

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**HISTÓRIA TÉRMICA DAS REGIÕES SUL E SUDESTE DA AMÉRICA
DO SUL: IMPLICAÇÕES NA COMPARTIMENTAÇÃO
GEOTECTÔNICA DO GONDWANA.**

Volume 1

CRISTIANE HEREDIA GOMES

ORIENTADOR – Prof. Dr. Farid Chemale Júnior
CO-ORIENTADOR - Prof^a. Dra. Andréa Ritter Jelinek

Porto Alegre – 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**HISTÓRIA TÉRMICA DAS REGIÕES SUL E SUDESTE DA AMÉRICA
DO SUL: IMPLICAÇÕES NA COMPARTIMENTAÇÃO
GEOTECTÔNICA DO GONDWANA.**

CRISTIANE HEREDIA GOMES

ORIENTADOR – Prof. Dr. Farid Chemale Júnior
CO-ORIENTADOR - Prof^a. Dra. Andréa Ritter Jelinek

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida – Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Ivo Antonio Dussin – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima – Instituto de Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul

Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
Título de Doutor em Geociências.

Porto Alegre – 2011

CIP - Catalogação na Publicação

Gomes, Cristiane Heredia
História térmica das regiões sul e sudeste da
América do Sul: implicações na compartimentação
geotectônica do Gondwana. / Cristiane Heredia Gomes. -
- 2011.
321 f.

Orientador: Farid Jr Chemale.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2011.

1. Gondwana. 2. Denudação continental. 3. Margem
passiva brasileira. 4. Traços de fissão em apatita.
5. Termocronologia. I. Chemale, Farid Jr, orient.
II. Título.

Dedicatória

*Ao meu marido, Rafael Lima Dessart,
e aos meus filhos, Eric e Artur, por me fazerem feliz.*

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Farid Chemale Jr pela competência com que orientou esta minha tese, pelo tempo generosamente dedicado transmitindo-me seus conhecimentos e pela ajuda indispensável no auxílio desta pesquisa.

À Professora Doutora Andréa Ritter Jelinek pelas amostras cedidas e os ensinamentos sobre a Técnica de Análises por Traços de Fissão em Apatita durante o meu breve treinamento no Laboratório de Geologia Isotópica, desta universidade.

Ao Professor Felipe Guadagnin, pela boa vontade no auxílio da confecção dos mapas desta tese.

À Professora Doutora Delia Del Pilar Montecinos de Almeida, ao Professor Doutor Ivo Dussin e ao Professor Doutor Evandro Fernandes de Lima pela disponibilidade de aceitarem o convite para participar da banca examinadora.

A todo o restante pessoal do Anexo ao Laboratório de Geologia Isotópica, Maurício, Fabrício e Sandrinha pela ajuda na preparação das amostras.

À minha mãe, que sempre me apoio integralmente mesmo não compreendendo o que eu faço. Nunca me julgando pelas decisões que tomei.

Ao PPGGEO, particularmente ao Robertinho pela ajuda e solução dos problemas burocráticos ao longo destes quatro anos.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado.

À minha família, meu marido e meus dois filhos, pelo sacrifício dos momentos ausentes, do stress e, do amor e confiança de que tudo daria certo no final desta jornada.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	xvii
Resumo.....	1
Abstract.....	2

VOLUME 1

CAPÍTULO I – Introdução.....	4
1. CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	6
1.1 - ESCUDO URUGUAIO-SUL-RIO-GRANDENSE.....	7
1.2 – BACIA DO PARANÁ.....	12
1.3 – BACIAS DE MARGENS PASSIVA.....	18
CAPÍTULO II –Princípios do Método Termocronológico.....	23
2.1 – O MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO.....	23
2.1.1 Histórico.....	23
2.2 – IDADES POR TRAÇOS DE FISSÃO.....	25
2.3 – EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DAS IDADES APARENTES POR TRAÇOS DE FISSÃO.....	28
2.3.1 Determinação da Fluência Neutrônica (Φ).....	29
2.3.2 Determinação do fator de correção da geometria (g).....	30
2.3.3 Determinação do Parâmetro Zeta (ζ).....	30
2.4 – PRECISÃO DA IDADE POR TRAÇOS DE FISSÃO.....	31
2.5 – SIGNIFICADO DAS IDADES POR TRAÇOS DE FISSÃO.....	33
2.6 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA APATITA.....	37
2.7 – O DPAR.....	39
2.8 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISES TRAÇOS DE FISSÃO.....	41
2.9 – MODELAMENTO DE HISTÓRIAS TÉRMICAS.....	43

2.10 – PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	43
2.10.1 Procedimentos laboratoriais.....	44
2.10.1.1 – Britagem e moagem das amostras.....	44
2.10.1.2 – Separação mineral.....	48
2.11 – O MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO.....	52
2.11.1 Montagem da pastilha.....	52
2.11.2 Lixas e polimento.....	53
2.11.3 Revelação dos traços de fissão na apatita.....	55
2.11.4 Montagem do detector externo.....	55
2.11.5 Montagem da pilha para irradiação.....	56
2.11.6 Revelação das placas de mica.....	58
2.11.7 Determinação dos Traços de fissão.....	58
2.11.7.1 – Determinação dos parâmetros cinéticos Dpar e conteúdo de cloro.....	60
2.11.7.2 – Determinação dos comprimentos dos Traços de fissão confinados.....	60
2.11.7.3 – Interpretação dos dados Traços de fissão: Os Diagramas.....	61
<i>Idades traços de fissão versus Altitude.....</i>	62
<i>Modelamento das Histórias Térmicas.....</i>	62
<i>PaleotemperaturasI.....</i>	62
<i>Denudação.....</i>	62
CAPÍTULO III – Resultados Obtidos.....	65
3.1 - INTRODUÇÃO.....	65
3.2 - AMOSTRAGEM.....	65
3.3 – IDADES TRAÇOS DE FISSÃO.....	68
3.4 – O PERCENTUAL DE CLORO.....	73
3.5 – COMPRIMENTO DOS TRAÇOS DE FISSÃO CONFINADOS...	74
3.6 - ALTITUDE.....	79
3.7 – HISTÓRIA TÉRMICA.....	86

3.8 – PALEOTEMPERATURAS.....	91
3.9 - DENUDAÇÃO.....	105
CAPÍTULO IV – Discussão.....	120
4.1 - INTRODUÇÃO.....	120
4.2 - PROCESSOS DE DENUDAÇÃO NO URUGUAI E RS E SUA RELAÇÃO COM O EVENTO GONDWANIDES.....	124
4.3 - PROCESSOS DE DENUDAÇÃO RELACIONADOS COM A SEPARAÇÃO DA ÁFRICA E AMÉRICA DO SUL.....	127
4.4 - IDADES MIOCÊNICAS NO RS E A FORMAÇÃO DO CONE DO RIO GRANDE.....	133
4.5 - CORRELAÇÃO BRASIL-ÁFRICA.....	136
CAPÍTULO V – Conclusões.....	143
CAPÍTULO VI – Referências Bibliográficas.....	146

VOLUME 2

ANEXOS

1 Idades Traços de Fissão

2 Modelamentos

Lista de Figuras

Figura - 1.1	Distribuição das principais unidades geológicas do sul do Brasil e Uruguai modificado de Mapa do Mercosul (DNPM, 1989).....	8
Figura - 1.2	a) Distribuição das principais áreas cratônicas do Gondwana Oeste e cinturões Brasileiro/Pan-Africanos; b) Domínios geotectônicos do sul do Brasil e Uruguai. Modificado de Bossi et al., 1998; Chemale Jr., 2000; Hartmann et al., 2000; Mallmann et al., 2007 (em Chemale Jr. et al., em prep.).....	9
Figura - 1.3	Mapa Geológico do Terreno São Gabriel (modificado de Chemale et al., 1995).....	10
Figura - 1.4	Mapa Geológico do Cinturão Tijucas (modificado de Porcher, 1992).....	11
Figura - 1.5	Localização da Bacia do Paraná e distribuição da Formação Serra Geral, As seções AA' e BB' estão na Figura 1.7 (modificado de Zalan et al., 1990).....	13
Figura - 1.6	Mapa da área da Bacia do Paraná e distribuição das supersequências no território brasileiro (modificado de Milani, 1997).....	14
Figura - 1.7	Seções AA' E BB' ao longo Bacia Paraná (segundo Zalan et al., 1990).....	15
Figura - 1.8	Dados geocronológicos (Ar-Ar) das unidades magmáticas da Fm. Serra Geral (modificado de Turner et al., 1994).....	17
Figura - 1.9	A) Estágios tectônicos <i>versus</i> arcabouço estratigráfico para a margem passiva brasileira. B) Sinopse dos principais estágios da formação das bacias de margem passiva brasileira (Chang et al., 1992).....	18
Figura - 1.10	Mapa estrutural com as principais feições da Margem Continental sudeste-brasileira. (modificado de Gamboa e Rabinowitz, 1981, <i>apud</i> Fontana, 1996).....	19
Figura - 1.11	Coluna estratigráfica e perfil NW-SE da Bacia de Santos (Fonte ANP, 2011).....	20
Figura - 1.12	Coluna estratigráfica e modelo de arquitetura estratigráfica da Bacia de Pelotas. Modificado de Fontana (1996) em	

	Anjos-Zerfass (2009).....	21
Figura - 2.1	Esquema ilustrativo da formação de traços de fissão na apatita: A) ionização dos átomos por uma partícula carregada. B) repulsão Coulombiana dos íons, separando-os de suas posições originais (adaptado de Fleischer et al., 1965).....	25
Figura - 2.2	Esquema ilustrativo da preparação de grãos de apatita para análises por traços de fissão, mostrando o método do detector externo para a determinação da concentração de urânio (Beardsmore & Cull, 2001).....	27
Figura - 2.3	Fotomicrografia do par apatita e detector. A densidade da fissão do ^{238}U observada nos grãos de apatita (à direita) é denominada de traços espontâneos e a do ^{235}U observada no detector externo (à esquerda), traços induzidos (extraído de Grist & Zentilli, 2005).....	28
Figura - 2.4	Esquema ilustrativo exemplificando a distribuição do comprimento dos traços de fissão em uma amostra fictícia. Quando há um aumento da temperatura em t2 o tamanho dos traços de fissão de cor laranja produzidos no tempo 0-1 é reduzido, talvez como consequência de um soterramento. Os traços de fissão de cor magenta produzidos durante um período de temperatura elevada são igualmente encurtados. No t3 a temperatura diminui talvez como resultado do soerguimento e erosão. Os traços de fissão de cor azul produzidos posteriormente são longos. A distribuição do comprimento dos traços de fissão medidos representa os traços de fissão produzidos em todas as temperaturas e neste exemplo idealizado é bimodal. Na maioria das amostras reais a distribuição do comprimento dos traços de fissão encontrados é mais complexa (Galeria de imagens do Laboratório de Pesquisas Termocronométricas, UCL & Birkbeck Earth Sciences, disponível no endereço eletrônico www.ucl.ac.uk).....	34
Figura - 2.5	Diagrama ilustrando os diversos tipos de traços de fissão. Lc = comprimento do traço de fissão confinado medido. Traços nos traços (TINT). Traços na clivagem (TINCLE) (extraído de Wagner & van den Haute, 1992).....	35
Figura - 2.6	Esquema mostrando as zonas de estabilidade dos traços de fissão em apatitas. Três opções de soerguimento e denudação são mostradas para a mesma origem na ZAP; A: resfriamento rápido; B: resfriamento lento; C:	

	resfriamento complexo. Na opção A, a amostras A2 apresenta idade mais antiga que A1. ts: temperatura da superfície; gg: gradiente geotérmico (extraído de Naeser et al., 1989).....	36
Figura - 2.7	Gráficos de Cloro <i>versus</i> Flúor <i>versus</i> OH mostrando os efeitos na composição de apatitas de acordo com a rocha hospedeira (Burtner et al., 1994).....	38
Figura - 2.8	Fotomicrografia de uma superfície de apatita observada ao microscópio óptico com luz refletida, mostrando os <i>etch pits</i> alinhados, sugerindo uma seção paralela ao eixo c (Donelick et al., 2005).....	40
Figura - 2.9	Diagrama radial, mostrando as idades centrais e, b) histograma ilustrando uma distribuição unimodal das idades determinadas por traços de fissão, obtidas a partir dos dados inseridos no programa Tracckey (Dunkl, 2002)..	42
Figura - 2.10	Fluxograma mostrando as etapas efetuadas, junto aos nossos laboratórios de separação mineral e Termocronologia, até a obtenção da apatita.....	45
Figura - 2.11	Fluxograma mostrando as etapas efetuadas para os Métodos de Traços de Fissão.....	46
Figura - 2.12	Fotografia da prensa hidráulica do Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IG/UFRGS)...	47
Figura - 2.13	Fotografia do britador de mandíbulas do Laboratório de Preparação de Amostras IG/UFRGS.....	47
Figura - 2.14	Fotografia do moinho de discos do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.....	48
Figura - 2.15	Fotografia da centrífuga CT 6000 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.....	50
Figura - 2.16	Balões de decantação preenchidos com Di-diodometano em capela de exaustão (Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS).....	51
Figura - 2.17	Chapa elétrica com temperatura constante de 40°C e amostras dispostas para secagem (Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS).....	51

Figura - 2.18	Grãos de apatitas separadas com o auxílio de lupa binocular (Apatita: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$).....	52
Figura - 2.19	Esquema ilustrativo da montagem da pastilha com os grãos de apatita. Amostra gentilmente cedida para fotografia pela equipe do Laboratório de Termocronologia do IG/UFRGS.....	53
Figura - 2.20	Fotografia da politriz Buehler, modelo Ecomet 4 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.....	54
Figura - 2.21	Fotografia mini-politriz Buehler, modelo Minimet 1000 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.....	55
Figura - 2.22	Esquema ilustrativo da montagem dos grãos de apatita na pastilha e respectiva imagem no detector, após irradiação e revelação.....	56
Figura - 2.23	Exemplo de montagem de uma pilha de irradiação.....	57
Figura - 2.24	Fotografia do microscópio Zeiss Axioplan 2 imaging com o sistema Auto Scan acoplado do Laboratório de Termocronologia do IG/UFRGS.....	59
Figura - 2.25	Fotomicrografia de um grão de apatita para determinação dos traços de fissão em uma quadrícula de 10 x10.....	59
Figura - 2.26	Fotomicrografia de um grão de apatita vista ao microscópio óptico (aumento de 10x10), exemplificando alguns traços de fissão confinados. Os traços de fissão são formados continuamente ao longo do tempo. Assim, um traço de fissão confinado curto é mais antigo que um traço de fissão longo.....	61
Figura - 3.1	Modelo tridimensional onde estão localizadas as amostras analisadas (fonte: Mapa SIG – CPRM, escala 1:2.500.000).....	66
Figura - 3.2	Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Uruguai.....	70
Figura - 3.3	Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Rio Grande do Sul.....	71

Figura - 3.4	Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado de Santa Catarina.....	71
Figura - 3.5	Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Paraná.....	72
Figura - 3.6	Correlações entre os teores de Cl, Dpar e as idades traços de fissão para as amostras do Uruguai e do estado do Rio Grande do Sul. A seta indica as amostras onde a variação dos teores de Cl interferiu diretamente na idade obtida. A) Uruguai; B) Rio Grande do Sul e; C) Rio Grande do Sul (Dpar).....	75
Figura - 3.6	Continuação das correlações entre os teores de Cl e as idades traços de fissão para as amostras de Santa Catarina e Paraná. A seta indica as amostras onde a variação dos teores de Cl interferiu diretamente na idade obtida. D) Santa Catarina e; E) Paraná.....	76
Figura - 3.7	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Uruguai.....	77
Figura - 3.8	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Rio Grande do Sul.....	77
Figura - 3.9	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras de Santa Catarina.....	78
Figura - 3.10	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Paraná.....	78
Figura - 3.11	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Altitude para as amostras do Uruguai.....	79
Figura - 3.12	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Altitude para as amostras do Rio Grande do Sul.....	80
Figura - 3.13	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Altitude para as amostras de Santa Catarina.....	81
Figura - 3.14	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> Altitude para	

	as amostras do Paraná.....	81
Figura - 3.15	Diagrama de comparação dos melhores <i>best-fit</i> das amostras localizadas no Uruguai, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).....	89
Figura - 3.16	Diagrama de comparação dos melhores <i>best-fit</i> das amostras localizadas no estado do Rio Grande do Sul, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).....	89
Figura - 3.17	Diagrama de comparação dos melhores <i>best-fit</i> das amostras localizadas no estado de Santa Catarina, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).....	90
Figura - 3.18	Diagrama de comparação dos melhores <i>best-fit</i> das amostras localizadas no estado do Paraná, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).....	90
Figura - 3.19	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 300$ Ma.....	93
Figura - 3.20	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 270$ Ma.....	94
Figura - 3.21	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 2400$ Ma.....	95
Figura - 3.22	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 210$ Ma.....	96
Figura - 3.23	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 180$ Ma.....	97
Figura - 3.24	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 150$ Ma.....	98
Figura - 3.25	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 130$ Ma.....	99
Figura - 3.26	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as	

	amostras estudadas no tempo $t = 120$ Ma.....	100
Figura - 3.27	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 100$ Ma.....	101
Figura - 3.28	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 80$ Ma.....	102
Figura - 3.29	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 60$ Ma.....	103
Figura - 3.30	Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 60$ Ma.....	104
Figura - 3.31	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 300-270$ Ma.....	107
Figura - 3.32	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 270-240$ Ma.....	108
Figura - 3.33	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 240-210$ Ma.....	109
Figura - 3.34	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 210-180$ Ma.....	110
Figura - 3.35	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 180-150$ Ma.....	111
Figura - 3.36	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 150-130$ Ma.....	112
Figura - 3.37	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 130-120$ Ma.....	113
Figura - 3.38	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 120-100$ Ma.....	114
Figura - 3.39	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 100-80$ Ma.....	115
Figura - 3.40	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 80-60$ Ma.....	116
Figura - 3.41	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas	

	no tempo t = 60-40 Ma.....	117
Figura - 3.42	Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo t = 40-0 Ma.....	118
Figura - 4.1	Modelo tectônico para os estágios finais de amalgamação da porção sudoeste do Supercontinente Gondwana. A a D: Cinemática das principais paleoplacas. Estágio C: tem-se a deformação dos cinturões Dom Feliciano, Damara e Gariep. Estágio D: são colocados os principais batólitos ao final da colisão (~540 Ma) associados aos processos de subducção e formação de arcos magmáticos. O bloco diagrama corresponde à colisão continente-continente do Gondwana Sudoeste com as principais unidades tectônicas (LAM= Microplaca Luís Alves) (Chemale et al., em prep.).....	122
Figura - 4.2	Reconstrução da porção SE da América do Sul e SW da África antes da ruptura Mesozóica (Chemale et al., 2005).....	123
Figura - 4.3	Diagramas de idades aparentes obtidas por traços de fissão em apatita versus comprimento médio dos traços para os setores de Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ver texto para explicação, Chemale Jr. et al. 2005).....	125
Figura - 4.4	A) Distribuição do Gondwanides na margem sul do Gondwana (modificado de Wit & Ransome, 1992) e as principais bacias paleozóicas no sul do América do Sul, África, Antártica e Austrália. B) Perfil esquemático N-S mostrando a configuração tectônica e estratigráfica ao longo da Sierra de la Ventana, Uruguai e Sul do Brasil (modificado de França et al., 1995).....	126
Figura - 4.5	Localização do Cone do Rio Grande na Bacia de Pelotas.....	134
Figura - 4.6	Modelo tectono-estratigráfico do Cone do Rio Grande, com os diversos estágios de deposição (A-C) e estrutural (D) (Castillo, 2009).....	135
Figura - 4.7	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i> altitude para as amostras estudadas em comparação as amostras africanas.....	139
Figura - 4.8	Diagramas de Idades traços de fissão <i>versus</i>	

Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras estudadas em comparação as amostras africanas. Mesma legenda que a Figura 4.7.....	140
---	-----

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Lista de amostras analisadas para o Uruguai com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e litologias.....	67
Tabela 3.2	Lista de amostras analisadas para o estado do Rio Grande do Sul com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e litologias.....	67
Tabela 3.3	Lista de amostras analisadas para o estado de Santa Catarina com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e litologias.....	68
Tabela 3.4	Lista de amostras analisadas para o estado do Paraná com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e litologias.....	68
Tabela 3.5	Resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Uruguai.....	82
Tabela 3.5	Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Rio Grande do Sul.....	83
Tabela 3.5	Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras de Santa Catarina.....	84
Tabela 3.5	Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Paraná.....	85
Tabela 3.6	Dados de paleotemperaturas (Tmax), tempo de início do resfriamento, quantidade (D) e taxas de denudação.....	106

RESUMO

Estudos termocronológicos por traços de fissão em apatita são utilizados para estabelecer os principais eventos de denudação, erosão e subsidência na margem continental emersa do sul do Brasil e Uruguai. Os dados obtidos permitem verificar que as idades aparentes de traços de fissão variam de $383,4 \pm 40,9$ a $9,7 \pm 1,2$ Ma, entre o Devoniano Superior e o Mioceno, com comprimento dos traços de fissão entre 14,02 a 8,87 μm . A correlação entre idade e distribuição do comprimento dos traços de fissão confinados evidencia que as amostras sofreram diferentes reduções no comprimento dos traços de fissão. Isto indica que as rochas foram submetidas a diferentes posições crustais, paleotemperaturas e tempo de residência na Zona de Apagamento Parcial. As histórias térmicas obtidas mostram que processos de resfriamento lentos e contínuos foram registrados nas regiões desde o final do Pensilvaniano (Neopaleozóico). Os padrões de denudação são complexos, mas foi possível caracterizar no Uruguai e Rio Grande do Sul reflexos do evento orgênico Gondwanides (ou São Rafaélico) atuantes nas margens do Gondwana SW. Nas regiões do norte do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná foi possível documentar com detalhe o recuo da escarpa da margem continental associada a fragmentação e dispersão mesocenozóica do Gondwana, com a definição de eventos de denudação em torno de: (i) 150-140 Ma, atribuído aos eventos pré-rifte a rifte; (ii) 90-80 Ma, associado ao magmatismo alcalino do Cretáceo Superior; (iii) eventos de 70-60 Ma e 45-35 Ma associados a rearranjos isostático da placa Sul-Americana na região estudada. Evento mais jovem com idades entre 20-10 Ma é reconhecido na margem continental do leste do RS e Uruguai, diretamente conectado à formação do Cone do Rio Grande.

Palavras-chave: Gondwana, termocronologia por traços de fissão em apatita, denudação, margem passiva brasileira.

ABSTRACT

Apatite fission track (FT) thermochronological analyses are used to establish the main events of denudation, erosion and subsidence of the emerge continental margin of South Brazil and Uruguay. The obtained data provide apparent ages ranging from 383.4 ± 40.9 Ma to 9.7 ± 1.2 Ma, between Upper Devonian and Miocene, and mean track length from $14.02 \mu\text{m}$ to $8.87 \mu\text{m}$. Thermal history reconstruction based on apatite fission track thermochronology suggest the occurrence of long term and continuous cooling as well rapid uplift in investigated regions, recorded from Neopaleozoic to the Miocene. The oldest denudation event is well recorded in the Uruguay and Rio Grande do Sul as result of orogenic processes at margin of SW Gondwana, the so-called Gondwanides or San Rafael cycle. In the northern portion of Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná was possible to document the escarpment retreat across the rifted continental margin connected to the Mesocenozoic fragmentation and dispersion of Gondwana, defined by the main denudation event as follow: (i) 150-140 Ma, developed during the pre-rift and rift stages; (ii) 90-80 Ma, associated to Upper Cretaceous alkaline ; (iii) 70-60 Ma and 45-35 Ma events due to isostatic rearrangement of South American plate in the study area. The youngest denudation event, aged at 20-10 Ma, is very well defined in the emerge continental margin of east Rio Grande do Sul and Uruguay, and coeval to the Rio Grande Cone formation, a large sedimentary package of 4000 m thick.

Key-works: Gondwana, apatite fission track thermochronology, continental denudation, Brazilian passive margin.

CAPÍTULO I -

Introdução

As margens continentais sul e sudeste da América do Sul denotam estruturas geomorfológicas moldadas durante vários episódios de atividade tectônica iniciados no Neoproterozóico. A compartimentação do Gondwana gerou nas margens continentais brasileiras e, conseqüentemente, nas margens continentais africanas soerguimento litosférico e rifteamento ocasionado pela formação do Oceano Atlântico. No decorrer do progresso de separação dos continentes novas estruturas se formaram e outras foram reativadas. Os movimentos de ascensão e erosão derivados da construção da cadeia meso-oceânica fizeram com que rochas profundas fossem trazidas a níveis mais superficiais. O comportamento rúptil das rochas do embasamento durante a abertura do Oceano Atlântico, gerando *host* e *grabens*, sugere que estas rochas transcenderam às regiões rasas já “frias”. A técnica de Traços de Fissão em Apatita é um método reconhecido para avaliar histórias térmicas de baixa temperatura (120°-60°C). A interpretação das idades e dos comprimentos dos traços de fissão na apatita indica padrões de resfriamento ou aquecimento regional ocasionado pelos processos tectônicos na denudação da crosta.

Estudos realizados por Gallagher et al. (1994, 1995 e 1998), Brown et al. (2000), Borba et al. (2002), Jelinek et al. (2003), Tello et al. (2003) e Hackspacher et al. (2004) na margem continental sul e sudeste do Brasil e Uruguai indicam idades por traços de fissão mais elevadas no interior do continente do que na faixa costeira. De modo geral, estes estudos também demonstraram que as taxas de denudação junto à faixa costeira são mais elevadas do que no interior do continente, sendo estas características verificadas nas margens passivas do SW da África, SE da Austrália e W da Índia (Kohn et al., 2002).

A fim de estabelecer a história térmica das regiões sul e sudeste da América do Sul (Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e os processos de soerguimento, erosão e subsidência do embasamento adjacente às bacias

sedimentares de margem passiva (Pelotas, Paraná e Santos) optou-se pela aplicação da Termocronologia por Traços de Fissão em Apatita. Esta técnica é aplicada na determinação de idades de eventos geológicos de baixa temperatura (60°C a 120°C) como uma ferramenta eficaz na compreensão da história e características térmicas da crosta superior e dos continentes ao longo dos tempos. Em razão disso, ela é amplamente utilizada em estudos de análises de bacias sedimentares para monitorar e cronometrar o volume de aporte de sedimentos, problemas de denudação, além de auxiliar na exploração de hidrocarbonetos, promover informações sobre sincronismo, estilo e taxas de exumação. Deste modo, a reconstrução de histórias térmicas em bacias sedimentares é um aspecto vital para se reduzir o risco da exploração, por exemplo, em definir o sincronismo da geração do hidrocarboneto e em identificar os episódios tectônicos que podem ter causado o rompimento das acumulações.

A apatita tem sido um dos minerais mais utilizados em datações radiométricas por ser abundante em várias litologias, tais como granitos, gnaisses e arenitos. Particularmente, a apatita apresenta concentrações homogêneas de urânio e boa susceptibilidade à fissão espontânea (Cupertino, 2000). A sua composição tem sido o foco de interesse nos últimos anos, devido às correlações entre substituições catiônicas no retículo cristalino e o apagamento dos traços de fissão confinados. Também, devido ao fato de que as variações de flúor, hidroxila e cloro tornam a apatita um geotermômetro em potencial, indicador de pressão e de fugacidade de voláteis em processos magmáticos, metamórficos e hidrotermais (Stormer & Carmichael, 1971; Yardley, 1985; Candela, 1986; Boudreau & McCallum, 1987; Morrison & Valley, 1989).

A partir da observação do modelamento das histórias térmicas das amostras analisadas pretende-se estabelecer períodos de resfriamento e aquecimento correlacionáveis aos eventos geológicos registrados nas regiões de interesse. Os resultados apresentados na forma de mapas de paleotemperaturas e paleodenudação permitirão agrupar os dados de traços de fissão por região, possibilitando a integração dos dados das regiões sul e sudeste da América do Sul. Os resultados obtidos serão correlacionados com os dados disponíveis na literatura para as regiões do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

No presente trabalho são abordados o aspecto histórico geológico das áreas de interesse, importantes para a compartimentação geotectônica do Gondwana

(Capítulo I). Em seguida, é apresentado a ferramenta utilizada nas amostras selecionadas (Capítulo II). Neste capítulo, são descritas em detalhe os Princípios do Método Termocronológico, sendo discutidos os aspectos gerais da evolução do pensamento sobre a Termocronologia por Traços de Fissão em Apatitas e, detalhado a metodologia aplicada, desde os procedimentos de coleta das amostras na campanha de campo até os processos laboratoriais. Os resultados obtidos e suas implicações na interpretação dos dados integram o Capítulo III. Posteriormente, são apresentadas as discussões (Capítulo IV), conclusões (Capítulo V), as referências bibliográficas (Capítulo VI) e os Anexos.

1. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

As margens sul e sudeste da América do Sul são caracterizadas por apresentarem uma morfologia de margem passiva, ou do tipo Atlântico. Originárias de movimentos divergentes entre a placa continental e oceânica com subsequente abertura do Oceano Atlântico. Ao longo destas margens, na região de *offshore*, desenvolveram-se as bacias marginais de Punta Del Este-Salado, Pelotas, Santos e Campos. O estudo destas bacias, no Brasil, é de extrema importância devido ao potencial econômico relacionado à indústria de petróleo. As bacias brasileiras localizam-se paralelamente a linha de costa, ao contrário do que se pode observar no Uruguai. Lá a disposição do Complexo de Bacias Punta Del Este-Salado se desenvolveu perpendicular a linha de costa. De qualquer forma, as bacias brasileiras e uruguaias são separadas das escarpas continentais pela Planície Costeira. E nos casos brasileiros, ainda é possível fazer uma comparação análoga com as bacias africanas, que apresentam processos de soerguimento, subsidência e erosão muito similares.

Na região de *onshore* do sul do Brasil e Uruguai (área continental) podem-se diferenciar as seguintes associações de rochas: (i) rochas cristalinas do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense, formadas do Arqueano ao Eo-Paleozóico, (ii) rochas sedimentares associadas da Bacia do Paraná (Paleozóicas a Jurotriássicas), (iii) Magmatismo Serra Geral e rochas sedimentares associadas de idade cretácea, (iv) complexos alcalinos mesocenozóicos e, (v) Bacia de Pelotas formada na margem passiva brasileira durante o mesocenozóico.

1.1 - ESCUDO URUGUAIO-SUL-RIO-GRANDENSE

O Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense (EUSRG) se localiza na região centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul (RS) e no Uruguai. O ESRG, no RS, possui cerca de 65.000 km² (Chemale Jr., 2000), e é delimitado ao norte, oeste e sudoeste pela Bacia do Paraná, e a leste pela Província Costeira do Rio Grande do Sul. Ao sul, prolonga-se além da fronteira do Brasil com o Uruguai (FIG. 1.1).

O EUSRG contém as rochas mais antigas do estado, com idades Arqueanas a Eo-Paleozóicas, com forte controle de lineamentos regionais orientados segundo NE-SW e NW-SE. O EUSRG é parte do sistema orogênico do leste Brasileiro, que se estende desde o Uruguai até o sul do estado da Bahia, e a paleoplaca Rio de La Plata. Ainda que esteja em uma área de dimensões relativamente restritas, o EUSRG apresenta associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de idade, origem e evolução diversas.

As unidades principais do Escudo Sul-rio-grandense são agrupadas nos terrenos com domínio de rochas paleoproterozóicas e neoproterozóicas a eo-paleozóicas. A presente descrição é baseada nas publicações de Fernandes et al. (1992), Chemale Jr. et al. (1995), Chemale Jr. (2000), Bossi et al. (1998), Hartmann et al. (2000), Hartmann et al. (2001) e Mallmann et al. (2007).

As unidades geradas mais antigas estão dispostas no terreno Piedra Alta e Bloco Luis Alves, representadas por rochas infracrustais e supracrustais (para- e ortognaisses de fácies anfíbolito a granulito, sequências vulcano-sedimentares, granitos e enxames de diques máficos) geradas no paleoproterozóico. Ocorrências de rochas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas, deformadas e intrudidas por granitos brasileiros, são expostas no Terreno Nico Perez e septos do embasamento no Cinturão Dom Feliciano, que foi gerado no Neoproterozóico ao Eo-Paleozóico (FIG. 1.2).

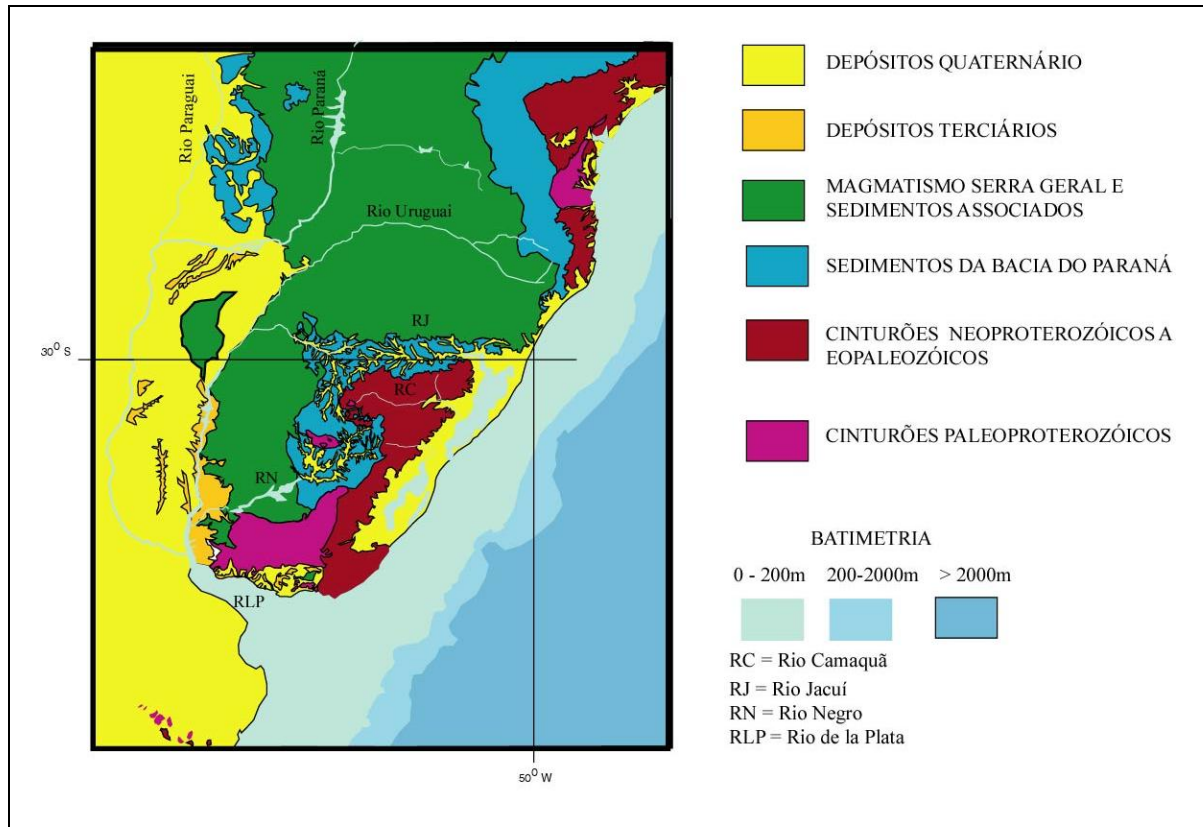


Figura - 1.1. Distribuição das principais unidades geológicas do sul do Brasil e Uruguai modificado de Mapa do Mercosul.

