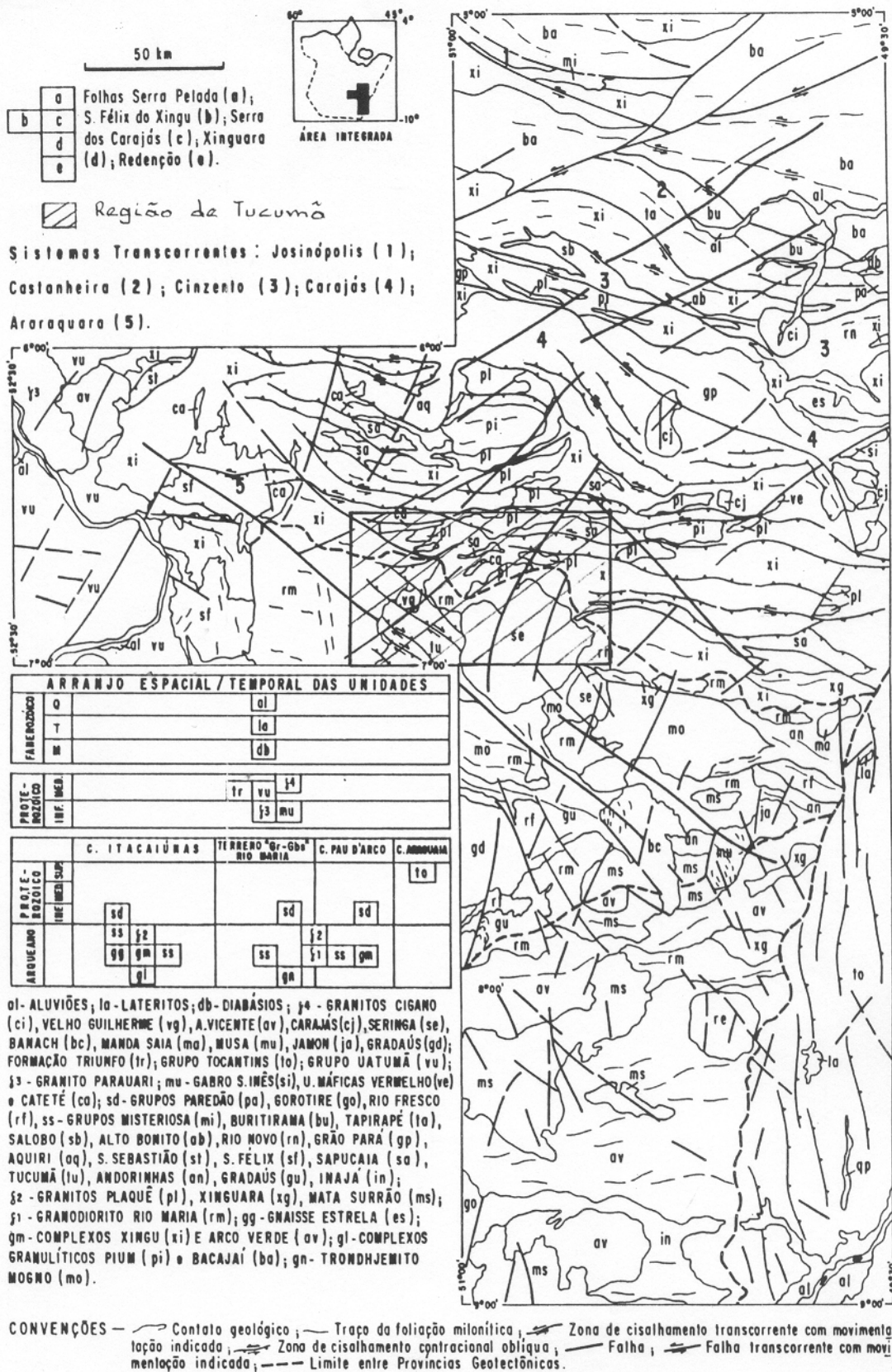


Figura 01 - Mapa geológico integrado para a PMC, a partir das Folhas SB.22-XC (Serra Pelada); SB.22-ZA (Serra dos Carajás); SB.22-YB (São Félix do Xingu); SB.22-ZC (Xinguara) e SB.22-XA (Redenção), segundo ARAÚJO et al. (1994)

A década de 80 foi marcada pelo avanço significativo no conhecimento da geologia, principalmente quanto à caracterização de ambientes geológicos, petrogênese e geocronologia de algumas unidades da PMC. Nessa época foram distinguidos os cinturões Araguaia, Itacaiúnas e Alto Tapajós, nas bordas do Bloco Araguacema (HASUI et al. 1984), e o Terreno Granito-*Greenstone* do sul do Pará, no seu núcleo. Dentre os principais trabalhos da época destacam-se os de ALMEIDA (1980), HIRATA et al. (1982), DALL'AGNOL (1982), CORDANI & BRITO NEVES (1982), MONTALVÃO et al. (1984). Significativa contribuição no conhecimento da geologia da PMC foi dada por DOCEGEO (1987 e 1988), através da elaboração de um trabalho de síntese dos principais dados geológicos disponíveis sobre a província, além da proposição da coluna lito-estratigráfica regional.

Os trabalhos de mapeamento geológico na escala 1:250.000 desenvolvidos pela CPRM, através do Programa Grande Carajás, a partir do final da década de 80 até hoje, muito têm contribuído para o conhecimento do quadro geológico da região sul-sudeste do Estado do Pará, (ARAÚJO et al. 1988; ARAÚJO & MAIA, 1991; COSTA et al. 1993, 1994a, b; ARAÚJO et al. 1994; MACAMBIRA & VALE, no prelo). Contribuição expressiva também foi dada pelo programa de geocronologia desenvolvido pelo LGI/UFPa (GASTAL et al. 1987; MACAMBIRA et al. 1990; LAFON & MACAMBIRA, 1990; LAFON et al. 1991; MACAMBIRA & LANCELOT 1991a, b; MACHADO et al., 1991; MACAMBIRA 1992; PEREIRA 1992; RODRIGUES 1992; LAFON et al. 1994; PIMENTEL & MACHADO, 1994).

Recentemente, MACAMBIRA & LAFON (no prelo), apresentaram uma síntese sobre o nível atual do conhecimento em geocronologia da PMC. Por outro lado, COSTA et al. (1993, 1994a, b) e ARAÚJO et al. (1994), propuseram uma integração geológica das diferentes folhas que compõem a província (Folhas SB.22-XC/Serra Pelada; SB.22-ZA/Serra dos Carajás; SB.22-ZC/Xinguara) com as Folhas SB.22-XA/Redenção e SB.22-YB/São Félix do Xingu, (Figura 01).

2.1.1- O Arqueano da PMC

Segundo COSTA et al. (1993, 1994a, b) e ARAÚJO et al. (1994), a PMC abrange compartimentações geotectônicas que inclui de norte para o sul, o CCI (toda porção norte da província); o TGG (regiões de Tucumã, Serra dos Gradaús e Rio Maria) e Cinturão Pau d'Arco-

(CPD, região de Redenção). O desenvolvimento desses compartimentos é entendido através de um evento termo-tectônico arqueano, iniciando com movimentos tangenciais, transmitidos de sul para o norte e progredindo para movimentos direcionais.

O CCI é constituído por faixas e lentes, de direção E-W, de rochas granulíticas (Complexos Pium e Bacajá), gnaisses migmatizados incluídos no Complexo Xingu e no Gnaiss Estrela; rochas supracrustais (Grupo Sapucaia, Grão-Pará e correlatos) e granitóides estratóides englobados na Suíte Plaquê. O TGG é formado por faixas de rochas vulcano-sedimentares incluídas nos Grupos Tucumã, Gradaús e Andorinhas (incluindo as seqüências Identidade, Babaçu, Mamão, Lagoa Seca, Seringa entre outras); corpos de granodioritos (Granodiorito Rio Maria) e granitos (Granito Mata Surrão). O CPD é constituído predominantemente por gnaisses tonalíticos mais ou menos migmatizados (Gnaiss Arco-Verde); metassedimentos, metavulcânicas e formações ferríferas reunidas no Grupo Serra do Inajá e corpos de granodioritos e granitos milonitizados, correlacionáveis respectivamente ao Granodiorito Rio Maria e Granito Mata Surrão.

Na região de Rio Maria, as rochas mais antigas são o Metatonalito Arco-Verde (2957 ± 16/-19 Ma, U-Pb em zircões, MACAMBIRA & LANCELOT 1991a; MACAMBIRA 1992) e os granulitos do Complexo Pium, às margens do rio Cateté (3050 ± 114 Ma, Pb-Pb em rocha total, RODRIGUES 1992). Zircões de cerca de 3,2 Ga foram identificados pelo método U-Pb na região de Rio Maria, nos sedimentos de cobertura plataformal do Grupo Rio Fresco/Andorinhas (MACAMBIRA & LANCELOT, 1991b) e no Granito proterozóico Musa (MACHADO et al., 1991), atestando assim, a existência de rochas mais antigas que 3,0 Ga na PMC, até o momento não identificadas. Para os *greenstone-belts* dessa região, MACAMBIRA & LANCELOT (1992) e PIMENTEL & MACHADO (1994), definiram respectivamente pelo método U-Pb em zircões de rochas metavulcânicas da seqüência Lagoa Seca (Grupo Andorinhas), idades de 2904 ± 22 Ma e 2979 ± 5 Ma.

No domínio do TGG, região de Rio Maria, afloram granitóides arqueanos como o Trondhjemitó Mogno (2871 Ma, U-Pb em titanitas, PIMENTEL & MACHADO, 1994), o Granodiorito Rio Maria (2874 ± 9/-10 Ma, U/Pb em zircões, MACAMBIRA & LANCELOT, 1991a, b; MACAMBIRA, 1992; 2872 ± 5 Ma, U/Pb em zircão, PIMENTEL & MACHADO, op cit. e 2830 ± 14 Ma, Pb/Pb em zircão, MACAMBIRA & SCHELLER, 1994); o Granito Xinguara

(2876 \pm 13/-11 Ma, U-Pb em zircões, MACAMBIRA & LANCELOT, 1991a; MACAMBIRA 1992) e o Granito Mata Surrão (2872 \pm 10 Ma, Pb-Pb em rocha total, LAFON et al., 1994). Na região de Serra dos Gradaús, LAFON & SCHELLER, (1994), analisaram os zircões do Granodiorito Cumaru através do método Pb-Pb por evaporação, os quais forneceram uma idade mínima de cristalização de 2817 \pm 7 Ma.

Os dados geocronológicos obtidos para os granitóides arqueanos demonstram um curto intervalo de tempo, em torno de 2,87 Ga, para a formação dos mesmos. Essas rochas são, portanto, mais jovens que as seqüências *greenstones* (2,97 Ga), o metatonalito Arco-Verde (2,96 Ga) e os ortognaisses do Complexo Xingu, de idade não definida. Os dados isotópicos Rb-Sr e K-Ar disponíveis para esses corpos, indicam idades entre 2,40 a 2,75 Ga (MONTALVÃO et al., 1984; GASTAL et al. 1987; MONTALVÃO et al. 1988; LAFON et al. 1990; DUARTE et al. 1991; LAFON et al. 1991; MACAMBIRA et al. 1991). Essas idades foram interpretadas mais recentemente por MACAMBIRA & LAFON, (no prelo), como resultado do resfriamento regional ou pela difusão isotópica de Rb, Sr e Ar dessas rochas, ligados aos processos tectono-metamórficos do final do Arqueano.

Na região de Redenção, BARBOSA & LAFON (1995) definiram idades através do método Pb/Pb em rocha total para os granitóides anteriormente incluídos no Complexo Xingu. É o caso de um gnaiss tipo Arco-Verde que forneceu idade de 2872 \pm 25 Ma e de Monzogranitos tipo Mata Surrão, com idades distintas de 2894 \pm 19 Ma, para as rochas da porção norte e 2797 \pm 28 Ma, para aquelas da porção sul de Redenção. As idades desses granitóides são semelhantes àquelas obtidas para os granitóides da região de Rio Maria e demonstram que o magmatismo gerador dessas rochas, estende-se desde a região de Rio Maria até a porção norte de Redenção.

Na região da Serra dos Carajás, granitóides arqueanos anteriormente englobados no Complexo Xingu, como o Granito "Old Salobo", apresentam uma idade U/Pb em zircões de 2573 \pm 2 Ma (MACHADO et al. 1991). SOUZA et al. (1995) apresentaram uma idade Pb/Pb em zircões de um granitóide deformado da mesma área, de 2525 \pm 38 Ma, sugerindo assim, a maior extensão de ocorrência desses granitóides. Os gnaisses pertencentes ao Complexo Xingu foram datados pelo método U-Pb em zircões, e definiram uma idade de 2859 \pm 4 Ma (MACHADO et al. op cit.), interpretada como a última migmatização sofrida por essas rochas. Entretanto, a possibilidade de que esses gnaisses representem rochas granitóides arqueanas deformadas e

recristalizadas não é descartada, pois essa idade é similar as idades obtidas para os granitóides das regiões de Rio Maria e Redenção.

2.1.2- O Proterozóico da PMC

Durante o Proterozóico a Amazônia Oriental experimentou um quadro estrutural distensivo, exibindo falhas normais (NW-SE) e transcorrentes (NE-SW), geradoras da chamada Bacia do Médio Xingu, a oeste da PMC, que abriga as rochas vulcânicas ácidas e andesíticas do Grupo Uatumã. Esse quadro tectônico possibilitou ainda, a subida de magmas básico-ultrabásicos formadores da Suíte Intrusiva Cateté (MACAMBIRA & VALE, no prelo); a existência de um importante magmatismo intermediário a ácido, cujos produtos estão representados pelo Granito Parauari e pela Suíte Intrusiva Velho Guilherme e correlatos; bem como a deposição de sedimentos plataformais, (COSTA et al., 1991; COSTA & HASUI, 1992; ARAÚJO & MACAMBIRA, 1993; ARAÚJO et al., 1994; COSTA et al. 1994a, b; MACAMBIRA & VALE, no prelo).

Segundo COSTA et al. (1994b), não há dados isotópicos disponíveis para os corpos máfico-ultramáficos e para as seqüências vulcânicas. Os dados isotópicos Rb/Sr em rocha total de 1908 ± 52 Ma obtidos para o Granito Parauari (PEREIRA, 1992), indicam uma idade mínima da cristalização dessas rochas. De acordo com os primeiros autores, os corpos máfico-ultramáficos e o Granito Parauari poderiam representar as primeiras manifestações magmáticas do evento extensional. Posteriormente seriam individualizadas as bacias, que foram preenchidas pelas seqüências vulcânicas e parcialmente pelas sedimentares, sendo a colocação dos corpos graníticos, representantes da acomodação do pulso extensional que gerou as falhas mestras da bacia.

Numerosos corpos graníticos espalham-se na PMC e nos seus arredores, principalmente onde afloram os terrenos granito-*greenstones* (DOCEGEO, 1988). Esses granitos intrusivos, de forma arredondada, apresentam uma composição modal geralmente monzogranítica a sienogranítica e foram denominados genericamente de “Granitos Anorogênicos”, (DALL’AGNOL, et al. 1986). São corpos com características geoquímicas de granitos meta a per-aluminosos, similares aos granitos tipo A ou intra-placas (DALL’AGNOL et al. 1994).

Os dados geocronológicos Rb-Sr e K-Ar disponíveis definem um intervalo entre 1,89 a 1,50 Ga para a colocação desses granitos (GOMES et al. 1975; TASSINARI et al. 1982; DALL'AGNOL et al. 1984; GASTAL et al. 1987; GONÇALEZ et al. 1988; LAFON et al. 1988; MACAMBIRA, 1992; BARBOSA et al. 1994). No entanto, análises U-Pb em zircões dos granitos Central de Carajás, Pojuca, Cigano e Musa definiram uma estreita faixa de tempo entre 1872 a 1888 Ma, para essa granitogênese (MACHADO et al. 1991). Idades recentemente obtidas pelos métodos Pb/Pb em rocha total para os Granitos Velho Guilherme (1874 ± 30 Ma, RODRIGUES 1992; LAFON et al. 1995) e Redenção (1893 ± 178 Ma, BARBOSA et al. 1994), também estão de acordo com os dados U-Pb em zircão.

2.1.3- Aspectos Evolutivos da PMC

Segundo COSTA et al. (1994a, b), ARAÚJO et al. (1994), os arranjos estruturais e as principais unidades litológicas que compõem a PMC são devidos à atuação de 3 eventos termo-tectônicos no Pré-Cambriano. Com efeito, a evolução geológica da PMC está relacionada a um evento de colisão oblíqua de segmentos continentais, de pelo menos 250 Ma de duração, ocorrido no final do Arqueano e caracterizado pela alternância de movimentos tangenciais e direcionais. Segundo esses autores, o evento mais antigo expressa-se através de 3 compartimentos tectônicos denominados Sul (Cinturão Pau D'Arco), Central (TGG de Rio Maria) e Norte (Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas).

O desenvolvimento desses compartimentos é entendido, segundo os autores anteriormente citados, através de um evento termo-tectônico que inicia com movimentos tangenciais, transmitidos de sul para o norte, e evoluem para movimentos essencialmente direcionais. Durante esse evento, houve o desenvolvimento de zonas cisalhantes tangenciais oblíquas (E-W), que provocaram o soerguimento de rochas granulíticas da crosta inferior; o retrabalhamento de rochas antigas (granitóides), que originaram os gnaisses mais ou menos migmatizados (Complexo Xingu); e a formação dos granitóides estratóides (Suíte Plaquê).

Relaciona-se também a esse evento, a geração de corpos granitóides, como o Granodiorito Rio Maria e o Granito Mata Surrão e correlatos, ocorrido a cerca de 2,87 Ga, graças a influência da movimentação transtensiva. Essa movimentação culminou com a instalação de

anisotropia crustal nas regiões de Rio Maria, Xinguara, Tucumã e Cumaru, caracterizada por sistemas transcorrentes, interligados e orientados nas direções E-W, NW-SE e NE-SW.

Durante o Proterozóico, a PMC experimentou uma movimentação extensional, geradora de falhas normais (NW-SE) e de transferência (NE-SW). Essa movimentação proporcionou a formação das coberturas vulcânicas e sedimentares, bem como as intrusões de magmas básico-ultrabásicos e os granitos anorogênicos.

O último evento termo-tectônico foi responsável pela geração do Cinturão Araguaia, sudeste da PMC, através da colisão oblíqua de segmentos continentais, representados pelos Blocos Araguacema e Porangatu. Vale ressaltar que esse evento foge do contexto da área estudada.

Segundo MACAMBIRA & LAFON (no prelo), os dados geocronológicos atualmente disponíveis para a PMC, permitem definir uma evolução geológica predominantemente arqueana. A formação da crosta sílica relaciona-se ao intervalo de 3,0 a 2,87 Ga. Os *greenstone-belts* são representados pelas seqüências vulcanossedimentares de Rio Maria-Gradaús (2,98-2,90 Ga) e da Serra dos Carajás (2,76 Ga). Os complexos básico-ultrabásicos (Complexo de Luanga e Serra Azul), datados respectivamente em 2,97 e 2,76 Ga, são associados ou intrusivos nessas seqüências. Nesse contexto, o setor norte da PMC (região de Carajás) parece ter experimentado uma evolução geológica mais jovem que a do setor sul (Rio Maria-Gradaús). Principalmente quanto à formação das seqüências vulcanossedimentares, gnaisses, granitóides e complexos máfico-ultramáficos.

ARAÚJO et al. (1988); MACHADO et al. (1991), com base nos estudos geológicos e em dados obtidos através do método U/Pb em minerais, propuseram que a evolução arqueana da região de Carajás seria marcada por dois eventos tectono-metamórficos distintos. O primeiro é relacionado ao intervalo de idade entre 2,77 a 2,73 Ga, sendo caracterizado pela formação da bacia de deposição do Grupo Grão Pará (2,75 Ga) e geração das rochas do complexo máfico-ultramáfico de Luanga (2,73 Ga). O segundo evento, compreendido entre 2,58 a 2,53 Ga, provocou a movimentação de blocos litosféricos, propiciando a deposição dos sedimentos do Grupo Rio Fresco.

Atualmente, face a carência de estudos geocronológicos por métodos mais precisos (U/Pb em minerais), em várias porções da PMC, não foi possível identificar com clareza esses

eventos. No entanto, os vários dados Rb/Sr em rocha total, e K-Ar em minerais, obtidos para rochas arqueanas, indicam idades entre 2,50 a 2,75 Ga, mostrando que esses eventos parecem ter atingido toda a PMC.

2.2 - A REGIÃO DE TUCUMÃ

Considera-se região de Tucumã a área destacada na Figura 01, e cujo o mapa geológico é apresentado na Figura 02 e no Anexo B. Segundo COSTA et al. (1993); ARAÚJO et al. (1994); COSTA et al. (1994a, b) e MACAMBIRA & VALE (no prelo), essa região abrange compartimentações geotectônicas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone*-(TGG) e do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas-(CCI), além de rochas pertencentes ao quadro extensional do Proterozóico.

2.2.1 - Terreno Granito-*Greenstone*

O terreno granito-*greenstone*-(TGG) compreende, segundo COSTA et al. (1993) e MACAMBIRA & VALE (no prelo), várias faixas de rochas supracrustais incluídas no Grupo Tucumã-(GT), orientadas preferencialmente na direção WNW-ESE, e a uma expressiva fração do Granodiorito Rio Maria (GRM). A estruturação do TGG é definida por um arranjo anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrentes, que se projetam no domínio das rochas do GT e por cavalgamentos dúcteis oblíquos, visualizados na porção sudoeste da região de Tucumã (Figura 02).

Segundo COSTA et al. (1993), as relações entre os granitóides (GRM) e as supracrustais do GT são definidas por zonas de cisalhamento relacionadas a um sistema de transcorrência dextral e desenvolvidas em regime de transpressão. Segundo ARAÚJO & MAIA (1991), as estruturas primárias dos granitóides e dos conjuntos de supracrustais encontram-se preservadas entre as zonas de cisalhamento.

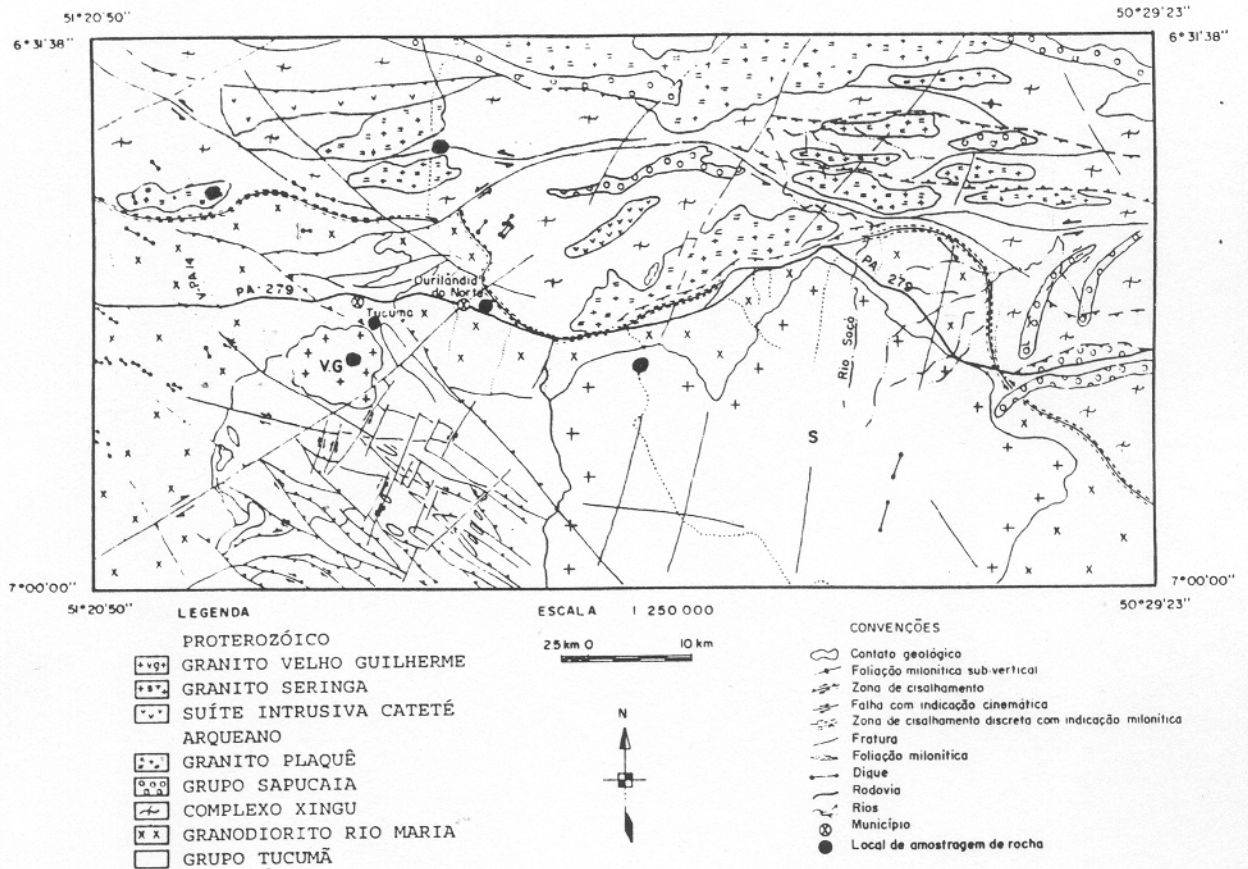


Figura 02 - Mapa geológico da região de Tucumã (simplificado a partir das Folhas SB.22.YB-São Félix do Xingu e SB.22.ZA-Serra Pelada, CPRM).

2.2.1.1 - Grupo Tucumã

ARAÚJO & MAIA (1991) denominaram formalmente de Grupo Tucumã, anteriormente englobadas no Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO, 1988), as rochas supracrustais da porção SE da Folha SB.22-YB (São Félix do Xingu). Expressivas ocorrências de rochas dessa seqüência foram identificadas nos arredores do Município de Tucumã, constituindo assim, a seção tipo da unidade. As rochas supracrustais do grupo apresentam forma ligeiramente alongada, integrando relevo ora acidentado (morrotes e serras), ora como superfície arrasada.

Segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo), esse grupo é formado por uma seqüência metavulcanossedimentar, que compreende as Formações Igarapé Cuca (metavulcânicas básicas), Igarapé Abelha (metassedimentos e meta-vulcânicas ácidas e básicas) e Igarapé da Pista (metassedimentos). As rochas do GT mantêm relação de contato discordante e são intrudidas pelas rochas do Granodiorito Rio Maria, e dos Granitos Velho Guilherme e Seringa. O contato com as rochas gnáissicas do Complexo Xingu é feito através de falhas.

No âmbito da região de Tucumã, não existem referências geocronológicas para as rochas do GT. Porém, na região de Rio Maria, as rochas vulcânicas ácidas dos *greenstones* (Grupo Andorinhas, ARAÚJO & MAIA 1991) foram datadas pelo método U-Pb em zircões e forneceram idades de 2904 +29/-22 Ma (MACAMBIRA & LANCELOT, 1992) e 2979 ± 4 Ma (PIMENTEL & MACHADO, 1994), as quais estabeleceram a idade mínima para o embasamento da região.

2.2.1.2 - Granodiorito Rio Maria

Essa unidade é constituída, segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo), por rochas granodioríticas, com tonalitos e monzogranitos subordinados. Encontram-se distribuídas principalmente na porção sudoeste da região de Tucumã, (Figura 02). As rochas granodioríticas mantêm contatos discordantes e são intrusivas nas rochas do GT, sendo ainda seccionadas pelas rochas dos Granitos Seringa e Velho Guilherme. De acordo com ARAÚJO & MAIA (1991); COSTA et al. (1993); MACAMBIRA & VALE, (no prelo), as rochas dessa unidade interrelacionam-se espacialmente com os ortognaisses do CCI, através de uma larga e irregular zona gradacional, onde coexistem porções preservadas do TGG e retrabalhadas do CCI. Essa unidade caracteriza-se por um relevo aplainado, com raros morrotes (ARAÚJO & MAIA, 1991).

Na região de Tucumã, MACAMBIRA & VALE (no prelo) individualizaram dois corpos distintos, baseados em critérios petrográficos. O primeiro ocorre na bacia do Igarapé Manelão, possui natureza monzogranítica, apresenta-se milonitizado e exibe raramente as texturas ígneas primitivas. O outro ocorre nas adjacências do Município de Ourilândia do Norte, mostrando uma composição granodiorítica e feições deformacionais comparáveis àquelas encontradas no corpo anterior, porém exibindo com maior frequência texturas ígneas preservadas.

Os dados geocronológicos até então disponíveis para as rochas dessa unidade, referem-se às rochas monzograníticas e granodioríticas acima citadas, que forneceram idades Rb/Sr em rocha total, respectivas de 2739 ± 23 Ma (1σ), com I_{Sr} de $0,70283 \pm 0,00019$ e 2677 ± 50 Ma (1σ), com I_{Sr} de $0,70161 \pm 0,00022$ (LAFON et al. 1991). Segundo esses autores, as idades encontradas podem representar tanto a idade de cristalização dos corpos, como uma idade rejuvenescida pela reabertura do sistema isotópico Rb-Sr, provocada pelo evento deformacional que afetou os mesmos.

As razões isotópicas iniciais do Sr são baixas, ficando próximas da razão isotópica do manto há 2,75 Ga atrás, sugerindo uma fonte com características mantélicas, ou de curto tempo de residência crustal. As similaridades dos dados geocronológicos Rb/Sr dessas rochas com aquelas da região de Rio Maria, bem como os dados petrográficos e estruturais, possibilitaram interpretar, que a região de Tucumã representa uma continuidade, a oeste da PMC, do terreno granito-*greenstone*.

2.2.2- Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas

O CCI ocupa toda a porção norte da região de Tucumã e inclui ortognaisses granodioríticos e tonalíticos (Complexo Xingu); rochas supracrustais (Grupo Sapucaia) e granitóides estratóides (Suíte Plaquê), (Figura 02). Nessa área, o arcabouço estrutural é marcado por cavalgamentos dúcteis, orientados preferencialmente na direção E-W, que se projetam nas regiões de contato entre as principais unidades, definindo um sistema imbricado fortemente inclinado para o norte. Este sistema é decorrente de cinemática sinistral, tem lineação de estiramento orientada segundo NE/SW, com mergulho de 20° para NE e responde pelodeslocamento de massa de SW para NE (COSTA et al. 1993, 1994a, b; MACAMBIRA & VALE, no prelo). Segundo esses autores, o sistema é realçado por faixas e lentes de rochas

supracrustais do Grupo Sapucaia e de granitóides estratóides da Suíte Plaquê, em meio aos gnaisses do Complexo Xingu.

2.2.2.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu

É a unidade de maior distribuição na área estudada, (Figura 02). As rochas gnaíssicas estão em contato com todas as unidades arqueanas do CCI e são cortadas por rochas máfico-ultramáficas, agrupadas na Suíte Intrusiva Cateté (MACAMBIRA & VALE, no prelo). Essa unidade exibe uma morfologia arrasada, com afloramentos em forma de lajeiros e raros morrotes isolados, que fogem do contexto geral aplainado, (ARAÚJO & MAIA, 1991). Litologicamente dominam os tonalitos, trondhjemitos e granodioritos, com termos graníticos subordinados (MACAMBIRA & VALE, no prelo). A textura é granoblástica a granonematoblástica, com uma deformação milonítica superimposta.

As rochas gnaíssicas do Complexo Xingu mantêm contato gradacional com as rochas do GRM. Os contatos com as rochas dos Granitóides Estratóides (Suíte Plaquê) e do Grupo Sapucaia são de natureza tectônica, marcados por zonas de cavalgamento dúctil, com forte inclinação e estiramento das unidades, (MACAMBIRA & VALE, no prelo).

Na região de Tucumã as rochas gnaíssicas do Complexo Xingu não dispõem de dados geocronológicos. Entretanto, LAFON et al. (1991) forneceram uma idade Rb/Sr em rocha total de 2574 ± 57 Ma, com I_{Sr} de $0,70416 \pm 0,00054$ (1σ), para os gnaisses granodioríticos da região de São Félix do Xingu, localizada no extremo oeste da Folha SB.22-YB (São Félix do Xingu) e mais precisamente a oeste da região em destaque. Essa idade foi atribuída a uma re-homogeneização isotópica do sistema Rb-Sr, provocada possivelmente pela atuação do evento termo-tectônico que atingiu essas rochas regionalmente, no final do Arqueano.

2.2.2.2 - Grupo Sapucaia

ARAÚJO & MAIA (1991), em trabalhos desenvolvidos na Folha SB.22-ZA (Serra dos Carajás), denominaram de Grupo Sapucaia o conjunto de rochas supracrustais (meta-vulcânicas e metassedimentares), caracterizadas como um *greenstone-belt* retrabalhado em regime de cisalhamento dúctil. Na área estudada, essas rochas distribuem-se no domínio do CCI, estendendo-se em faixas alongadas e adelgadas, com orientação principal E-W (Figura 02).

Essas rochas mantêm contato de natureza tectônica, marcado por zonas de cisalhamento, com as rochas gnaíssicas do Complexo Xingu, enquanto na extremidade leste parecem ter sido afetadas pela intrusão do Granito Seringa.

As fortes similaridades litológicas e metalogenéticas com outras rochas supracrustais arqueanas da PMC, permitiram a ARAÚJO & MAIA (1991) sugerir uma relação cronolitológica entre as rochas desse grupo, com aquelas dos Grupos Tucumã (região de Tucumã) e Andorinhas (região de Rio Maria).

2.2.2.3 - Granitóides Estratóides (Suíte Plaquê)

A denominação Suíte Plaquê deve-se originalmente a ARAÚJO et al., (1988), usada para agrupar os leucogranitos deformados e lenticularizados da Folha SB.22-ZA (Serra dos Carajás). Esses granitóides foram interpretados preliminarmente por esses autores como produtos da fusão crustal durante o evento de cisalhamento dúctil do final do Arqueano. Posteriormente, JORGE JOÃO & ARAÚJO (1992) identificaram também nas Folhas SB.22-YB (São Félix do Xingu) e SB.22-XC (Serra Pelada), a ocorrência de muscovita-biotita leucogranitos, (Figura 03). Esses corpos mostram-se ligados evolutivamente à atuação de um regime compressivo oblíquo de natureza dúctil que responde pela estruturação do CCI, e exibem deformação progressiva, variando desde proto a ultramilonitos (bordas dos corpos).

Na região de Tucumã, essas rochas espalham-se por toda a faixa de domínio do CCI, (Figura 02), sendo representadas por sienogranitos alongados e lenticularizados, que se orientam na direção geral da foliação (E-W). Geomorfológicamente, a unidade apresenta um relevo em forma de morros e morrotes de topos abaulados, mantendo relações de contatos com as demais unidades arqueanas (Complexo Xingu; Grupo Sapucaia) através de zonas de cisalhamento dúctil, em geral, concordante com a estruturação E-W do CCI, (MACAMBIRA & VALE, no prelo).

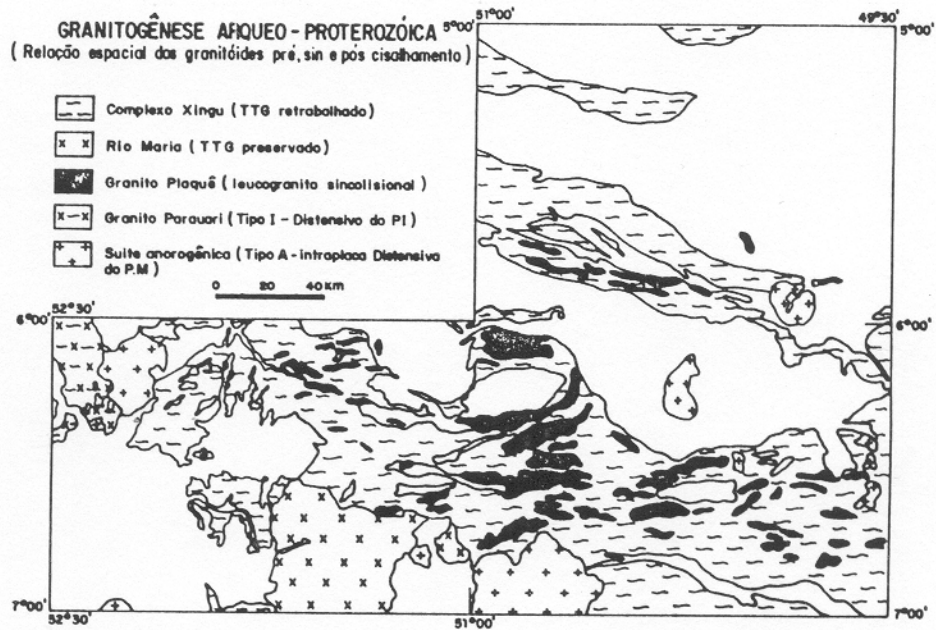


Figura 03 - Relação espacial dos granitoides estratóides (Suíte Plaquê) na Província Mineral de Carajás (Folhas SB.22-XC/Serra Pelada; SB.22-ZA/Serra dos Carajás e SB.22-YB/São Félix do Xingu). Segundo JORGE JOÃO & ARAÚJO (1992),

As rochas dessa unidade não dispõem de informações geocronológicas no âmbito da PMC e seu posicionamento estratigráfico é questionável. Entretanto, são entendidas como resultantes do retrabalhamento de rochas gnaíssicas silicosas do Complexo Xingu, evidenciando uma granitogênese por calor friccional em fase sin-colisional, resultante do espessamento crustal, no final do Arqueano (ARAÚJO & MAIA, 1991; JORGE JOÃO & ARAÚJO, 1992; MACAMBIRA & VALE, no prelo).

2.2.3 - Magmatismo Proterozóico

Na região de Tucumã o magmatismo proterozóico é representado pelas rochas da Suíte Intrusiva Cateté e pelos corpos graníticos Seringa e Velho Guilherme.

2.2.3.1 - Suíte Intrusiva Cateté

Trata-se de uma unidade formada por rochas máfico-ultramáficas não metamorfizadas, apresentando forma alongada na direção E-W e NE-SW, seguindo os grandes “trends” estruturais, (Figura 02). Essas rochas caracterizam-se, segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo), pelo seu caráter diferenciado, representativo de um processo de cristalização magmática de nível profundo. São litologicamente constituídas por serpentinitos, piroxenitos, anortositos e gabro-noritos. As relações petrográficas das rochas, sugeriram uma gênese associada à fusão mantélica e segundo os autores citados, as mesmas são consideradas de idade proterozóica inferior. As rochas dessa unidade aparecem no norte da região de Tucumã (Figura 02) e são intrusivas nas rochas do Complexo Xingu e da Suíte Plaquê.

2.2.3.2 - Granito Seringa

Trata-se de um corpo subcircular, com área aproximada de 2000 Km², que ocupa quase todo o quadrante SE da área estudada (Figura 02). As rochas desse corpo mostram uma homogeneidade textural, mineralógica e faciológica, exibindo um marcante isotropismo estrutural, com granulação média a grossa. São compostas predominantemente por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita e muscovita, com textura granular alotriomórfica a porfirítica, exibindo localmente feições rapakivíticas. O Granito Seringa é intrusivo nas rochas do GT e do GRM.

Os dados geocronológicos obtidos para esse corpo referem-se aos estudos Rb/Sr, em rocha total, desenvolvidos por LAFON et al. (1988), que utilizaram as informações isotópicas Rb/Sr obtidas por GOMES et al. (1975), a partir de dois pontos experimentais desse corpo. Desse modo, a idade determinada para o Granito Seringa foi de 1730 ± 58 Ma (1σ), com razão isotópica inicial I_{Sr} de $0,7081 \pm 0,00016$. Essa idade foi interpretada pelos autores como de rejuvenescimento isotópico do sistema Rb-Sr, uma vez que os dados U-Pb de corpos correlatos da PMC (Carajás e Rio Maria), forneceram sistematicamente dados superiores a este (1,87-1,88 Ga, MACHADO et al. 1991).

2.2.3.3 - Granito Velho Guilherme

Esse corpo possui uma forma arredondada, com tamanho muito inferior ao corpo granítico Seringa, (Figura 02). São rochas isotrópicas que mostram uma marcante homogeneidade textural, mineralógica e faciológica, com granulação fina a média e textura granular alotriomórfica. Na região em estudo, as rochas desse corpo são intrusivas nas rochas do TGG (GT e o GRM).

SILVA et al. (1974) apresentaram uma idade Rb/Sr de 1420 ± 124 Ma (1σ), para o Granito Velho Guilherme, atribuída à cristalização do mesmo. Estudos isotópicos Rb/Sr em rocha total, desenvolvidos por LAFON et al. (1991), forneceram idade de 1653 ± 28 Ma (1σ), com I_{Sr} de 0.708 ± 0.048 . Recentemente, estudos isotópicos Pb/Pb em rocha total e em feldspatos desse granito, definiram uma idade de 1874 ± 30 Ma (RODRIGUES 1992; LAFON et al. 1995), similar as idades U/Pb em zircão obtidas para os granitos anorogênicos da PMC, e interpretada como a idade de cristalização dessas rochas.

3 . OBJETIVOS

Diante do contexto geológico apresentado, fica evidente que o final do Arqueano constitui um período chave para o entendimento da evolução geológica da PMC. Como visto, os eventos magmáticos e metamórficos responsáveis pela estruturação da província, parecem ter-se concentrados num intervalo de tempo entre 3,0 a 2,5 Ga. No entanto, alguns problemas referentes à geocronologia das rochas da PMC, têm dificultado a elaboração de modelos integrados para a evolução da mesma. Como já foi citado, nessa província existem concentrações de dados geocronológicos em certas regiões (Rio Maria e Carajás) e ausência, quase total, de dados em outras, como é o caso da região de Tucumã.

A maioria dos dados geocronológicos da PMC, foi obtido através dos métodos Rb/Sr e K/Ar. Existe também uma quantidade significativa de dados obtidos pelo método U/Pb, porém em áreas bastante restritas (Rio Maria e Carajás). Além disso, essa província é quase que desprovida de informações geocronológicas através do método Sm/Nd. Esse quadro tem concorrido para dificultar o estabelecimento da idade de formação das diversas unidades litológicas e seu respectivo posicionamento estratigráfico, bem como a individualização dos eventos magmáticos e metamórficos.

O primeiro modelo evolutivo que tenta integrar toda a PMC, foi proposto por ARAÚJO et al. (1994) e COSTA et al. (1994a, b). Entretanto, em função da carência de dados geocronológicos em certas regiões, há necessidade de dados complementares para poder confirmar ou modificar a cronologia dos eventos, bem como suas distribuições espaciais. O estudo ora apresentado, visa portanto, obter referências cronológicas, através do método Pb/Pb por evaporação de zircão, para as principais unidades arqueanas e proterozóicas da região de Tucumã.

Neste sentido, foram escolhidas rochas pertencentes a unidades chaves, do ponto de vista do entendimento da granitogênese arqueana na PMC. Dessa forma, foram estudadas, no âmbito do CCI, as rochas ortognaíssicas granodioríticas do Complexo Xingu e um Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê; um corpo do Granodiorito Rio Maria, pertencente ao TGG e as rochas proterozóicas pertencentes aos Granitos Seringa e Velho Guilherme. Assim, o estudo

geocronológico Pb/Pb em zircão desenvolvido no âmbito desse trabalho, pretende alcançar os seguintes objetivos:

1 - A datação do ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu busca investigar a existência de um embasamento regional, bem como a relação dessas rochas com os *greenstone-belts* do TGG;

2 - A datação do Granodiorito Rio Maria visa determinar a época mais provável de formação do magmatismo Tonalito-trondhjemitó-granodiorito-(TTG) e fornecer um limite inferior para a idade dos *greenstone-belts*.

3 - A datação da rocha de um granitóide estratóide da Suíte Plaquê tem como objetivo a obtenção dos primeiros dados geocronológicos para essa unidade na PMC e conhecer a época de estruturação principal do CCI, já que essas rochas são tidas como produtos da colisão de blocos crustais durante a evolução desse cinturão.

De posse dos dados geocronológicos Pb/Pb em zircões, para as rochas arqueanas da região de Tucumã, pretende-se estabelecer a crono-correlação dessas, com as rochas de áreas vizinhas, especialmente aquelas de Carajás e Rio Maria, melhores caracterizadas geológica e geocronologicamente. Isso permitirá avaliar os modelos geológicos propostos para a integração da região de Tucumã no quadro evolutivo da PMC.

4 - A datação Pb/Pb em zircão dos Granitos Seringa e Velho Guilherme visa obter a idade de cristalização dessas rochas. Com isso, pretende-se confirmar que esses granitos pertencem à expressiva granitogênese proterozóica ocorrida numa estreita faixa de tempo (1,87 a 1,89 Ga), na PMC.

Aspectos metodológicos da geocronologia Pb/Pb por evaporação de zircão serão também abordados e discutidos nessa tese, visando alcançar os seguintes objetivos:

1 - Mostrar sinteticamente os aspectos teóricos e práticos para a obtenção de dados geocronológicos através do método Pb/Pb por evaporação de zircão;

2 - Sistematizar o uso do método Pb/Pb por evaporação de zircão no LGI/UFPa, através da padronização do tratamento analítico dos dados obtidos;

3 - Avaliar a confiabilidade dos resultados geocronológicos obtidos em zircões de saprólito, através de um estudo comparativo entre esses dados e aqueles de rocha fresca, para cada unidade investigada;

4 - O enfoque metodológico, mencionado no item anterior, deverá proporcionar alternativas para a datação de rochas na região amazônica, onde a coleta de rochas frescas é de difícil aquisição;

5 - Criar um acervo de dados geocronológicos, diretamente comparáveis aos dados U/Pb em zircões de outras áreas da PMC, afastando-se da utilização dos dados Rb/Sr e K/Ar, cujo significado em termos de idade de cristalização tem sido questionável.

4 . GEOLOGIA E PETROGRAFIA DAS ROCHAS ESTUDADAS

Nesse Capítulo são apresentadas sinteticamente, as informações geológicas e petrográficas das rochas estudadas, integrando dados de campo e análises petrográficas das mesmas. As características químicas dessas rochas foram obtidas por ARAÚJO & MAIA (1991) e MACAMBIRA & VALE (no prelo), no âmbito do programa de mapeamento geológico das Folhas SB.22-YB (São Félix do Xingu) e SB.22-ZA (Serra dos Carajás).

O acesso aos pontos de coleta de amostras é feito inteiramente por via terrestre, utilizando-se vários ramais que seccionam a PA-279, a partir dos Municípios de Tucumã e Ourilândia do Norte. Os diferentes pontos de coleta de amostras estão plotados no ANEXO F, enquanto que na Tabela 01 encontram-se listadas as respectivas coordenadas geográficas.

4.1- ORTOGNAISSE GRANODIORÍTICO DO COMPLEXO XINGU

Na área de coleta, a rocha consiste de um ortognaisse de composição granodiorítica, intensamente deformado, com bandamento gnaíssico bem definido e por vezes migmatizado. Comumente, essas rochas são entrecortadas por veios de composição granítica, de espessuras variáveis, com orientação preferencial SW-NE, (Figuras 04 e 05).

As rochas gnaíssicas apresentam coloração cinza-clara, com marcante heterogeneidade textural e estrutural. Os veios graníticos possuem granulação média a grossa e textura granular, sendo que ocasionalmente ocorrem fenocristais de K-feldspatos.

Em lâmina delgada, a rocha gnaíssica é constituída por plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita, anfibólio e muscovita, tendo como acessórios cristais de titanita, zircão, fluorita e opacos; os cristais de sericita, clorita, epidoto e argilo-minerais ocorrem como minerais secundários. A textura é granonematoblástica, com pórfiros de plagioclásio e K-feldspatos envolvidos por uma matriz fina-média de plagioclásio, quartzo e biotita, (Figura 06).

Tabela 01 - Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens ilustrados no ANEXO F.

ROCHAS	AMOSTRAS	LATITUDE	LONGITUDE
ORTOGNAISSE GRANODIORÍTICO DO COMPLEXO XINGU	ELVX-93F	6° 37' 01"	51° 04' 24"
	ELVX-93S	6° 37' 01"	51° 04' 24"
GRANODIORITO RIO MARIA (Granitóide do TGG)	ELVTGG-93F	6° 45' 24"	51° 02' 26"
	ELVTGG-93S	6° 45' 24"	51° 02' 26"
GRANITÓIDE ESTRATÓIDE DA SUÍTE PLAQUÊ	ELVP-93F	6° 39' 37"	51° 15' 15"
	ELVP-93S	6° 39' 37"	51° 15' 15"
GRANITO SERINGA	ELVS-93F	6° 48' 15"	50° 54' 35"
	ELVS-93S	6° 48' 15"	50° 54' 35"
GRANITO VELHO GUILHERME	ELVVG-93F	6° 44' 27"	51° 15' 43"
	ELVVG-93S	6° 46' 52"	51° 12' 42"
	ELVVG-94S	6° 48' 31"	51° 12' 27"



Figura 04 - Feições deformacionais no Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu. Ressalta-se a migmatização intensa ocorrida nessa rocha, bem como a existência de veios graníticos de diferentes gerações. O referencial aponta o norte.



Figura 05 - Veios graníticos entrecortando o ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu. O Referencial aponta o norte.

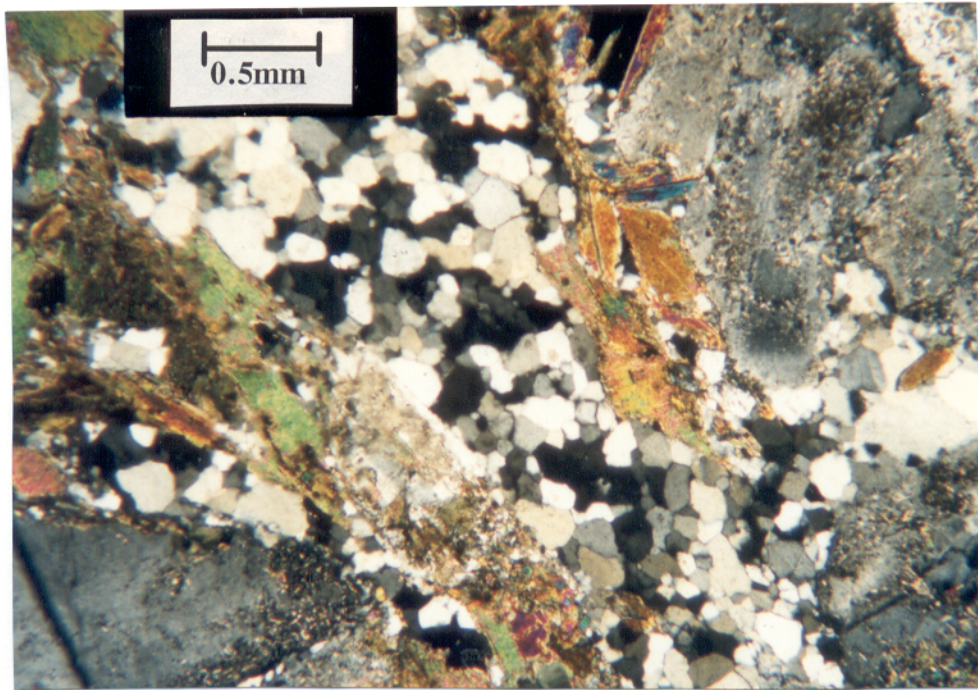


Figura 06 - Fotomicrografia de lâmina delgada do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu. A deformação superimosta à rocha é ressaltada principalmente pela recrystalização e formação de subgrãos de quartzo, bem como pelo estiramento de cristais de plagioclásio e biotita, definindo faixas alternadas que respondem pela trama planar.

A deformação superimposta a essa rocha é marcada por feições de recristalização intensa e formação de sub-grãos de quartzo, que se apresentam estirados e fraturados internamente. Outra feição da deformação é observada nos cristais porfiríticos de plagioclásio, que exibem desde estiramento (elípticos), até uma orientação incipiente. Entre os porfiroclastos agregam-se sub-grãos de quartzo e lamelas de biotita. Esses aspectos texturais sugerem que se trata de uma rocha promilonítica, resultante possivelmente do regime tectônico compressivo oblíquo que afetou essas rochas no final do Arqueano.

MACAMBIRA & VALE (no prelo) analisaram quimicamente 7 amostras de gnaiss, dispersas no âmbito da Folha SB.22-YB (São Félix do Xingu). Essas rochas classificam-se em dois grupos: um constituído por granodiorito (conteúdo de $\text{SiO}_2 < 70\%$) e o outro por adamelito, sienogranito e álcalis-feldspato granitos (conteúdo de $\text{SiO}_2 > 70\%$), como mostra os diagramas das Figuras 07 e 08.

As características químicas dessas rochas apontam o caráter cálcio-alcálico das mesmas. No entanto, as rochas mais ricas em SiO_2 apresentam tendência mais alcalina aproximando-se do padrão definido pelas rochas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, enquanto que as rochas com teores mais baixos de SiO_2 confundem-se com o padrão químico das rochas do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê, como mostram as Figuras 09 e 10.

Na Tabela 02, estão listados os dados químicos obtidos para 5 amostras coletadas às proximidades do ponto onde fez-se a coleta da rocha para a datação (região de Tucumã). No diagrama Q-A-P normativo (STRECKEISEN, 1976), os dados químicos dessas rochas demonstram o caráter granodiorítico das mesmas, (Figura 11).

As características petroquímicas, aliadas as posições dos pontos no diagrama R1-R2 de Batchelor & Bowden apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), (Figura 12), permitiram aos últimos autores considerar que as rochas do Complexo Xingu foram geradas em ambientes compressivos, com estágios de soerguimentos pós-colisional, tardi-orogênico e sincolisional.

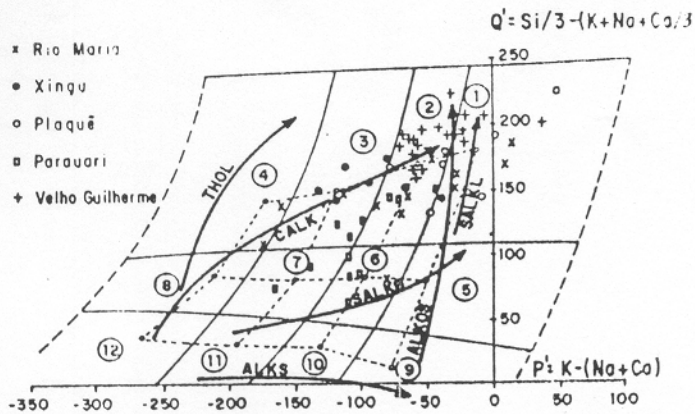


Figura 07 - Diagrama Q' x P' de Debon & Le Fort apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), para Classificação Químico-Mineralógica das Rochas Plutônicas. Aplicado às rochas graníticas da Folha São Félix do Xingu.

"TRENDS" a) Cafêmicos-THOL (Toleíticos); CALK (Cálcio-calino); SALKO (Sub-Alcalino Mesocrático); SALKL (Sub-Alcalino Leucocrático); ALKS (Alcalino Saturado); b) Alumínio Cafêmicos-SALKL (Sub-Alcalino leucogranítico ou Monzogranítico); ALKOS (Alcalino Supersaturado).

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 - GRANITO | 7 - QUARTZO MONZODIORITO |
| 2 - ADAMELITO | 8 - QUARTZO DIORITO |
| 3 - GRANODIORITO | 9 - SIENITO |
| 4 - TONALITO (TRNDHJEMITO) | 10 - MONZONITO |
| 5 - QUARTZO SIENITO | 11 - MONZOGABRO |
| 6 - QUARTZO MONZONITO | 12 - GABRO |

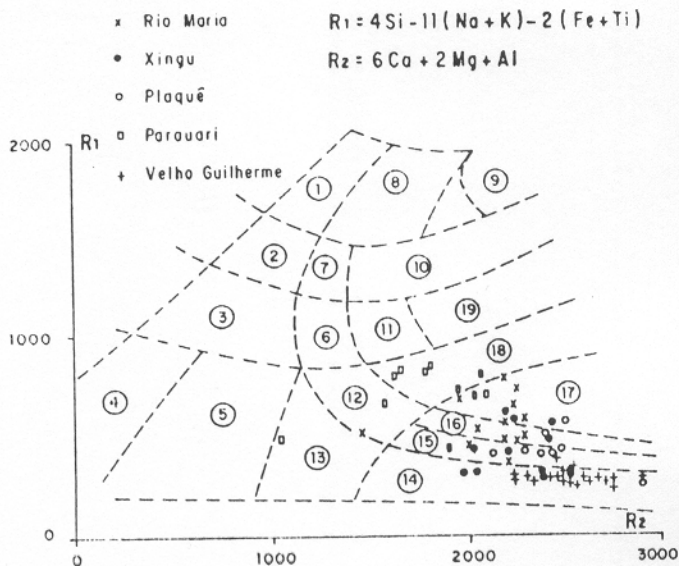


Figura 08 - Diagrama R1 - R2 de La Roche apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), para Classificação Químico-Mineralógica das Rochas plutônicas. Aplicado às rochas da Folha São Félix do Xingu.

- | | | |
|----------------------|------------------------|-------------------|
| 1 - ALCALIGABRO | 8 - OLIVINAGABRO | 15 - SIENOGABRO |
| 2 - SIENOGABRO | 9 - GABRONORITO | 16 - MONZOGABRO |
| 3 - SIENODIORITO | 10 - GABRO | 17 - GRANODIORITO |
| 4 - NEFELINA-SIENITO | 11 - MONZODIORITO | 18 - TONALITO |
| 5 - SIENITO | 12 - QUARTZO-MONZONITO | 19 - DIORITO |
| 6 - MONZONITO | 13 - QUARTZO-SIENITO | |
| 7 - MONZOGABRO | 14 - ALCALIGRANITO | |

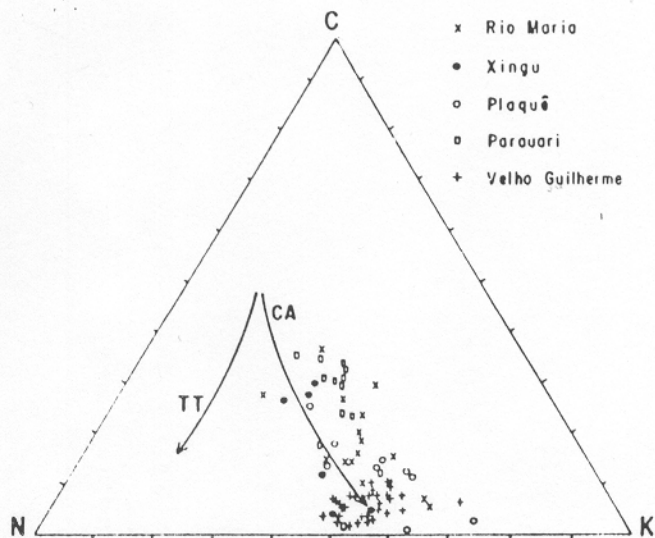


Figura 09 - Diagrama K-C-N com os "trends" Ca (Cálcio-Alcalino) e TT (Tonalito-trondhjemito, segundo Backer & Arth apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), para as rochas graníticas da Folha São Félix do Xingu.

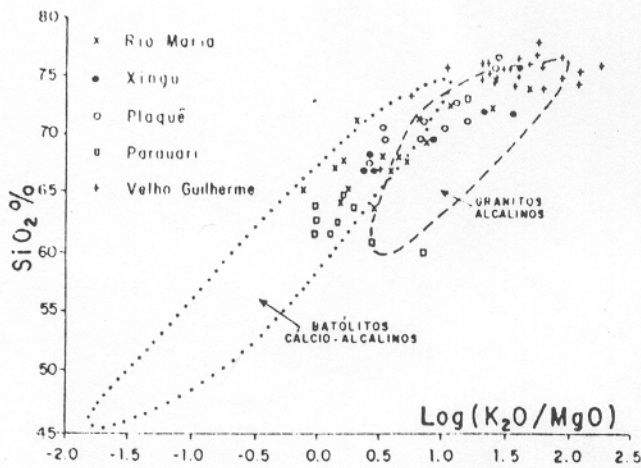


Figura 10 - Diagrama das razões K2O/MgO versus SiO2 de Rogers & Greenberg apud MACAMBIRA & VALE (no prelo), mostrando os campos das Suítes Cálcio-Alcalinas e dos Granitos Alcalinos. Aplicado às rochas graníticas da Folha São Félix do Xingu.

Tabela 02 - Características químicas das rochas gnaíssicas do Complexo Xingu, segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo).

	AV-86	AV-166	AV-168	AV-253	EM-421A
SiO ₂	69,70	67,10	68,60	67,10	72,00
Al ₂ O ₃	14,20	13,20	13,20	14,20	14,20
Fe ₂ O ₃	1,80	3,20	3,60	4,60	1,70
FeO	1,10	3,00	2,00	1,20	0,41
MnO	0,03	0,08	0,06	0,05	0,03
MgO	0,53	1,20	0,99	0,83	0,12
CaO	1,30	3,10	2,60	2,50	0,42
Na ₂ O	3,60	3,90	3,80	4,30	4,90
K ₂ O	4,60	2,90	2,70	2,40	4,40
TiO ₂	0,42	1,00	0,73	0,42	0,12
P ₂ O ₅	0,12	0,30	0,25	0,12	0,13
TOTAL	97,40	98,98	98,53	97,72	98,45
FeO/Fe ₂ O ₃	0,61	0,94	0,56	0,26	0,24
CaO/Al ₂ O ₃	0,09	0,23	0,20	0,18	0,03
MgO/FeO	0,48	0,40	0,50	0,69	0,29
Zr	300,00	1000,00	49,00	147,00	198,00
Y	7,50	30,00	45,00	5,00	5,00
Rb	252,00	131,00	84,00	190,00	430,00
Ba	1650,00	1350,00	1300,00	580,00	360,00
Sr	230,00	235,00	225,00	345,00	300,00
Nb	7,50	7,50	5,00	7,50	7,50
Ni	7,00	10,00	3,75	3,75	10,00
V	20,00	100,00	30,00	20,00	7,50
Sc	2,50	15,00	5,00	5,00	3,75
Rb/Zr	0,84	0,13	1,71	1,29	2,17
Rb/Sr	1,10	0,56	0,26	0,55	1,43
K/Rb	151,45	183,67	266,68	104,80	84,90
CIPW					
q	29,50	25,37	29,01	25,30	26,57
or	27,91	17,32	16,21	14,55	26,41
ab	31,26	33,36	32,67	37,33	42,11
an	5,81	10,05	11,16	11,91	1,25
c	1,25	0,00	0,00	0,28	0,94
di	0,00	2,89	0,22	0,00	0,00
hy	0,00	4,70	5,43	6,67	0,00
wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mt	2,51	3,66	3,28	2,85	1,39
il	0,81	1,92	1,40	0,81	0,23
hm	0,11	0,00	0,00	0,00	0,68
ap	0,29	0,71	0,60	0,29	0,31
P. LITOGEOQUÍMICO					
ID	88,68	76,06	77,90	77,18	95,10
RA	2,51	3,67	3,29	2,86	1,39
FOX	0,66	0,42	0,42	0,36	0,83
IP	1,27	0,74	0,71	0,55	0,89
F	84,54	83,62	84,65	86,95	94,59
CNP	15,67	23,16	25,47	24,19	2,89
INC	3,44	13,18	10,35	10,35	2,30
IC	8,32	16,62	14,68	14,77	2,64
A/KCN	1,07	0,87	0,95	1,00	1,05
PALK	0,76	0,72	0,69	0,68	0,90
(Mn)E	0,15	0,13	0,14	0,16	0,65

ID= índice de diferenciação Trorton & Tuttle apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $S(q+ab+or+ne+kp+lc)$;

RA= razão de alcalinidade de Wright apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)/[(Al_2O_3+CaO-(Na_2O+K_2O))]$;

FOX= índice de oxidação ou grau de oxidação de ferro de Niggli apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $(Fe_2O_3)/(FeO+0,0899856283)$;

IP= índice petrogenético de Engel apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): (K_2O/Na_2O) ;

F= índice de ferro de Sviridenko apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $[(Fe_2O_3+FeO)100]/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$;

CNP= composição normativa de plagioclásio de Irvine e Baragar apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $[(CNP= (Anx100)/(An+Ab+5/3Ne)]$;

INC= índice normativo de coloração de Irvine e Baragar apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $INC= ol+hy+dl+mt+il+or$;

IC= índice de cristalização de Poldervaart & Parker apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $[(IC= An+Di+So+Sp (minerais do grupo do espinélio)]$;

A/KCN= índice peraluminoso de Shand apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $A/KCN= mol((Al_2O_3)/mol(K_2O+CaO+Na_2O))$;

PALK= índice de peralcalinidade: $PALK= mol(K_2O+Na_2O)/mol(Al_2O_3)$;

(Mn)E= enriquecimento em manganês de Agns & Brinhall apud MACAMBIRA & VALE (no prelo): $(Mn)E= (10MnO)mol/(MnO+TiO_2+FeO+MgO)mol$;

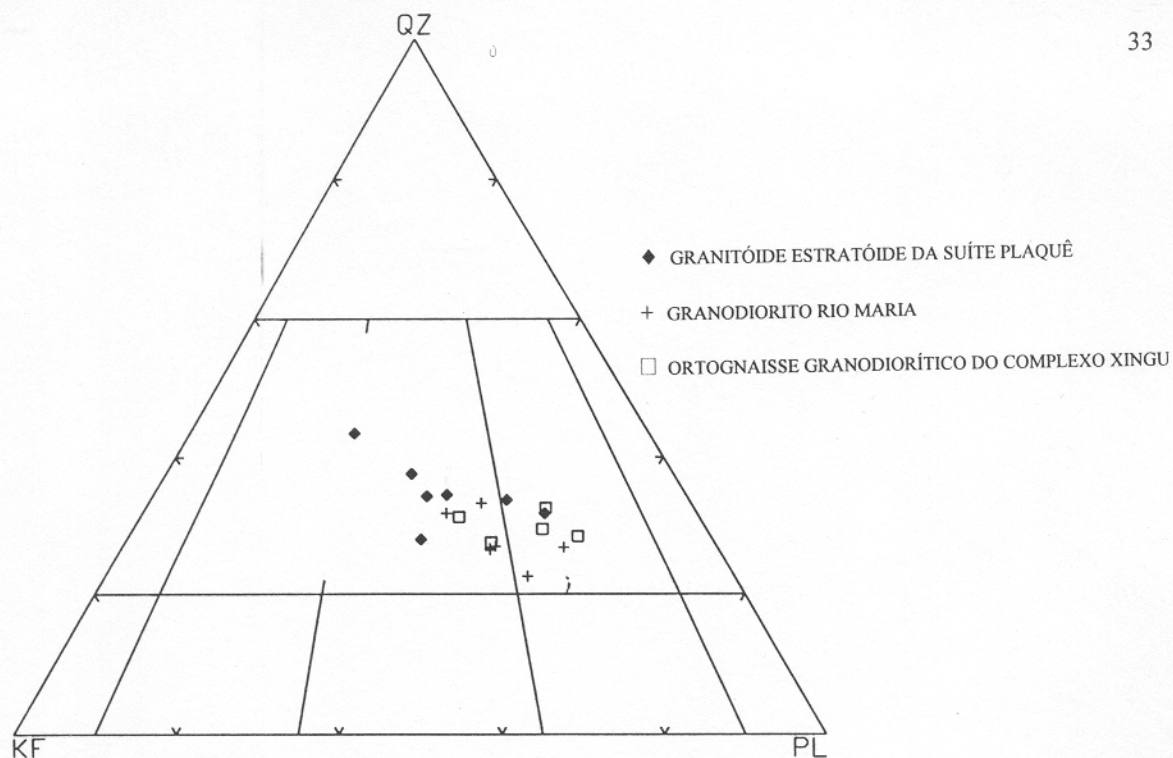


Figura 11 - Diagrama Q-A-P normativo de STRECKEISEN (1976), para a Classificação das rochas graníticas da região de Tucumã.
* Dados químicos extraídos das Tabelas: 02, 03 e 04.

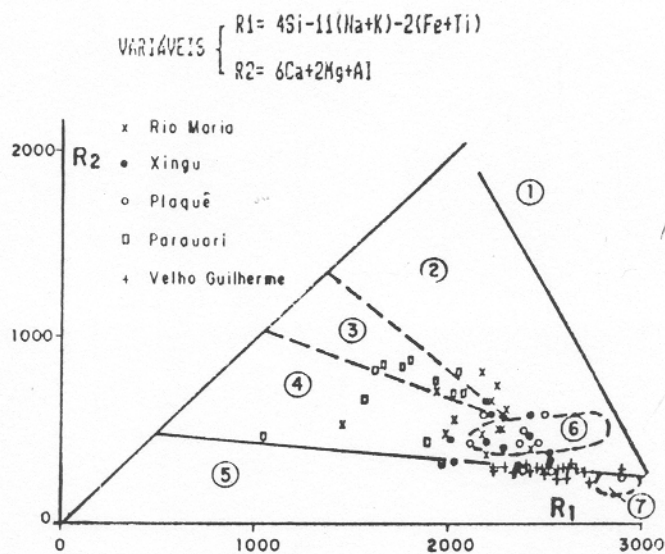


Figura 12 - Diagrama R1 - R2 de Batchelor & Bowden apud MACAMBIRA & VALE (no prelo)., com os campos dos ambientes tectônicos. Aplicados às rochas graníticas da Folha São Félix do Xingu.

CAMPOS: 1 - Fracionamento do Manto (Plágio Granitos); 2 - Colisão Pré-placa; 3 - Soergimento Pós-Colisional; 4 - Tardi-Orogênico; 5 - Anorogênico; 6 - Sincolisional; 7 - Pós-Orogênico.

4.2 - GRANODIORITO RIO MARIA (Granitóide do TGG)

São rochas estruturalmente heterogêneas e exibem coloração cinza-clara, com granulação média e textura granonematoblástica. Trata-se de uma rocha deformada, com planos de foliação ressaltados por cristais de plagioclásio e biotita estirados e com orientação NW-SE. Em lâmina delgada a rocha do GRM é composta predominantemente por plagioclásio, quartzo, microclina, anfibólio e biotita; cristais de zircão e apatita comparecem como termos acessórios, enquanto os cristais de sericita, epidoto, clorita e argilo-minerais são termos secundários. Comumente esses cristais são inequigranulares e dão a rocha uma textura granular alotriomórfica a protomilonítica (Figura 13 e 14).

Nessas rochas, os efeitos deformacionais são ressaltados através da recristalização intensa e formação de sub-grãos de quartzo com bordas denteadas e microfraturados internamente. Esses cristais são alongados e distribuem-se entre os pórfiros de plagioclásio e K-feldspato. Os porfiroclastos de plagioclásio também foram afetados pela deformação (cristais alongados, com bordas corroídas e parcialmente orientados). Esse quadro caracteriza à rocha uma deformação protomilonítica.

Um conjunto de 17 amostras dessa unidade foi estudado quimicamente, no âmbito da Folha SB.22-YB (São Félix do Xingu), por MACAMBIRA & VALE (no prelo). Dois grupos de rochas foram classificados a partir do conteúdo de SiO_2 : um pobre em SiO_2 (< 70%), cuja classificação químico-mineralógica varia de adamelito a granodiorito e outro rico em SiO_2 (> 70%), classificado como granito (Figuras 07 e 08). Essas rochas seguem um “trend” tipicamente cálcio-alcálico, (Figuras 09 e 10).

As características químicas de 7 amostras que se localizam mais próximo ao local de coleta para o estudo isotópico, são mostradas na Tabela 03. No diagrama Q-A-P normativo (STRECKEISEN, 1976), as amostras indicam um caráter granodiorítico, (Figura 11). Quanto à ambiência geotectônica, as características químicas dessas rochas denotam, segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo), um regime predominantemente compressivo, havendo ainda, regimes tectônicos de granitos desde o tipo colisão pré-placa, passando para ambiente de soerguimento pós-colisional até sin-clisional, (Figura 12).

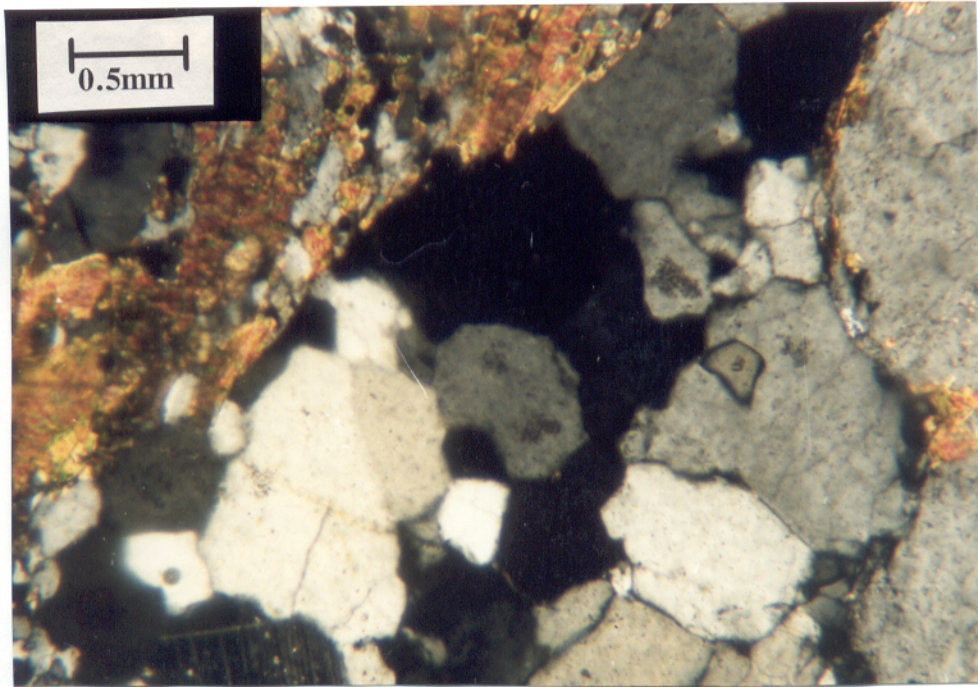


Figura 13 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granodiorito Rio Maria. Notar os aspectos texturais ígneos preservados (granular alotriomórfico); bem como os pórfiros de K-feldspatos envolvidos por lamelas de biotita, no extremo leste da figura.

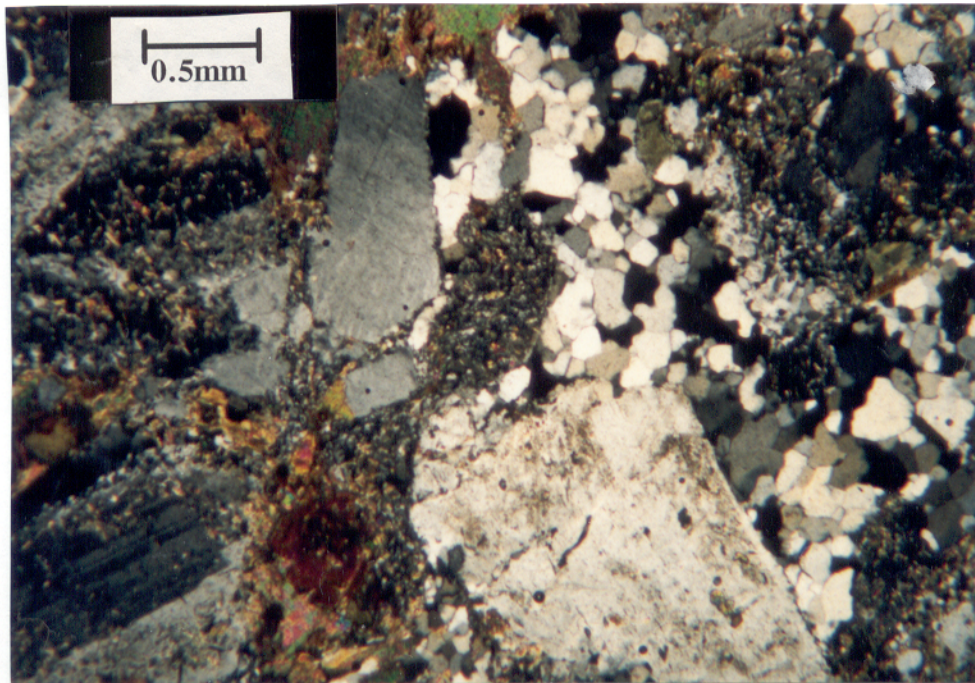


Figura 14 - Fotomicrografia de lâmina do Granodiorito Rio Maria. Os aspectos deformacionais são ressaltados pela orientação incipiente de cristais de plagioclásio, K-feldspato, esses geralmente envolvidos por lamelas de biotita, e pela recristalização de cristais de quartzo. Essas feições caracterizam uma textura protomilonítica à rocha.

Tabela 03 - Características químicas do Granodiorito Rio Maria. Dados obtidos por MACAMBIRA & VALE (no prelo).

	AV-69	AV-118	AV-195	AV-214	EM-23A	EM-65	EM-251
SiO ₂	65,40	68,30	68,00	69,30	64,00	67,90	64,00
Al ₂ O ₃	14,20	15,10	14,20	15,10	14,20	13,70	13,20
Fe ₂ O ₃	2,20	2,70	2,90	2,00	4,20	2,10	6,20
FeO	2,20	0,90	1,70	1,10	4,00	1,60	1,90
MnO	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08
MgO	4,50	0,99	0,83	0,55	1,70	2,50	1,20
CaO	2,80	1,50	2,20	1,50	3,60	2,50	2,70
Na ₂ O	3,50	3,10	3,80	4,30	3,30	3,50	2,60
K ₂ O	3,50	4,60	4,30	4,30	2,60	4,10	3,50
TiO ₂	0,42	0,52	0,83	0,42	0,73	0,37	1,20
P ₂ O ₅	0,12	0,08	0,22	0,16	0,20	0,14	0,39
TOTAL	98,89	97,82	99,03	98,76	98,56	98,46	96,97
FeO/Fe ₂ O ₃	1,00	0,33	0,59	0,55	0,95	0,76	0,31
CaO/Al ₂ O ₃	0,20	0,10	0,15	0,10	0,25	0,18	0,20
MgO/FeO	2,05	1,10	0,49	0,50	0,43	1,56	0,63
Zr	160,00	314,00	660,00	200,00	109,00	69,00	429,00
Y	212,00	5,00	23,00	15,00	16,00	5,00	17,00
Rb	184,00	313,00	246,00	278,00	204,00	252,00	187,00
Ba	500,00	2100,00	2350,00	1550,00	500,00	1040,00	1650,00
Sr	200,00	450,00	375,00	185,00	200,00	380,00	340,00
Nb	5,00	5,00	7,50	7,50	5,00	5,00	5,00
Ni	70,00	5,00	15,00	5,00	10,00	70,00	5,00
V	30,00	10,00	30,00	10,00	70,00	100,00	70,00
Sc	7,00	3,75	5,00	5,00	10,00	10,00	7,00
Rb/Zr	1,15	1,00	0,37	1,39	1,87	3,65	0,43
Rb/Sr	0,92	0,70	0,66	1,50	1,02	0,66	0,55
K/Rb	157,82	121,93	145,02	128,33	105,74	134,99	155,29
CIPW							
q	18,55	28,73	24,10	25,41	22,15	23,40	27,59
or	20,92	27,81	25,67	25,73	15,62	24,61	21,41
ab	29,95	26,82	32,48	36,83	28,38	30,08	22,76
an	12,84	7,07	9,08	6,47	16,52	9,71	11,22
c	-	2,54	-	1,04	-	-	1,20
di	0,32	-	0,39	-	0,24	1,54	-
hy	13,48	2,83	2,76	-	11,91	6,84	8,47
wo	-	-	-	-	-	-	-
mt	2,81	2,99	3,41	2,71	3,28	2,75	4,09
il	0,80	1,01	1,59	0,80	1,40	0,71	2,35
hm	-	-	-	0,07	-	-	-
ap	0,28	0,19	0,52	0,38	0,48	0,33	0,95
P. LITOGEOQUÍMICO							
ID	69,43	83,37	82,26	87,99	66,15	78,10	71,77
RA	0,38	0,34	0,42	0,49	0,29	0,40	0,28
FOX	0,45	0,60	0,54	0,66	0,28	0,53	0,36
IP	1,00	1,48	1,12	1,00	0,78	1,17	1,34
F	49,27	78,10	84,55	84,89	82,48	59,52	86,59
CNP	30,01	20,86	21,85	14,94	36,79	24,41	33,01
INC	17,42	6,84	8,15	3,58	16,85	11,85	14,88
IC	15,98	10,06	12,88	9,18	20,05	14,01	15,27
A/KCN	0,97	1,17	0,95	1,04	0,96	0,92	1,01
PALK	0,67	0,66	0,76	0,77	0,58	0,74	0,61
(Mn)E	0,04	0,11	0,12	0,15	0,04	0,07	0,15

4.3 - GRANITÓIDE ESTRATÓIDE DA SUÍTE PLAQUÊ

O corpo estudado localiza-se a NW do Município de Tucumã, (ANEXO F), e apresenta-se alongado na direção E-W. Aflora sob a forma de grandes blocos de rochas de composição essencialmente granítica, exibindo uma deformação moderada. Essas rochas mostram uma foliação incipiente, sendo ressaltada pela orientação dos cristais de biotita, dispostas entre cristais alongados de plagioclásio e K-feldspatos. Possui coloração rosa-clara, com cristais inequigranulares, granulação média e textura granonematoblástica.

Em lâmina delgada essas rochas são constituídas por microclina, plagioclásio, quartzo, biotita e muscovita. Como acessórios, comparecem cristais de zircão, titanita, apatita e opacos. Os cristais de sericita, epidoto, clorita e argilo-minerais são termos secundários. Comumente, os cristais de microclina e plagioclásio ocorrem como pórfiros imersos numa matriz média, constituída de cristais de quartzo, plagioclásio e biotita.

As características ressaltadas pelos minerais dessa rocha indicam a influência de uma deformação, cujas evidências ressaltam-se pela recristalização intensa e formação de subgrãos de quartzo, com bordas corroídas e fraturas internas, bem como pelo estiramento e a orientação parcial dos mesmos. Os pórfiros de microclina e plagioclásio também foram afetados pela deformação. Feições como alongamento, fraturas internas e bordas corroídas, são evidentes nesses cristais. As maclas de alguns pórfiros de plagioclásio mostram-se retorcidas (feições tipo "kinks"). A disposição dos cristais na lâmina dá à rocha um aspecto bandado, caracterizando uma deformação do tipo protomilonítica, (Figura 15).

MACAMBIRA & VALE (no prelo) estudaram quimicamente 8 amostras, extraídas de corpos distintos dessa suíte, no âmbito da Folha SB.22-YB (São Félix do Xingu), e constataram que essas rochas são ricas em SiO_2 ($\geq 70\%$), (Tabela 04). Tratam-se de rochas adamélticas e graníticas, com a existência de granodioritos, monzogranitos, sienogranitos e alcalgranitos, (Figuras 07 e 08). Quanto à alcalinidade, essas rochas denotam um caráter calcioalcalino, com tendências alcalinas (Figuras 09 e 10). A Figura 11 mostra o diagrama de classificação modal Q-A-P normativo (STRECKEISEN, 1976) para essas rochas, ressaltando o caráter granítico-granodiorítico das mesmas.

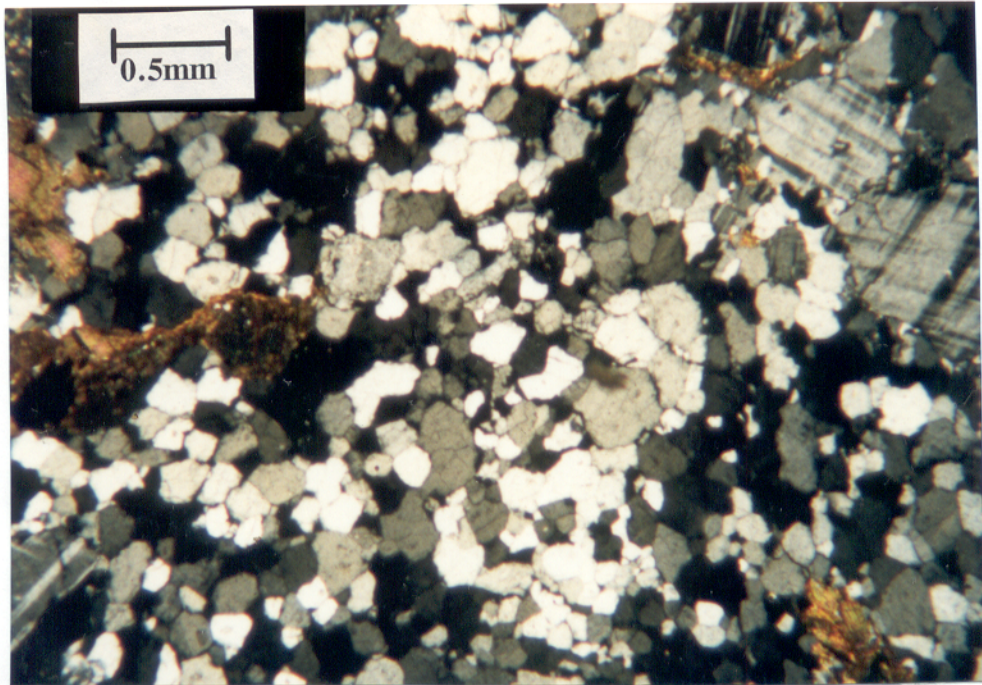


Figura 15 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granitóide Estratóide (Suíte Plaqué). Notar a presença de fenocristais de microclina parcialmente alongados e com orientação discreta (canto superior direito), imersos numa matriz mais fina, constituída por quartzo recristalizado. Aspectos deformacionais ressaltados pela recristalização, microfraturamento e denteamento de borda no quartzo. Feições deformacionais indicativas de textura protomilonítica.

Tabela 04 - Características químicas das rochas do Granitóide Estratóide da Suíte Plaqué. Dados obtidos por MACAMBIRA & VALE, (no prelo).

	AV-252	AV-30	AV-32A	AV-80A	AV-81	AV-97A	AV-97B	AV-167
SiO ₂	69,70	71,60	71,20	76,40	70,50	72,80	72,30	70,50
Al ₂ O ₃	13,20	12,30	14,20	11,30	14,20	14,20	13,20	14,20
Fe ₂ O ₃	2,50	2,60	1,80	1,40	1,50	1,10	2,20	1,30
FeO	1,40	1,20	0,36	0,88	2,00	0,42	0,72	0,96
MnO	2,10	0,05	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03
MgO	0,66	0,65	0,35	0,20	0,83	0,27	0,43	0,46
CaO	0,05	1,50	1,30	0,24	2,50	1,30	1,30	1,50
Na ₂ O	3,00	3,40	3,40	2,20	4,00	4,20	3,10	4,00
K ₂ O	4,60	4,60	5,80	5,80	2,90	3,60	5,10	5,10
TiO ₂	0,73	0,73	0,29	0,21	0,42	0,40	0,52	0,42
P ₂ O ₅	0,19	0,20	0,09	0,08	0,13	0,05	0,12	0,13
TOTAL	98,13	98,83	98,82	98,14	99,04	98,37	99,02	98,60
FeO/Fe ₂ O ₃	0,56	0,46	0,20	0,20	1,33	0,38	0,33	0,74
CaO/Al ₂ O ₃	-	0,12	0,09	0,02	0,18	0,09	0,10	0,11
MgO/FeO	0,47	0,54	0,97	0,71	0,42	0,64	0,60	0,48
Zr	1500,00	700,00	200,00	257,00	150,00	219,00	1000,00	500,00
Y	70,00	30,00	10,00	5,00	7,50	5,00	30,00	15,00
Rb	246,00	275,00	352,00	336,00	186,00	203,00	341,00	249,00
Ba	1250,00	1040,00	1250,00	1280,00	820,00	2750,00	-	-
Sr	170,00	155,00	170,00	70,00	165,00	250,00	90,00	380,00
Nb	10,00	7,50	7,50	5,00	7,50	5,00	10,00	7,50
Ni	7,00	7,00	7,00	3,75	5,00	2,50	5,00	5,00
V	30,00	70,00	20,00	7,50	20,00	10,00	30,00	50,00
Sc	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb/Zr	0,16	0,39	1,76	1,30	1,24	0,92	0,34	0,49
Rb/Sr	1,45	1,77	2,07	4,80	1,13	0,81	3,79	0,66
K/Rb	155,14	138,78	136,71	143,22	129,36	147,13	124,09	169,93
CIPW								
q	32,43	32,29	27,04	41,93	29,38	32,51	32,66	-
or	27,71	27,52	34,68	34,92	17,30	21,62	30,44	-
ab	25,87	29,11	29,10	18,96	34,17	36,12	26,49	-
an	0,25	4,77	5,92	0,68	11,65	6,21	5,71	-
c	3,26	-	0,18	1,18	0,25	1,17	0,51	-
di	-	-	-	-	-	-	-	-
hy	5,62	-	-	-	3,94	-	-	-
wo	-	0,59	-	-	-	-	-	-
mt	3,29	3,02	0,47	0,42	2,19	0,32	1,47	-
il	1,41	1,40	0,55	0,40	0,80	0,77	0,99	-
hm	-	0,17	1,48	1,13	-	0,89	1,02	-
ap	-	0,47	0,21	0,19	0,31	0,12	0,28	-
P. LITOGEOQUÍMICO								
ID	86,02	88,93	90,84	95,82	80,85	90,26	89,59	-
RA	0,42	0,46	0,40	0,74	0,38	0,48	0,39	-
FOX	0,61	0,63	0,90	0,90	0,44	0,78	0,74	-
IP	1,53	1,35	1,70	2,63	0,72	0,85	1,64	-
F	85,44	85,27	86,05	89,36	80,83	84,91	87,09	-
CNP	0,96	14,09	16,91	3,46	25,43	14,68	17,75	-
INC	10,33	4,60	2,51	1,96	6,95	1,99	3,49	-
IC	3,54	7,80	6,40	1,10	13,85	6,54	7,19	-
A/KCN	1,31	0,92	0,99	1,09	0,99	1,07	1,01	-
PALK	0,75	0,85	0,83	0,87	0,68	0,76	0,80	-
(Mn)E	3,96	0,16	0,29	0,43	0,15	0,28	0,18	-

As características químicas dessas rochas permitiram a MACAMBIRA & VALE (no prelo), classificar a ambiência geotectônica dessas rochas como sincolisional (Figura 12). Essa ambiência também foi sugerida por JORGE JOÃO & ARAÚJO (1992), que estudaram as rochas dessa suíte no âmbito da PMC, (Figura 16).

4.4 - GRANITO SERINGA

A rocha desse corpo exibe um isotropismo marcante, possui coloração rosa-avermelhada, com granulação grossa e textura granular a porfirítica, com feições rapakivíticas. Em lâmina delgada é essencialmente constituída por ortoclásio, plagioclásio, quartzo, anfibólio e biotita, e pelos cristais acessórios de zircão e opacos. Como termos secundários aparecem a sericita, clorita e argilo-minerais. Genericamente, os cristais são inequigranulares e dão à rocha uma textura granular hipidiomórfica, (Figura 17).

ARAÚJO & MAIA, (1991) estudaram essas rochas graníticas, visando a caracterização geoquímica das mesmas. Os resultados químicos (elementos maiores e traços) obtidos para 11 amostras representativas do corpo, estão listados na Tabela 05. Essas rochas apresentam características de rochas graníticas geradas por fusão crustal, (Figura 18) e se classificam como Granito Tipo A (Figura 19).

4.5- GRANITO VELHO GUILHERME

Trata-se de um corpo de forma arredondada, localizado ao sul da cidade de Tucumã, (ANEXO F). As rochas desse corpo são isotrópicas, exibindo coloração rosa-amarelada e granulação fina-média.

Em lâmina delgada, a rocha é composta principalmente por ortoclásio, plagioclásio, quartzo, anfibólio, biotita e muscovita. Como acessórios têm-se o zircão e opacos. Cristais de clorita, sericita e argilo-minerais são termos secundários. Esses cristais são equigranulares e suas disposições na lâmina confere à rocha uma textura do tipo granular hipidiomórfica a porfirítica, (Figura 20). Os cristais de ortoclásio predominam na rocha e geralmente apresentam-se como pórfiros. As feições típicas observadas nos pórfiros são o intercrescimento pertítico e “patch zoning”.

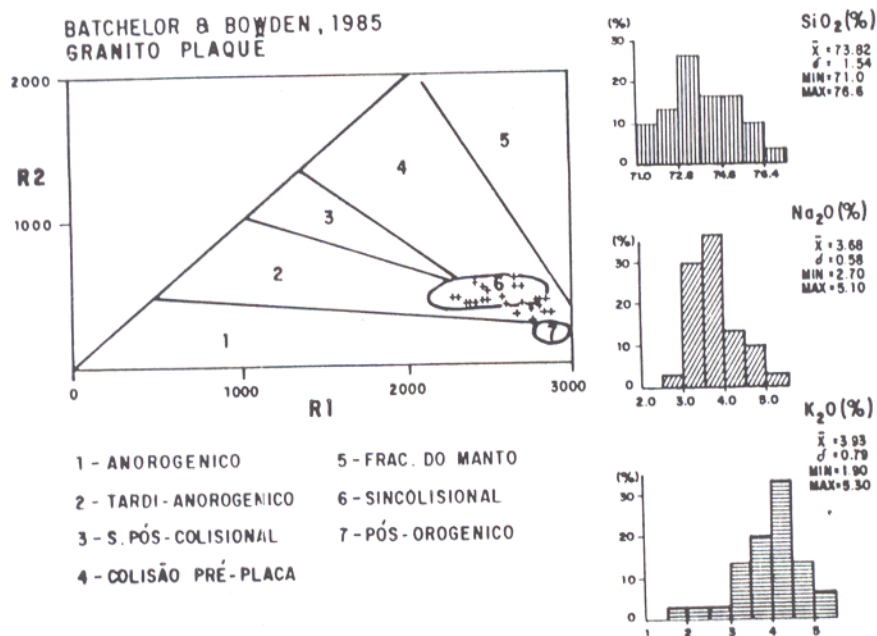


Figura 16 - Diagrama genético desenvolvido por Batchelor & Bowden apud JORGE JOÃO & ARAÚJO (1992). Segundo os últimos autores, as rochas da Suíte Plaqué resultam de uma granitogênese por calor friccional, em fase sincolisional, a partir do espessamento crustal.

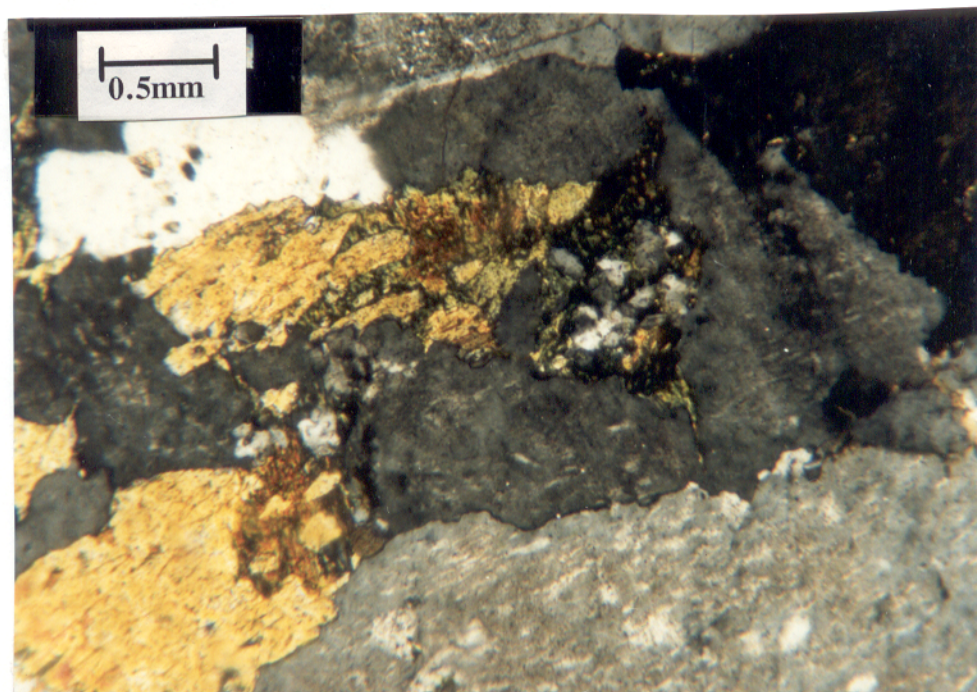


Figura 17 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granito Seringa. Textura granular a porfirítica, ressaltada pelos pórfiros de plagioclásio, K-feldspato, quartzo e biotita. Feições como "patch zoning" são observadas nos pórfiros de K-feldspatos (canto inferior esquerdo).

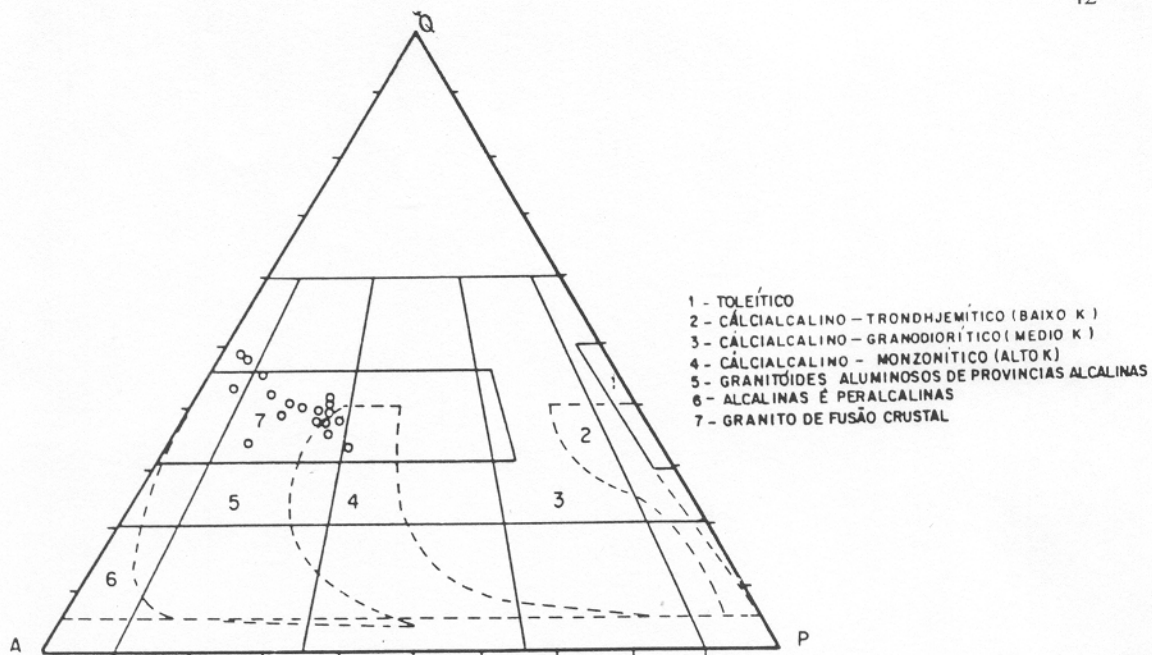


Figura 18 - Diagrama modal Q-A-P de STRECKEISEN, (1976), modificado por Lameyre & Bowden apud ARAÚJO & MAIA (1991), mostrando os diferentes campos de classificação de rochas. As rochas do Granito Seringa são tidas como essencialmente graníticas geradas por fusão crustal.

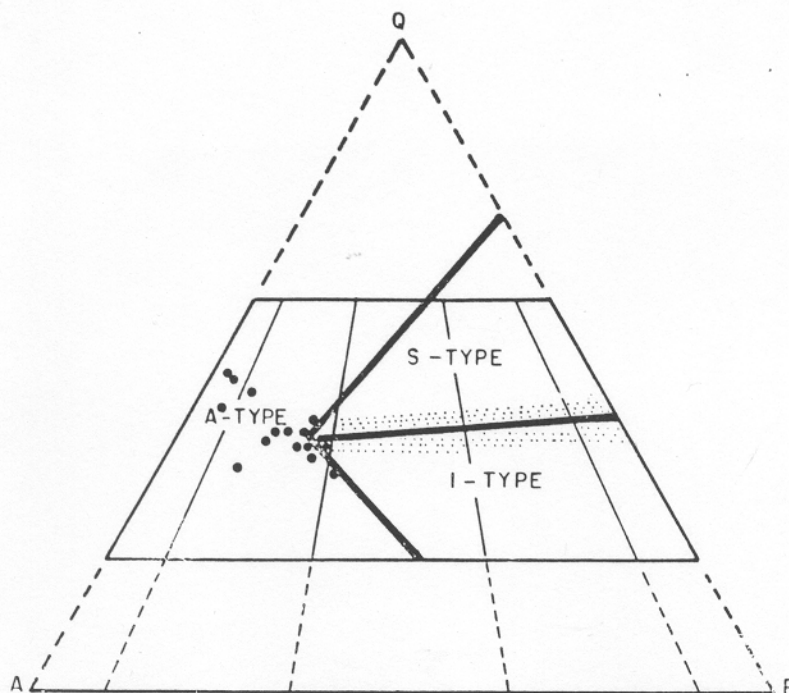


Figura 19 - Diagrama genético de Chappell & White apud ARAÚJO & MAIA (1991), mostrando que as rochas do Granito Seringa originaram-se por fusão crustal e se classificam como Granito tipo A.

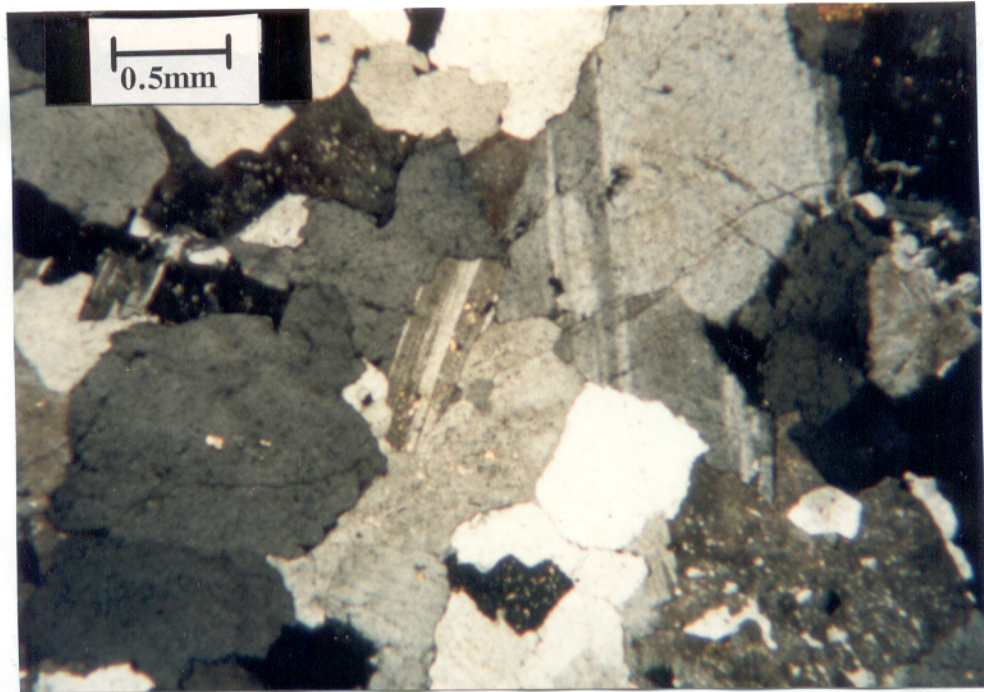


Figura 20 - Fotomicrografia de lâmina delgada do Granito Velho Guilherme. Aspecto da textura granular hipidiomórfica. Localmente os pórfiros de K-feldspato exibem textura gráfica (canto inferior direito)

Tabela 05 - Dados químicos das rochas do Granito Seringa. Dados obtidos por ARAÚJO & MAIA (1991).

	0A-21B	RN-26	RN-27	OA-60	RN-74	RN-30	RN-29	RN-76	RN-33	OA-01	OA-03
SiO ₂	73,40	71,90	70,20	69,90	69,70	71,20	71,30	70,00	70,30	78,80	71,80
Al ₂ O ₃	12,80	12,80	12,80	14,20	12,50	12,30	12,30	12,30	12,30	10,40	12,30
Fe ₂ O ₃	0,53	2,10	2,10	1,50	2,10	2,70	1,70	2,10	2,30	0,97	2,50
FeO	0,81	2,10	2,90	2,10	3,40	2,60	2,10	3,30	3,00	0,56	3,10
MnO	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,05	0,08	0,08	0,05	0,08
MgO	0,14	0,41	0,50	0,41	0,58	0,50	0,41	0,58	0,50	0,65	0,58
CaO	1,60	2,00	2,10	2,40	2,40	2,10	2,00	3,50	3,30	0,35	2,00
Na ₂ O	3,40	3,00	3,60	3,20	3,00	3,00	2,80	3,10	2,60	2,60	2,80
K ₂ O	4,80	3,60	3,30	3,50	3,50	3,50	3,60	3,50	3,30	4,40	3,40
TiO ₂	0,08	0,90	0,90	0,50	1,10	0,99	0,90	0,90	0,99	0,08	0,68
P ₂ O ₅	0,05	0,22	0,21	0,13	0,24	0,22	0,19	0,25	0,23	0,05	0,21
TOTAL	97,66	99,08	98,66	97,89	98,60	99,19	97,35	99,61	98,90	98,91	99,45
Zr	500,00	300,00	700,00	300,00	700,00	1000,00	150,00	700,00	700,00	700,00	1000,00
Rb	374,00	202,00	174,00	174,00	178,00	174,00	251,00	182,00	169,00	293,00	187,00
Ba	480,00	1500,00	1600,00	1550,00	1280,00	1700,00	1450,00	1450,00	1500,00	600,00	1500,00
Sr	36,00	130,00	140,00	180,00	145,00	145,00	130,00	145,00	130,00	27,00	160,00
Li	2,00	14,00	22,00	18,00	30,00	12,00	18,00	20,00	22,00	20,00	8,00

Tabela 06 - Características químicas das rochas do Granito Velho Guilherme. Dados obtidos por MACAMBIRA & VALE (no prelo).

	EM-44A	EM57A	EM-80	EM-81	EM-82	EM-83	EM-84	EM-85A	EM-86
SiO ₂	75,90	75,00	75,00	75,10	76,40	75,10	75,20	75,00	76,20
Al ₂ O ₃	12,30	12,30	13,20	12,30	12,30	13,20	12,30	12,80	12,30
FeO	0,29	0,31	0,07	0,10	0,43	0,19	0,22	0,19	0,29
MnO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
MgO	0,35	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
CaO	0,70	0,77	0,31	0,24	0,24	0,17	0,34	0,28	0,52
Na ₂ O	4,00	4,30	4,30	3,80	4,60	4,60	4,30	4,00	4,30
K ₂ O	4,10	4,60	4,10	4,60	4,30	4,30	4,80	4,80	4,30
TiO ₂	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
TOTAL	97,72	97,53	97,24	96,40	98,52	97,81	97,41	97,34	98,18
Zr	500,00	300,00	500,00	700,00	200,00	700,00	200,00	500,00	200,00
Y	200,00	200,00	30,00	50,00	50,00	150,00	100,00	50,00	150,00
Rb	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00
Ba	15,00	20,00	35,00	35,00	15,00	5,00	30,00	30,00	30,00
Sr	5,00	7,50	7,50	13,00	5,00	5,00	13,00	5,00	5,00
K/Rb	22,7	25,40	22,70	25,40	23,80	26,60	26,60	23,80	-
Nb	15,00	20,00	20,00	20,00	15,00	20,00	10,00	20,00	7,50
Ni	3,75	2,50	3,75	3,75	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
V	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Sc	2,50	2,50	3,75	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Ga	33,00	32,00	29,00	33,00	37,00	31,00	30,00	28,00	27,00

As características químicas de 9 amostras do Granito Velho Guilherme são mostradas na Tabela 06. Tratam-se de rochas adaméltico-graníticas a alcali-graníticas, (Figuras 07 e 08, respectivamente). Segundo MACAMBIRA & VALE (no prelo), essas rochas possuem caráter alcalino, com marcante presença de granitos tipo A ou MD de rift intraplaca, sendo portanto classificados como Anorogênico, (Figura 12).

5. O MÉTODO DE DATAÇÃO POR EVAPORAÇÃO DE Pb EM MONOCRISTAIS DE ZIRCÃO: Histórico e Premissas

5.1 - GENERALIDADES

Embora muitos minerais contenham os elementos U e Th, poucos são aqueles susceptíveis de serem datados pelo método U-Th-Pb. Para ser um geocronômetro confiável, o mineral deve satisfazer alguns pré-requisitos. Deve ser capaz por exemplo, de reter os elementos U, Th e Pb, bem como os isótopos filhos intermediários, na cadeia de desintegração de U e Th, além de ter ampla distribuição numa grande variedade de rochas (FAURE, 1986).

As constantes de desintegração foram determinadas com bastante precisão, para todos os sistemas envolvendo U e Th, o que permite a obtenção de idades analiticamente precisas. O zircão ($ZrSiO_4$) é o mineral que melhor satisfaz essas condições. Segundo FAURE, (op cit.), as concentrações médias de U e Th no zircão são em torno de 1350 e 550 ppm, respectivamente. A presença desses elementos nos zircões deve-se a substituição isomórfica de Zr^{+4} (Raio Iônico-RI = 0,87 Å), pelo U^{+4} (RI = 1,05 Å) e Th^{+4} (RI = 1,10 Å). Essas substituições são limitadas pelas diferenças dos raios iônicos entre esses elementos. Da mesma forma, os íons de Pb^{+2} são dificilmente incorporados pela rede cristalina do zircão, devido ao seu grande raio iônico (1,32 Å) e baixa carga. Sendo assim, os zircões contêm pouquíssimo Pb inicial e isso faz com que se tenha razões U/Pb e Th/Pb muito altas, garantindo a potencialidade do mineral como geocronômetro. Outros minerais acessórios de rochas ígneas que também são utilizados para datação através do método U-Th-Pb são a uraninita, monazita, titanita, apatita, pechblenda e badeleita.

O zircão é um mineral acessório que ocorre em quase todas as rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. É um mineral bastante resistente aos processos físico-químicos (abrasão, ataques químicos por soluções e transformações deutéricas e metamórficas). Essas características permitem que o mineral preserve, de certo modo, as informações isotópicas iniciais. No entanto, é possível ocorrer a perda de Pb radiogênico do interior dos zircões. Nesse caso, a obtenção de uma idade seria prejudicada. Contudo, o fato de se ter 2 cronômetros que funcionam juntos ($U^{235} \rightarrow Pb^{207}$ e $U^{238} \rightarrow Pb^{206}$) permite livrar-se desse problema, com a utilização do Diagrama Concórdia, onde, mesmo quando os pontos experimentais são discordantes, é possível calcular uma idade através da reta definida pelos vários pontos.

As características anteriormente citadas conferem aos principais métodos geocronológicos que utilizam os zircões, um maior potencial para a definição da idade de cristalização das rochas, principalmente as ígneas. Entre esses métodos citam-se: U-Pb (frações multi-grãos, WETHERILL, 1956; monocristais, LANCELOT et al., 1976 e monocristais polidos, KROGH, 1982a, b); método Pb/Pb por evaporação (KOBBER, 1986) e sonda iônica (SHRIMP, FROUD et al. 1983).

Os resultados geocronológicos determinados pelos métodos U-Th-Pb podem ser apresentados através de diagramas concórdia. O Diagrama Concórdia (WETHERILL, 1956) tem como ordenadas $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, (Figura 21). É aplicável em sistemas ricos em U e utiliza simultaneamente os cronômetros $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. A Curva Concórdia é entendida como a curva teórica de igualdade das idades, calculadas com as razões anteriormente referidas e através da equação: .

$$(1) \quad ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 137,88 \cdot (e^{\lambda_{57}T} - 1)/(e^{\lambda_{87}T} - 1)$$

A análise de minerais com sistema isotópico U/Pb fechado determina uma idade concordante. Nesse caso, os pontos analíticos se posicionam em cima da Curva Concórdia e a idade determinada é interpretada como de cristalização do mineral. Em contra-partida, a análise de minerais com sistema isotópico U-Pb aberto determina uma idade discordante e os pontos analíticos cairão abaixo da Curva Concórdia. Esses pontos definem uma reta (discórdia) que intercepta a curva concórdia em dois lugares. Geralmente, o intercepto superior define a idade de cristalização, enquanto o intercepto inferior define uma idade cujo significado geológico é duvidoso, podendo porém representar a idade do metamorfismo.