O Cinturão Dom Feliciano é composto por três terrenos principais: (i) Terreno São Gabriel; (ii) Terreno Tijucas e (iii) Batólitos Graníticos de Florianópolis (SC), Pelotas (RS) e Cutillo Dionísio (Uruguai) (FIG. 1.3).

O Terreno São Gabriel é formado por rochas de assinatura juvenil ou derivadas do manto neoproterozóico (Babisnki et al., 1996) representadas por lasca ofiolíticas neoproterozóicas, associações de rochas granito-gnáissicas e vulcano-sedimentares metamorfisadas de arco de ilha e magmático continental geradas entre 0,8 Ga a 0,68 Ga. Estas unidades são intrudidas por granitos brasileiros (0,63 a 0,54 Ga) e cobertas por sequências de rochas vulcano-sedimentares e sedimentares no locus deposicional da Bacia do Camaquã, geradas em ambiente tardi a pós-orogênico (Chemale Jr., 2000, Paim et al., 2000). A sequência de rochas vulcânicas e sedimentares é dividida em três bacias principais com característica de retro-arco (Bacia Maricá), transtracional (Bacia Bom Jardim) com magmatismo predominantemente shoshonítico (cálcico-alcálico, alto K) e, extensional (Bacia

Acampamento Velho-Santa Bárbara) com magmatismo alcalino pós-orogênico e de colapso orogenético (Bacia Guaritas).

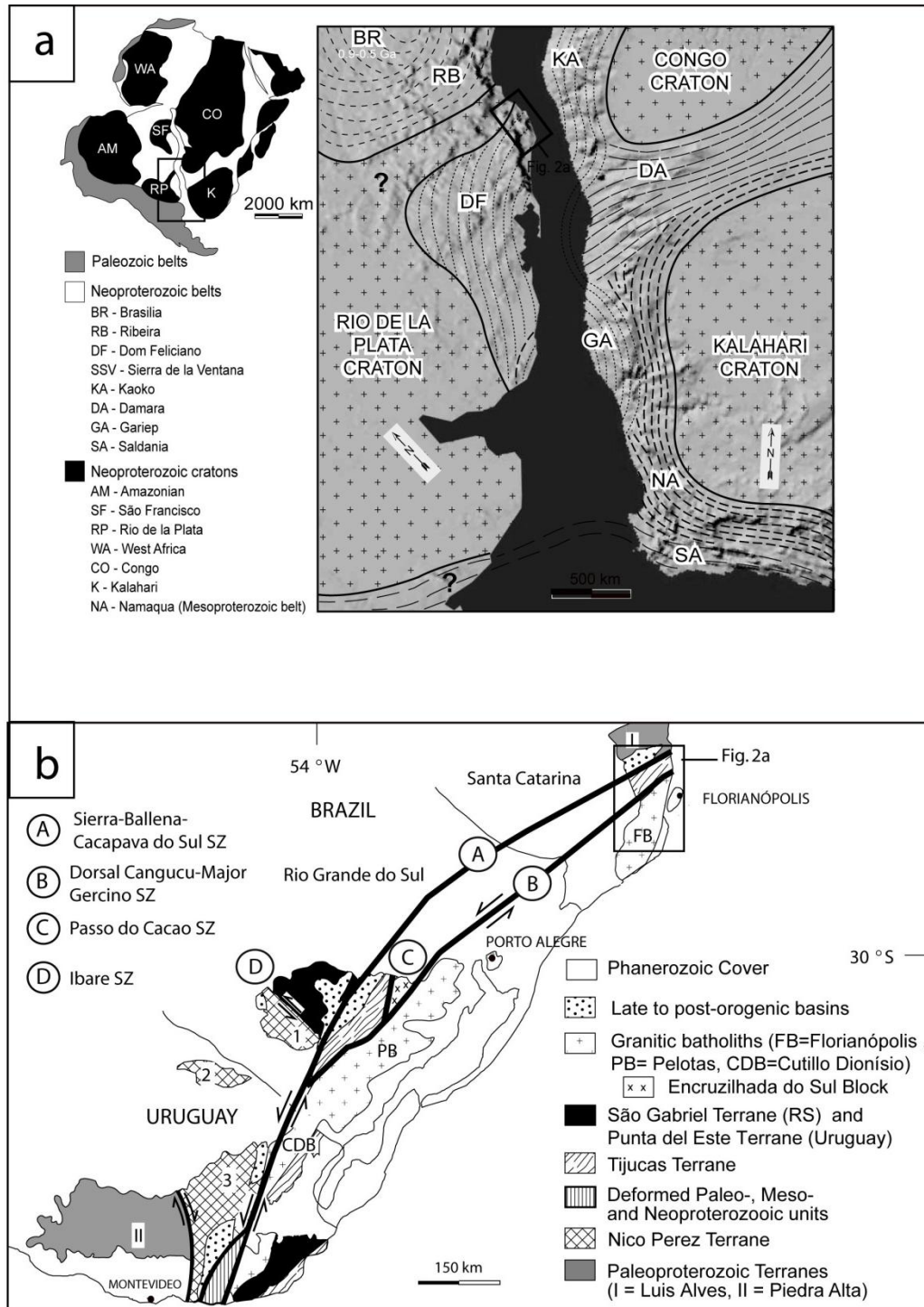


Figura - 1.2: a) Distribuição das principais áreas cratônicas do Gondwana Oeste e cinturões Brasiliano/Pan-Africanos; b) Domínios geotectônicos do sul do Brasil e Uruguai. Modificado de Bossi et al., 1998; Chemale Jr., 2000; Hartmann et al., 2000; Mallmann et al., 2007 (em Chemale Jr. et al., em prep.).

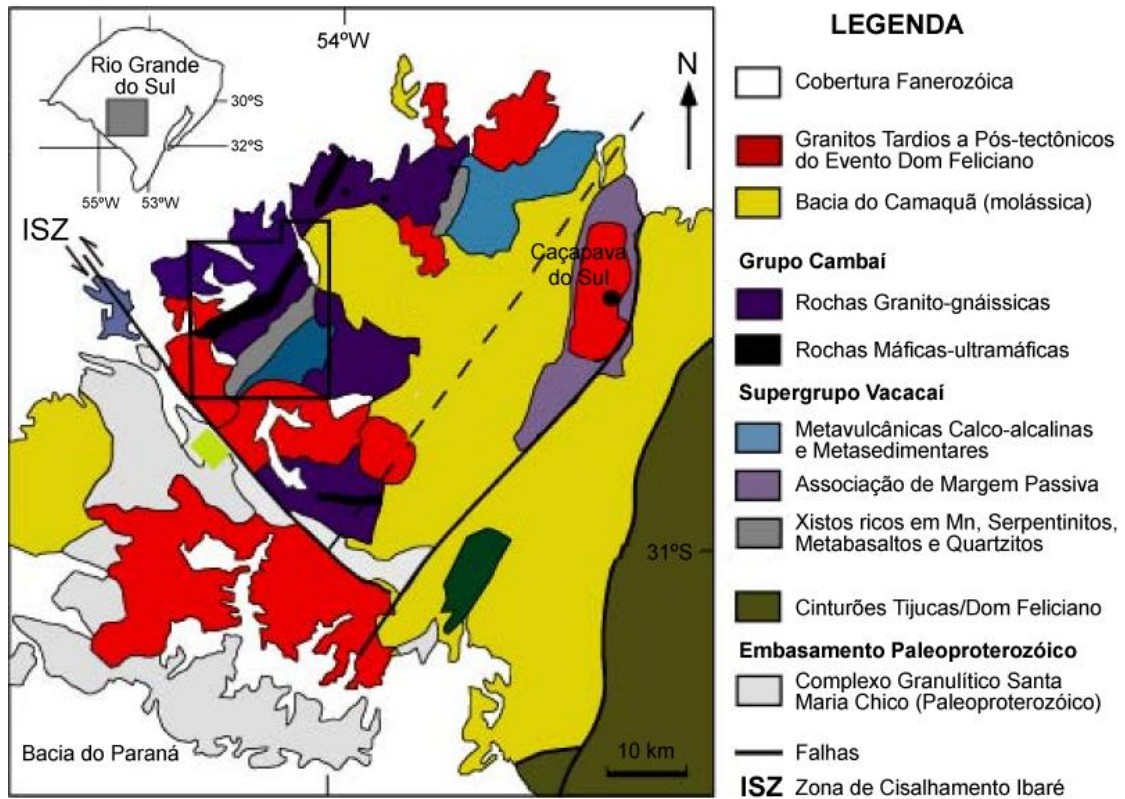


Figura - 1.3. Mapa Geológico do Terreno São Gabriel (modificado de Chemale et al., 1995).

O Terreno Tijuca ocupa a porção central do ESRG (Jost & Bitencourt, 1980), estendendo-se desde Santa Catarina até o Uruguai em uma faixa alongada segundo N20-45E e S20-45W, representado pelo Grupo Brusque em Santa Catarina, Grupo Porongos e Complexo Encantadas no Rio Grande do Sul e pelo Grupo Lavalleja no Uruguai. Este Cinturão é orientado segundo N-S e é limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. A oeste as unidades do Cinturão Tijuca estão limitadas pela Anomalia Magnética de Caçapava do Sul. Ao sul e ao norte, as unidades do Cinturão Tijuca estão cobertas por sedimentos horizontais a sub-horizontais da Bacia do Paraná nos depósitos de taludes e sedimentos cenozóicos (FIG. 1.4).

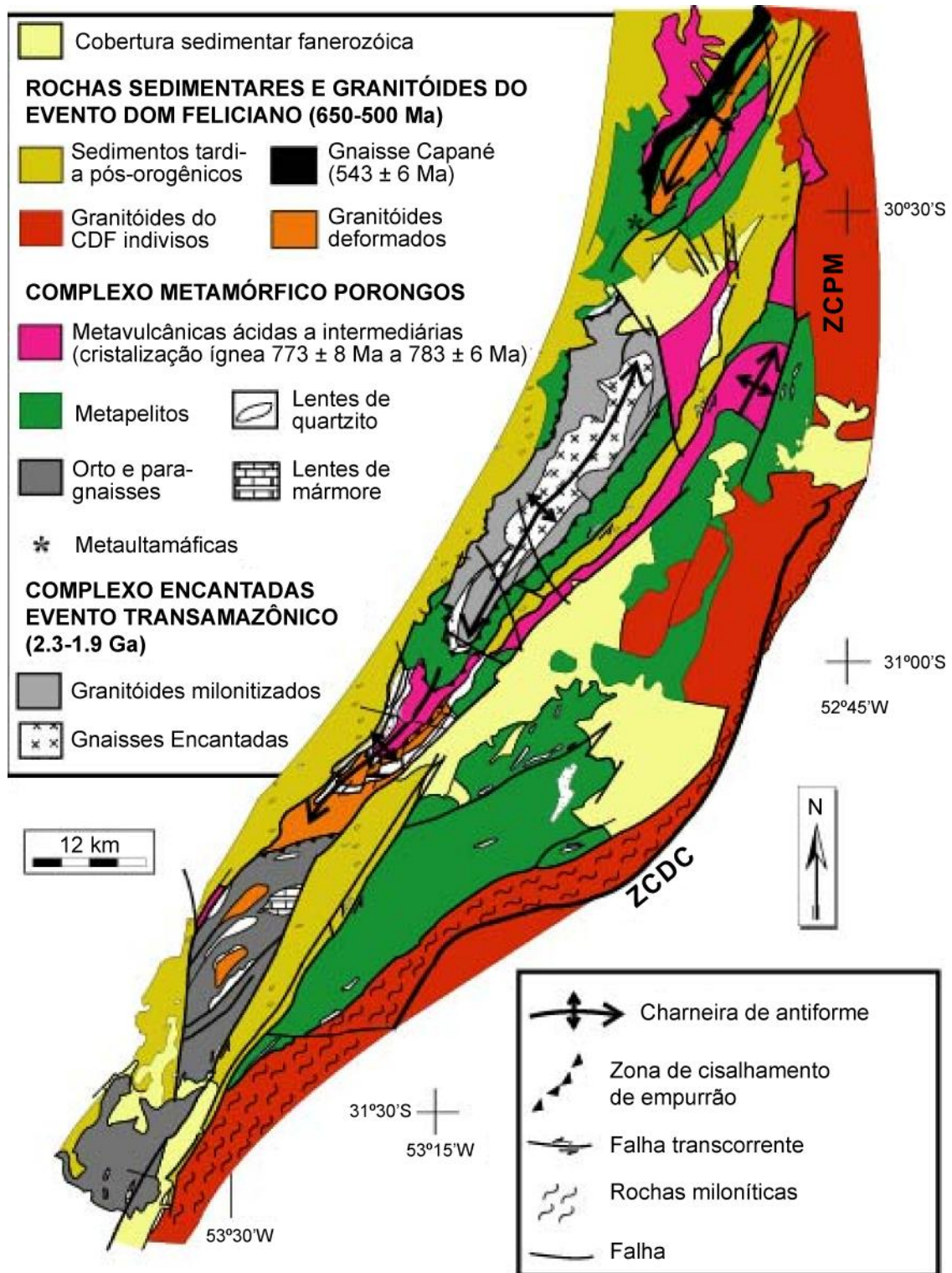


Figura - 1.4. Mapa Geológico do Cinturão Tijucas (modificado de Porcher, 1992).

O Cinturão Tijucas é representado pelas seguintes unidades geológicas: Complexo Encantadas, Complexo Metamórfico Porongos e rochas do Evento Dom Feliciano, representadas pelas Bacias Piquiri/Boici e Guaritas.

O Complexo Encantadas (2,3 a 1,9 Ga) engloba as unidades do Gnaisses Encantadas (Jost & Bitencourt, 1980), representado por rochas dioríticas, tonalíticas e granodioríticas, normalmente polideformadas, e granitóides milonitizados de composição monzogranítica e sienonogranítica (Porcher & Fernandes, 1990), sua principal ocorrência é observada no “Domo de Santana”. O Complexo Porongos é constituído por uma seqüência vulcano-sedimentar com intercalações com ortognaisses e mais raramente rochas ultramáficas, geradas entre 0,8 e 0,7 Ga. As rochas do Evento Dom Feliciano (0,65-0,50 Ga), são as rochas mais jovens do Cinturão Tijuca, compõe-se pelas Bacias Piquiri/Boici e granitóides deformados.

Na porção leste do Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina ocorrem as unidades dos Batólitos de Cutillo Dionísio, Pelotas e Florianópolis (FIG. 1.2) que são compostos por uma massa de rochas granítico-gnáissicas pré, sin- e pós-orogênicas do Evento Dom Feliciano (0,65 a 0,54 Ga) com septos do embasamento Paleoproterozóico e Mesoproterozóico.

1.2 - BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica ou sinéclise cujas unidades basais se depositaram sobre a Bacia do Camaquã e o Escudo Uruguaio-Sul-riograndense no Rio Grande do Sul. A Bacia do Paraná, em toda sua extensão, é representada por sedimentos predominantemente siliciclásticos, de idade desde o Ordoviciano ao Jurássico, cuja espessura máxima estimada é de 5.000 a 6.000 m (FIG. 1.5).

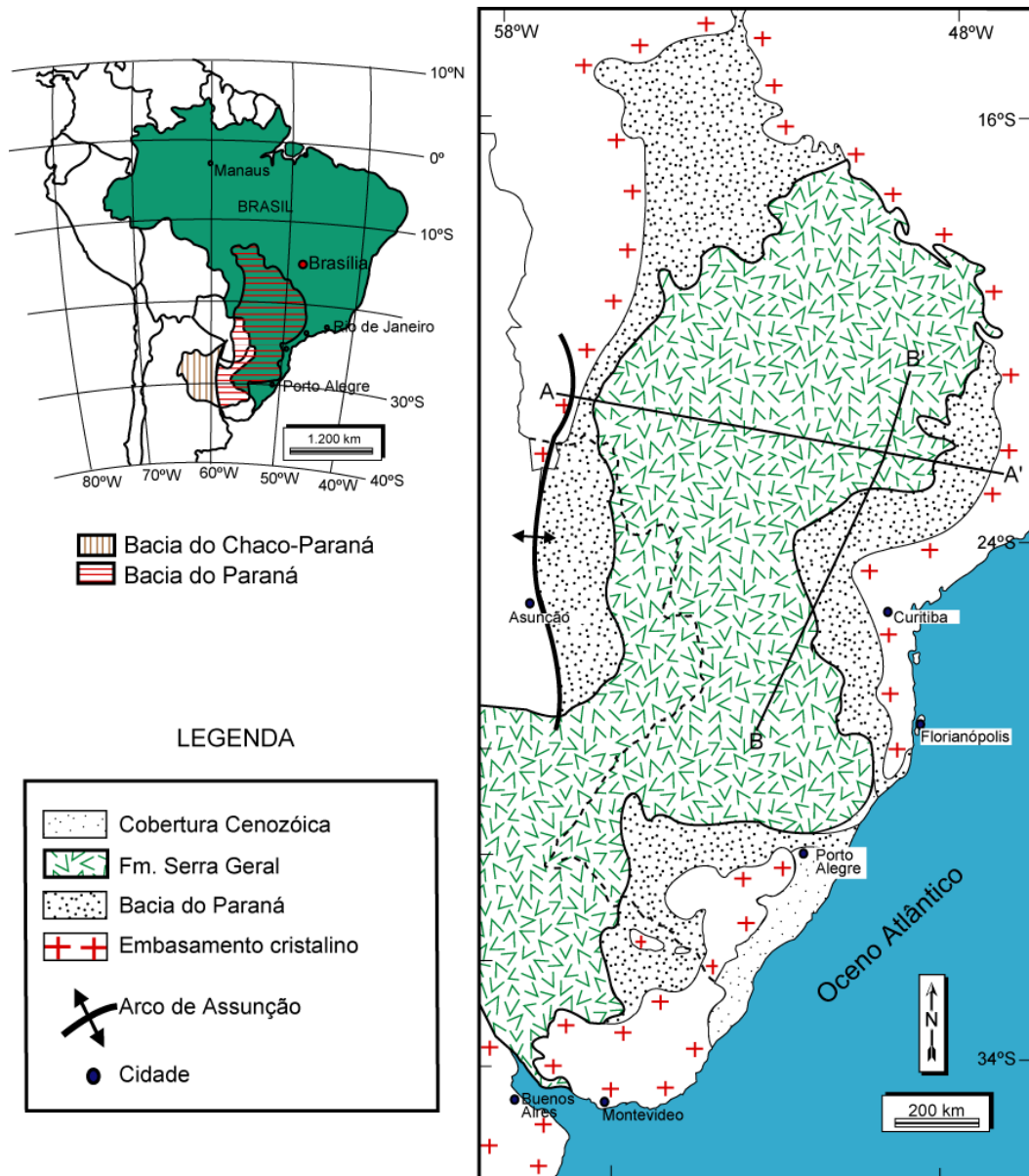


Figura - 1.5. Localização da Bacia do Paraná e distribuição da Formação Serra Geral, As seções AA' e BB' estão na Figura 1.7 (modificado de Zalan et al., 1990).

Milani (1997) compartimentou a Bacia do Paraná em cinco supersequências: (i) Supersequência Rio Ivaí, (ii) Supersequência Paraná; (iii) Supersequência Gondwana I; (iv) Supersequência Gondwana II e, (v) Supersequência Gondwana III (FIG. 1.6), que estão relacionadas aos principais eventos tectônicos que ocorreram no Gondwana até o início da separação da América do Sul e África.

A Supersequência Rio Ivaí, que não ocorre na área de estudo da presente tese de doutorado, corresponde a um conjunto de rochas silicicláticas de idade neorodoviciano a eosiluriana. A Supersequência Paraná, que representa um ciclo transgressivo/regressivo de sedimentação, sobrepõe a Supersequência Ivaí em

discordância erosional. Os primeiros depósitos são caracterizados por rochas sedimentares da Formação Furnas (eodevoniana) e recobertos pela Formação Ponta Grossa por um pacote pelítico fossilífero no intervalo Emsiano-Frasniano (Milani, 2000). Ela ocorre na região do Paraná, onde há uma série de diques máficos do Arco de Ponta Grossa.

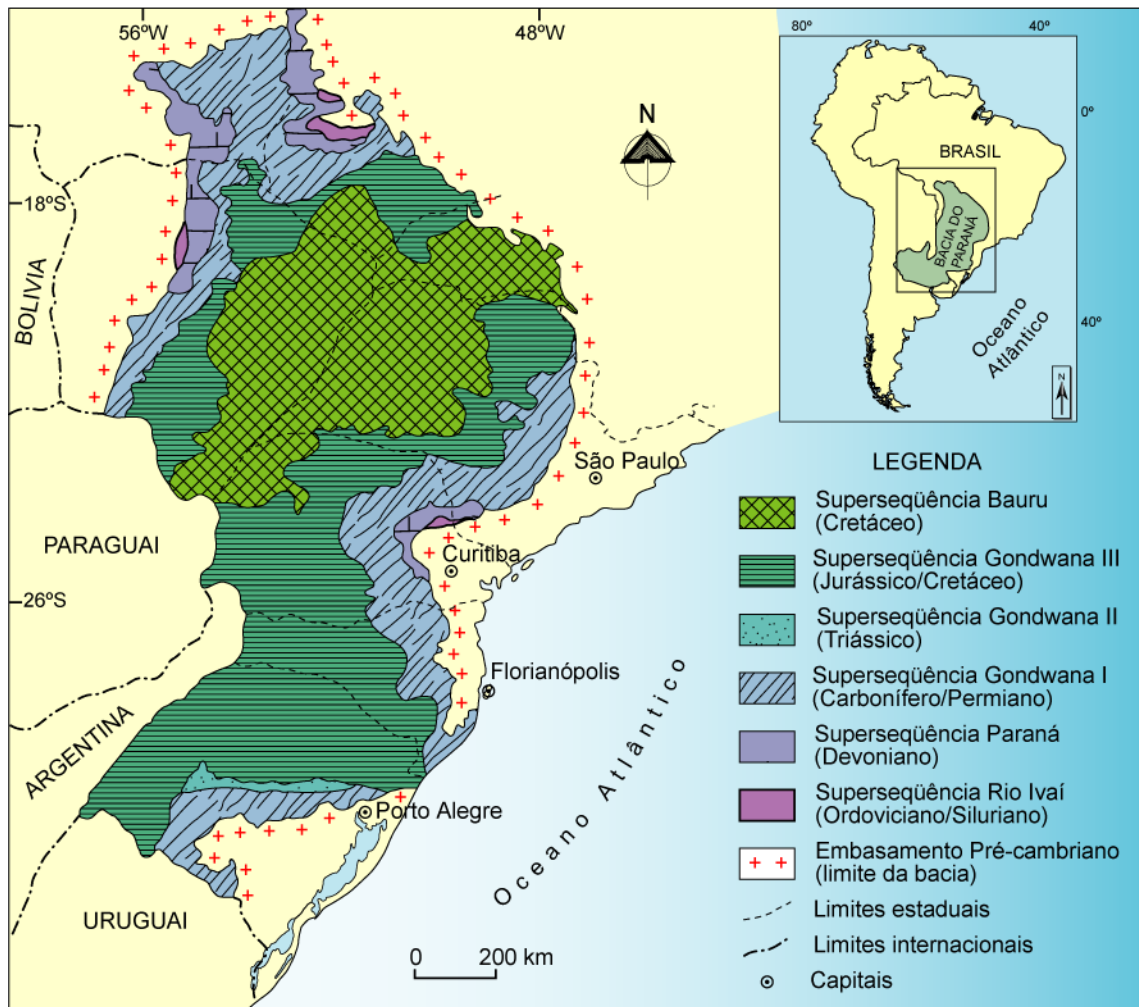


Figura - 1.6. Mapa da área da Bacia do Paraná e distribuição das supersequências no território brasileiro (modificado de Milani, 1997).

Na Figura 1.7, se pode observar as seções N-S e EW ao longo da Bacia do Paraná e a Formação Serra Geral, onde é identificada a forma típica da bacia em sinéclise (perfil A-A') e o Arco de Ponta Grossa, com a presença de inúmeros diques de idade em torno de 130 Ma (perfil B-B').

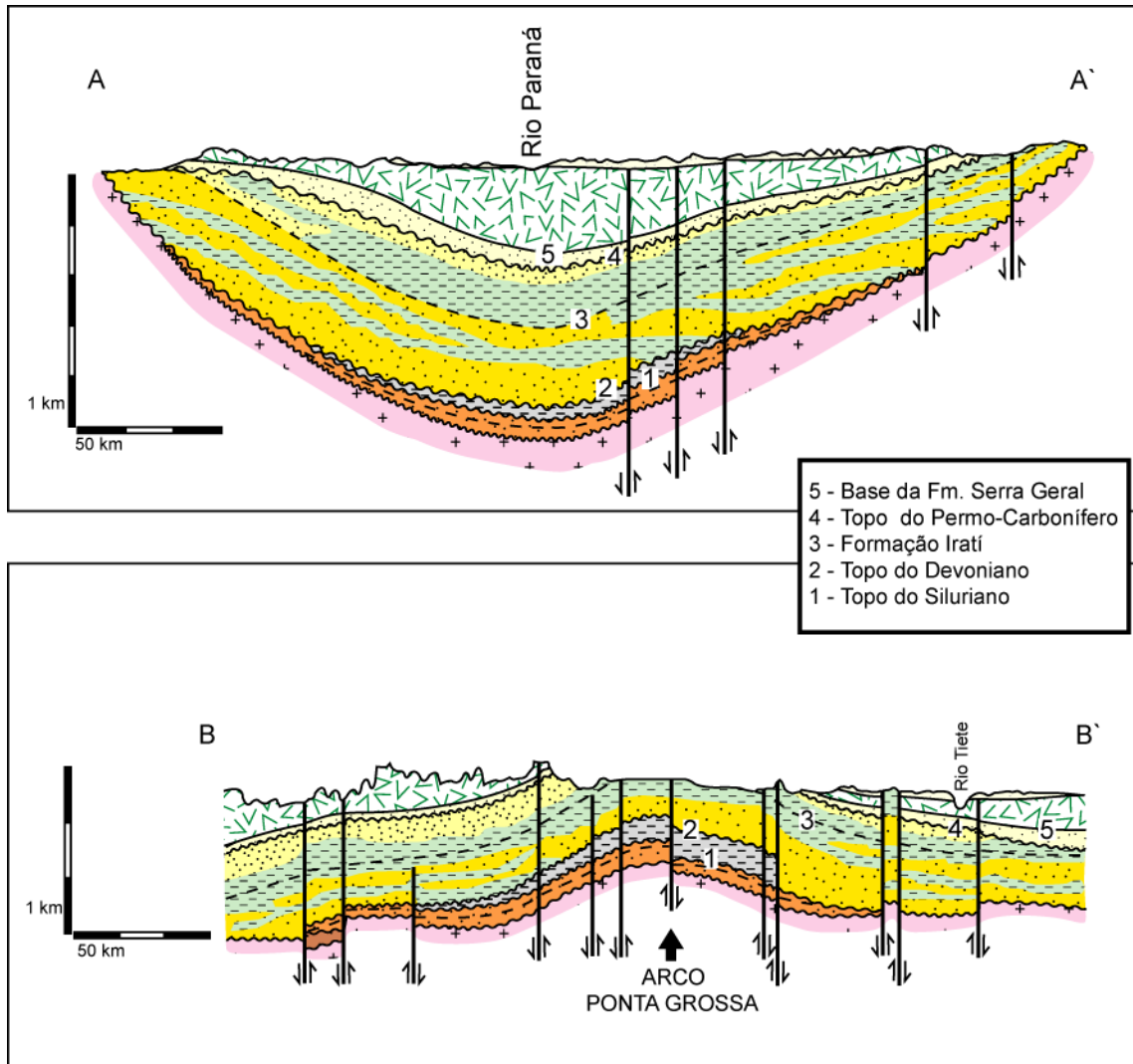


Figura - 1.7. Seções AA' E BB' ao longo Bacia Paraná (segundo Zalan et al., 1990).

Supersequência Gondwana I, composta por rochas sedimentares glaciais na base (Fm. Itararé), flúvio-deltáicas e marinhas (Rio Bonito, Palermo, Irati e Rio do Rastro), tem a sua deposição diretamente relacionada ao evento Gondwanides, que ocorreu nas margens do Gondwana no final do Paleozóico, cujo período se caracterizou por mudanças profundas em termos de clima (incluindo a glaciação na base) e tectônicas. Durante esta época, iniciada no Carbonífero e se estendendo até o Permiano, o clima frio passou gradativamente para um clima mais temperado e úmido;

Durante o Triássico, foram depositados sedimentos continentais aluviais, fluviais e lacustres, denominados por Milani (1997) como Supersequência Gondwana II. Essa supersequência é composta por arenitos flúvio-lacustres da

Formação Santa Maria com a presença de uma paleofauna distinta de vertebrados tetrápodes (Barberena, 1977). Essa unidade Triássica ocorre quase que exclusivamente na porção sul da Bacia do Paraná.

A Supersequência Gondwana III é representada pelas unidades sedimentares da Formação Botucatu e do magmatismo da Formação Serra Geral. Os depósitos sedimentares, de idade Jurocretácica, são representados por paleodunas e sedimentos associados que iniciaram a sua deposição pré-ruptura dos continentes, que, no entanto, continuaram a serem depositados durante o evento de magmatismo da Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral (White, 1908) corresponde as unidades que se formaram no período entre o processo de pré-rifte e fragmentação dos continentes da América do Sul e África. As unidades são representadas por lavas basálticas acompanhadas em menor proporção por rochas ácidas a intermediárias e sedimentares formadas em ambiente árido no período Jurocretácico, distribuindo-se em uma área de 1.400.000 km² nos países sul-americanos. Em especial, essa sequência cobre o Brasil (1.100.000 km²), Argentina (100.000 km²), Uruguai (100.000 km²) e Paraguai (100.000 km²). Há também, a geração destas rochas na SW da África, em especial no platô de Entedeka (Namíbia).

A Formação Serra Geral corresponde ao evento extensivo de lavas basálticas de maior volume em áreas cratônicas (continentais) da Terra, como resultado da fragmentação do Gondwana Oeste e consequente formação do Proto-oceano Atlântico Sul. Esses derrames formam, portanto, a Província Paraná-Entedeka com volume estimado de 1 a 2 x 10⁶ km³ (Peate et al., 1990), distribuídos na América do Sul (90%) e Namíbia (10%), para qual assume-se taxas de extrusão de até 1,5 km³ por ano (Rene et al., 1992), cujas idades podem ser observadas na Figura 1.8.

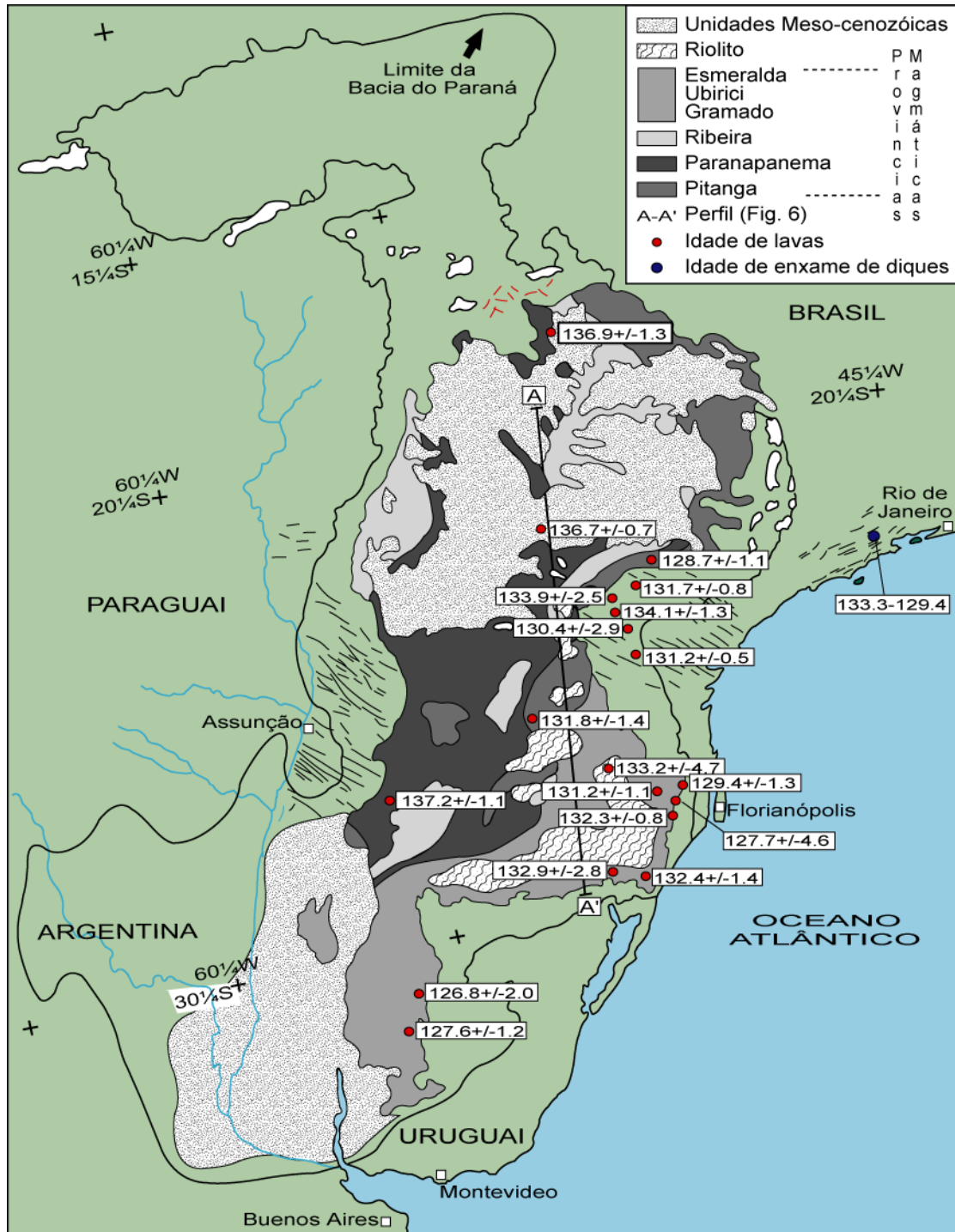


Figura - 1.8. Dados geocronológicos (Ar-Ar) das unidades magmáticas da Fm. Serra Geral (modificado de Turner et al., 1994).