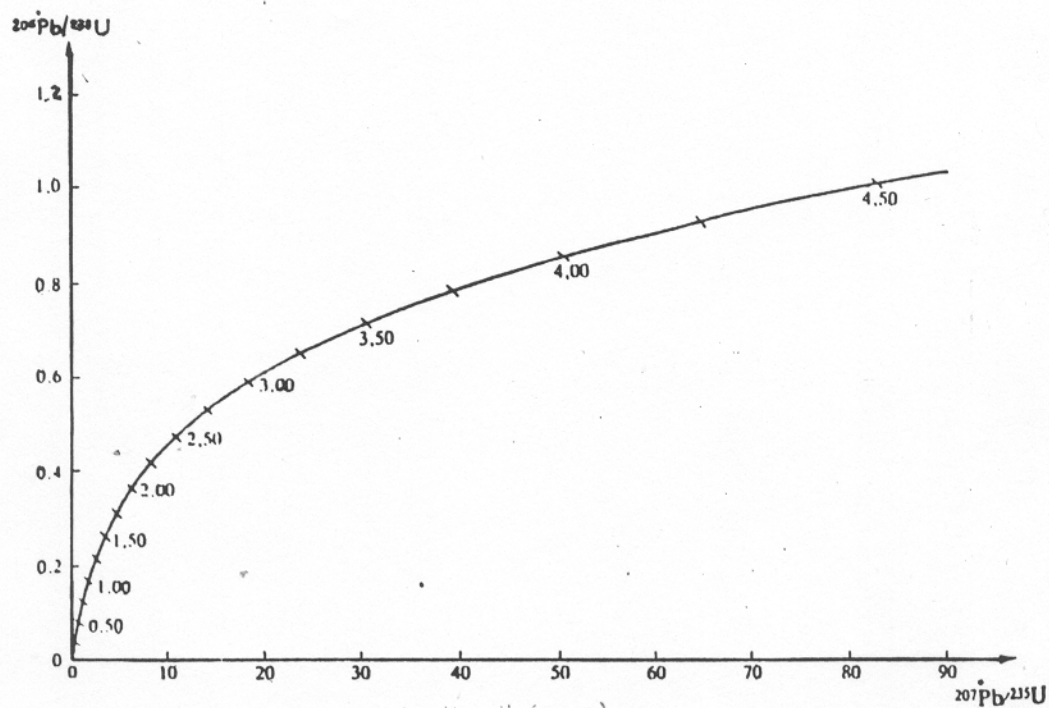


Figura 21 - Diagrama Concórdia de WETHERILL (1956), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, para determinação da idade U/Pb em zircões.

A invenção da microsonda iônica (CASTAING & GUINIER, 1953) possibilitou as análises químicas pontuais de minerais, a partir do uso do espectro de Raios-X emitidos pelo bombardeamento com um feixe de elétrons focalizado (REED, 1993). Segundo GOMES (1988), a extraordinária versatilidade da técnica de análises por microsonda deve-se ao fato da mesma apresentar alta resolução espacial, o que permite a determinação (quantitativa, semiquantitativa e qualitativa), da composição química de partículas com diâmetros inferior a 1μ . Trata-se de uma análise não destrutiva, que possibilita fazer várias análises do mesmo ponto; é realizada em lâmina delgada, polida ou seção polida, permitindo a observação microscópica do ponto, no momento de análise; e é um método rápido, durando em média de 3 a 5 minutos para análise completa dos elementos..

A utilização dessa ferramenta em estudos geocronológicos permitiu entre outras coisas, segundo KOBER et al. (1989), obter informações quanto à composição e distribuição isotópica do mineral, além da determinação da idade e morfologia de grãos individuais e porções específicas do mesmo.

5.2 - HISTÓRICO E PRINCÍPIOS DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO DE ZIRCÃO

A primeira tentativa de análise isotópica do Pb, a partir da evaporação de monocristais de zircões num espectrômetro de massa de termoionização, foi realizada por KOSZTOLANY (1965). A técnica consistia na moagem do zircão para obtenção de pó, que era tratado com ácidos hidrofúrico (HF) e ortofosfórico (H_3PO_4), e depositado num filamento. Esse filamento era, em seguida, introduzido no espectrômetro de massa, onde era aquecido gradativamente, visando-se à análise do Pb.

COPPENS et al. (1965) utilizaram o novo método na datação de zircões de granitos, e os resultados isotópicos Pb/Pb obtidos evidenciaram, segundo CHUKHONIN (1978), alguns problemas com essa técnica de datação. Dentre eles, o fato de que os espectros fornecidos não demonstraram claramente a influência de componentes de Pb comum. Além disso, o uso de H_3PO_4 , para fixação do pó no filamento, gerava a formação de complexos de Pb fosfóricos estáveis, os quais se depositavam sobre o filamento, obstruindo a evaporação progressiva do Pb.

Mais tarde, KOBER (1986) enumerou alguns problemas que impediram o uso rotineiro da análise de zircões através da técnica de KOSZTOLANY. O autor concluiu que a

transformação do cristal de zircão para pó fazia diminuir a distância de migração do Pb (relação borda-núcleo cristalino). Desse modo, os componentes de Pb eram imediatamente evaporados nos momentos iniciais de aquecimento do filamento, reduzindo o tempo de análise de Pb; o pó distribuído sobre o filamento era diferentemente aquecido (distribuição de pó não uniforme). O risco de contaminação do aparelho e das amostras era grande em função do material utilizado, (pó).

SUNIN & MALISHEV (1983) criaram o método “termo-isocrônico” para a determinação de idades Pb-Pb. Nessa técnica de datação os autores experimentaram a evaporação direta do Pb, a partir de monocristais de zircão depositados num filamento e introduzidos num espectrômetro de massa de fonte iônica. No entanto, deve-se a KOBER (1986, 1987), a elaboração de um procedimento mais eficiente para a obtenção de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ a partir da evaporação de Pb radiogênico, extraído do retículo cristalino de monocristais de zircões. Trata-se do método Pb/Pb por evaporação de zircão em filamento duplo.

No método de KOBER, o zircão é aprisionado num filamento de rênio (Re), que é introduzido no espectrômetro de massa e aquecido gradativamente para a evaporação e liberação do Pb do retículo cristalino do zircão (filamento de evaporação). O Pb evaporado é depositado num segundo filamento mantido em temperatura mais baixa, o qual é aquecido em seguida para a ionização do Pb (filamento de ionização do Pb radiogênico). É a partir desse filamento que o Pb será analisado, (Figura 22).

O Pb ionizado é lido no espectrômetro de massa e a cada etapa de aquecimento há uma varredura dos isótopos de Pb (204, 206, 207 e 208), correspondendo a um bloco de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, cuja média define uma idade correspondente.

OLSZEWSKI et al. (1990) fizeram uma modificação no método de Kober, substituindo o filamento duplo por um filamento simples, o qual é utilizado simultaneamente para a evaporação e a ionização do Pb. Essa modificação conservou as vantagens do método original (duplo filamento) e o mesmo procedimento de aquecimento gradativo é utilizado (GAUDETTE et al. 1993b).

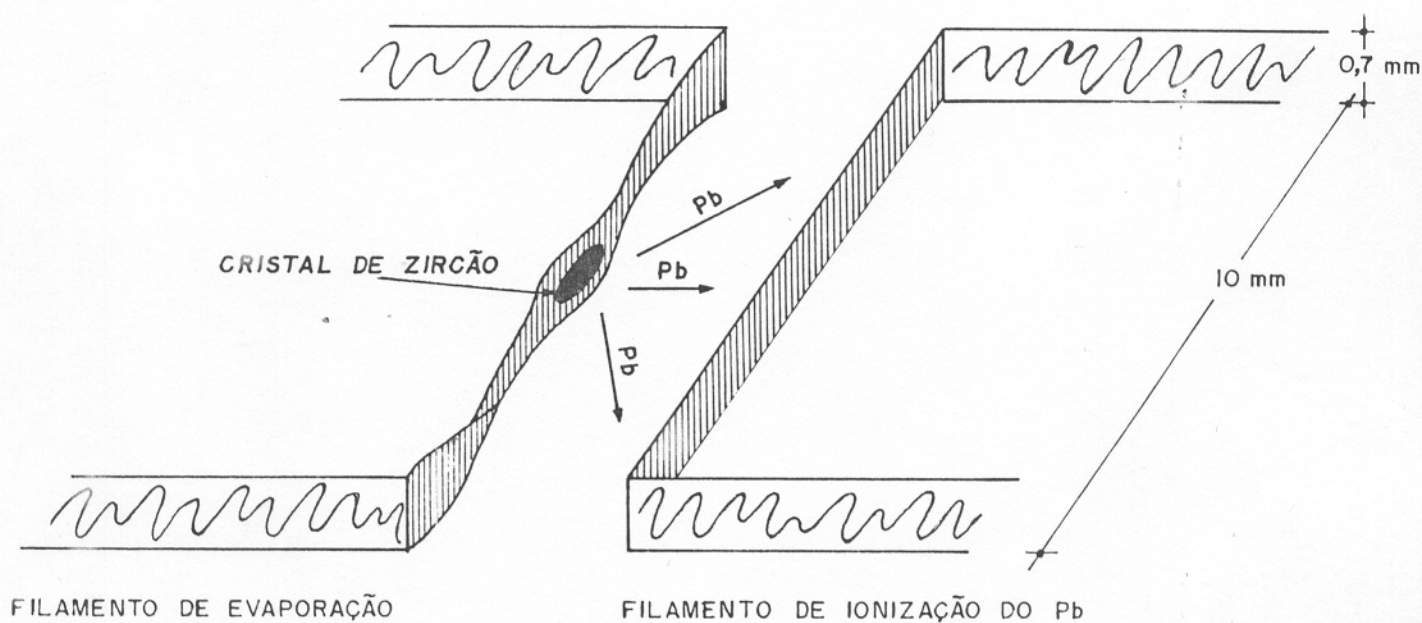


Figura 22 - Desenho da disposição de filamento duplo de Re utilizado na técnica de KOBBER (1986). Em (A) filamento de deposição e aquecimento de zircão para liberação de íons de Pb do cristal, também denominado filamento de evaporação, e em (B) filamento frio, onde se deposita o íon de Pb evaporado do cristal, que será aquecido para ionização do Pb, também chamado de filamento de ionização. No caso da técnica utilizada no LGI/UFPA (filamento simples, é usado um único filamento (A), tanto para evaporação como para a ionização do Pb.

Recentemente, ANSDELL & KYSER (1993) e CHAPMAN & RODDICK (1994) investigaram os efeitos do aquecimento sobre os cristais de zircão. Eles observaram que, a medida que ocorria o aquecimento gradativo de zircões, havia perda de Pb e Si, transformando o cristal numa estrutura porosa e esbranquiçada de badeleita (ZrO_2). A progressão da reação de perda de Pb e Si com o aquecimento gradativo do cristal é mostrada na Figura 23.

5.3 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS: Significado das Idades $^{207}Pb/^{206}Pb$

SUNIN & MALYSHEV (1983) estudaram os efeitos causados nas estruturas cristalinas dos zircões e de outros minerais que contêm Pb, quando submetidos a temperaturas elevadas. Eles observaram que a heterogeneidade estrutural dos minerais causava a variação da energia de ativação necessária para a liberação dos isótopos de Pb radiogênico nas diferentes fases cristalinas. Esta propriedade permite fazer a separação analítica do Pb de domínios menos retentivos (bordas, fissuras etc...), daqueles mais retentivos (núcleo cristalino).

Os estudos desenvolvidos por KOBER (1986, 1987) e CHERNIACK et al. (1991), demonstraram que os valores de energia de ativação para liberação do Pb, durante o aquecimento de zircões, não são constantes e variam de cristal para cristal, numa relação direta com sua estrutura cristalina. Através desses estudos, eles concluíram que os primeiros átomos de Pb, liberados com o aumento da temperatura, são aqueles que necessitam de um mínimo de energia de ativação, localizados preferencialmente em regiões de sítios frágeis do cristal (bordas, fraturas, fissuras, domínios metamictizados). Os átomos de Pb liberados a temperaturas mais elevadas ($\approx 7 \pm 1$ ev., KOBER, 1986), correspondem a regiões mais preservadas do cristal. Essas fases localizam-se em sítios cristalinos (núcleo) onde não há, teoricamente, entrada nem saída de Pb após a cristalização.

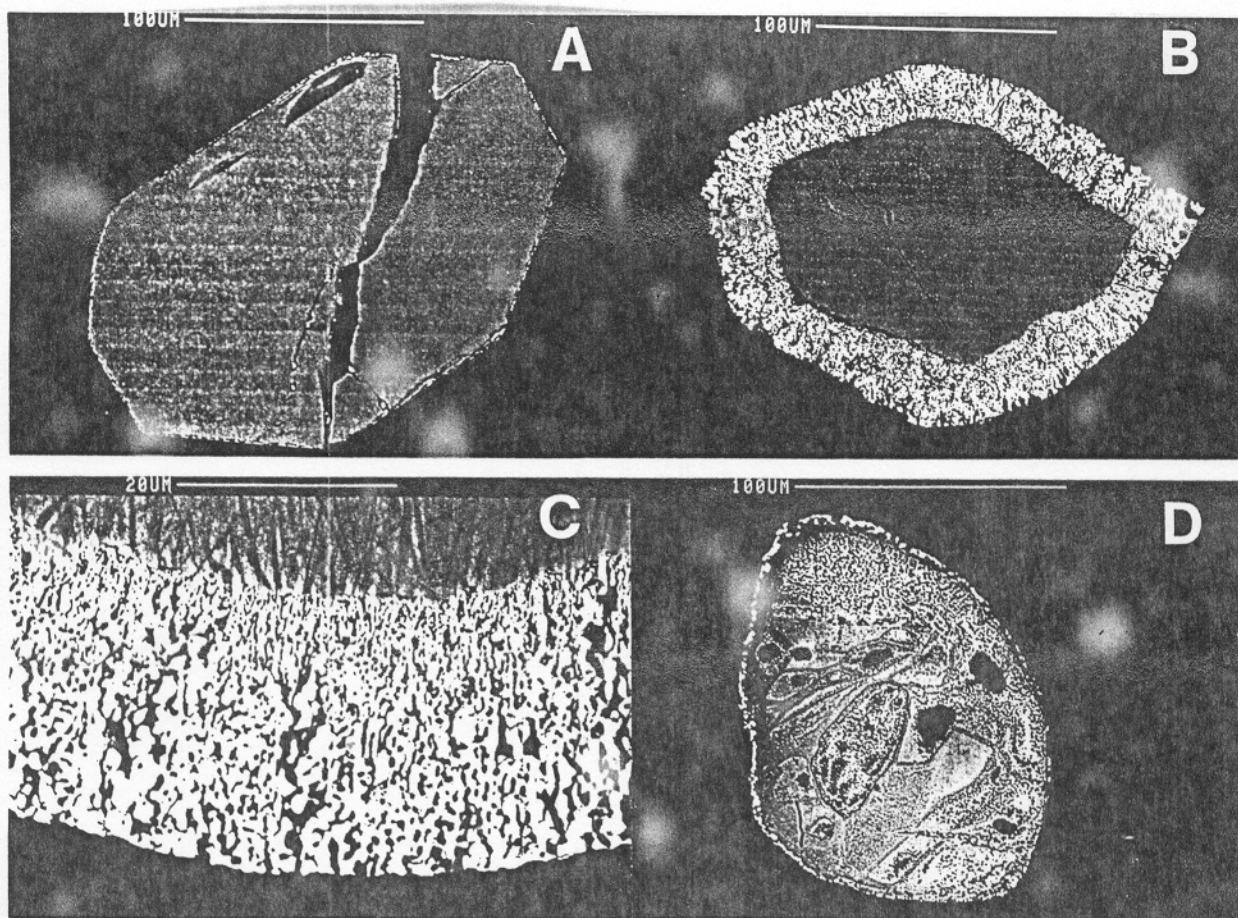


Figura 23 - Imagens obtidas por microscopia eletrônica de grãos de zircões submetidos ao aquecimento no vácuo em um espectrômetro de massa, segundo CHAPMAN & RODDICK, (1994). Tratam-se de zircões submetidos a aumentos progressivos de temperaturas, durante um breve intervalo de tempo. Inicialmente o cristal toma um aspecto translúcido, com superfície esbranquiçada e desenvolvimento de uma borda fina e porosa de ZrO_2 (badeleita), que se forma pelo consumo de Pb e Si pela evaporação (A). Decorrido algum tempo de aquecimento do cristal, ocorre o desenvolvimento de bordas espessas de badeleita, com o grão de zircão tornando-se opaco e esbranquiçado (B). A frente de reação zircão-badeleita dá-se da borda (textura porosa grosseira) para o centro do grão (textura porosa fina, com canais sinuosos), (C). Zircões metamícticos submetidos ao aquecimento, durante um pequeno intervalo de tempo (10-20 minutos, $180^\circ C$ de temperatura), perdem rapidamente a sílica e ocorre a transformação em badeleita por todo o grão, (D).

O Pb extraído em mais alta temperatura fornece razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ que são proporcionais as idades. A determinação sucessiva dessas razões num cristal de zircão, leva a elaboração de um espectro de idades, que pode ser concordante com a idade de cristalização do zircão, caso o sistema isotópico Pb/Pb tenha permanecido fechado. Os trabalhos desenvolvidos por KOBER (1986, 1987), KOBER et al. (1989), ANSDELL et al. (1991), KRONER et al. (1991), KARABINOS & GROMET (1993) e KRONER et al. (1994) atestam essa hipótese e sugerem que os dados isotópicos obtidos em temperaturas mais baixas devem ser desprezados do cálculo final da idade do zircão.

Segundo KOBER (1986), o método Pb/Pb por evaporação de zircão fornece apenas idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ aparentes, não havendo correlação isótopo/elemento ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ou $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$), como acontece no método U/Pb.

Para cada zircão é elaborado um espectro de idade Pb/Pb, a partir da determinação sucessiva das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, no diagrama “Idade/Ma versus número de blocos”. KOBER (1986 e 1987) sugeriram que, em função dos diferentes espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtidos a partir dos sucessivos incrementos de temperatura, é possível interpretar casos distintos de idades.

Inicialmente, os primeiros blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ observados correspondem a sítios frágeis do zircão, portanto de baixas temperaturas, e que tendem a fornecer idades mais novas. À medida que ocorre o aumento progressivo da temperatura, são liberados os isótopos de Pb situados em porções mais preservadas da rede cristalina do zircão. Nesse caso, as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ fornecidas pelos vários blocos são mais antigas e similares entre si, tendendo a formar um “platô” de idade. Quando o “platô” de idade é obtido, supõe-se que os blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ correspondam ao componente de Pb que se comportou em sistema isotopicamente fechado (Figura 24).

Num segundo caso, a formação do platô ocorre desde os primeiros blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, indicando que o cristal de zircão não sofreu nenhuma perda de Pb. Novamente a idade definida deve ser interpretada como de cristalização.

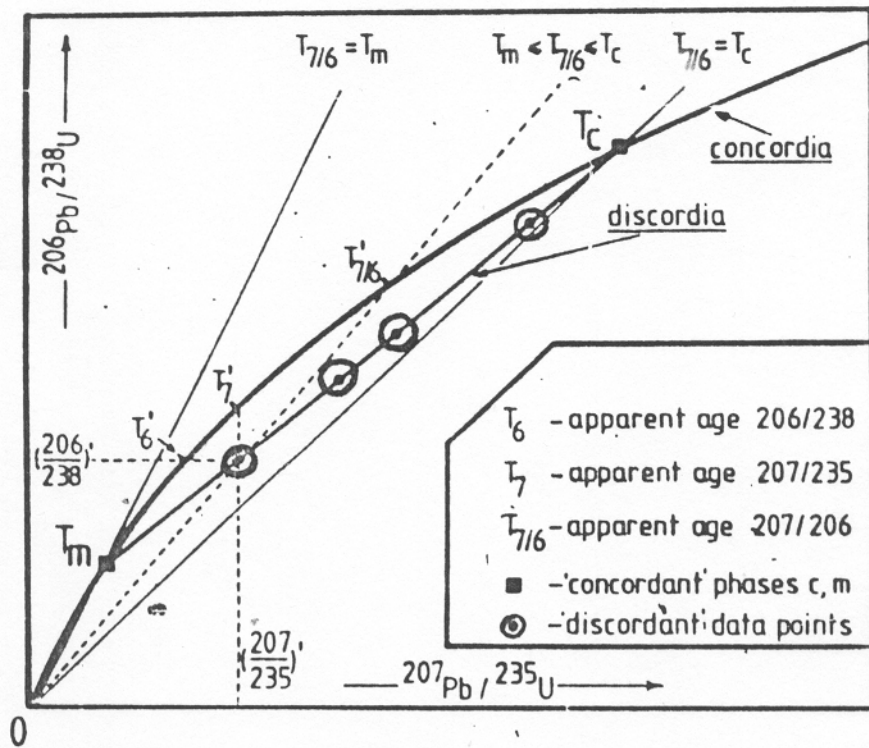


Figura 24 - Diagrama Concórdia de WETHERILL (1956) apresentando esquematicamente a evolução isotópica dos dados $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ com incrementos de temperaturas, segundo KOBER, (1986). Inicialmente os primeiros blocos de razões Pb/Pb definem uma idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ aparente ($T'_{7/6}$), mais baixa e que, portanto, não reflete a época de cristalização do zircão. Com o aumento de temperatura, são liberados os isótopos de Pb das porções mais preservadas do cristal e as idades fornecidas pelos vários blocos são mais antigas e similares entre si, tendendo a formar uma “platô” de idades. A obtenção desse “platô” indica que os blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ correspondem ao componente de Pb que se comportou em sistema isotopicamente fechado e o espectro de idades definidos por esses blocos, quando projetados na curva concórdia, definem uma idade ($T_{7/6} = T_c$) interpretada como a idade de cristalização do cristal.

Finalmente, os incrementos de temperatura podem fornecer aumentos progressivos das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, produzindo um platô limitado aos últimos blocos, ou simplesmente podem aumentar até o último bloco analisado. Nestes casos a idade dos blocos finais devem ser interpretados como uma idade mínima das porções cristalinas preservadas nas partes mais internas do zircão.

Segundo ANSDELL et al. (1991), as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ fornecidas pelo método de KOBER (1986), devem ser entendidas como “idades mínimas” de cristalização, principalmente quando não se tem nenhum referencial independente para a avaliação das mesmas. A compreensão do significado geológico das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ só é conseguida mediante comparação dos resultados isotópicos de zircões da mesma amostra, obtidos por outros métodos geocronológicos (U/Pb em zircões, microsonda iônica etc.). Entretanto, vários trabalhos têm demonstrado que os dados isotópicos fornecidos pelas várias metodologias assemelham-se entre si, evidenciando a potencialidade do método Pb/Pb por evaporação de zircão, na determinação da idade de cristalização de rochas (KOBER, 1986, 1987; COMPSTON & KRONER 1988; KRONER & TODT, 1988; KOBER et al., 1989; KARABINOS & GROMET, 1993).

Recentemente, PAQUETTE et al. (1994) examinaram o comportamento dos sistemas isotópicos U-Pb e Sm-Nd sobre condições extremas de metamorfismo (granulito) e compararam os resultados fornecidos por esses métodos com àqueles do método Pb/Pb por evaporação de zircão. Eles concluíram que os dados fornecidos pela técnica de evaporação do Pb, são entre 3 a 6 % mais jovens que os dados registrados pelos métodos Sm-Nd e U-Pb.

5.4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO EM FILAMENTO SIMPLES NO LGI/UFPA

No presente estudo foi utilizada a técnica Pb/Pb por evaporação de zircões usando-se apenas um filamento de Re (OLSZEWSKI et al., 1990). Nessa técnica, o zircão é depositado em um filamento de Re, que possui a forma de “canoas” e em seguida este é introduzido no espectrômetro de massa, onde ocorre o aumento progressivo da temperatura para a evaporação e ionização direta do Pb. O Pb presente em diferentes porções do cristal é evaporado e imediatamente ionizado, desde que a temperatura de evaporação seja suficiente para provocar a ionização do Pb. A intensidade do feixe dos diferentes isótopos de Pb é registrada por um

multiplicador secundário de elétrons, no espectrômetro de massa, que detecta as informações isotópicas do Pb.

A cada incremento de temperatura é determinado um bloco de 6 razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. A média das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de cada bloco, com aumento sucessivos de temperatura é plotado no diagrama Idade/Ma versus número de blocos. Ao final da análise do Pb evaporado diretamente do zircão, os blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, de mais altas temperaturas, tendem a formar um platô de idades, que via de regra, relaciona-se às informações isotópicas do Pb evaporado das porções mais retentivas da estrutura cristalina do zircão. As correções do Pb comum (^{204}Pb) foram feitas mediante uso do modelo de evolução do Pb em estágio duplo de STACEY & KRAMERS (1975). Um exemplo do comportamento das razões isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (e das idades correspondentes), durante o procedimento experimental de aquecimento do cristal de zircão, é mostrado na Figura 25.

O método de evaporação de Pb de zircão em filamento simples (OLSZEWSKI et al, 1990) foi implantado no Brasil, no Laboratório de Geologia Isotópica-(LGI) do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará-(CG/UFPA), no ano de 1993, pelo Prof. Dr. Henri E. Gaudette, da University of New Hampshire-(UNH/EUA), junto com os pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Geocronologia e Geologia Isotópica do LGI/UFPA. Esse método foi calibrado a partir do estudo isotópico de 8 zircões de um granulito do NW do Ceará, analisados na UNH/EUA, os quais forneceram uma idade de 2092 ± 12 Ma (2σ). A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtida para 6 zircões dessa rocha no LGI/UFPA, foi de 2076 ± 11 Ma (2σ). Como nota-se, essas idades sobrepõem-se, dentro do limite de erro.

Os primeiros resultados obtidos no LGI/UFPA, (GAUDETTE et al., 1993a e b; AVELAR et al., 1994; LAFON & SCHELLER, 1994; MACAMBIRA et al., 1994; MACAMBIRA & SCHELLER, 1994; AVELAR et al., 1995; MACAMBIRA & LAFON, no prelo), atestaram a potencialidade do método Pb/Pb por evaporação de zircão em filamento simples, principalmente na determinação de idades de cristalização de rochas antigas (arqueanas e proterozóicas inferior).

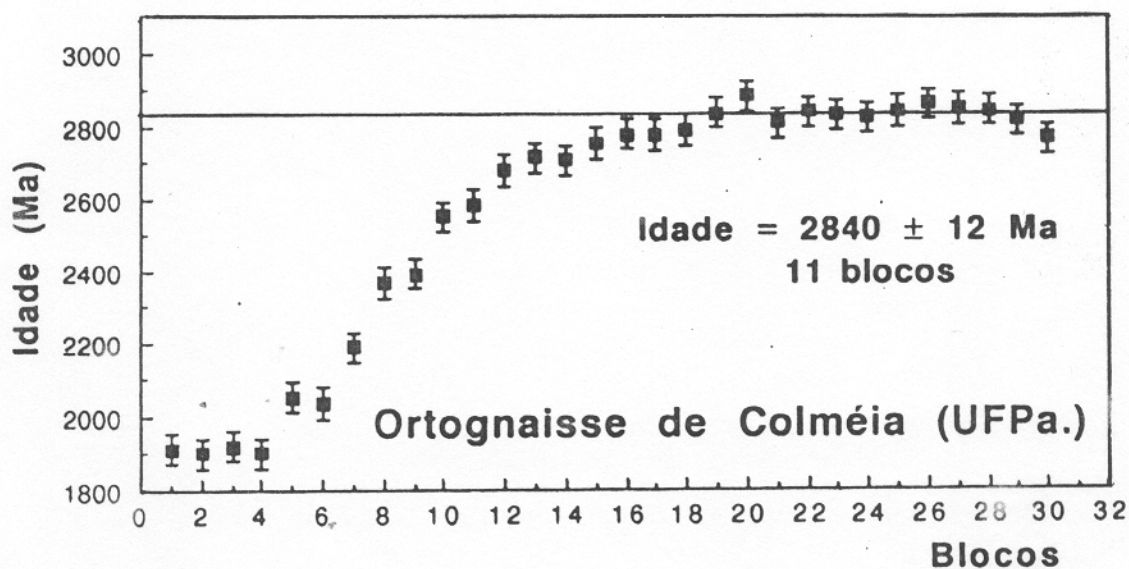


Figura 25 - Comportamento teórico dos dados Pb/Pb por evaporação de zircão, plotados no Diagrama Idade/Ma versus número de blocos (com 6 razões isotópicas cada). Dados obtidos no LGI/UFPa, para um zircão de rochas gnáissicas do Complexo Colméia-(Tocantins). A idade da rocha (2840 ± 12 Ma, 2σ) foi definida apenas pelos 11 últimos blocos, de um total de 30 blocos, e que juntos definem um "platô de idades", relacionadas a mais altas temperaturas. Teoricamente os dados fornecidos pelo "platô" correspondem as informações isotópicas do retículo cristalino mais interno do zircão (núcleo) e por isso indicam o tempo mais próximo da cristalização do mesmo. Os blocos definidos a baixas temperaturas (blocos iniciais) não entram no cálculo da idade (Pb de sítios frágeis do zircão).

Segundo MACAMBIRA et al. (1994), o método de evaporação de Pb em filamento simples pode, em casos específicos, fornecer resultados mais confiáveis que àqueles registrados pelo método U/Pb. Isso ocorre por exemplo, quando se analisa frações multigrãos e monocristais não-polidos, com pontos analíticos U-Pb muito discordantes. Esses autores sugeriram também, que os resultados obtidos através do método de evaporação de Pb superam em precisão os métodos K-Ar e Rb-Sr, sendo portanto, uma importante ferramenta para a investigação da idade mais provável de cristalização de uma rocha. Os critérios de interpretação dos dados fornecidos pelo método de evaporação de Pb em filamento simples, seguem os mesmos princípios do método de datação por evaporação de KOBER (1986 e 1987), expressos no subitem 5.3, deste capítulo.

5.5 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO Pb/Pb POR EVAPORAÇÃO DE ZIRCÃO

A utilização da técnica de datação de zircão por evaporação de Pb apresenta, dentre as muitas vantagens, o fato de não requerer o tratamento químico das amostras (abertura e separação química de elementos). Isso evita, em grande parte, os problemas de contaminação em Pb, susceptíveis de ocorrer quando se utiliza o método U/Pb.

O método de evaporação de Pb é apropriado para datação de diversos tipos de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares), (KOBER, 1986; 1987; KRONER & TODT, 1988; KARABINOS & GROMET, 1993). Segundo GAUDETTE et al. (1993a), o método é aplicado com sucesso na determinação rápida da idade de cristalização das principais unidades geológicas de uma região. Pois como visto, trata-se de um método bastante prático e rápido. O fato de se poder selecionar mais rigorosamente o cristal de zircão a ser analisado, possibilita uma interpretação mais apurada dos resultados.

Segundo KARABINOS & GROMET, (1993), o uso do método pode ser aplicado com sucesso na análise de grãos imperfeitos, incluindo aqueles contendo domínios metamórficos. Nesse caso, o Pb extraído desses domínios é diferentemente evaporado em relação àquele de domínios cristalinos preservados e isso possibilita resgatar as informações das porções mais retentivas do cristal. Esse método permite uma análise rápida dos grãos de zircões (em média 3 a 4 horas após a separação mineral), com erro na razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ menor que 0,5 % ou entre 10-15 Ma, para rochas de idades paleozóicas ou mais velhas.

Em detrimento às vantagens apresentadas, o método de datação por evaporação de zircão, apresenta algumas limitações em relação a outros métodos que utilizam o cronômetro U/Pb. Não é possível ter-se uma avaliação independente da relação concordância/discordância do sistema isotópico U/Pb e não se pode também, avaliar as relações isótopos/elementos. Em outras palavras, idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ não são determinadas e apenas idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ aparentes são obtidas pelo método. Ao contrário do método de análise por microsonda iônica (SHRIMP), o método de evaporação de Pb não permite investigar regiões específicas do cristal.

No caso do método Pb/Pb por evaporação de zircão, utilizado no LGI/UFPA (filamento simples), existem algumas limitações em relação ao método original de KOBER (1986). Por exemplo, segundo KRÖNER & TODT (1988), a utilização de filamento duplo na análise de evaporação do Pb produz feixes iônicos de Pb mais estáveis, que aqueles produzidos em filamento simples. Isso proporciona leituras isotópicas mais confiáveis e maior tempo de análise no espectrômetro de massa (maior número de blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), concorrendo para melhoria da qualidade estatística dos dados isotópicos obtidos. Por isso, além de rochas antigas (Proterozóico Inferior e Arqueanas), é possível também a datação de rochas jovens (Proterozóico Superior ou ainda mais novas) através desse método.

Quando se utiliza filamento simples, o Pb é evaporado e ionizado diretamente, sendo assim, é provável que outros elementos (Ex: terra-raras) interfiram nas leituras do Pb radiogênico. Em consequência, feixes iônicos mais instáveis são produzidos, além de um menor número de blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Desse modo, aumenta a imprecisão sobre a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, fator pelo qual a datação de rochas mais jovens (< 1,0 Ga) torna-se difícil. Os resultados obtidos no LGI/UFPA em rochas antigas, demonstram que o erro analítico produzido em filamento simples é maior (± 20 a 30 Ma) que àquele obtido pelo método de Kober (10-15 Ma, e por vezes até menos).

6. RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS

Nesse capítulo será descrito inicialmente o procedimento experimental que compõe a rotina analítica do método Pb-Pb por evaporação de zircão no LGI da UFPA, consistindo desde a fase de coleta, preparação da amostra, separação e seleção de zircões, até a análise isotópica e o cálculo das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Posteriormente, serão apresentados os resultados analíticos obtidos para cada rocha estudada da região de Tucumã.

6.1- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para cada rocha estudada, foram realizadas duas coletas sistemáticas de amostras, uma envolvendo material de saprólito e outra de rocha fresca. A coleta dos diferentes materiais, visou a separação e seleção de zircões para o estudo isotópico Pb-Pb dos mesmos. O uso do saprólito, além de permitir maior rapidez na separação de zircões, favorece a escolha de cristais com características mais apropriadas à análise Pb/Pb por evaporação, pois concentra naturalmente maior número de zircões. Contudo, para garantir a confiabilidade do resultado geocronológico, deve-se ter certeza de que o material coletado não foi contaminado com material de outra rocha. Fatores como risco de contaminação (mistura de material), zircões afetados por processos intempéricos, comuns nesse tipo de material, podem limitar o uso de zircões desse material na obtenção de dados geocronológicos.

O estudo Pb/Pb por evaporação de zircões de rocha fresca visa comparar os resultados isotópicos fornecidos por esses, com aqueles separados de saprólito. Esse enfoque metodológico servirá de base para avaliar os limites e vantagens do uso desse material nos estudos geocronológicos de rochas em domínio tropical. É o caso da região Amazônica, onde a atuação de agentes intempéricos é muito forte, dificultando a coleta de rocha fresca. Um fluxograma das principais etapas necessárias para obtenção dos dados isotópicos Pb/Pb por evaporação de zircão, desde a coleta de amostra, até a determinação final da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, é mostrado na Figura 26.

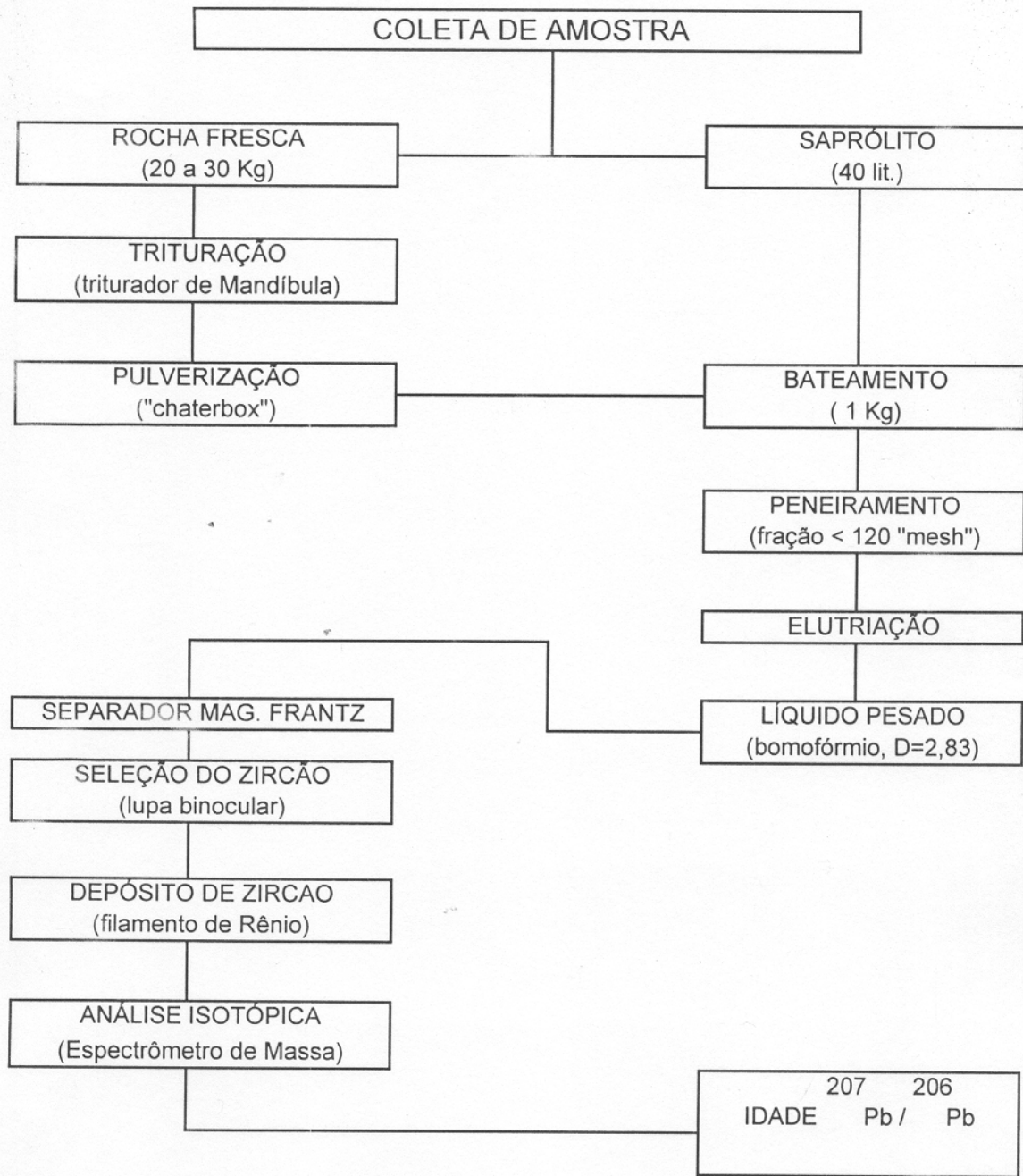


Figura 26 - Fluxograma das principais etapas necessárias para obtenção dos dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação de zircão.

6.1.1 - Coleta e Preparação das Amostras

As amostragens de saprólito foram realizadas no contato com as rochas frescas. Para cada rocha estudada procedeu-se a coleta de cerca de 40 litros de material, com o auxílio de um trado manual (Figura 27). Por tratar-se de um material concentrado e bastante representativo da rocha, estima-se que o volume de material coletado é o equivalente a 60 a 80 Kg de rocha fresca, uma vez que em 1 litro de saprólito tem-se entre 2 a 3 Kg de rocha fresca.

Ainda no campo, o material de saprólito de cada rocha foi peneirado (malha de 1,00 mm) e bateado para concentração de minerais pesados (Figura 28), restando, após estes procedimentos, apenas 1 Kg de material destinado à separação e seleção dos zircões.

Para o estudo de zircões de rocha fresca foram coletados cerca de 20 a 30 Kg de amostra, para cada rocha estudada. Esse material foi triturado (triturador de mandíbulas) e pulverizado (“chaterbox”), sendo em seguida bateado para a concentração preliminar dos minerais pesados de cada rocha.

6.1.2 - Separação e Seleção dos Zircões

Os materiais de rocha fresca e de saprólito, resultantes do bateamento, foram peneirados, visando à obtenção de uma granulometria inferior a 0,125 mm ou 120 “mesh”. Em seguida, esse material foi submetido a uma separação densimétrica (minerais leves e pesados), através de elutriação e líquidos pesados (bromofórmio, $D=2,83$). Em algumas amostras, utilizou-se um ímã de mão para a separação dos minerais mais magnéticos. Numa fase final, os minerais pesados resultantes, passaram no Separador Magnético de Frantz, visando à separação de zircões não magnéticos destinados ao estudo isotópico Pb/Pb por evaporação

Esse procedimento de separação magnética foi desenvolvido através de etapas sucessivas, com diferentes ângulos de inclinação lateral (5° , 3° , 1° , 0°) e intensidade de correntes crescentes (1,50 A; 1,75 A; 1,85 A; 2,0 A) no separador magnético Frantz. A inclinação frontal foi mantida fixa em 20° . Essas condições permitiram a obtenção de frações de zircões não magnéticos, reduzindo assim a ocorrência de cristais com diferentes fases minerais (inclusões fluídas e sólidas e outros minerais, como apatitas), causadoras de distúrbios no sistema isotópico Pb-Pb.



Figura 27 - Amostragem de saprólito: coleta com auxílio de um trado manual, no contato com a rocha fresca.



Figura 28 - Amostragem de saprólito: bateamento ainda no campo de material de saprólito coletado.

A seleção final dos zircões para análise isotópica é realizada com uma lupa binocular (aumento de até 100 x), de acordo com os critérios morfológicos dos zircões. De um modo geral, os zircões selecionados são automórficos a sub-automórficos, transparentes a translúcidos, bem cristalizados (hábito prismático, bipiramidal), sem inclusões minerais ou fluídas, com ausência de fissuras ou bordas corroídas, não metamictizados e não magnéticos. Essas características são imprescindíveis para garantir a obtenção de bons resultados isotópicos, através do método Pb/Pb por evaporação de zircões. Segundo KOBBER (1986), são nesses cristais que estão guardadas as informações isotópicas de Pb mais preservadas, o que refletirá na obtenção de uma idade Pb/Pb mais próxima da época de formação da rocha.

6.1.3 - Análises Isotópicas

Os cristais de zircões selecionados são depositados num filamento de rênio (Re). Os procedimentos de deposição do cristal seguem-se em três etapas. Inicialmente, é dada a forma de “canao” ao filamento de Re. Em seguida, o cristal é depositado no centro da “canao”, sendo a mesma fechada de modo a envolver todo o zircão para garantir uma temperatura uniforme ao cristal durante o aquecimento. Uma pequena fenda é deixada na canoa para permitir a evaporação e ionização do Pb.

Um tambor com 6 filamentos é introduzido no espectrômetro de massa VG ISOMASS 54E do LGI, para a análise isotópica do Pb de cada cristal. A cada incremento de temperatura, realiza-se uma varredura de 6 leituras sequenciais dos isótopos 204, 206, 207 e 208 do Pb. Em seguida, são calculadas no computador as razões isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ constituindo assim, o que se denominou de “blocos de leituras”.

Para cada bloco é calculada uma razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ média e o desvio padrão da mesma, levando em conta os erros analíticos de cada razão medida e a correção da contribuição do Pb de contaminação, determinada a partir da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. As razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtidas são diretamente proporcionais a uma idade (T). Ao final da análise isotópica do zircão, obtém-se uma média ponderada das idades correspondentes a cada bloco e o desvio padrão dessa média ponderada (σ_T), mediante uso das seguintes fórmulas:

$$(2) T = \frac{\sum p_i t_i}{\sum p_i} \quad (3) \sigma_T = \sqrt{\frac{1}{\sum p_i}} \quad (4) USD = \sqrt{\frac{\sum p_i (t_i - T)^2}{N - 1}}$$

onde: T = média ponderada das idades (t_i) dos blocos

N = número de blocos

p_i = peso do bloco (i)

σ_T = desvio padrão da média ponderada das idades (t_i) dos blocos

USD = indicador de variações sistemáticas da média de um bloco

Para cada zircão, as razões ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) medidas são corrigidas do Pb não radiogênico (^{204}Pb), através da equação (5) utilizando-se as composições isotópicas de Pb de STACEY & KRAMERS (1975).

$$(5) (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_r = (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_m + (^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_m \cdot \frac{(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_m - (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_p}{(^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_p - (^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_m}$$

onde: r = radiogênico

m = medido

p = poluição (comum)

As razões ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), obtidas após correção, são utilizadas para o cálculo da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de cada cristal de zircão, através da equação (6), a partir da qual se depreende que a razão ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) é função de T.

$$(6) (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_r = ^{235}\text{U}/^{238}\text{U} \cdot (e^{\lambda_5 T} - 1)/(e^{\lambda_8 T} - 1)$$

onde: λ_8 = constante de decaimento do $^{238}\text{U} = 1,55125 \times 10^{-10}$. anos⁻¹ (STEIGER & JÄGER 1977)

λ_5 = constante de decaimento do $^{235}\text{U} = 9,8485 \times 10^{-10}$. anos⁻¹ (STEIGER & JÄGER 1977)

$$^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 1/137,88$$

T = tempo decorrido desde o fechamento do mineral para o sistema U, Th, Pb e todos os filhos intermediários.

6.1.4- Cálculo das Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

Para obtenção das idades dos zircões analisados, seguiu-se o tratamento analítico em rotina no LGI da UFPA, onde os dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de cada zircão são tratados individualmente em um diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, obtendo-se um espectro de idades do zircão. Em seguida, os espectros de idades de todos os zircões são reunidos em um único diagrama, para avaliação final dos dados isotópicos do conjunto de zircões analisados e consequentemente para a determinação da idade da amostra estudada.

6.1.4.1 - Cálculo da idade individual do grão de zircão

Após análise isotópica e obtenção das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos zircões, o procedimento específico para a definição da idade individual de cada cristal é o seguinte: Inicialmente os blocos de leituras, cujas razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, excederam ao valor de 4×10^{-4} , são previamente eliminados do cálculo da idade. Em seguida, é observada a disposição dos blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ plotados no diagrama Idade/Ma versus número de blocos, visando a determinação de um “platô” de idade. Geralmente, os blocos de razões Pb/Pb lidos a baixas temperaturas se afastam da média de idade definida pelos blocos de altas temperaturas e são eliminados para a elaboração do “platô”, como mostrado na Figura 25.

Para ser considerado no cálculo final da idade do zircão, o “platô” de idade deve ser definido com um mínimo de 5 blocos de razões Pb/Pb. Os zircões com número de blocos inferiores a 5 blocos foram eliminados do cálculo final da idade da rocha. Essa rotina foi seguida, a fim de melhorar os dados estatísticos, bem como para sistematizar o tratamento dos dados Pb-Pb por evaporação de zircão no LGI/UFPA. Para cada zircão, a idade final foi determinada após um corte de 2σ , dos blocos que se afastam da média ponderada das idades de cada bloco.

6.1.4.2- Cálculo da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ da rocha estudada

Após a determinação dos espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para cada cristal de zircão, reuniu-se as informações isotópicas, definidas pelo conjunto de zircões, no diagrama Idade/Ma versus número de blocos, para avaliação final da idade da rocha. Por ter-se trabalhado com zircões provenientes de materiais diferentes em cada unidade (rocha fresca e saprólito), optou-se inicialmente, pelo cálculo da idade em separado dos zircões dos diferentes materiais. Em seguida, foi realizado o estudo em conjunto dos dados isotópicos destes para a avaliação final da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ da rocha.

Frequentemente ocorrem zircões cujos dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ definem idades mais altas ou mais baixas em relação ao conjunto. Nesse caso, suspeita-se da possibilidade de tratar-se de zircões “herdados” (valores altos) ou “metamictizados” (valores baixos). Essa forma de avaliação é bastante subjetiva, pois o método Pb/Pb em zircão não permite comprovar definitivamente essas hipóteses. Por isso é importante que cada caso seja avaliado individualmente e os resultados Pb/Pb com ou sem esses zircões devem ser discutidos para uma avaliação final dos dados.

Os blocos de razões isotópicas eliminados pelo tratamento estatístico durante avaliação final da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, não aparecem no diagrama Idade/Ma versus número de blocos. A obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final para cada rocha estudada foi determinada com um corte a 2σ .

6.2 - RESULTADOS ANALÍTICOS

6.2.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu

Foi selecionado um conjunto de 16 zircões de saprólito e rocha fresca de um gnaisse granodiorítico do Complexo Xingu, destinados à datação Pb/Pb por evaporação. Inicialmente são apresentados os resultados isotópicos dos zircões provenientes do saprólito e da rocha fresca do ortognaisse granodiorítico. Nesse caso, duas idades serão produzidas, e em seguida, após discussão dessas idades separadamente, será determinada a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada.

6.2.1.1 - Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ a partir da análise de zircões de saprólito

Os zircões separados desse material apresentam coloração castanho-avermelhada, com grau de transparência variando de translúcido a transparente. São automórficos a sub-automórficos, com hábito prismático (bipiramidal) e arestas retas, possuindo brilho adamantino e superfície áspera. São uniformes quanto à relação de tamanho (Figura 29).

Um conjunto de 10 zircões desse material foi analisado para a caracterização isotópica Pb/Pb do ortognaisse granodiorítico. As razões isotópicas obtidas para cada cristal estão listadas no ANEXO A. Apenas 9 zircões apresentaram mais de 5 blocos de razões isotópicas, após o tratamento estatístico individual (Tabela 07).

Os espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos 9 zircões foram reunidos no diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, onde foi definida uma idade de 2976 ± 18 Ma, com um total de 91 blocos (Figura 30). Essa figura mostra que o zircão 8 (ELVX-93S8), apesar de possuir 2 blocos situados próximos da média de idade definida pelo conjunto, fornece uma idade mais baixa que os demais. Quando visto isoladamente define uma idade de 2905 ± 54 Ma (Tabela 07). Ainda nesse diagrama, nota-se que o zircão 9 (ELVX-93S9), apesar de alguns blocos iniciais terem fornecido valores altos de razões isotópicas, mostra claramente um “trend” em direção ao aumento de temperatura, fornecendo idades maiores que 3,0 Ga nos últimos blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Esses cristais foram eliminados do cálculo estatístico final da idade da rocha. Um novo cálculo da idade foi realizado, dessa feita com apenas 7 zircões e a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ determinada para o ortognaisse granodiorítico, a partir da análise de zircões de saprólito foi de 2976 ± 20 Ma (Figura 31). Nota-se que não houve alteração do valor absoluto da idade, apenas o erro analítico aumentou em ± 2 Ma.

6.2.1.2- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca

Um conjunto de 6 zircões desse material foi selecionado, os quais apresentam coloração que variam de castanho-claro a rosado. São cristais geralmente translúcidos, com brilho adamantino, superfície áspera. São automórficos, com hábito prismático (bipiramidal) e arestas retas. São cristais uniformes quanto ao tamanho, (Figura 32).

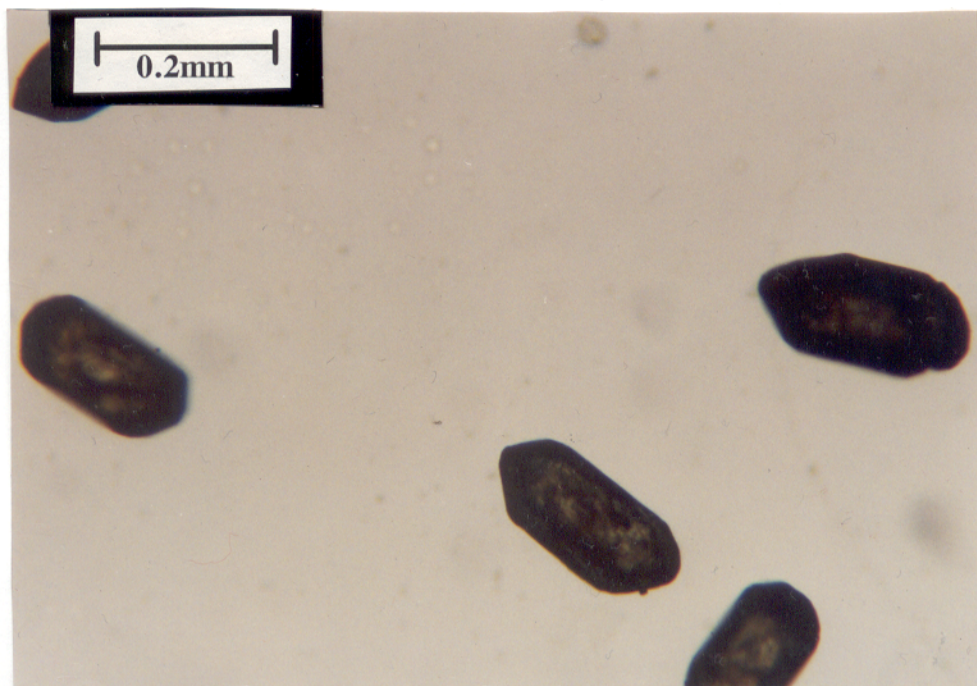


Figura 29 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu. São cristais castanhos, automórficos a sub-automórficos, prismáticos (bipiramidais).

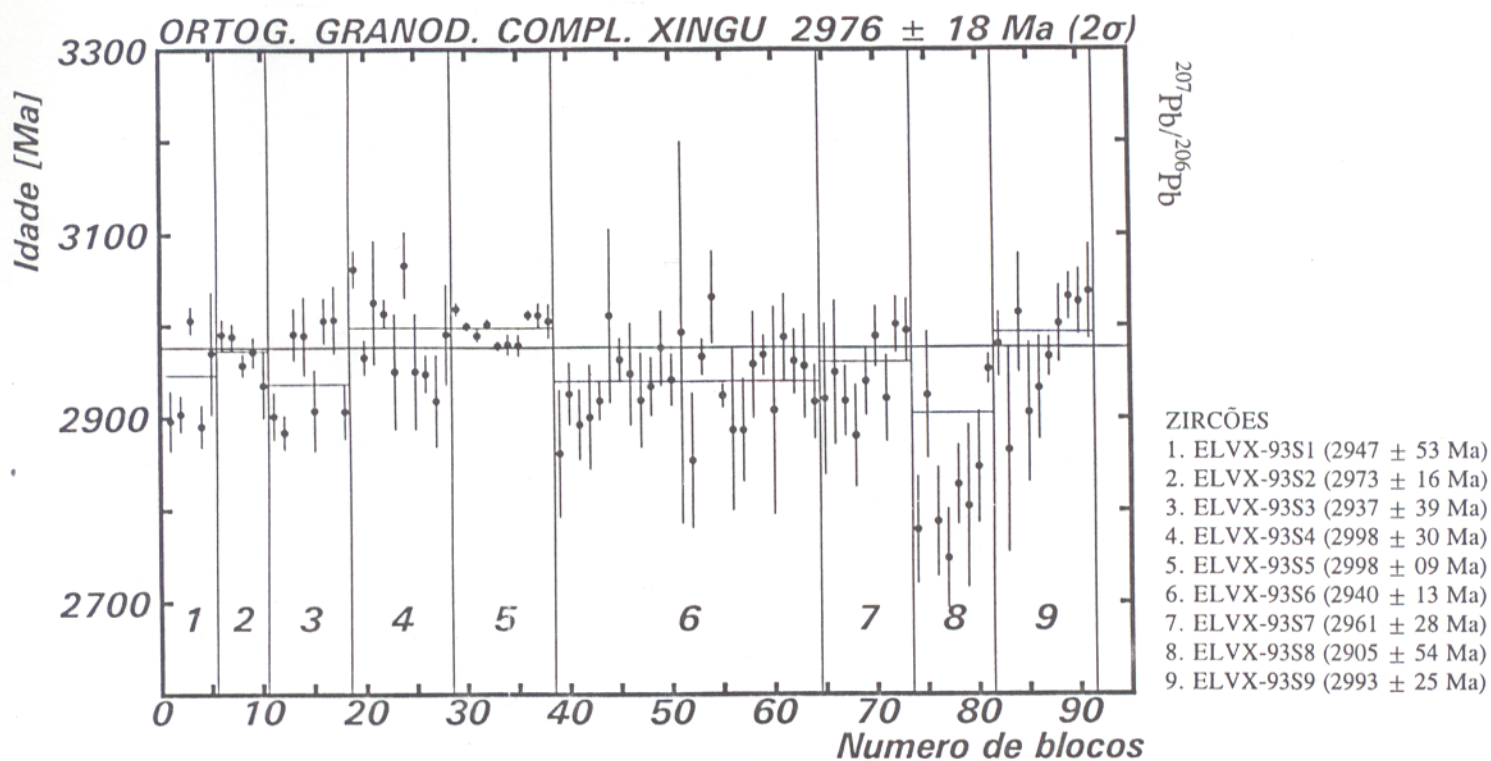


Figura 30 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para 9 zircões de saprólito do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu.

Tabela 07 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e de rocha fresca do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu.