Os complexos alcalinos mesocenozóicos são agrupados como recorrência de fenômenos magmáticos, dentre os quais se destacam no sul do Brasil a geração de complexos alcalinos gerados no Neocretáceo (em torno de 80 Ma), como os de Lages (SC) e Santana da Boa Vista (RS).

1.3 - BACIAS DE MARGEM PASSIVA

As bacias de Pelotas e Santos, que estão na área *offshore* do continente, ocorrem na margem passiva, que são divididas pela Zona de Fratura Rio Grande (ZFRG), que possui como provável continuidade para terra o Alto de São Paulo e a Plataforma de Florianópolis (Gamboa & Rabinowitz, 1981). Ambas as bacias se formaram devido aos processos de fragmentação, separação e dispersão dos continentes da África e América do Sul (FIG 1.9). Na Figura 1.10, se pode visuliazar as principais estruturas da margem SE do Brasil e Uruguai. Destaca-se que estas estruturas E-W não somente dividem a Bacia de Santos da Bacia de Pelotas, mas também foram fundamentais para os processos de circulação de água no período transicional, de tal forma que as bacias ao norte da Bacia de Pelotas desenvolveram espessas camadas de sal durante o estágio transicional (FIG. 1.11), enquanto a Bacia de Pelotas é composta por rochas pelíticas e carbonáticas. Os eventos de denudação, erosão, subsidência e sedimentação destas bacias podem, por meio de termocronologia de baixa temperatura, ser reconhecidos na área continental emersa.

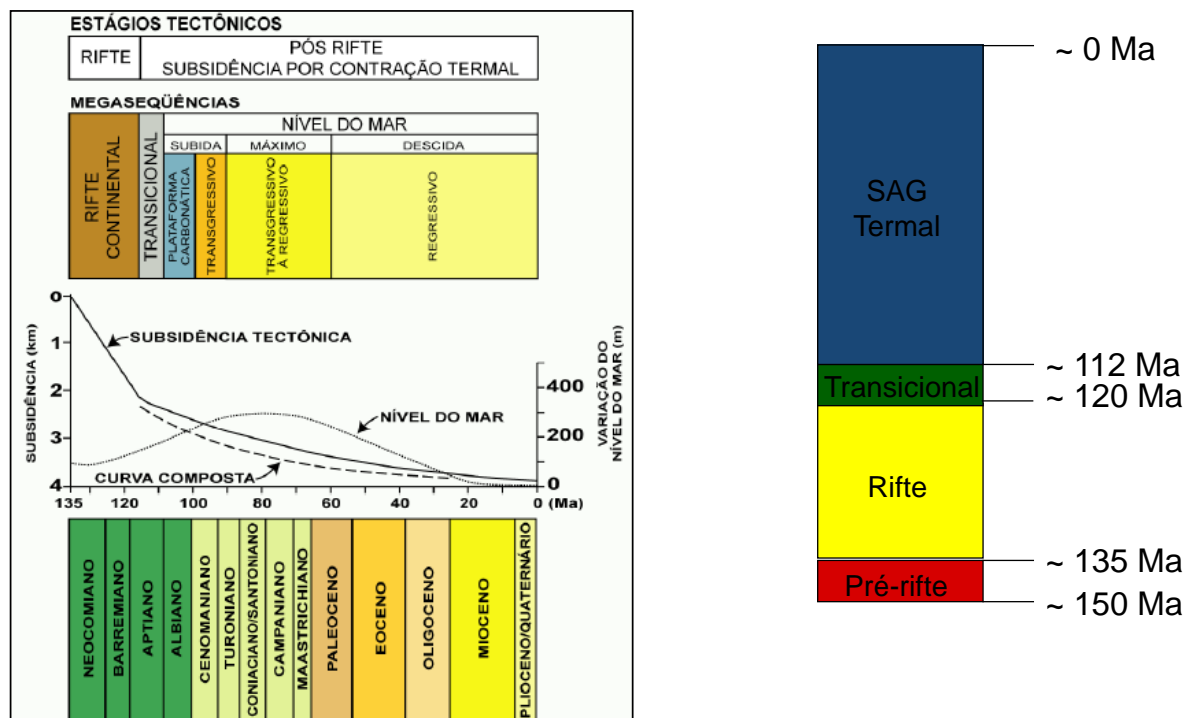


Figura - 1.9. A) Estágios tectônicos versus arcabouço estratigráfico para a margem passiva brasileira. B) Sinopse dos principais estágios da formação das bacias de margem passiva brasileira (Chang et al., 1992).

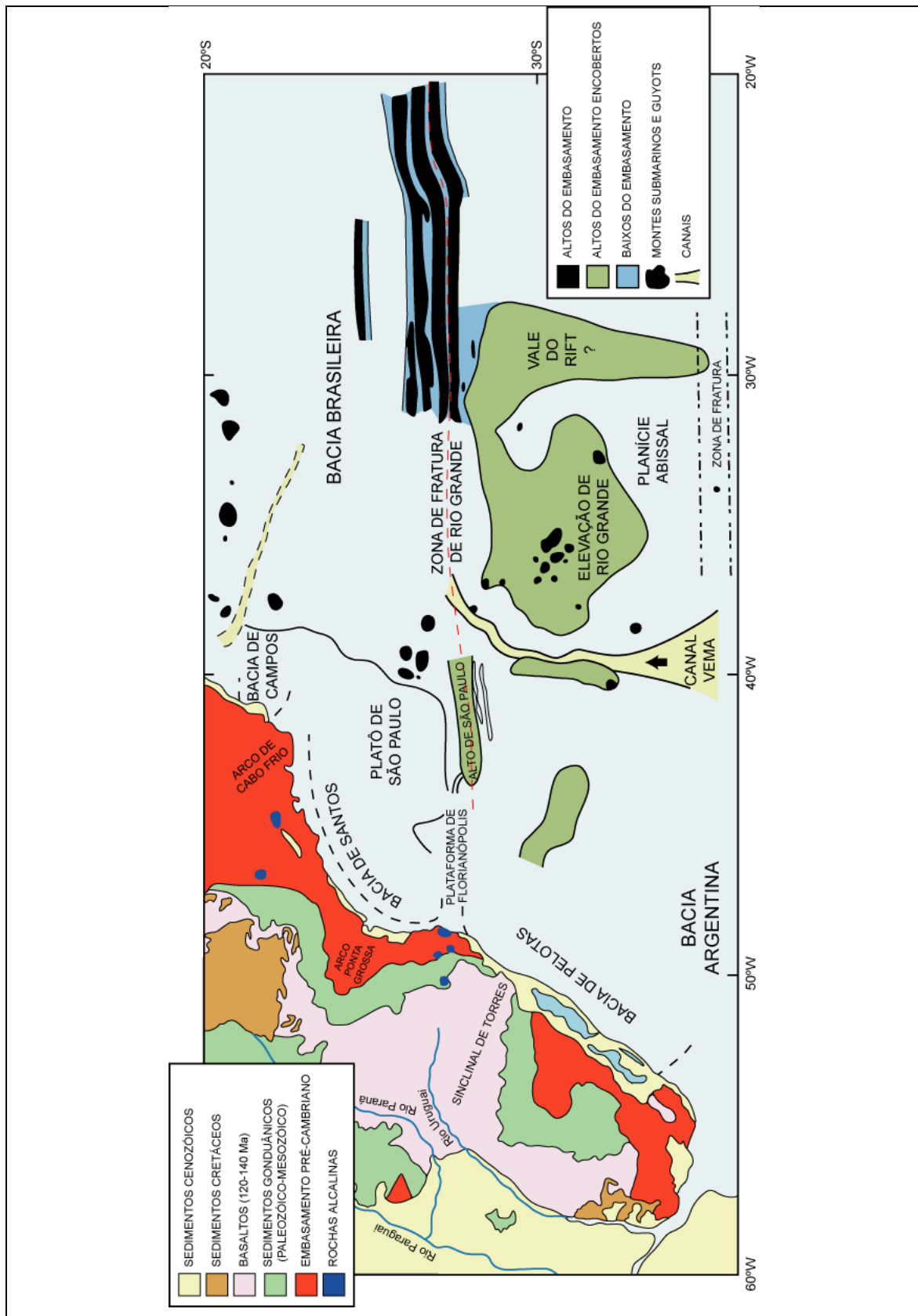


Figura - 1.10. Mapa estrutural com as principais feições da Margem Continental sudeste-brasileira. (modificado de Gamboa e Rabinowitz, 1981, *apud* Fontana, 1996).

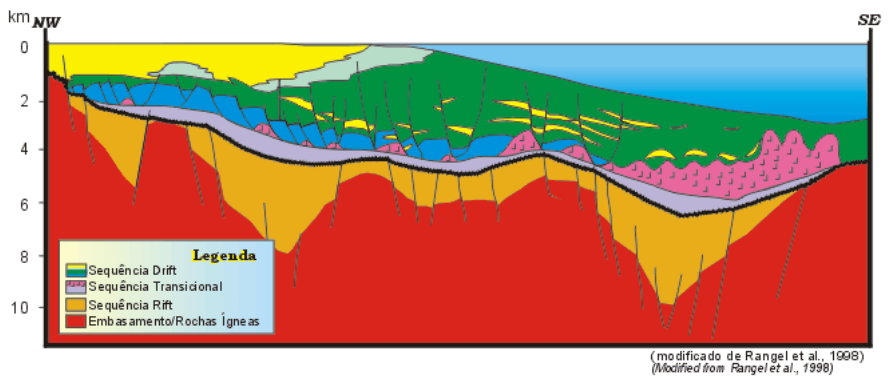
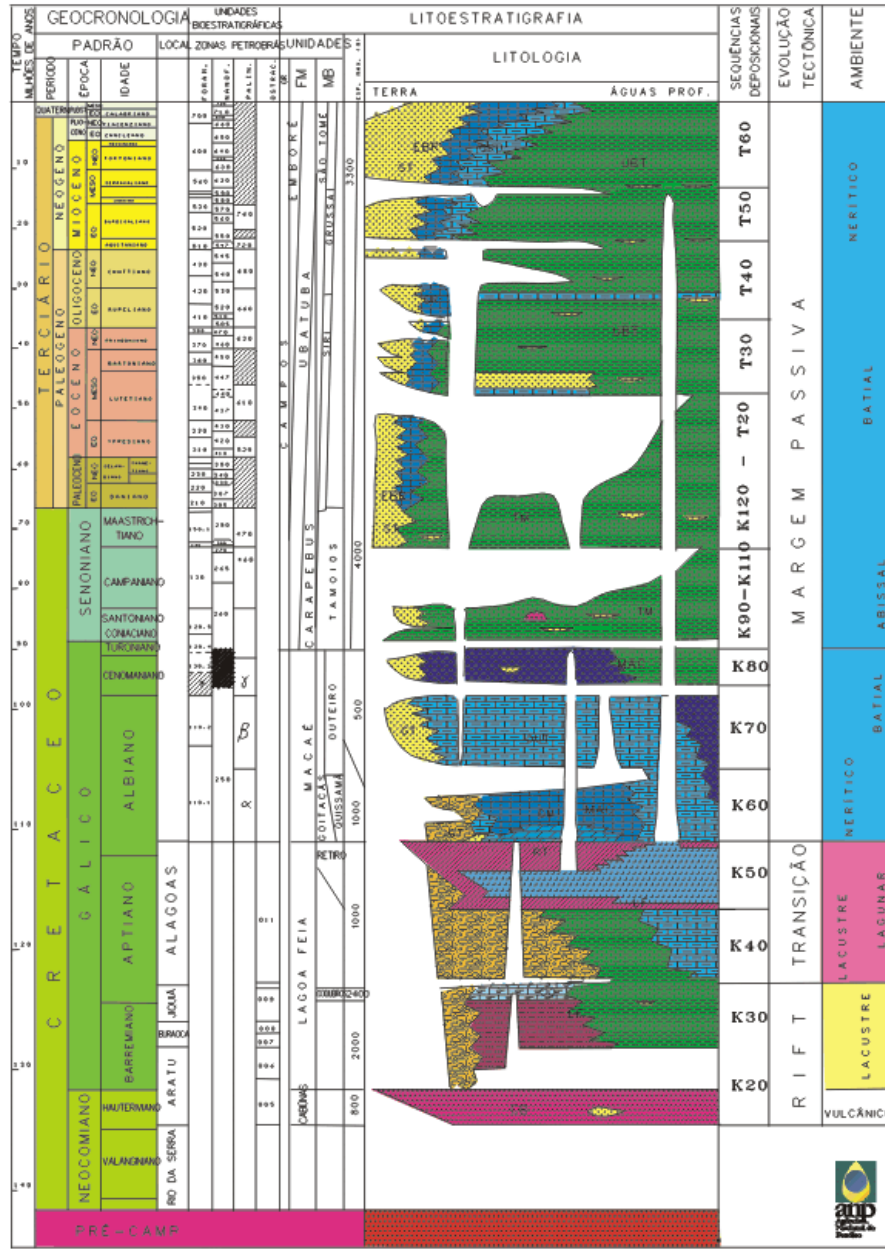


Figura - 1.11. Coluna estratigráfica e perfil NW-SE da Bacia de Santos (Fonte ANP, 2011).

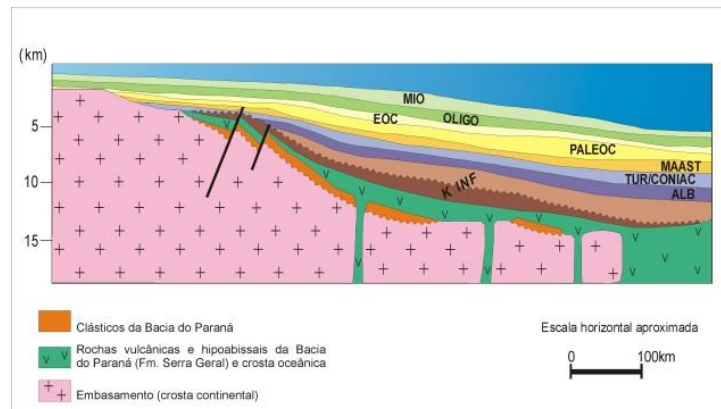
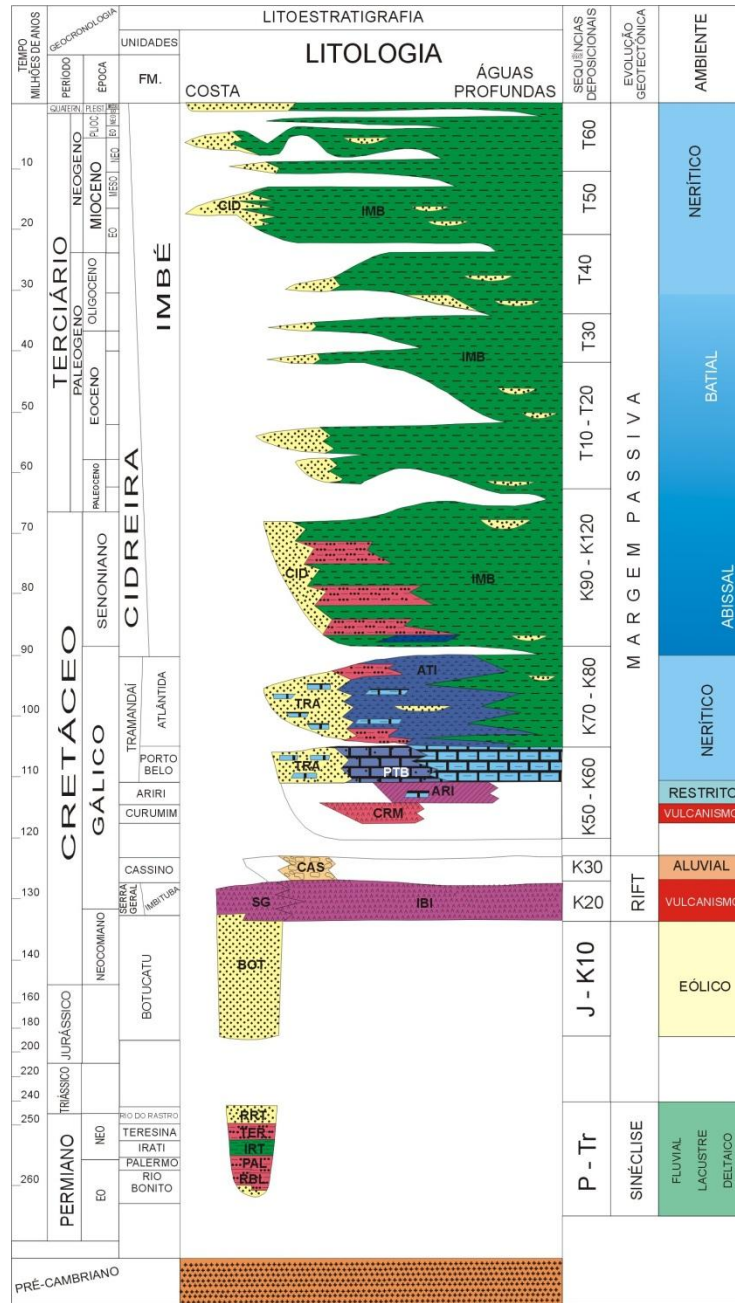


Figura - 1.12. Coluna estratigráfica e modelo de arquitetura estratigráfica da Bacia de Pelotas. Modificado de Fontana (1996) em Anjos-Zerfass (2009).

CAPÍTULO II - Princípios do Método Termocronológico

2.1 - O MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO

A Termocronologia por Traços de Fissão em Apatita é uma técnica que tem sido aplicada com sucesso no modelamento de histórias térmicas e na compreensão de ambientes afetados por processos de soerguimento, denudação e deposição de bacias sedimentares; principalmente em margens passivas (Moore et al., 1986; Gleadow & Fitzgerald, 1987; Omar et al., 1989; Foster & Gleadow, 1992; Zhao et al., 1996) e ambientes convergentes (Jolivet et al., 2001; Barbarand et al., 2001). Contudo, esta técnica é limitada a temperaturas inferiores a 120°C (Wagner & Reimer, 1972; Naeser, 1979; Gleadow et al., 1986; Green et al., 1989) e está embasada no decaimento radioativo do ^{238}U por fissão espontânea.

2.1.1 Histórico

Os primeiros trabalhos que reportaram a existência de traços de fissão foram os de Young (1958) e Silk & Barnes (1959). Young (1958) observou figuras de corrosão em cristais de fluoreto de lítio (LiF), que tinham sido irradiados com nêutrons termais e submetidos a ataque químico adequado. Silk & Barnes (1959), usando um microscópio eletrônico de transmissão, foram os primeiros a observar traços de fissão em um fragmento de mica, desenvolvendo o conceito de traços de fissão latentes.

Na década de 1960, Price & Walter (1962) sugerem que as figuras de corrosão desenvolvidas pela passagem de um fragmento de fissão apresentam uma velocidade de dissolução química maior que o material que o contém, podendo assim ser visíveis ao microscópio óptico depois de submetidas a ataque químico apropriado a cada mineral. Price & Walker (1963) demonstraram que os traços de fissão em minerais podem ser atribuídos a fissão espontânea do ^{238}U e

desenvolveram um método de datação baseado na medida da densidade dos traços de fissão, além de utilizarem, também, vidros naturais. Fleischer et al. (1964) descobriram que os traços de fissão espontâneos na mica podiam ser observados opticamente depois de submetidos à ação de ácido hidrofúorico.

Fleischer et al. (1965a, b), a partir de seus estudos laboratoriais em zircão, olivina, muscovita, flogopita e biotita com variação de temperatura, pressão, deformação plástica e radiação, foram os primeiros a proporem estudos embasados na temperatura de fechamento do sistema traços de fissão. Contudo, apenas alguns anos mais tarde Bigazzi (1967) comprovaria que com o aumento da temperatura havia uma redução na densidade dos traços de fissão e conseqüentemente, também, na idade. O traço de fissão progressivamente diminuía até que o seu comprimento era totalmente apagado. Este fato levou Dodson (1973) à descoberta da temperatura de bloqueio do sistema. No caso da apatita, isto é uma coincidência entre o intervalo de temperatura no qual a matéria orgânica de áreas geradoras de petróleo é formada (~ 70° a 110°C).

Fleischer et al. (1975) propuseram o modelo de explosão iônica (FIG. 2.1), que demonstra que a estrutura do retículo cristalino do mineral é danificada pela geração de trilhas de fissão do ^{238}U . O átomo de urânio se fissiona, na forma de fragmentos de fissão, liberando uma energia de aproximadamente 210 MeV, que se propaga em direções opostas até alcançarem a estabilidade. Quando os fragmentos atravessam a rede cristalina eles provocam uma série de repulsões eletrostáticas, que origina uma trilha linear denominada de traços de fissão. Desde que o traço de fissão é formado, ele é estável a temperaturas inferiores a 100°C. Com o aumento da temperatura, os movimentos atômicos no sólido aumentam, e a disposição dos íons ao longo desta zona se desorganiza (Naeser, 1979). Desta forma, esta desordem nos íons pode ser vista ao microscópio óptico através da revelação dos traços de fissão por meio de ataque químico adequado a cada mineral. Assim, vários minerais como granada, apatita, zircão, esfeno, epidoto e biotita, que apresentam urânio, foram cogitados para serem estudados através da técnica de datação por traços de fissão, mas somente apatita, zircão, esfeno e vidro vulcânico se mostraram viáveis até o momento.

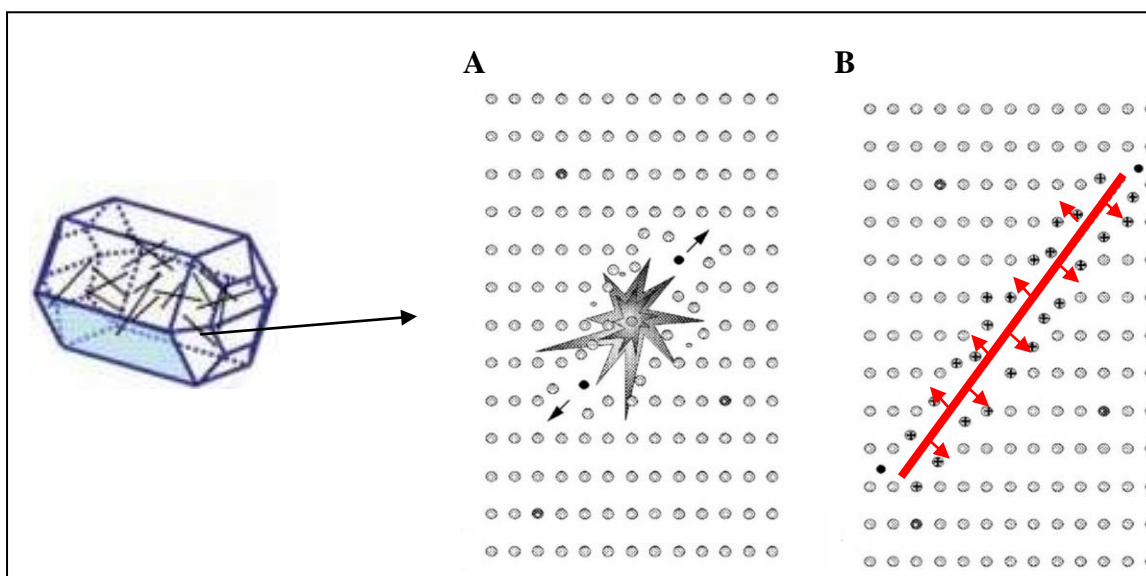


Figura - 2.1. Esquema ilustrativo da formação de traços de fissão na apatita: A) ionização dos átomos por uma partícula carregada. B) repulsão Coulombiana dos íons, separando-os de suas posições originais (adaptado de Fleischer et al., 1965a).

Um mineral pode ser datado se, por um determinado tempo desde decorrido sua formação, acumular um número significativo de traços de fissão. A densidade de traços de fissão por área é uma função da idade do mineral e sua concentração de urânio.

A partir de então, muitos trabalhos (Briggs et al., 1981; Gallagher et al., 1998; Carlson et al., 1999; Donelick et al., 1999; Hasebea et al., 2004; Cruz & Chaddertonb, 2005; Bonow et al., 2006; Emmel et al., 2006) foram publicados ampliando a utilização da datação por traço de fissão para as áreas de geologia, biologia, arqueologia, física nuclear e, em estudos de materiais lunares e meteoritos.

2.2 - IDADE POR TRAÇOS DE FISSÃO

A determinação de uma idade através de análise por traços de fissão é possível após observação óptica das deformações da rede cristalina formadas no interior de minerais portadores de urânio, a partir da fissão espontânea do ^{238}U e fissão induzida do ^{235}U .

Três métodos são utilizados para a determinação da fissão espontânea e da induzida: i) o método da população, ii) o método da subtração e, iii) método do detector externo.

O primeiro método, método da população, é aplicável em minerais que contém uma distribuição homogênea de urânio e teores constantes de urânio entre os grãos. Este método sugere a divisão dos grãos em dois grupos (Naeser, 1967; Wagner, 1968). O primeiro grupo é montado em resina do tipo Epóxi e polido. Assim, podem ser utilizados para a determinação dos traços espontâneos. O segundo grupo é aquecido em um forno com elevadas temperaturas até que os traços espontâneos sejam completamente apagados. Estes grãos são então irradiados. Após a irradiação, estes grãos são montados em Epóxi, polidos e tratados quimicamente para que possa ser determinada a densidade dos traços induzidos.

O segundo método, método da subtração, primeiramente utilizado para datar vidros (Fleischer & Price, 1963) envolve montagem, polimento e tratamento químico de apenas uma amostra para irradiação. Após a irradiação é determinada a densidade de traços espontâneos na amostra. A amostra é então reprocessada, ou seja, novamente polida para que seja removida 20 a 30 μm de sua superfície e, quimicamente tratada. Uma nova densidade é determinada, porém agora com traços espontâneos e induzidos juntos. Neste caso, para a obtenção da densidade de traços induzidos é necessário subtrair a densidade dos traços espontâneos da segunda determinação de densidades.

O terceiro método recomenda a utilização de um detector externo, que pode ser uma placa de mica, acoplado a amostra durante a irradiação (Fleischer et al., 1964; Naeser & Dodge, 1969), por isto denominado de método do detector externo. Neste caso, os minerais alvos do estudo são separados, montados em Epóxi, polidos e, feito o tratamento químico para a revelação dos traços espontâneos. Depois disto é acoplada uma placa de mica a pastilha com os grãos, sendo assim efetuada a montagem da pilha junto com os dosímetros e, encaminhada à irradiação.

Com o retorno da pilha da irradiação é necessário revelar os traços de fissão induzidos no detector externo. Os traços induzidos formados a partir da irradiação ficam retidos na placa de mica, com isto é possível determinar a densidade dos traços de fissão induzidos após o tratamento químico apropriado (FIG. 2.2). Assim, os traços de fissão espontâneos resultantes da fissão do ^{238}U são determinados na apatita e os traços de fissão induzidos produzidos pela fissão do ^{235}U são determinados no detector externo (FIG. 2.3).

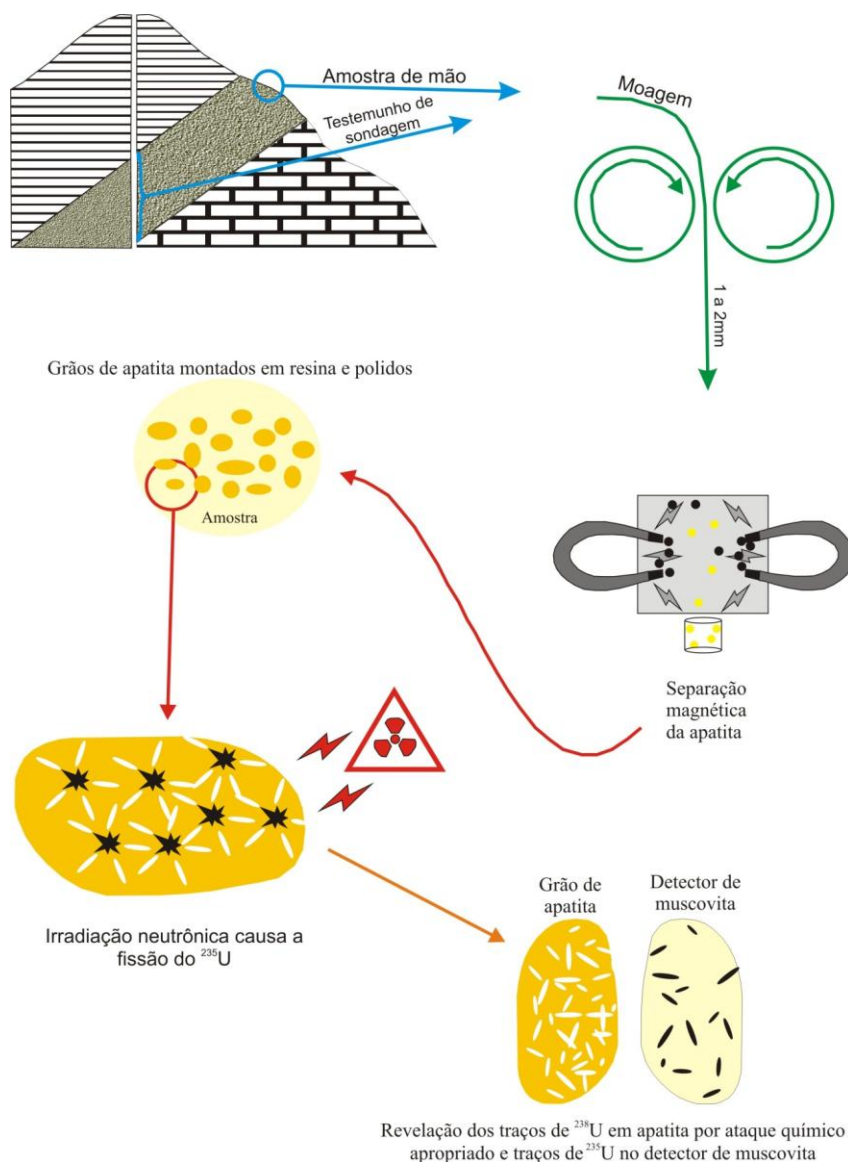


Figura - 2.2. Esquema ilustrativo da preparação de grãos de apatita para análises por traços de fissão, mostrando o método do detector externo para a determinação da concentração de urânio (Beardsmore & Cull, 2001).

A vantagem deste método é a praticidade de determinar as densidades dos traços espontâneos e induzidos a partir da análise de pelo menos cinco grãos (Naeser, 1979). Devido à heterogeneidade do teor e distribuição de urânio em

diferentes grãos de uma mesma amostra, optou-se pela utilização deste método para a análise das apatitas do presente estudo.



Figura - 2.3. Fotomicrografia do par apatita e detector. A densidade da fissão do ^{238}U observada nos grãos de apatita (à direita) é denominada de traços espontâneos e a do ^{235}U observada no detector externo (à esquerda), traços induzidos (extraído de Grist & Zentilli, 2005).

2.3 - EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DAS IDADES APARENTES POR TRAÇOS DE FISSÃO

Para o cálculo da idade por traços de fissão em apatita é necessária, primeiramente, a determinação da densidade dos traços de fissão espontâneos no mineral e a sua concentração de urânio. A concentração de urânio é conhecida a partir da determinação da densidade dos traços de fissão induzidos. A razão entre a densidade dos traços de fissão espontâneos e induzidos junto com o fator de correção da geometria, o parâmetro zeta, a densidade dos traços de fissão induzidos do dosímetro e a constante de desintegração radioativa do ^{238}U , fornece a idade por traços de fissão, que pode ser representada pela equação 1:

$$t = 1/\lambda_{\alpha} \ln \{ 1 + (ps/pi) \cdot g \cdot \lambda_{\alpha} \cdot \rho_m \cdot \zeta \} \quad (1)$$

Onde:

t = idade por traço de fissão;

λ_{α} = constante de desintegração radioativa α do ^{238}U ($1,55 \times 10^{-10}$ anos $^{-1}$);

ρ_s = densidade de traços espontâneos na apatita;

ρ_i = densidade de traços induzidos na mica;

g = fator de correção da geometria;

ρ_m = densidade dos traços induzidos do dosímetro;

ζ = parâmetro zeta.

2.3.1 Determinação da Fluência Neutrônica (Φ)

A fluência neutrônica é calculada a partir da medição da densidade dos traços de fissão induzidos nos detectores externos associados aos dosímetros, para com isto se fazer o monitoramento do fluxo de nêutrons. Este controle das amostras no reator é necessário porque não pode haver variação da fluência neutrônica, pois isto pode interferir na idade aparente. No monitoramento do fluxo de nêutrons, também, se intercalam padrões de calibração laboratorial. Após a irradiação é determinada a densidade de traços de fissão induzidos (teor de ^{235}U), que é proporcional à irradiação recebida já que a quantidade de urânio nos dosímetros é conhecida. Sendo a razão $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ constante (Gallagher et al., 1998) é possível determinar o conteúdo de ^{238}U .

Para o cálculo da fluência neutrônica é utilizado a equação 2:

$$\Phi = B \cdot \rho_m \quad (2)$$

Onde:

Φ = fluência neutrônica;

B = constante característica do dosímetro;

ρ_m = densidade dos traços induzidos revelados no detector externo.

2.3.2 Determinação do fator de correção da geometria (g)

O fator de correção da geometria ou parâmetro g é a razão entre os traços induzidos (2π) do detector externo e os traços espontâneos (4π) da apatita. Isto se deve a diferença entre as geometrias de registro dos traços de fissão, que variam da superfície polida da apatita para a superfície do detector, o número de traços de

fissão espontâneos equivale ao dobro em volume dos traços de fissão induzidos. O seu cálculo é efetuado através da equação 3:

$$g = \rho_i (2\pi) / \rho_s (4\pi) \quad (3)$$

Onde:

g = fator de correção da geometria;

ρ_s = densidade de traços espontâneos;

ρ_i = densidade de traços induzidos;

Os traços induzidos e os traços espontâneos são determinados a partir de suas contagens na apatita do tipo Durango e no seu respectivo detector externo, sendo que cada observador possui seu próprio fator de geometria (g). Atualmente é aceito que se utilize um fator de geometria constante com valor de 0,5 (Enkelmann et al., 2005).