Zircão ⁽¹⁾	Nº de Blocos Lidos	Blocos c/ ²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb > 4.10 ⁻⁴ ⁽²⁾	Nº de Blocos Elimin ⁽³⁾	Nº Finais de Blocos	⁽²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb)c ⁽⁴⁾	2σ	Idade (Ma)	2σ	Zircões para o Cálculo da Idade ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
									Sim	Não
SAPRÓLITO										
ELVX-93S1	11	4	2	5	0.2150	0.0035	2947	53	X	
ELVX-93S2	10	3	2	5	0.2188	0.0011	2973	16	X	
ELVX-93S3	16	5	3	8	0.2137	0.0026	2937	39	X	
ELVX-93S4	17	6	1	10	0.2220	0.0021	2998	30	X	
ELVX-93S5	16	3	3	10	0.2222	0.0006	2998	9	X	
ELVX-93S6	37	1	10	26	0.2143	0.0009	2940	13	X	
ELVX-93S7	19	7	3	9	0.2170	0.0019	2961	28	X	
ELVX-93S8	13	0	5	8	0.2092	0.0036	2905	54	X	
ELVX-93S9	19	6	3	10	0.2214	0.0017	2993	25	X	
ELVX-93S10	1	0	0	1	0.2147	0.0015	2941	23		X
ROCHA FRESCA										
ELVX-93F1	16	5	5	6	0.2170	0.0014	2960	20	X	
ELVX-93F2	8	4	0	4	0.2408	0.0088	3136	117		X
ELVX-93F3	6	0	1	5	0.2038	0.0014	2858	22	X	
ELVX-93F4	2	2	0	0	-	-	-	-		X
ELVX-93F5	7	5	0	2	0.2184	0.0036	2970	54		X
ELVX-93F6	23	12	3	8	0.2164	0.0023	2957	33	X	

(1) : As letras S e F nos nomes dos zircões designam respectivamente cristais provenientes de saprólito e da rocha fresca.

(2) : Blocos eliminados devido alta razão ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb (> 4.10⁻⁴)

(3) : Blocos eliminados para obtenção do "platô" de idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb

(4) : (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)c : razão corrigida do efeito da contaminação por Pb comum

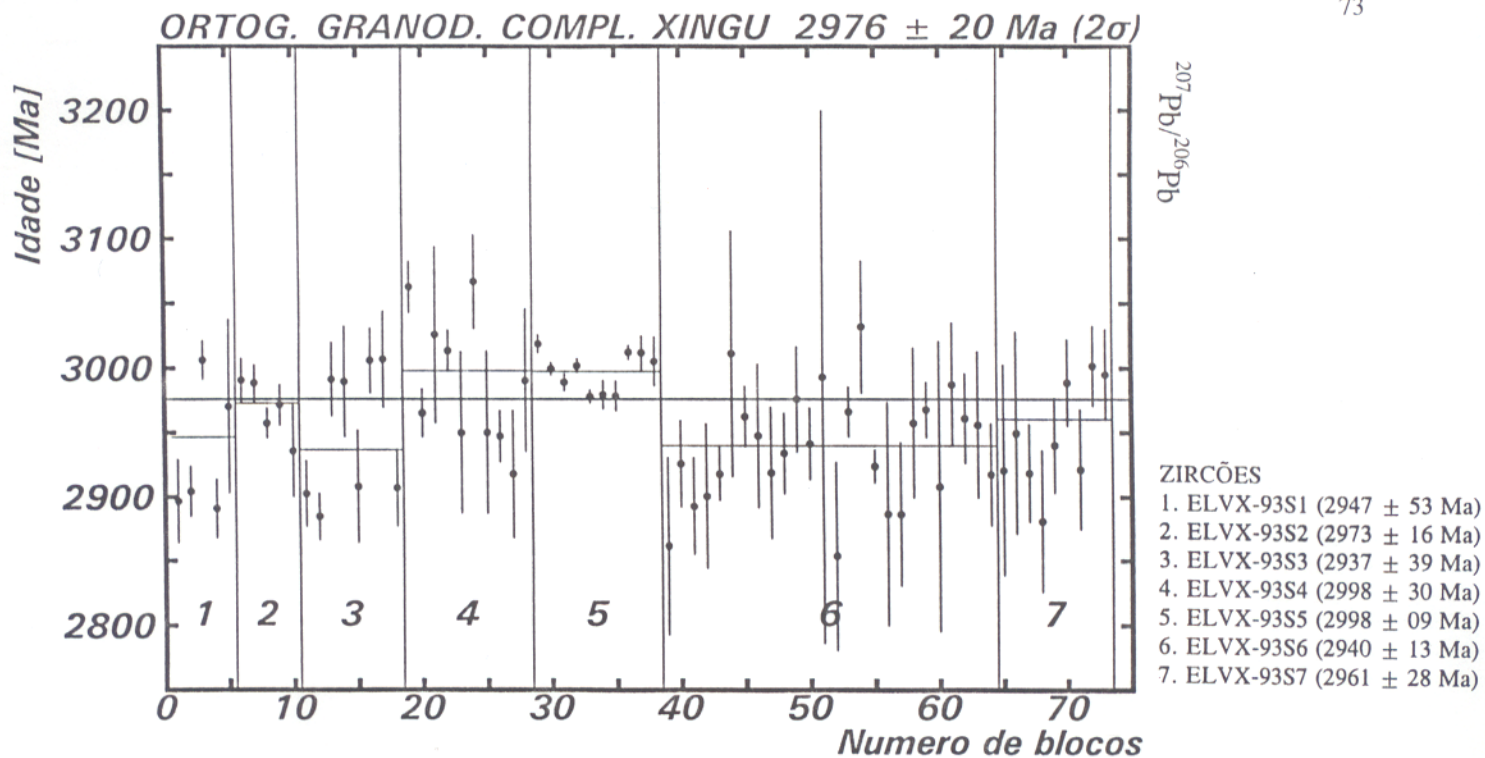


Figura 31 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para 7 zircões de saprólito do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu.

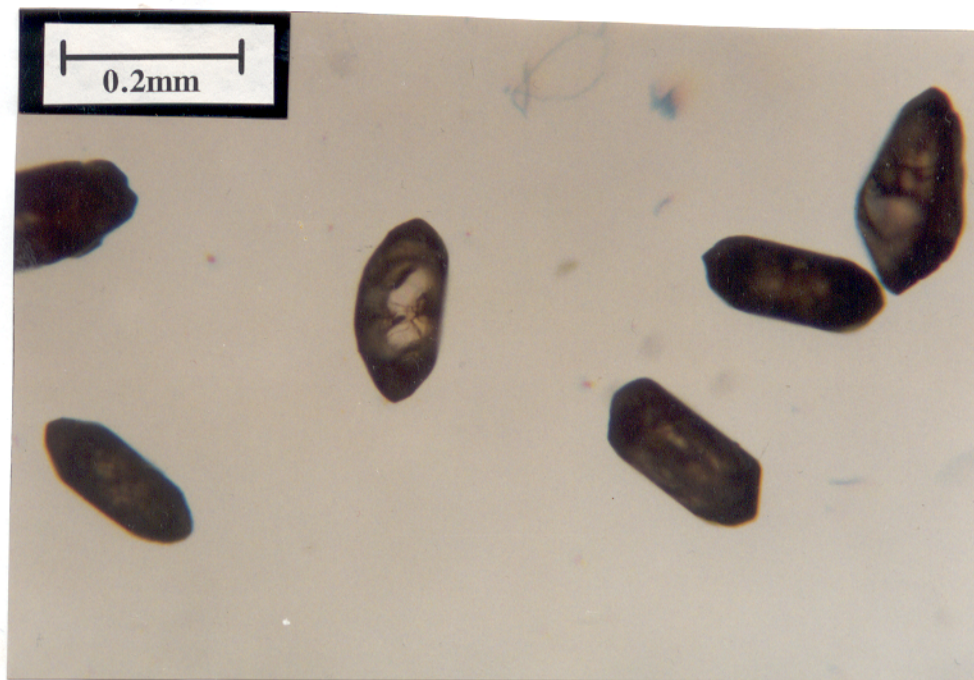


Figura 32 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu.

As razões isotópicas dos 6 zircões encontram-se listadas no ANEXO A. Após o tratamento estatístico individual, apenas 3 zircões forneceram mais de 5 blocos de razões isotópicas (Tabela 07). Os espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ desses zircões foram reunidos no diagrama Idade/Ma versus número de blocos e juntos definiram uma idade de 2936 ± 57 Ma, com um total de 19 blocos de razões isotópicas (Figura 33).

O zircão número 11 (ELVX-93F3), de idade mais baixa (2858 ± 22 Ma, Tabela 07), concorre para a diminuição da média de idade determinada pelo conjunto de zircões. Esse zircão foi eliminado do cálculo estatístico final da idade da rocha, apesar de suas similaridades morfológicas com os outros dois zircões. Efetuando-se um novo cálculo, com apenas os dois zircões, obteve-se uma idade de 2957 ± 12 Ma para o Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu (Figura 34).

6.2.1.3- Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada

Os resultados isotópicos Pb/Pb fornecidos pelos zircões de rocha fresca e de saprólito do ortognaisse são estatisticamente similares (2976 ± 20 Ma e 2957 ± 12 Ma). As características morfológicas desses zircões são também semelhantes, o que permite integrar o conjunto de dados isotópicos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha.

Os espectros de idades dos zircões de diferentes materiais, utilizados para a definição da idade da rocha (7 zircões de saprólito e 2 de rocha fresca), foram reunidos no diagrama Idade/Ma versus número de blocos, para determinação final da idade da rocha estudada. Os dados isotópicos desses zircões definiram uma idade de 2972 ± 16 Ma, com 105 blocos de razões isotópicas, (Figura 35).

Os zircões ELVX-93S4 e ELVX-93S5 fornecem dados isotópicos um pouco maior em relação aos demais (2998 ± 9 Ma, Figura 36). Morfológicamente esses cristais são semelhantes aos outros e, como essa diferença de idade não é estatisticamente significativa em relação aos demais, fica descartada a possibilidade de tratar-se de zircões herdados. Assim sendo, a idade de 2972 ± 16 Ma é considerada como a idade da rocha granodiorítica do Complexo Xingu.

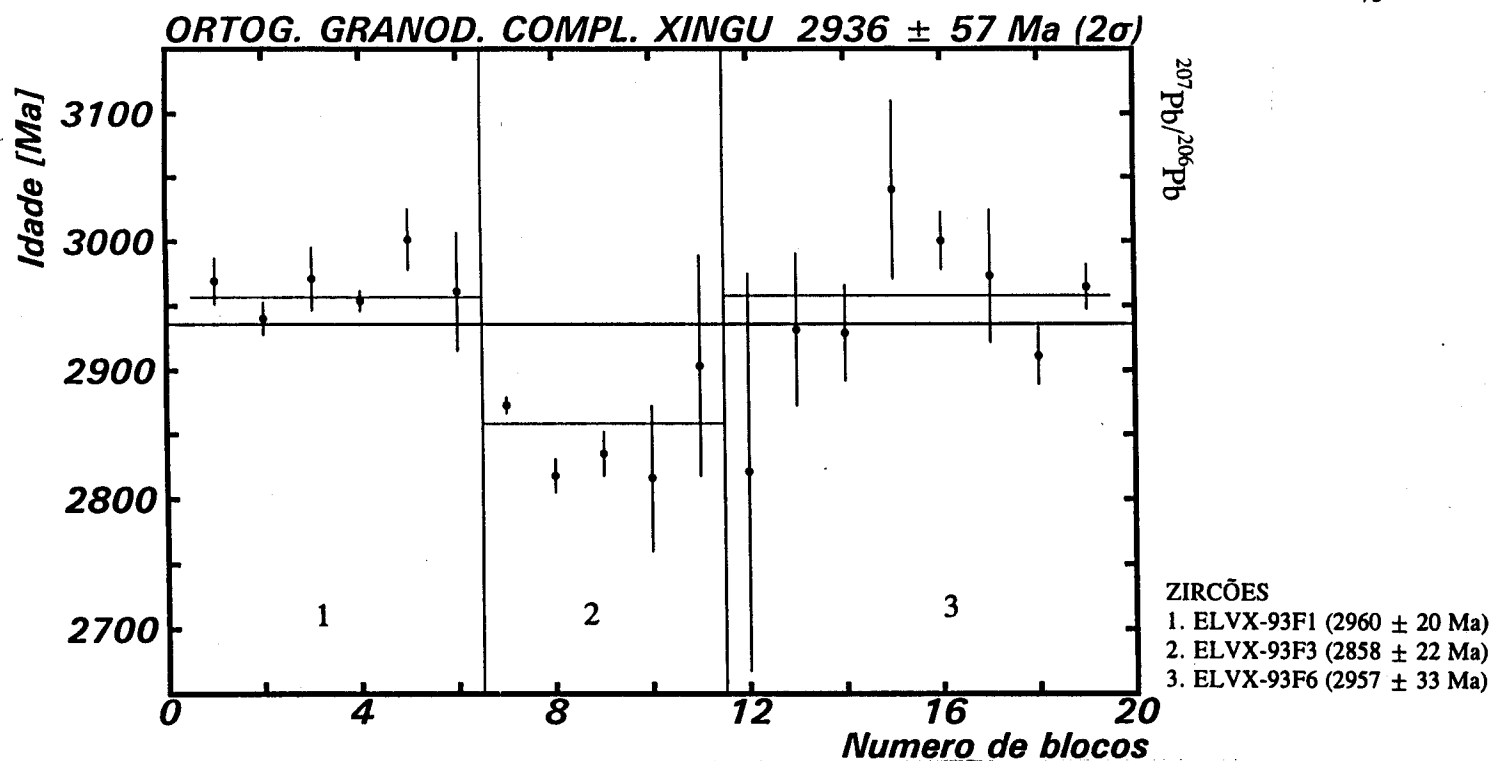


Figura 33 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para 3 zircões (ELVX-93F1, ELVX-93F3 e ELVX-93F6) de rocha fresca do ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu. O zircão ELVX-93F3 fornece dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ mais baixo que os demais.

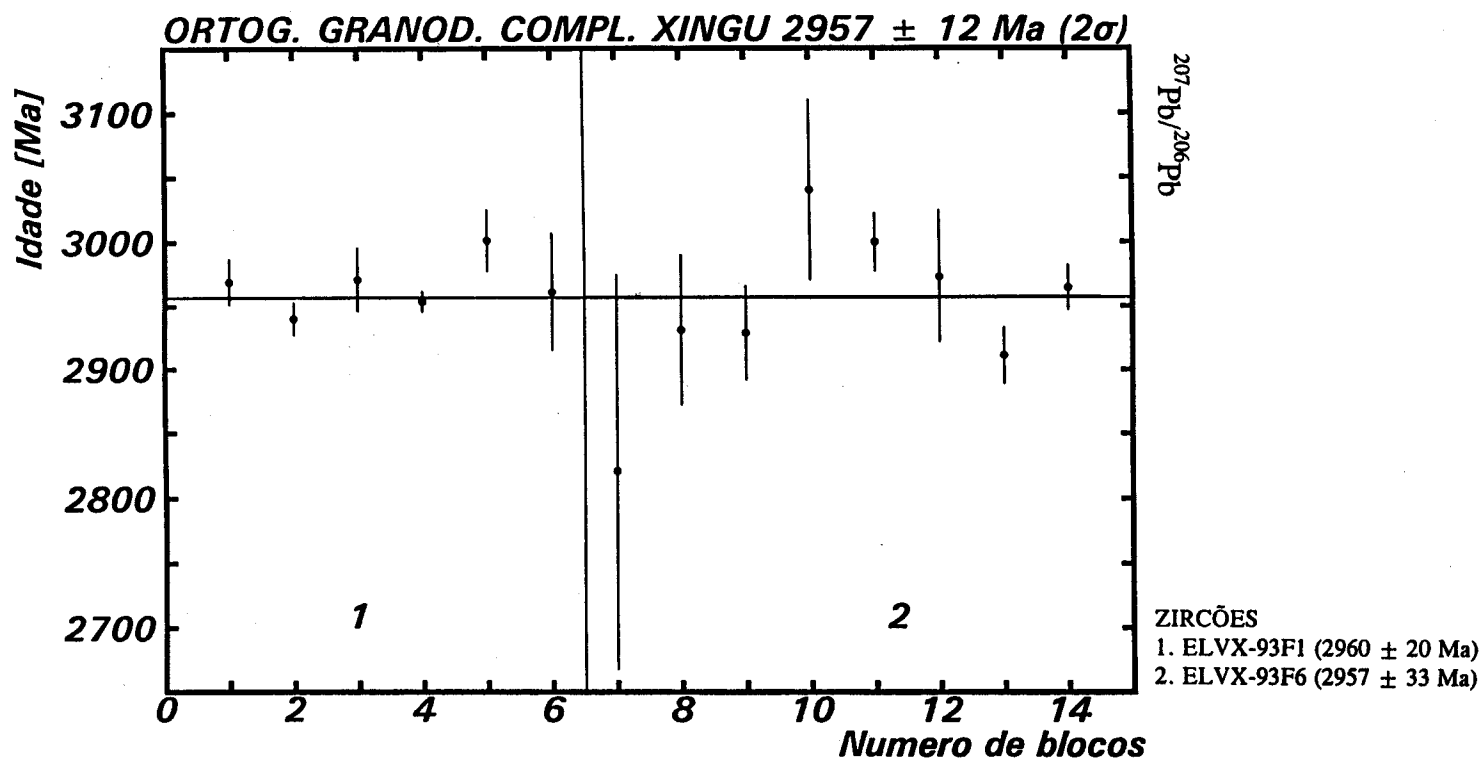


Figura 34 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, com os dados isotópicos Pb/Pb de dois zircões (ELVX-93F1 e ELVX-93F6) de rocha fresca do ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu.

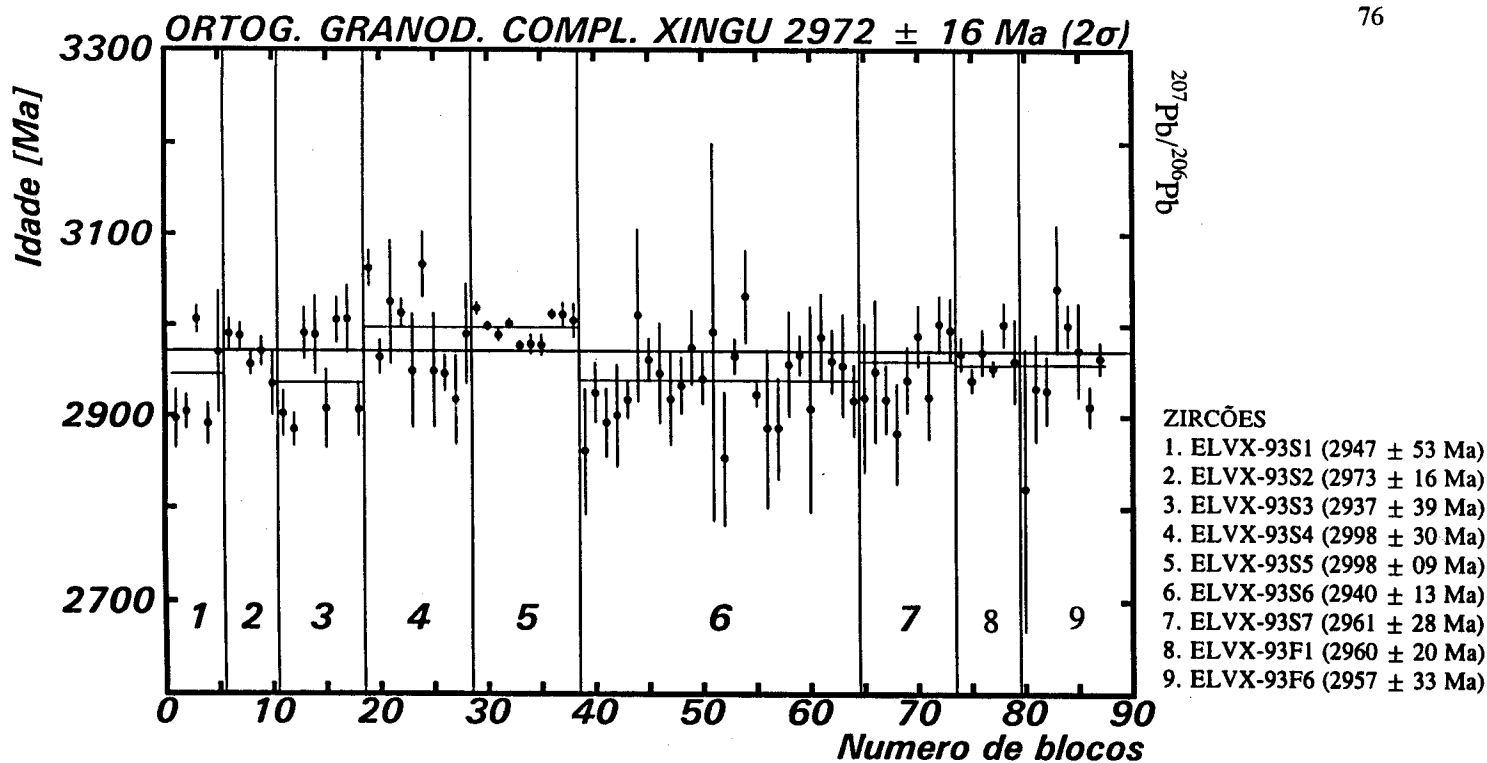


Figura 35 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos de 9 zircões (saprólito e rocha fresca), para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha ortognaíssica granodiorítica do Complexo Xingu.

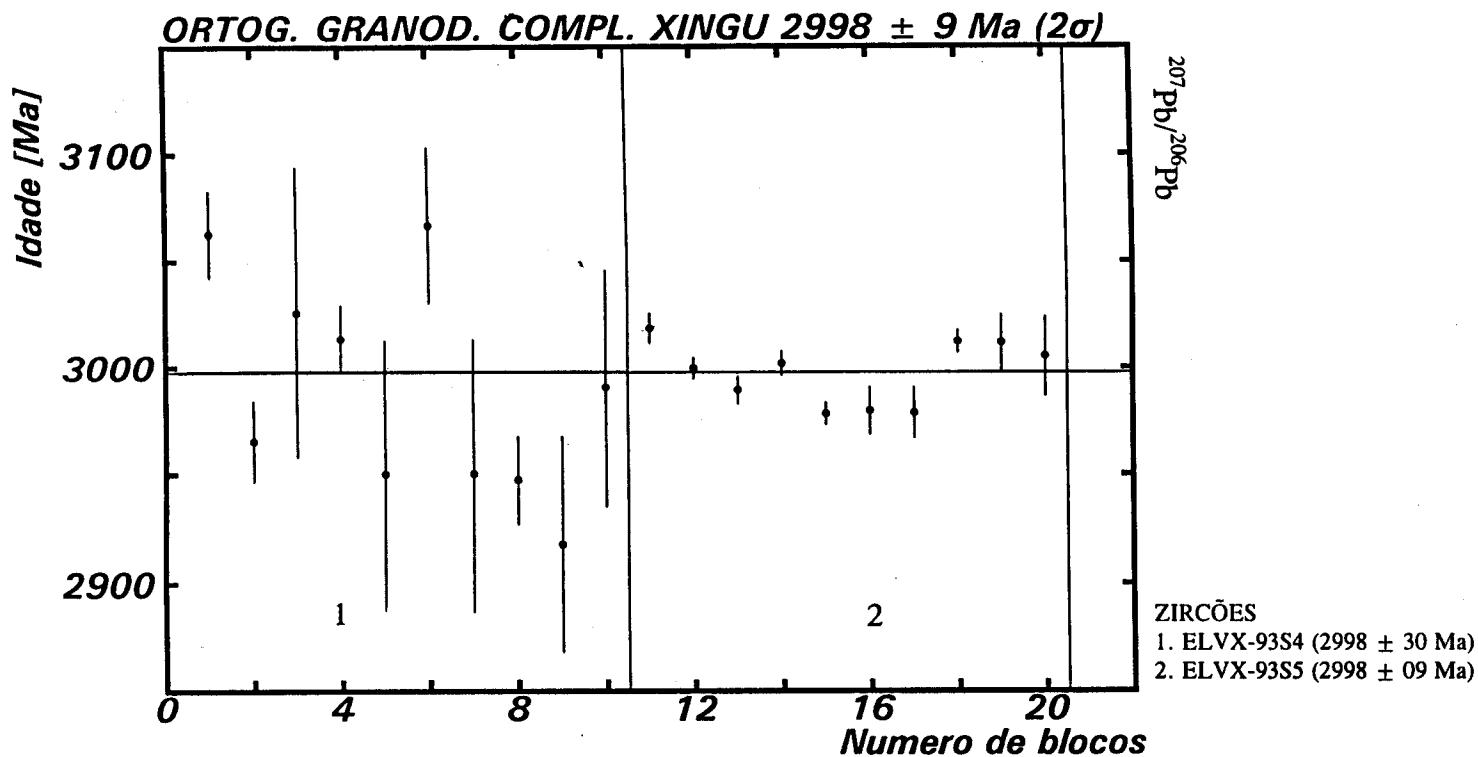


Figura 36 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para a determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2 zircões (ELVX-93S4 e ELVX-93S5) do ortognaíssico granodiorítico do Complexo Xingu, que forneceram dados isotópicos mais elevados que os demais zircões.

6.2.2- Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG)

Para a caracterização geocronológica de uma rocha granodiorítica pertencente ao granitóide do TGG, foi separado um conjunto de 21 zircões de rocha fresca e saprólito. As razões isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos mesmos encontram-se listadas no ANEXO B.

6.2.2.1- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de saprólito

Foi selecionado um conjunto de 8 zircões de saprólito, destinados a análise isotópica Pb/Pb, para a caracterização geocronológica do granodiorito. Tratam-se de zircões de coloração castanha, translúcidos a transparentes, com brilho adamantino e superfície ásperas. É comum a presença de pequenas bolhas transparentes (incolores) a opacas (preta), no interior desses cristais. Tratam-se de zircões automórficos, com tamanhos variados, apresentando por vezes bordas corroídas, (Figura 37). A Tabela 08 sumariza os dados isotópicos dos zircões. Após o tratamento estatístico dos espectros de idade de cada zircão, verifica-se que apenas 6 zircões forneceram mais de 5 blocos de razões isotópicas. Os espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ fornecidos por esses zircões foram reunidos no diagrama Idade/Ma versus número de blocos e definiram uma idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2851 ± 19 Ma, (Figura 38). No entanto, o zircão ELVTGG-93S1, apresenta os blocos de razões isotópicas, muito espalhados na vertical, não definindo portanto, um bom “platô”, apresentando por consequência, uma grande variação do erro sobre a idade (± 108 Ma). Por esse motivo, este zircão foi eliminado do cálculo final da idade da rocha.

A nova idade fornecida para a rocha granodiorítica, a partir dos 5 zircões de saprólito, após a eliminação do zircão anteriormente mencionado, foi de 2851 ± 21 Ma, com um total de 51 blocos de razões isotópicas (Figura 39).

6.2.2.2- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca

Os zircões desse tipo de material apresentam uma coloração castanha, têm brilho adamantino, variam de transparentes a translúcidos e possuem hábito prismático (bipiramidal). É comum a ocorrência de pequenas bolhas transparentes nesses zircões. São cristais automórficos a sub-automórficos, (Figura 40). Foi selecionado um conjunto de 13 zircões para análise isotópica, visando à determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ da rocha.

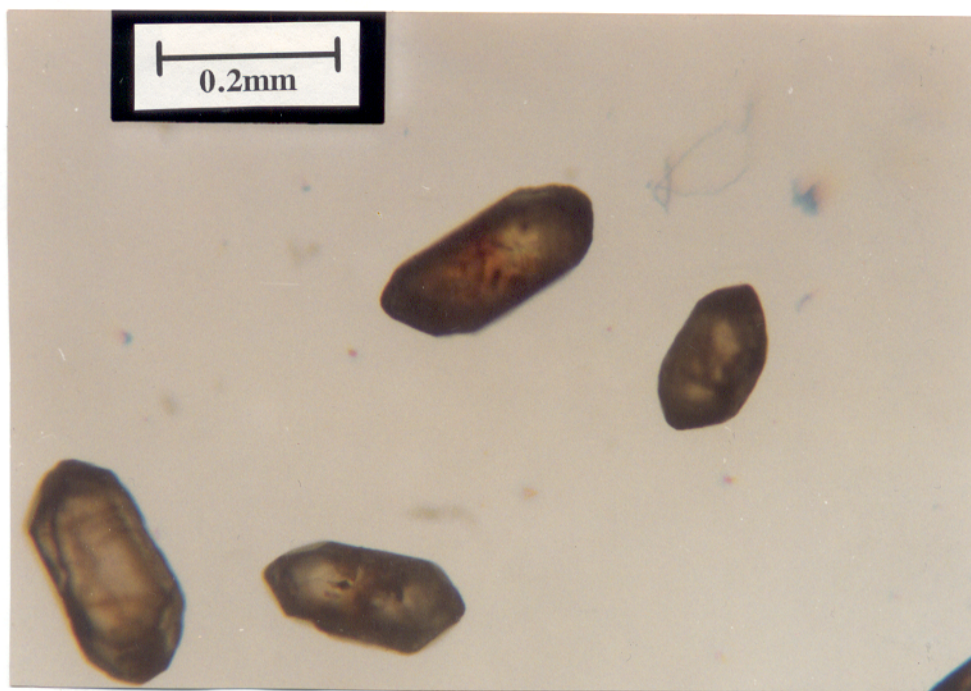


Figura 37 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG). São cristais castanhos, translúcidos, automórficos a sub-automórficos, com arestas levemente corroídas. Comumente aparecem bolhas transparentes e opacas no interior dos mesmos.

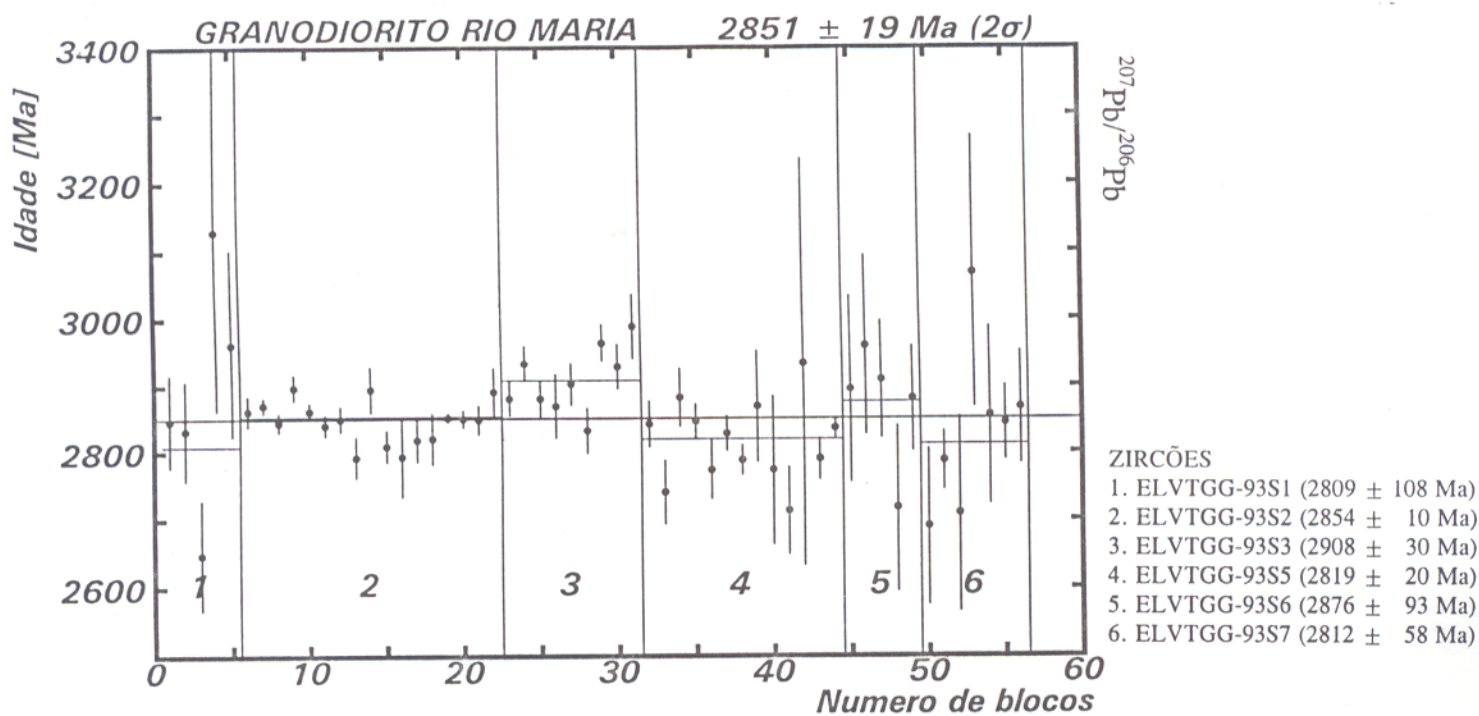


Figura 38 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 6 zircões de saprólito do Granodiorito Rio Maria.

Tabela 08 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG), região de Tucumã.

Zircão ⁽¹⁾	N° de Blocos Lidos	Blocos c/ ²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb > 4.10 ⁻⁴ ⁽²⁾	N° de Blocos Elimin. ⁽³⁾	N° Finais de Blocos	⁽²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb)c ⁽⁴⁾	2σ	Idade (Ma)	2σ	Zircões para o Cálculo da Idade ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
									Sim	Não
SAPRÓLITO										
ELVTGG-93S1	15	6	4	5	0.1963	0.0065	2809	108	X	
ELVTGG-93S2	20	0	3	17	0.2033	0.0006	2854	10	X	
ELVTGG-93S3	18	9	0	9	0.2100	0.0019	2908	30	X	
ELVTGG-93S4	6	2	0	4	0.1585	0.0252	2639	438		X
ELVTGG-93S5	21	1	7	13	0.1990	0.0012	2819	20	X	
ELVTGG-93S6	10	5	0	5	0.2055	0.0059	2876	93	X	
ELVTGG-93S7	17	9	1	7	0.1978	0.0035	2812	58	X	
ELVTGG-93S8	2	1	0	1	0.2027	0.0013	2848	21		X
ROCHA FRESCA										
ELVTGG-93F1	4	0	0	4	0.1981	0.0017	2811	28		X
ELVTGG-93F2	7	0	2	5	0.1902	0.0050	2752	85	X	
ELVTGG-93F3	3	1	0	2	0.1973	0.0036	2805	58		X
ELVTGG-93F4	5	4	0	1	0.1994	0.0033	2822	54		X
ELVTGG-93F5	14	0	7	7	0.2058	0.0008	2873	13	X	
ELVTGG-93F6	7	4	0	3	0.1987	0.0029	2817	49		X
ELVTGG-93F7	21	10	4	7	0.1833	0.0024	2685	43	X	
ELVTGG-93F8	11	2	3	6	0.1873	0.0040	2724	71	X	
ELVTGG-93F9	2	0	0	2	0.1707	0.0090	2573	182		X
ELVTGG-93F10	7	1	0	6	0.2013	0.0026	2839	42	X	
ELVTGG-93F11	11	1	4	6	0.2001	0.0008	2827	13	X	
ELVTGG-93F12	14	14	0	0	-	-	-	-		X
ELVTGG-93F13	8	5	0	3	0.1902	0.0017	2745	30		X

(1) : As letras S e F nos nomes dos zircões designam respectivamente cristais provenientes do saprólito e da rocha fresca.

(2) : Blocos eliminados devido a alta razão ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb (> 4.10⁻⁴)

(3) : Blocos eliminados para obtenção do "platô"

(4) : (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)c : razão isotópica corrigida do efeito da contaminação do Pb comum.

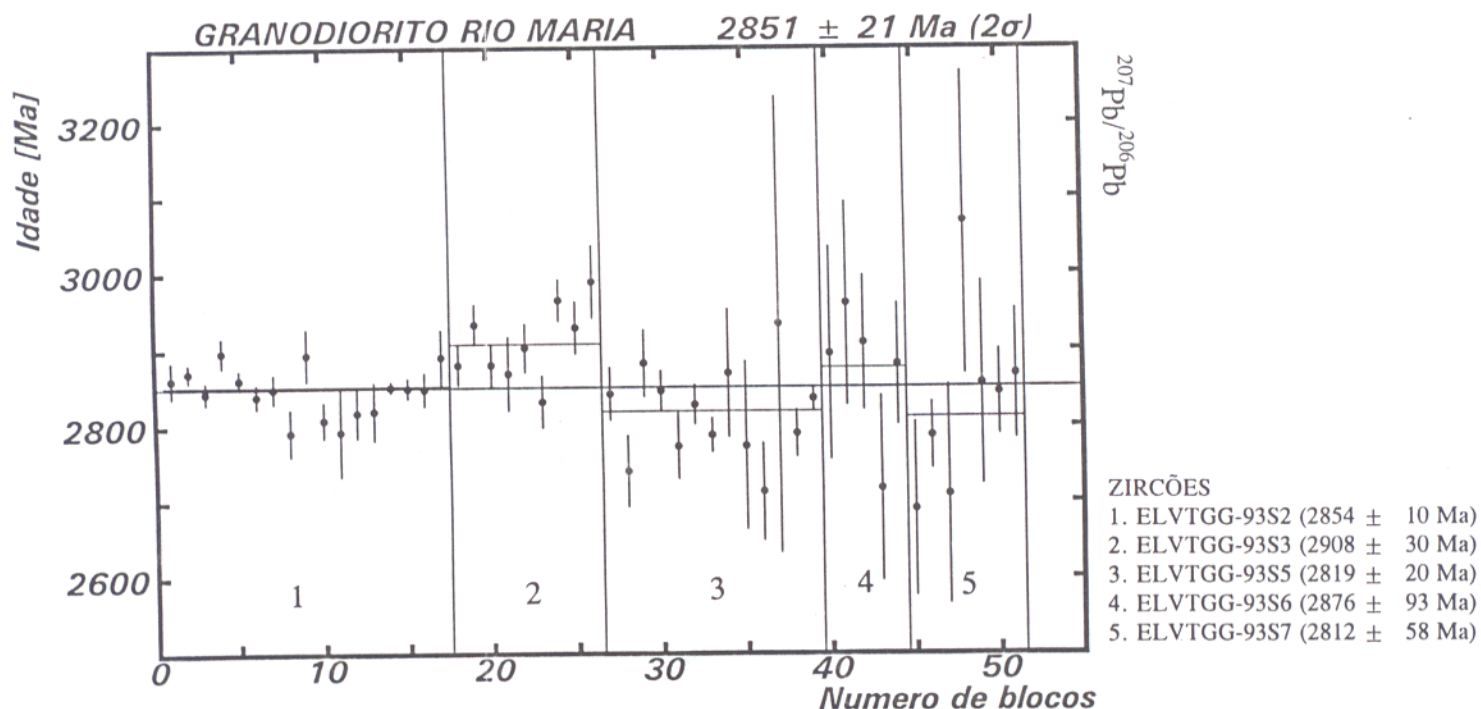


Figura 39 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 5 zircões de saprólito do granodiorito Rio Maria. Cálculo da idade sem o zircão ELVTGG-S1.



Figura 40 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria (granitóide do TGG). São cristais castanhos, translúcidos, automórficos a sub-automórficos, de tamanhos variáveis.

Após o tratamento individual dos espectros de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ desses zircões, constatou-se que apenas 5 zircões definiram um “platô” com mais de 5 blocos de razões isotópicas, (Tabela 08). Os espectros de idades dos 5 zircões, reunidos no diagrama Idade/Ma versus número de blocos, definiram uma idade de 2839 ± 39 Ma, com um total de 32 blocos de razões isotópicas (Figura 41). O zircão ELVTGG-93F2, apesar de possuir 5 blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, não define um “platô” e sim um “trend” crescente de idade, com o aumento de temperatura. Consequentemente esse zircão foi eliminado do cálculo da idade da rocha.

Os zircões ELVTGG-93F7 e ELVTGG-93F8, respectivamente com 7 e 6 blocos, visivelmente definem idades mais baixas em relação aos outros zircões. O cálculo em separado desses dois zircões forneceu uma idade de 2695 ± 37 Ma, (Figura 42). Essa idade é estatisticamente inferior a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ definida pelos zircões ELVTGG-93F5, ELVTGG-93F10 e ELVTGG-93F11, que foi de 2849 ± 32 Ma, com 19 blocos de razões isotópicas, (Figura 43). Apesar das semelhanças morfológicas entre esses cristais, optou-se pela eliminação dos zircões que forneceram valores isotópicos mais baixos, do cálculo da idade da rocha, os quais podem representar zircões que tiveram perda de Pb em relação aos demais, concorrendo diretamente para a diminuição da média de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos mesmos. Assim, a idade atribuída para a rocha granodiorítica, a partir da análise de zircões de rocha fresca é de 2849 ± 32 Ma, anteriormente mencionada, (Figura 43).

6.2.2.3- Determinação da Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha estudada

As idades de 2851 ± 21 Ma e 2849 ± 32 Ma, respectivamente definidas pelos zircões separados de saprólito e de rocha fresca do GRM são idênticas. O erro analítico, menor para o saprólito (± 21 Ma) em relação à rocha fresca (± 32 Ma), deve-se ao fato de que, na determinação da idade do primeiro, foram utilizados 5 zircões com 51 blocos de razões isotópicas, enquanto que para o segundo utilizou-se apenas 3 zircões, com apenas 19 blocos de razões.

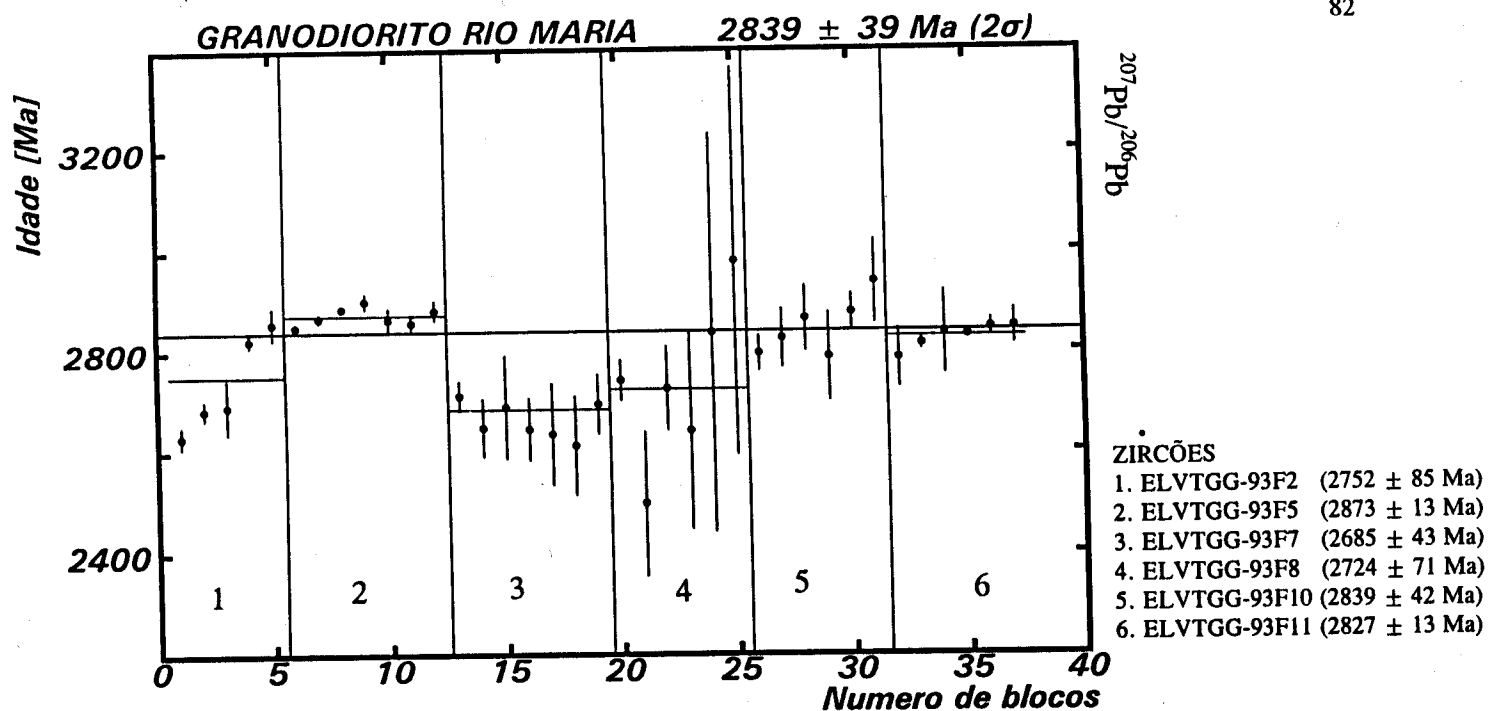


Figura 41 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, para obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 6 zircões de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria. Os zircões ELVTGG-93F7 e ELVTGG-93F8, fornecem idades inferiores aos demais zircões.

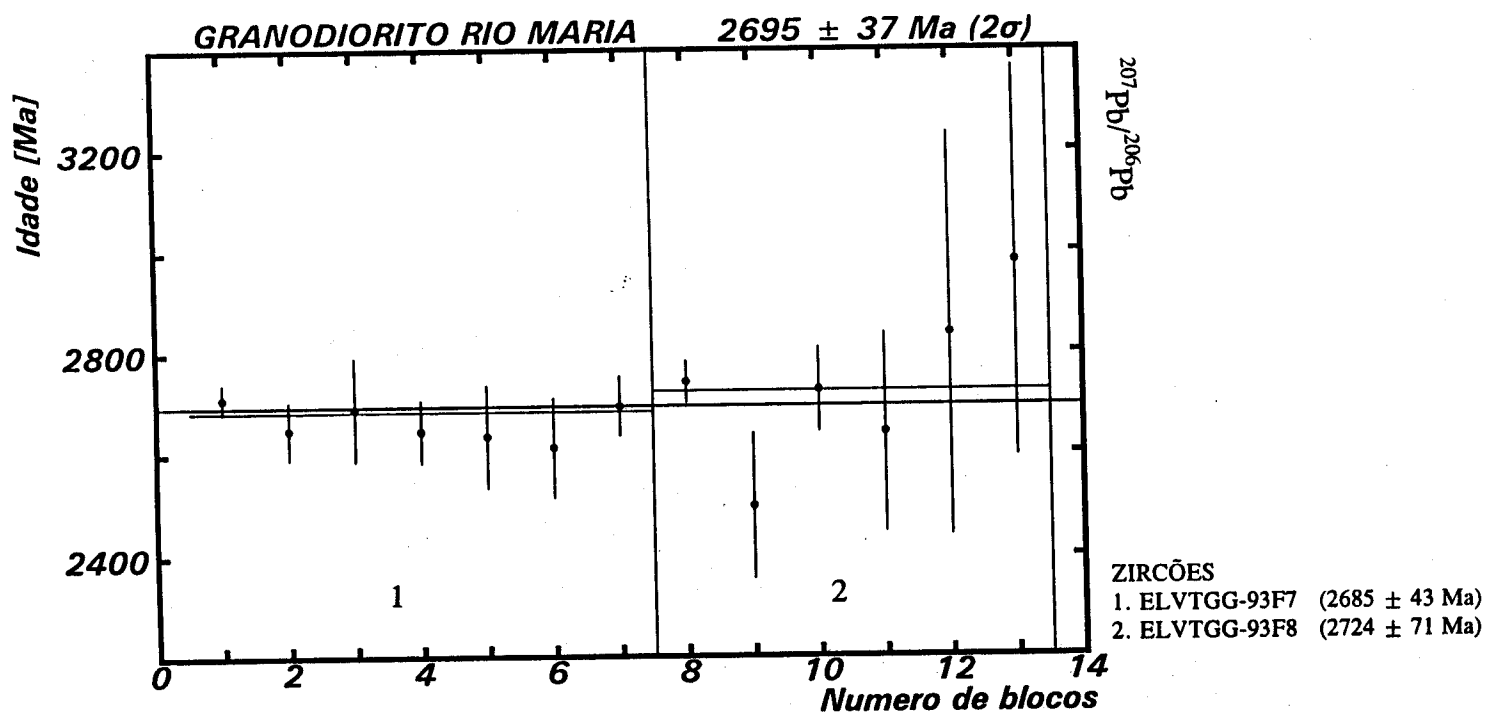


Figura 42 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção das informações isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de dois zircões (ELVTGG-93F7 e ELVTGG-93F8) de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria.

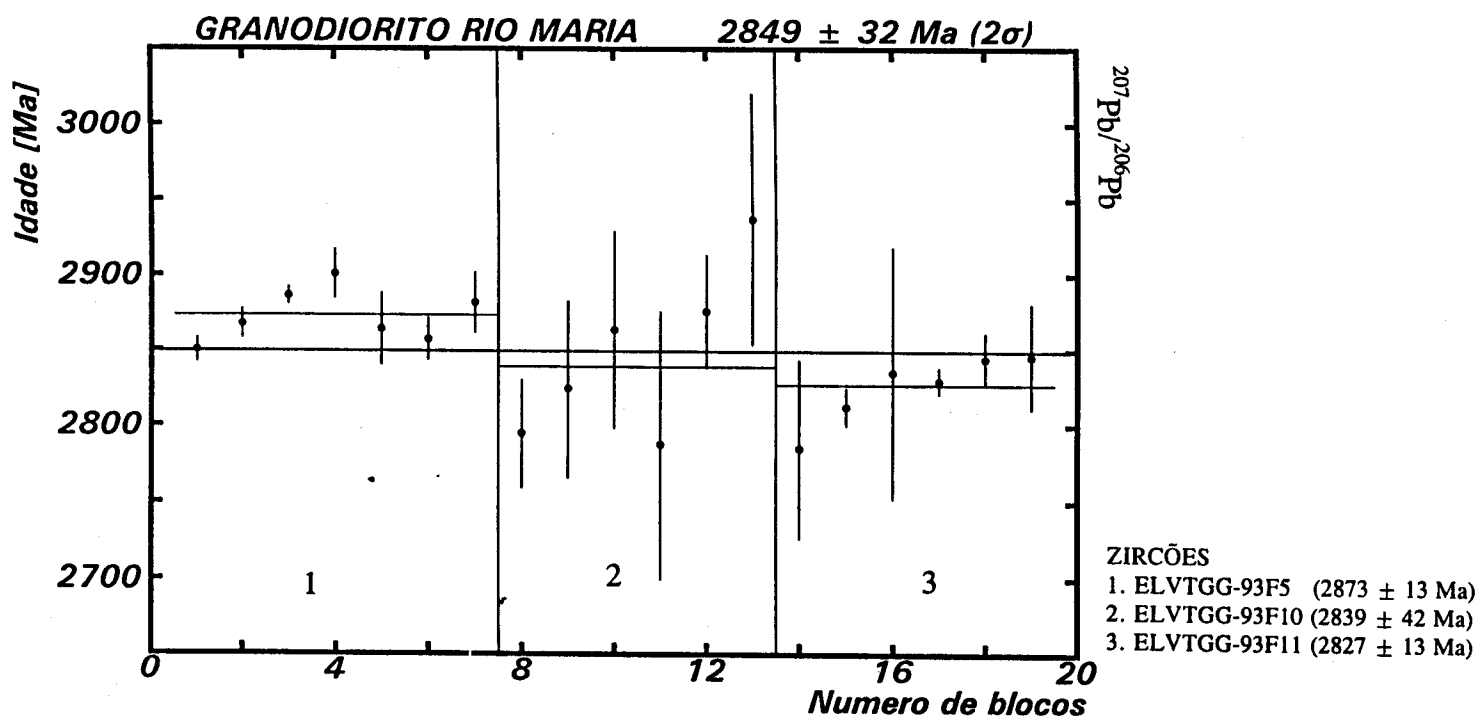


Figura 43 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção dos dados $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 3 zircões (ELVTGG-93F5, ELVTGG-93F10 e ELVTGG-9311), de rocha fresca do Granodiorito Rio Maria.

O cálculo estatístico dos espectros de idade dos 8 zircões (5 de saprólito e 3 de rocha fresca), no diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, definiu uma idade de 2850 ± 17 Ma, com um total de 70 blocos de razões isotópicas, para o GRM, (Figura 44). Nessa figura percebe-se que os zircões ELVTGG-93S3, ELVTGG-93S6 e ELVTGG-93F5, fornecem valores de idade mais elevada que os demais (Tabela 08). O cálculo da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ desses zircões definiu uma idade de 2879 ± 18 Ma, com 21 blocos de razões isotópicas (Figura 45). Essa é estatisticamente idêntica à idade definida pelo conjunto de zircões para a rocha granodiorítica (2850 ± 17 Ma).

6.2.3- Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê

Foi caracterizado pelo método Pb/Pb por evaporação, um conjunto de 23 zircões de saprólito e rocha fresca, separados de um corpo granítico pertencente a Suíte Plaquê. A maioria dos cristais emitiram sinais de Pb inadequados para o cálculo estatístico da idade (razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ elevadas, ANEXO C). Apenas 4 zircões (saprólito e rocha fresca), apresentaram número de blocos de razões isotópicas suficientes para o cálculo da idade. Uma maior quantidade de zircões com características morfológicas melhores, foram encontradas no saprólito.

6.2.3.1- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões do saprólito

Os zircões separados desse material são em sua maioria incolores, com alguns cristais apresentando coloração rosada a amarelada. São transparentes a translúcidos, com brilho adamantino e possuem superfície áspera. Comumente observam-se pequenas bolhas transparentes e opacas no interior dos mesmos. São cristais automórficos, com hábito prismático (bipiramidal) e de tamanho uniforme, (Figura 46).

Foi separado um conjunto de 14 zircões, visando à caracterização isotópica Pb/Pb da rocha granítica. Os resultados isotópicos desses zircões estão sumarizados na Tabela 09. Somente 3 zircões (ELVP-93S3, ELVP-93S8 e ELVP-93S10) forneceram mais de 5 blocos de razões isotópicas após o tratamento estatístico individual. Os espectros de idades desses zircões foram reunidos no diagrama Idade (Ma) versus número de blocos, onde definiram uma idade média de 2719 ± 21 Ma, com um total de 31 blocos de razões isotópicas, para o Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê (Figura 47).

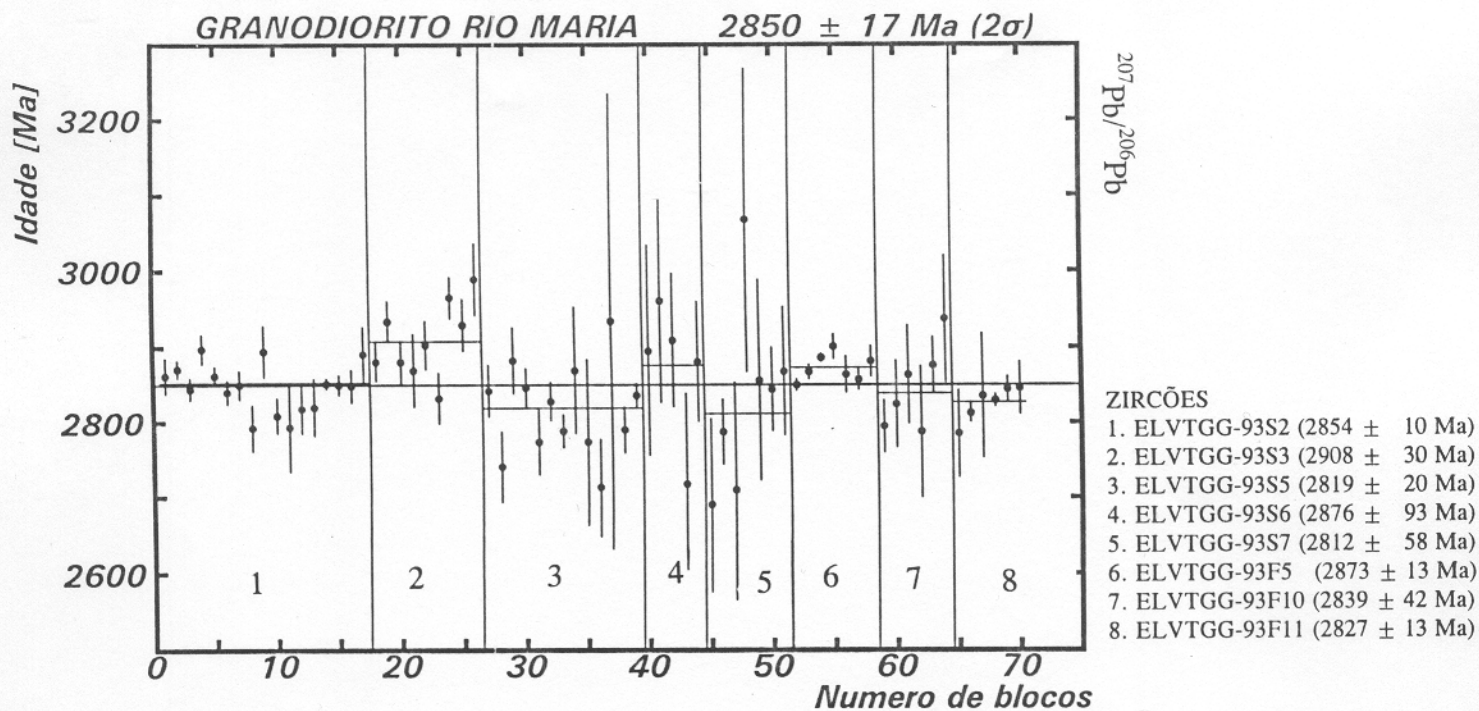


Figura 44 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final do Granodiorito Rio Maria, a partir do uso de 8 zircões (saprólito e rocha fresca). Notar que os zircões ELVTGG-93S3, ELVTGG-93S6 e ELVTGG-93F5 fornecem valores de idades mais altas que os demais.