2.3.3 Determinação do Parâmetro Zeta (ζ)

O parâmetro zeta é experimentalmente determinado a partir da razão das densidades dos traços de fissão induzidos e espontâneos de um padrão natural, por exemplo, apatita de Durango, que tem sua idade conhecida e determinada pelos métodos K/Ar e $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$. O parâmetro zeta é utilizado no cálculo da idade por traços de fissão junto com o fator de correção da geometria e a densidade de traços de fissão induzidos do dosímetro que acompanhava o padrão no momento da irradiação. Assim, a determinação do parâmetro zeta pode ser obtida a partir da equação 4:

$$\zeta = (\rho_i / \rho_s) (1 / g) (1 / \rho_m) t_s \quad (4)$$

Onde:

ρ_s = densidade de traços espontâneos;

ρ_i = densidade de traços induzidos;

g = fator de geometria;

ρ_m = densidade dos traços induzidos revelados no detector externo;

t_s = idade da amostra padrão.

2.4 - PRECISÃO DA IDADE POR TRAÇOS DE FISSÃO

A precisão de uma idade obtida através de traços de fissão é influenciada pela variação espacial da fluência neutrônica e pelas densidades dos traços induzidos e espontâneos.

A otimização das densidades dos traços induzidos e espontâneos pode ser dificultada pela densidade elevada dos traços, dificultando a contagem dos mesmos; pela presença de defeitos cristalinos que podem ser confundidos com traços de fissão; pela revelação incompleta dos traços de fissão espontâneos; e pela identificação incorreta da imagem do grão no detector (Green, 1981). Além disto, é aconselhável que o número de grãos a serem analisados seja entre 25 e 30 grãos. Estudos mostraram que estatisticamente resultados de idades obtidas por mais de 30 grãos não mostram influência significativa (Ketcham et al., 2007).

Contudo, é extremamente importante a utilização do teste de qui-quadrado (χ^2) proposto por Galbraith (1981). Este teste verifica se as idades individuais da amostra obedecem a Lei de Poisson ou não, ou seja, verifica a homogeneidade dos dados. Quando o resultado deste teste resulta em valores de probabilidade $P(\chi^2)$ superiores a 5% os dados são homogêneos, ou seja, a dispersão das idades individuais é baixa. Assim, o conjunto das idades individuais dos grãos de apatita datados pertence a uma mesma população. Caso contrário, existe uma heterogeneidade dos dados e, então, é possível que o conjunto de idades individuais datado seja oriundo de mais de uma fonte. Isto, geralmente, ocorre quando analisamos apatitas de rochas sedimentares.

Para este cálculo é utilizada a equação 5:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^n [(N_{sj} - \bar{N}_{sj})^2 / \bar{N}_{sj}] + \sum_{j=1}^n [(N_{ij} - \bar{N}_{ij})^2 / \bar{N}_{ij}] \quad (5)$$

Depois de feito o teste de qui-quadrado três opções de desvio padrão para uma idade por traço de fissão são passíveis de utilização. A primeira delas é para aquelas amostras que passaram no teste e, para estas é possível aplicar a equação 6.

A segunda opção é para as amostras que foram rejeitadas no teste de χ^2 , sendo possível a utilização da equação 7. E a terceira opção de cálculo do erro é

utilizada tanto para as amostras que passaram no teste quanto para as que não passaram. Corrigan & Crowley (1990) propuseram a equação 8 para ser aplicada a estas amostras.

$$\sigma_t = t [1 / N_s + 1 / N_i + (\sigma\zeta / \zeta)^2]^{1/2} \quad (6)$$

$$\sigma_t = t \{ [\sigma (\rho_s / \rho_i) / (\rho_s / \rho_i)]^2 + (\sigma\zeta / \zeta)^2 \}^{1/2} \quad (7)$$

$$\sigma_t = t [1 / N_s + 1 / N_i + 1 / N_d + (\sigma\zeta / \zeta)^2]^{1/2} \quad (8)$$

Onde:

σ_t = desvio padrão da idade;

t = idade da amostra;

N_s = número de traços de fissão espontâneos;

N_i = número de traços de fissão induzidos;

N_d = número de traços de fissão induzidos do dosímetro;

$\sigma\zeta$ = desvio padrão do parâmetro zeta.

Quando o resultado do teste χ^2 é inferior a 5% deve-se recorrer ao cálculo da idade central, pois ele fornece valores de tendência central mais consistentes com as idades individuais obtidas (Gallagher et al., 1995). Independente dos valores do teste χ^2 obtidos se pode utilizar o cálculo de idade central como uma forma de avaliar a presença de múltiplas populações de idades em uma mesma amostra. Contudo, é necessário prestar atenção nos valores de dispersão (D) calculados. Amostras que apresentam até 15% de dispersão provavelmente constituem uma única população. Entre 15 e 30% de dispersão pode significar que uma amostra represente ou não mais de uma população e, valores de dispersão acima de 30% indicam fortemente a existência de múltiplas populações (Cupertino, 2000).

2.5 - SIGNIFICADO DAS IDADES POR TRAÇOS DE FISSÃO

O significado de uma idade obtida pela análise de traços de fissão depende da história térmica do mineral. Sendo assim, com o aumento da temperatura os

traços de fissão progressivamente tendem a se apagar, ocorrendo um encurtamento ao longo do tempo geológico (FIG. 2.4). Este processo é conhecido como *annealing*, que nada mais é do que a acomodação dos átomos na tentativa de um rearranjo cristalino. A variação no comprimento dos traços de fissão e sua distribuição são a base para o estudo da história térmica e compreensão do significado das idades determinados por traços de fissão.

Wagner (1972) foi o primeiro a propor o modelo de Zona Parcial de *Annealing* (ZAP) para interpretar as idades determinadas por traços de fissão em apatita e o comprimento de seus traços de fissão. Os traços de fissão espontâneos ocorrem de duas formas: i) aqueles que intersectam a superfície de polimento, chamados de traços de fissão superficiais e utilizados na datação da amostra e, ii) os traços de fissão confinados e formados dentro do mineral (Laslett et al., 1982; Gleadow et al., 1986).

Os traços de fissão confinados (FIG. 2.5) são revelados devido à percolação de ácido nítrico por fraturas ou clivagens na apatita, ou revelados através de um traço de fissão que intersecta a superfície de polimento (Bhandari et al., 1971). Wagner & Storzer (1972) foram os primeiros a projetar medidas de comprimentos de semi-traços de fissão (traços de fissão superficiais) e propuseram que diferentes distribuições de comprimentos indicavam diferentes ambientes e histórias geológicas.

Lal et al. (1969) descrevem dois tipos de traços confinados: i) traços de fissão TINT (traço no traço) e, ii) traços de fissão TINCLE (traços na clivagem). Originalmente, os traços de fissão confinados em apatitas apresentam comprimentos não superiores a 20 μm (Paul & Fitzgerald, 1992), sendo a média em torno de 16 μm (Gleadow & Duddy, 1981; Gleadow et al., 1986).

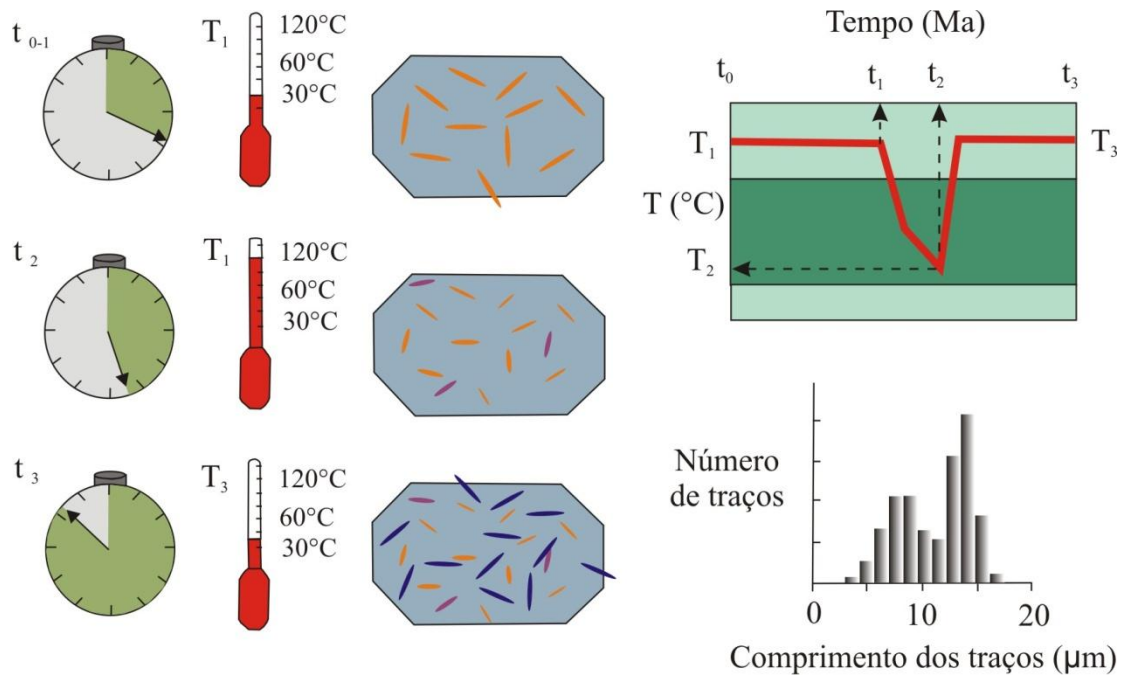


Figura – 2.4. Esquema ilustrativo exemplificando a distribuição do comprimento dos traços de fissão em uma amostra fictícia. Quando há um aumento da temperatura em t_2 o tamanho dos traços de fissão de cor laranja produzidos no tempo 0-1 é reduzido, talvez como consequência de um soterramento. Os traços de fissão de cor magenta produzidos durante um período de temperatura elevada são igualmente encurtados. No t_3 a temperatura diminui talvez como resultado do soerguimento e erosão. Os traços de fissão de cor azul produzidos posteriormente são longos. A distribuição do comprimento dos traços de fissão medidos representa os traços de fissão produzidos em todas as temperaturas e neste exemplo idealizado é bimodal. Na maioria das amostras reais a distribuição do comprimento dos traços de fissão encontrados é mais complexa (Galeria de imagens do Laboratório de Pesquisas Termocronométricas, UCL & Birkbeck Earth Sciences, disponível no endereço eletrônico www.ucl.ac.uk).

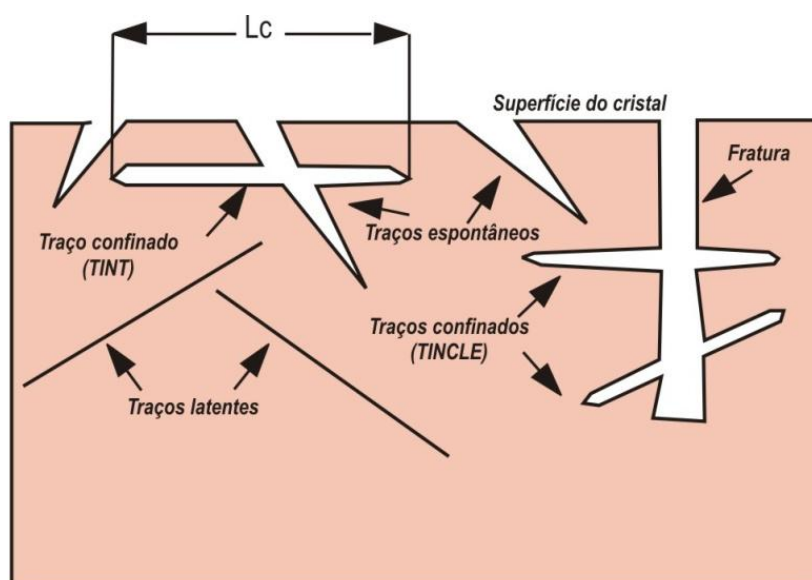


Figura – 2.5. Diagrama ilustrando os diversos tipos de traços de fissão. L_c = comprimento do traço de fissão confinado medido. Traços nos traços (TINT). Traços na clivagem (TINCLE) (extraído de Wagner & van den Haute, 1992).

Os traços de fissão se formam progressivamente ao longo do tempo a uma taxa determinada apenas pela concentração de ^{238}U na apatita. Depois de sua formação, os traços de fissão na apatita progressivamente diminuem a uma taxa que depende principalmente da temperatura (Fleischer et al., 1975; Gleadow et al., 1986). Assim, a média dos comprimentos dos traços de fissão confinados e a densidade dos traços de fissão espontâneos e induzidos tendem a apresentar uma correlação positiva (Green, 1988). Desta forma, somente os traços de fissão TINT, que se encontram paralelos à superfície de polimento do grão de apatita, são medidos (Gleadow et al., 1983; Barbarand et al., 2003). Nestes traços de fissão horizontalizados se pode ver claramente duas extremidades a uma mesma profundidade de foco, sendo idealmente selecionado um mínimo aceitável de 100 comprimentos em cada amostra datada, se possível.

Como mencionado anteriormente, os traços de fissão são muito sensíveis a uma faixa de temperatura que varia de 60° a 110°C . Assim, Wagner (1972) propôs três zonas de estabilidade associadas à temperatura: i) Zona de Estabilidade Total (ZET) a baixas temperaturas ($<60^\circ\text{C}$), ii) Zona de *Annealing* Parcial (ZAP) a médias temperaturas (60°C a 120°C) e, iii) Zona de *Annealing* Total (ZAT) a altas temperaturas ($>120^\circ\text{C}$) (FIG. 2.6).

As amostras que ocupam o campo correspondente a zona ZET têm as idades dos traços de fissão muito próximas a da idade estratigráfica ou de cristalização da rocha, tendo os comprimentos dos traços de fissão formados ainda preservados. Segundo Wagner & Heijl (1991) a distribuição final do comprimento dos traços de fissão e as devidas idades de uma determinada amostra representam o registro integrado da sua história térmica no intervalo de temperatura em que os traços de fissão são preservados. Para aquelas que ocupam o campo da ZAP, os traços de fissão já apresentam indícios de encurtamento e somente metade dos traços de fissão gerados são preservados, conseqüentemente apresentam uma idade inferior àquela registrada para as amostras da ZET. Na ZAT a estrutura da apatita é completamente restaurada e os traços de fissão são totalmente apagados, impossibilitando assim a determinação de suas histórias térmicas.

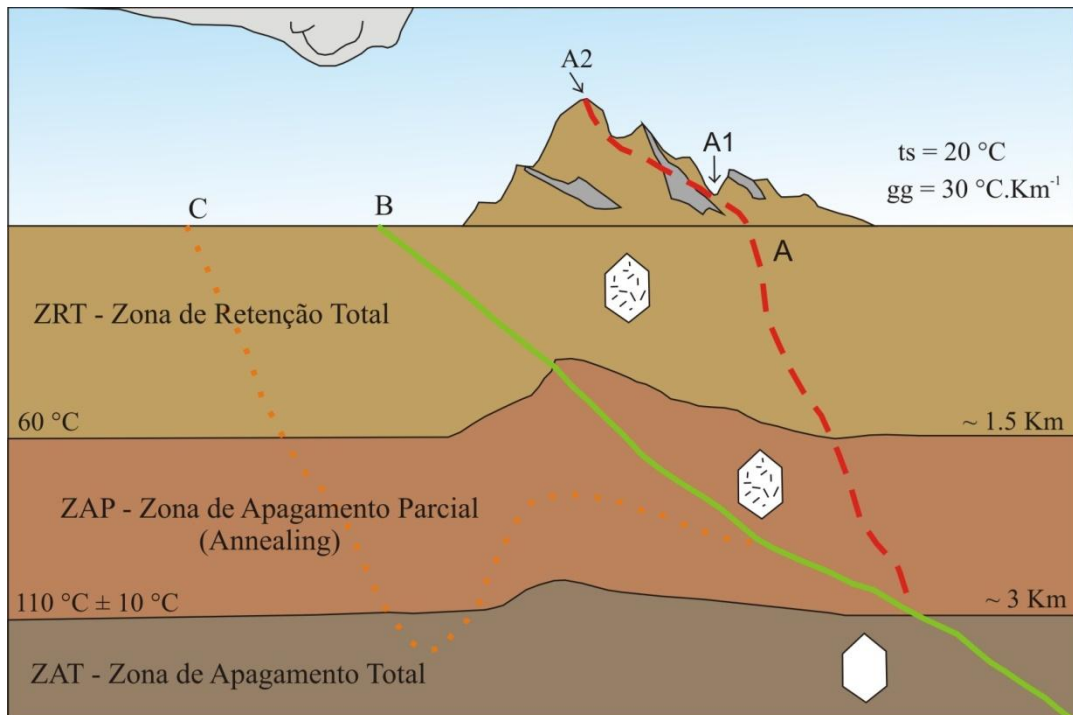


Figura – 2.6. Esquema mostrando as zonas de estabilidade dos traços de fissão em apatitas. Três opções de soerguimento e denudação são mostradas para a mesma origem na ZAP; A: resfriamento rápido; B: resfriamento lento; C: resfriamento complexo. Na opção A, a amostras A2 apresenta idade mais antiga que A1. ts: temperatura da superfície; gg: gradiente geotérmico (extraído de Naeser et al., 1989).

Na natureza, os traços de fissão relativamente jovens, em virtude de suas idades, registram somente uma parte da história térmica registrada por traços de fissão mais antigos em um mesmo grão de apatita. Por isso, os traços de fissão mais

antigos registram um grau maior de *annealing* parcial do que os traços de fissão mais jovens. Se uma história térmica é caracterizada pelos eventos de resfriamento que afetaram a apatita, os traços de fissão mais antigos podem apresentar comprimentos significativamente menores do que os traços de fissão mais jovens. Assim, a distribuição dos comprimentos dos traços de fissão confinados indica a natureza da história de resfriamento de uma dada amostra. Por exemplo, uma amostra que sofreu um resfriamento inicial rápido, seguido por um prolongado período de resfriamento lento até atingir a temperatura ambiente atual. Neste caso, a distribuição dos comprimentos dos traços de fissão confinados é dominada por traços de fissão longos. Outro exemplo é a amostra ter sofrido um período prolongado de resfriamento lento seguido por um rápido e recente resfriamento até alcançar a temperatura ambiente atual. Neste caso, espera-se que a distribuição do comprimento dos traços de fissão confinados seja dominada por traços de fissão relativamente curtos.

O tempo relativo de apagamento dos traços de fissão, também, está condicionado à composição química do mineral. Sabe-se que fluorapatitas são mais susceptíveis a variações de temperaturas do que cloroapatitas.

2.6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA APATITA

A apatita constitui uma série isomórfica de minerais de fosfato, cuja composição é complexa e variável. Sua fórmula pode ser expressa como $X_{10}YO_4Z_2$, sendo o sítio X composto preferencialmente por Ca, o sítio Y por P e o sítio Z por F, Cl e OH. A apatita apresenta um sistema hexagonal e frequentemente algumas substituições ocorrem em seus sítios, incluindo Sr ou Elementos Terras Raras (ETR) por Ca, mas Fe^{2+} , Mn, Na e U também podem ocupar o sítio X. O sítio Y é mais susceptível a acomodação de Si, C e S.

As substituições que envolvem cátions trivalentes, tipo os ETR, são conhecidas como substituições duplas, pois necessitam de compensação de valências, geralmente entre elementos de dois sítios, para que haja um equilíbrio químico (Rønso, 1989; Hughes et al., 1991; Fleet & Pan, 1997; Fleet et al., 2000). Exemplos destas substituições podem ser $ETR^{3+} + Si^{4+} \rightarrow Ca^{2+} + P^{5+}$ e $ETR^{3+} + Na^+ \rightarrow 2Ca^{2+}$.

Os íons de F, Cl e OH se substituem mutuamente no sítio Z, sendo que substituições de O^{2-} , neste sítio foram propostas por Young & Munson (1966).

Entre os membros extremos da série isomórfica, a flúorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$) é a variedade mineral que mais ocorre como acessório em granitos e rochas metamórficas. A cloroapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6Cl_2$) é freqüente em rochas vulcânicas (Burtner et al., 1994). Em rochas sedimentares, a apatita é encontrada na forma de clastos alóctones, cuja composição é reflexo da área fonte (FIG.2.7).

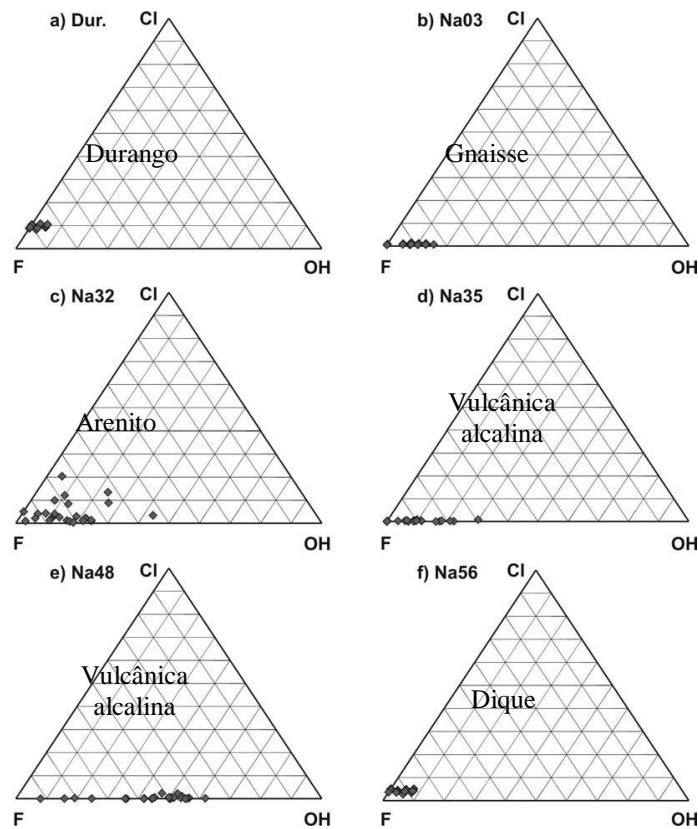


Figura - 2.7. Gráficos de Cloro versus Flúor versus OH mostrando os efeitos na composição de apatitas de acordo com a rocha hospedeira (Burtner et al. 1994).

O comportamento de *annealing* dos traços de fissão é sensível a composição química, sendo o aumento da proporção de Cl relacionado à estabilidade dos traços de fissão. Vale lembrar que flúorapatitas apresentam algum teor de Cl. Apatitas enriquecidas em cloro resistem mais a influência da temperatura do que aquelas que são enriquecidas em flúor (O'Sullivan & Brown, 1998). Consequentemente, as cloroapatitas são mais resistentes ao *annealing* dos traços de fissão e, pode chegar a atingir temperaturas elevadas na faixa de 110°C a 150°C, o que nas flúorapatitas causaria o *annealing* dos traços de fissão. Crowley et al. (1991) propuseram que

este paradoxo está relacionado a presença de ETR, por outro lado Wendt et al. (2002) e Cruz & Chadderton (2005) ao estudarem flúorapatitas e cloroapatitas de diversas localidades observaram que independente da temperatura estes minerais sofriam *annealing* devido a variação de pressão e *stress*.

De qualquer forma, a variação na composição de apatitas pode ser responsável pela ocorrência de bimodalidades nas idades individuais obtidas em uma mesma amostra. Amostras com histórias de resfriamento rápido apresentam grãos de composições diferentes com *annealing* semelhantes, devido aos efeitos reduzidos da ZAP. Por outro lado, diversos processos de resfriamento podem ficar registrados em amostras com diferentes idades e diferentes comprimentos de traços de fissão confinados. Daí a importância de ser conhecida a composição química individual dos grãos de apatita previamente ao modelamento térmico da área estudada.

A análise composicional da apatita pode ser feita através de Microsonda Eletrônica utilizando-se uma voltagem de excitação de 15 kV, corrente de 25 μ A, diâmetro de feixe de 5 μ m e tempo de contagem de 10s, e com padrões de minerais naturais e vidros sintéticos.

2.7 - O DPAR

Sabe-se que o *annealing* dos traços de fissão confinados é altamente dependente da temperatura e moderadamente dependente de sua orientação cristalográfica. Assim, alternativamente, a análise composicional da apatita pode ser estimada através da determinação do parâmetro cinético Dpar. O Dpar é a média aritmética do diâmetro dos *etch pits*, que representam uma figura geométrica formada pela intersecção do traço de fissão na superfície da apatita. Os *etch pits* são figuras alongadas, paralelas ao eixo cristalográfico *c* e, visíveis ao microscópio óptico através de luz refletida. Contudo, para estarem paralelos ao eixo cristalográfico *c* os *etch pits* devem estar alinhados (FIG. 2.8).

O tamanho e a forma do *etch pit* é um reflexo da solubilidade da apatita e por isso o parâmetro cinético Dpar pode ser utilizado para monitorar a composição da apatita. Estudos demonstraram que as medidas de Dpar tendem a ter uma correlação positiva com o conteúdo de Cl e OH e, uma correlação negativa com o conteúdo de flúor na apatita (Donelick, 1993; Burtner et al., 1994; Donelick et al.,

1999; Donelick et al., 2005). Por exemplo, apatitas com valores relativamente baixos de D_{par} ($\leq 1,75 \mu\text{m}$) são mais propensas ao *annealing* dos traços de fissão do que apatitas que apresentam cloro em suas composições químicas. Por outro lado, apatitas com medidas de D_{par} superiores a $1,75 \mu\text{m}$ se mostram resistentes ao *annealing* dos traços de fissão.

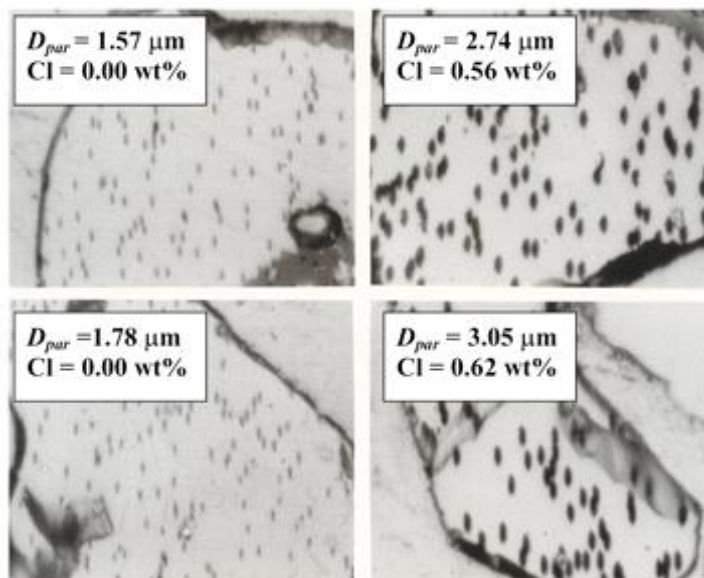


Figura – 2.8. Fotomicrografia de uma superfície de apatita observada ao microscópio óptico com luz refletida, mostrando os *etch pits* alinhados, sugerindo uma seção paralela ao eixo *c* (Donelick et al., 2005).

2.8 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISES TRAÇOS DE FISSÃO

Para um melhor entendimento e futuro modelamento da história térmica, os dados de traços de fissão são tratados estatisticamente com o auxílio do programa Trackkey, desenvolvido por Dunkl (2002).

O Trackkey é um software com plataforma Windows que permite o cálculo das idades, do teor de urânio das amostras, histogramas de frequência das idades, distribuição de χ^2 , teste de Poisson, entre outros. Os dados são apresentados em gráficos radiais (idade central) e histogramas binários (FIG. 2.9). Assim, é possível se fazer uma análise qualitativa dos resultados das análises traços de fissão. Os diagramas radiais apresentam no eixo das ordenadas (*y*) o erro padronizado, que varia de -2σ a $+2\sigma$ em relação a idade central da amostra. No eixo das abscissas (*x*) está disposto o erro relativo em porcentagem, que aumenta da esquerda para a

direita e, no perímetro direito estão representadas as idades por traços de fissão individuais em milhões de anos.

A representação gráfica na forma de histogramas binários permite a análise da distribuição das idades por traços de fissão dos grãos individuais e do comprimento dos traços de fissão confinados. Esta análise possibilita discriminar diferentes populações de apatitas em uma mesma amostra e diferenciar as histórias de resfriamento envolvidas.

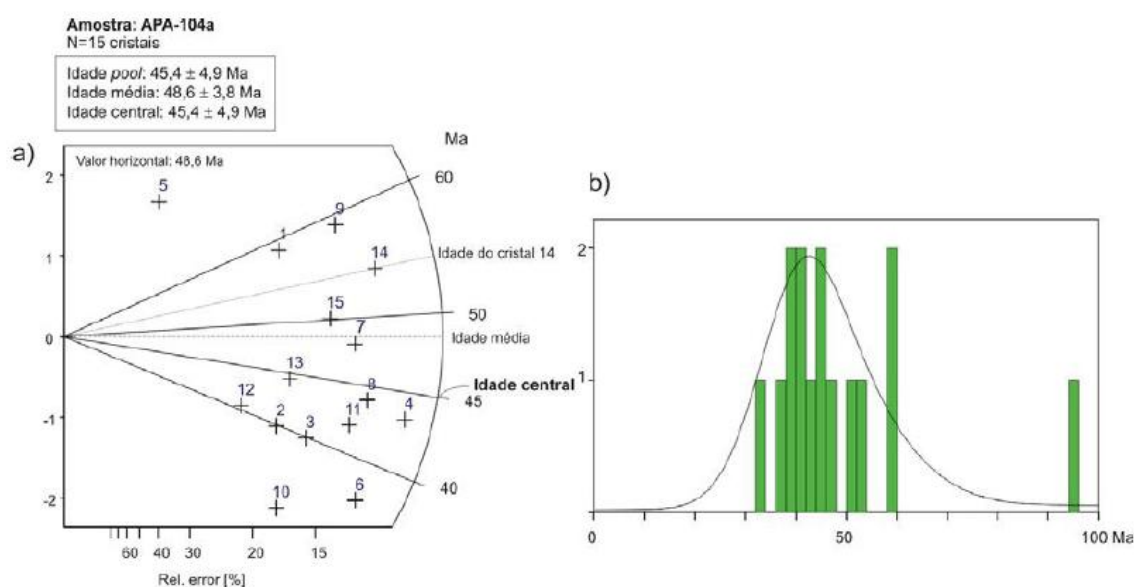


Figura – 2.9. Diagrama radial, mostrando as idades centrais e, b) histograma ilustrando uma distribuição unimodal das idades determinadas por traços de fissão, obtidas a partir dos dados inseridos no programa Tracckey (Dunkl, 2002).

Diagramas binários, também, são utilizados na comparação das idades por traços de fissão e altitude, e distribuição do comprimento dos traços de fissão confinados. A análise destes diagramas, por exemplo, idade dos traços de fissão *versus* altitude revela os *trends* de resfriamento, possibilitando a caracterização e discriminação destes episódios de resfriamento (Green, 1986). Já a análise de diagramas de idades traços de fissão *versus* distribuição do comprimento dos traços de fissão confinados permite a interpretação de paleotemperaturas, onde é possível caracterizar os eventos de denudação. A denudação ocorre por causa de rebaixamento relativo do nível de base da erosão, que é causado por soerguimento

regional. Assim, a denudação remove os materiais da superfície regional e a partir da estimativa e cálculo da taxa de denudação é possível quantificar esta remoção.

2.9 - MODELAMENTO DE HISTÓRIAS TÉRMICAS

A Termocronologia por Traços de Fissão em Apatita registra a idade de resfriamento da rocha na faixa entre 120-60°C. Desta forma, o modelamento térmico possibilita a compreensão da história térmica ou erosiva de uma amostra a partir do último evento térmico registrado na apatita. A partir do conhecimento sobre a cinética de *annealing* dos traços de fissão junto com os outros parâmetros da Termocronologia por traços de fissão observados e aqueles calculados é possível ter conhecimento sobre a história térmica de uma amostra.

Vários estudos têm sido reportados sobre modelos de *annealing* (Green et al., 1989; Carlson, 1990; Crowley et al., 1991; Van der Beek et al., 1996), onde as histórias térmicas são geradas em *softwares* que simulam curvas de tempo-temperatura (Gallagher et al., 1995; Ketcham et al., 2000). Estes programas computacionais foram gerados para otimizar os dados e permitir o modelamento térmico da amostra.

O programa AFTSolve (Ketcham et al., 2000) permite o modelamento das histórias térmicas a partir dos dados de idade, distribuição dos traços de fissão e composição química das apatitas. O que permite auxiliar na construção de histórias térmicas de baixa temperatura em diversos ambientes tectônicos e suas respectivas taxas de denudação.

2.10 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A metodologia aplicada no tratamento das amostras estudadas está esquematizada nas Figuras 2.10 e 2.11. Os trabalhos iniciaram com uma investigação bibliográfica de artigos científicos de divulgação internacional sobre as áreas selecionadas. As amostras foram gentilmente cedidas pela PETROBRÁS e pela Dra. Andréa Ritter Jelinek. Assim, o estudo foi organizado de duas formas: i) procedimentos laboratoriais e, ii) trabalhos de escritório.

2.10.1 Procedimentos laboratoriais

O tratamento das amostras nas dependências da universidade foi conduzido de forma que fosse possível dar procedimento a todas as etapas necessárias de estudo, objetivando o método aplicado. Desta forma, as amostras selecionadas foram britadas, moídas, pulverizadas e, feita uma separação mineral para a obtenção do mineral de interesse, a apatita.

2.10.1.1 - Britagem e moagem das amostras

Na britagem e moagem das amostras foi utilizada uma prensa hidráulica para reduzir o tamanho das amostras em dimensões apropriadas à capacidade do britador (FIG. 2.12). O britador de mandíbulas foi usado até que se conseguisse um diâmetro médio de 10 mm para as amostras (FIG. 2.13). Após a britagem, as amostras foram lavadas com água corrente e deixadas para secar naturalmente. As amostras já secas foram pulverizadas em moinho de disco por aproximadamente 10 a 20 segundos para a obtenção de uma granulometria entre 80 e 125 μm (FIG. 2.14).

A limpeza destes equipamentos entre uma amostra e outra foi efetuada através de pincel, álcool, acetona e jatos de ar comprimido.