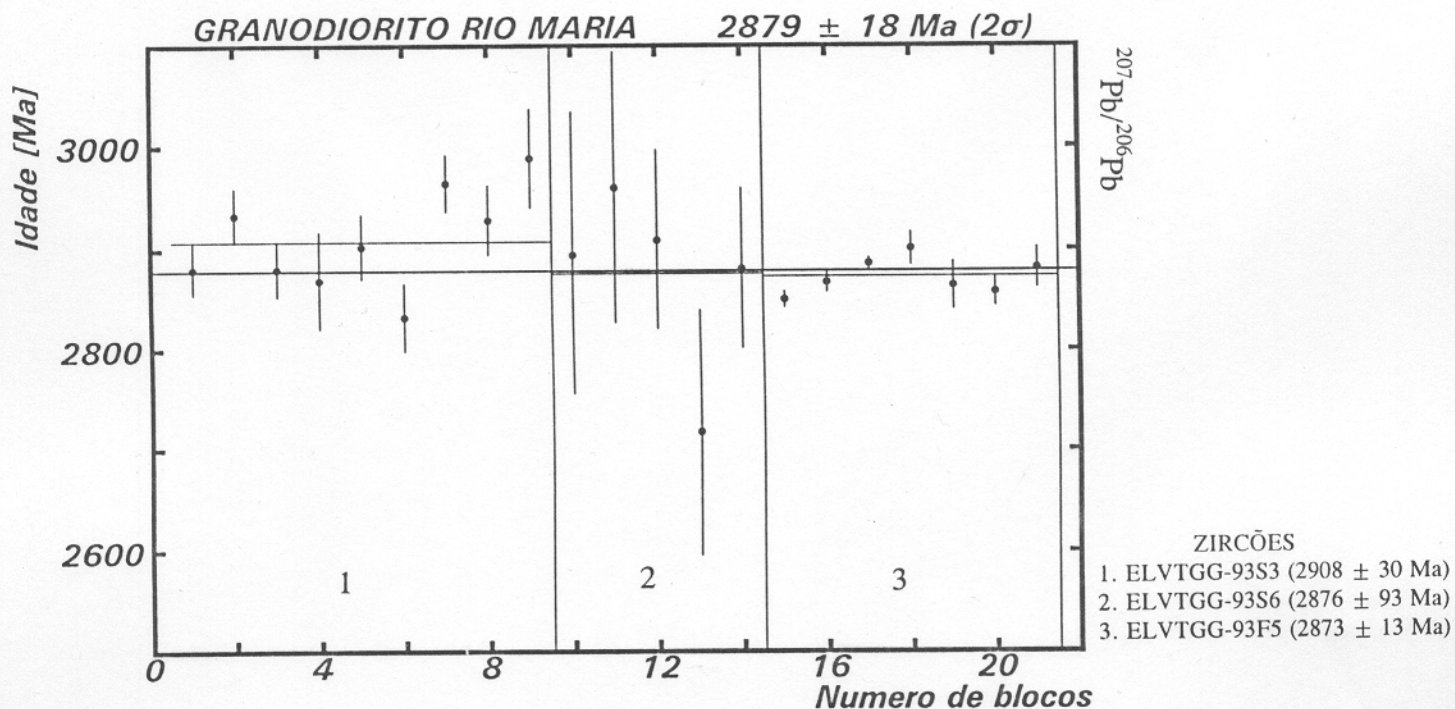


Figura 45 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 3 zircões (ELVTGG-93S3, ELVTGG-93S6 e ELVTGG-93F5) do Granodiorito Rio Maria.

Tabela 09 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granitóide Estratóide da Suíte Plaqué, região de Tucumã-Pa.

Zircão ⁽¹⁾	Nº de Blocos Lidos	Blocos c/ ²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb > 4.10 ⁻⁴ ⁽²⁾	Nº de Blocos Elimin. ⁽³⁾	Nº Finais de Blocos	⁽²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb)c ⁽⁴⁾	2σ	Idade (Ma)	2σ	Zircões para o Cálculo da Idade ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
									Sim	Não
SAPRÓLITO										
ELVP-93S1	8	8	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93S2	8	8	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93S3	9	4	0	5	0.1925	0.0052	2770	88	X	
ELVP-93S4	3	3	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93S5	7	7	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93S6	3	1	0	2	0.1911	0.0063	2752	108		X
ELVP-93S7	8	7	0	1	0.2033	0.0064	2853	103		X
ELVP-93S8	9	2	0	7	0.1916	0.0018	2758	31	X	
ELVP-93S9	2	1	0	1	0.2384	0.0222	3109	297		X
ELVP-93S10	25	3	3	19	0.1866	0.0006	2713	11	X	
ELVP-93S11	2	0	0	2	0.2143	0.0029	2938	44		X
ELVP-93S12	1	1	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93S13	29	24	1	4	0.1963	0.0022	2797	36		x
ELVP-93S14	6	6	0	0	-	-	-	-		X
ROCHA FRESCA										
ELVP-93F1	6	6	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93F2	5	1	0	4	0.1851	0.0013	2700	23		X
ELVP-93F3	2	1	0	1	0.1874	0.0064	2720	112		X
ELVP-93F4	1	1	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93F5	2	0	0	2	0.1999	0.0060	2827	98		X
ELVP-93F6	5	0	0	5	0.1938	0.0013	2776	22	X	
ELVP-93F7	6	2	0	4	0.1883	0.0014	2728	26		X
ELVP-93F8	3	3	0	0	-	-	-	-		X
ELVP-93F9	6	3	0	3	0.2032	0.0065	2858	97		X

(1) : As letras S e F nos nomes dos zircões designam respectivamente cristais provenientes do saprólito e da rocha fresca.

(2) : Blocos eliminados devido a alta razão ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb (> 4.10⁻⁴)

(3) : Blocos eliminados para obtenção do "platô" de idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb

(4) : (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)c : razão isotópica corrigida do efeito da contaminação por Pb comum

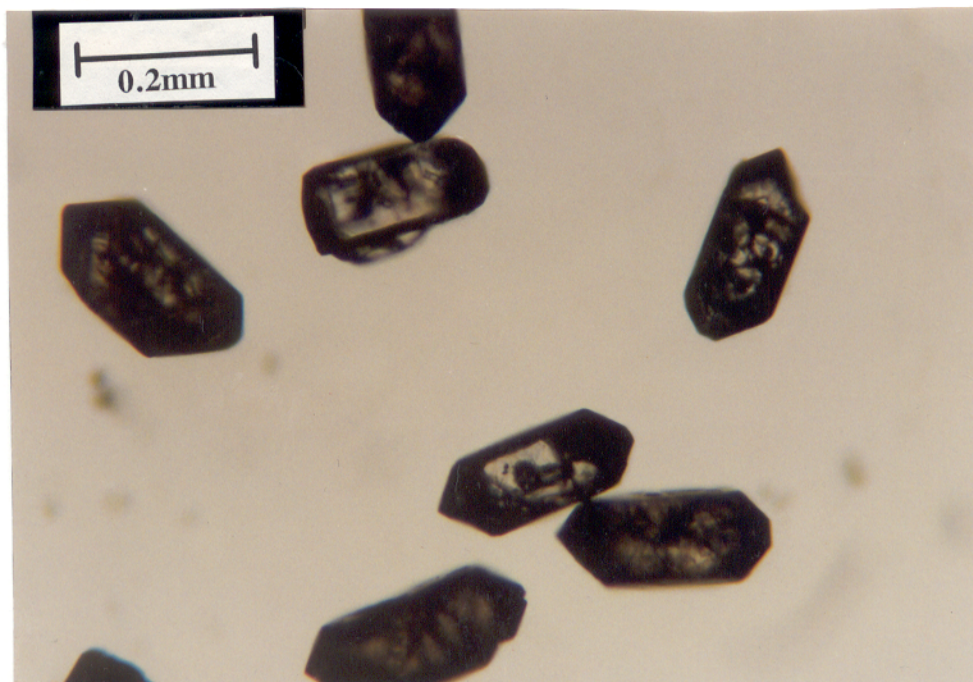


Figura 46 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê. São cristais castanhos, transparentes a translúcidos, automórficos, com inclusões de pequenas bolhas transparentes e opacas.

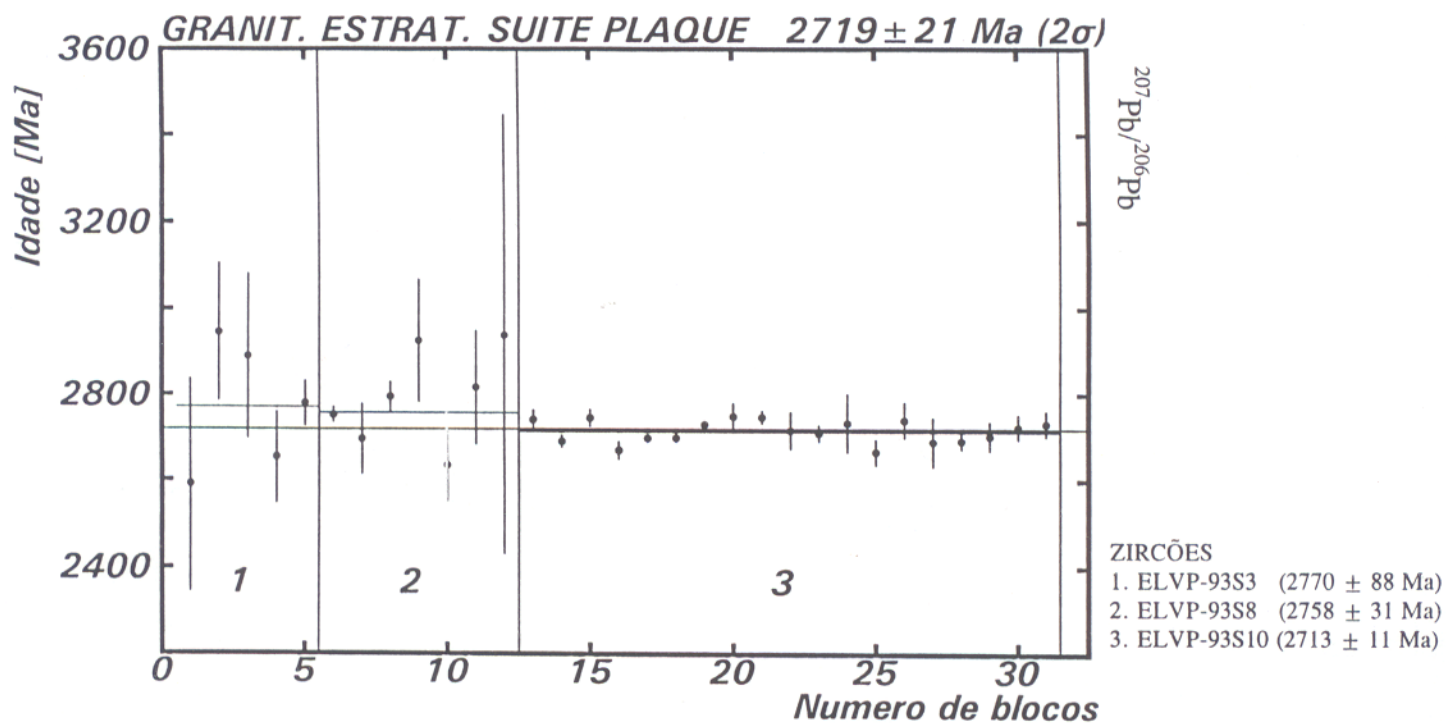


Figura 47 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 3 zircões de saprólito (ELVP-93S3, ELVP-93S8 e ELVP-93S10) do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê.

6.2.3.2- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões da rocha fresca

Os zircões de rocha fresca apresentam coloração castanho-clara a escura. São cristais translúcidos, com brilho adamantino e contêm comumente pequenas bolhas transparentes e opacas no seu interior. São cristais automórficos a sub-automórficos, com hábito prismático (bipiramidal), com alguns cristais apresentando as bordas corroídas, (Figura 48).

Um conjunto de 9 zircões foi separado da rocha fresca. Apenas 1 zircão (ELVP-93F6) forneceu 5 blocos de razões isotópicas. A idade definida para esse zircão foi de 2776 ± 22 Ma (Tabela 09).

6.2.3.3- Determinação da Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final do Granito Estratóide da Suíte Plaquê

Os espectros de idades dos 3 zircões de saprólito e do zircão de rocha fresca foram reunidos no diagrama Idade (Ma) versus número de blocos. A idade Pb/Pb definida para o Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê foi de 2729 ± 29 Ma, com 36 blocos de razões isotópicas, (Figura 49). O zircão 3 (ELVP-93S10) forneceu uma idade de 2713 ± 11 Ma (Tabela 09), portanto estatisticamente mais baixa que os demais (2770 ± 88 Ma; 2758 ± 31 Ma; 2776 ± 22 Ma). Entretanto, o mesmo foi mantido no cálculo final da idade da rocha, por ter apresentado uma leitura isotópica muito boa, com um número elevado de razões isotópicas (19 blocos), que definiram um bom platô. Tendo em vista seu baixo desvio sobre a idade, em relação aos outros zircões, os dados isotópico desse cristal concorrem diretamente para baixar a idade média final da rocha.

Com a exclusão do zircão acima citado, a idade definida pelos zircões ELVP-93S3, ELVP-93S8 e ELVP-93F6 foi de 2770 ± 18 Ma, com 17 blocos de razões, (Figura 50). Essa idade é estatisticamente idêntica a idade média definida pelo conjunto de 4 zircões (2729 ± 29 Ma). As implicações para a interpretação geológica da idade da rocha serão discutidas posteriormente.

6.2.4- Granito Seringa

Foi analisado um conjunto de 29 zircões (saprólito e rocha fresca), para a caracterização geocronológica Pb/Pb do Granito Seringa. As razões isotópicas obtidas durante análises desses zircões estão listadas no ANEXO D.

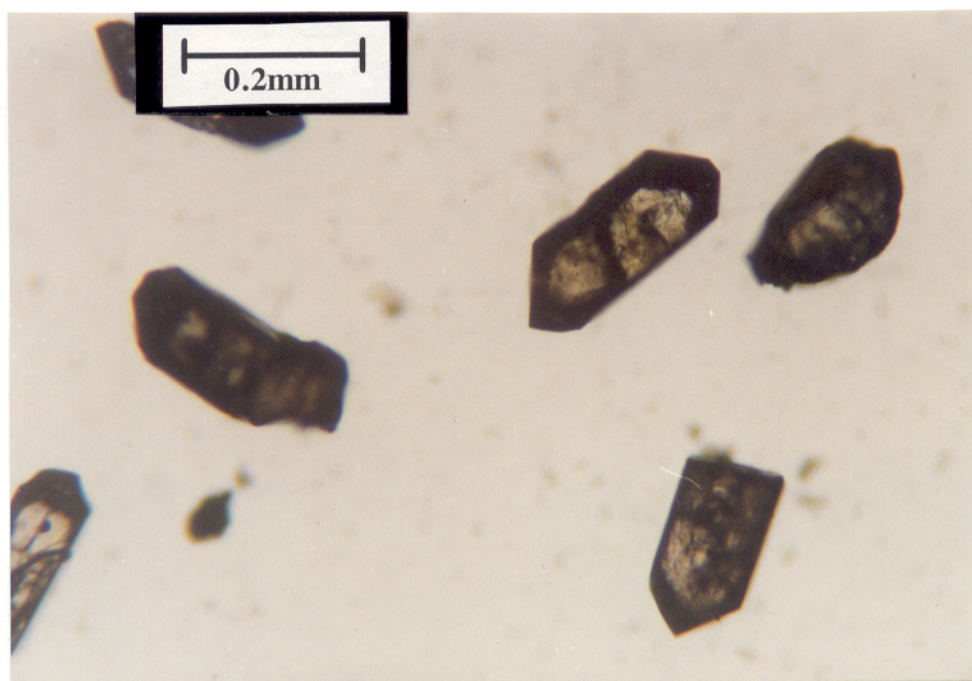


Figura 48 - Fotomicrografia dos zircões de rocha fresca do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê. São cristais castanhos, translúcidos, automórficos a sub-automórficos e fraturados internamente.

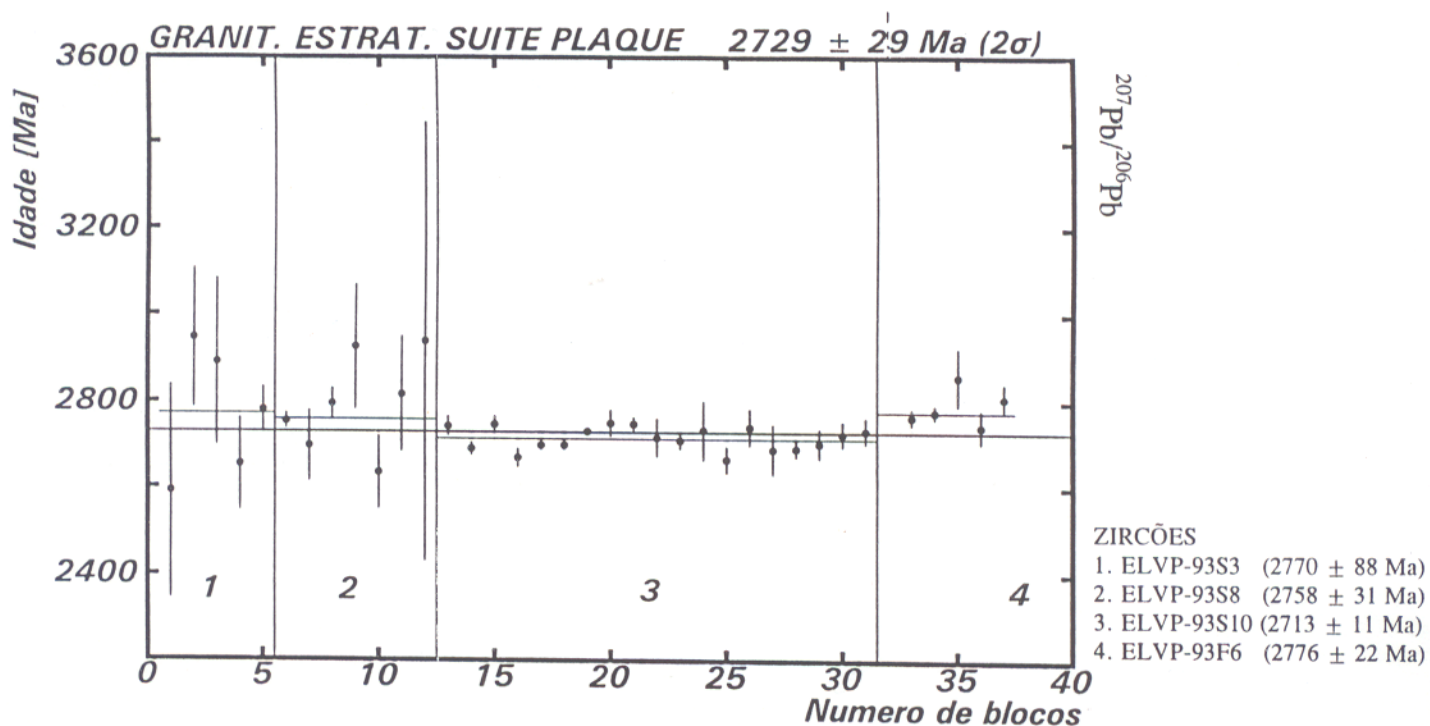


Figura 49 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final de 4 zircões (ELVP-93S3, ELVP-93S8, ELVP-93S10 e ELVP-93F6), do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê.

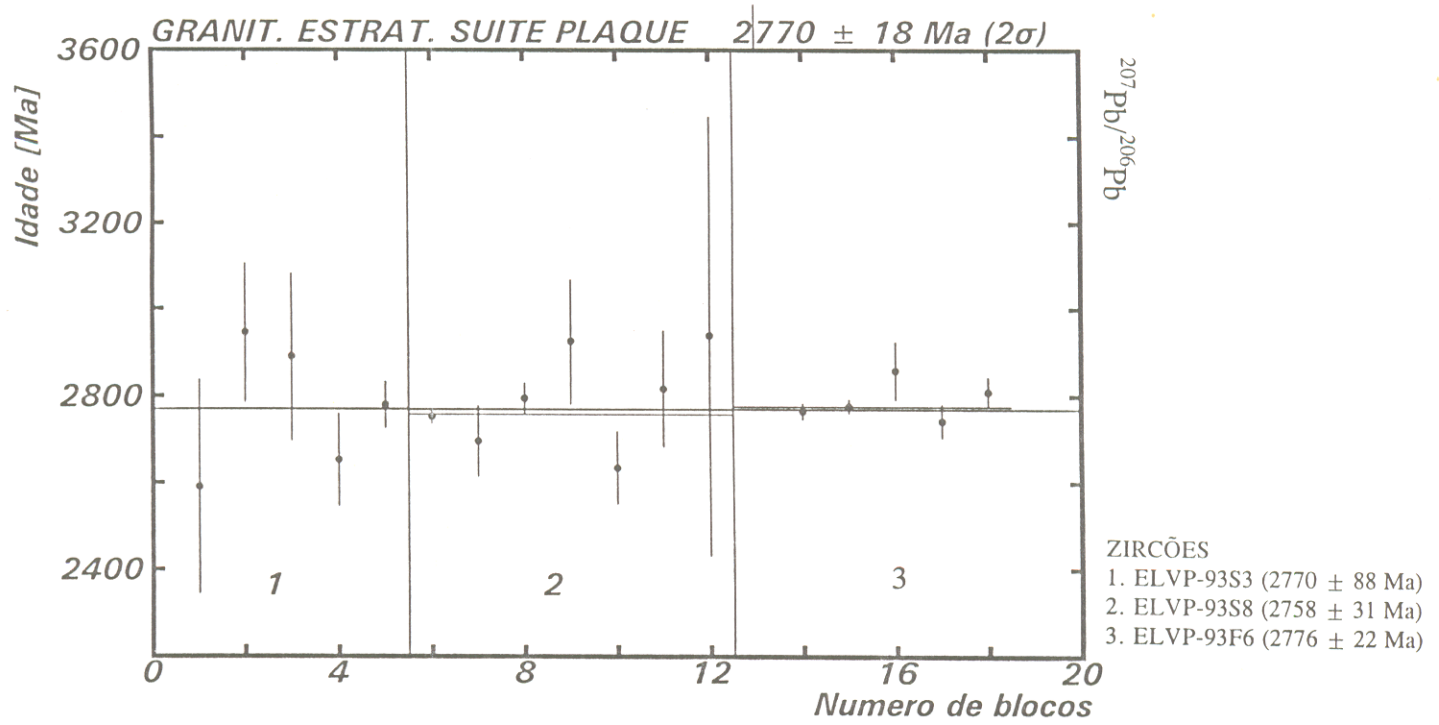


Figura 50 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para obtenção da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 3 zircões (ELVP-93S3, ELVP-93S8 e ELVP-93F6) do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê. Idade relativamente superior a idade definida para o conjunto de zircões da Figura 49.

6.2.4.1- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões do saprólito

São cristais predominantemente incolores, com boa transparência e contendo pequenas bolhas e cristais prismáticos transparentes no interior dos mesmos. São automórficos, com hábito prismático (bipiramidal) e arestas retas. Estes cristais são variáveis quanto à relação de tamanho, (Figura 51). Um conjunto de 20 zircões foi separado para análise isotópica Pb/Pb. Os resultados isotópicos fornecidos pelos mesmos encontram-se sumarizados na Tabela 10. Apenas 8 zircões apresentaram mais de 5 blocos de razões isotópicas após o tratamento individual. Os zircões ELVS-93S12 (6 blocos) e ELVS-93S18 (9 blocos) não definiram bons platôs de idades e por esse motivo foram eliminados do cálculo da idade final da rocha.

A reunião dos espectros de idades dos 6 zircões restantes no diagrama Idade/Ma versus número de blocos para avaliação da idade do corpo granítico, definiu uma idade de 1922 ± 42 Ma, com 58 blocos de razões isotópicas, (Figura 52). Nessa figura, bem como na Tabela 10, observa-se que os zircões ELVS-93S5 e ELVS-93S17 possuem idades mais elevadas que os demais zircões. Juntos esses zircões definem uma idade de 1997 ± 25 Ma, com 13 blocos de razões, (Figura 53), o que muito concorre para elevar a idade média fornecida por todos os zircões (1,92 Ga). Esses dois zircões, supostamente possuem componentes de Pb herdados em seu interior, daí a diferença estatística da idade. Por precaução esses zircões foram eliminados do cálculo final da idade.

Um novo cálculo da idade foi realizado, dessa feita utilizando-se apenas os 4 zircões restantes (ELVS-93S1, ELVS-93S2, ELVS-93S4 e ELVS-93S15) e a idade obtida para a rocha granítica foi de 1893 ± 15 Ma, com 45 blocos de razões isotópicas, (Figura 54).

6.2.4.2- Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de rocha fresca

Os zircões de rocha fresca do Granito Seringa apresentam-se incolores a amarelados. São cristais límpidos e transparentes, com brilho adamantino. São automórficos a sub-automórficos, com hábitos prismáticos (bipiramidais) e arestas retas. Quanto à relação de tamanho, são cristais relativamente uniformes, (Figura 55).

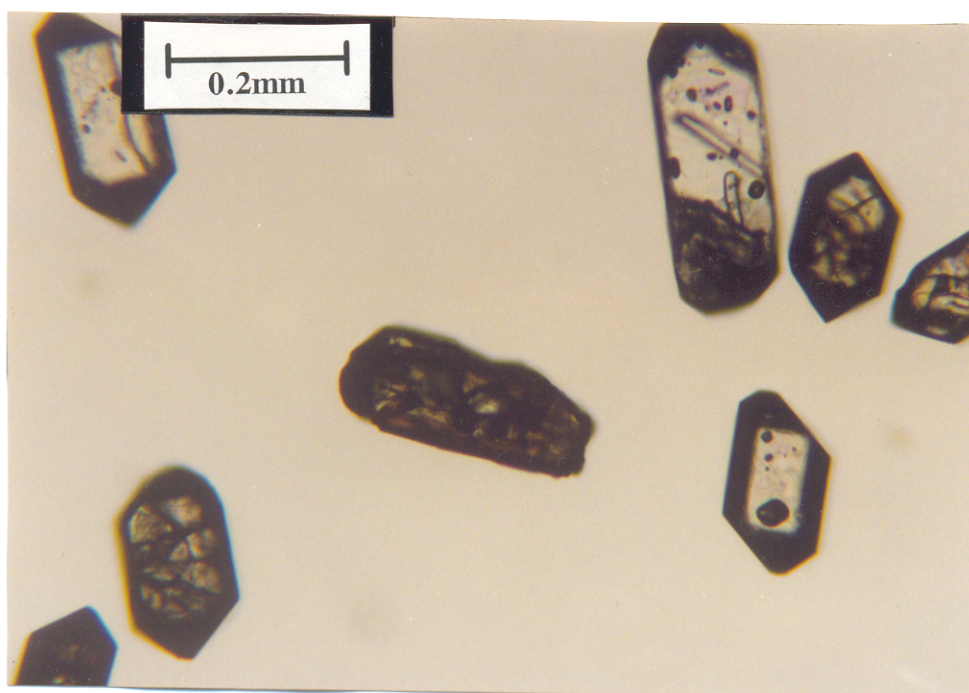


Figura 51 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granito Seringa. São zircões castanho claro, transparentes, automórficos, bipiramidais, com ocorrências de inclusões (bolhas) transparentes e opacas.

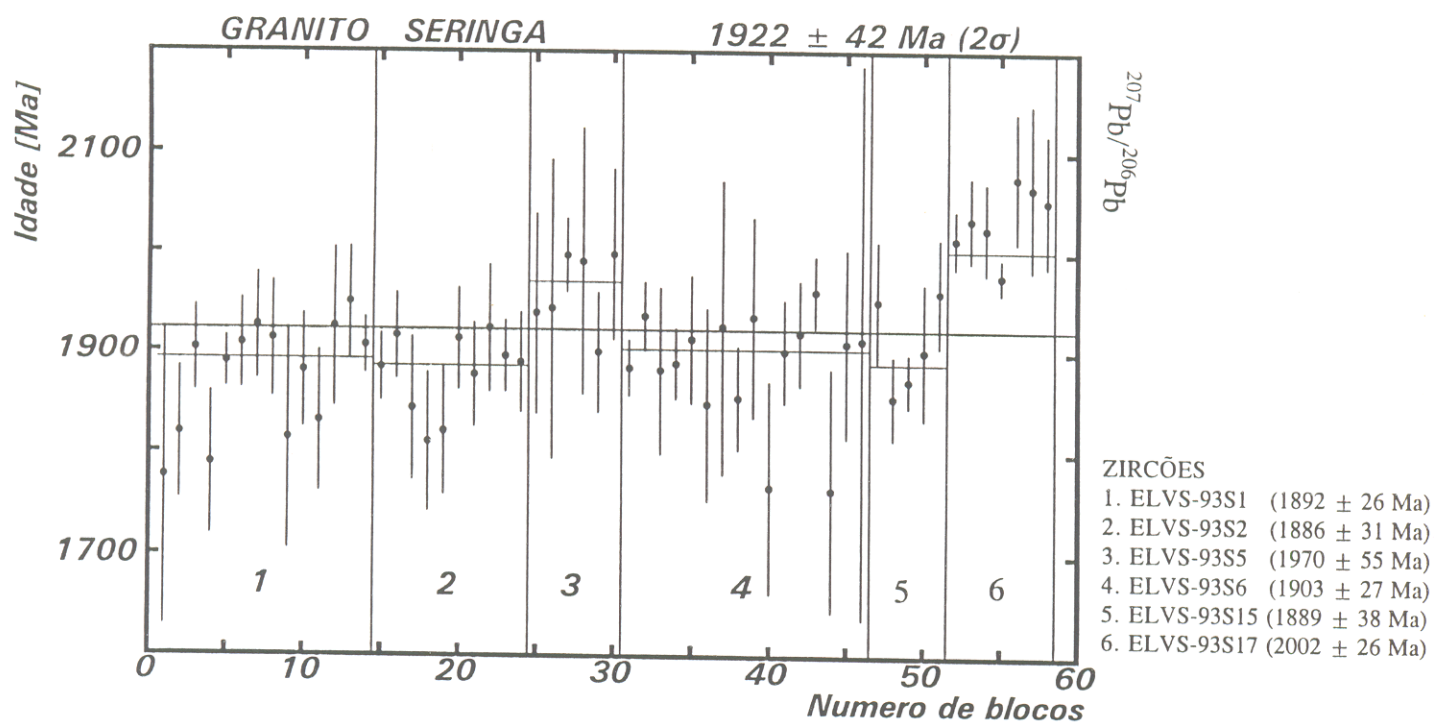


Figura 52 - Diagrama Idade (ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 6 zircões de saprólito do Granito Seringa. Os zircões ELVS-93S5 e ELVS-93S17 fornecem dados isotópicos superiores aos demais.

Tabela 10 - Resultados isotópicos Pb/Pb por evaporação dos zircões de saprólito e de rocha fresca do Granito Seringa.

Zircão ⁽¹⁾	Nº de Blocos Lidos	Blocos c/ ²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb > 4.10 ⁻⁴ ⁽²⁾	Nº de Blocos Elimin. ⁽³⁾	Nº Finais de Blocos	⁽²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb)c ⁽⁴⁾	2σ	Idade (Ma)	2σ	Zircões para o Cálculo da Idade ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
									Sim	Não
SAPRÓLITO										
ELVS-93S1	34	16	4	14	0.1157	0.0008	1892	26	X	
ELVS-93S2	28	15	3	10	0.1153	0.0010	1886	31	X	
ELVS-93S3	10	9	0	1	0.1119	0.0025	1830	83		X
ELVS-93S4	3	0	0	3	0.1095	0.0021	1793	71		X
ELVS-93S5	20	14	0	6	0.1208	0.0019	1970	55	X	
ELVS-93S6	32	8	8	16	0.1163	0.0009	1903	27	X	
ELVS-93S7	3	3	0	0	-	-	-	-		X
ELVS-93S8	13	11	0	2	0.1121	0.0022	1835	71		X
ELVS-93S9	3	3	0	0	-	-	-	-		X
ELVS-93S10	19	15	0	4	0.1189	0.0014	1940	42		X
ELVS-93S11	7	6	0	1	0.1168	0.0036	1908	109		X
ELVS-93S12	22	16	0	6	0.1112	0.0029	1826	93	X	
ELVS-93S13	14	12	0	2	0.1269	0.0161	2016	439		X
ELVS-93S14	8	8	0	0	-	-	-	-		X
ELVS-93S15	14	9	0	5	0.1155	0.0012	1889	38	X	
ELVS-93S16	13	11	0	2	0.1149	0.0045	1884	139		X
ELVS-93S17	21	11	3	7	0.1231	0.0009	2002	26	X	
ELVS-93S18	14	4	1	9	0.1095	0.0008	1793	27	X	
ELVS-93S19	9	8	0	1	0.1133	0.0034	1853	108		X
ELVS-93S20	4	4	0	0	-	-	-	-		X
ROCHA FRESCA										
ELVS-93F1	6	4	0	2	0.1283	0.0045	2078	124		X
ELVS-93F2	4	3	0	1	0.1269	0.0063	2056	174		X
ELVS-93F3	5	4	0	1	0.1298	0.0042	2096	113		X
ELVS-93F4	5	4	0	1	0.1337	0.0094	2147	245		X
ELVS-93F5	8	5	0	3	0.1160	0.0032	1900	100		X
ELVS-93F6	13	2	6	5	0.1122	0.0006	1836	21	X	
ELVS-93F7	2	2	0	0	-	-	-	-		X
ELVS-93F8	4	4	0	0	-	-	-	-		X
ELVS-93F9	2	1	0	1	0.1202	0.0118	1959	350		X

(1) : As letras S e F nos nomes dos zircões designam respectivamente cristais provenientes do saprólito e da rocha fresca.

(2) : Blocos eliminados devido a alta razão ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb (> 4.10⁻⁴)

(3) : Blocos eliminados para obtenção do “platô” de idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb

(4) : (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)c : razão isotópica corrigida do efeito da contaminação do Pb comum

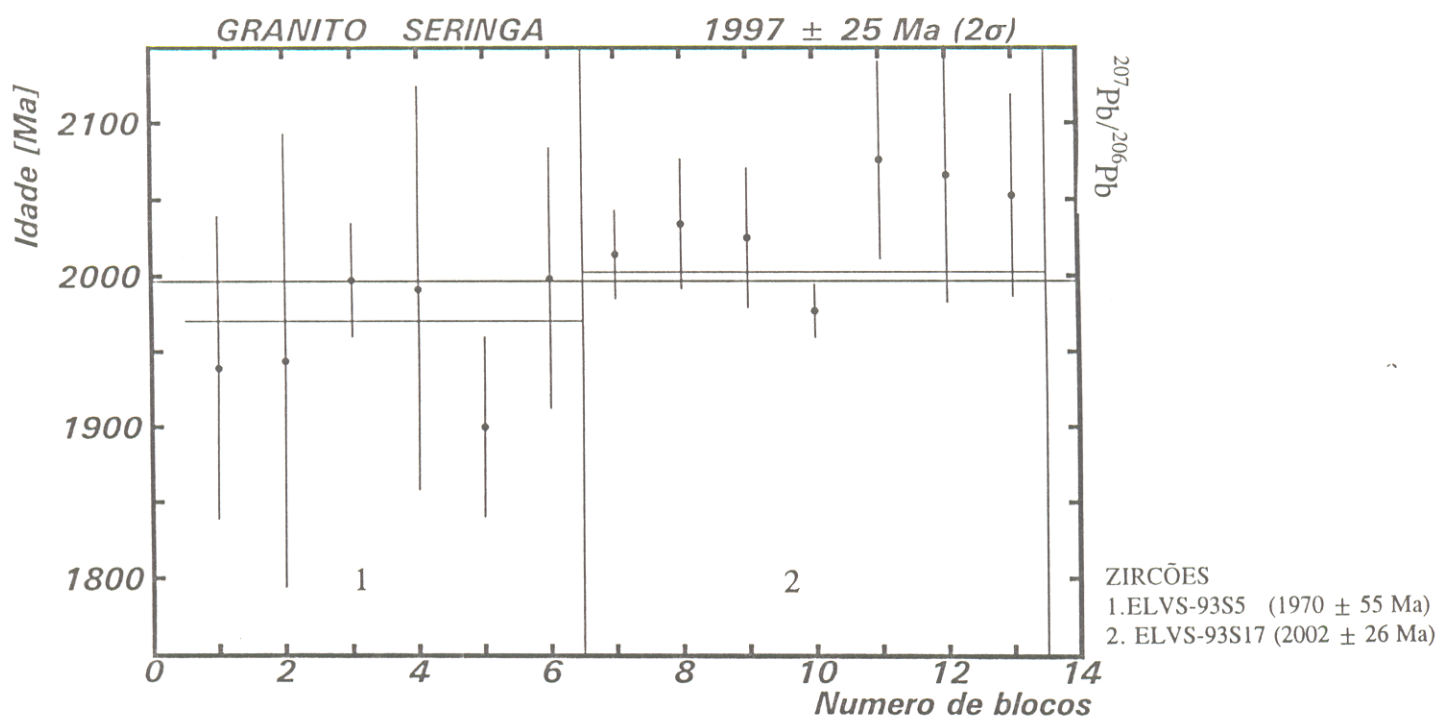


Figura 53 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2 zircões (ELVS-93S5 e ELVS-93S17) de saprólito do Granito Seringa.

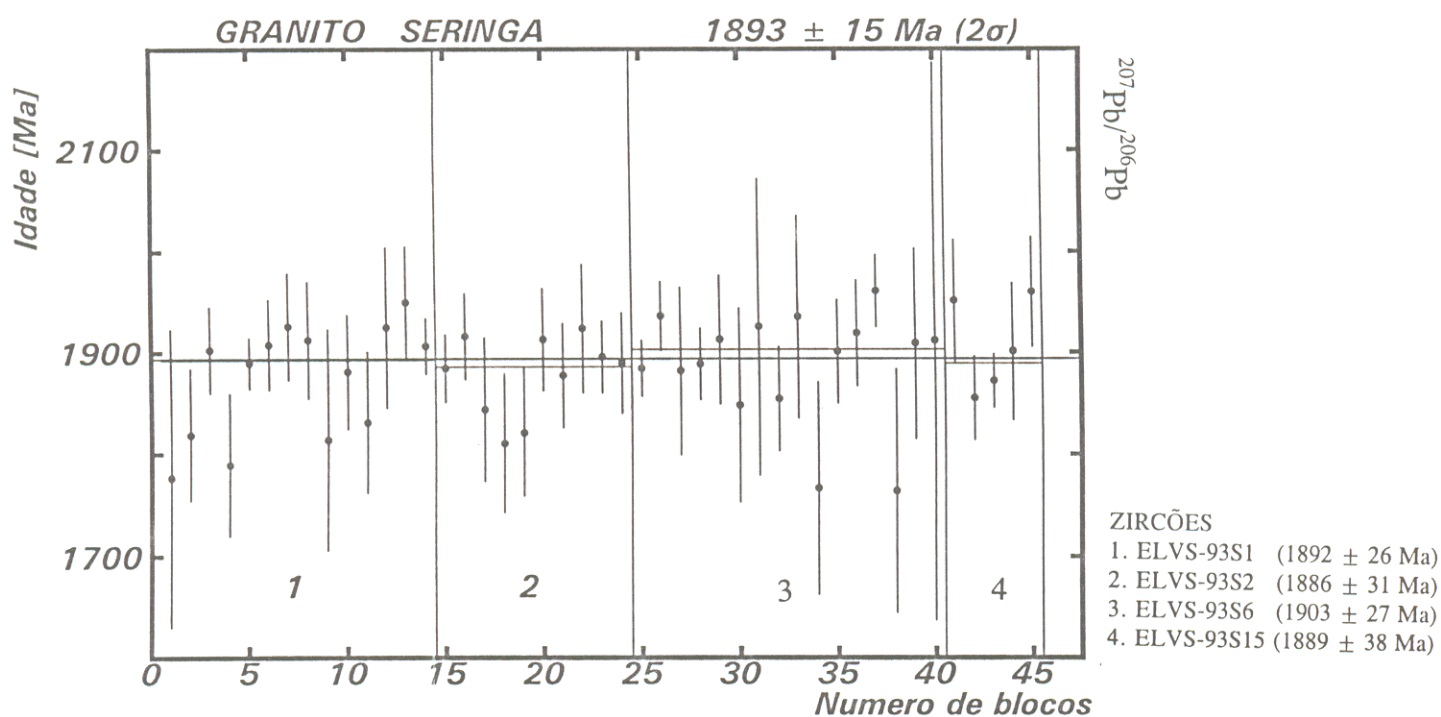


Figura 54 - Diagrama Idade (Ma) versus número de blocos para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 4 zircões de saprólito (ELVS-93S1, ELVS-93S2, ELVS-93S4 e ELVS-93S15) do Granito Seringa.

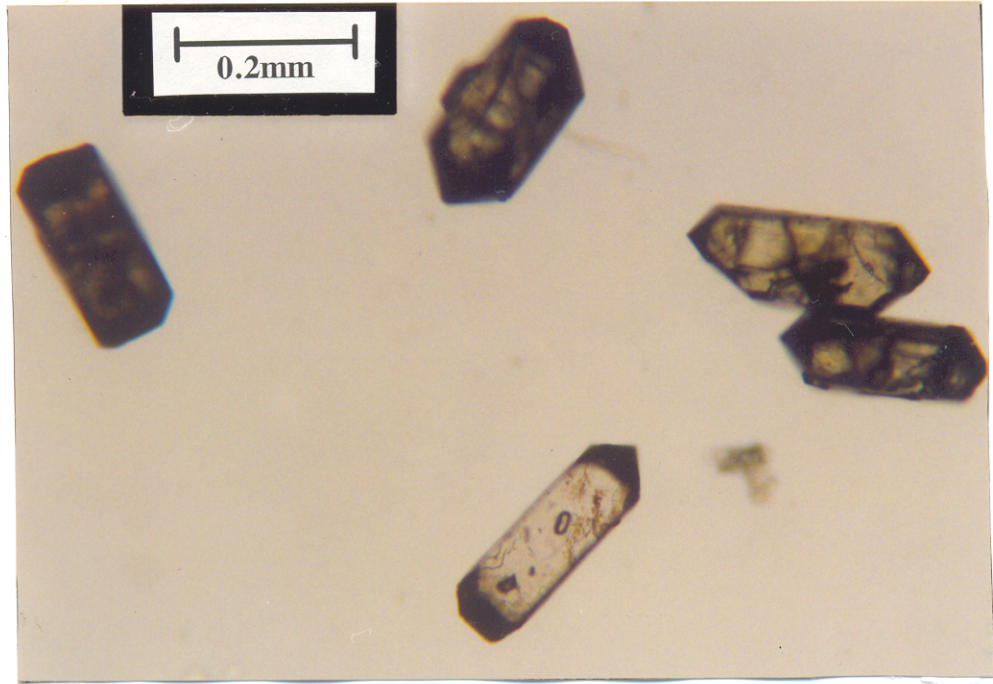


Figura 55 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granito Seringa. Cristais transparentes, castanhos, automórficos a sub-automórficos, prismáticos e uniformes quanto ao tamanho.

Foi selecionado um conjunto de 9 cristais de zircões de rocha fresca, para a caracterização geocronológica $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ do Granito Seringa. As razões isotópicas desses cristais estão listadas no ANEXO D. Apenas 1 zircão (ELVS-93F6) forneceu mais de 5 blocos de razões isotópicas, e essas razões definiram uma idade de 1836 ± 21 Ma para esse zircão, (Tabela 10). Os blocos de razões isotópicas desse zircão ficaram muito dispersos, não definindo um bom platô. Portanto por conveniência, esse dado não será utilizado para o cálculo da idade final da rocha.

6.2.4.3 - Determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha do corpo Granítico Seringa

Em virtude de se ter eliminado os dados isotópicos do zircão de rocha fresca para efeito da obtenção do cálculo da idade da rocha granítica, fica estabelecida que a idade final dessa rocha é a mesma obtida a partir dos 4 zircões de saprólito, separados dessa rocha, ou seja, de 1893 ± 15 Ma, com um total de 45 blocos de razões isotópicas, (Figura 54).

6.2.5 - Granito Velho Guilherme

O uso do método Pb/Pb por evaporação de zircão para determinação da idade do Granito Velho Guilherme, mostrou-se pouco eficaz, tanto para os zircões de saprólito, como de rocha fresca. No total, um conjunto de 39 zircões dessa rocha foi analisado, dos quais somente 4 forneceram um sinal de Pb suficiente para a determinação das razões isotópicas. Uma das características mais marcantes denotadas por esses cristais, é além do reduzido número de razões isotópicas Pb/Pb, o valor da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ bastante elevado (> 0.0004), (ANEXO G). Isso dificultou a obtenção de dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dessa rocha.

Os zircões de material saprolítico apresentam uma coloração castanho-avermelhada, com grau de transparência variando de translúcido a opaco. São cristais sub-automórficos, com tamanhos variados (Figura 56). Foi analisado pelo método Pb/Pb por evaporação, um conjunto de 21 cristais oriundos desse material, dos quais nenhum forneceu informações isotópicas.

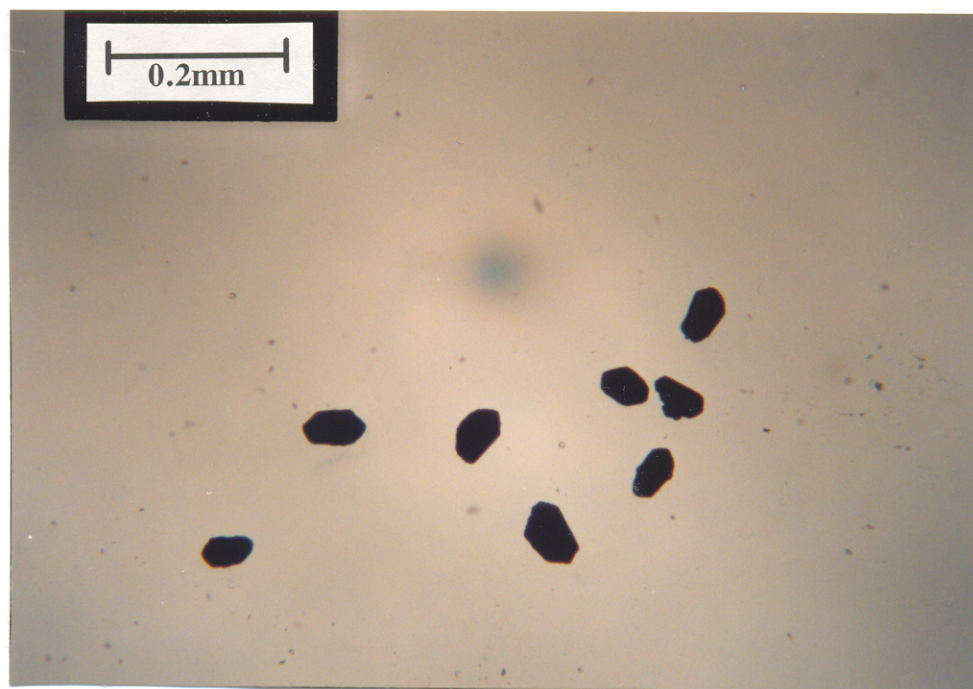


Figura 56 - Fotomicrografia de zircões de saprólito do Granito Velho Guilherme. São cristais translúcidos a opacos, castanho-avermelhados, sub-automórficos, de tamanhos variados.

Os zircões de rocha fresca são geralmente translúcidos e apresentam coloração avermelhada, com brilho adamantino e superfície áspera. Variam desde cristais automórficos a sub-automórficos. Quanto ao tamanho são cristais relativamente compridos, (Figura 57). Foi analisado um conjunto de 18 zircões desse material, e somente 4 cristais forneceram algumas informações isotópicas Pb/Pb (ANEXO E), porém todas inadequadas ao cálculo estatístico da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ do Granito Velho Guilherme, em virtude do elevado valor da razão $^{204}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. ($\gg 4 \cdot 10^{-4}$).

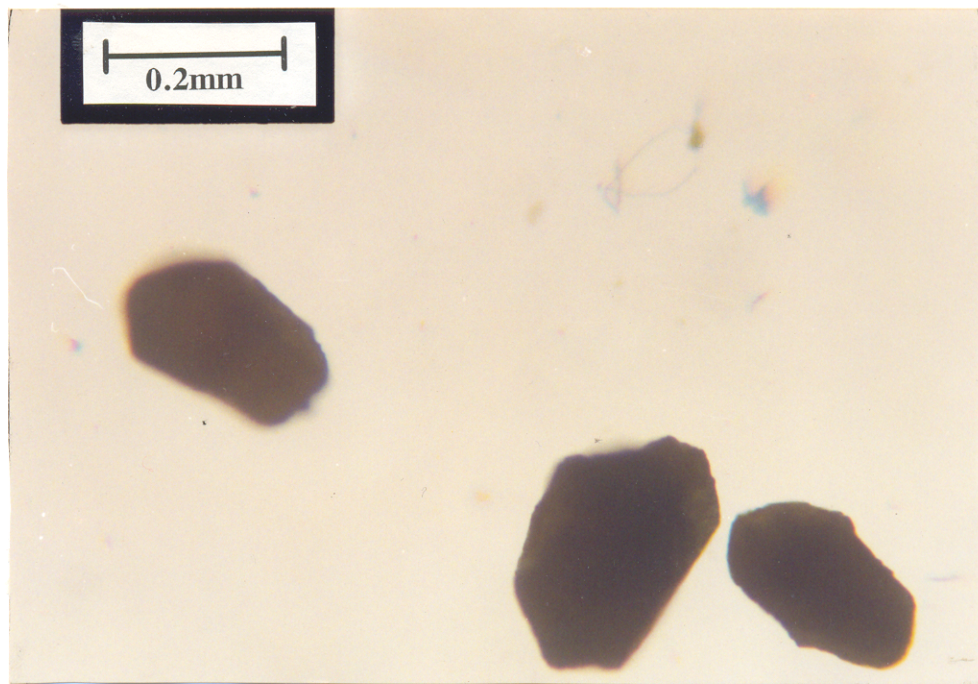


Figura 57 - Fotomicrografia de zircões de rocha fresca do Granito Velho Guilherme. São cristais translúcidos, avermelhados, sub-automórficos.

7. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Esse capítulo visa discutir o significado geológico dos novos dados geocronológicos obtidos, bem como as implicações desses resultados para a evolução da região de Tucumã e sua integração no âmbito da PMC. Na segunda parte desse capítulo serão discutidos sinteticamente os principais aspectos metodológicos da técnica de datação Pb/Pb por evaporação de zircão, aplicada em rocha fresca e saprólito de rochas arqueanas e proterozóicas da região estudada. Uma comparação com os outros métodos geocronológicos também será apresentada.

7.1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para facilitar a discussão dos dados geocronológicos Pb/Pb por evaporação de zircão obtidos para as rochas estudadas da região de Tucumã, os mesmos foram sintetizados na Tabela 11, enquanto que nas Figuras 58 e 59 são exibidos quadros comparativos dos dados geocronológicos disponíveis para as principais unidades rochosas correlatas dentro da PMC.

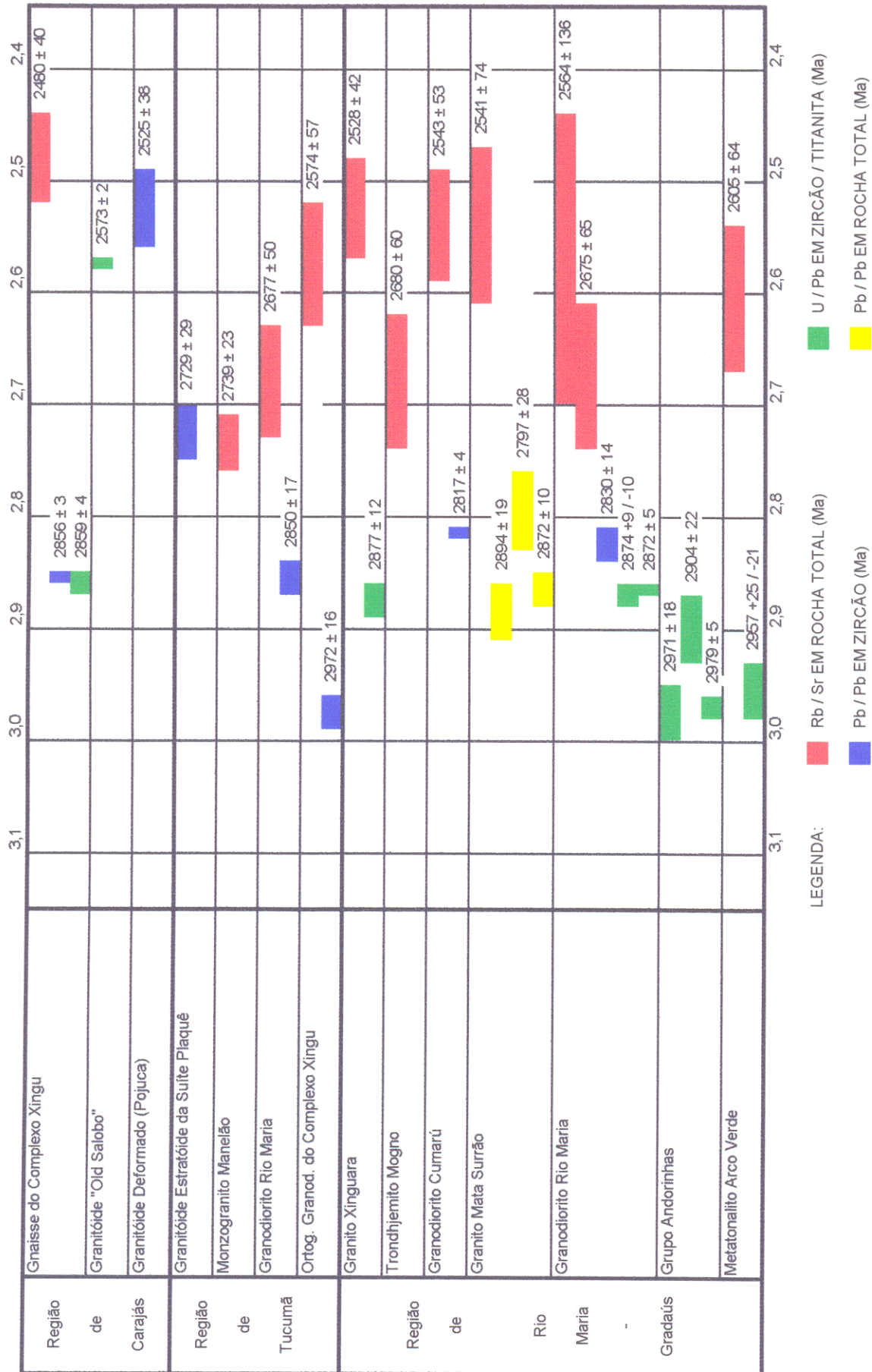
A seguir serão abordados os aspectos quanto ao significado geológico dos dados $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação de zircão para cada rocha estudada, bem como suas implicações geológicas no contexto da PMC. Finalmente é comentada a evolução geológica em termos de eventos magmáticos da região de Tucumã, a partir dos dados obtidos.

7.1.1 - Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu

A média de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação obtida para os zircões do ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu foi de 2972 ± 16 Ma e deve ser compreendida como uma idade de cristalização dessas rochas. A existência de cristais de zircão com idades de 2998 ± 9 Ma (zircões ELVX-93S4 e ELVX-93S5) poderia sugerir a presença de um componente mais antigo nessa rocha na forma de zircões herdados, porém não é possível concluir sobre esse ponto tendo em vista que a idade de 2998 Ma é idêntica, dentro do erro, com a idade de 2972 ± 16 Ma calculada a partir de todos os zircões da rocha.

Tabela 11 - Síntese dos dados geocronológicos Pb/Pb por evaporação de zircões obtidos para as rochas da região de Tucumã.