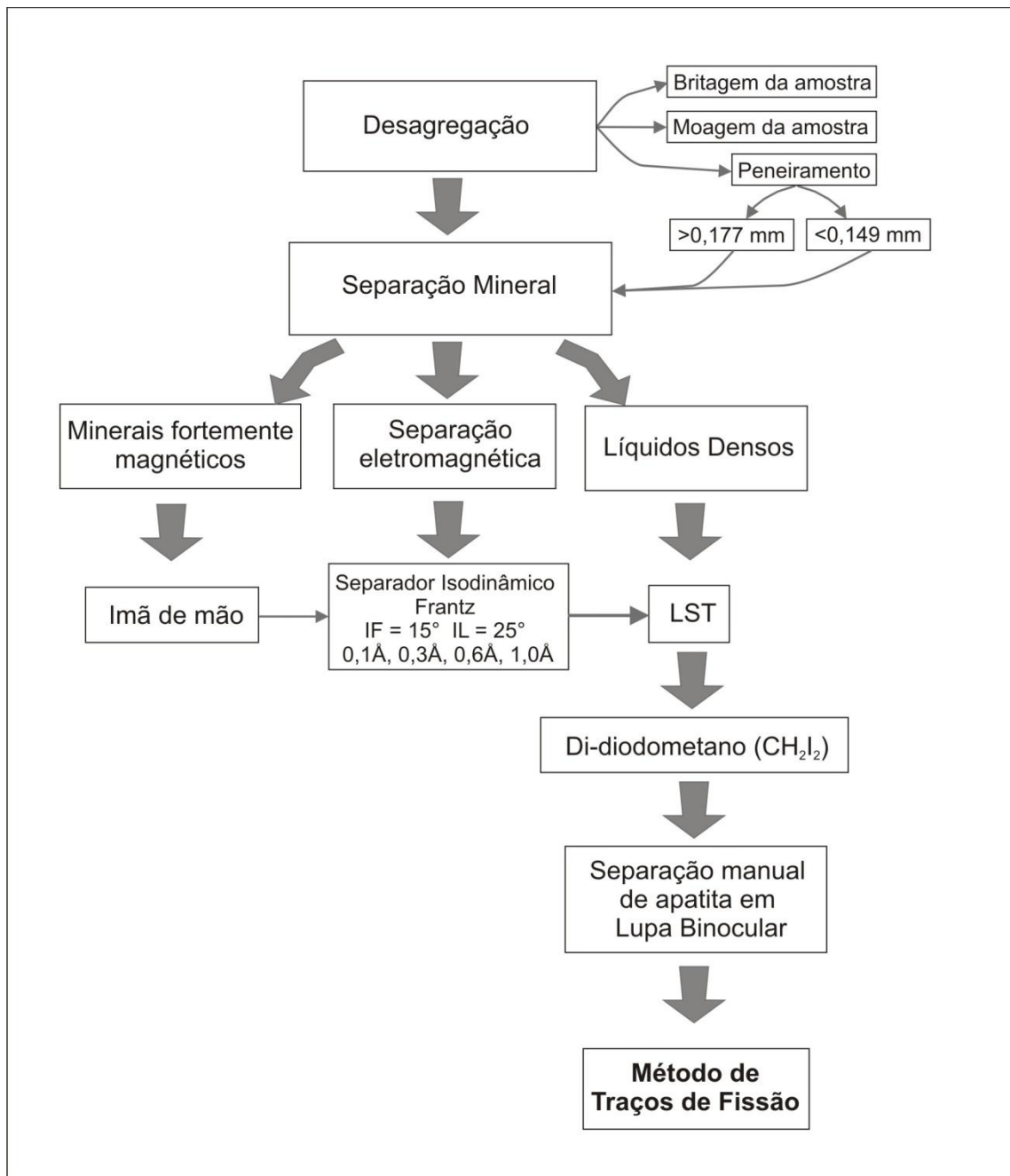


Figura - 2.10. Fluxograma mostrando as etapas efetuadas, junto aos nossos laboratórios de separação mineral e Termocronologia, até a obtenção da apatita.

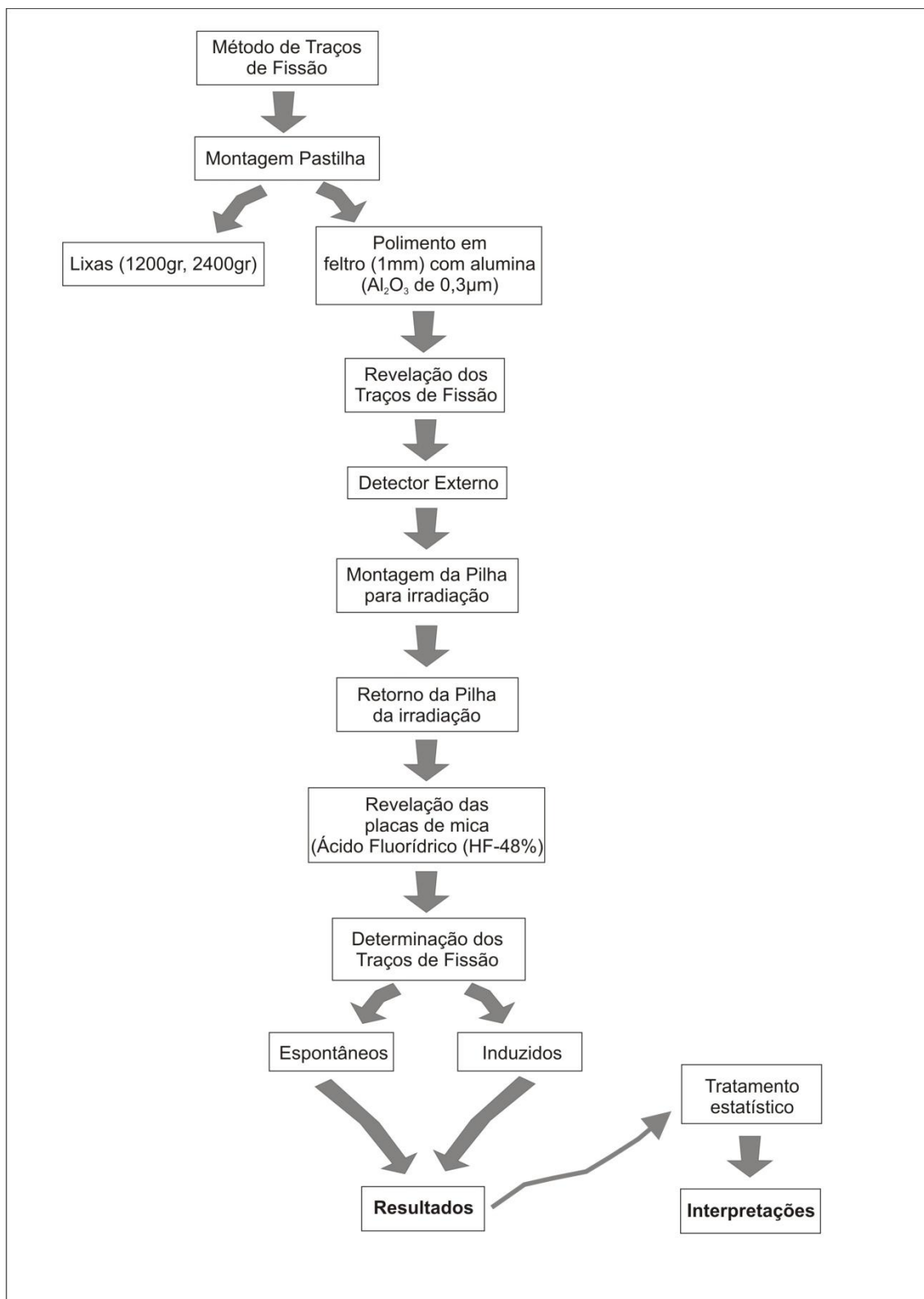


Figura - 2.11. Fluxograma mostrando as etapas efetuadas para o Método de Traços de Fissão em Apatita.



Figura - 2.12. Fotografia da prensa hidráulica do Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IG/UFRGS).



Figura - 2.13. Fotografia do britador de mandíbulas do Laboratório de Preparação de Amostras IG/UFRGS.



Figura - 2.14. Fotografia do moinho de discos do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.

2.10.1.2 - Separação mineral

As amostras com vistas à separação de apatita, após a etapa de pulverização, foram submetidas a um peneiramento. Para isto foram utilizadas três peneiras: 0,177 mm (80 *mesh*), 0,149 mm (100 *mesh*) e 0,105 mm (150 *mesh*), de onde as frações entre 80 e 100 *mesh* foram então reservadas. As peneiras, entre uma amostra e outra, foram limpas com jatos de ar comprimido, pincel, escova com cerdas de aço e agulhas.

Visto que o mineral de interesse, a apatita, fica retido entre as granulometrias de 80 e 100 *mesh* só esta porção é processada na separação mineral. A separação mineral consistiu de três estágios: i) separação dos minerais fortemente magnéticos, ii) separação eletromagnética e, iii) separação por líquidos densos. O primeiro estágio foi feito manualmente com a utilização de um imã de mão sobre cada amostra, evitando-se o esmagamento e magnetização dos grãos.

Em seguida a porção não magnética destas amostras foi direcionada à separação eletromagnética de apatita, com o auxílio do Separador Isodinâmico Frantz. O aparelho foi regulado com uma inclinação frontal de 15° e uma inclinação lateral de 25°, utilizando-se as amperagens de 0,1 Á; 0,3 Á; 0,6 Á; e 1,0 Á. Nas

frações mais magnéticas (0,1 Å) foram separados minerais com inclusões de sulfetos, que não foram separados manualmente com o imã; nas frações submetidas a 0,3 Å se separou olivina, piroxênio, ilmenita, biotita e demais micas e, nas frações submetidas a 0,6 Å se separou epidoto. A apatita, junto com zircão, fluorita, barita, quartzo e feldspato, se concentram nas porções fracamente magnéticas, àquelas frações submetidas a 1,0 Å.

Entre o processamento de cada amostra foi feita uma limpeza meticulosa do aparelho, limpando-o com auxílio de jatos de ar comprimido, pincel e álcool.

Nas amostras onde não foram obtidos concentrados exclusivamente de apatita se procedeu a separação por líquidos densos. Esta separação se iniciou com a preparação de uma mistura de 100 gramas de amostra com 150 ml de *Lithium Sodium Polytungstate* (LST) com densidade aproximada de 2,85 g/ml. A mistura foi colocada em uma centrífuga CT 6000 (FIG. 2.15), regulada com uma velocidade de 2000 rpm durante 1 a 2 minutos. Transcorrido este intervalo de tempo, o tubo é retirado da centrífuga e colocado em um recipiente de porcelana preenchido com 300 ml de hidrogênio líquido. Neste momento a parte inferior do tubo, constituída pelos minerais mais densos, congela, e a parte superior, formada por minerais menos densos, continua em solução. Esta solução é depositada em um funil já preparado com filtro de papel e lavado diversas vezes com água destilada. O mesmo processo é aplicado aos minerais mais densos, que incluem a apatita e o zircão, contudo para a lavagem desta porção é utilizada água destilada a quente. Depois do processo de lavagem, ambas as frações de minerais são colocadas em uma estufa para secar, tomando-se o cuidado para que não ultrapasse a temperatura de 40°C.



Figura - 2.15. Fotografia da centrífuga CT 6000 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.

Em uma etapa adicional, a fração mais densa é utilizada em uma nova separação, agora efetuada em capela de exaustão para evitar a inalação dos vapores desprendidos do Di-diodometano (CH_2I_2), que é extremamente tóxico e inodoro. A fração não magnética, composta por apatita, quartzo, feldspato, olivina e alguns carbonatos foi colocada em um balão de decantação com formato de pêra, já previamente preenchido com 5,0 ml de Di-diodometano, cuja densidade é de $3,33 \text{ g/cm}^3$. Logo após, o balão foi agitado manualmente para que a amostra se misturasse com o líquido (FIG. 2.16). O tempo de espera foi de aproximadamente 10 minutos para que procedesse a separação dos minerais. A apatita, cuja densidade é de aproximadamente $3,10 \text{ g/cm}^3$, fica na fração menos densa. Desta fração mais densa, após sua secagem em uma chapa elétrica com temperatura constante de 40°C por 24h (FIG. 2.17), foi feita uma separação manual de apatita com o auxílio de uma lupa binocular (FIG. 2.19).



Figura - 2.16. Balões de decantação preenchidos com Di-diodometano em capela de exaustão (Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS).



Figura - 2.17. Chapa elétrica com temperatura constante de 40°C e amostras dispostas para secagem (Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS).

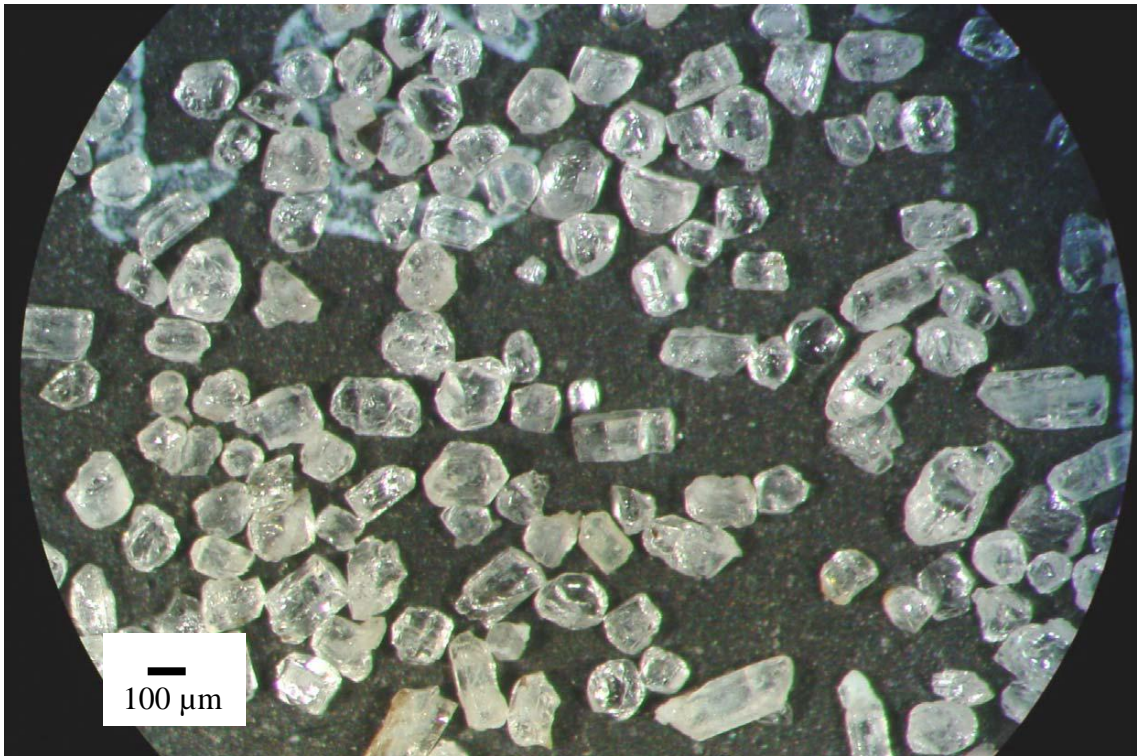


Figura - 2.18. Grãos de apatitas separadas com o auxílio de lupa binocular (Apatita: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$).

Entre uma etapa e outra, toda a vidraria utilizada nos processos é lavada com água, sabão, álcool e acetona e colocada para secar em uma estufa.

Para o método de datação por traços de fissão após a separação mineral são necessárias mais algumas etapas.

2.11 - O MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO

2.11.1 Montagem da pastilha

Após a separação mineral, procedeu-se a montagem da pastilha para a análise de traços de fissão pelo método do detector externo. Foram selecionados, com o auxílio de uma lupa binocular, preferivelmente aqueles grãos euédricos e/ou subédricos de apatita.

A montagem da amostra foi efetuada de forma que os grãos foram depositados alinhados e orientados segundo o seu eixo cristalográfico *c*. Idealmente devem ser montados em torno de 300 grãos de apatita por pastilha (FIG. 2.19). Após o término da montagem, o molde é preenchido com 0,2 cm de resina do tipo Epóxi e

levado a estufa por aproximadamente duas horas. Após as pastilhas secas procede-se a retirada da pastilha do molde e a devida identificação da mesma.

Atualmente, é possível fazer a montagem com os grãos aleatórios, para isto é necessário acoplar o molde esférico de borracha em uma superfície metálica e depositar uma pequena medida de grãos no centro do molde, e em seguida preenchê-lo com resina do tipo Epóxi. Este procedimento significa economia de tempo com um aumento significativo do número de pastilhas montadas.

Nas pastilhas devidamente identificadas procederam-se as etapas de lixas e polimento.

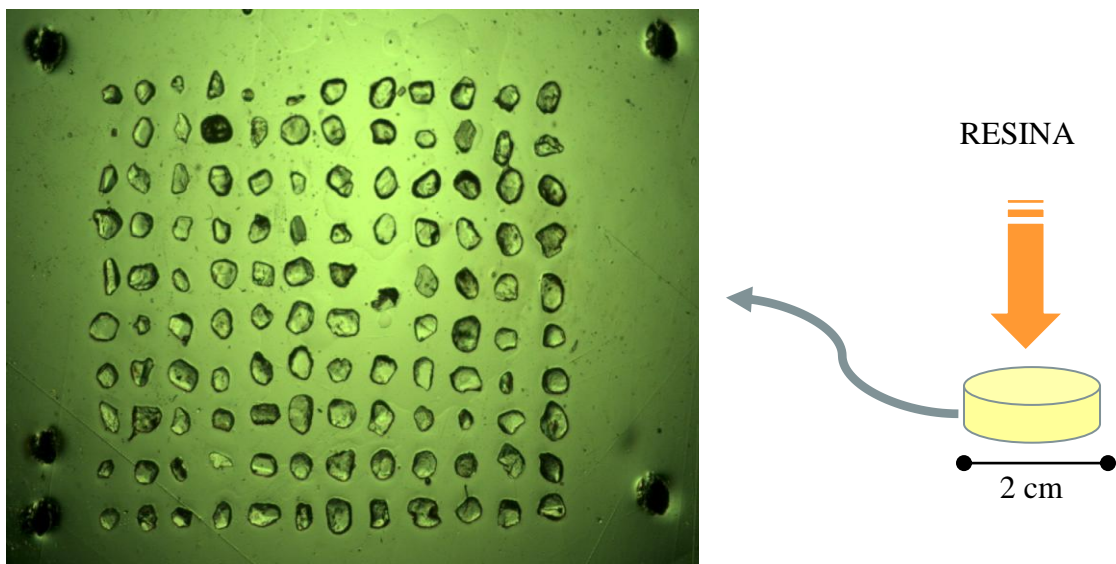


Figura - 2.219. Esquema ilustrativo da montagem da pastilha com os grãos de apatita. Amostra gentilmente cedida para fotografia pela equipe do Laboratório de Termocronologia do IG/UFRGS.

2.11.2 Lixas e polimento

O processo de lixamento da pastilha tem por objetivo expor a face interna (cerca de 1/3 da espessura do grão) dos grãos de apatita para promover o aparecimento dos traços de fissão reveláveis. Em vista disto, a pastilha foi submetida a uma lixa grossa de grana 1200 para expor os grãos e a uma lixa fina de grana 2400 para diminuir a intensidade dos arranhões gerados pela lixa anterior. Este processo é efetuado com o auxílio de uma politriz Buehler, modelo Ecomet 4 (FIG. 2.20). Durante o trabalho a pastilha é girada a 90°, de tempo em tempo, evitando-se que haja um desgaste diferenciado ao longo da superfície da pastilha.

Durante todo o processo os grãos, constantemente, são observados ao microscópio óptico para controlar o nível de desgaste e se verificar que os mesmos estão sendo lixados homogeneamente.

Ao longo desta etapa, entre uma lixa e outra, as pastilhas são lavadas em água destilada e submetidas ao ultra-som para se efetuar a limpeza das mesmas, evitando-se assim supostos grãos soltos ou impurezas que vissem a arranhar a pastilha na etapa seguinte de polimento.



Figura - 2.20. Fotografia da politriz Buehler, modelo Ecomet 4 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.

Terminada a utilização das lixas, procede-se ao polimento. O polimento é feito em um feltro com espessura máxima de 1,0 mm, umedecido com uma solução de alumina (Al_2O_3) de $0,3 \mu\text{m}$ e, com o auxílio de uma mini-politriz Buehler, modelo Minimet 1000 (FIG. 2.22), durante 10 minutos. Terminado esta fase a pastilha é lavada em água destilada e submetida há 5 minutos no ultra-som.



Figura - 2.21. Fotografia mini-politriz Buehler, modelo Minimet 1000 do Laboratório de Preparação de Amostras do IG/UFRGS.

2.11.3 Revelação dos traços de fissão na apatita

A revelação dos traços de fissão na apatita foi feita mediante um ataque químico com ácido nítrico (HNO_3) 5N em um banho termostático previamente regulado para uma temperatura de 25°C durante 25s. Após, a amostra é depositada em um recipiente de Teflon com água para que o processo seja estancado. Cuidadosamente, a pastilha é colocada para secar naturalmente sobre papel absorvente. A temperatura e o tempo de exposição da amostra no ácido para a revelação dos traços de fissão na apatita é extremamente importante no controle da revelação. Neste estudo, se utilizou para a revelação dos traços de fissão a metodologia implementada pela Prof^a. Dra. Andréa Ritter Jelinek no Laboratório de Geologia Isotópica desta universidade e com aceitação internacional.

2.11.4 Montagem do detector externo

Neste estudo, como referido anteriormente, as amostras foram datadas pelo método do detector externo. O detector externo pode ser um polímero ou uma placa de mica, para o estudo das rochas alvo foram utilizadas placas de mica rubi. A mica foi cortada exatamente do tamanho da pastilha e colocada cuidadosamente sobre ela. Em seguida, a mica foi identificada tal como a pastilha e em ambas foram marcados os *pucks* (três furos nas extremidades), para que seja assegurado que os grãos e suas devidas imagens no detector serão identificados facilmente (FIG. 2.22).



Figura - 2.22. Esquema ilustrativo da montagem dos grãos de apatita na pastilha e respectiva imagem no detector, após irradiação e revelação.

2.11.5 Montagem da pilha para irradiação

O próximo passo foi montar a pilha para a irradiação (FIG. 2.23). Junto às pastilhas são posicionados dois dosímetros artificiais um em cada extremidade da pilha, além de amostras de padrões geológicos conhecidos. Os dosímetros são colocados na pilha para determinar a fluência neutrônica e, também, observar eventuais variações do fluxo neutrônico ao longo da pilha. Isto é possível através da determinação da densidade dos traços induzidos no detector externo acoplado ao dosímetro. O padrão geológico foi adicionado à pilha para que se tenha um controle dos traços de fissão através da calibração zeta.

Para o presente estudo se utilizou os dosímetros (CN₅) e as apatitas de Durango e Fish Canyon Tuff. O Durango é uma flúorapatita proveniente do Cerro de Mercado (México), cuja idade é $31,4 \pm 0,18$ Ma (^{40}Ar - ^{39}Ar , McDowell et al., 2005). O Fish Canyon Tuff é originário do Colorado e, apresenta uma idade de $27,8 \pm 0,2$ Ma (^{40}Ar - ^{39}Ar em biotita, Hurford & Hammersmidt, 1985).

Outros padrões geológicos são conhecidos e aceitos pelo *Subcommission for Geochronology Working Group* (IUGS) para o Método de datação por Traços de Fissão em Apatita, como por exemplo a apatita do Complexo Subvulcânico do Monte Dromedary (Austrália) e a apatita do Limberg t3 Tuff (Complexo Vulcânico Kaiserstuhl, Alemanha). O Complexo Monte Dromedary apresenta uma idade de $98,8 \pm 0,6$ Ma (K/Ar em biotita, Spell & MacDougall, 2003) e o Limberg uma idade de $16,2 \pm 0,2$ Ma (^{40}Ar - ^{39}Ar em sanidina, Kraml et al., 1996).

Da mesma forma que na amostra foi acoplada uma placa de mica rubi, também foi sobre os padrões geológicos e os dosímetros. As pastilhas são empilhadas de acordo com o tamanho do porta-amostras, que varia de reator

nuclear para reator. Normalmente, o tubo de irradiação é cilíndrico e seu diâmetro varia entre 20 e 25 mm, e o comprimento não ultrapassa os 5,0 cm.

Depois de montada a pilha ela foi enrolada cuidadosamente em fita adesiva especial (sem urânio) para evitar o seu desmonte e enviada para ser irradiada no Reator do Instituto de Pesquisas Nucleares (SP).

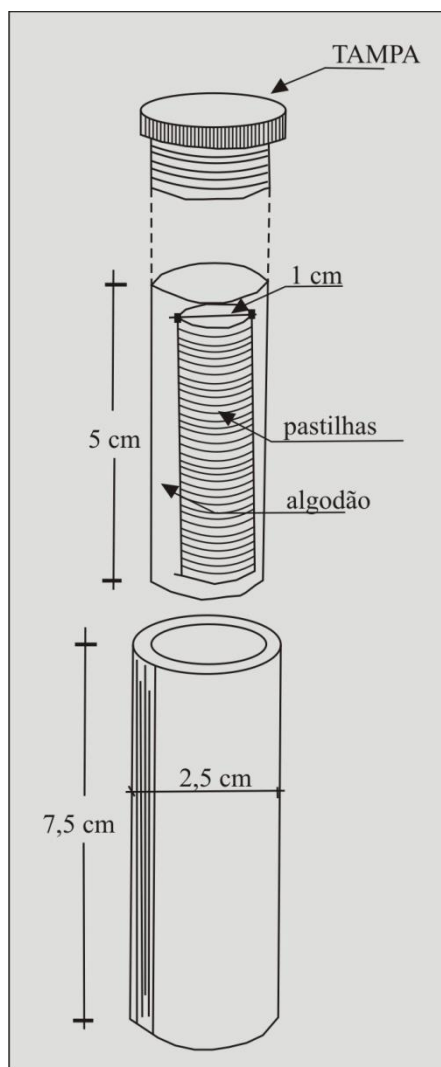


Figura - 2.23. Exemplo de montagem de uma pilha de irradiação.

2.11.6 Revelação das placas de mica

Para a revelação das placas de micas se utilizou ácido fluorídrico (HF) 48% em banho térmico estabilizado a uma temperatura de 25°C por um período de 60 minutos. Após este tempo, os detectores são mergulhados em uma solução saturada de bicarbonato de sódio (NaHCO_3 – M= 84,01 g/mol, MERCK) até que a base neutralize totalmente o ácido. Depois disto, as placas de mica são deixadas

submersas em uma solução de água e sabão, e após em água destilada por aproximadamente duas horas. Transcorrido este tempo, as placas de micas são retiradas com o auxílio de uma pinça e depositadas em papel absorvente para secarem naturalmente.

2.11.7 Determinação dos Traços de Fissão

A pastilha com os grãos de apatita junto com suas respectivas placas de mica é disposta em lâmina delgada para dar continuidade ao processo de análise por traços de fissão. A determinação da densidade dos traços de fissão espontâneos e induzidos foi efetuada em um microscópio óptico Carl Zeiss, modelo Axioplan 2 Imaging acoplado com platina eletrônica e *joystick* e, com sistema Auto Scan. Foi utilizada uma objetiva de x100 (a seco) e oculares de x10, com isto a superfície utilizada perfaz uma área de $10.000 \mu\text{m}^2$ (FIG. 2.24). A área utilizada para a contagem foi preferencialmente escolhida afastada das bordas dos grãos, em grãos sem fraturas e inclusões minerais ou fluidas e com uma distribuição de urânio homogênea. Tomou-se o cuidado na contagem de somente traços de fissão com formas lineares, retilíneos, aleatoriamente orientados, e com comprimentos máximo de $20 \mu\text{m}$ serem computados (FIG. 2.25).



Figura - 2.24. Fotografia do microscópio Zeiss Axioplan 2 imaging com o sistema Auto Scan acoplado do Laboratório de Termocronologia do IG/UFRGS.

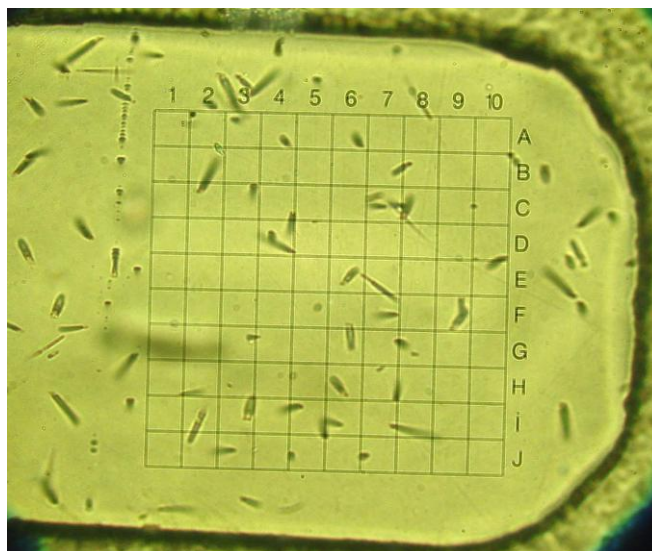


Figura - 2.25. Fotomicrografia de um grão de apatita para determinação dos traços de fissão em uma quadrícula de 10 x10.

A contagem dos traços de fissão na placa de mica foi efetuada exatamente na mesma área onde se realizou a determinação dos traços espontâneos na apatita. Neste estudo, todas as amostras foram primeiramente fotografadas de tal forma que fosse possível visualizar-se grão a grão. Em seguida, foram escolhidas as melhores regiões dos grãos de apatita ao microscópio, onde foram datados e localizados nas fotografias impressas para que fosse possível localizar a mesma área espelhada na mica correspondente ao grão.

A idade foi calculada utilizando-se o método de calibração zeta seguindo os procedimentos descritos por Huford & Green (1983) e Green (1986). Todas as idades apresentadas no Capítulo III (Resultados Obtidos) são expressas como idade traços de fissão central (Galbraith, 1990; Galbraith & Laslett, 1993), que também é utilizado no sentido de se avaliar a existência de várias populações de idades em uma mesma amostra a partir do valor de dispersão (D) calculado. Os erros calculados associados às idades são expressos com 1σ .

2.11.7.1 - Determinação dos parâmetros cinéticos D_{par} e conteúdo de cloro

O percentual de cloro presente nas apatitas analisadas foi quantificado por meio de microsonda eletrônica JEOL, modelo CAMECA SX50 do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS), com as seguintes condições analíticas: tensão = 15 kV; corrente =

10 nA; diâmetro do feixe = 10 μm . Em algumas amostras do estado do Rio Grande do Sul, que não foram efetuadas medidas do percentual de cloro em microsonda eletrônica, foi realizada a medição do diâmetro dos *etch pits* através da determinação do parâmetro Dpar, descrito em detalhe neste capítulo. Em média foram medidos cinco *etch pits* em cada grão de apatita analisada.

2.11.7.2 - Determinação dos comprimentos dos Traços de Fissão confinados

O comprimento dos traços de fissão confinados foi medido em grãos com superfícies polidas paralelas ao eixo cristalográfico *c* (Laslett et al., 1982). A determinação do comprimento dos traços de fissão foi efetuada utilizando-se o mesmo microscópio que para a determinação da densidade dos traços de fissão. Foram medidos traços de fissão confinados que não atingiram a superfície polida de cada grão e onde se podem ver claramente as duas extremidades. Assim, a revelação dos traços se deu mediante a intersecção com outro traço de fissão (TINT) e que alcançou este traço de fissão, como exemplificado pela Figura 2.26.

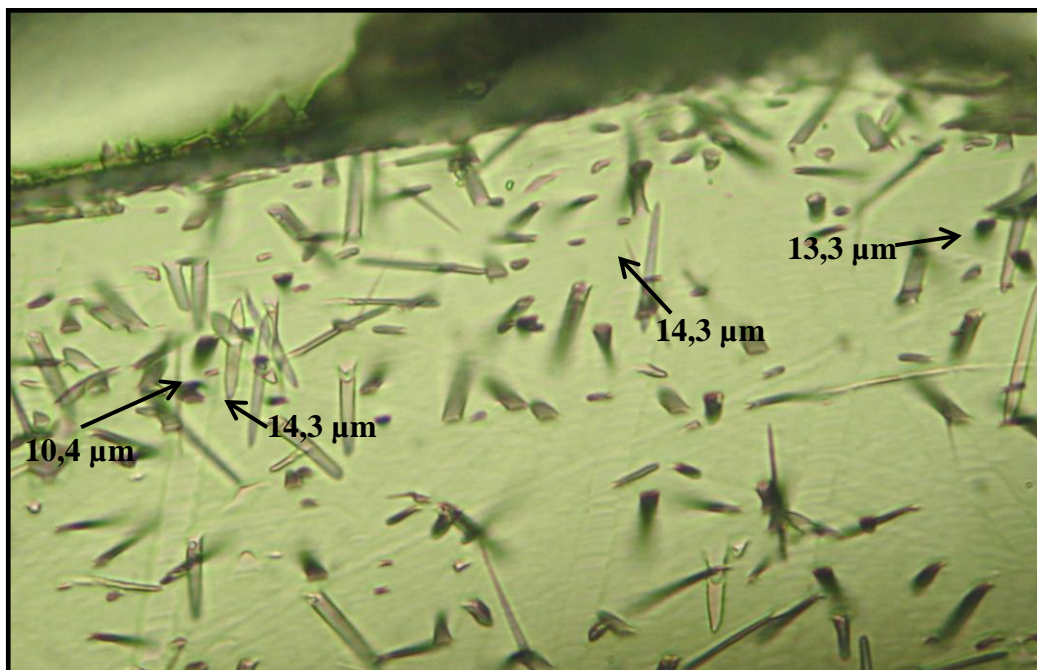


Figura - 2.26. Fotomicrografia de um grão de apatita vista ao microscópio óptico (aumento de 10x10), exemplificando alguns traços de fissão confinados. Os traços de fissão são formados continuamente ao longo do tempo. Assim, um traço de fissão confinado curto é mais antigo que um traço de fissão longo.

2.11.7.3 - Interpretação dos dados Traços de Fissão: Os Diagramas

♣ Idades traços de fissão e distribuição dos comprimentos dos traços de fissão confinados

A relação entre idades traços de fissão e distribuição dos comprimentos dos traços de fissão confinados depende da natureza da história térmica das amostras. Assim, é possível entender essa relação a partir da análise do modelo de Wagner (1972), onde os traços de fissão confinados são encurtados até seu apagamento total com o progressivo aumento da temperatura. As três zonas existentes no modelo, ou seja, ZAT, ZAP e ZET são delimitadas pela variação da temperatura e a localização da amostra neste tipo de diagrama sugere um resfriamento rápido, lento ou complexo junto com a distribuição dos comprimentos dos traços de fissão confinados no histograma.

♣ Idades traços de fissão versus Altitude

Com o objetivo de auxiliar no conhecimento das histórias térmicas das amostras estudadas se construiu diagramas entre as idades traços de fissão e suas respectivas altitudes (Gleadow & O'Brien, 1994; Foster & Gleadow, 1996). Estes diagramas refletem as histórias térmicas que as amostras foram submetidas temporalmente em temperaturas inferiores as encontradas na ZAT.

♣ Modelamentos das Histórias Térmicas

Como discutido anteriormente, o modelamento das histórias térmicas de uma dada amostra auxilia na caracterização desta e, conseqüentemente na história geológica de uma região. Assim, foram produzidos para cada amostra utilizada neste estudo modelamentos de histórias térmicas que simulam curvas no espaço, tempo e temperatura.

♣ Paleotemperaturas

As paleotemperaturas em intervalos de tempo específicos foram estimadas para cada uma das regiões estudadas. Estes dados auxiliam na caracterização das

paleotemperaturas que estavam submetidas às amostras e, ainda, a partir delas é possível estimar as quantidades de denudação nas regiões ao longo do tempo.

♣ *Denudação*

As quantidades e as taxas de denudação foram obtidas através da combinação dos dados de paleotemperaturas e o conhecimento do gradiente geotérmico do contexto geológico no qual a amostra estava inserida (Gleadow & Brown, 2000). Assim, é possível quantificar a seção removida de crosta em um determinado intervalo de tempo a partir da utilização da equação 9 de Brown (1991) descrita a seguir:

$$D = (T - T_s) / G \quad (9)$$

Onde:

D é a espessura da seção denudada, em km;

T corresponde a paleotemperatura obtida a partir do modelamento por meio do programa AFTSolve, em °C;

G é o gradiente geotérmico, em °C/ km.

CAPÍTULO III – Resultados Obtidos

3.1 - INTRODUÇÃO

As análises de traços de fissão em apatita, de 86 amostras selecionadas das regiões do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências desta universidade. Neste estudo foram utilizados os dados de traços de fissão, obtidos do Projeto Evolter (Evolução Tectônica e História Térmica da Margem Continental do SE do Brasil e W da África (Convênio - FAURGS/ UFRGS/ UNICAMP/ UNESP/ FINEP/ CTPETRO/ PETROBRÁS), para as amostras das regiões sul e sudeste da América do Sul, além de dados inéditos gerados para estas regiões. Os dados já existentes foram reinterpretados a partir da homogeneização do tratamento estatístico junto com as novas análises. Isto visando à localização das amostras, suas histórias térmicas e os eventos tectônicos a que foram submetidas. Assim, o estudo foi dividido por estados brasileiros e o Uruguai: 1) Uruguai; 2) Rio Grande do Sul; 3) Santa Catarina; 4) e Paraná (FIG. 3.1; TABs. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4).

3.2 - AMOSTRAGEM

Em média 10 kg de rocha para cada amostragem foi coletada na campanha de campo. A altitude destas amostras foi obtida *in situ* e suas localizações foram determinadas com um *global positioning system* (GPS) com o Datum relativo a cada região. Para tanto, foram selecionadas amostras de diversas litologias que representam a abrangência de cada região. A amostragem foi realizada a partir da observação morfológica das regiões sul e sudeste da América do Sul com vistas a um aproveitamento espacial e representativo dos eventos tectônicos que moldaram estas regiões.

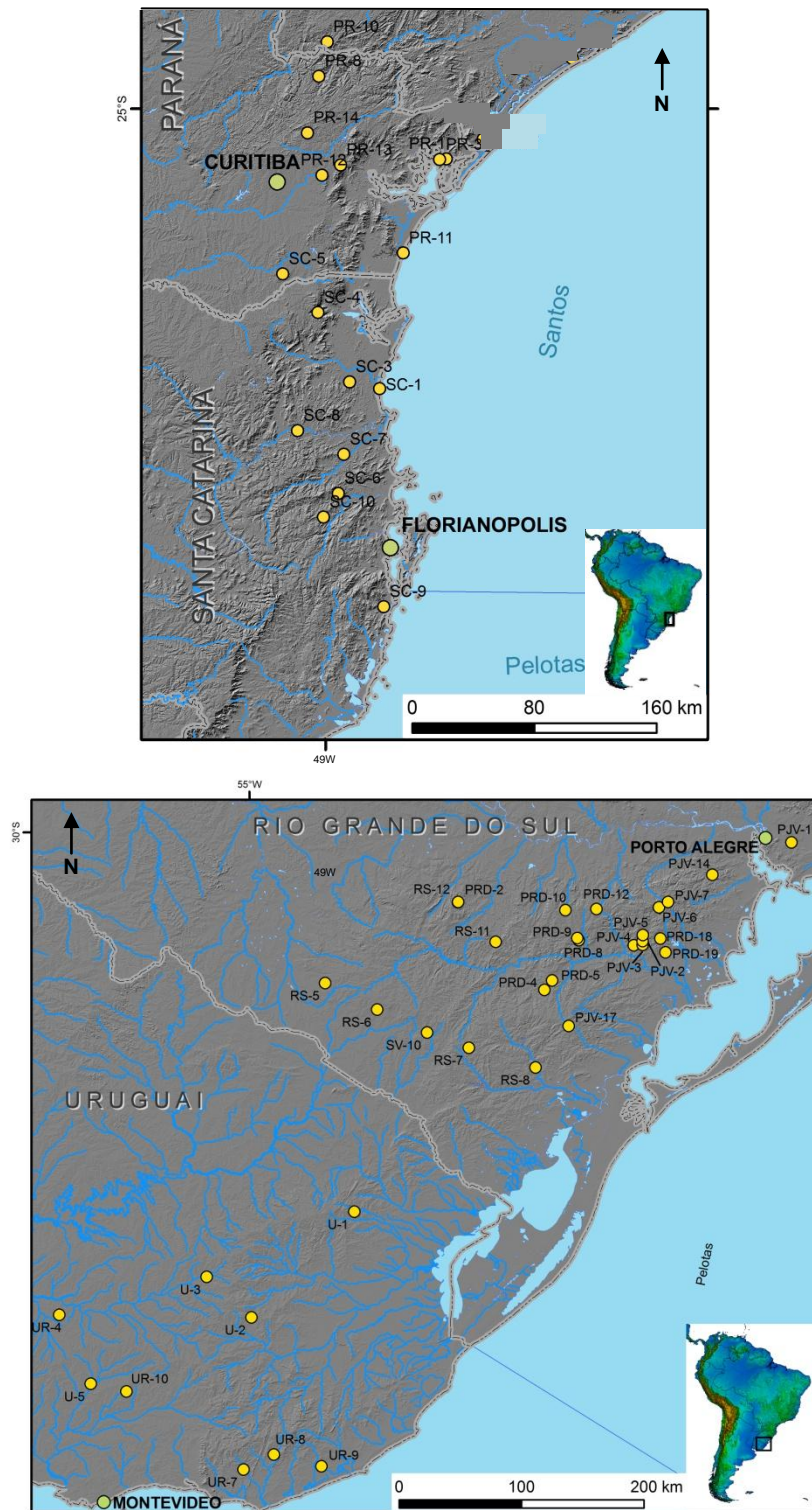


Figura - 3.1. Modelos tridimensionais onde estão localizadas as amostras analisadas (fonte: Mapa SIG – CPRM, escala 1:2.500.000).

Tabela 3.1. Lista de amostras analisadas para o Uruguai com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude e litologias.

Região do Uruguai				
Amostras	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Litologia
U-1	32°46'20"	54°13'40"	125	granito
U-2	33°32'40"	54°59'	138	diorito
U-3	33°14'55"	55°18'48"	245	granito
U-5	34°1'47"	56°9'53"	120	granito
UR-4	33°31'31"	56°23'43"	187	bt-granodiorito
UR-7	34°39'22"	55°2'33"	115	sienogranito
UR-8	34°32'49"	54°49'12"	124	hb, bt-monzogranito
UR-9	34°37'56"	54°28'9"	95	bt-monzogranito
UR-10	35°5'11"	55°54'5"	42	granito

Tabela 3.2. Lista de amostras analisadas para o estado do Rio Grande do Sul com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude, litologias e idades estratigráficas.

Estado do Rio Grande do Sul					
Amostras	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Litologia	Idade (Ma)
SV-10	27°23'42"	49°0'43"	500	arenito	2,800
PJV-02	30°49'33"	52°10'31"	89	granito	2,600
PJV-03B	30°49'19"	52°6'37"	189	granito	2,600
PJV-03C	30°49'19"	52°6'37"	189	granito	2,600
PJV-04	30°47'41"	52°6'35"	208	granito	2,600
PJV-05	30°44'59"	52°6'33"	198	granito	2,600
PJV-6	30°32'52"	51°59'22"	270	granito	2,600
PJV-7	30°30'27"	51°55'26"	312	granito	2,600
PJV-11	30°4'23"	51°1'2"	74	granito	2,600
PJV-14	30°18'31"	51°35'50"	268	granito	2,600
PJV-17	31°24'50"	52°39'12"	333	granito	2,600
RS-5	31°6'1"	54°26'30"	188	granulito	2,100
RS-6	31°17'40"	54°3'38"	253	granito	0,590
RS-7	31°34'23"	53°23'11"	422	granito	0,630
RS-8	31°43'2"	52°53'45"	18	gnaisse	0,630
RS-11	30°47'55"	53°11'22"	123	arenito	0,500
RS-12	30°30'32"	53°27'54"	353	granito	0,560
PRD-02	30°30'35"	53°27'59"	350	granito	0,562 ± 5,6
PRD-04	31°09'02"	52°49'54"	330	granito	~0,600
PRD-05	31°04'53"	52°46'30"	220	granito	~0,600
PRD-08	30°47'13"	52°34'47"	290	granito	0,643 ± 8,3
PRD-09	30°46'19"	52°35'26"	347	granito	0,584 ± 6,3
PRD-10	30°34'02"	52°40'37"	440	granito	0,585 ± 8,2
PRD-12	30°33'32"	52°26'58"	440	granito	~0,600
PRD-18	30°46'34"	51°58'49"	240	granito	~0,600
PRD-19	30°52'33"	51°56'30"	140	granito	0,627 ± 16

Tabela 3.3. Lista de amostras analisadas para o estado de Santa Catarina com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude, litologias e idades estratigráficas.

Estado de Santa Catarina					
Amostras	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Litologia	Idade (Ma)
SC-1	26°38'30"	48°40'56"	0	piroxenito	2,000
SC-3	26°36'10"	48°51'27"	50	gnaisse	2,000
SC-4	26°11'47"	49°02'40"	820	hornblenda granito	0,600
SC-5	25°58'12"	49°15'05"	950	sienogranito	0,600
SC-6	27°15'27"	48°55'28"	40	monzogranito	0,600
SC-7	27°01'39"	48°53'30"	250	sienogranito	0,600
SC-8	26°53'18"	49°09'49"	150	granulito	2,000
SC-9	27°55'14"	48°39'27"	10	granito	0,600
SC-10	27°23'42"	49°00'43"	500	granito	0,600

Tabela 3.4. Lista de amostras analisadas para o estado do Paraná com suas respectivas coordenadas geográficas, altitude, litologias e idades estratigráficas.

Estado do Paraná					
Amostras	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Litologia	Idade (Ma)
PR-1	25°17'42"	47°21'13"	4	arenito	Terciário
PR-3	25°17'57"	48°19'41"	2	arenito	Quaternário
PR-8	24°48'37"	49°02'24"	930	granodiorito	0,600
PR-10	24°36'29"	48°59'22"	370	monzogranito	0,600
PR-11	25°50'49"	48°32'36"	10	monzogranito	0,600
PR-12	25°23'27"	49°01'14"	936	granito	0,600
PR-13	25°19'52"	48°54'41"	925	granito	0,600
PR-14	25°08'33"	49°06'19"	1005	gnaisse	0,600

3.3 - IDADES TRAÇOS DE FISSÃO

As idades traços de fissão foram obtidas através da combinação do método do detector externo, monitoramento de urânio pela dosimetria de nêutrons e padrões geológicos de idades conhecidas (Fleischer et al., 1965b; Bigazzi et al., 1995, 1999). As densidades dos traços de fissão foram obtidas em um microscópio Zeiss equipado com sistema Autoscan®, modelo Axioplan II, com objetiva x100 à seco e oculares x10, acoplado a um sistema de deslocamento da platina de alta precisão, câmara de vídeo e microcomputador para a aquisição dos dados, como descrito no Capítulo II. Os resultados obtidos nas amostras estudadas são apresentados na Tabela 3.5. O cálculo das idades, sua dispersão e distribuição foram obtidas através do programa Trackkey® v. 4.2 (Dunkl, 2002). O tratamento estatístico dos dados foi

processado no programa Origin V.6, junto com a confecção dos histogramas e diagramas, em geral. Em todas as amostras foi calculada a idade central, que é a média da distribuição logarítmica das idades individuais. A relação da distribuição destas idades individuais com a idade central representa a dispersão (D).

As idades traços de fissão centrais de todas as amostras selecionadas variam de $383,4 \pm 40,9$ a $9,7 \pm 1,2$ Ma, que perfaz um intervalo de tempo entre o Devoniano Superior e o Mioceno. As maiores concentrações de idades mais jovens obtidas estão localizadas na região costeira, mas é possível observar também idades jovens no interior do continente ao longo de zonas de falhas ou localizadas em drenagens. Isto pode ser o reflexo da movimentação tardia nestas regiões durante a formação do Oceano Atlântico, ou alternativamente está relacionado com a localização geográfica das amostras. As idades dos grãos individuais para cada uma das amostras junto com os histogramas de distribuição e os diagramas radiais encontram-se no Volume 2 - Anexo 1.

No Uruguai foram analisadas nove amostras com idades traços de fissão que variam de 326 ± 31 a $38,25 \pm 2,5$ Ma, o que abrange desde o Mississipiano até o Bartoniano. Contudo, a distribuição das idades se concentra em 275 Ma (FIG. 3.2). As idades traços de fissão mais jovens correspondem às amostras localizadas próximas a zona de costa (UR-10, UR-7, UR-9 e UR-8), nas proximidades das cidades de Montevideu e La Paloma. Por outro lado, as idades traços de fissão mais antigas foram obtidas nas amostras (U-2, U-3 e UR-4) localizadas mais no interior do continente, que cortam as zonas de cisalhamento Sarandi Del Yi e Sierra Ballena. Apenas em uma amostra (U-1), coletada sobre a anomalia gravimétrica da Lagoa Mirim, foi obtida uma idade traços de fissão inferior a 120 Ma.

No Rio Grande do Sul foram analisadas 26 amostras com idades traços de fissão variando de $383,4 \pm 40,9$ a $70 \pm 5,2$ Ma, o que condiz com o intervalo de tempo entre o Devoniano Superior e o Senoniano. As idades mais jovens são encontradas nas amostras (PJV-11, PJV-14 e PJV-7) sob influência do Rio Jacuí e naquelas amostras perto da Zona de Cisalhamento Porto Alegre. As amostras localizadas sob influência do Cinturão Dom Feliciano (PJV-6, PJV-7, PJV-5, PJV-4, PJV-3B-C, PJV-17 e RS-8) apresentam idades traços de fissão entre $225,8 \pm 19,1$ e $151,7 \pm 9,4$ Ma. Estas idades são inferiores as idades traços de fissão, encontradas nas amostras situadas no Cinturão Tijuca e na região sob influência da Bacia de Retro-arco Brasileira (RS-12, RS-5, RS-6 e SV-10), onde as idades traços de fissão variam de $383,4 \pm 40,9$ a 250 ± 21 Ma. Na amostra RS-11, coletada entre Caçapava

do Sul e Jaguarí, a idade traços de fissão obtida foi de $196,2 \pm 14,7$ Ma. Somente na amostra PJV-5 se obteve uma idade traços de fissão de $262,2 \pm 29,9$ Ma com valores próximos aos obtidos para as amostras coletadas na região de Camaquã (PRD 8, PRD-18 e PRD-19), que mostra idades entre $276,6 \pm 36$ e $213 \pm 61,4$ Ma. Na amostra localizada sobre a Zona de Cisalhamento Canguçu (RS-7) se obteve uma idade traços de fissão de $130,2 \pm 13,3$ Ma. Nas amostras selecionadas da região de Encruzilhada do Sul (PRD-2, PRD-4, PRD-5, PRD-9, PRD-10 e PRD-12) as idades traços de fissão variam de $182,7 \pm 22,4$ a $103,4 \pm 11,4$ Ma. A distribuição das idades traços de fissão no histograma (FIG. 3.3) mostra que as idades se concentram no intervalo de 100 a 300 Ma. Os picos de maior frequência ocorrem entre 100-150 Ma e 200-250 Ma.

Em Santa Catarina foram analisadas nove amostras (SC-1, SC-3, SC-4, SC-5, SC-6, SC-7, SC-8, SC-9 e SC-10), coletadas na região de influência do rio Itajaí, com idades que variam de $105,3 \pm 10,4$ a $9,7 \pm 1,2$ Ma. A maior concentração de idades traços de fissão deste estado se situa entre 50 e 80 Ma (FIG. 3.4), o que condiz com o intervalo de tempo entre o Campaniano e o Tortonianiano, com um pico entre 50 e 60 Ma.

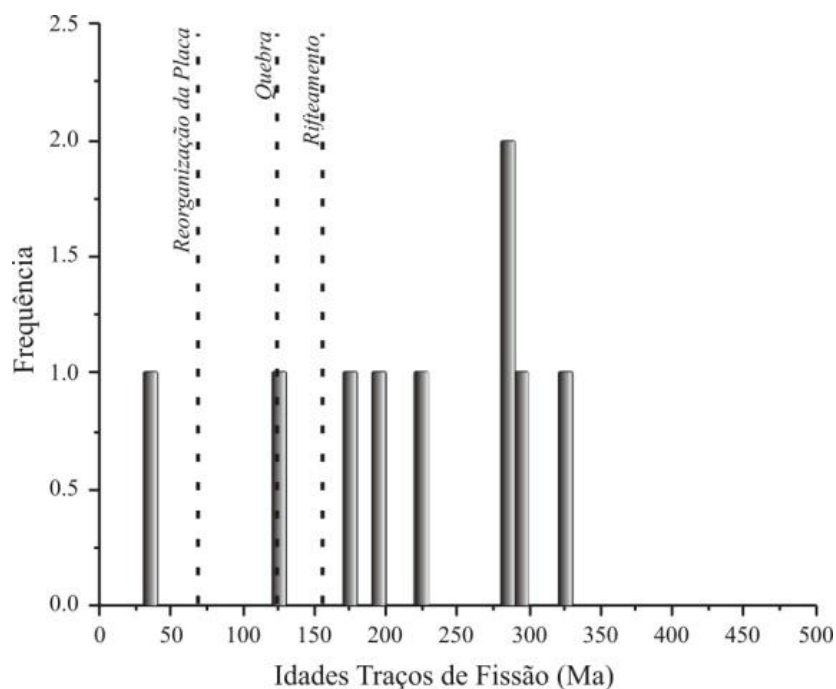


Figura - 3.2. Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Uruguai.

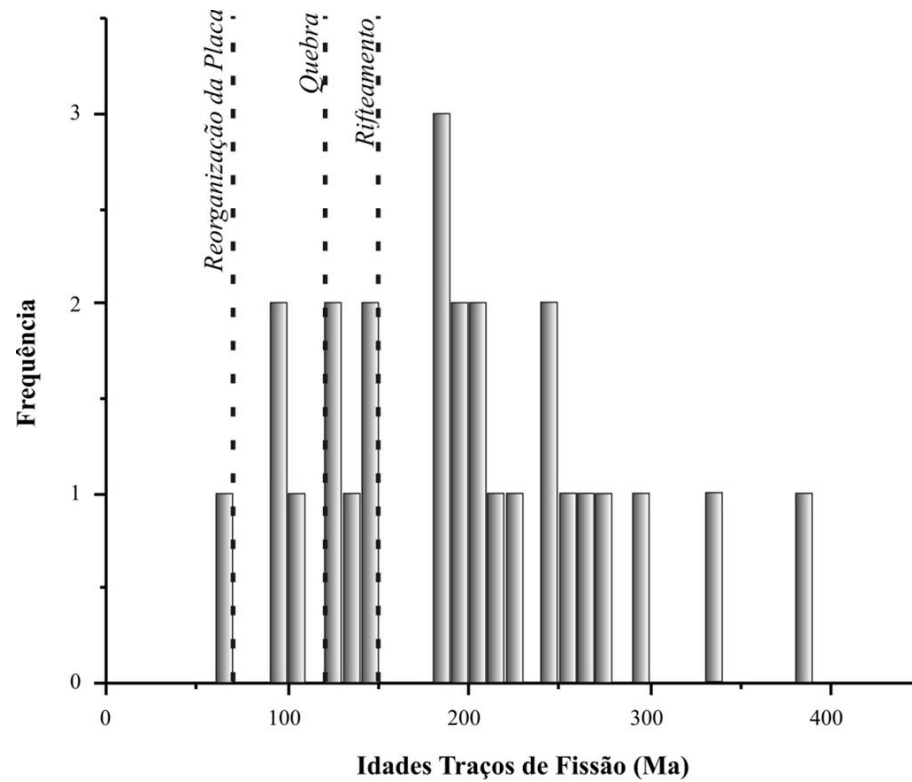


Figura - 3.3. Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Rio Grande do Sul.

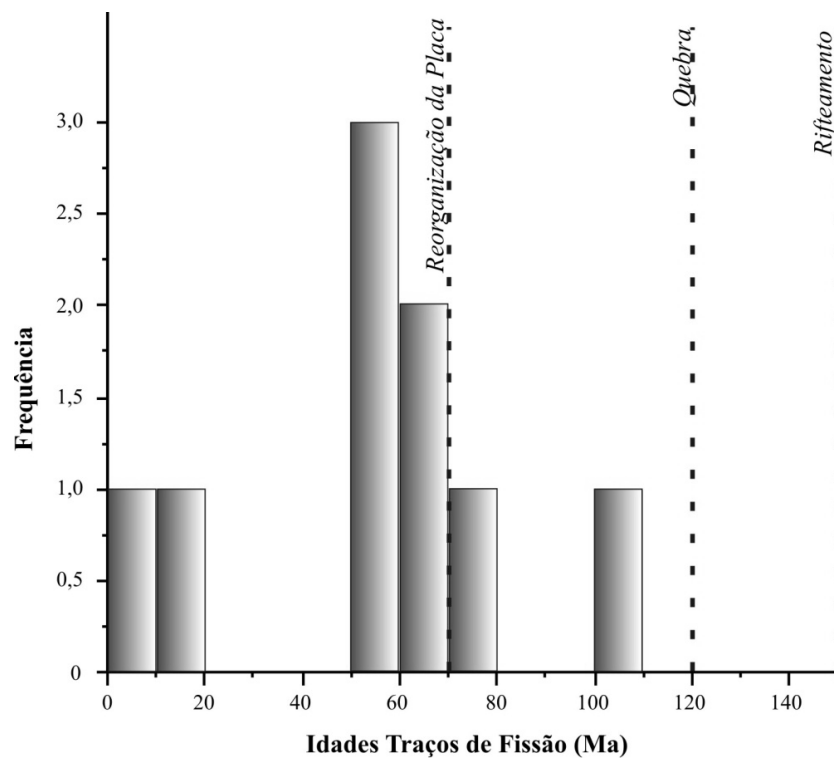


Figura - 3.4. Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado de Santa Catarina.

No Paraná foram analisadas 10 amostras para traços de fissão. As idades traços de fissão variam de $143,5 \pm 40,5$ a $9,9 \pm 2,1$ Ma. As idades traços de fissão mais jovens foram obtidas para as amostras (PR-8 e PR-10) mais distantes do leito do rio Ribeira de Iguapé. As amostras coletadas na Serra do Mar, entre os vales escavados pelos rios Ribeira de Iguapé, a norte, e Itajaí, a sul, apresentam idades traços de fissão entre $65,6 \pm 9$ e $40,2 \pm 4,6$ Ma. Apenas em uma amostra (PR-12) se obteve idade traços de fissão inferior a estas, $9,9 \pm 2,1$ Ma. Para aquelas amostras (PR1, PR-3 e PR-2) situadas próximas a zona de costa as idades traços de fissão variam entre $143,5 \pm 40,5$ e $18,4 \pm 5,8$ Ma. A distribuição das idades traços de fissão no histograma (FIG. 3.5) mostra uma concentração maior de idades no intervalo de tempo compreendido entre 30 e 70 Ma, ou seja, entre o Campaniano e o Ypresiano, com um pico entre 40 e 50 Ma.

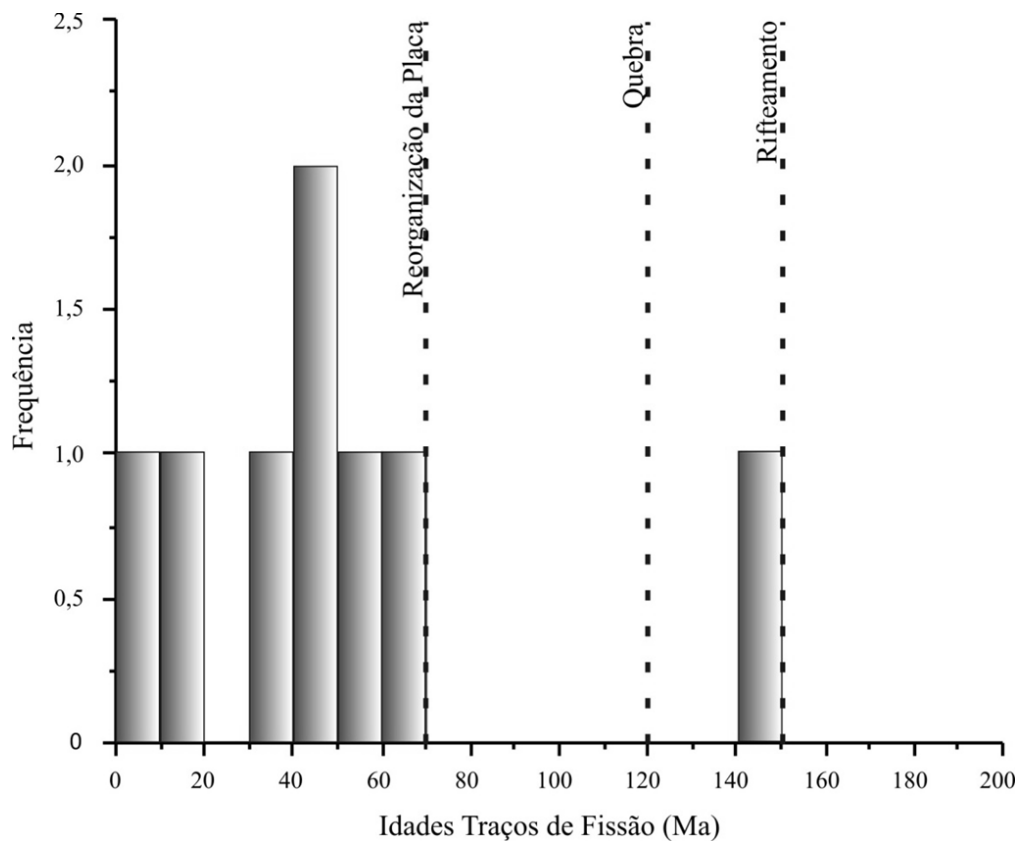


Figura - 3.5. Histograma de distribuição das Idades Traços de Fissão central de todas as amostras estudadas no estado do Paraná.

Os gráficos radiais (Volume 2 - Anexo 1) obtidos para as amostras selecionadas mostram a distribuição das idades individuais e sua precisão. Após análise destes gráficos radiais foi possível constatar que duas amostras do estado do Rio Grande do Sul (PJV-3C e PJV-5), duas do estado de Santa Catarina (SC-1 e SC-7) e duas amostras do estado do Paraná (PR-3 e PR-8) apresentam valores de χ^2 inferiores a 5%. Contudo, os dados obtidos no cálculo das idades centrais de nossas amostras (Galbraith, 1990) mostram que os valores de dispersão calculados são inferiores a 1%. Assim, estas amostras provavelmente constituem uma única população (Rohrman et al., 1996), sendo possível suas utilizações junto com o restante das idades traços de fissão obtidas para as amostras analisadas.

3.4 - O PERCENTUAL DE CLORO

Com o objetivo de quantificar o percentual de cloro presente nas apatitas datadas foram realizadas medições por meio de microssonda eletrônica e a determinação do parâmetro cinético Dpar (TAB. 3.5). Das 31 amostras analisadas em média 94% dos grãos apresentam composição de flúorapatitas, com teor de cloro inferior a 0,25 em % peso, sendo inferiores aos conhecidos para a apatita de Durango (~ 0,418). As amostras que apresentam teor de cloro superior a 0,42 em % peso, perfazem os 6% restantes, se localizam no estado de Santa Catarina, o que sugere uma influência dos granitos ricos em flúor conhecidos na região (Jelinek et al., 2003).

Ao analisarmos somente os grãos com medidas de cloro nós observamos que apesar de existir a influência composicional nas amostras ela não é marcante. Nos gráficos das Figuras 3.6B, D-E as amostras dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná apresentam uma relação entre as idades traços de fissão e o teor de cloro de tendência crescente. As amostras do Uruguai (FIG. 3.6A) não apresentam uma distribuição clara entre o teor de cloro e as idades traços de fissão, o que impossibilita inferências preliminares. Já as amostras do estado do Rio Grande do Sul onde foram feitas medidas baseadas no parâmetro cinético Dpar (FIG. 3.6C) é possível observar uma relação decrescente entre as idades traços de fissão e o teor de cloro nessas amostras. Isto pode ser o reflexo da composição da rocha hospedeira rica em flúor.

3.5 - COMPRIMENTO DOS TRAÇOS DE FISSÃO CONFINADOS

Os comprimentos dos traços de fissão confinados foram medidos no mesmo microscópio que foram determinadas as densidades dos traços de fissão. As medidas dos comprimentos dos traços de fissão confinados foram processadas estatisticamente no programa Origin V.6, onde foram calculadas as médias aritméticas dos comprimentos dos traços de fissão de cada amostra, suas precisões e os seus respectivos desvios-padrões.

A média dos comprimentos dos traços de fissão confinados de todas as amostras selecionadas varia de 14,02 a 8,87 μm . Das 86 amostras apenas em seis não foi possível medir o comprimento dos traços de fissão confinados, nas demais foram obtidos entre 2 e 106 comprimentos. Os resultados dos comprimentos dos traços de fissão confinados obtidos, os erros e os desvios-padrões, assim como a quantidade de traços de fissão medidos em cada amostra são apresentados na Tabela 3.5.

Correlações positivas (FIG. 3.7, 3.8 e 3.9) entre a média dos comprimentos de traços de fissão confinados e as idades centrais foram observadas para as amostras do Uruguai, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, mas somente para aquelas amostras com a média de comprimentos de traços de fissão confinados inferiores a 11 μm . Correlações negativas (FIG. 3.8) entre a média dos comprimentos de traços de fissão confinados e as idades traços de fissão centrais foram obtidas para as amostras do Rio Grande do Sul, neste último somente para aquelas com média de comprimentos confinados superior a 11 μm .

A correlação da média dos comprimentos dos traços de fissão confinados e as idades centrais das amostras do estado do Paraná obtidas apresentam uma distribuição dispersa dos dados, não permitindo nenhum tipo de inferência preliminar (FIG. 3.10).

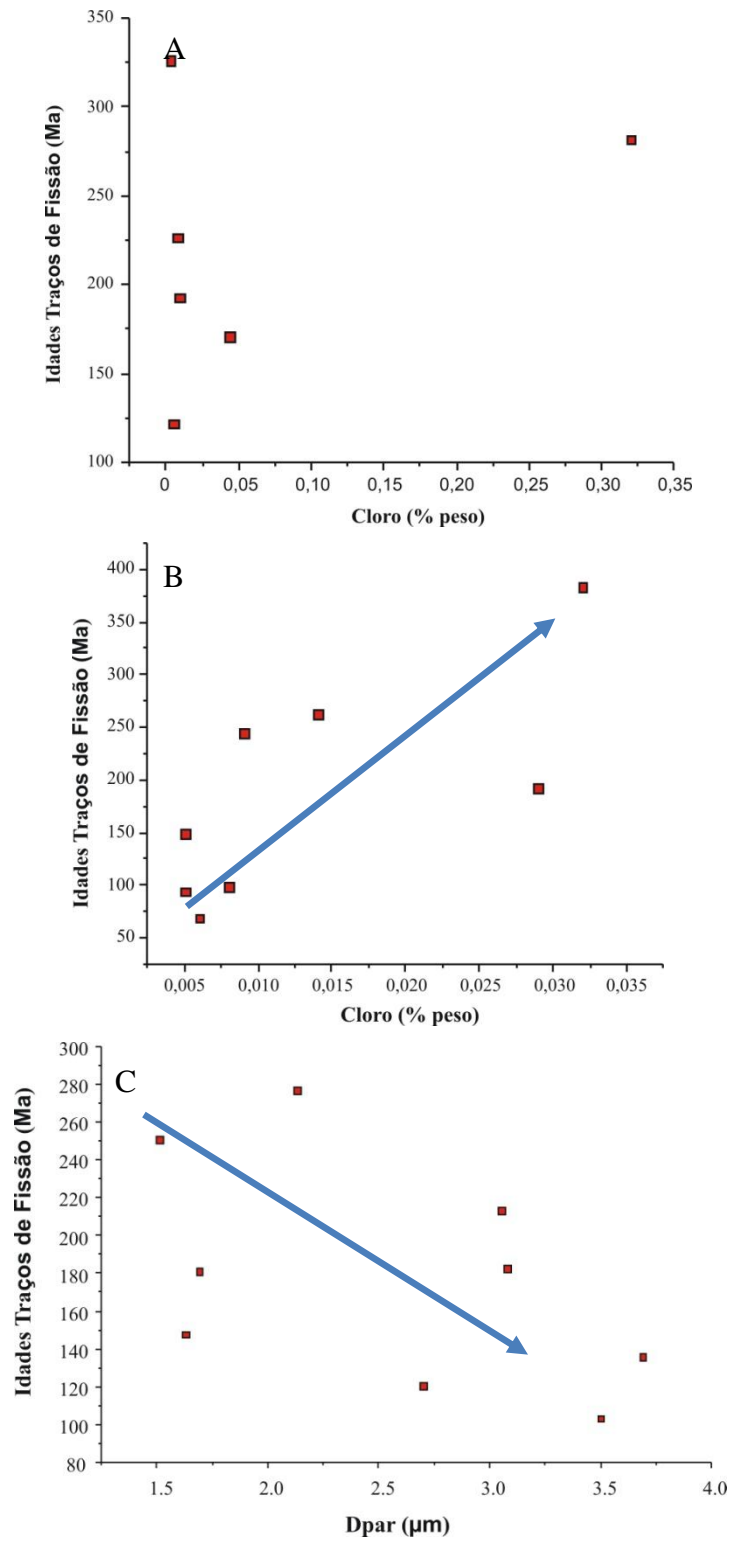


Figura - 3.6. Correlações entre os teores de Cl, Dpar e as idades traços de fissão para as amostras do Uruguai e do estado do Rio Grande do Sul. A seta indica as amostras onde a variação dos teores de Cl interferiu diretamente na idade obtida. A) Uruguai; B) Rio Grande do Sul e; C) Rio Grande do Sul (Dpar).