Zircão	Número de blocos	Número de razões	(²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb) _c	2σ	Idade (Ma)	2σ
<i>Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu</i>						
ELVX-93S1	5	30	0,2150	0,0035	2947	53
ELVX-93S2	5	30	0,2188	0,0011	2973	16
ELVX-93S3	8	48	0,2137	0,0026	2937	39
ELVX-93S4	10	60	0,2220	0,0021	2998	30
ELVX-93S5	10	60	0,2222	0,0006	2998	9
ELVX-93S6	26	156	0,2143	0,0009	2940	134
ELVX-93S7	9	54	0,2170	0,0019	2961	28
ELVX-93F1	6	36	0,2170	0,0014	2960	20
ELVX-93F6	8	48	0,2164	0,0023	2957	33
	87 Blocos	522 Razões	IDADE DA ROCHA		2972	16
<i>Granodiorito Rio Maria</i>						
ELVTGG-93S2	17	102	0,2033	0,0006	2854	10
ELVTGG-93S3	9	54	0,2100	0,0019	2908	30
ELVTGG-93S5	13	78	0,1990	0,0012	2819	20
ELVTGG-93S6	5	30	0,2055	0,0059	2876	93
ELVTGG-93S7	7	42	0,1978	0,0035	2812	58
ELVTGG-93F5	7	42	0,2058	0,0008	2873	13
ELVTGG-93F10	6	36	0,2013	0,0026	2839	42
ELVTGG-93F11	6	36	0,2001	0,0008	2827	13
	70 Blocos	420 Razões	IDADE DA ROCHA		2850	17
<i>Granitóide Estratóide da Suíte Plaqué</i>						
ELVP-93S3	5	30	0,1925	0,0052	2770	88
ELVP-93S8	7	42	0,1916	0,0018	2758	31
ELVP-93S10	19	114	0,1866	0,0006	2713	11
ELVP-93F6	5	30	0,1938	0,0013	2776	22
	36 Blocos	216 Razões	IDADE DA ROCHA		2729	29
<i>Granito Seringa</i>						
ELVS-93S1	14	84	0,1157	0,0008	1892	26
ELVS-93S2	10	60	0,1153	0,0010	1886	31
ELVS-93S6	16	96	0,1163	0,0009	1903	27
ELVS-93S15	5	30	0,1155	0,0012	1889	38
	45 Blocos	270 Razões	IDADE DA ROCHA		1893	15



LEGENDA: ■ Rb / Sr EM ROCHA TOTAL (Ma) ■ Pb / Pb EM ZIRCÃO (Ma) ■ U / Pb EM ZIRCÃO / TITANITA (Ma) ■ Pb / Pb EM ROCHA TOTAL (Ma)

Figura 58 - Quadro comparativo dos principais dados geocronológicos obtidos para rochas arqueanas das regiões de Rio Maria, Gradaús, Carajás e Tucumã.

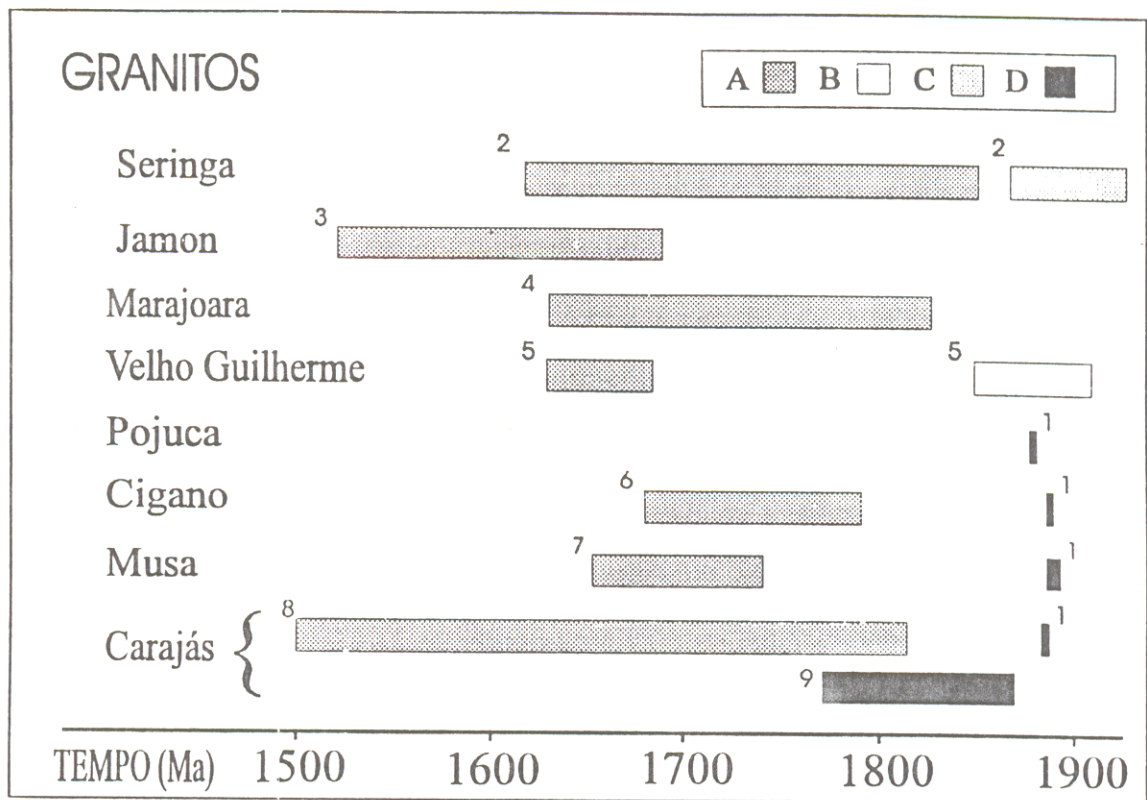


Figura 59 - Dados geocronológicos Rb-Sr, Pb-Pb e U-Pb para os granitos anorogênicos da Província Mineral de Carajás, segundo MACAMBIRA & LAFON (no prelo). **A.** Rb-Sr em rocha total; **B.** Pb-Pb em rocha total; **C.** Pb-Pb por evaporação de zircão; **D.** U-Pb em zircão e titanita. **1.** MACHADO et al. 1991; **2.** AVELAR, (neste trabalho); **3.** DALL'AGNOL et al. 1984; **4.** MACAMBIRA et al. 1993; **5.** LAFON et al. 1995; **6.** GONÇALEZ et al. 1988; **7.** GASTAL et al. 1987; **8.** DALL'AGNOL et al. 1994; **9.** WIRTH et al. 1986.

A idade obtida para o Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu mostra claramente a ocorrência de rochas com idades em torno de 2,97 Ga, dentro dessa unidade na PMC. Na região de Rio Maria, o Metatonalito Arco Verde, individualizado por ALTHOFF et al. (1991) forneceu uma idade U/Pb em zircão de $2957 \pm 25/-21$ Ma (MACAMBIRA & LANCELOT, 1991b). Segundo esses autores, essas rochas são as testemunhas mais antigas da crosta siálica, na região de Rio Maria, enquanto que as rochas granulíticas do Complexo Pium, na região de Cateté, com idade Pb/Pb em rocha total de 3050 ± 114 Ma (RODRIGUES 1992), são consideradas fragmentos constituintes da crosta inferior soerguidos por movimentos tectônicos (ARAÚJO et al. 1994). A similaridade dos dados obtidos para o ortognaisse do Complexo Xingu e do Metatonalito Arco Verde aponta para a existência de um evento magmático contemporâneo nessas duas regiões, reforçando a interpretação da idade Pb/Pb por evaporação em termos de idade de cristalização.

COSTA et al. (1993) sugeriram que os ortognaisses do Complexo Xingu representam produtos do retrabalhamento dos granitóides associados aos *greenstones*. Entretanto, os dados aqui apresentados mostram que parte dessas rochas são mais antigas que esses granitóides. Assim, estudos geocronológicos de outras rochas do Complexo Xingu, na região de Tucumã, deverão permitir provavelmente a individualização de unidades com idades diferentes, incluídas nesse complexo.

Ainda na região de Rio Maria, PIMENTEL & MACHADO (1994) apresentaram uma idade U/Pb de 2798 Ma em titanitas do Complexo Xingu, interpretada como idade de metamorfismo. Esse resultado será discutido mais adiante no momento da interpretação dos resultados geocronológicos do granitóide estratóide da Suíte Plaquê. Entretanto, essa idade poderia representar a época de retrabalhamento dos ortognaisses do Complexo Xingu, também na região de Tucumã.

Quanto às relações das rochas ortognaissicas do Complexo Xingu com as rochas supracrustais do Grupo Tucumã, a falta de dados geocronológicos sobre essas últimas impede uma discussão mais aprofundada sobre esse ponto. Recentemente, AVELAR et al. (1996) obtiveram uma idade preliminar de 2867 ± 10 Ma, através do método Pb/Pb por evaporação de zircão para rochas vulcânicas ácidas do Grupo Tucumã. Essa idade é mais nova que aquela obtida para o ortognaisse do Complexo Xingu o que poderia sugerir que o mesmo represente o

embasamento do Grupo Tucumã. No entanto, a semelhança dessa idade com as idades dos granitóides arqueanos associados aos greenstones (2,87 Ga) sugerem que as rochas vulcânicas ácidas do Grupo Tucumã correspondem ao topo da seqüência, sendo portanto possível a existência de rochas bem mais antigas nos *greenstone-belts*, como no caso da região de Rio Maria. Com efeito, estudos pelo método U-Pb em zircões separados de rochas metavulcânicas félsicas do Grupo Andorinhas (Lagoa Seca), desenvolvidos por MACAMBIRA & LANCELOT (1992) e PIMENTEL & MACHADO (1994), revelaram idades respectivas de 2904 ± 22 Ma e 2979 ± 5 Ma, para essas rochas, idênticas dentro do erro a do Metatonalito Arco Verde. Isso permite sugerir que houve contemporaneidade na formação de parte das rochas dos *greenstones* com parte dos gnaisses do Complexo Xingu.

Finalmente, a idade Rb/Sr em rocha total de 2574 ± 57 Ma (1σ), obtida por LAFON et al. (1991), para as rochas gnaissicas do Complexo Xingu, nas vizinhanças do Município de São Félix do Xingu, a oeste de Tucumã, é sensivelmente inferior a idade Pb/Pb em zircão do ortognaisse granodiorítico desse complexo (2,97 Ga). Por isso, deve ser entendida como idade de rejuvenescimento isotópico do sistema Rb/Sr, possivelmente devido à influência do evento tectono-metamórfico que atingiu essas rochas no final do Arqueano.

7.1.2 - Granodiorito Rio Maria (Granitóide do TGG)

A média de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação de zircão obtida para o Granodiorito tipo Rio Maria, foi de 2850 ± 17 Ma. Os zircões ELVTGG-93S3; ELVTGG-93S6 e ELVTGG-93F5, embora apresentem as mesmas características morfológicas, definiram uma idade superior aos demais, de 2879 ± 18 Ma, que no entanto se sobrepõe dentro do erro analítico, sendo portanto mantidos no cálculo final da idade. Nesse caso, assim como para o ortognaisse do Complexo Xingu, a média das idades de cada zircão foi considerada para a determinação da idade da rocha, sendo a mesma interpretada como idade de cristalização.

Na região de Rio Maria, os dados obtidos pelo método U-Pb em zircões de rochas granodioríticas pertencentes ao TGG (Granodiorito Rio Maria), revelaram idades de $2874 \pm 9/-10$ Ma (MACAMBIRA & LANCELOT, 1991b) e U-Pb em zircões e titanitas de 2872 ± 5 Ma (PIMENTEL & MACHADO, 1994). Essas idades foram interpretadas como idades de cristalização dessas rochas. A idade Pb/Pb por evaporação de 2850 ± 17 Ma para a rocha

granodiorítica da região de Tucumã é um pouco mais baixa que as idades U-Pb em zircões obtidas para as rochas correlatas da região de Rio Maria, havendo contudo sobreposição considerando-se os erros.

Estudos desenvolvidos por MACAMBIRA & SCHELLER, (1994), através do método Pb/Pb por evaporação de zircões de rochas granodioríticas da região de Rio Maria, definiram uma idade de 2834 ± 11 Ma, para essas rochas. Esses autores atribuíram o valor mais baixo da idade Pb/Pb em relação ao método U/Pb, ao uso de cristais metamícticos e interpretaram-na como idade mínima de cristalização da rocha. Contudo, 2 cristais mais preservados em relação ao conjunto analisado, indicaram uma idade de 2876 ± 17 Ma, similar a idade U/Pb. Da mesma forma, a idade de 2879 ± 18 Ma obtida em 3 zircões do granodiorito datado nesse trabalho, poderia representar uma melhor estimativa da idade de cristalização da rocha. Entretanto, na ausência de dados U/Pb, não se pode concluir a respeito desse ponto.

De qualquer forma, as informações anteriormente mencionadas, permitem correlacionar o evento magmático TTG gerador das rochas granodioríticas do TGG nas regiões de Rio Maria e Tucumã. As idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de 2,83 Ga (Rio Maria) e de 2,85 Ga (Tucumã), são idênticas dentro do erro.

O dado Pb/Pb em zircão de 2850 ± 17 Ma para a rocha granodiorítica é mais antigo que aqueles definidos pelo método Rb/Sr em rocha total de 2677 ± 50 Ma e 2739 ± 23 Ma, obtidas respectivamente para as rochas granodioríticas e monzograníticas da região de Tucumã, (LAFON et al. 1991). Desse modo, essas idades devem ser interpretadas como de rejuvenescimento isotópico do sistema Rb/Sr, provocado pelo evento deformacional que atingiu regionalmente essas rochas na PMC.

7.1.3 - Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê

A média de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação, definida a partir de 4 zircões de um corpo do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê, foi de 2729 ± 29 Ma. Apesar dos zircões ELVP-93S3; ELVP-93S8 e ELVP-93F6 fornecerem valores de idades mais elevadas (2770 ± 18 Ma), em relação ao zircão ELVP-93S10 (2713 ± 11 Ma), esse último foi mantido no cálculo final da idade da rocha. O fato desse zircão apresentar um “platô” de idade bem definido, com 19 blocos de razões Pb/Pb, confere à idade um erro analítico mais baixo. Os dados isotópicos desse cristal

acabam diminuindo o valor médio da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ final da rocha. Por esse motivo, a idade de 2729 ± 29 Ma obtida para a rocha granítica, deve ser entendida como idade mínima de cristalização para a rocha desse corpo.

Estudos pelo método U/Pb em zircões, desenvolvidos por MACHADO et al. (1991), em rochas arqueanas, sugeriram que um evento tectono-metamórfico de caráter regional afetou as rochas da PMC em torno de 2,77 Ga a 2,73 Ga. Na região de Rio Maria, PIMENTEL & MACHADO (1994) forneceram uma idade U/Pb em titanitas de 2798 Ma para as rochas gnáissicas do Complexo Xingu, que foi interpretada, como marcadora do evento tectono-metamórfico que afetou essas rochas. Essa idade é idêntica à idade obtida para os 3 zircões do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê (2770 ± 18 Ma) o que poderia reforçar a proposta de eliminar o zircão ELVP-93S10 do cálculo final da idade do corpo.

A geração das rochas da Suíte Plaquê está associada ao retrabalhamento de rochas silicosas do Complexo Xingu, através de cisalhamento dúctil, durante a estruturação do CCI. Desse modo, é possível que a formação das rochas do Granitóide Estratóide seja contemporânea ao evento tectono-metamórfico citado anteriormente. A idade de 2729 ± 29 Ma obtida para a rocha desse corpo, possibilita portanto, estabelecer a idade mais provável de implantação do CCI na região de Tucumã.

Os vários dados Rb/Sr em rocha total, disponíveis para os granitóides arqueanos da PMC, revelaram um intervalo de idades entre 2,50 Ga a 2,75 Ga, quase sempre relacionados a processos de rejuvenescimento isotópico do sistema Rb/Sr, devido à atuação de eventos tectono-metamórficos. Na região de São Félix do Xingu, a idade Rb/Sr em rocha total de 2574 ± 57 Ma para os gnaisses do Complexo Xingu (LAFON et al, 1991), foi interpretada como marcadora da influência de um evento tectono-metamórfico.

Na região de Carajás, idades U/Pb em zircões e titanitas obtidas para granitóides foliados (2573 ± 2 Ma, MACHADO et al. 1991 e 2525 ± 38 Ma, SOUZA et al. 1995), são idênticas a idade do Gnaisse do Complexo Xingu (2,57 Ga) e inferior ao dado Pb/Pb em zircão do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê. MACHADO et al. (1991) citam um segundo evento tectono-metamórfico que afetou as rochas da PMC, dessa feita ocorrido no intervalo de 2,53 Ga a 2,57 Ga. Isso leva a sugerir, que alguns corpos da Suíte Plaquê podem ter sido também gerados durante o segundo evento.

Atualmente, as rochas da Suíte Plaquê são pouco conhecidas do ponto de vista geológico, petrológico e principalmente geocronológico. Como foi exposto, estas rochas espalham-se em toda a província. Assim a intensificação dos estudos dessas rochas é imprescindível para caracterizar a época real de colocação das mesmas.

Finalmente, ARAÚJO et al. (1994) e COSTA et al. (1994a, b) relacionaram os granitóides estratóides da Suite Plaquê aos monzogranitos Mata Surrão e Xinguara encontrados nas regiões de Rio Maria e Redenção. Os resultados aqui apresentados mostram que os granitóides da Suite Plaquê foram gerados durante um evento mais novo que aquele gerador dos monzogranitos. Entretanto, BARBOSA & LAFON (1995) mencionaram uma idade de 2797 ± 28 Ma para um corpo de monzogranito Mata Surrão no extremo sul da região de Redenção, próxima à idade do granito Plaquê.

7.1.4- Granito Seringa

Para o Granito Seringa, 4 zircões forneceram uma média de idade $^{207}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1893 ± 15 Ma. Essa idade deve ser compreendida como a idade de cristalização do corpo granítico, uma vez que é idêntica aos dados U/Pb em zircões obtidos para os vários corpos de granitos anorogênicos espalhados na PMC, cujas idades foram definidas em torno de 1,87 a 1,89 Ga (MACHADO et al., 1991; MACAMBIRA et al., 1994).

Novamente, dois zircões do Granito Seringa (ELVS-93S5 e ELVS-93S17, Figura 54), forneceram idade de 1997 ± 25 Ma, portanto mais velha que a idade definida para o corpo. Os dados isotópicos fornecidos por esses cristais sugerem a presença de zircões com núcleos herdados nessa rocha. Situação semelhante e que reforça esta suposição, foi registrada no Granito Musa, onde zircões datados pelo método U/Pb, definiram uma idade de $1883 \pm 5/-2$ Ma (MACHADO et al. 1991). No entanto, entre esses zircões, um cristal forneceu uma idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2013 Ma, idêntica portanto aos dados dos zircões do Granito Seringa, e cuja linha formada por esse ponto e pelos pontos que definiram a idade do corpo, recortou a curva concórdia à 3,2 Ga. Segundo MACAMBIRA (1992), esse dado é concordante com a idade U/Pb em zircões de quartzitos do Grupo Rio Fresco (3154 Ma), considerado sua provável fonte.

A idade aqui apresentada (1,89 Ga) reforça a proposta de que o magmatismo anorogênico teve uma ampla distribuição espacial dentro da Amazônia Oriental. A idade Pb/Pb

em rocha total do Granito Velho Guilherme de 1874 ± 30 Ma (LAFON et al. 1995), contribui para a suposição de que esse magmatismo avançou em direção a porção oeste da Folha SB.22-YB, uma vez que outros corpos graníticos anorogênicos foram identificados nessa região (Antônio Vicente, Benedita, Ubim Sul). Assim, os dados apresentados permitem confirmar que a formação dos granitos anorogênicos da Amazônia Oriental ocorreu em um curto intervalo de tempo durante o Proterozóico Inferior.

Os dados Rb/Sr em rocha total de 1730 ± 50 Ma, anteriormente obtidos por LAFON et al. (1988), é inferior a idade Pb/Pb em zircão aqui apresentada (1,89 Ga) e devem portanto ser compreendidos, como idade rejunescida do sistema isotópico Rb-Sr, a exemplo do que já foi constatado para todos os outros corpos de granitos anorogênicos, para os quais se dispõe de dados geocronológicos Rb/Sr, U/Pb ou Pb/Pb (DALL'AGNOL et al., 1994).

7.1.5. Integração da Região de Tucumã no contexto da PMC

A aquisição dos dados geocronológicos para as rochas arqueanas e proterozóicas da região de Tucumã possibilitou elaborar a cronologia dos principais eventos formadores de rochas nessa porção da PMC. Esses dados apontam para a ocorrência de 4 eventos magmáticos principais, sendo que os 3 primeiros são relativos ao Arqueano e o último ao Proterozóico. O primeiro relaciona-se à formação de rochas que foram transformado em gnaisses granodioríticos do Complexo Xingu ocorrido à 2,97 Ga atrás. O segundo às rochas do Granodiorito Rio Maria, em torno de 2,85 Ga; o terceiro está associado à formação das rochas do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê à 2,73 Ga. Finalmente o evento magmático proterozóico gerador das rochas do Granito Seringa e Velho Guilherme, ocorrido a 1,89 Ga.

Os dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, apresentados para as rochas da região de Tucumã, são similares àqueles obtidos em rochas correlatas, através do método U/Pb em zircões, das regiões de Rio Maria e Gradaús. Nessas regiões os mesmos eventos magmáticos foram registrados, sugerindo que essa porção da PMC evoluiu igualmente, tanto na formação de rochas do CCI, como no TGG. Por outro lado, os vários dados isotópicos obtidos para a porção norte da PMC, região de Carajás, demonstram que essa região evoluiu diferentemente, com a formação de rochas relacionadas a eventos mais novos (± 200 Ma), em relação as demais áreas da PMC. Essa

suposição associa-se portanto, às interpretações sugeridas anteriormente por ARAÚJO et al. (1994) e COSTA et al. (1994a, b).

As informações geocronológicas dos vários corpos granitóides do TGG na PMC, sugeriram que o evento magmático gerador desses corpos, ocorreu num curto intervalo de tempo, em torno de 2,87 Ga. Isso demonstra que esse evento, sucedeu-se após decorridos 100 Ma do pulso magmático gerador das rochas gnaíssicas granodioríticas do Complexo Xingu (2,97 Ga). Os dados Pb/Pb em zircões do Granodiorito Rio Maria (2,85 Ga) permitem estabelecer a idade mínima mais provável do magmatismo TTG associado aos *greenstone-belts* da região de Tucumã. Por outro lado, esses dados possibilitaram ampliar e confirmar os domínios de abrangência desse magmatismo, a oeste da região de Rio Maria-Gradaús.

Os dados isotópicos Pb/Pb em zircões obtidos para a rocha do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê (2,73 Ga), fornecem os primeiros indícios da época mais provável da estruturação do CCI na PMC. Contudo, essa discussão carece de um estudo mais detalhado, visto que as rochas dessa suíte estão amplamente distribuídas na província.

Como visto, as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ apresentados para as rochas da região de Tucumã são significativamente superiores aos vários dados Rb/Sr obtidos para as mesmas. Nesse caso, esses últimos dados devem ser entendidos como idades de rejuvenescimento isotópico do sistema Rb/Sr dessas rochas, impulsionados possivelmente pelos eventos tectono-metamórficos que as afetaram.

7.2 - ASPECTOS METODOLÓGICOS

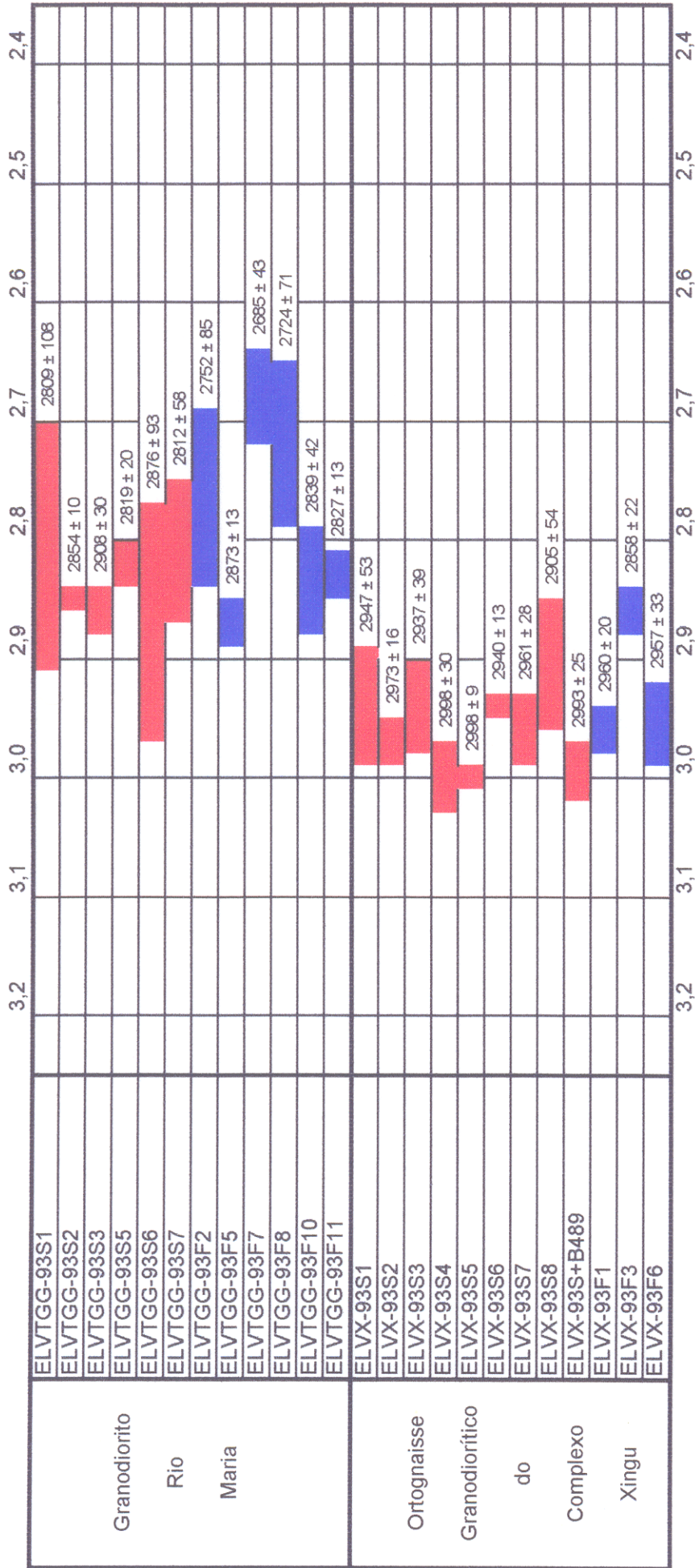
As análises de zircões por evaporação de Pb, foram desenvolvidas no espectrômetro de massa VG ISOMASS-54E, utilizando como sistema coletor um multiplicador eletrônico secundário. As temperaturas de análises de evaporação do Pb não foram registradas, devido ao fato de que o espectrômetro não dispõe de equipamento (pirômetro) para a determinação da mesma. No entanto, foi possível controlar a corrente do filamento durante o processo de evaporação e ionização do Pb, sendo a mesma limitada, genericamente, entre 2,1 A (início da análise) a 2,5 A (final da análise).

A cada aumento progressivo de corrente foram lidas 6 razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (blocos de razões Pb/Pb), com duração média de 6 minutos. Assim, o tempo de análise por evaporação de

Pb, de um zircão que fornece 20 blocos, ficou em torno de 120 minutos, a partir do início da análise. Os dados isotópicos dos zircões são transferidos para um “software”, onde é calculado um espectro de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de todos os blocos, sendo apresentada uma média de idade para o zircão.

O estudo através do método Pb/Pb por evaporação de zircões de saprólito e de rocha fresca da região de Tucumã revelou que, independentemente da rocha estudada (arqueana ou proterozóica), o material de saprólito proporcionou a análise de um número maior de zircões. Isso se deve ao fato de que nesse material, por ser representativo de maior quantidade da rocha, há uma maior concentração dos mesmos, geralmente numa relação de 3 cristais de zircões no material de saprólito para 1 na rocha fresca. Assim, a escolha de cristais com características morfológicas mais adequadas ao tratamento isotópico Pb/Pb, foi conseguida com mais facilidade no material saprolítico. Isso se traduziu em um número maior de razões isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, proporcionando uma determinação mais precisa das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, a partir desse material (Tabelas 07, 08, 09 e 10). A rocha fresca por concentrar menos zircões, tornou mais difícil a escolha de cristais com características morfológicas apropriadas à análise Pb/Pb. Talvez, a coleta de uma quantidade maior de amostras (> 30 Kg) fosse necessária para se ter maior número de zircões, o que favoreceria uma melhor escolha dos mesmos.

Para a avaliação da precisão analítica em cada zircão extraído dos diferentes materiais, tomou-se como exemplo, os dados Pb/Pb obtidos para os zircões do ortognaisse do Complexo Xingu e do Granodiorito Rio Maria, que forneceram aproximadamente o mesmo número de zircões de saprólito e de rocha fresca para a obtenção da idade final da rocha. A Figura 60 mostra a distribuição das idades com o desvio padrão desses zircões. Constata-se que as idades obtidas em cada cristal proveniente tanto do saprólito quanto da rocha fresca, se sobrepõem dentro do erro analítico. Isto acontece quando se compara os resultados de cristais originados do mesmo material ou de material diferente. A similaridade das informações isotópicas desses cristais indica que os zircões do saprólito foram gerados durante o mesmo evento magmático que gerou os zircões da rocha fresca. Cabe ressaltar aqui, a importância dessa observação, a qual garante a validade da utilização dos zircões de material saprolítico, apesar dos riscos de contaminação por outro material (mistura) no momento da coleta.



LEGENDA: ■ ZIRCÕES DE SAPRÓLITO

■ ZIRCÕES DE ROCHA FRESCA

Figura 60 - Distribuição das idades $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$, com erros analíticos, dos zircões de rocha fresca e de saprólito das rochas granodioríticas do Complexo Xingu e do Granodiorito Rio Maria.

Quando a média de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ é calculada respectivamente para os zircões de saprólito e de rocha fresca, nota-se que há uma diminuição do erro analítico em relação aos resultados em cristais individuais, como ilustrado na Figura 61. Percebe-se ainda que as médias de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ da rocha fresca e do saprólito sobrepõem-se dentro do erro analítico. Portanto a idade final da rocha pode ser determinada a partir da média das idades dos zircões de rocha fresca e de saprólito. Assim, um maior número de zircões são utilizados no cálculo da idade, aumentando o número de blocos aproveitáveis e melhorando ainda mais a precisão analítica sobre a idade.

Por vezes, existem zircões que revelam valores de razões isotópicas e, em consequência, de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ mais elevados em relação ao conjunto de zircões estudados de uma determinada rocha. Os dados isotópicos desses zircões concorrem diretamente para elevar o valor da idade final da rocha. Existe a possibilidade desses cristais apresentarem um componente de Pb herdado, ou de tratar-se de zircões com núcleos herdados. Nesse caso, a idade determinada com o uso desses cristais não refletirá a idade verdadeira da cristalização da rocha e sim, um valor mais alto devido à influência do componente herdado. Alternativamente, não havendo nenhum critério morfológico que evidencie a existência desse componente herdado nos zircões analisados, os valores mais elevados poderiam ser também representativos das variações analíticas de leitura no espectrômetro de massa. Desse modo, as idades obtidas devem ser incluídas no cálculo final da idade.

Contrariamente, a existência de cristais que fornecem valores isotópicos Pb/Pb mais baixos em relação ao conjunto de zircões, induz à rocha uma idade mais baixa. Nesse caso, suspeita-se da existência de cristais que sofreram perdas de Pb radiogênico, muito embora as características morfológicas desses cristais sejam satisfatórias à análise, não evidenciando nenhuma feição metamórfica. Apesar de não se poder comprovar essa perda de Pb, optou-se pela eliminação desses cristais do cálculo final da idade da rocha, com o objetivo de encontrar a idade mais provável de cristalização da mesma.

Na ausência de dados U/Pb que permitam concluir definitivamente sobre os pontos acima levantados, a inclusão ou não dos valores nitidamente mais altos ou baixos constitui um critério bastante subjetivo na determinação da idade, constituindo assim uma limitação do método Pb/Pb por evaporação de zircão.

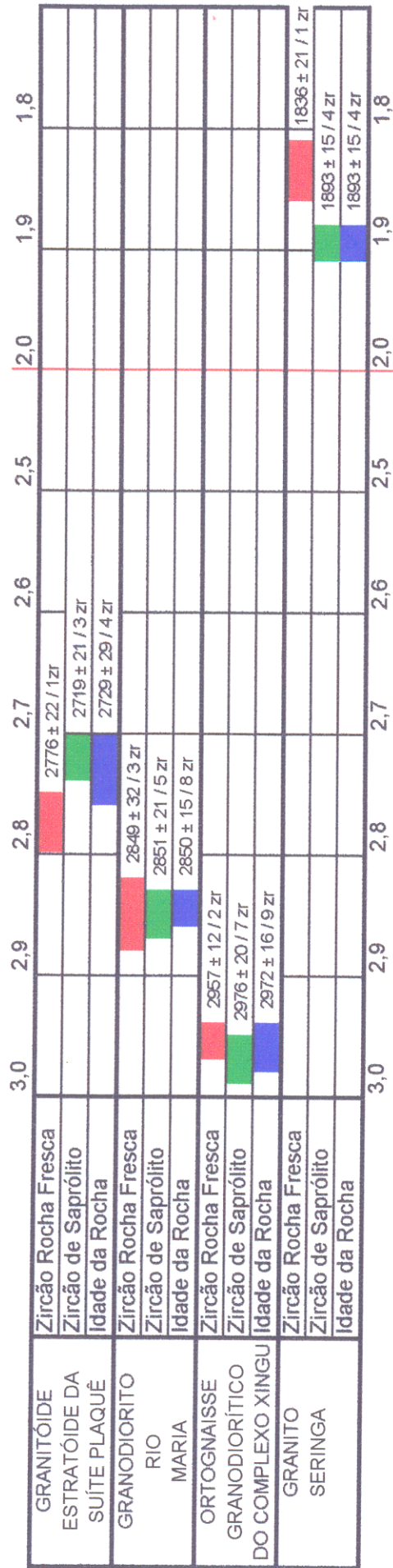


Figura 61 - Distribuição das médias de idades de $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$, com erro analítico, dos zircões de rocha fresca e de saprólito, bem como da média de idade final determinada para rochas estudadas da região de Tucumã.

Como já foi mencionado, os trabalhos de KOBER (1986 e 1987); COMPSTON & KRONER (1988); KRONER & TODT (1988); KOBER et al. (1989); ANSDELL & KYSER (1993); KARABINOS & GROMET (1993), sugerem que o método Pb/Pb por evaporação de zircão fornece idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ semelhantes às idades obtidas pelo método U/Pb em fração de zircões polido, ou através de microsonda iônica (SHRIMP). Segundo esses autores, essas idades devem ser interpretadas como idades de cristalização. No entanto, estudos recentes desenvolvidos por PAQUETTE et al. (1994), demonstraram que em rochas submetidas a condições extremas de metamorfismo (granulito), as idades fornecidas pelo método de evaporação de Pb, fornecem idades cerca de 3 a 6 % mais jovens que os dados obtidos pelos métodos Sm/Nd e U/Pb em zircões. Eles sugeriram que, nesse caso, as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão deveriam ser consideradas como idade mínima de cristalização.

No caso específico do método de evaporação de zircão em filamento simples (LGI/UFPA), os resultados isotópicos obtidos para rochas antigas são comparáveis aos dados obtidos por métodos de maior precisão e confiabilidade (U-Pb em zircões), como foi proposto por MACAMBIRA et al. (1994). Esses autores sugeriram que é possível interpretar esses dados como idades de cristalização das rochas. Os dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões obtidos para as rochas arqueanas e proterozóicas da região de Tucumã, são correlacionáveis aos dados U/Pb em zircões de rochas análogas em outras regiões. Por vezes esses dados denotam idades um pouco mais baixas que, no entanto, sobrepõem-se ao erro analítico. Nesse caso devem ser interpretadas como idades mínimas de cristalização.

O método de evaporação de Pb em filamento simples, apresenta como principal inconveniente, o fato de fornecer erros analíticos maiores (± 20 a 30 Ma) que o método de KOBER (1986), (10-15 Ma). Esses erros aumentam significativamente no caso de rochas mais novas. Sendo assim, ao contrário do método original, não é possível a datação de rochas jovens ($< 1,0$ Ga), devido ao fato de que o uso de filamento simples provoca uma maior instabilidade do feixe iônico do Pb. Isso causa um menor tempo de análise, e conseqüentemente um número também menor de blocos de razões Pb/Pb, causando maior erro analítico na determinação da idade. Entretanto, vale ressaltar que essa observação não se aplica aqui, uma vez que as rochas investigadas são antigas ($> 1,8$ Ga).

O uso do método Pb/Pb por evaporação de zircões de saprólito e rocha fresca do Granito Velho Guilherme para a determinação da idade desse corpo, não foi eficaz. Um conjunto de 40 zircões, cujas características morfológicas aparentemente os tornaram adequados à análise isotópica, foram estudados. Desse conjunto, em apenas 4 zircões foi possível determinar as razões de Pb no espectrômetro. Contudo, esses zircões apresentaram valores muito elevados das razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ($\gg 4 \cdot 10^{-4}$), impossibilitando a determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dessa rocha.

Como pode-se notar, independente da rocha estudada, foi analisado um número considerável de zircões. No entanto, em função dos dados isotópicos fornecidos, somente alguns zircões puderam ser utilizados para a determinação da idade final da rocha. O estudo Pb/Pb em zircão através de filamento simples, das quatro rochas analisadas, mostrou que uma média de 4 a 9 zircões por rocha, é suficiente para obtenção de uma datação mais precisa. No entanto, essa média foi determinada a partir da análise de um número expressivo de zircões em cada rocha. Com efeito, o número total de zircões analisados para obtenção dessa média variou entre 16 a 30 zircões. Isso concorre diretamente para aumentar o tempo de determinação da idade final da rocha, possibilitando porém que se obtenha zircões com um maior número de razões isotópicas e melhorando assim a precisão analítica da idade.

Os inúmeros trabalhos disponíveis na literatura, que utilizaram o método de evaporação em filamento duplo, mostram que um número de 5 a 13 zircões são necessários para a boa produção de dados isotópicos Pb/Pb (KOBBER, 1986; KRÖNER et al., 1991; KARABINOS & GROMET, 1993; PAQUETTE et al. 1994). Contudo, esses trabalhos não fazem referências quanto ao número total de zircões analisados para a determinação dessa média. O que se observa, no entanto, é que o número de zircões necessários para obtenção de uma boa datação a partir do uso de filamento simples encontra-se dentro da faixa de zircões utilizados para a determinação de idade em filamento duplo. Vale ressaltar que alguns trabalhos específicos, fazem análises em cristais isolados de zircões e cujos dados isotópicos são comparáveis aos dados fornecidos pelo método U/Pb (Ex: KOBBER 1987).

Apesar das limitações do método Pb/Pb em filamento simples, discutidos aqui, os resultados obtidos mostram que o método é eficiente para a determinação da idade de cristalização de rochas, com precisão e confiabilidade aceitáveis. Esses dados são comparáveis

aos dados U/Pb em zircões obtidos em rochas correlatas da PMC o que reforça o potencial do método na determinação da idade de cristalização de rochas magmáticas antigas.

Ao contrário, os dados fornecidos pelos cronômetros Rb/Sr e K/Ar mostram-se sempre mais jovens em relação aos métodos Pb/Pb e U/Pb em zircões e por isso são entendidos como resultados da reabertura dos sistemas isotópicos Rb/Sr e K/Ar favorecida pela atuação de eventos termo-tectônicos que afetam as rochas da PMC. Portanto, o método Pb/Pb por evaporação de zircão constitui-se num importante aliado na investigação da idade de cristalização de rochas antigas da Amazônia Oriental, superando os métodos Rb/Sr e K/Ar.

8. CONCLUSÕES

A aquisição dos dados geocronológicos para as rochas arqueanas e proterozóicas da região de Tucumã permitiu elaborar a cronologia dos principais eventos formadores de rochas nessa porção da PMC. A integração desses dados, com aqueles obtidos para rochas correlatas de regiões melhores estudadas da província (Rio Maria-Gradaús e Carajás), possibilitou comentar as relações geológicas entre essas regiões. Com efeito, as rochas da região de Tucumã, que tinham suas posições estratigráficas questionáveis face a carência de dados geocronológicos, ou por somente terem sido datadas pelo método Rb/Sr, passaram a integrar melhor o quadro estratigráfico regional e sustentam os modelos mais recentes propostos para a evolução da PMC.

Para o **Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu**, a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão de **2972 ± 16 Ma** deve ser entendida como a idade de cristalização da rocha. Essa idade marca o evento magmático formador de rochas, mais antigo da região de Tucumã.

Para o **Granodiorito Rio Maria**, a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de **2850 ± 17 Ma** é interpretada como idade de cristalização da rocha, sendo indicadora da época mais provável de atuação do evento magmático TTG gerador dessas rochas na região de Tucumã.

Para o **Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê** obteve-se uma idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de **2729 ± 29 Ma**, entendida como idade mínima de cristalização da rocha. Esse resultado mostra que os granitóides da Suíte Plaquê foram gerados durante um evento mais novo que aquele gerador dos monzogranitos (Mata Surrão e Xinguará) e permite ainda estabelecer a idade de pelo menos um pulso cinemático ligado à implantação do CCI na região de Tucumã.

Para o **Granito Seringa**, a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de **1893 ± 15 Ma** é interpretada como a idade de cristalização do corpo granítico. A existência de cristais com idades Pb/Pb mais antigas (1997 Ma) sugere a ocorrência de zircões com núcleos herdados, como ocorreu com um zircão do Granito Musa, MACHADO et al. (1991).

Os resultados obtidos nesse trabalho, para as rochas estudadas da região de Tucumã, possibilitaram evidenciar a existência de pelo menos 4 eventos magmáticos distintos nessa porção da PMC. **O primeiro evento** relaciona-se a formação das rochas do Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu, ocorrido a 2,97 Ga, com correspondência na região de Rio Maria, através do Metatonalito Arco Verde. **O segundo evento** refere-se a 2,87 Ga, relativo à

formação das rochas do Granodiorito Rio Maria, também registrado nas regiões de Rio Maria e Serra dos Gradaús. **O terceiro evento**, ainda no Arqueano, envolve a formação das rochas do Granitóide Estratóide da Suíte Plaquê, cuja correlação com outras regiões carece de maior estudo, principalmente geocronológico, uma vez que os dados aqui apresentados correspondem às primeiras informações obtidas para essas rochas em toda a PMC. Finalmente, **o quarto evento** é relativo ao magmatismo anorogênico do Proterozóico Inferior, que gerou as rochas do Granito Seringa a 1,89 Ga.

Os dados isotópicos $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtidos para a região de Tucumã permitiram correlacionar essa região com as regiões de Rio Maria e da Serra dos Gradaús, onde os mesmos eventos magmáticos geradores de rochas foram registrados. Contrariamente, a porção norte da província (região de Carajás) teve sua evolução relacionada a eventos formadores de rochas mais novos, cerca de 200 Ma.

Os resultados isotópicos obtidos através do método Pb/Pb por evaporação de zircões das quatro unidades estudadas da região de Tucumã, são comparáveis aos vários dados isotópicos apresentados por métodos que permitem maior precisão e confiabilidade (Ex: U/Pb em zircões). Portanto, os dados fornecidos por esse método devem ser compreendidos como marcadores da idade de cristalização das rochas, mostrando ainda que esse método constituiu-se num importante aliado na determinação da época de formação de rochas. Vale ressaltar no entanto, que o significado geológico das idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ só pode ser avaliado mediante a comparação com os dados fornecidos por outros métodos em rochas correlatas. Na ausência desses dados, a idade Pb/Pb deve ser entendida apenas como uma idade mínima de cristalização, caso do Granitóide.

O método Pb/Pb por evaporação de zircão não permite avaliar com precisão a existência de zircões com componente herdado e/ou núcleo herdado, tampouco a presença de zircões que tiveram perdas do componente de Pb no conjunto de zircões avaliados, sendo essa avaliação bastante subjetiva e isso constituiu-se numa das limitações do método.

O uso de zircões separados de saprólito para determinação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ das rochas, mostrou algumas vantagens em relação àqueles de rocha fresca. Entre essas vantagens destacam-se a facilidade de coleta e manejo do material; maior rapidez na separação dos zircões, além da concentração de um número de zircões três vezes maior em relação à rocha fresca, o que

facilita uma melhor escolha dos zircões com características morfológicas mais apropriadas à análise, contribuindo para melhorar a precisão analítica da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Vale ressaltar contudo, que alguns fatores limitantes como mistura de material, contaminação por agentes intempéricos, muito comuns nesse tipo de material, devem ser levados em consideração, a fim de garantir o significado geológico da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de uma rocha. Em todo o caso, o uso de zircões de saprólito para determinação da idade de rochas, permite ampliar as possibilidades de datações de rochas na região Amazônica.

Finalmente, os dados fornecidos através do método $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ por evaporação de zircões, a exemplo de outros métodos que permitem maior precisão, como o U/Pb em zircões, são mais antigos que àqueles gerados pelos geocronômetros Rb/Sr e K/Ar, mais sensíveis aos efeitos de eventos termo-tectônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F. de; MELCHER, R.C.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; VANDOROS. 1968. Radiometric age determinations from Northern Brazil. **Boletim da SBG**. São Paulo, 17 (1): 3-14
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. **Boletim Inst. Geoc. Univ. São Paulo**, 7:45-80.
- ALMEIDA, R.C.C. 1980. **Contribuição à petrologia do Granito da Serra dos Carajás**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 641p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1980.
- ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S. 1991. Região de Marajoara, sudeste do Estado do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais...** Belém, SBG., p. 130-141.
- AMARAL, G. 1974. **Geologia pré-cambriana da região Amazônica**. São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 212p. Tese (Livre Docência). IGUSP, 1974.
- ANSDELL, K.M. & KYSER, T.K. 1993. Textural and chemical changes undergone by zircon during the Pb-evaporation technique. **Am. Mineral**, 78:1663-1673.
- ANSDELL, K.M.; KYSER, T.K.; STAUFFER, M.R. 1991. Age and source of detrital zircons from the Missi Formation: a Proterozoic molasse deposit, Trans-Hudson Orogen, Canada. **Can. J. Earth Sci.**, 29:2583-2594.
- ARAÚJO, E.S. & MACAMBIRA, E.M.B. 1993. Prospecção geoquímica na Folha São Félix do Xingu (SB.22-YB)-Sul do Pará. In: CONGR. BRAS. GEOQ., 4., Brasília, 1993. **Resumos expandidos...** Brasília, SBGq.
- ARAÚJO, O.J.B. & MAIA, R.G.N. 1991. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Folha SB-22.Z.A. Estado do Pará**; Texto explicativo. Brasília, DNPM/CPRM. 164 p.il.

- ARAÚJO, O.J.B.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO, C.S.; COSTA, E.J.; SANTOS, A.; PENA FILHO, J.I. de C.; NEVES, A.P.; JORGE JOÃO, X. da S.; COSTA, J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SE do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Belém, SBG. p. 299-300
- ARAÚJO, O.J.B. de; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X. da S.; COSTA, J.B.S. 1988. A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGR. LAT. AMER. GEOL., 7., Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG. p. 324-338.
- AVELAR, V.G. de; LAFON, J.M.; SCHELLER, T.; ARAÚJO, O.J.B.; MACAMBIRA, E.M.B. 1994. Geocronologia Pb-Pb por evaporação de zircão e Rb-Sr em rocha total do Granito Seringa, Província Mineral de Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 38. Balneário Camboriú, 1994. **Boletim de resumos expandidos**. Camboriú. V.2, p.387-389.
- AVELAR, V.G. de; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, E.M.B. 1995. Geocronologia Pb-Pb em zircão do magmatismo da região de Tucumã, Amazônia Oriental, Brasil. In: CONG. BRAS. GEOQ., 5., Niterói-RJ, 1995. **cd-room**. Niterói.
- AVELAR, V.G., LAFON, J.M.; MACAMBIRA, E.M.B. 1996. Geocronologia Pb/Pb em zircão do magmatismo ácido dos terrenos granito-*greenstones* da região de Tucumã, sul do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 39. Salvador, 1996. **Boletim de resumos expandidos**. Salvador.
- BARBOSA, A.A. & LAFON, J.M. 1995. Magmatismo Arqueano da região de Redenção (Sudeste do Pará): Novos dados geocronológicos. In: CONG. BRAS. GEOQ., 5., Niterói-RJ, 1995. **cd-room**. Niterói.
- BARBOSA, A.A.; LAFON, J.M.; NEVES, A.; VALE, A.G. 1994. O Granito Redenção (sul do Pará): novos dados geocronológicos Rb/Sr e Pb/Pb. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. **Boletim de resumos expandidos...** Belém, SBG. p.302-306
- BARBOSA, O.; RAMOS, A.; GOMES, F.; HEMBOLD, R. 1966. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do projeto Araguaia**. Rio de Janeiro, IBGE. 94p. (Brasil DNPM, monografia).
- BEISIEGEL, W. de R. & FARIAS, N.F. 1978. Ocorrências de cobre na Serra dos Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 30., Recife, 1978. **Anais**. Recife, SBG. v.1, p.302-306.

- CASTAING, R. & GUINIER, A. 1953. Point-by-point chemical analysis by X-ray spectroscopy. *Anal. Chem.*, 25:724-726.
- CHAPPMAN, H.J. & RODDICK, J.C. 1994. Kinetics of release during the zircon evaporation technique. *Earth Planet. Sci. Lett.* 121:601-611.
- CHERNIACK, D.J.; LANFORD, W.A.; ANDERSON, F.J. 1991. Lead diffusion in apatite and zircon using ion implantation and Rutherford backscattering techniques. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 55:1663-1673.
- CHUKHONIN, A.P. 1978. A mass spectrometric study of the forms taken by lead in zircon. *Geochemic. Int.*, 15:186-189.
- COMPSTON, W. & KRÖNER, A. 1988. Multiple zircon growth within early archaean tonalitic gneiss from the Ancient Gneiss Complex, Swaziland. *Earth Planet. Sci. Lett.* 87:13-28.
- COPPENS, R.; DURAND, G.; ROUBALT, M. 1965. Etude de l'âge des zircons par rapport des plombs 207 et 206; application à l'étude du granite de la Clarté-Ploumanac'h (Bretagne, France). *Int. Coll. Geochron. Nancy*, France, 1-9.
- CORDANI, U.G. & BRITO NEVES, B.B. 1982. The geologic evolution of South America during the Archaean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 12,(1-3):78-88.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONG. GEOL. CHILENO, 2., Santiago, 1979. *Anais*. Santiago; v. 4, p.137-148.
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; JORGE JOÃO, X. da S.; MAIA, R.G.N.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; SANTOS, A. dos; PENA FILHO, J.I.C.; NEVES, A.P. 1994a. Panorama tectono-estrutural da região sudeste do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Belém, SBG. p.314-317.
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X. da S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. 1994b. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Rev. Geoc.*, IGUSP, 1994, São Paulo.
- COSTA, J.B.S.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; PINHEIRO, R.V.L.; JORGE JOÃO, X. da S. 1993. Evolução litoestrutural da região de São Félix do Xingu-Serra dos Carajás. *Geociências*, São Paulo, 12,(2):315-332.

- DALL'AGNOL, R. 1982. Os granitos anorogênicos da Amazônia Brasileira: suas analogias com os "younger granites" do oeste da África. In: CONG. LATINO-AMER. GEOL., 5, Buenos Aires, 1982. **Anais...**Buenos Aires. v.2, p.113-131.
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, 50: 113-138.
- DALL'AGNOL, R.; SCHUCKMANN, W.K.; BASEI, M.A.S.; SCHELLER, T. 1984. Novos dados geocronológicos e estudo de elementos traços de maciços graníticos anorogênicos da Amazônia Oriental. Estado do Pará (Brasil). In: SYMP. AMAZ., 2., Manaus, 1984. **Anais...**Manaus, MME-DNPM. p.59-74.
- DALL'AGNOL, R.; VIEIRA, E.A.P.; SÁ, C.A.S.; MEDEIROS, H.; GASTAL, M.C.P.; TEIXEIRA, N.P. 1986. Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental. *Rev. Bras. Geoc.*, 16 (1): 11-23
- DOCEGEO. 1987. Lithostratigraphic review of the Carajás District and Southern Pará-Brazil. In: IUGS. Precambrian evolution of the Amazonian region, Carajás. Final meeting of working group. **Extended abstract**. Carajás. p.11-19.
- DOCEGEO. 1988. Revisão lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás. Lito-estratigrafia e principais depósitos minerais. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. Anexo aos Anais. Belém, CVRD., SBG. 165 p..
- DUARTE, K.D.; PEREIRA, E.D.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M. 1991. Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão-Sudoeste de Rio Maria (Pa). In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Boletim de resumos expandidos...**Belém, SBG. p.7-20.
- FAURE, G. 1986. **Principles of isotope geology**. New York, J. Wiley & Sons. 589p.
- FROUD, O.D.; IRELAND, T.R.; KINNY, P.D.; WILLIAMS, I.S.; COMPSTON, W.; WILLIAMS, I.R.; MYERS, J.S. 1983. Ion microprobe identification of 4,100-4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Nature*, 304(5927): 616-618.
- GASTAL, M.C.P.; MACAMBIRA, M.J.B.; MEDEIROS, M.; DALL'AGNOL, R. 1987. Idades e geoquímica isotópica Rb/Sr do Granito Musa e do Granodiorito Rio Maria, Amazônia Oriental. *Geoch. Brasiliensis*, 1(2): 247-259.

- GAUDETTE, H.E.; ABREU, F.A.M.; GORAYEB, P.S.S.; LAFON, J.M. 1993a. **Dominant Trans-Amazonian Tectonism in NW Ceará, Brazil: Evidence from Direct Evaporation Pb Analysis of Zircons.** (Abstract), Abstracts with Programs, National meeting, GSA, October, 1993, Boston, A-457-458
- GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MOURA, C.A.V.; SCHELLER, T. 1993b. Datação de monozircão por evaporação de Pb, no Laboratório de Geologia Isotópica-UFPa: Metodologia e primeiros resultados. In: CONGR. BRAS. GEOQ., Brasília, 1993. **Resumos expandidos...**Brasília, SBGq, p.236-237.
- GOMES, C.B. 1988. **Microsonda eletrônica: Princípios e aplicações na geologia.** São Paulo, Instituto de Geociências da USP. Editora Edgard Blucher. 210p.
- GOMES, C.B.; CORDANI, V.G.; BASEI, M.A.S. 1975. Radiometric ages from the Serra dos Carajás area, Northern Brazil. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **86**:939-942.
- GONÇALEZ, M.C.B.; DALL'AGNOL, R.; ANGELIM, E.P.V.; MACAMBIRA, M.J.B.; DELLASENTA, N. 1988. Geologia do Maciço anorogênico Cigano, vale do Rio Parauapebas-Pa. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. **Anais...**Belém, SBG. v.3, p.1132-1146.
- HASUI, Y.; HARALYI, N.I.E.; SHOBHENHAUS, C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: Subsídios para o modelo geodinâmico. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2, Manaus, 1984. **Anais...**Manaus. v.2, p.129-146.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1., Belém, 1982. **Anais...**Belém, SBG. v.1, p.100-110.
- JORGE JOÃO, X. da S. & ARAÚJO, J.B. 1992. Magmatismo granítico sin-Cisalhamento Itacaiúnas no SW do estado do Pará. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. **Resumos expandidos...**São Paulo, SBG. v.2.
- KARABINOS, P. & GROMET, L.P. 1993. Applications of single-grain zircon evaporation analyses to detrital grain studies and age discrimination in igneous suites. *Geoch. Cosmoch. Acta.*, **57**:4257-4267.
- KOBER, B. 1986. Whole-grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contrib. Mineral. Petrology*, **93**: 482-490.