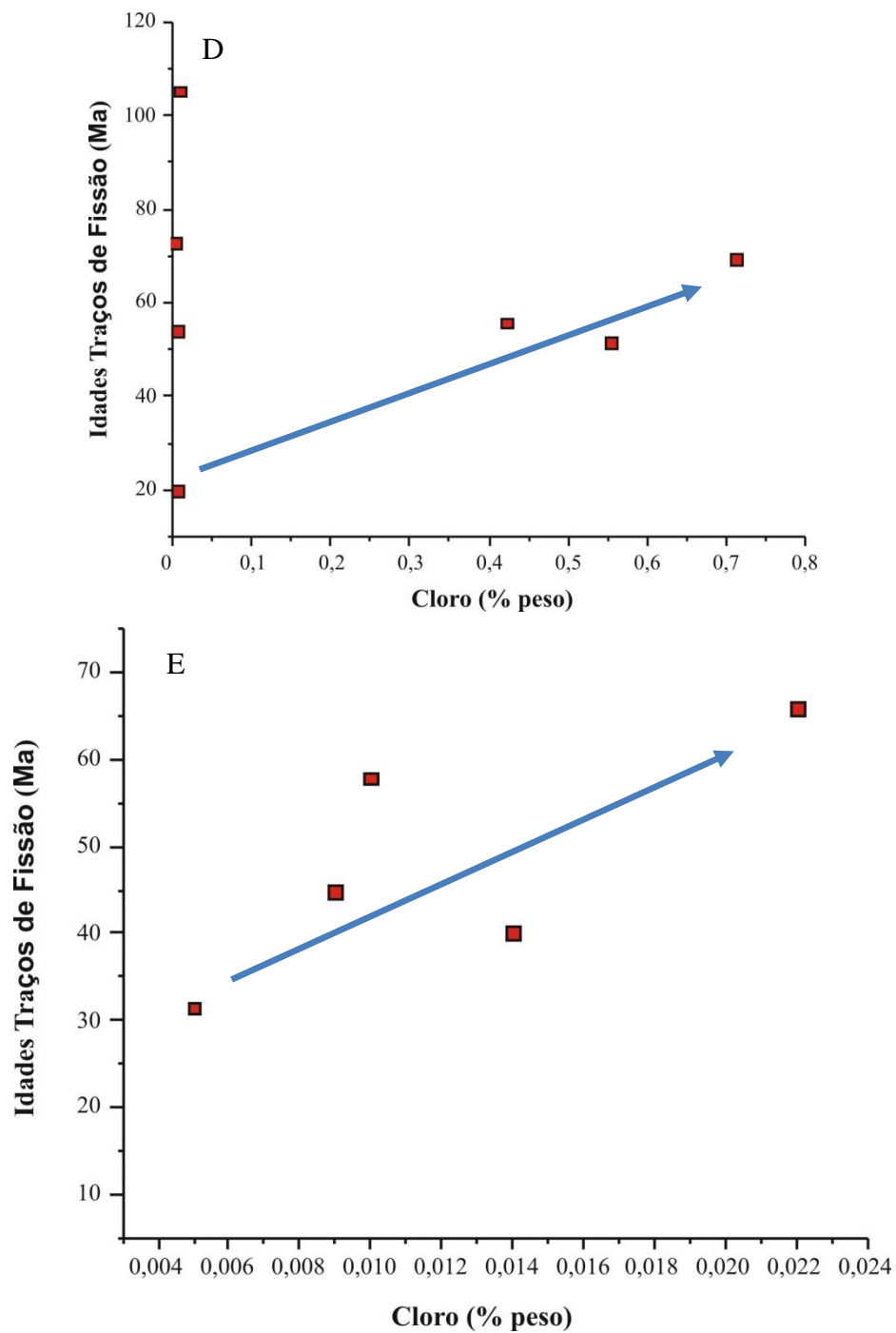


Figura - 3.6. Continuação das correlações entre os teores de Cl e as idades traços de fissão para as amostras de Santa Catarina e Paraná. A seta indica as amostras onde a variação dos teores de Cl interferiu diretamente na idade obtida. D) Santa Catarina e; E) Paraná.

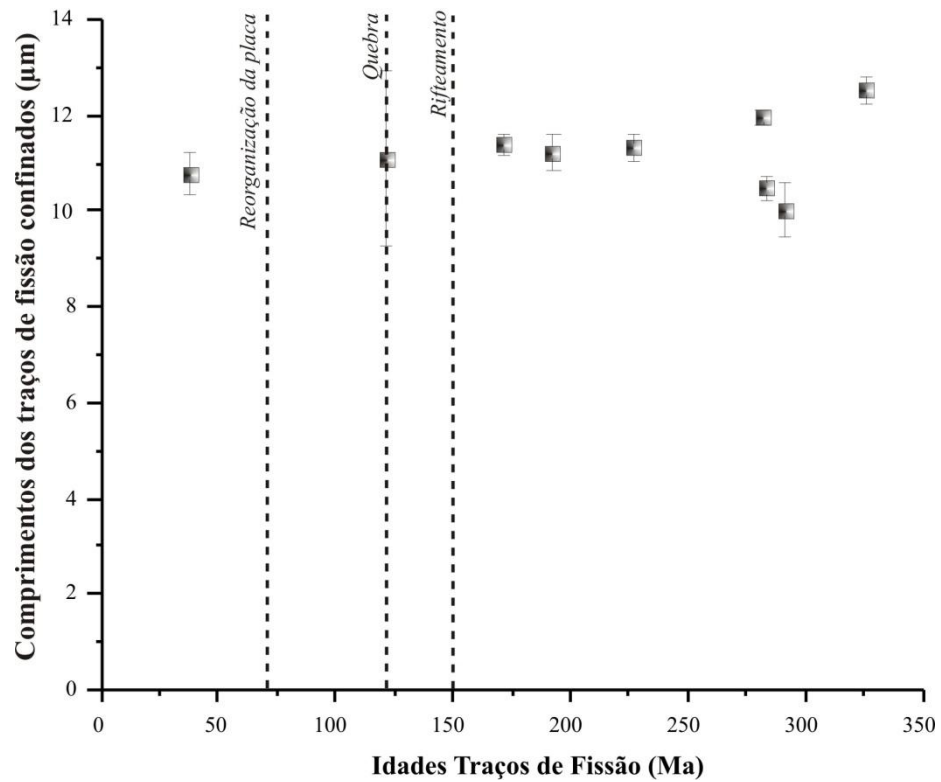


Figura - 3.7. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Uruguai.

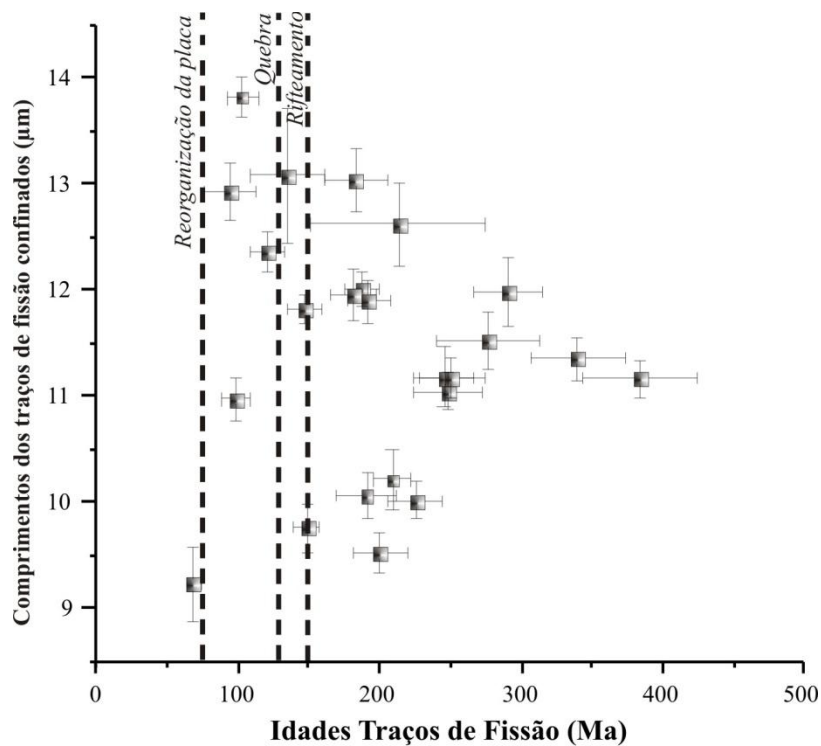


Figura - 3.8. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Rio Grande do Sul.

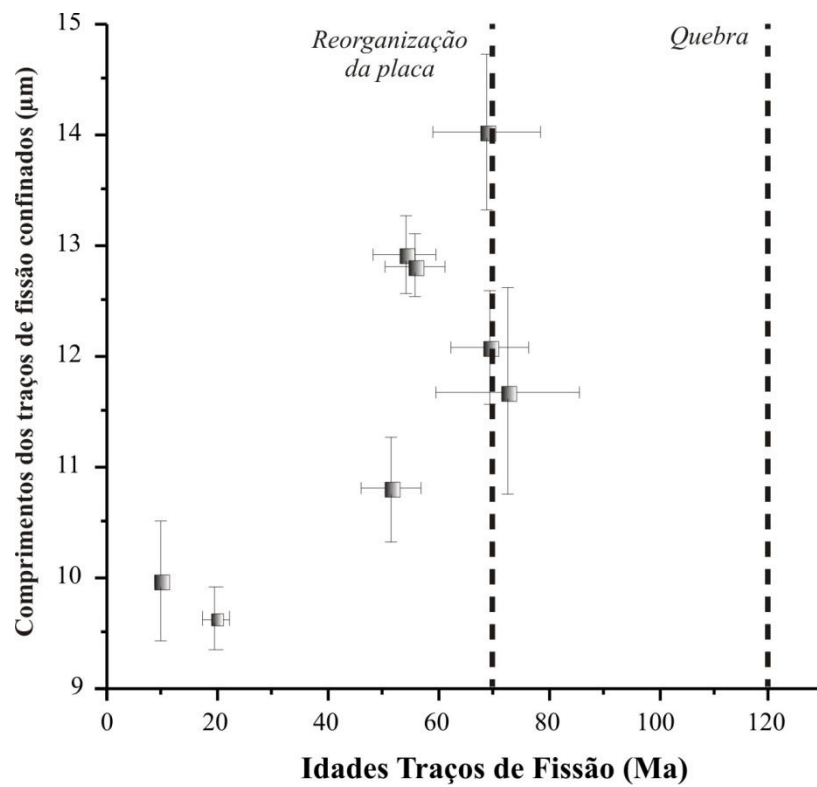


Figura - 3.9. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras de Santa Catarina.

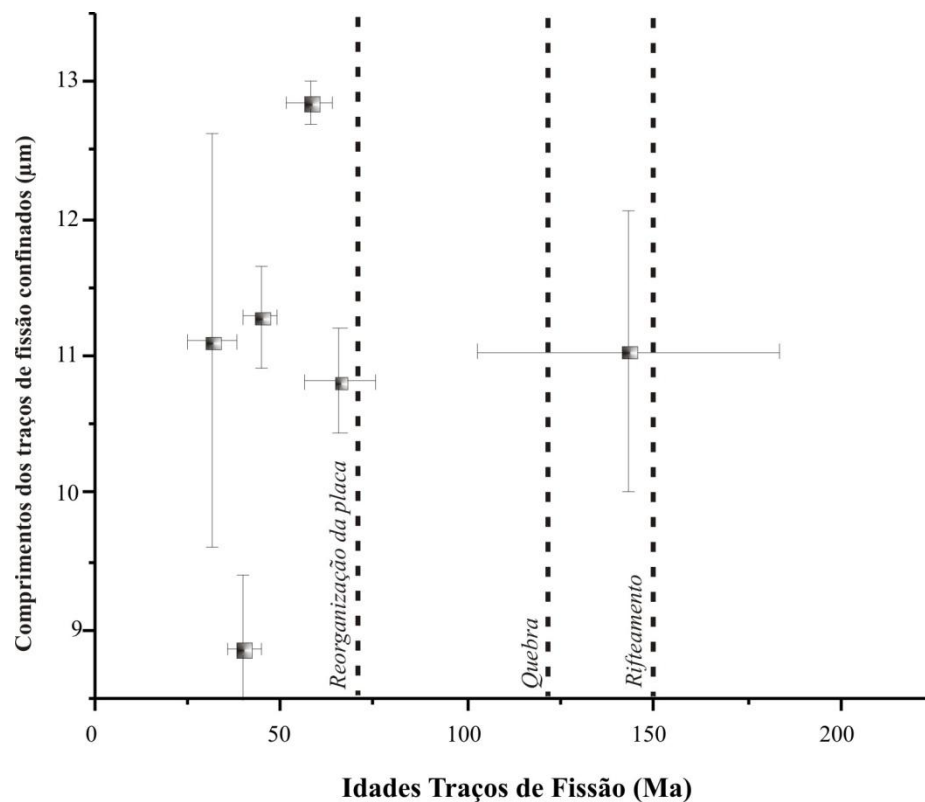


Figura - 3.10. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras do Paraná.

3.6 - ALTITUDE

Em amostras de margens continentais é provável que seja observada uma relação entre altitude e idades traços de fissão, ou seja, as amostras oriundas de altitudes elevadas apresentam idades traços de fissão mais antigas do que aquelas provenientes de áreas mais planas, ou de zonas de costa. Se isto é verdade, as amostras do Uruguai (FIG. 3.11) são condizentes com esta premissa. As amostras que se localizam no interior do continente apresentam altitudes mais elevadas, ao ponto que nas amostras onde se obteve as idades traços de fissão mais jovens estão próximas a zona de costa, a exceção para a amostra U-1 que não segue esta regra. Além disto, a partir de 125 Ma se pode observar uma correlação positiva entre as idades traços de fissão e suas respectivas altitudes como consequência de denudação lenta e contínua na região.

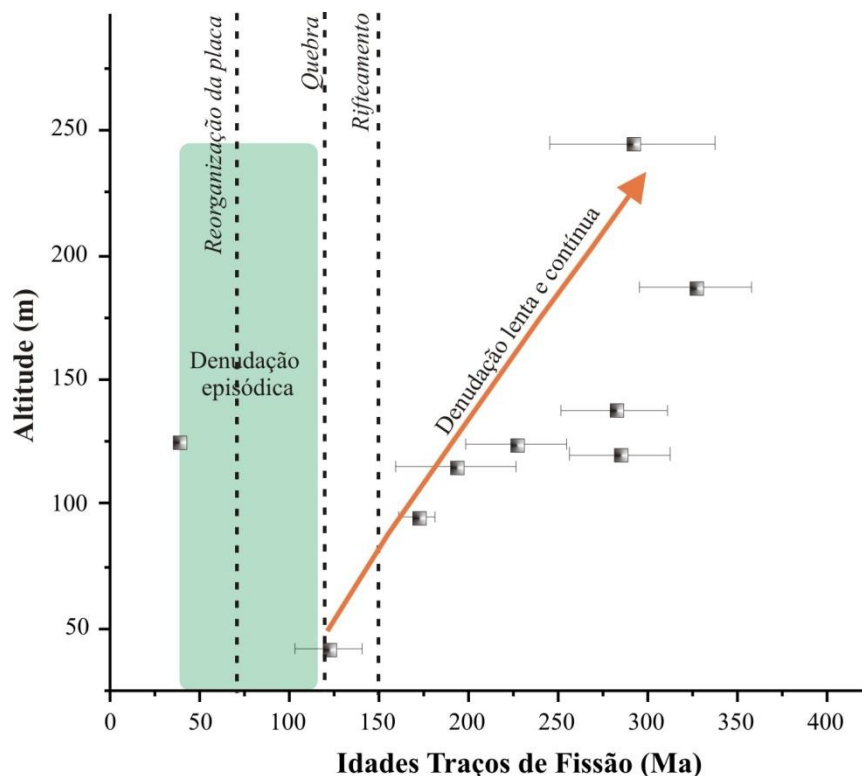


Figura - 3.11. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Altitude para as amostras do Uruguai.

Nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná (FIG. 3.12 e 3.14) não foi possível estabelecer um padrão claro de distribuição das idades traços de fissão e

suas localizações, sendo um reflexo de episódios esporádicos de denudação. No Rio Grande do Sul entre 125 e 50 Ma e no Paraná entre 80 e 10 Ma. De qualquer forma, as amostras do Rio Grande do Sul com idades traços de fissão superiores a 175 Ma apresentam uma correlação positiva com suas respectivas altitudes, sugerindo episódios de denudação lentos e contínuos.

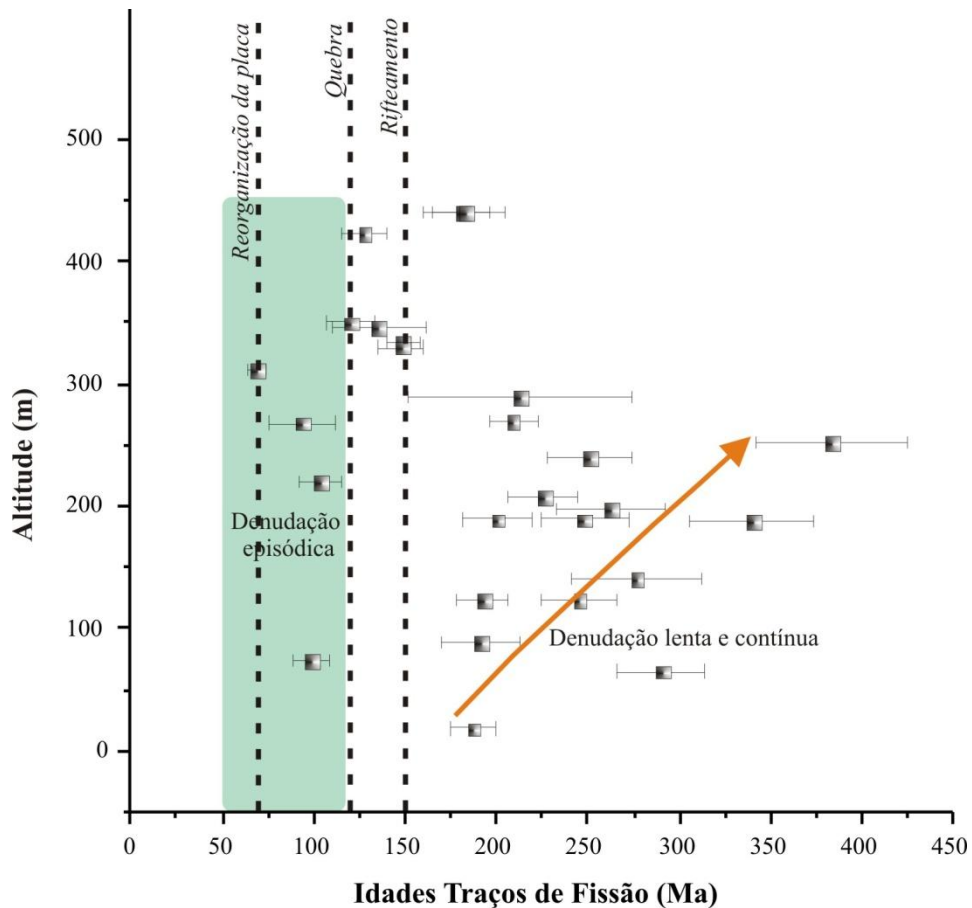


Figura - 3.12. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Altitude para as amostras do Rio Grande do Sul.

As amostras do estado de Santa Catarina (FIG. 3.13) não mostram uma distribuição clara entre a altitude e as idades traços de fissão, contudo é possível observar que aquelas amostras com baixas altitudes são oriundas da zona costeira. Este tipo de resultado geralmente é observado em áreas com atividade tectônica intensa com alternância de episódios de denudação entre 50 e 120 Ma.

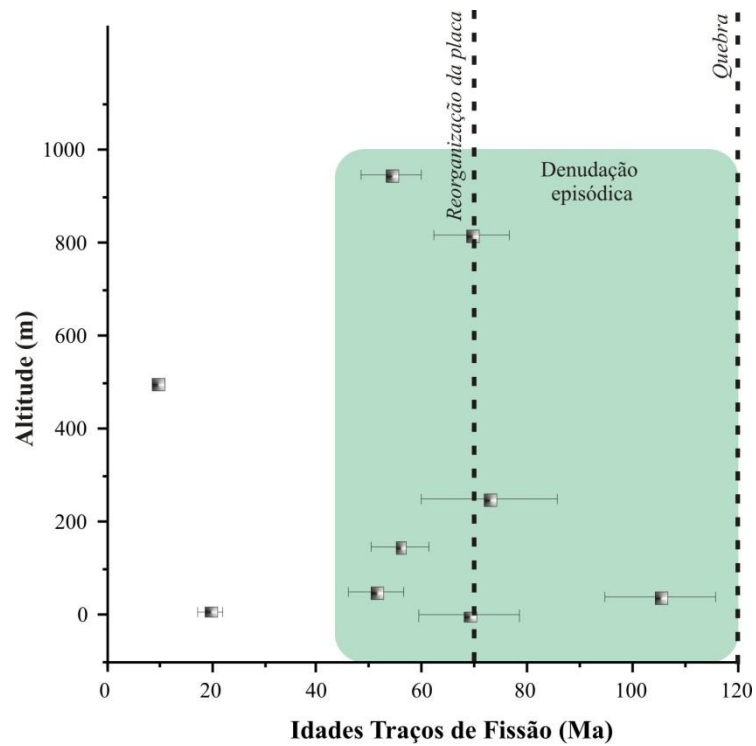


Figura - 3.13. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Altitude para as amostras de Santa Catarina.

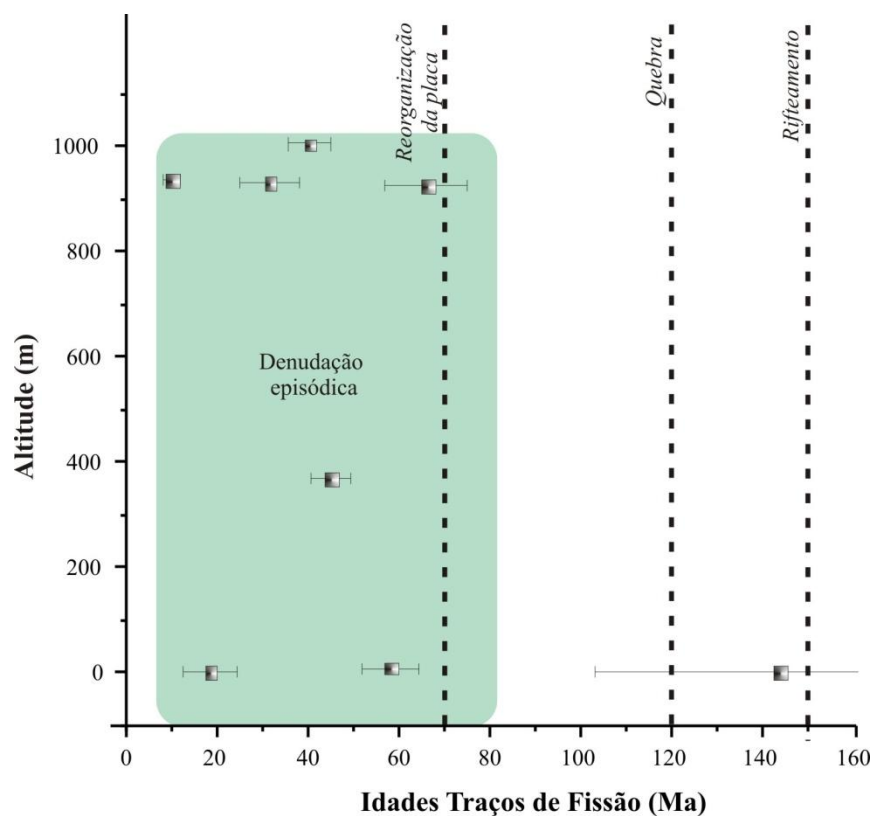


Figura - 3.14. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Altitude para as amostras do Paraná.

Tabela 3.5. Resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Uruguai.

Amostra	N	Ns	Ni	Nd	RhoD ($\times 10^5$)	Idade Central (Ma) $\pm 2\sigma$	Teor Cl (%)	n	Lm (μm)	Erro	D.P.	P(%)	Teor U (ppm)
U-1	50	1331	1543	16493	2,316	38 \pm 2,5	*	25	10,78	0,44	2,19	30,77	64,86
U-2	30	930	137	16493	2,316	281,8 \pm 30	0,32	73	11,96	0,15	1,3	99,19	21,16
U-3	23	358	51	16493	2,316	291,2 \pm 46	*	14	10,02	0,54	2,02	99,91	7,81
U-5	38	1805	281	16493	2,316	283,6 \pm 29	*	44	10,47	0,25	1,68	0,34	15,54
UR-4	25	1.018	190	13095	3,277	326,4 \pm 30,9	0,003	45	12,53	0,28	1,88	99,97	11,29
UR-7	16	238	75	13095	3,277	192,8 \pm 33	0,009	21	11,2	0,38	1,74	13,7	31,61
UR-8	29	392	102	13095	3,277	226,7 \pm 28	0,008	28	11,3	0,28	1,48	99,59	7,71
UR-9	50	3.217	1.159	13095	3,277	171,2 \pm 11	0,044	90	11,39	0,2	1,88	98,76	34,43
UR-10	19	147	64	13095	3,277	121,9 \pm 19	0,005	3	11,11	1,82	3,16	99,69	5

Tabela 3.5. Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Rio Grande do Sul.

Amostra	N	Ns	Ni	Nd	RhoD (x10 ⁵)	Idade Central (Ma) ± 2σ	Teor Cl (%)	DPar (μm)	n	Lm (μm)	Erro	D.P.	P(%)	Teor U (ppm)
SV-10	50	1977	385	7122	7,391	290,1 ± 24,2	*	*	27	11,99	0,32	1,68	100	15,21
PJV-2	50	773	279	16440	12,072	190,8 ± 21,3	0,005	*	65	10,07	0,22	1,77	100	7,36
PJV-3B	43	2451	842	16440	12,072	200,3 ± 19,2	0,011	*	105	9,54	0,19	1,92	82,99	25,82
PJV-3C	26	825	216	16440	12,072	247,9 □ 24	0,004	*	104	11,05	0,17	1,74	100	61,47
PJV-4	30	1230	278	15546	3,217	225,8 □ 19,1	*	*	96	10,01	0,18	1,72	99,5	20,65
PJV-5	10	727	157	15546	3,217	262,2 □ 29,9	0,014	*	*	*	*	*	91,13	24,01
PJV-6	28	2104	635	16440	12,072	213 ± 13,4	*	*	64	10,22	0,28	2,22	31,2	29,91
PJV-7	50	677	506	15546	3,217	70,3 ± 5,2	0,006	*	40	9,23	0,34	2,16	99,91	15,48
PJV-11	35	1456	1024	16440	12,072	98,6 ± 9,5	0,008	*	100	10,97	0,21	2,06	100	38,58
PJV-14	11	76	56	16440	12,072	94,2 □ 18,5	0,005	*	3	12,92	0,26	0,46	77,12	6,71
PJV-17	49	1672	712	16440	12,072	151,7 ± 9,4	0,005	*	106	9,76	0,23	2,35	99,6	19,16
RS-5	25	1232	156	16493	2,316	339,7 □ 33,8	0,259	*	35	11,35	0,21	1,22	99,97	16,9
RS-6	30	1145	128	16493	2,316	383,4 □ 40,9	0,032	*	66	11,16	0,17	1,42	99,99	10,97
RS-7	20	816	267	16493	2,316	130,2 ± 13,3	*	*	*	*	*	*	7,11	28,06
RS-8	50	3855	878	16493	2,316	191 ± 12,3	*	*	69	12,02	0,16	1,36	71,27	36,91
RS-11	46	2676	590	16493	2,316	196,2 ± 14,7	0,029	*	53	11,89	0,2	1,43	5,05	26,96
RS-12	50	2778	464	16493	2,316	250 ± 21	0,009	*	33	11,18	0,29	1,65	0,02	19,51
PRD-02	20	294	158	7600	5,067	120,6 ± 12,9	*	2,7	84	12,36	0,19	1,77	97,83	8,42
PRD-04	20	688	301	7600	5,067	147,8 ± 11,9	*	1,63	162	11,83	0,13	1,63	98,93	47,85
PRD-05	15	247	155	7600	5,067	103,4 ± 11,4	*	3,5	42	13,81	0,19	1,25	87,39	14,27
PRD-08	2	53	16	7600	5,067	213,1 ± 61,4	*	3,05	14	12,62	0,4	1,52	94,73	32,8
PRD-09	5	88	42	7600	5,067	135,6 ± 26	*	3,69	10	13,08	0,64	2,02	93,83	10,7
PRD-10	25	634	226	7600	5,067	180,9 ± 15,9	*	1,69	53	11,96	0,24	1,72	92,85	23,67
PRD-12	9	289	102	7600	5,067	182,7 ± 22,4	*	3,08	32	13,03	0,3	1,68	56,09	29,38
PRD-18	25	776	199	7600	5,067	250,5 ± 23,1	*	1,51	57	11,17	0,18	1,39	28,17	15,57
PRD-19	13	350	81	7600	5,067	276,6 ± 36	*	2,13	28	11,53	0,27	1,44	91,21	14,39

Tabela 3.5. Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras de Santa Catarina.

Amostra	N	Ns	Ni	Nd	RhoD ($\times 10^5$)	Idade Central (Ma) $\pm 2\sigma$	Teor Cl (%)	n	Lm (μm)	Erro	D,P,	P(%)	Teor U (ppm)
SC-1	24	139	116	7122	7,391	68,9 \pm 9,7	*	6	14,02	0,71	1,74	100	9,55
SC-3	40	204	541	9221	17,5	51,4 \pm 5,3	0,554	23	10,8	0,48	2,29	81	11,28
SC-4	34	259	232	13095	3,277	69,4 \pm 7,2	0,713	16	12,08	0,5	2,01	98	10,14
SC-5	49	224	257	13095	3,277	54,2 \pm 5,7	0,005	20	12,91	0,34	1,53	100	7,79
SC-6	44	476	259	7122	7,391	105,3 \pm 10,4	0,007	*	*	*	*	100	11,63
SC-7	22	81	64	7122	7,391	72,7 \pm 13	0,002	5	11,68	0,94	2,09	100	5,75
SC-8	40	359	370	7122	7,391	55,8 \pm 5,4	0,421	23	12,82	0,29	1,38	100	18,18
SC-9	37	252	1.590	11290	21,76	19,8 \pm 2,4	0,004	53	9,63	0,28	2	4,6	31,44
SC-10	51	124	1.615	11290	21,76	9,7 \pm 1,2	*	22	9,97	0,54	2,52	87	23,17

Tabela 3.5. Continuação do resumo dos dados Traços de Fissão em apatitas das amostras do Paraná.

Amostra	N	Ns	Ni	Nd	RhoD ($\times 10^5$)	Idade Central (Ma) $\pm 2\sigma$	Teor Cl (%)	n	Lm (μm)	Erro	D,P,	P(%)	Teor U (ppm)
PR-1	9	48	19	7122	7,391	143,5 \pm 40,5	*	*	*	*	*	53	4,17
PR- 3	3	17	27	21148	5,418	18,4 \pm 5,8	*	*	*	*	*	88	26,45
PR- 8	8	41	75	7122	7,391	31,5 \pm 6,4	0,005	*	*	*	*	98	18,52
PR-10	50	494	1386	11290	21,76	44,8 \pm 4,6	0,009	30	11,28	0,38	2,08	44	20,28
PR-11	50	806	435	21148	5,418	57,9 \pm 6,1	0,01	54	12,85	0,16	1,15	100	25,56
PR-12	21	30	383	11290	21,76	9,9 \pm 2,1	*	*	*	*	*	75	13,34
PR-13	25	165	131	7122	7,391	65,6 \pm 9	0,022	35	10,81	0,38	2,26	95	10,35
PR-14	35	228	713	11290	21,76	40,2 \pm 4,6	0,014	18	8,87	0,54	2,3	88	14,9

3.7 - HISTÓRIA TÉRMICA

A partir da determinação das idades traços de fissão, comprimentos dos traços de fissão confinados e distribuição destes comprimentos foi possível proceder ao modelamento das histórias térmicas das amostras estudadas com o auxílio do programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000). O modelo de *annealing* utilizado foi o de Ketcham et al. (1999). Na grande maioria das amostras o parâmetro cinético empregado foi o conteúdo de cloro, em % peso, observado para cada uma das amostras (TAB. 3.4). Em algumas amostras do Rio Grande do Sul, com legenda PRD, foi utilizado o parâmetro cinético Dpar, pois para estas amostras não foi determinado o percentual de cloro em microsonda eletrônica. Os modelamentos individuais para cada amostra obtidos estão ilustrados no Volume 2 - Anexo 2.

A Figura 3.15 ilustra o conjunto de histórias térmicas para as amostras do Uruguai. Os modelamentos desta região registram processos, em geral, contínuos de resfriamento desde o final do Pensilvaniano (318-300 Ma), com exceção da amostra UR-4 que registra um resfriamento rápido deste período até o Triássico Médio (228 Ma) e a partir do Campaniano até o Mioceno (83-23 Ma). As amostras localizadas mais no interior do continente e com altitudes mais elevadas registraram primeiro os eventos de resfriamento. As amostras próximas a zona de costa começaram a registrar os traços de fissão apenas no Noriano (216-204 Ma). Contudo, três amostras (U-5, UR-9 e UR-7) localizadas próximas a cidade de Montevidéu registraram um processo de aquecimento, que se estendeu do Anisiano - Titoniano ao Aptiniano (245-112 Ma), simultâneo ao processo de resfriamento das demais amostras. De qualquer forma, a maior parte das amostras do Uruguai se posicionou na ZAP após o Pensilvaniano, algumas amostras (U-3, UR-8, UR-9 e UR-7) permaneceram nesta zona até o Mioceno (23-5 Ma) e outras (UR-4, U-2 e UR-10) obtiveram a estabilidade e permaneceram na ZET somente a partir do Anisiano (245-237 Ma). A amostra U-5 se posicionou na ZET no Anisiano e somente é posicionada na ZAP após o Toarciano (183-176 Ma), onde permaneceu até se estabilizar no Campaniano (83-70 Ma). A amostra U-1 começa a registrar os traços de fissão tardiamente a partir do Bartoniano (40-37 Ma) e permanece na ZAP até o Mioceno (23-5 Ma).