- KOBER, B. 1987. Single zircon evaporation combined with Pb+ emitter-bedding for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications to zirconology. *Contrib. Mineral. Petrology*, **96**:63-71.
- KOBER, B.; PIDGEON, R.T.; LIPPOLT, H.J. 1989. Single-zircon dating by stepwise Pb-evaporation constrains the Archean history of detrital zircons from the Jack Hills, Western Australia. *Earth Planetary Science Letters*, **91**:286-296.
- KOSTOLANY, C. 1965. Nouvelle méthode d'analyse isotopique des zircons à l'état naturel après attaque directe sur le filament. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **261**:5849-5851.
- KROGH, T.E. 1982a. Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of concordant systems using an air abrasion technique. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **46**:637-649.
- KROGH, T.E. 1982b. Improved accuracy of U-Pb zircon dating by selecting of more concordant fractions using a high gradients magnetic separation technique. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **46**:631-635.
- KRÖNER, A. & TODT, W. 1988. Single zircon dating constraining the maximum age of the Barberton Greenstone Belt, Southern Africa. *Journal of Geophysical Research*, **93**:15,329-15,337.
- KRÖNER, A.; BYERLY, C.R.; LOWE, D.R. 1991. Chronology of early Archean granite-greenstone evolution in the Barberton Mountain Land, South Africa, based on precise dating by single zircon evaporation. *Earth Planetary Science Letters*, **103**:41-54.
- KRÖNER, A.; JAECKEL, P.; WILLIAMS, I.S. 1994. Pb-loss patterns in zircons from a high-grade metamorphic terrain as revealed by different dating methods: U-Pb and Pb-Pb ages for igneous and metamorphic zircons from northern Sri Lanka. *Precambrian Research*, **66**:151-181.
- LAFON, J.M. & MACAMBIRA, M.J.B. 1990. Datation Rb/Sr de la Granodiorite Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. *C.R. Acad. Sci. de Paris*, **310** (II): 1635-1641
- LAFON, J.M. & SCHELLER, T. 1994. Geocronologia Pb-Pb em zircão do granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, Pa. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos...** Belém, SBG, p.321-324.
- LAFON, J.M.; MACAMBIRA, J.B.; PEREIRA, E.D.; SCHELLER, T. 1990. Geocronologia Rb/Sr em rochas totais e minerais do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, Pa. In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990, **Anais...** Natal, SBG., v.6, p. 2929-2940.

- LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; SCHELLER, T.; GARCIA, R. 1988. **Relatório sobre o estudo geocronológico Rb-Sr do Maciço Granítico da Serra da Seringa e dos Granulitos da Serra do Pium (PA)**. Relatório Final. Belém, FADESP/CPRM. 23p.
- LAFON, J.M.; PEREIRA, E.D.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; BARRADAS, J.A. da S. 1991. Geocronologia Rb-Sr da região de São Félix do Xingu: Resultados preliminares. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais...**Belém, SBG. p.21-35.
- LAFON, J.M.; RODRIGUES, E.; DUARTE, K.D. 1994. Le Granite Mata Surrão: Un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjémiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). **C.R. Acad. Sci. Paris**, 318: 643-648
- LAFON, J.M.; RODRIGUES, E.; MACAMBIRA, E.M.B.; PEREIRA, E.D. 1995. Magmatism anorogénique du Protérozoïque inférieur dans la région de São Félix do Xingu-Tucumã (Amazonie Orientale, Brésil). Nouvelles données géochronologiques. **C.R. Acad. Sci. Paris**, 320, série Iia, p:937-944.
- LANCELOT, J.R.; VITRAC, A.; ALLÈGRE, C.J. 1976. Uranium and lead isotopic dating with grain-by-grain analysis: a study of complex geological history with a single rock. **Earth Planet. Sci. Letter**, 29:357-366
- MACAMBIRA, E.M.B; & VALE, A.G. - **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Folha SB.22-Y-B, São Félix do Xingu, Estado do Pará**. Texto. Belém. Convênio DNPM/CPRM; (no prelo).
- MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; JORGE JOÃO; X.S.; COSTA, J.B.S. 1991. Arranjo lito-estrutural da Folha São Félix do Xingu (SB.22-Y-B). In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais...**Belém, SBG. Breves comunicações.
- MACAMBIRA, M.J.B. 1992. **Chronologie U-Pb, Rb-Sr, K-Ar et croissance de la croûte continentale dans l'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brésil. 1992**. Tese (Doutorado).
- MACAMBIRA, M.J.B. & LAFON, J.M. **Geocronologia da Província Mineral de Carajás; síntese dos dados e novos desafios**. UFPA. Laboratório de Geologia Isotópica, (no prelo).
- MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1991a. Em busca do embasamento Arqueano da região de Rio Maria, SE do estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1991. **Anais...**Belém, SBG. p.49-58.

- MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1991b. História arqueana da região de Rio Maria, SE do Estado do Pará, registrada em zircões detríticos de greenstone belt e de cobertura plataformar. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1991. **Anais...Belém**, SBG. p.59-69.
- MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1992. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do greenstone do Supergrupo Andorinhas; delimitante da estratigrafia arqueana de Carajás, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. **Resumos expandidos**, v.2, p.188.
- MACAMBIRA, M.J.B. & SCHELLER, T. 1994. Estudo comparativo entre métodos geocronológicos aplicados em zircões; o caso do Granodiorito Rio Maria. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos...Belém**, SBG. p.343-346.
- MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M.; DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.T.; JORGE JOÃO, X.S. 1990. Geocronologia da granitogênese da Província Amazônia Central: Uma revisão. **Rev. Bras. Geoc.**, 20 (1-4):258-266.
- MACAMBIRA, M.J.B.; MOURA, C.A.V.; LAFON, J.M.; SCHELLER, T.; GAUDETTE, H.E. 1994. O método Pb-Pb por evaporação em zircão: avaliação dos dados obtidos no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPa. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38., Camboriú, 1994., **Anais... Camboriú-SC**, SBG., v.2, p.404-405.
- MACAMBIRA, M.J.B.; PEREIRA, E.D.; KAWASHITA, K.; MEDEIROS, H. 1988. Contribuição à história tectono-termal da região da Serra das Andorinhas (SE do Pará) com base em dados geocronológicos. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988., **Anais...Belém**, SBG., v.3, p. 1468-1477.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z. KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement in the Carajás area, Amaz. Shield, Brazil. **Precambrian Research.**, 49:329-354.
- MONTALVÃO, R.M.G. de; BEZERRA, P.E.L.; DRAGO, V.A.; CUNHA, B.C.C. 1984. Cobertura de plataforma da Amazônia, sua sedimentação e evolução tectônica. In: CONG. BRAS. GEOL., 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...Rio de Janeiro**, SBG. v.5, p.2101-2124.
- MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; VASCONI, A. 1988. Caracterização geocronológica Rb-Sr dos terrenos granodioríticos e trondhjemiticos da região de Rio maria, sul da Serra dos carajás. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988., **Anais...Belém**, SBG., v.3, p. 1478-1487.

- OLSZEWSKY, W.J.; GAUDETTE, H.E.; CREATHAM, M.M. 1990. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages from the Chain Lakes Massif, NW Maine using single grain direct thermal ionization. Annual Meeting NE. *Section Geol. Soc. of America*, 27:61.
- PAQUETTE, J.L.; NÉDELÉC, A.; MOINE, B.; RAKOTONDRAZAFY, M. 1994. U-Pb, single zircon Pb-evaporation, and Sm-Nd isotopic study of a Granulite domain in SE Madagascar. *Journal of Geology*. 102:523-538.
- PEREIRA, E.D. 1992. **Contribuição a evolução geológica da parte Oriental da Província Amazônia Central através da geocronologia Rb-Sr da Província Mineral de Carajás e região de São Félix do Xingu, Pa.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 120p. Tese (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1992.
- PIMENTEL, M.M. & MACHADO, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38., Balneário Camboriú-SC, 1994., **Anais..** Balneário Camboriú, SBG. v.2, p.390-393.
- RAMOS, J.R. de. 1967. Estratigrafia da região do Xingu-Tocantins. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA. Belém, 1966. **Atas...** Rio de Janeiro, CNPq. v.1, p.373-388.
- REED, S.J.B. 1993. **Electron Microprobe Analysis**. 2. ed.. Cambridge Univers, Press. 326 p.
- RESENDE, N.P. de & BARBOSA, A.L. de M. 1972. **Relatório de pesquisa de minério de ferro: distrito ferrífero da Serra dos Carajás, estado do Pará;** Relatório Final de Pesquisa. Belém, AMZA. v5.
- RODRIGUES, E.M.S. 1992. **Implantação da metodologia Pb-Pb em rocha total: Exemplos de aplicação na Província Mineral de Carajás.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 128p. Tese (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1992.
- SILVA, G.G. DE; LIMA, M.J.C.; ANDRADE, A.R.F. de; ISSLER, R.S.; GUIMARÃES, G. 1974. **Geologia da Folha SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins.** Belém, DNPM. v.4, 143p.
- SOUZA, S.R.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; HORBE, M.A. 1995. Geochronological and isotopic evidences of the influence of the Paleoproterozoic Pojuca Granite on the Cu-Zn (Au-Mo-Ag) deposit, Carajas Province, Brasil. In: SYMP. ON RPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS. Belém, 1995. **Abstracts.** Belém, IUGS/Unesco. p.76.

- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model: *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26:207-221.
- STEIGER, R.H. & JAGER, E. 1977. Subcommission on Geochronology: convention to use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36:359-362.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonick rock its proper name. *Earth Sci. Reviews*, 12:1-33.
- SUISZCZYNSKI, E.A. 1972. Origem vulcânica do minério de ferro primário da Serra dos Carajás, estado do Pará, região Amazônica. In: CONG. BRAS. GEOL., 26., Belém, 1972. *Anais...Belém, SBG.* v.1, p.193-200.
- SUNIN, L.V. & MALYSHEV, V.I. 1983. The thermoisochochron method of determining Pb-Pb ages. *Geochem. Int.*, 20:34-45.
- TASSINARI, C.C.G.; HIRATA, W.K.; KAWASHITA, K. 1982. Geologic evolution of the Serra dos Carajás, Pará-Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo. 12 (1/3):263-267
- WETHERILL, G.W. 1956. Discordant uranium-lead ages. *I. Trans. Amer. Geophys. Union*, 37:320-326.

A-N-E-X-O-S

ANEXO A - RAZÕES ISOTÓPICAS Pb/Pb DOS ZIRCÕES DE SAPRÓLITO E DE ROCHA FRESCA DO ORTOGNAISSE GRANODIORÍTICO DO COMPLEXO XINGU. O sinal (#) indica que o bloco de leituras Pb/Pb, forneceu valores da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ maior que 4.10^{-4} e que portanto, foi eliminado do cálculo estatístico da idade.

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
ZIRCÕES DE SAPRÓLITO								
<i>EIVX-93S1 (Zr)</i>								
0.000299	0.000014	0.018558	0.212317	0.004219	0.208814	0.004239	2897	33
0.000195	0.000096	0.017332	0.206061	0.001576	0.203759	0.001945	2857	16
0.000341	0.000087	0.017509	0.213784	0.002354	0.209795	0.002576	2904	20
0.000108	0.000087	0.020580	0.224693	0.001898	0.223452	0.002149	3006	15
# 0.000497	0.000156	0.022049	0.231302	0.002085	0.225596	0.002768	3021	20
# 0.000569	0.000131	0.023924	0.213354	0.003726	0.206670	0.004061	2880	32
0.000340	0.000159	0.022441	0.212061	0.002334	0.208075	0.003000	2891	23
0.000078	0.000128	0.023092	0.198314	0.002751	0.197392	0.003145	2805	26
# 0.000443	0.000059	0.026070	0.225052	0.005541	0.219932	0.005615	2980	41
# 0.000694	0.000209	0.035709	0.221115	0.006724	0.213026	0.007217	2929	55
0.000294	0.000091	0.033623	0.221948	0.009083	0.218541	0.009179	2970	68
0.000291	0.000016		0.211835	0.003382	0.209756	0.003497	2909	55
<i>ELVX-93S2 (Zr)</i>								
# 0.002576	0.000157	0.051684	0.249147	0.003437	0.219328	0.004024	2976	30
# 0.000889	0.000195	0.051370	0.242179	0.001274	0.232033	0.002594	3066	18
0.000305	0.000139	0.050041	0.238825	0.002521	0.235358	0.002987	3089	20
# 0.000495	0.000059	0.055482	0.226146	0.000926	0.220429	0.001158	2984	8
0.000318	0.000056	0.054472	0.224953	0.002285	0.221280	0.002385	2990	17
0.000085	0.000033	0.053211	0.221970	0.001957	0.220991	0.001996	2988	15
0.000000	0.000029	0.056610	0.216794	0.001623	0.216794	0.001658	2957	12
0.000003	0.000053	0.068324	0.218742	0.002123	0.218707	0.002210	2971	16
0.000077	0.000035	0.067469	0.214782	0.004735	0.213888	0.004757	2936	36
0.000032	0.000030	0.070552	0.207397	0.000598	0.207022	0.000694	2883	5
0.000082	0.000038		0.211968	0.003205	0.211808	0.002925	2923	46
<i>ELVX-93S3 (Zr)</i>								
# 0.000447	0.000129	0.084664	0.218699	0.000728	0.213494	0.001680	2933	13
# 0.000668	0.000073	0.069016	0.218069	0.002494	0.210257	0.002659	2908	20
0.000324	0.000070	0.052935	0.213321	0.003252	0.209528	0.003368	2902	26
0.000332	0.000079	0.043496	0.211126	0.002165	0.207231	0.002365	2884	19
# 0.000563	0.000037	0.037189	0.219810	0.001631	0.213245	0.001700	2931	13
0.000088	0.000074	0.036373	0.222378	0.003878	0.221365	0.003976	2991	29
# 0.000416	0.000068	0.033579	0.208946	0.004702	0.204050	0.004796	2859	38
0.000070	0.000032	0.046919	0.221944	0.005895	0.221138	0.005912	2989	43
0.000240	0.000062	0.047873	0.213091	0.005687	0.210282	0.005751	2908	44
0.000079	0.000022	0.052775	0.224301	0.003518	0.223393	0.003531	3006	25
0.000323	0.000094	0.077941	0.201828	0.006391	0.197999	0.006515	2810	54
<0.000001	0.000116	0.070968	0.195145	0.008372	0.195145	0.008485	2786	71
0.000250	0.000117	0.086842	0.226404	0.005047	0.223521	0.005241	3007	38
0.000263	0.000110	0.095050	0.220036	0.002058	0.216981	0.002430	2959	18
0.000318	0.000153	0.098231	0.213860	0.003505	0.210141	0.003952	2907	30
# 0.000709	0.000118	0.110828	0.213596	0.003975	0.205260	0.004250	2869	34
0.000125	0.000030		0.216467	0.001952	0.213578	0.002239	2936	34
<i>ELVX-93S4 (Zr)</i>								
# 0.000683	0.000132	0.032055	0.228294	0.001430	0.220399	0.002110	2984	15
# 0.000824	0.000134	0.040477	0.229070	0.001344	0.219540	0.002074	2978	15
0.000159	0.000246	0.057847	0.233259	0.000944	0.231450	0.002969	3062	21
# 0.000712	0.000277	0.056352	0.229848	0.003269	0.221630	0.004616	2993	33
# 0.000882	0.000055	0.051694	0.225817	0.002661	0.215561	0.002769	2948	21
# 0.000550	0.000175	0.054578	0.232945	0.001639	0.226627	0.002611	3029	18
# 0.000566	0.000398	0.057635	0.226842	0.005315	0.220294	0.007083	2983	52
0.000311	0.000113	0.057526	0.221456	0.002210	0.217849	0.002580	2965	19
0.000320	0.000131	0.063350	0.229860	0.009491	0.226185	0.009650	3026	68
0.000146	0.000073	0.059435	0.226114	0.002114	0.224439	0.002279	3013	16
<0.000001	0.000025	0.051712	0.215795	0.008433	0.215795	0.008438	2950	63
<0.000001	0.000041	0.049555	0.201030	0.008812	0.201030	0.008825	2835	72
0.000087	0.000018	0.061856	0.233031	0.005312	0.232041	0.005322	3067	37
0.000197	0.000040	0.059891	0.218107	0.008438	0.215813	0.008473	2950	63
0.000092	0.000032	0.064879	0.216503	0.002709	0.215437	0.002738	2947	21
0.000089	0.000089	0.065303	0.212579	0.006430	0.211543	0.006521	2918	50
0.000074	0.000046	0.067133	0.222114	0.007625	0.221262	0.007651	2990	56

continuação do ANEXO A.

0.000107	0.000017		0.228903	0.002063	0.221638	0.002131	2995	31
<i>ELVX-93S5 (Zr)</i>								
# 0.000542	0.000055	0.088836	0.232993	0.000788	0.226768	0.001017	3030	7
# 0.000417	0.000052	0.087100	0.233642	0.001184	0.228870	0.001333	3044	9
# 0.000531	0.000057	0.089811	0.231406	0.001333	0.225296	0.001496	3019	11
0.000207	0.000063	0.093552	0.233345	0.000660	0.230977	0.000979	3059	7
0.000050	0.000041	0.095641	0.234558	0.000840	0.233991	0.000962	3080	7
0.000101	0.000069	0.098019	0.228918	0.000438	0.227763	0.000905	3037	6
0.000110	0.000022	0.100527	0.226445	0.001016	0.225184	0.001049	3018	7
0.000079	0.000017	0.101973	0.223428	0.000700	0.222519	0.000728	2999	5
0.000015	0.000036	0.104049	0.221262	0.000845	0.221090	0.000942	2989	7
0.000024	0.000039	0.108508	0.223121	0.000679	0.222845	0.000815	3002	6
0.000060	0.000044	0.111346	0.220903	0.000545	0.219601	0.000746	2978	5
0.000059	0.000033	0.112328	0.220476	0.001489	0.219796	0.001538	2979	11
0.000135	0.000043	0.109194	0.221219	0.001553	0.219662	0.001634	2978	12
0.000060	0.000019	0.111830	0.224993	0.000768	0.224304	0.000799	3012	6
0.000255	0.000017	0.114585	0.227174	0.001847	0.224236	0.001864	3012	13
0.000344	0.000128	0.135371	0.227277	0.002194	0.223314	0.002656	3005	19
0.000114	0.000023		0.226078	0.001337	0.224380	0.001225	3014	18
<i>ELVX-93S6 (Zr)</i>								
0.000343	0.000044	0.023018	0.208361	0.008656	0.204324	0.008711	2862	69
0.000108	0.000124	0.023451	0.207094	0.002633	0.205829	0.003014	2873	24
0.000009	0.000158	0.024432	0.212705	0.004051	0.212600	0.004451	2926	34
0.000283	0.000138	0.026276	0.211631	0.004619	0.208313	0.004912	2893	38
0.000165	0.000100	0.028827	0.211225	0.007228	0.209300	0.007338	2901	57
0.000084	0.000138	0.032216	0.222194	0.002617	0.221227	0.003068	2990	22
0.000045	0.000104	0.033409	0.212101	0.002433	0.211577	0.002721	2918	21
0.000162	0.000131	0.032385	0.208132	0.001956	0.206235	0.002494	2876	20
0.000359	0.000159	0.032662	0.228263	0.013112	0.224131	0.013302	3011	95
<0.000001	0.000040	0.032728	0.217490	0.003186	0.217490	0.003220	2962	24
0.000078	0.000044	0.035426	0.216384	0.007435	0.215480	0.007460	2947	56
0.000080	0.000108	0.032195	0.212610	0.006572	0.211679	0.006699	2919	51
<0.000001	0.000110	0.032119	0.213675	0.003990	0.213675	0.004191	2934	32
0.000153	0.000149	0.035409	0.221072	0.005319	0.219306	0.005603	2976	41
0.000318	0.000099	0.046458	0.218361	0.003524	0.214660	0.003723	2941	28
0.000023	0.000052	0.036851	0.199294	0.006261	0.199023	0.006293	2819	52
0.000132	0.000069	0.040521	0.223130	0.028490	0.221611	0.028550	2993	207
0.000351	0.000053	0.044292	0.207515	0.009124	0.203379	0.009188	2854	74
# 0.000414	0.000035	0.046402	0.219707	0.005253	0.214894	0.005298	2943	40
<0.000001	0.000110	0.052580	0.218001	0.002314	0.218001	0.002642	2966	20
0.000127	0.000108	0.052676	0.228532	0.007138	0.227080	0.007257	3032	51
0.000161	0.000054	0.050968	0.214235	0.001598	0.212362	0.001721	2924	13
<0.000001	0.000066	0.053353	0.207527	0.011098	0.207527	0.011125	2887	87
0.000185	0.000142	0.050051	0.209683	0.006992	0.207508	0.007205	2887	56
0.000266	0.000050	0.058552	0.202096	0.003146	0.198943	0.003212	2818	26
<0.000001	0.000032	0.057481	0.216828	0.007813	0.216828	0.007822	2958	58
0.000093	0.000061	0.054601	0.219278	0.002872	0.218204	0.002961	2968	22
<0.000001	0.000094	0.056865	0.210286	0.014639	0.210286	0.014680	2908	113
0.000019	0.000121	0.051177	0.228629	0.004885	0.228412	0.005079	3041	36
0.000169	0.000074	0.054876	0.222788	0.006513	0.220829	0.006584	2987	48
0.000225	0.000045	0.056437	0.209046	0.003558	0.206400	0.003608	2878	28
0.000116	0.000077	0.064032	0.218639	0.004635	0.217298	0.004727	2961	35
<0.000001	0.000092	0.065881	0.207725	0.002296	0.207725	0.002537	2888	20
0.000080	0.000065	0.073372	0.217556	0.007593	0.216630	0.007638	2956	57
0.000148	0.000095	0.094065	0.248268	0.020994	0.246613	0.021062	3164	135
<0.000001	0.000039	0.107943	0.227612	0.002024	0.227612	0.002073	3036	15
0.000204	0.000150	0.131697	0.213889	0.004927	0.211503	0.005243	2917	40
0.000176	0.000021		0.214707	0.001169	0.213782	0.001273	2938	19
<i>ELVX-93S7 (Zr)</i>								
# 0.000646	0.000136	0.044922	0.213146	0.002451	0.205552	0.002951	2871	23
0.000295	0.000080	0.033748	0.198818	0.013561	0.195309	0.013647	2788	114
0.000144	0.000084	0.057713	0.213590	0.010713	0.211914	0.010778	2921	82
0.000051	0.000101	0.078652	0.216348	0.010443	0.215757	0.010516	2950	79
0.000059	0.000040	0.079263	0.200496	0.007433	0.199800	0.007454	2825	61
0.000241	0.000059	0.083401	0.214468	0.004939	0.211651	0.005003	2919	38
0.000086	0.000038	0.071979	0.197250	0.004165	0.196232	0.004194	2795	35
0.000105	0.000070	0.080437	0.208049	0.007017	0.206820	0.007075	2881	56
0.000185	0.000164	0.102086	0.216652	0.004518	0.214494	0.004917	2940	37
<0.000001	0.000324	0.102430	0.221035	0.002727	0.221035	0.004631	2989	34

continuação do ANEXO A.								
0.000086	0.000013		0.218748	0.001402	0.217008	0.001390	2960	20
<i>ELVX-93F2 (Zr)</i>								
0.000244	0.000241	0.074465	0.261506	0.002086	0.258805	0.003395	3240	21
# 0.000487	0.000124	0.073580	0.255192	0.002431	0.249755	0.002816	3184	18
0.000341	0.000158	0.088539	0.257319	0.006044	0.253526	0.006323	3207	39
# 0.000420	0.000080	0.105123	0.251207	0.002474	0.246498	0.002646	3163	17
0.000002	0.000119	0.109607	0.256879	0.003869	0.256857	0.004088	3228	25
# 0.000413	0.000127	0.112777	0.247409	0.002481	0.242758	0.002880	3138	19
# 0.000440	0.000207	0.117528	0.241550	0.003361	0.236560	0.004124	3097	28
0.000287	0.000055	0.108709	0.230023	0.002124	0.226727	0.002224	3029	16
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000246	0.000061		0.247940	0.008605	0.240791	0.008841	3136	117
<i>ELVX-93F3 (Zr)</i>								
0.000212	0.000031	0.048017	0.208258	0.000778	0.205762	0.000861	2873	7
0.000150	0.000026	0.055011	0.200708	0.001621	0.198937	0.001653	2818	14
0.000254	0.000020	0.069827	0.204040	0.002165	0.201036	0.002185	2835	18
0.000114	0.000029	0.078533	0.193900	0.006705	0.192545	0.006724	2764	57
0.000124	0.000021	0.097234	0.200211	0.006892	0.198747	0.006908	2816	57
0.000089	0.000059	0.134582	0.210716	0.011084	0.209677	0.011118	2903	86
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000173	0.000026		0.206411	0.001435	0.203789	0.001390	2858	22
<i>ELVX-9EF4 (Zr)</i>								
# 0.002200	0.001335	0.077451	0.205490	0.013505	0.178853	0.021687	2643	201
# 0.015287	0.021090	0.082229	0.225125	0.013766	0.005263	0.379778	0000	14
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000000	0.225125		0.000000	0.001435	0.000000	0.001390	0000	22
<i>ELVX-93F5 (Zr)</i>								
# 0.000788	0.000130	0.043925	0.228969	0.008147	0.219858	0.008371	2980	61
# 0.000406	0.000093	0.052258	0.234338	0.003552	0.229696	0.003728	3050	26
# 0.026558	0.012857	0.118736	0.265164	0.015181	<.182045	0.333029	0000	18
0.000096	0.000034	0.058572	0.216280	0.004583	0.215167	0.004606	2945	35
0.000121	0.000273	0.064453	0.223822	0.003974	0.222431	0.005078	2999	37
# 0.000533	0.000402	0.064235	0.160369	0.050908	0.153736	0.051513	2388	570
# 0.000767	0.000487	0.110892	0.221776	0.002438	0.212837	0.006242	2928	47
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000096	0.000034		0.220585	0.003733	0.218445	0.003615	2970	54
<i>ELVX-93F6 (Zr)</i>								
# 0.001035	0.000163	0.074504	0.218714	0.002111	0.206562	0.002889	2879	23
# 0.000554	0.000091	0.058369	0.212262	0.003118	0.205747	0.003320	2873	26
# 0.000564	0.000120	0.048739	0.214346	0.002361	0.207729	0.002769	2888	22
# 0.000549	0.000174	0.046316	0.217573	0.001172	0.211155	0.002363	2915	18
# 0.000941	0.000074	0.050730	0.215888	0.004050	0.204815	0.004194	2865	33
# 0.000435	0.000050	0.049601	0.209811	0.006680	0.204696	0.006744	2864	54
# 0.000529	0.000074	0.054608	0.222917	0.005784	0.216771	0.005888	2957	44
# 0.000552	0.000091	0.054921	0.216622	0.006850	0.210163	0.006983	2907	54
0.000367	0.000182	0.049890	0.320136	0.052326	0.316357	0.052613	3553	256
0.000357	0.000121	0.038611	0.117058	0.039239	0.112427	0.039455	1839	635
0.000164	0.000056	0.052122	0.201261	0.018733	0.199326	0.018785	2821	154
# 0.000454	0.000087	0.067770	0.231003	0.011371	0.225791	0.011483	3023	82
0.000238	0.000054	0.063681	0.216106	0.007771	0.213329	0.007821	2931	59
0.000101	0.000098	0.056092	0.166468	0.022756	0.165231	0.022818	2510	232
# 0.000563	0.000130	0.075851	0.219055	0.006412	0.212484	0.006638	2925	51
0.000165	0.000036	0.073088	0.214918	0.004934	0.213000	0.004963	2929	38
0.000190	0.000074	0.073584	0.230473	0.009937	0.228291	0.009998	3040	70
0.000162	0.000116	0.073450	0.224486	0.002887	0.222624	0.003189	3000	23
0.000268	0.000094	0.087541	0.222037	0.006916	0.218931	0.007026	2973	52
0.000259	0.000024	0.086082	0.213704	0.002928	0.210674	0.002951	2911	23
0.000278	0.000018	0.107902	0.220985	0.002383	0.217760	0.002401	2964	18
# 0.000494	0.000035	0.131288	0.222464	0.003411	0.216735	0.003457	2957	26
# 0.075915	0.175513	1.007.044	0.778228	0.491195	0.001184	0.002925	6087	00
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000248	0.000015		0.219341	0.002289	0.216390	0.002349	2957	33

ANEXO B - RAZÕES ISOTÓPICAS Pb/Pb DOS ZIRCÕES DE SAPRÓLITO E DE ROCHA FRESCA DO GRANODIORITO RIO MARIA (Grantóide do TGG). O sinal (#) indica que o bloco de leituras Pb/Pb, forneceu valores da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ maior que 4.10^{-4} e que portanto foi eliminado do cálculo estatístico da idade.

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
ZIRCÕES DE SAPRÓLITO								
<i>ELVTGG-93S1 (Zr)</i>								
# 0.002891	0.000077	0.104072	0.236485	0.003733	0.201972	0.004002	2842	32
# 0.002277	0.000258	0.114120	0.227815	0.003346	0.200591	0.004696	2831	38
# 0.001128	0.000087	0.129775	0.227672	0.002723	0.214403	0.002954	2939	22
# 0.000800	0.000033	0.119708	0.219918	0.004157	0.210466	0.004221	2909	32
# 0.000699	0.000071	0.128028	0.221011	0.007218	0.212771	0.007336	2927	56
# 0.000920	0.000074	0.135006	0.205983	0.001570	0.194909	0.001828	2784	15
0.000320	0.000037	0.133561	0.206344	0.008707	0.202526	0.008756	2847	70
0.000345	0.000060	0.114859	0.168699	0.006365	0.164405	0.006439	2502	66
0.000232	0.000019	0.218044	0.203509	0.009267	0.200732	0.009299	2833	76
0.000188	0.000028	0.175132	0.156802	0.011769	0.154431	0.011805	2396	130
0.000254	0.000077	0.121351	0.182538	0.008702	0.179426	0.008783	2648	81
0.000098	0.000064	0.119730	0.169279	0.005948	0.168067	0.006009	2539	60
0.000053	0.000033	0.197172	0.242009	0.040450	0.241407	0.040481	3129	267
0.000175	0.000076	0.280141	0.270353	0.029976	0.268417	0.030059	3297	176
0.000164	0.000122	0.203111	0.219478	0.018750	0.217561	0.018846	2963	140
0.000207	0.000028		0.181518	0.007112	0.178783	0.007109	2679	140
<i>ELVTGG-93S2 (Zr)</i>								
0.000349	0.000120	0.143539	0.208544	0.002643	0.204390	0.003019	2862	24
0.000361	0.000064	0.154041	0.208202	0.000756	0.203903	0.001079	2858	9
0.000359	0.000059	0.153061	0.203392	0.000942	0.199093	0.001183	2819	10
0.000164	0.000072	0.150939	0.207488	0.001301	0.205544	0.001561	2871	12
0.000130	0.000086	0.148559	0.203803	0.001575	0.202257	0.001883	2845	15
0.000117	0.000044	0.151906	0.210301	0.002535	0.208920	0.002592	2898	20
<0.000001	0.000043	0.150652	0.204429	0.001547	0.204429	0.001629	2862	13
0.000146	0.000080	0.154221	0.203484	0.001813	0.201746	0.002053	2841	17
<0.000001	0.000079	0.161158	0.202901	0.002281	0.202901	0.002468	2850	20
0.000096	0.000095	0.162572	0.197018	0.003623	0.195868	0.003804	2792	32
0.000124	0.000045	0.166976	0.209987	0.004411	0.208522	0.004451	2894	35
0.000061	0.000030	0.173135	0.198585	0.002929	0.197856	0.002953	2809	24
0.000026	0.000067	0.175498	0.194626	0.004769	0.194314	0.004838	2779	41
0.000024	0.000051	0.182402	0.196265	0.007200	0.195977	0.007228	2793	60
0.000030	0.000026	0.202065	0.199336	0.004118	0.198977	0.004131	2818	34
0.000133	0.000066	0.196081	0.200802	0.004672	0.199214	0.004747	2820	39
0.000000	0.000049	0.191337	0.203143	0.000782	0.203143	0.000976	2852	8
0.000113	0.000038	0.192467	0.204246	0.001636	0.202903	0.001700	2850	14
0.000080	0.000220	0.191443	0.203683	0.000981	0.202732	0.002804	2849	23
0.000266	0.000165	0.196425	0.211199	0.004244	0.208044	0.004690	2891	37
0.000104	0.000023		0.204815	0.000617	0.202749	0.000597	2849	10
<i>ELVTGG-93S3 (Zr)</i>								
# 0.000491	0.000172	0.144516	0.215518	0.002274	0.209714	0.003072	2904	24
# 0.000990	0.000167	0.137474	0.208112	0.004481	0.196216	0.004977	2795	42
# 0.000875	0.000082	0.137666	0.212260	0.004665	0.201809	0.004824	2841	39
0.000141	0.000155	0.135179	0.208406	0.002710	0.206737	0.003282	2880	26
0.000383	0.000227	0.143444	0.218107	0.002382	0.213597	0.003600	2933	27
0.000087	0.000079	0.142006	0.207781	0.003455	0.206751	0.003584	2880	28
# 0.000558	0.000105	0.140229	0.220440	0.010840	0.213866	0.010994	2935	83
# 0.000465	0.000222	0.155203	0.200902	0.004106	0.195314	0.004929	2788	41
0.000357	0.000401	0.153511	0.209512	0.003901	0.205267	0.006191	2869	49
# 0.002089	0.000450	0.168594	0.226613	0.002796	0.201672	0.006234	2840	50
# 0.001096	0.000873	0.165668	0.216210	0.005964	0.203148	0.012176	2852	98
# 0.000641	0.000348	0.163202	0.218161	0.003158	0.210584	0.005231	2910	40
# 0.001969	0.000428	0.148219	0.223296	0.008766	0.199732	0.010432	2824	85
0.000375	0.000231	0.146935	0.213984	0.003152	0.209548	0.004194	2902	32
0.000237	0.000063	0.141488	0.203526	0.004174	0.200689	0.004255	2832	35
<0.000001	0.000266	0.165995	0.217798	0.002143	0.217798	0.003783	2965	28
<0.000001	0.000279	0.183530	0.213011	0.003142	0.213011	0.004548	2929	35
0.000083	0.000528	0.237448	0.222003	0.002548	0.221036	0.006679	2989	49
0.000192	0.000045		0.214460	0.001882	0.209993	0.001925	2908	30
<i>ELVTGG-93S4 (Zr)</i>								
0.000179	0.000059	0.142554	0.171255	0.022440	0.169033	0.022507	2548	223
0.000183	0.000076	0.109590	0.236343	0.065565	0.234234	0.065735	3082	448
0.000198	0.000106	0.054291	0.109049	0.015880	0.106423	0.015985	1739	275

Continuação do Anexo B

# 0.000544	0.000225	0.196284	0.164508	0.027801	0.157682	0.028152	2431	303
<0.000001	0.000491	0.145979	0.200698	0.014840	0.200698	0.015959	2832	130
# 0.001330	0.000681	0.176289	0.214552	0.008543	0.198616	0.012032	2815	99
0.000184	0.000043		0.162132	0.024539	0.158520	0.025209	2639	438
<i>ELVTGG-93S5 (Zr)</i>								
0.000326	0.000078	0.122957	0.205802	0.004246	0.201910	0.004366	2842	35
# 0.000415	0.000087	0.122620	0.200754	0.005762	0.195768	0.005889	2791	49
0.000181	0.000035	0.120359	0.191924	0.005471	0.189728	0.005501	2740	48
0.000087	0.000054	0.127822	0.207995	0.005592	0.206965	0.005635	2882	44
0.000128	0.000073	0.125084	0.203965	0.003162	0.202443	0.003285	2846	26
0.000186	0.000045	0.126226	0.187320	0.002729	0.185051	0.002790	2699	25
0.000278	0.000055	0.131619	0.193467	0.001531	0.190101	0.001676	2743	14
0.000117	0.000032	0.145325	0.194980	0.005175	0.193574	0.005198	2773	44
0.000121	0.000080	0.145473	0.201605	0.003115	0.200162	0.003264	2828	27
0.000060	0.000006	0.150770	0.235526	0.018756	0.234838	0.018771	3086	128
0.000117	0.000033	0.130775	0.196745	0.002690	0.195342	0.002723	2788	23
0.000114	0.000059	0.161638	0.206607	0.010596	0.205256	0.010636	2869	84
<0.000001	0.000078	0.178508	0.193639	0.013066	0.193639	0.013100	2774	111
0.000050	0.000068	0.161957	0.174787	0.005748	0.174173	0.005813	2598	56
<0.000001	0.000048	0.171072	0.165771	0.011928	0.165771	0.011943	2516	121
0.000069	0.000026	0.164683	0.187449	0.007351	0.186613	0.007365	2713	65
0.000119	0.000061	0.211980	0.215037	0.039816	0.213640	0.039887	2934	302
0.000101	0.000022	0.183154	0.196785	0.003748	0.195574	0.003762	2790	31
<0.000001	0.000023	0.186851	0.191916	0.001653	0.191916	0.001676	2759	14
0.000074	0.000035	0.190522	0.195877	0.001587	0.194990	0.001644	2785	14
<0.000001	0.000055	0.179990	0.201211	0.001878	0.201211	0.001990	2836	16
0.000075	0.000010		0.195630	0.001312	0.194256	0.001374	2782	23
<i>ELVTGG-93S6 (Zr)</i>								
# 0.001112	0.000038	0.117304	0.197380	0.003618	0.183836	0.003704	2688	33
# 0.001288	0.000238	0.121226	0.204512	0.019416	0.188907	0.019979	2733	174
0.000134	0.000092	0.134825	0.210127	0.017915	0.208544	0.017981	2895	140
0.000062	0.000156	0.170797	0.217918	0.017923	0.217193	0.018031	2960	134
<0.000001	0.000020	0.144881	0.210386	0.011470	0.210386	0.011472	2909	88
0.000206	0.000188	0.118866	0.189591	0.013676	0.187086	0.013904	2717	122
# 0.000982	0.000142	0.148359	0.213223	0.010675	0.201494	0.010955	2839	89
0.000256	0.000391	0.156870	0.209806	0.009012	0.206764	0.010173	2881	80
# 0.002956	0.000533	0.158514	0.199856	0.005003	0.163003	0.008666	2487	90
# 0.001384	0.000865	0.183550	0.206035	0.006414	0.189277	0.012518	2736	109
0.000133	0.000072		0.207347	0.005635	0.205482	0.005913	2876	93
<i>ELVTGG-93S7 (Zr)</i>								
# 0.001268	0.000127	0.177125	0.194271	0.003865	0.178732	0.004240	2642	39
# 0.002005	0.000151	0.197201	0.235616	0.006214	0.211955	0.006646	2921	51
# 0.001697	0.000078	0.197229	0.224515	0.007907	0.204314	0.008149	2861	65
# 0.001231	0.000141	0.185178	0.217403	0.003087	0.202717	0.003575	2848	29
# 0.000664	0.000124	0.156999	0.206224	0.005090	0.198264	0.005351	2812	44
# 0.000641	0.000020	0.142304	0.190462	0.004401	0.182641	0.004447	2677	40
0.000371	0.000039	0.134078	0.188552	0.012746	0.184035	0.012820	2690	115
0.000251	0.000052	0.128650	0.198265	0.005224	0.195243	0.005279	2787	44
# 0.000454	0.000067	0.184998	0.239951	0.016914	0.234739	0.017037	3085	116
0.000396	0.000059	0.160649	0.191017	0.016206	0.186208	0.016310	2709	144
# 0.000552	0.000114	0.172930	0.264579	0.029642	0.258410	0.029894	3238	182
0.000223	0.000047	0.130520	0.234798	0.029066	0.232224	0.029160	3068	201
0.000150	0.000161	0.135762	0.205400	0.016548	0.203618	0.016693	2856	133
0.000212	0.000236	0.134651	0.204686	0.006351	0.202151	0.006968	2844	56
<0.000001	0.000161	0.158868	0.205108	0.010611	0.205108	0.010782	2868	85
# 0.001380	0.001004	0.194745	0.223656	0.004086	0.207285	0.012834	2885	100
<0.000001	0.002007	0.217168	0.262671	0.011330	0.262671	0.025013	3263	150
0.000308	0.000034		0.205838	0.006901	0.199011	0.004370	2828	79
<i>ELVTGG-93S8 (Zr)</i>								
0.000015	0.000058	0.131695	0.202889	0.001134	0.202711	0.001329	2848	11
# 0.000900	0.000253	0.136543	0.207127	0.002084	0.196311	0.003731	2796	31
0.000015	0.000058		0.202889	0.001134	0.202711	0.001329	2848	21
<i>ELVTGG-93F1 (Zr)</i>								
0.000132	0.000039	0.133615	0.198545	0.001278	0.196965	0.001364	2801	11
0.000029	0.000011	0.138764	0.192823	0.006974	0.192474	0.006978	2764	59
0.000170	0.000079	0.205733	0.207375	0.003660	0.205347	0.003787	2870	30
0.000053	0.000345	0.200488	0.202674	0.001552	0.202043	0.004404	2843	36
0.000039	0.000018		0.200554	0.001638	0.198075	0.001687	2811	28
<i>ELVTGG-93F2 (Zr)</i>								

Continuação do ANEXO B.

0.000079	0.000006	0.131072	0.186074	0.006006	0.185115	0.006013	2700	54
0.000060	0.000006	0.113161	0.160436	0.004115	0.159688	0.004119	2453	44
Continuação do Anexo B.								
0.000048	0.000007	0.098602	0.178176	0.002381	0.177589	0.002384	2631	22
0.000038	0.000008	0.175490	0.183922	0.002210	0.183461	0.002213	2685	20
0.000139	0.000054	0.177978	0.185935	0.006085	0.184248	0.006132	2692	55
0.000269	0.000107	0.194197	0.202818	0.001246	0.199596	0.001793	2823	15
0.000376	0.000248	0.216040	0.208169	0.002905	0.203691	0.004165	2856	33
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000060	0.000007		0.194067	0.005261	0.187888	0.004958	2736	84
ELVTGG-93F3 (Zr)								
0.000061	0.000019	0.130584	0.185772	0.006430	0.185032	0.006439	2699	57
0.000177	0.000102	0.139329	0.200487	0.001471	0.198360	0.001917	2813	16
# 0.000474	0.000212	0.166468	0.211607	0.000651	0.205980	0.002619	2874	21
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000065	0.000021		0.199755	0.003199	0.197275	0.003645	2805	58
ELVTGG-93F4 (Zr)								
# 0.000746	0.000101	0.118004	0.203890	0.003899	0.194917	0.004126	2784	35
# 0.000442	0.000053	0.105989	0.194735	0.002605	0.189387	0.002699	2737	23
0.000329	0.000039	0.114590	0.203371	0.003230	0.199432	0.003278	2822	27
# 0.000409	0.000039	0.126276	0.207202	0.001498	0.202325	0.001577	2845	13
# 0.000412	0.000154	0.131282	0.203355	0.002889	0.198420	0.003448	2814	28
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000329	0.000039		0.203371	0.003230	0.199432	0.003278	2822	54
ELVTGG-93F5 (Zr)								
0.000307	0.000059	0.120344	0.192198	0.002289	0.188476	0.002408	2729	21
0.000101	0.000031	0.126235	0.198469	0.008631	0.197261	0.008651	2804	72
0.000189	0.000051	0.126847	0.185204	0.004140	0.182894	0.004197	2680	38
0.000120	0.000045	0.147148	0.187147	0.014033	0.185693	0.014067	2705	125
0.000073	0.000015	0.146185	0.194765	0.005528	0.193888	0.005536	2776	47
0.000086	0.000025	0.155151	0.195680	0.005100	0.194648	0.005115	2782	43
0.000107	0.000035	0.170264	0.198172	0.003641	0.196891	0.003670	2801	30
<0.000001	0.000050	0.183165	0.202911	0.000847	0.202911	0.001036	2850	8
<0.000001	0.000088	0.204971	0.205073	0.000758	0.205073	0.001292	2867	10
<0.000001	0.000063	0.209972	0.207454	0.000209	0.207454	0.000776	2886	6
0.000090	0.000084	0.214175	0.210391	0.001890	0.209329	0.002138	2901	17
<0.000001	0.000092	0.222363	0.204634	0.002853	0.204634	0.003056	2864	24
<0.000001	0.000105	0.224120	0.203826	0.001296	0.203826	0.001801	2857	14
<0.000001	0.000153	0.231601	0.206898	0.001902	0.206898	0.002630	2882	21
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000096	0.000017		0.206793	0.000604	0.204387	0.001380	2864	21
ELVTGG-93F6 (Zr)								
# 0.002094	0.000302	0.101775	0.199546	0.003326	0.173750	0.005137	2594	49
<0.000001	0.000076	0.116710	0.195055	0.003305	0.195055	0.003429	2786	29
0.000330	0.000039	0.125377	0.202533	0.003927	0.198579	0.003973	2815	33
# 0.001513	0.000216	0.135431	0.201523	0.002575	0.183068	0.003761	2681	34
# 0.001824	0.000722	0.155089	0.213057	0.004586	0.191018	0.010108	2751	87
# 0.000856	0.000391	0.144079	0.197945	0.002665	0.187555	0.005505	2721	48
<0.000001	0.000331	0.136106	0.205679	0.002543	0.205679	0.004685	2872	37
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000330±	0.000039		0.201896	0.003238	0.198702	0.002939	2817	49
ELVTGG-93F7 (Zr)								
# 0.000716	0.000094	0.094416	0.182157	0.001287	0.173333	0.001749	2590	17
# 0.000822	0.000086	0.094068	0.181576	0.005512	0.171428	0.005677	2572	55
# 0.000713	0.000154	0.090830	0.183462	0.006085	0.174688	0.006436	2603	61
0.000195	0.000132	0.107298	0.188833	0.003052	0.186459	0.003457	2712	31
# 0.000959	0.000202	0.122425	0.214529	0.010907	0.203095	0.011317	2851	91
# 0.000550	0.000124	0.104026	0.183452	0.004419	0.176693	0.004709	2622	44
# 0.001395	0.000181	0.100235	0.215421	0.013103	0.198709	0.013538	2816	111
# 0.000443	0.000201	0.100081	0.170021	0.017183	0.164511	0.017469	2503	179
# 0.000983	0.000315	0.116462	0.192723	0.009152	0.180704	0.010064	2660	92
0.000345	0.000165	0.087574	0.156016	0.012327	0.151662	0.012561	2365	141
<0.000001	0.000163	0.112077	0.179448	0.006003	0.179448	0.006326	2648	58
# 0.000879	0.000147	0.089067	0.163589	0.025109	0.152500	0.025482	2374	285
# 0.000656	0.000113	0.101992	0.186442	0.003216	0.178401	0.003533	2638	33
0.000217	0.000078	0.093336	0.186621	0.011457	0.183973	0.011530	2689	104
0.000157	0.000100	0.091630	0.181032	0.006668	0.179115	0.006794	2645	63
0.000175	0.000091	0.087356	0.180175	0.010896	0.178023	0.010979	2635	102
0.000217	0.000110	0.081454	0.178319	0.010377	0.175647	0.010496	2612	99
0.000234	0.000102	0.063902	0.187410	0.006565	0.184557	0.006703	2695	60
<0.000001	0.000071	0.057907	0.204167	0.009717	0.204167	0.009754	2860	78
0.000174	0.000305	0.066456	0.215894	0.008987	0.213840	0.009701	2935	73
<0.000001	0.000152	0.089967	0.204944	0.006240	0.204944	0.006497	2866	52
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000208	0.000039		0.188982	0.003436	0.187032	0.003690	2728	65

Continuação do ANEXO B.

ELVTGG-93F8 (Zr)

0.000078	0.000029	0.131676	0.190915	0.004797	0.189974	0.004815	2742	42
0.000353	0.000032	0.124330	0.168357	0.013902	0.163962	0.013975	2497	143
0.000200	0.000053	0.134066	0.190498	0.009570	0.188068	0.009618	2726	84
0.000289	0.000067	0.097587	0.149040	0.007370	0.145366	0.007448	2293	88
0.000365	0.000113	0.114166	0.183201	0.020992	0.178730	0.021143	2642	196
# 0.000911	0.000281	0.107387	0.185512	0.004362	0.174291	0.005638	2600	54
0.000215	0.000052	0.070477	0.203824	0.048897	0.201252	0.049045	2837	397
# 0.001414	0.000442	0.063272	0.123520	0.029776	0.104775	0.030942	1711	543
<0.000001	0.000287	0.232261	0.219774	0.052626	0.219774	0.052733	2979	386
<0.000001	0.001019	0.119777	0.130354	0.034260	0.130354	0.036699	2103	494
<0.000001	0.000711	0.180189	0.229556	0.006899	0.229556	0.010732	3049	75
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000213	0.000053		0.189616	0.009206	0.182510	0.008462	2724	146

ELVTGG-93F9 (Zr)

0.000110	0.000021	0.099236	0.166717	0.006512	0.165353	0.006527	2511	66
0.000103	0.000076	0.111495	0.187254	0.011057	0.186006	0.011111	2707	99
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000109	0.000020		0.172006	0.008981	0.170652	0.009020	2573	182

ELVTGG-93F10 (Zr)

0.000213	0.000191	0.140990	0.198697	0.003613	0.196133	0.004293	2795	36
0.000029	0.000078	0.144229	0.200062	0.007125	0.199716	0.007189	2824	59
<0.000001	0.000380	0.147101	0.204590	0.006949	0.204590	0.008291	2864	66
# 0.004312	0.000606	0.156288	0.221098	0.007982	0.167610	0.011648	2534	117
<0.000001	0.000606	0.155987	0.195302	0.007650	0.195302	0.010566	2788	89
0.000082	0.000183	0.147867	0.207129	0.004272	0.206158	0.004799	2876	38
<0.000001	0.000919	0.160388	0.214092	0.002673	0.214092	0.011144	2937	84
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000059	0.000067		0.206930	0.003093	0.201280	0.002594	2839	42

ELVTGG-93F11 (Zr)

<0.000001	0.000143	0.106284	0.189151	0.007377	0.189151	0.007578	2735	66
0.000372	0.000010	0.129545	0.187465	0.009945	0.182929	0.009996	2680	90
0.000203	0.000313	0.053078	0.105159	0.035034	0.102455	0.035378	1669	638
# 0.000554	0.000091	0.147015	0.196025	0.006093	0.189312	0.006239	2737	54
0.000000	0.000042	0.126514	0.184486	0.005233	0.184486	0.005258	2694	47
0.000207	0.000040	0.146564	0.197481	0.006959	0.194986	0.006995	2785	59
0.000023	0.000050	0.135345	0.198533	0.001418	0.198258	0.001540	2812	13
<0.000001	0.000025	0.134827	0.201093	0.010254	0.201093	0.010258	2835	83
<0.000001	0.000036	0.142324	0.200382	0.001006	0.200382	0.001094	2830	9
<0.000001	0.000058	0.163299	0.202208	0.002059	0.202208	0.002172	2844	18
<0.000001	0.000226	0.157695	0.202390	0.003489	0.202390	0.004410	2846	35
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000350	0.000043		0.199660	0.001150	0.199433	0.001285	2823	19

ELVTGG-93F12 (Zr)

# 0.001917	0.000071	0.100301	0.207227	0.002321	0.183870	0.002543	2688	23
# 0.001026	0.000080	0.111183	0.191122	0.007257	0.178549	0.007427	2640	69
# 0.001027	0.000087	0.123802	0.180881	0.003704	0.168150	0.003912	2540	39
# 0.001784	0.000267	0.147512	0.190875	0.007511	0.168778	0.008411	2546	83
# 0.001291	0.000257	0.114862	0.268266	0.110810	0.253764	0.112830	3209	702
# 0.001485	0.000126	0.131194	0.195986	0.005471	0.177776	0.005802	2633	54
# 0.001402	0.000030	0.129414	0.181776	0.012357	0.164325	0.012603	2501	129
# 0.001504	0.000139	0.141980	0.195261	0.005422	0.176787	0.005803	2623	55
# 0.000678	0.000088	0.142755	0.192640	0.007719	0.184385	0.007866	2693	70
# 0.000930	0.000118	0.139482	0.197972	0.003683	0.186674	0.004003	2714	35
# 0.001184	0.000106	0.139590	0.191131	0.006482	0.176584	0.006720	2621	63
# 0.004056	0.000284	0.159109	0.211970	0.004821	0.161314	0.006335	2470	66
# 0.002254	0.000429	0.175461	0.218584	0.002800	0.191350	0.006077	2754	52
# 0.001805	0.000666	0.161646	0.206156	0.005060	0.184178	0.009801	2691	88
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000000	0.206156		0.000000	0.001150	0.000000	0.001285	0000	19

ELVTGG-93F13 (Zr)

# 0.000452	0.000024	0.169177	0.176609	0.002276	0.171027	0.002309	2568	23
0.000170	0.000020	0.158228	0.192434	0.000644	0.190372	0.000690	2746	6
0.000235	0.000048	0.159964	0.188597	0.001701	0.185737	0.001804	2705	16
# 0.000462	0.000072	0.155884	0.205152	0.002319	0.199627	0.002490	2824	20
0.000271	0.000077	0.163458	0.202644	0.002938	0.199397	0.003091	2822	25
# 0.001010	0.000102	0.153981	0.210902	0.002303	0.198803	0.002643	2817	22
# 0.000433	0.000219	0.154601	0.210811	0.001594	0.205667	0.003070	2872	24
# 0.001430	0.000110	0.162141	0.214558	0.001514	0.197403	0.002048	2805	17
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000185	0.000022		0.192384	0.001728	0.190182	0.001729	2745	30

ANEXO C - RAZÕES ISOTÓPICAS Pb/Pb DOS ZIRCÕES DE SAPRÓLITO E DE ROCHA FRESCA DO GRANITÓIDE ESTRATÓIDE DA SUÍTE PLAQUÊ. O sinal (#) indica que o bloco de leitura Pb/Pb, forneceu valor da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ maior que 4.10^{-4} e que portanto foi eliminado do cálculo estatístico da idade.

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
ZIRCÕES DE SAPRÓLITO								
<i>ELVP-93S1 (Zr)</i>								
# 0.000516	0.000304	0.218491	0.154363	0.014357	0.147728	0.015025	2320	174
# 0.000951	0.000273	0.268942	0.200948	0.013243	0.189474	0.013895	2738	121
# 0.000793	0.000196	0.303821	0.198203	0.000999	0.188629	0.002609	2731	23
# 0.001011	0.000645	0.339584	0.196660	0.003266	0.184367	0.008660	2693	78
# 0.001091	0.000359	0.331954	0.202815	0.003618	0.189661	0.005760	2740	50
# 0.001318	0.000540	0.329061	0.205680	0.003277	0.189788	0.007474	2741	65
# 0.000620	0.000579	0.333793	0.207252	0.002680	0.199893	0.007462	2826	61
# 0.003865	0.004871	0.368807	0.227803	0.003102	0.180523	0.064337	2658	591
0.000000	0.227803		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0000	0
<i>ELVP-93S2 (Zr)</i>								
# 0.001065	0.000044	0.385120	0.218520	0.065514	0.206006	0.066854	2875	527
# 0.001739	0.000179	0.377249	0.190177	0.028417	0.168516	0.029468	2543	293
# 0.001954	0.000347	0.467906	0.264952	0.029211	0.243358	0.030585	3142	200
# 0.001154	0.000244	0.309455	0.202916	0.017014	0.188990	0.017650	2734	154
# 0.003184	0.000856	0.245488	0.160035	0.006130	0.117299	0.013850	1916	212
# 0.002538	0.000440	0.493087	0.215184	0.020672	0.184317	0.022423	2692	201
# 0.003118	0.000650	0.486098	0.221883	0.004125	0.183951	0.009475	2689	85
# 0.002295	0.004749	0.717704	0.297133	0.024700	0.273053	0.058121	3324	333
0.000000	0.297133		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0000	00
<i>ELVP-93S3 (Zr)</i>								
0.000359	0.000120	0.266406	0.177709	0.025538	0.173270	0.025755	2590	248
<0.000001	0.000071	0.308497	0.215239	0.021476	0.215239	0.021492	2946	161
0.000119	0.000147	0.289336	0.209312	0.024784	0.207921	0.024899	2890	194
0.000219	0.000200	0.340236	0.182630	0.011417	0.179944	0.011725	2653	108
# 0.001155	0.000358	0.334814	0.204838	0.017846	0.190942	0.018766	2751	161
# 0.000846	0.000180	0.348519	0.206709	0.011402	0.196611	0.011790	2798	98
<0.000001	0.000100	0.345265	0.194335	0.006232	0.194335	0.006346	2779	54
# 0.000811	0.000565	0.398816	0.201013	0.008126	0.191262	0.010758	2753	92
# 0.001211	0.000553	0.418558	0.202741	0.003769	0.188096	0.007853	2726	69
0.000255	0.000084		0.193159	0.005080	0.192483	0.005171	2770	88
<i>ELVP-93S4 (Zr)</i>								
# 0.002217	0.000387	0.317209	0.220602	0.002499	0.194044	0.005495	2777	46
# 0.000890	0.000478	0.344500	0.214964	0.001485	0.204475	0.005923	2863	47
# 0.001101	0.000198	0.335475	0.205679	0.004048	0.192463	0.004794	2764	41
0.000000	0.205679		0.000000	0.005080	0.000000	0.005171	0000	88
<i>ELVP-93S5 (Zr)</i>								
# 0.004006	0.000428	0.355147	0.211059	0.002174	0.160556	0.006291	2462	66
# 0.002826	0.000470	0.393748	0.221558	0.007645	0.187348	0.010064	2719	89
# 0.003382	0.000183	0.379978	0.212086	0.000658	0.170055	0.002528	2559	25
# 0.004743	0.000210	0.418150	0.233642	0.002310	0.175151	0.003810	2608	36
# 0.003985	0.001026	0.406006	0.223837	0.003345	0.174654	0.014158	2603	135
# 0.003889	0.000639	0.423148	0.229354	0.003204	0.181880	0.009097	2671	83
# 0.012461	0.003785	0.481641	0.266824	0.010324	0.094185	0.069799	1512	399
0.000000	0.266824		0.000000	0.005080	0.000000	0.005171	0000	88
<i>ELVP-93S6 (Zr)</i>								
# 0.004959	0.000302	0.310481	0.211192	0.000948	0.147451	0.004407	2317	51
<0.000001	0.000358	0.320717	0.189960	0.011964	0.189960	0.012718	2742	110
0.000287	0.000393	0.339416	0.194883	0.005355	0.191430	0.007181	2755	62
0.000287	0.000393		0.194061	0.004888	0.191074	0.006253	2752	108
<i>ELVP-93S7 (Zr)</i>								
# 0.006023	0.000359	0.324661	0.223893	0.003388	0.146354	0.006462	2304	76
# 0.002458	0.000287	0.317042	0.213549	0.001685	0.183632	0.004067	2686	37
# 0.001175	0.000665	0.298224	0.216302	0.003464	0.202408	0.008784	2846	71
# 0.003010	0.000409	0.310919	0.209838	0.001075	0.172572	0.005487	2583	53
# 0.001213	0.000244	0.342955	0.215536	0.004417	0.201165	0.005402	2836	44
# 0.001134	0.000471	0.337444	0.212192	0.002459	0.198714	0.006249	2816	51
# 0.001687	0.000296	0.336114	0.202926	0.003536	0.182350	0.005219	2675	47
0.000144	0.000535	0.369108	0.205005	0.000945	0.203310	0.006402	2853	51
0.000144	0.000535		0.205005	0.000945	0.203310	0.006402	2853	103

continuação do ANEXO C

<i>ELVP-93S8</i>								
<0.000001	0.000079	0.208483	0.191176	0.001940	0.191176	0.002160	2753	19
# 0.000621	0.000300	0.256881	0.198668	0.001129	0.191195	0.003826	2753	33
0.000381	0.000186	0.242918	0.189298	0.008914	0.184669	0.009263	2696	83
<0.000001	0.000255	0.317896	0.196140	0.002915	0.196140	0.004215	2795	35
0.000387	0.000358	0.413792	0.217073	0.018429	0.212575	0.019032	2926	145
# 0.000676	0.000498	0.321793	0.199237	0.010953	0.191104	0.012646	2752	109
0.000205	0.000186	0.318081	0.180431	0.008790	0.177909	0.009117	2634	85
<0.000001	0.000834	0.362453	0.198696	0.012971	0.198696	0.016327	2816	134
<0.000001	0.005680	0.437539	0.214308	0.010436	0.214308	0.066690	2939	503
0.000304	0.000123		0.192944	0.002008	0.191630	0.001823	2758	31
<i>ELVP-93S9 (Zr)</i>								
# 0.000532	0.000577	0.313660	0.237462	0.001740	0.231459	0.006802	3063	47
<0.000001	0.001975	0.331619	0.238351	0.002900	0.238351	0.022201	3109	148
0.000000	0.238351		0.238351	0.002900	0.238351	0.022201	3109	297
<i>ELVP-93S10 (Zr)</i>								
0.000236	0.000181	0.210481	0.192757	0.001482	0.189908	0.002649	2742	23
0.000324	0.000039	0.249599	0.187988	0.001694	0.184046	0.001770	2690	16
# 0.000426	0.000118	0.267304	0.189100	0.001742	0.183920	0.002276	2689	20
<0.0000001	0.000137	0.284719	0.190385	0.001743	0.190385	0.002400	2746	21
0.000205	0.000151	0.288988	0.184207	0.001515	0.181699	0.002396	2669	22
0.000217	0.000109	0.301655	0.200184	0.002851	0.197595	0.003146	2807	26
0.000399	0.000064	0.297458	0.192409	0.002647	0.187584	0.002779	2722	24
0.000046	0.000060	0.303020	0.191093	0.000576	0.190541	0.000925	2747	8
0.000277	0.000068	0.310567	0.188328	0.000881	0.184961	0.001214	2698	11
0.000068	0.000057	0.326839	0.185880	0.001119	0.185057	0.001318	2699	12
0.000081	0.000035	0.328281	0.189569	0.000973	0.188593	0.001063	2730	9
0.000131	0.000170	0.320713	0.192432	0.003009	0.190860	0.003648	2750	31
0.000374	0.000120	0.321658	0.195132	0.001158	0.190630	0.001865	2748	16
0.000225	0.000118	0.313105	0.189729	0.004874	0.187001	0.005101	2716	45
# 0.000479	0.000181	0.285586	0.175999	0.005276	0.170051	0.005788	2559	57
0.000355	0.000123	0.330257	0.190577	0.001688	0.186274	0.002267	2710	20
0.000119	0.000150	0.324109	0.190409	0.007743	0.188977	0.007970	2734	69
0.000212	0.000112	0.391489	0.183921	0.003030	0.181327	0.003338	2665	30
# 0.000418	0.000129	0.321414	0.181241	0.002410	0.176097	0.002909	2617	27
<0.000001	0.000089	0.345420	0.189774	0.004823	0.189774	0.004941	2741	43
0.000312	0.000089	0.325065	0.187722	0.006342	0.183925	0.006472	2689	58
0.000085	0.000167	0.361314	0.185215	0.001002	0.184185	0.002269	2691	20
<0.000001	0.000259	0.369666	0.185463	0.002381	0.185463	0.003944	2703	35
<0.000001	0.000239	0.379385	0.187886	0.001714	0.187886	0.003360	2724	29
<0.000001	0.000268	0.387512	0.188781	0.001517	0.188781	0.003574	2732	31
0.000199	0.000032		0.189464	0.000660	0.187660	0.000670	2723	12
<i>ELVP-93S11 (Zr)</i>								
<0.000001	0.000155	0.205181	0.214131	0.002641	0.214131	0.003195	2937	24
0.000290	0.000446	0.178043	0.218275	0.004331	0.214914	0.006779	2943	51
0.000290	0.000446		0.215254	0.002255	0.214273	0.002890	2938	44
<i>ELVP-93S12 (Zr)</i>								
# 0.001300	0.000135	0.315816	0.231311	0.008231	0.216283	0.008588	2953	64
0.000000	0.231311		0.000000	0.002255	0.000000	0.002890	0000	44
<i>ELVP-93S13 (Zr)</i>								
# 0.001147	0.000149	0.159359	0.187855	0.004094	0.173684	0.004588	2594	44
# 0.002138	0.000095	0.190812	0.193639	0.002865	0.166947	0.003231	2528	32
# 0.000622	0.000176	0.225883	0.199207	0.002404	0.191729	0.003240	2757	28
# 0.000451	0.000289	0.257242	0.190805	0.001741	0.185333	0.003950	2701	35
# 0.000561	0.000129	0.261726	0.200132	0.002685	0.193402	0.003132	2772	27
# 0.001094	0.000197	0.267347	0.200932	0.002771	0.187702	0.003732	2723	33
# 0.001436	0.000191	0.255015	0.197201	0.002482	0.179616	0.003505	2650	32
# 0.001241	0.000151	0.244923	0.198351	0.010927	0.183232	0.011345	2683	102
# 0.001732	0.000311	0.282306	0.225279	0.002674	0.204890	0.004687	2866	37
# 0.002745	0.000467	0.270191	0.228014	0.002008	0.195198	0.006256	2787	52
# 0.002060	0.000446	0.275236	0.231147	0.006198	0.206977	0.008439	2882	66
# 0.001624	0.000119	0.282016	0.200866	0.001959	0.181015	0.002517	2662	23
# 0.001050	0.000221	0.292030	0.206232	0.002371	0.193650	0.003626	2774	31
# 0.000489	0.000276	0.274426	0.202334	0.010955	0.196505	0.011545	2798	96
# 0.000504	0.000255	0.296107	0.193435	0.003839	0.187329	0.004973	2719	44
# 0.000820	0.000194	0.316196	0.200126	0.001542	0.190251	0.002844	2745	25
# 0.000499	0.000240	0.346692	0.191372	0.002857	0.185307	0.004120	2701	37
# 0.002567	0.000279	0.373785	0.206497	0.003451	0.174820	0.005122	2605	49
# 0.003263	0.000255	0.384550	0.197689	0.007919	0.156288	0.009113	2416	99

continuação do ANEXO C

# 0.001035	0.000271	0.366957	0.201848	0.002224	0.189362	0.004033	2737	35
<0.000001	0.000269	0.415176	0.195139	0.001301	0.195139	0.003470	2786	29
# 0.000486	0.000307	0.407464	0.204161	0.005273	0.198385	0.006473	2813	53
0.000380	0.000334	0.419183	0.204369	0.006182	0.199861	0.007397	2825	60
0.000303	0.000337	0.466584	0.202246	0.003413	0.198642	0.005294	2816	44
# 0.001362	0.000177	0.498110	0.190594	0.007616	0.173763	0.008132	2595	78
0.000297	0.000349	0.538687	0.221556	0.016935	0.218132	0.017504	2967	129
# 0.001645	0.001008	0.491112	0.196704	0.008431	0.176456	0.015479	2620	146
0.000168	0.000221	0.489400	0.196652	0.002690	0.194635	0.003784	2782	32
# 0.001538	0.000617	0.467817	0.201763	0.004211	0.183019	0.008874	2681	80
0.000258	0.000147		0.196504	0.001514	0.196334	0.002182	2797	36
<i>ELVP-93S14</i>								
# 0.008378	0.000520	0.311439	0.231571	0.003011	0.119482	0.008998	1949	135
# 0.002065	0.000236	0.309386	0.212385	0.003187	0.187396	0.004452	2720	39
# 0.001882	0.000128	0.328709	0.208123	0.002719	0.185266	0.003247	2701	29
# 0.003865	0.000410	0.379151	0.213921	0.001934	0.165554	0.005912	2513	60
# 0.002769	0.000765	0.380141	0.216974	0.008997	0.183250	0.013664	2683	123
# 0.004143	0.001290	0.404937	0.229661	0.004798	0.178861	0.017927	2643	166
0.000000	0.229661		0.000000	0.001514	0.000000	0.002182	0000	36
ZIRCÕES DE ROCHA FRESCA								
<i>ELVP-93F1 (Zr)</i>								
# 0.003846	0.000946	0.305697	0.190241	0.020826	0.140283	0.026065	2231	322
# 0.005730	0.000551	0.361514	0.232939	0.013767	0.160721	0.017281	2464	182
# 0.001680	0.000208	0.451557	0.223178	0.004937	0.203351	0.005693	2854	46
# 0.004294	0.000412	0.479834	0.222855	0.002616	0.169436	0.006260	2552	62
# 0.003617	0.000330	0.503125	0.229241	0.005789	0.185324	0.007554	2701	67
# 0.005642	0.000699	0.574476	0.229848	0.005396	0.158501	0.011585	2440	124
0.000000	0.229848		0.000000	0.001514	0.000000	0.002182	0000	36
<i>ELVP-93F2</i>								
<0.000001	0.000206	0.285370	0.186347	0.002063	0.186347	0.003239	2711	29
0.000155	0.000056	0.278004	0.185788	0.000737	0.183908	0.001007	2689	9
0.000249	0.000191	0.292624	0.192536	0.001115	0.189530	0.002572	2738	22
0.000175	0.000179	0.291945	0.191660	0.002680	0.189544	0.003453	2739	30
# 0.001838	0.001417	0.339677	0.205463	0.005402	0.183063	0.018738	2681	169
0.000163	0.000051		0.187900	0.001759	0.185089	0.001250	2700	23
<i>ELVP-93F3</i>								
<0.000001	0.000446	0.274454	0.187389	0.003385	0.187389	0.006371	2720	56
# 0.000902	0.001626	0.283919	0.186120	0.003647	0.174989	0.020739	2606	197
0.000000	0.186120		0.187389	0.003385	0.187389	0.006371	2720	112
<i>ELVP-93F4 (Zr)</i>								
# 0.000882	0.000179	0.270024	0.217234	0.002885	0.206879	0.003629	2881	28
0.000000	0.217234		0.000000	0.003385	0.000000	0.006371	0000	112
<i>ELVP-93F5 (Zr)</i>								
<0.000001	0.000476	0.319122	0.201598	0.003176	0.201598	0.006467	2839	52
<0.000001	0.001276	0.319336	0.189245	0.004290	0.189245	0.015985	2736	139
0.000000	0.189245		0.197225	0.005907	0.199860	0.005995	2827	98
<i>ELVP-93F6 (Zr)</i>								
0.000265	0.000130	0.275724	0.195794	0.001609	0.192611	0.002253	2765	19
0.000341	0.000120	0.257262	0.198079	0.001319	0.193994	0.001963	2777	17
<0.000001	0.000213	0.310994	0.203898	0.008037	0.203898	0.008420	2858	67
<0.000001	0.000225	0.208340	0.190002	0.003683	0.190002	0.004574	2743	40
0.000155	0.000099	0.095508	0.199726	0.003948	0.197886	0.004132	2809	34
0.000239	0.000066		0.196928	0.001165	0.193828	0.001317	2776	22
<i>ELVP-93F7 (Zr)</i>								
0.000085	0.000057	0.241179	0.188538	0.001451	0.187513	0.001609	2721	14
0.000213	0.000137	0.262299	0.201402	0.009870	0.198866	0.010044	2817	82
0.000158	0.000103	0.256784	0.194967	0.005152	0.193077	0.005314	2769	45
<0.000001	0.000477	0.260115	0.189677	0.001916	0.189677	0.006063	2740	53
# 0.000585	0.000354	0.214338	0.181842	0.010406	0.174619	0.011412	2603	109
# 0.001792	0.000903	0.240147	0.200244	0.004360	0.178253	0.012326	2637	115
0.000115	0.000047		0.189399	0.001125	0.188316	0.001476	2728	26
<i>ELVP-93F8 (Zr)</i>								
# 0.000567	0.000058	0.283811	0.192862	0.002255	0.185981	0.002388	2707	21
# 0.000584	0.000333	0.297024	0.202994	0.006094	0.196018	0.007357	2794	61
# 0.000784	0.000224	0.357153	0.207739	0.022663	0.198418	0.023160	2814	191
0.000000	0.207739		0.000000	0.001125	0.000000	0.001476	0000	26

continuação do ANEXO C
 ELVP-93F9 (Zr)

<0.000001	0.000248	0.256640	0.186022	0.013971	0.186022	0.014291	2708	127
0.000320	0.000052	0.299876	0.177490	0.012765	0.173533	0.012859	2592	124
# 0.000529	0.000039	0.287280	0.187007	0.006599	0.180532	0.006683	2658	61
# 0.000992	0.000224	0.326307	0.206147	0.003095	0.194269	0.004173	2779	35
# 0.001042	0.000148	0.354739	0.207027	0.003811	0.194558	0.004286	2781	36
<0.000001	0.000199	0.341807	0.206523	0.002694	0.206523	0.003566	2879	28
0.000320	0.000052		0.204623	0.004772	0.203175	0.006529	2858	97

ANEXO D - RAZÕES ISOTÓPICAS Pb/Pb DOS ZIRCÕES DE SAPRÓLITO E DE ROCHA FRESCA DO GRANITO SERINGA. O sinal (#) indica que o bloco de leitura Pb/Pb, forneceu valores da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ maior que $4 \cdot 10^{-4}$ e que portanto foi eliminado do cálculo estatístico da idade.

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
ZIRCÕES DE SAPRÓLITO								
<i>ELVS-93S1 (Zr)</i>								
# 0.001982	0.000159	0.160946	0.123431	0.000212	0.096189	0.002264	1552	44
# 0.001560	0.000089	0.185997	0.126296	0.000876	0.105062	0.001531	1716	27
# 0.001143	0.000164	0.180828	0.118464	0.001541	0.102877	0.002765	1677	50
# 0.001216	0.000500	0.178062	0.116102	0.003436	0.099444	0.007806	1614	146
# 0.000766	0.000229	0.180914	0.119168	0.001842	0.108791	0.003652	1780	61
# 0.000877	0.000282	0.164263	0.121716	0.001566	0.109840	0.004182	1797	69
# 0.001143	0.000085	0.164864	0.125756	0.001084	0.110298	0.001608	1805	27
# 0.001312	0.000243	0.176157	0.119555	0.000930	0.101630	0.003518	1654	64
# 0.001494	0.000520	0.187573	0.120549	0.001216	0.100110	0.007387	1626	137
# 0.000802	0.000372	0.184917	0.122958	0.001929	0.112136	0.005447	1835	88
# 0.001377	0.000209	0.202361	0.121860	0.001607	0.103080	0.003343	1681	60
<0.000001	0.000157	0.201729	0.122093	0.001145	0.122093	0.002388	1987	35
# 0.000457	0.000304	0.188577	0.117152	0.003090	0.110979	0.005178	1816	85
0.000021	0.000442	0.197030	0.121183	0.002422	0.120903	0.006388	1970	94
<0.000001	0.000145	0.195990	0.122732	0.001604	0.122732	0.002513	1997	36
<0.000001	0.000505	0.173088	0.108605	0.005440	0.108605	0.008744	1776	147
# 0.001299	0.000701	0.187349	0.131343	0.010292	0.113837	0.014252	1862	226
0.000095	0.000176	0.185396	0.112445	0.003217	0.111165	0.004007	1819	65
# 0.000433	0.000393	0.192028	0.117577	0.001934	0.111732	0.005687	1828	92
0.000095	0.000166	0.185799	0.117704	0.001685	0.116432	0.002799	1902	43
<0.000001	0.000168	0.197569	0.119143	0.000688	0.119143	0.002353	1944	35
# 0.000565	0.000258	0.192421	0.120972	0.002747	0.113350	0.004471	1854	71
0.000215	0.000237	0.191887	0.112293	0.002747	0.109377	0.004239	1789	71
0.000355	0.000099	0.195846	0.120353	0.000968	0.115580	0.001655	1889	26
0.000182	0.000203	0.203537	0.119215	0.001119	0.116764	0.002955	1908	45
# 0.000444	0.000496	0.205117	0.117957	0.001757	0.111965	0.006972	1832	113
0.000121	0.000259	0.206195	0.119568	0.000520	0.117950	0.003519	1926	53
<0.000001	0.000283	0.201355	0.117075	0.000294	0.117075	0.003811	1912	58
0.000051	0.000387	0.191640	0.111560	0.004111	0.110873	0.006659	1814	109
<0.000001	0.000254	0.206234	0.115052	0.001208	0.115052	0.003625	1881	57
0.000272	0.000248	0.198371	0.115604	0.002715	0.111928	0.004329	1831	70
<0.000001	0.000320	0.201570	0.117892	0.003025	0.117892	0.005251	1925	80
<0.000001	0.000254	0.189270	0.119519	0.001626	0.119519	0.003769	1949	56
<0.000001	0.000112	0.183844	0.116673	0.001034	0.116673	0.001825	1906	28
0.000225	0.000063		0.118059	0.000430	0.117204	0.000789	1917	24
<i>ELVS-93S2 (Zr)</i>								
# 0.000787	0.000340	0.196280	0.130067	0.002465	0.119535	0.005240	1950	78
# 0.000822	0.000063	0.185559	0.138046	0.000939	0.127142	0.001273	2059	18
# 0.001037	0.000166	0.190635	0.133542	0.001336	0.119662	0.002635	1952	39
# 0.000412	0.000209	0.197041	0.121324	0.004180	0.115787	0.005069	1892	79
0.000026	0.000150	0.184379	0.123401	0.001272	0.123055	0.002371	2001	34
0.000238	0.000120	0.182590	0.118469	0.001420	0.115264	0.002158	1884	34
# 0.000415	0.000210	0.190686	0.122578	0.000725	0.117009	0.002930	1911	45
0.000029	0.000181	0.193593	0.125917	0.000756	0.125532	0.002524	2037	36
# 0.000592	0.000118	0.191689	0.129632	0.001861	0.121723	0.002461	1982	36
# 0.000714	0.000125	0.191343	0.131215	0.001205	0.121680	0.002082	1981	30
0.000345	0.000188	0.185654	0.121937	0.001217	0.117306	0.002816	1916	43
# 0.001396	0.000216	0.194537	0.125486	0.001690	0.106521	0.003460	1741	60
# 0.000517	0.000161	0.171830	0.116018	0.001418	0.109007	0.002622	1783	44
# 0.000907	0.000244	0.194080	0.124568	0.002391	0.112321	0.004127	1838	67
# 0.001041	0.000241	0.188292	0.133548	0.001008	0.119613	0.003435	1951	51
# 0.000413	0.000155	0.191611	0.117832	0.001965	0.112260	0.002889	1837	47
0.000070	0.000130	0.174094	0.113638	0.004067	0.112697	0.004434	1844	71
0.000292	0.000060	0.198293	0.114614	0.004078	0.110663	0.004177	1811	69
0.000323	0.000244	0.179176	0.115675	0.001953	0.111310	0.003851	1821	63
0.000185	0.000215	0.190201	0.119598	0.001643	0.117108	0.003331	1913	51
0.000297	0.000207	0.179117	0.118809	0.001753	0.114810	0.003307	1877	52
0.000385	0.000268	0.181430	0.122984	0.002154	0.117822	0.004216	1924	64
0.000182	0.000156	0.190348	0.123671	0.000933	0.121233	0.002290	1975	34
<0.000001	0.000147	0.188894	0.115982	0.001189	0.115982	0.002306	1896	36
<0.000001	0.000212	0.198134	0.115601	0.001489	0.115601	0.003217	1889	50
# 0.000902	0.000200	0.200182	0.121115	0.000792	0.108889	0.002863	1781	48
# 0.001232	0.000183	0.208871	0.122911	0.001813	0.106161	0.003137	1735	54

continuação do ANEXO D.

# 0.000748	0.000252	0.207748	0.124649	0.002198	0.114581	0.004089	1874	64
0.000228	0.000040		0.121493	0.001098	0.117928	0.001198	1929	37
<i>ELVS-93S3 (Zr)</i>								
# 0.001220	0.000289	0.179786	0.126423	0.000816	0.109906	0.004072	1798	67
# 0.000677	0.000315	0.172258	0.119660	0.000864	0.110503	0.004393	1808	72
0.000367	0.000157	0.171787	0.116815	0.001387	0.111860	0.002548	1830	41
# 0.000715	0.000360	0.177199	0.116954	0.001091	0.107249	0.005063	1754	86
# 0.000852	0.000183	0.183692	0.119300	0.003687	0.107733	0.004504	1762	76
# 0.000794	0.000152	0.186893	0.119109	0.000584	0.108349	0.002168	1772	37
# 0.000888	0.000179	0.189042	0.117117	0.000629	0.105028	0.002551	1715	45
# 0.001538	0.000291	0.190124	0.120927	0.000615	0.099869	0.004127	1622	77
# 0.000762	0.000216	0.186597	0.118471	0.001632	0.108141	0.003393	1769	57
# 0.000824	0.000338	0.192762	0.117894	0.002054	0.106707	0.005094	1744	87
0.000367	0.000157		0.116815	0.001038	0.111860	0.002548	1830	83
<i>ELVS-93S4 (Zr)</i>								
0.000009	0.000055	0.186351	0.107594	0.002735	0.107472	0.002835	1757	48
0.000139	0.000221	0.200978	0.114501	0.003355	0.112631	0.004498	1843	72
0.000310	0.000265	0.179909	0.115846	0.002837	0.111657	0.004589	1827	75
0.000028	0.000052		0.112320	0.002672	0.109522	0.002126	1793	71
<i>ELVS-93S5 (Zr)</i>								
# 0.001904	0.000456	0.157004	0.137160	0.002158	0.111430	0.006724	1823	109
# 0.001619	0.000510	0.163767	0.132768	0.000612	0.110876	0.007098	1814	116
# 0.002589	0.000655	0.168713	0.141469	0.002398	0.106280	0.009598	1737	166
# 0.001543	0.000217	0.177260	0.128024	0.002847	0.107067	0.004196	1750	72
# 0.000871	0.000354	0.176190	0.125788	0.002023	0.114049	0.005250	1865	83
0.000256	0.000408	0.183331	0.122242	0.003819	0.118809	0.006695	1939	101
# 0.000428	0.000164	0.183175	0.119944	0.002730	0.114182	0.003535	1867	56
# 0.000488	0.000425	0.198991	0.139579	0.005235	0.133153	0.007725	2140	101
0.000325	0.000337	0.180306	0.123479	0.008833	0.119125	0.009969	1944	150
# 0.000942	0.000746	0.186631	0.125579	0.003008	0.112869	0.010657	1846	171
# 0.001091	0.000315	0.189222	0.125899	0.001375	0.111156	0.004550	1819	74
# 0.001988	0.000446	0.193879	0.134374	0.002343	0.107389	0.006694	1756	114
# 0.000617	0.000288	0.197919	0.127130	0.000689	0.118861	0.003957	1940	60
# 0.001201	0.000170	0.196955	0.126366	0.000976	0.110109	0.002546	1802	42
<0.000001	0.000134	0.191431	0.122771	0.001896	0.122771	0.002606	1997	38
0.000389	0.000602	0.215593	0.127543	0.004357	0.122354	0.009194	1991	134
0.000303	0.000198	0.190303	0.120334	0.002809	0.116261	0.003887	1900	60
# 0.000807	0.000261	0.201369	0.116217	0.001170	0.105242	0.003786	1719	66
# 0.001795	0.000533	0.204606	0.125814	0.002265	0.101288	0.007843	1648	144
0.000258	0.000252	0.183418	0.126279	0.004881	0.122835	0.005950	1998	86
0.000294	0.000130		0.122879	0.001312	0.120816	0.001870	1970	55
<i>ELVS-93S6 (Zr)</i>								
# 0.002364	0.000206	0.228766	0.132728	0.000731	0.100389	0.003020	1632	56
# 0.000783	0.000082	0.175023	0.122013	0.002481	0.111438	0.002750	1823	45
0.000381	0.000254	0.184229	0.128402	0.003595	0.123325	0.004967	2005	71
# 0.000917	0.000114	0.183031	0.125166	0.004560	0.112792	0.004881	1845	78
# 0.000420	0.000289	0.170461	0.117132	0.001000	0.111461	0.004057	1824	66
0.000104	0.000089	0.167568	0.116640	0.001336	0.115245	0.001797	1884	28
# 0.000643	0.000164	0.171471	0.125262	0.002042	0.116623	0.003034	1905	47
<0.000001	0.000143	0.181784	0.126979	0.001475	0.126979	0.002404	2057	33
0.000318	0.000060	0.180159	0.122898	0.002146	0.118636	0.002303	1936	35
# 0.000431	0.000147	0.183515	0.124060	0.001922	0.118285	0.002771	1931	42
0.000302	0.000377	0.192339	0.119162	0.001486	0.115097	0.005311	1882	83
0.000326	0.000117	0.189145	0.119918	0.001648	0.115533	0.002290	1888	36
<0.000001	0.000260	0.199059	0.126270	0.001336	0.126270	0.003704	2047	52
# 0.000887	0.000276	0.193686	0.120820	0.001269	0.108795	0.004004	1780	67
<0.000001	0.000245	0.195522	0.121333	0.001252	0.121333	0.003505	1976	51
# 0.000559	0.000346	0.203826	0.126475	0.002581	0.118982	0.005351	1941	80
<0.000001	0.000146	0.191054	0.117111	0.003709	0.117111	0.004195	1913	64
0.000161	0.000260	0.196055	0.115145	0.004837	0.112980	0.005989	1848	96
0.000373	0.000244	0.192587	0.122944	0.009036	0.117943	0.009665	1926	147
0.000367	0.000150	0.144445	0.098256	0.010586	0.093197	0.010847	1492	220
0.000300	0.000179	0.199318	0.117422	0.002132	0.113376	0.003235	1854	52
<0.000001	0.000089	0.189495	0.118589	0.006559	0.118589	0.006667	1935	101
0.000206	0.000067	0.174538	0.108981	0.001420	0.106176	0.001692	1735	29
0.000302	0.000105	0.192474	0.114310	0.002125	0.110223	0.002568	1803	42
0.000133	0.000048	0.183906	0.109821	0.006140	0.108023	0.006187	1767	105
0.000330	0.000295	0.177508	0.106177	0.001290	0.101669	0.004253	1655	77
<0.000001	0.000168	0.191161	0.116326	0.002447	0.116326	0.003329	1901	51

continuação do ANEXO D.

<0.000001	0.000245	0.197635	0.117515	0.001072	0.117515	0.003458	1919	53
<0.000001	0.000171	0.203531	0.120287	0.000880	0.120287	0.002451	1961	36
0.000337	0.000399	0.209962	0.112436	0.004492	0.107865	0.007070	1764	120
<0.000001	0.000383	0.204413	0.116864	0.003341	0.116864	0.006133	1909	94
<0.000001	0.001316	0.214322	0.117039	0.003093	0.117039	0.017938	1912	275
0.000222	0.000027		0.118258	0.001172	0.115371	0.001349	1896	41
<i>ELVS-93S7 (Zr)</i>								
# 0.004451	0.000703	0.183767	0.135781	0.003211	0.073040	0.011176	1015	310
# 0.006497	0.001158	0.176779	0.147062	0.008127	0.053534	0.020583	352	869
# 0.005775	0.000554	0.206425	0.142192	0.006632	0.059602	0.011330	589	412
0.000000	0.142192		0.000000	0.001172	0.000000	0.001349	0000	41
<i>ELVS-93S8 (Zr)</i>								
0.000301	0.000060	0.141737	0.113251	0.002219	0.109172	0.002374	1786	40
0.000182	0.000120	0.143310	0.116220	0.000775	0.113761	0.001798	1861	29
# 0.001642	0.000229	0.150220	0.146505	0.010615	0.124649	0.011327	2024	161
# 0.002619	0.000385	0.177092	0.140506	0.013782	0.104854	0.015358	1712	269
# 0.002357	0.000526	0.198114	0.152353	0.026776	0.120844	0.028716	1969	424
# 0.002295	0.000166	0.153495	0.119784	0.001098	0.087951	0.002643	1382	58
# 0.002072	0.000450	0.202535	0.100697	0.011735	0.071440	0.013780	970	393
# 0.002056	0.000177	0.144408	0.077615	0.009666	0.047844	0.010324	0	33
# 0.003835	0.000556	0.192451	0.145934	0.016418	0.093033	0.019246	1489	392
# 0.002416	0.000515	0.222360	0.133254	0.015925	0.100198	0.018080	1628	335
# 0.001164	0.000630	0.182677	0.097436	0.009117	0.081164	0.012903	1226	312
# 0.001506	0.000497	0.224640	0.122562	0.001593	0.101989	0.007135	1661	129
# 0.001064	0.000628	0.280344	0.124589	0.002694	0.110194	0.009061	1803	150
0.000277	0.000054		0.115897	0.000924	0.112088	0.002209	1835	71
<i>ELVS-93S9 (Zr)</i>								
# 0.000802	0.000142	0.192106	0.124844	0.001819	0.114045	0.002672	1865	42
# 0.001038	0.000397	0.202279	0.129439	0.001860	0.115479	0.005745	1888	90
# 0.001203	0.000835	0.222891	0.137487	0.004568	0.121410	0.012280	1977	180
0.000000	0.137487		0.000000	0.000924	0.000000	0.002209	0000	71
<i>ELVS-93S10 (Zr)</i>								
# 0.000599	0.000030	0.195853	0.122368	0.000872	0.114298	0.000970	1869	15
# 0.000851	0.000204	0.195574	0.127803	0.001714	0.116363	0.003275	1901	51
# 0.000744	0.000088	0.207481	0.129194	0.000569	0.119233	0.001324	1945	20
# 0.000632	0.000274	0.214413	0.132904	0.001630	0.124489	0.004034	2022	57
# 0.000889	0.000249	0.206838	0.129251	0.000575	0.117314	0.003438	1916	53
# 0.000953	0.000168	0.207632	0.127352	0.001536	0.114518	0.002775	1873	44
# 0.001151	0.000275	0.205186	0.130253	0.002133	0.114765	0.004349	1876	68
# 0.001945	0.000184	0.200868	0.123643	0.000620	0.096930	0.002681	1566	52
# 0.000626	0.000355	0.201546	0.125895	0.001195	0.117492	0.004959	1919	76
# 0.000432	0.000324	0.203061	0.127317	0.002721	0.121550	0.005146	1979	75
0.000296	0.000319	0.197251	0.120450	0.003606	0.116472	0.005626	1903	87
# 0.000761	0.000167	0.181012	0.116508	0.001709	0.106169	0.002875	1735	50
# 0.000437	0.000193	0.196001	0.122437	0.003307	0.116571	0.004230	1905	65
# 0.000683	0.000275	0.177961	0.122702	0.001063	0.113495	0.003897	1856	62
0.000310	0.000120	0.176747	0.123950	0.001326	0.119800	0.002093	1954	31
0.000124	0.000231	0.179136	0.121868	0.000778	0.120214	0.003193	1960	47
0.000314	0.000147	0.169812	0.121297	0.001614	0.117080	0.002562	1912	39
# 0.001583	0.000283	0.168879	0.123574	0.001593	0.101952	0.004284	1660	78
# 0.002059	0.000667	0.164716	0.120501	0.002022	0.092075	0.009734	1469	201
0.000286	0.000083		0.122187	0.000611	0.118861	0.001400	1940	42
<i>ELVS-93S11 (Zr)</i>								
# 0.000466	0.000354	0.179110	0.121010	0.000480	0.114743	0.004824	1876	76
# 0.001167	0.000082	0.200710	0.124957	0.001407	0.109141	0.001825	1785	30
0.000162	0.000232	0.200573	0.118966	0.001695	0.116797	0.003556	1908	55
# 0.001182	0.000260	0.207841	0.125706	0.003553	0.109698	0.005093	1795	85
# 0.000844	0.000177	0.211396	0.123666	0.001625	0.112267	0.002927	1837	47
# 0.001068	0.000091	0.226360	0.127432	0.001640	0.113030	0.002082	1849	33
# 0.000508	0.000313	0.260544	0.127949	0.002288	0.121153	0.004805	1974	71
0.000162	0.000232		0.118966	0.001695	0.116797	0.003556	1908	109
<i>ELVS-93S12 (Zr)</i>								
# 0.000465	0.000055	0.163052	0.118076	0.003926	0.111801	0.004024	1829	65
# 0.000468	0.000053	0.164744	0.124253	0.002466	0.117982	0.002585	1926	39
# 0.000429	0.000111	0.143357	0.109733	0.013561	0.103891	0.013735	1695	244
# 0.000505	0.000156	0.150726	0.118071	0.005485	0.111239	0.005922	1820	97
# 0.000670	0.000266	0.170248	0.109703	0.004079	0.100539	0.005522	1634	102
# 0.000619	0.000506	0.191564	0.141934	0.026745	0.133779	0.027826	2148	363
0.000354	0.000242	0.175424	0.112419	0.003554	0.107616	0.004885	1780	83

continuação do ANEXO D.

# 0.000888	0.000244	0.176829	0.125761	0.005488	0.113790	0.006485	1861	103
0.000348	0.000322	0.184932	0.127592	0.013519	0.122952	0.014260	2000	206
# 0.001042	0.000436	0.165609	0.113876	0.005554	0.099610	0.008285	1617	155
# 0.000640	0.000305	0.163903	0.097910	0.008042	0.089042	0.009174	1405	197
# 0.000483	0.000257	0.175449	0.113538	0.005853	0.106985	0.006865	1749	117
# 0.000634	0.000074	0.162260	0.122325	0.015287	0.113780	0.015469	1861	245
0.000367	0.000181	0.193162	0.119077	0.006660	0.114135	0.007132	1867	113
0.000365	0.000399	0.184844	0.113937	0.006839	0.108992	0.008766	1783	147
# 0.000643	0.000250	0.215853	0.099703	0.007250	0.090812	0.008111	1443	170
0.000287	0.000318	0.178187	0.110319	0.005498	0.106417	0.007024	1739	121
# 0.000664	0.000203	0.192651	0.120827	0.004397	0.111859	0.005235	1830	85
0.000268	0.000153	0.169326	0.122032	0.006445	0.118437	0.006791	1933	103
# 0.001071	0.000301	0.206637	0.119300	0.006496	0.104722	0.007808	1710	137
# 0.000719	0.000272	0.202949	0.136237	0.016504	0.126691	0.017082	2053	238
# 0.000638	0.000303	0.182621	0.120361	0.006572	0.111742	0.007818	1828	127
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000320	0.000093	0.114721	0.002320	0.111162	0.002865	1826	93	
<i>ELVS-93S13 (Zr)</i>								
# 0.005661	0.000401	0.251555	0.170419	0.005353	0.092274	0.008428	1473	173
# 0.001481	0.000105	0.186464	0.125524	0.000844	0.105382	0.001697	1721	30
# 0.003727	0.000224	0.197287	0.141691	0.001133	0.090124	0.003499	1428	74
# 0.005310	0.000418	0.225382	0.162840	0.003406	0.089299	0.007308	1411	157
# 0.005423	0.000830	0.198160	0.175446	0.008624	0.101340	0.015533	1649	284
# 0.008320	0.000811	0.213964	0.203110	0.005524	0.087677	0.014355	1376	315
# 0.002079	0.000202	0.196023	0.140146	0.019187	0.112078	0.020014	1834	324
# 0.002024	0.000394	0.179054	0.154449	0.020198	0.127601	0.021527	2065	297
# 0.003012	0.000536	0.245089	0.164194	0.022175	0.124077	0.024417	2016	349
# 0.002995	0.000389	0.206875	0.138329	0.008651	0.097211	0.010653	1572	205
# 0.004347	0.000774	0.242871	0.172087	0.010577	0.113487	0.015912	1856	253
# 0.000589	0.000252	0.181891	0.126024	0.001434	0.118122	0.003704	1928	56
<0.000001	0.000626	0.242313	0.144976	0.014852	0.144976	0.016936	2288	201
0.000045	0.001062	0.172865	0.113083	0.004819	0.112478	0.015132	1840	244
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000045	0.001062	0.116121	0.009363	0.126905	0.016147	2016	439	
<i>ELVS-93S14 (Zr)</i>								
# 0.002220	0.000073	0.158345	0.161762	0.001253	0.132473	0.001636	2131	22
# 0.004231	0.000463	0.172110	0.197595	0.009017	0.142420	0.011600	2257	141
# 0.007877	0.000440	0.214739	0.287281	0.009160	0.190313	0.012094	2745	104
# 0.007779	0.000701	0.217677	0.279197	0.010577	0.182520	0.015547	2676	141
# 0.001377	0.000444	0.190019	0.194036	0.031166	0.176803	0.032336	2623	304
# 0.003461	0.000983	0.226251	0.248276	0.051800	0.206532	0.056099	2879	441
# 0.002240	0.000666	0.112221	0.139947	0.030515	0.109614	0.032944	1793	547
# 0.005275	0.000834	0.308793	0.320266	0.017733	0.261015	0.021809	3253	132
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000000	0.320266	0.000000	0.009363	0.000000	0.016147	0000	439	
<i>ELVS-93S15 (Zr)</i>								
# 0.001163	0.000146	0.168087	0.121760	0.000887	0.105942	0.002213	1731	38
# 0.001837	0.000193	0.176359	0.126737	0.001602	0.101634	0.003174	1654	58
# 0.002128	0.000095	0.185577	0.137243	0.001238	0.108396	0.001846	1773	31
# 0.003513	0.000601	0.192692	0.145187	0.001656	0.096937	0.008894	1566	172
# 0.002467	0.000621	0.196340	0.154796	0.001624	0.121859	0.008780	1984	128
# 0.000926	0.000063	0.192611	0.131576	0.001958	0.119170	0.002163	1944	32
# 0.000716	0.000235	0.201037	0.123937	0.000881	0.114295	0.003322	1869	52
# 0.000472	0.000249	0.207287	0.118903	0.001692	0.112539	0.003790	1841	61
0.000030	0.000227	0.209706	0.120033	0.002716	0.119632	0.004078	1951	61
# 0.000567	0.000203	0.214225	0.115455	0.001517	0.107758	0.003172	1762	54
0.000138	0.000139	0.213661	0.115264	0.001792	0.113409	0.002598	1855	41
0.000195	0.000061	0.211099	0.117104	0.001476	0.114473	0.001694	1872	27
0.000185	0.000297	0.214912	0.118840	0.001810	0.116348	0.004395	1901	68
<0.000001	0.000241	0.222438	0.120232	0.001811	0.120232	0.003698	1960	55
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.000177	0.000053	0.117967	0.000907	0.115457	0.001211	1889	38	
<i>ELVS-93S16 (Zr)</i>								
# 0.002156	0.000631	0.175507	0.145261	0.003149	0.116295	0.009353	1900	145
# 0.000869	0.000192	0.163658	0.120459	0.000971	0.108676	0.002815	1778	47
# 0.000739	0.000266	0.168475	0.131033	0.000984	0.121160	0.003730	1974	55
# 0.001522	0.000159	0.178743	0.138799	0.002010	0.118389	0.002999	1932	45
0.000140	0.000113	0.190212	0.110550	0.004196	0.108658	0.004476	1777	75
# 0.001803	0.000726	0.196371	0.140125	0.006488	0.115891	0.012051	1894	187
0.000112	0.000204	0.203822	0.119677	0.001679	0.118180	0.003215	1929	49
# 0.000527	0.000241	0.197579	0.120367	0.001855	0.113255	0.003772	1853	60
# 0.001161	0.000151	0.198392	0.127058	0.002061	0.111376	0.002952	1822	48
# 0.001834	0.000327	0.185562	0.119241	0.001611	0.093964	0.004923	1508	99

continuação do ANEXO D

# 0.001726	0.000518	0.187404	0.125292	0.001042	0.101717	0.007346	1656	134
# 0.001432	0.000234	0.182350	0.118823	0.000518	0.099211	0.003319	1610	62
# 0.002130	0.000520	0.171525	0.125522	0.001360	0.096254	0.007519	1553	147
0.000133	0.000099		0.118417	0.003148	0.114939	0.004512	1884	139
<i>ELVS-93S17 (Zr)</i>								
# 0.000689	0.000093	0.173885	0.121756	0.000929	0.112458	0.001578	1840	25
# 0.000413	0.000096	0.181007	0.127482	0.000520	0.121971	0.001392	1986	20
# 0.000659	0.000196	0.193578	0.126984	0.001288	0.118147	0.002957	1929	45
# 0.000688	0.000193	0.196113	0.131964	0.001911	0.122787	0.003240	1997	47
# 0.000756	0.000233	0.191239	0.124917	0.001265	0.114744	0.003421	1876	54
0.000007	0.000062	0.178103	0.130777	0.000856	0.130685	0.001185	2108	16
0.000329	0.000134	0.177347	0.128314	0.000985	0.123931	0.002049	2014	29
# 0.000480	0.000231	0.184004	0.128247	0.000845	0.121843	0.003222	1984	47
0.000365	0.000072	0.175557	0.130193	0.002849	0.125340	0.003022	2034	43
0.000041	0.000230	0.177656	0.125245	0.001053	0.124701	0.003239	2025	46
0.000225	0.000069	0.178807	0.124390	0.000794	0.121380	0.001221	1977	18
0.000151	0.000221	0.181897	0.130347	0.003725	0.128352	0.004750	2076	65
0.000150	0.000164	0.169453	0.129603	0.005625	0.127619	0.006045	2066	83
# 0.000901	0.001064	0.218512	0.114698	0.011465	0.102395	0.018761	1668	339
# 0.001425	0.000570	0.173882	0.115378	0.009528	0.095787	0.012611	1544	247
0.000345	0.000407	0.137898	0.100577	0.003548	0.095833	0.006661	1545	131
# 0.000653	0.000117	0.188046	0.120692	0.003903	0.111872	0.004253	1830	69
<0.000001	0.000483	0.211266	0.141771	0.015312	0.141771	0.016559	2249	202
0.000207	0.000350	0.180992	0.129425	0.001032	0.126671	0.004776	2053	67
# 0.000871	0.000284	0.166671	0.114374	0.003197	0.102481	0.005092	1670	92
# 0.000425	0.000419	0.195639	0.122678	0.002754	0.116975	0.006305	1911	97
0.000187	0.000051		0.127284	0.001336	0.125544	0.001722	2042	46
<i>ELVS-93S18 (Zr)</i>								
0.000121	0.000022	0.152543	0.111563	0.000709	0.109930	0.000770	1799	13
0.000040	0.000019	0.127261	0.097171	0.011441	0.096623	0.011451	1560	222
0.000142	0.000029	0.134415	0.104619	0.006425	0.102687	0.006451	1673	116
0.000010	0.000128	0.164911	0.103811	0.002933	0.103676	0.003413	1691	61
<0.000001	0.000068	0.163780	0.106205	0.004873	0.106205	0.004960	1736	86
0.000347	0.000240	0.137375	0.105420	0.004395	0.100675	0.005515	1637	102
0.000104	0.000265	0.206580	0.105823	0.004032	0.104411	0.005420	1704	96
0.000250	0.000189	0.176419	0.115777	0.002204	0.112400	0.003384	1839	55
# 0.000717	0.000107	0.164942	0.105406	0.008143	0.095546	0.008366	1539	165
# 0.001091	0.000629	0.169986	0.110982	0.001742	0.095988	0.008970	1548	176
0.000396	0.000168	0.184408	0.122440	0.005808	0.117127	0.006268	1913	96
# 0.000452	0.000302	0.188060	0.113556	0.003417	0.107426	0.005374	1757	91
# 0.000890	0.000349	0.197253	0.116111	0.001570	0.103980	0.005077	1697	90
<0.000001	0.000839	0.201515	0.116685	0.002172	0.116685	0.011477	1906	177
0.000090	0.000020		0.111636	0.001059	0.109435	0.000813	1792	26
<i>ELVS-93S19 (Zr)</i>								
# 0.003947	0.000614	0.195393	0.119869	0.006821	0.063660	0.011799	1731	393
# 0.007747	0.000908	0.303141	0.160384	0.005012	0.048249	0.015950	1112	780
# 0.008470	0.000614	0.188492	0.108358	0.013670	<.023502	0.019153	0000	116
# 0.011913	0.000678	0.204839	0.125420	0.002603	<.068165	0.013832	0000	61
# 0.008309	0.000672	0.198167	0.126230	0.000790	<.000178	0.011741	0000	86
# 0.005338	0.000523	0.212834	0.127554	0.002210	0.050467	0.008567	2170	393
# 0.008144	0.000174	0.204307	0.125590	0.003172	0.001949	0.004713	0000	96
0.000263	0.000151	0.206750	0.116816	0.002678	0.113267	0.003378	1853	54
# 0.005271	0.001454	0.212868	0.152031	0.016888	0.078131	0.028784	1150	731
0.000263	0.000151		0.116816	0.002678	0.113267	0.003378	1853	108
<i>ELVS-93S20 (Zr)</i>								
# 0.006730	0.000526	0.200921	0.142033	0.003983	0.044203	0.009607	0	393
# 0.007976	0.001190	0.202986	0.204094	0.017656	0.094230	0.027426	1513	549
# 0.002922	0.000922	0.146386	0.171804	0.047978	0.133293	0.051800	2142	679
# 0.001509	0.000447	0.124358	0.151035	0.024092	0.131092	0.025390	2113	340
0.000000	0.151035		0.000000	0.002678	0.000000	0.003378	0000	108

ZIRCÃO DE ROCHA FRESCA

<i>ELVS-93F1 (Zr)</i>								
# 0.001965	0.000159	0.184830	0.122861	0.002016	0.095842	0.003066	1545	60
# 0.001494	0.000232	0.168969	0.121429	0.008454	0.101011	0.009240	1643	170
# 0.000466	0.000299	0.214429	0.105302	0.016244	0.098922	0.016872	1604	318
# 0.000866	0.000612	0.201119	0.129891	0.007280	0.118274	0.011116	1931	168
0.000027	0.000348	0.172505	0.131788	0.003284	0.131433	0.005651	2117	75
0.000225	0.000537	0.177852	0.125705	0.002232	0.122699	0.007529	1996	109

continuação do ANEXO D

0.000086	0.000292		0.127627	0.002828	0.128286	0.004520	2078	124	
<i>ELVS-93F2 (Zr)</i>									
# 0.002388	0.000438	0.206828	0.150088	0.004379	0.118065	0.007603	1927	115	
# 0.001926	0.000192	0.216557	0.178394	0.004203	0.153605	0.005023	2387	56	
	0.000358	0.000439	0.184585	0.002230	0.126943	0.006274	2056	87	
# 0.000814	0.000319	0.174085	0.126997	0.001852	0.116062	0.004729	1897	73	
	0.000358	0.000439	0.131694	0.002230	0.126943	0.006274	2056	174	
<i>ELVS-93F3 (Zr)</i>									
# 0.003225	0.000152	0.184172	0.134429	0.001730	0.089784	0.002865	1421	61	
# 0.001334	0.000140	0.172906	0.137686	0.001546	0.119832	0.002480	1954	37	
# 0.001665	0.000141	0.177288	0.136112	0.002332	0.113671	0.003087	1859	49	
# 0.001461	0.000471	0.226695	0.172808	0.020362	0.154020	0.021728	2391	240	
	0.000365	0.000230	0.218517	0.134670	0.002843	0.129841	2096	57	
	0.000365	0.000230	0.134670	0.002843	0.129841	0.004188	2096	113	
<i>ELVS-93F4 (Zr)</i>									
# 0.001241	0.000243	0.169000	0.144401	0.002693	0.127942	0.004280	2070	59	
# 0.001547	0.000307	0.211538	0.133714	0.009246	0.112840	0.010376	1846	166	
# 0.001685	0.000337	0.193031	0.151983	0.014614	0.129684	0.015682	2094	212	
# 0.001378	0.000519	0.157497	0.132305	0.006440	0.113736	0.009712	1860	154	
	0.000313	0.000586	0.137824	0.005268	0.133701	0.009390	2147	123	
	0.000313	0.000586	0.137824	0.005268	0.133701	0.009390	2147	245	
<i>ELVS-93F5 (Zr)</i>									
# 0.000436	0.000082	0.184092	0.119635	0.000764	0.113764	0.001352	1861	21	
# 0.000725	0.000257	0.164759	0.110712	0.008281	0.100801	0.009096	1639	168	
# 0.000556	0.000155	0.170130	0.113097	0.004038	0.105530	0.004594	1724	80	
	0.000317	0.000295	0.183271	0.122734	0.001963	0.118484	0.004436	1934	67
	0.000236	0.000155	0.196686	0.124162	0.001864	0.121004	0.002797	1971	41
	0.000387	0.000172	0.193265	0.116540	0.000745	0.111312	0.002455	1821	40
# 0.000863	0.000130	0.196383	0.113682	0.003768	0.101890	0.004221	1659	77	
# 0.000809	0.000545	0.184983	0.113129	0.003999	0.102089	0.008554	1663	155	
	0.000306	0.000107	0.118158	0.002090	0.115966	0.003223	1900	100	
<i>ELVS-93F6 (Zr)</i>									
0.000183	0.000031	0.139438	0.105827	0.002663	0.103325	0.002704	1685	48	
0.000127	0.000023	0.147241	0.106472	0.000602	0.104749	0.000680	1710	12	
0.000129	0.000009	0.142172	0.109337	0.000455	0.107591	0.000472	1759	8	
0.000163	0.000036	0.147098	0.110935	0.000501	0.108733	0.000701	1779	12	
0.000220	0.000033	0.164613	0.114091	0.000834	0.111113	0.000949	1818	16	
0.000137	0.000029	0.176623	0.114906	0.000795	0.113064	0.000888	1850	14	
0.000168	0.000061	0.174732	0.109522	0.002214	0.107235	0.002370	1753	40	
0.000177	0.000058	0.132795	0.088976	0.008106	0.086511	0.008168	1350	182	
0.000073	0.000129	0.166972	0.123025	0.012922	0.122054	0.013051	1987	190	
0.000073	0.000080	0.164874	0.108906	0.012785	0.107919	0.012845	1765	217	
# 0.000410	0.000050	0.215122	0.130557	0.026580	0.125105	0.026755	2031	379	
	0.000162	0.000065	0.243489	0.123008	0.010629	0.120849	0.010691	1969	158
# 0.000482	0.000281	0.238993	0.115189	0.003279	0.108661	0.005063	1777	85	
	0.000139	0.000008	0.110241	0.000869	0.108140	0.000839	1771	28	
<i>ELVS-93F7 (Zr)</i>									
# 0.010184	0.000578	0.519814	0.245132	0.003822	0.106801	0.010336	1746	177	
# 0.053840	0.031180	0.995979	0.443206	0.063877	0.010950	0.002041	1305	56	
	0.000000	0.443206	0.000000	0.000869	0.000000	0.000839	0000	28	
<i>ELVS-93F8 (Zr)</i>									
# 0.001890	0.000249	0.201734	0.132059	0.000720	0.106371	0.003562	1738	61	
# 0.001131	0.000054	0.197867	0.123008	0.001150	0.107667	0.001388	1761	24	
# 0.001068	0.000441	0.213604	0.126047	0.001075	0.111622	0.006154	1826	100	
# 0.002131	0.000404	0.252991	0.123693	0.001138	0.094350	0.005870	1515	117	
	0.000000	0.123693	0.000000	0.000869	0.000000	0.000839	0000	28	
<i>ELVS-93F9 (Zr)</i>									
# 0.000541	0.000206	0.179297	0.117565	0.001396	0.110240	0.003143	1804	52	
	0.000106	0.000486	0.165896	0.009789	0.120178	0.011771	1959	175	
	0.000106	0.000486	0.121592	0.009789	0.120178	0.011771	1959	350	

ANEXO E - RAZÕES ISOTÓPICAS Pb/Pb DOS ZIRCÕES DE ROCHA FRESCA DO GRANITO VELHO GUILHERME. Notar que os valores correspondentes a razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ forneceram valores sempre maiores que $4 \cdot 10^{-4}$, inadequados ao cálculo da idade. Tratam-se de zircões com pouco Pb radiogênico, o que dificulta a determinação da idade Pb/Pb dessa rocha.

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
ROCHA FRESCA								
<i>ELVVG-93F1 (Zr)</i>								
# 0.005838	0.000146	0.469949	0.153014	0.000784	0.073872	0.002308	1038	63
# 0.005111	0.000212	0.434736	0.148982	0.000813	0.080130	0.003186	1200	78
# 0.005787	0.000240	0.420773	0.149447	0.000925	0.070769	0.003674	951	106
# 0.005410	0.000287	0.423825	0.145852	0.000897	0.072417	0.004307	998	121
# 0.005413	0.000217	0.378406	0.146134	0.002094	0.072676	0.003894	1005	109
# 0.005964	0.000272	0.366396	0.144418	0.002075	0.062687	0.004633	698	157
# 0.005360	0.000421	0.356429	0.146031	0.001616	0.073337	0.006389	1024	176
# 0.004381	0.000278	0.350771	0.140596	0.002778	0.081665	0.004946	1238	119
# 0.005287	0.000332	0.358313	0.142620	0.003135	0.070730	0.005911	950	171
# 0.002714	0.000179	0.432939	0.144968	0.000759	0.109464	0.002554	1791	42
# 0.003449	0.000156	0.456295	0.142186	0.002074	0.096474	0.003069	1557	60
0.000000	0.142186		0.000000	0.001134	0.000000	0.001326	0000	21
<i>ELVVG-93F2 (Zr)</i>								
# 0.003953	0.000240	0.250905	0.149975	0.006177	0.097637	0.007331	1580	140
0.000000	0.149975		0.000000	0.005261	0.000000	0.004962	0000	84
<i>ELVVG-93F3 (Zr)</i>								
# 0.001143	0.000438	0.209537	0.139239	0.004491	0.124519	0.007323	2022	104
# 0.001121	0.000509	0.216727	0.150839	0.001324	0.136582	0.006710	2185	85
# 0.001386	0.000288	0.197159	0.147306	0.003820	0.129545	0.005411	2092	73
0.000000	0.147306		0.000000	0.005261	0.000000	0.004962	0000	84
<i>ELVVG-93F4 (Zr)</i>								
# 0.002714	0.000179	0.432939	0.144968	0.000759	0.109464	0.002554	1791	42
# 0.003449	0.000156	0.456295	0.142186	0.002074	0.096474	0.003069	1557	60
0.000000	0.142186		0.000000	0.005261	0.000000	0.004962	0000	84