As amostras do estado do Rio Grande do Sul (FIG. 3.16) registraram processos lentos e contínuos de resfriamento desde o final do Pensilvaniano (318-300 Ma). Este processo de resfriamento ficou primeiro registrado nas amostras

situadas mais no interior do continente, de elevadas altitudes e próximas ao Uruguai. Na medida em que as altitudes diminuem e a localização das amostras se aproxima da cidade de Porto Alegre o registro dos traços de fissão é cada vez mais tardio. A amostra PRD-2, localizada no Complexo Granítico Caçapava do Sul, registrou processos de resfriamento acelerados a partir do Bartoniano (40-37 Ma). As amostras RS-5, RS-11, RS-12, PJV-2, PJV-3B-C, PJV-7, PJV-11, PJV-17 e PRD-2 do Rio Grande do Sul se posicionaram na ZAP após o Pensilvaniano (318-300 Ma). Contudo, as amostras RS-5 e RS-11 se estabilizaram e se posicionaram na ZET a partir do Barremiano (130-125 Ma) e Valanginiano (140-136 Ma), respectivamente. As amostras RS-6 e RS-8 começaram a registrar os traços de fissão na ZET após o Pensilvaniano (318-300 Ma) e Toarciano (183-176Ma), respectivamente. Processos de resfriamento ficaram impressos nas amostras SV-10, PRD-8, PRD-12, PRD-4, PRD-9, PJV-14 e PRD-5 desde o Triássico Médio (245-228 Ma). Contudo, estas amostras registraram diversos pulsos de resfriamento, ou seja, processos de resfriamento tanto lentos quanto rápidos e contínuos. Apenas uma amostra (PRD-4) registrou um processo de aquecimento durante o Barremiano (130-125 Ma). As amostras PRD-8, PRD-12, PRD-4, PJV-14 e PRD-5 após os processos de resfriamento permaneceram na ZAP até o Mioceno (23-5 Ma), com exceção das amostras PJV-14 e PRD-4 que se posicionam na ZET a partir do final do Senoniano (90-65 Ma) e Selandiano (60-58 Ma), respectivamente. Porém antes destes períodos a amostra SV-10 obtém a estabilidade e se posiciona na ZET em meados do Noriano (216-204 Ma). Esta amostra parece ser a única deste conjunto de amostras que registrou um processo de resfriamento lento e contínuo durante todo o período. No Rio Grande do Sul também ficou preservado o registro de processos de aquecimento desde o Noriano até o Valanginiano (216-136 Ma) nas amostras PJV-4, PJV-6 e PRD-18, sendo que nas amostras PJV-4 e PRD-18 este processo se estende até o Mioceno (23-5 Ma). Na amostra PJV-6 um processo de resfriamento lento e contínuo é registrado após o Valanginiano (216-136 Ma). Todo este conjunto de amostras é posicionado na ZET após o Noriano (216-204 Ma), porém a amostra PJV-6 entra na ZAP em meados do final do Toarciano (183-176 Ma) e somente retorna a ZET no Mioceno. As outras duas amostras permanecem na ZET até o Selandiano (61-58 Ma) somente retornando a partir da metade do Mioceno.

A Figura 3.17 ilustra as histórias térmicas obtidas para as amostras do estado de Santa Catarina. As histórias térmicas evidenciam processos de resfriamento contínuos a partir do Campaniano (83-70 Ma). Apesar de haver amostras com

elevadas altitudes, por exemplo, a amostra SC-5 (950m) e SC-4 (820m), ambas situadas na Serra do Mar, os processos de resfriamento catarinenses foram primeiro registrados na amostra SC-7 (250m), localizada no Cinturão Tijucas e de altitude mediana para a região, mas que apresenta a idade mais antiga (~72 Ma). Depois, os processos de resfriamento foram registrados somente a partir do Selandiano (60-58 Ma) nos traços de fissão da amostra SC-8 e no Bartoniano (40-37 Ma) na amostra SC-3. Nas amostras da Serra do Mar (SC-4 e SC-5) estes processos de resfriamento também foram registrados no Selandiano e Bartoniano, respectivamente. A amostra SC-1 situada no Cinturão Tijucas, na zona de costa, e próxima ao Alinhamento Rio do Sul começa a registrar os processos de resfriamento no Selandiano (60-58 Ma). As amostras catarinenses apresentam rápidas passagens pela ZAP entre o Campaniano e o início do Paleoceno (83-65 Ma) e, entre o Selandiano e o início do Oligoceno (60-33 Ma).

As histórias térmicas das amostras do estado do Paraná estão reunidas na Figura 3.18. Os traços de fissão dessas amostras começaram a registrar processos de resfriamento contínuos somente no Selandiano (60-58 Ma; PR-13). Depois disto, os processos de resfriamento foram registrados somente no Bartoniano (40-37 Ma; PR-10, PR-11 e PR-14), onde as amostras permaneceram na ZAP até a metade do Mioceno. Contudo, a amostra PR-11, situada no Terreno Luiz Alves e próxima a zona de costa, tem sua passagem para a ZET anterior a metade do Mioceno sendo diferente das outras amostras, que estão sob influência do Arco de Ponta Grossa. Sua história térmica mostra que os traços de fissão são registrados inicialmente no limite entre a ZAP e a ZET.

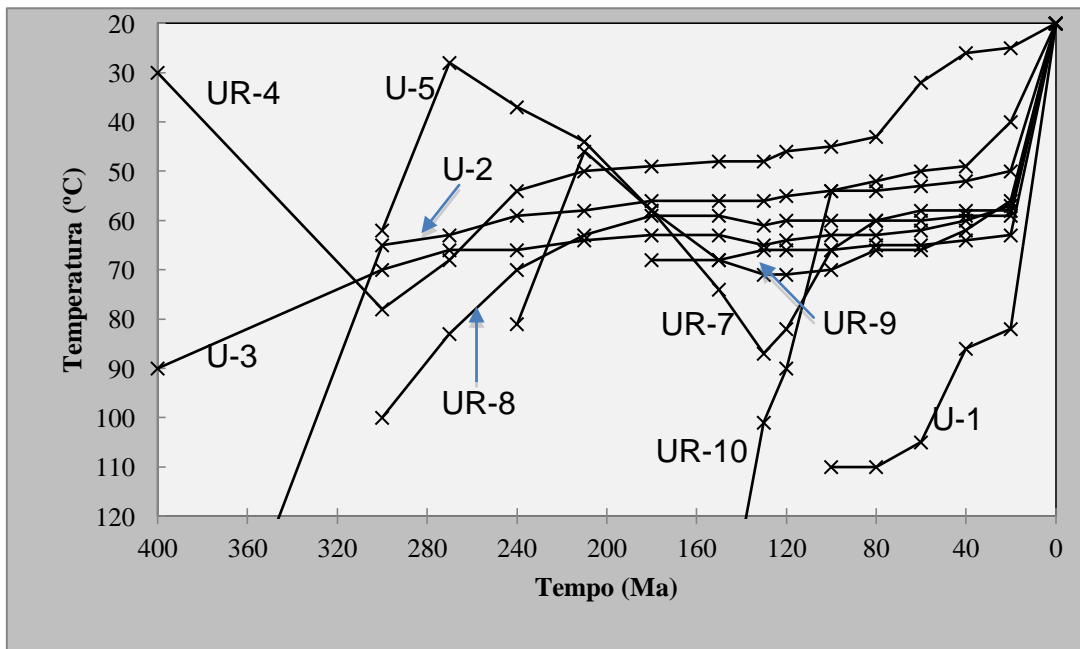


Figura - 3.15. Diagrama de comparação dos melhores *best-fit* das amostras localizadas no Uruguai, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).

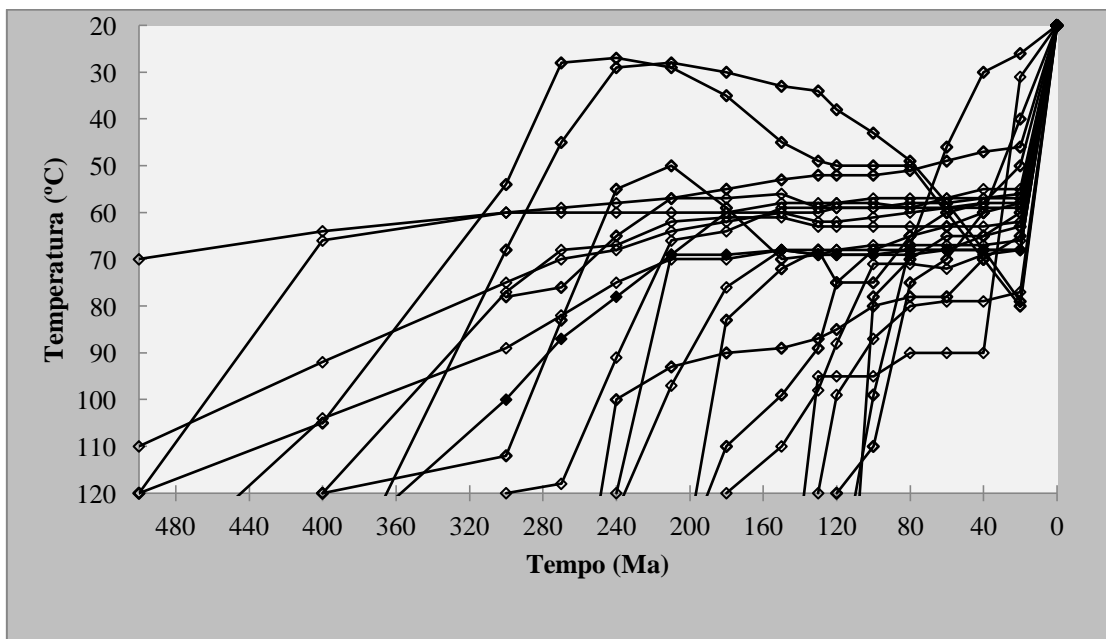


Figura - 3.16. Diagrama de comparação dos melhores *best-fit* das amostras localizadas no estado do Rio Grande do Sul, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).

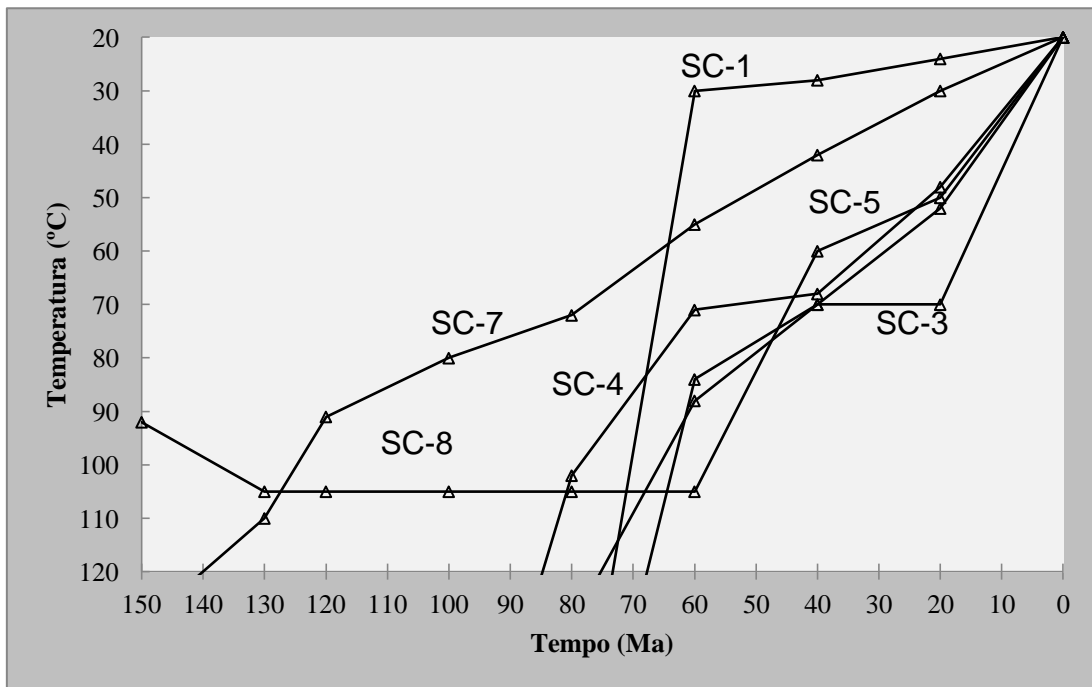


Figura - 3.17. Diagrama de comparação dos melhores *best-fit* das amostras localizadas no estado de Santa Catarina, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).

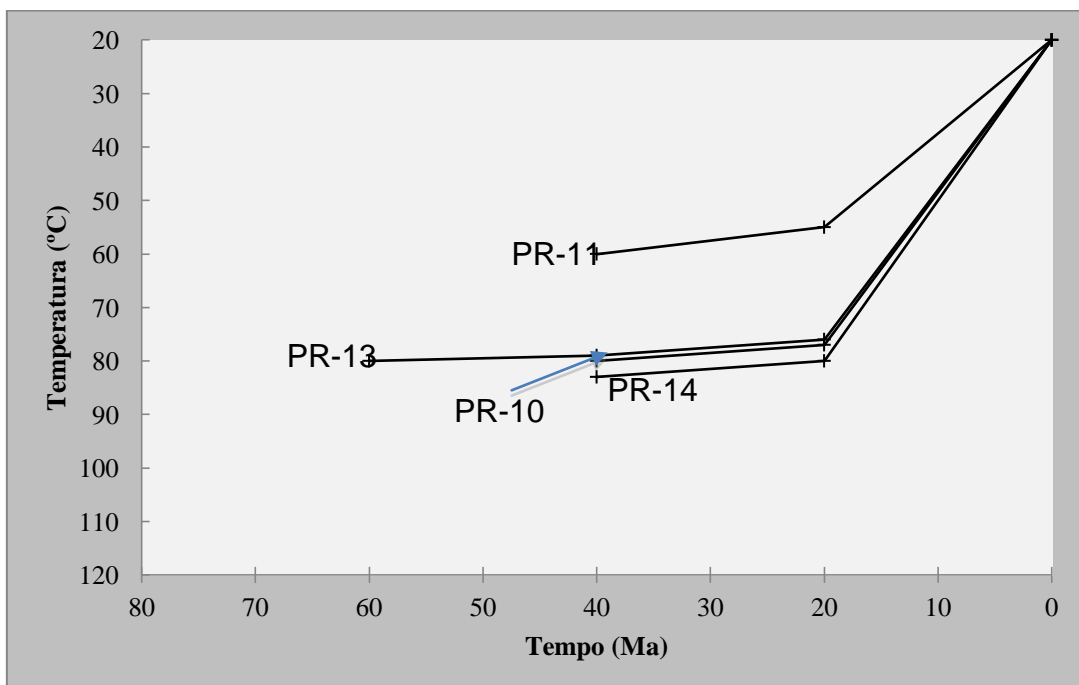


Figura - 3.18. Diagrama de comparação dos melhores *best-fit* das amostras localizadas no estado do Paraná, obtidas a partir do modelamento das histórias térmicas simuladas com o programa AFTSolve v. 1.4.1 (Ketcham et al., 2000).

3.8 - PALEOTEMPERATURAS

A partir dos dados obtidos dos *best-fits* dos modelamentos das histórias térmicas das amostras selecionadas das regiões sul e sudeste da América do Sul foi possível calcular as paleotemperaturas que estavam submetidas as amostras quando registraram os traços de fissão. Os parâmetros utilizados foram os mesmos empregados nos modelamentos das histórias térmicas das amostras. As Figuras 3.19 a 3.30 Ilustram os mapas de contorno de paleotemperaturas obtidos para a área de estudo. Os valores de paleotemperaturas observados refletem a quantidade de resfriamento que é necessário para que as rochas alcancem a temperatura superficial no tempo indicado.

A análise dos dados de paleotemperaturas mostra que o Uruguai é caracterizado por valores de temperaturas superiores a 60°C já no Pensilvaniano (318-300 Ma; UR-4), coincidindo com o período de resfriamento da região. Contudo, de maneira localizada algumas amostras (UR-7, UR-9 e U-5) registram um aumento de temperatura, podendo chegar a 87°C, no Noriano-Albiano (216-100 Ma). Outras amostras (UR-8 e U-3) mostram um período de temperaturas oscilantes durante o Noriano-Aptiano (216-112 Ma), em média um a dois graus aumentam ou diminuem em intervalos que variam de 20 a 10 Ma. A partir do Campaniano (83-70 Ma) até o Pleistoceno (2,0 Ma) a região apresenta temperaturas da ordem de 49°C, com um pico de temperatura mais elevada, de até 86°C no Cinturão Dom Feliciano (U-1) nas proximidades do limite entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul, próximas ao Cone do Rio Grande do Sul.

O estado do Rio Grande do Sul registra valores de temperaturas da ordem de 60°C desde o Pensilvaniano (316-300 Ma; RS-5 e RS-6) na região sob influência da Bacia de Retro-Arco Brasileira (RS-5 e RS-6) próxima da região do domínio do Cinturão Tijucas. No Roadiano (271-268 Ma) as temperaturas se elevam até 76°C (SV-10) nesta região. No Anisiano (245-237 Ma) a região de Camaquã (PRD-18) registra as menores temperaturas do estado, 27°C, evoluindo para um processo de aquecimento nesta região até o Mioceno (23-5 Ma) com temperaturas da ordem de 80°C. Temperaturas inferiores a 30°C, que marcam o início de processos de aquecimento, são registradas no Cinturão Dom Feliciano (PJV-4 e PJV-6) desde o Noriano até o Mioceno (216-23 Ma). Por outro lado, temperaturas elevadas (93°C) são obtidas na região de Encruzilhada do Sul, próximas a uma zona de

cisalhamento, nesta mesma época. Logo depois, no Tuarciano (183-176 Ma), esta região registra temperaturas da ordem de 110°C (PRD-12), sendo as temperaturas mais elevadas obtidas para o estado até esta época. Assim, o registro da fase de rifteamento foi preservado nestas áreas do estado do Rio Grande do Sul. Durante o Titoniano - Aptiano (151-112 Ma), em áreas localizadas do estado (RS-12, PJV-2, PJV-3C, PJV-4 e PJV-6), foi registrado um aquecimento não superior a 70°C que coincide com a época de ruptura do Gondwana. A partir do Aptiano a região de Encruzilhada do Sul (PRD-9) continua a registrar as temperaturas mais elevadas do estado, da ordem de 120°C. Temperaturas superiores a 90°C (PJV-14 e PRD-2) também são observadas no Albiano (112-100 Ma). A partir do Campaniano (83-70 Ma) todo o estado do Rio Grande do Sul apresenta um decréscimo nas temperaturas, sendo elas não superiores a 90°C. Este padrão se mantém até atingir o gradiente geotérmico atual, sendo em algumas regiões do estado contínuo, por vezes constante e em outras regiões abrupto com a diminuição da temperatura em até 60°C (PRD-2, PRD-9, e PRD-19) entre o Bartoniano e o Mioceno (40-23 Ma). Diminuição abrupta de temperatura no estado entre o Mioceno e o presente só não é observada na amostra PJV-4, no resto do estado chega a diminuição chega a 60°C em relação ao gradiente geotérmico atual.

O estado de Santa Catarina começa a registrar temperaturas em torno de 72°C na região de domínio do Cinturão Tijucas, próximo ao Alinhamento Rio do Sul (SC-7) apenas no Campaniano (83-70 Ma). Temperaturas elevadas, até 88°C, no Selandiano (60-58 Ma) também foram obtidas nesta região (SC-8). O padrão de decréscimo das temperaturas catarinenses não se modifica desde o Campaniano até o presente, sendo que os dados indicam ter se iniciado na região que está sob influência da Serra do Mar.

O estado do Paraná, pelo menos a região que está sob influência do Arco de Ponta Grossa, se caracteriza por registrar temperaturas somente a partir do Selandiano (60-58 Ma) da ordem de 80°C. Durante o Bartoniano e Mioceno (40-23 Ma) o padrão de temperaturas, às vezes acima de 80°C (PR-14) se mantém, se modificando somente no Pleistoceno (~2,0 Ma) onde há um decréscimo de até 60°C de temperatura até ser atingido o gradiente geotérmico atual; neste período a região entra na ZET.

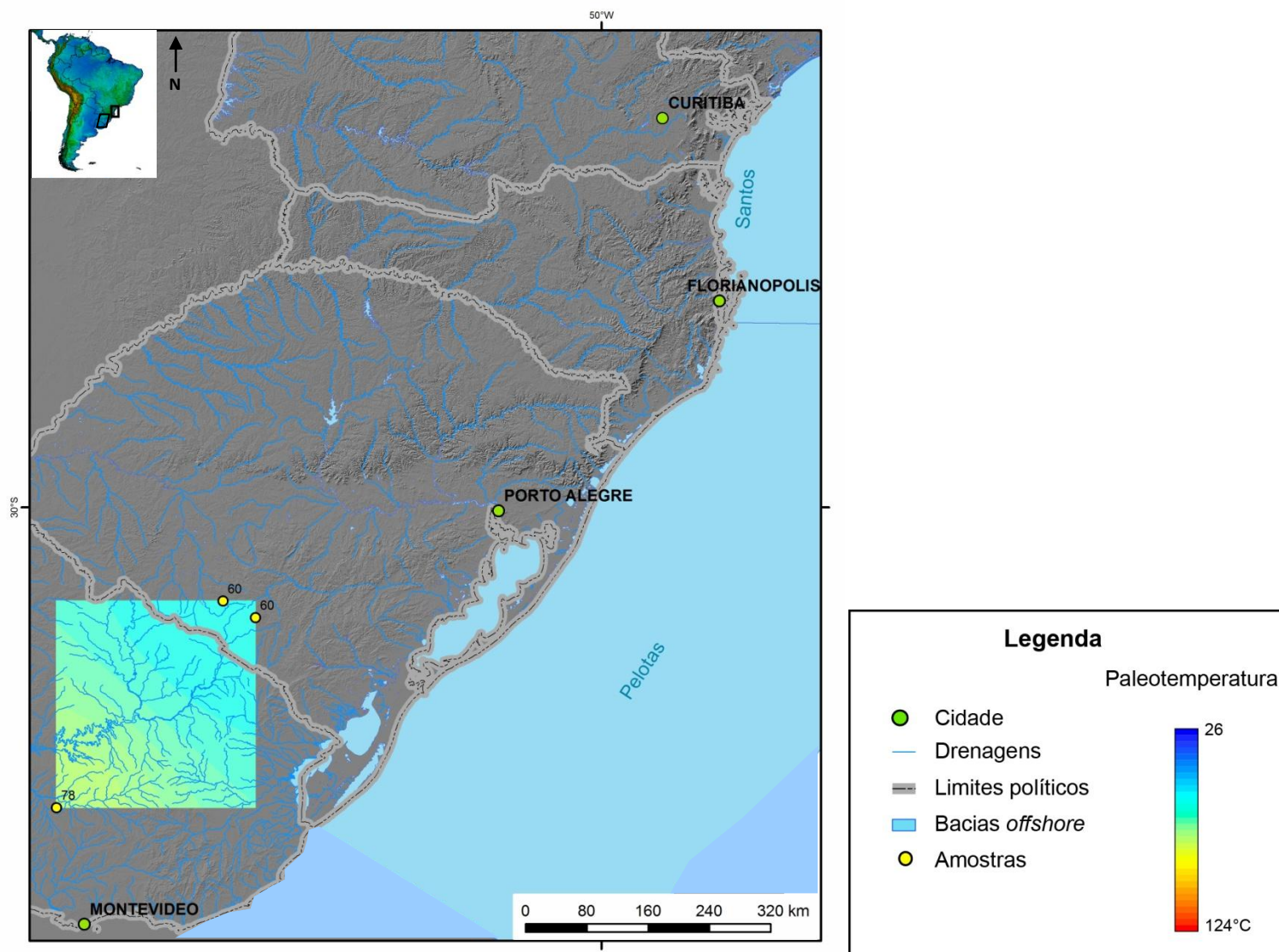


Figura - 3.19. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 300$ Ma.

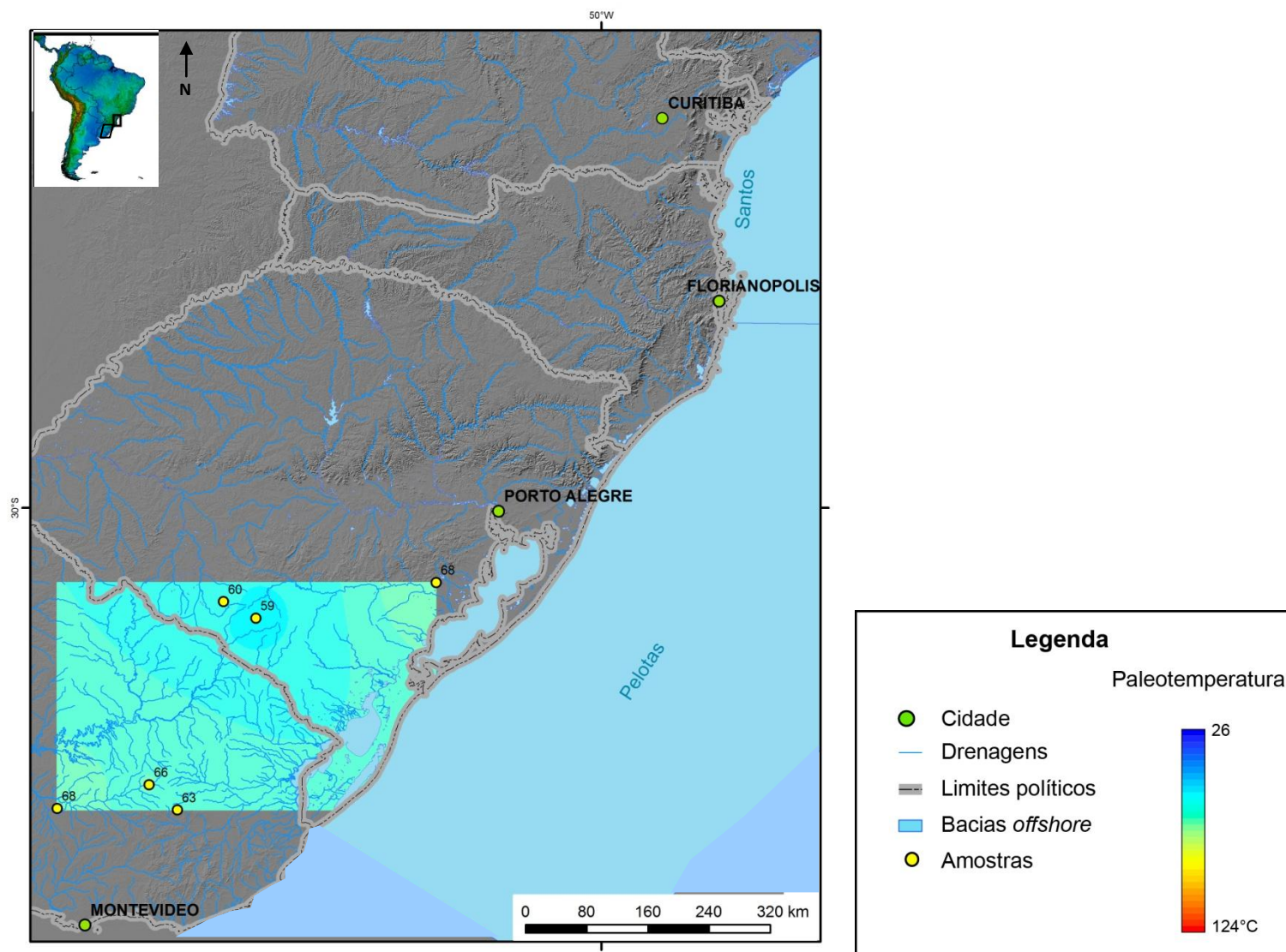


Figura - 3.20. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 270$ Ma.

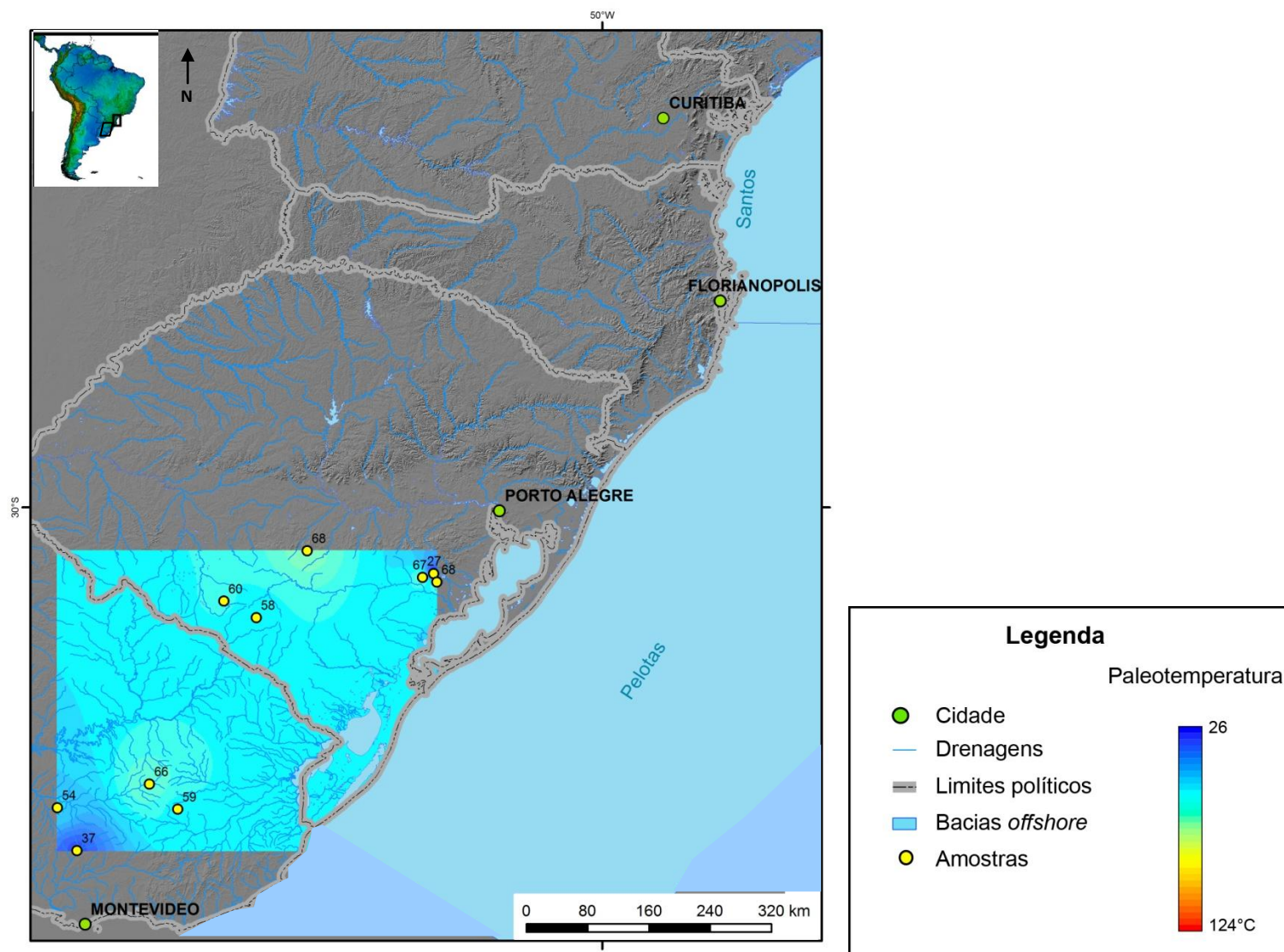


Figura - 3.21. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 240$ Ma.

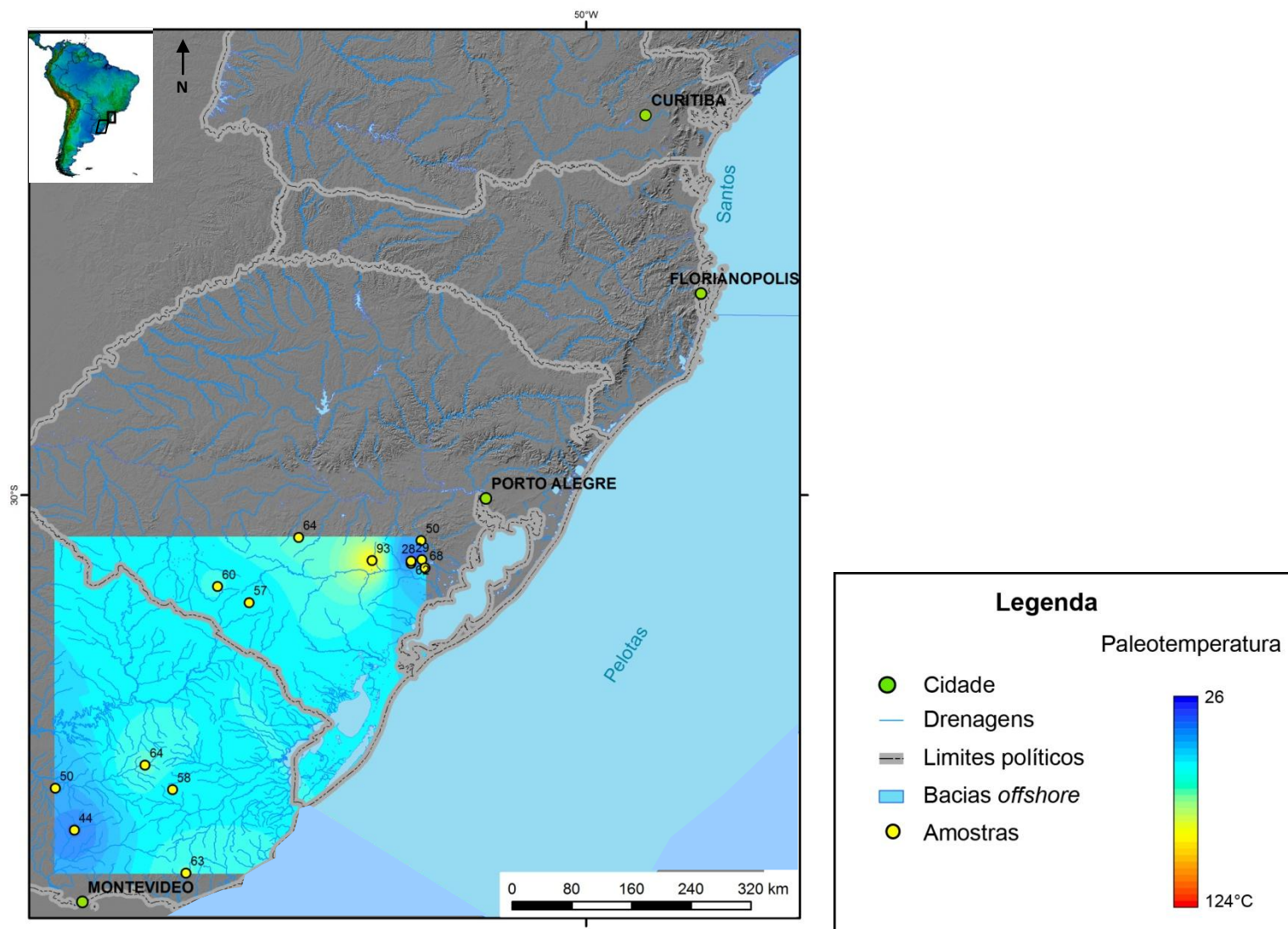


Figura - 3.22. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 210$ Ma.

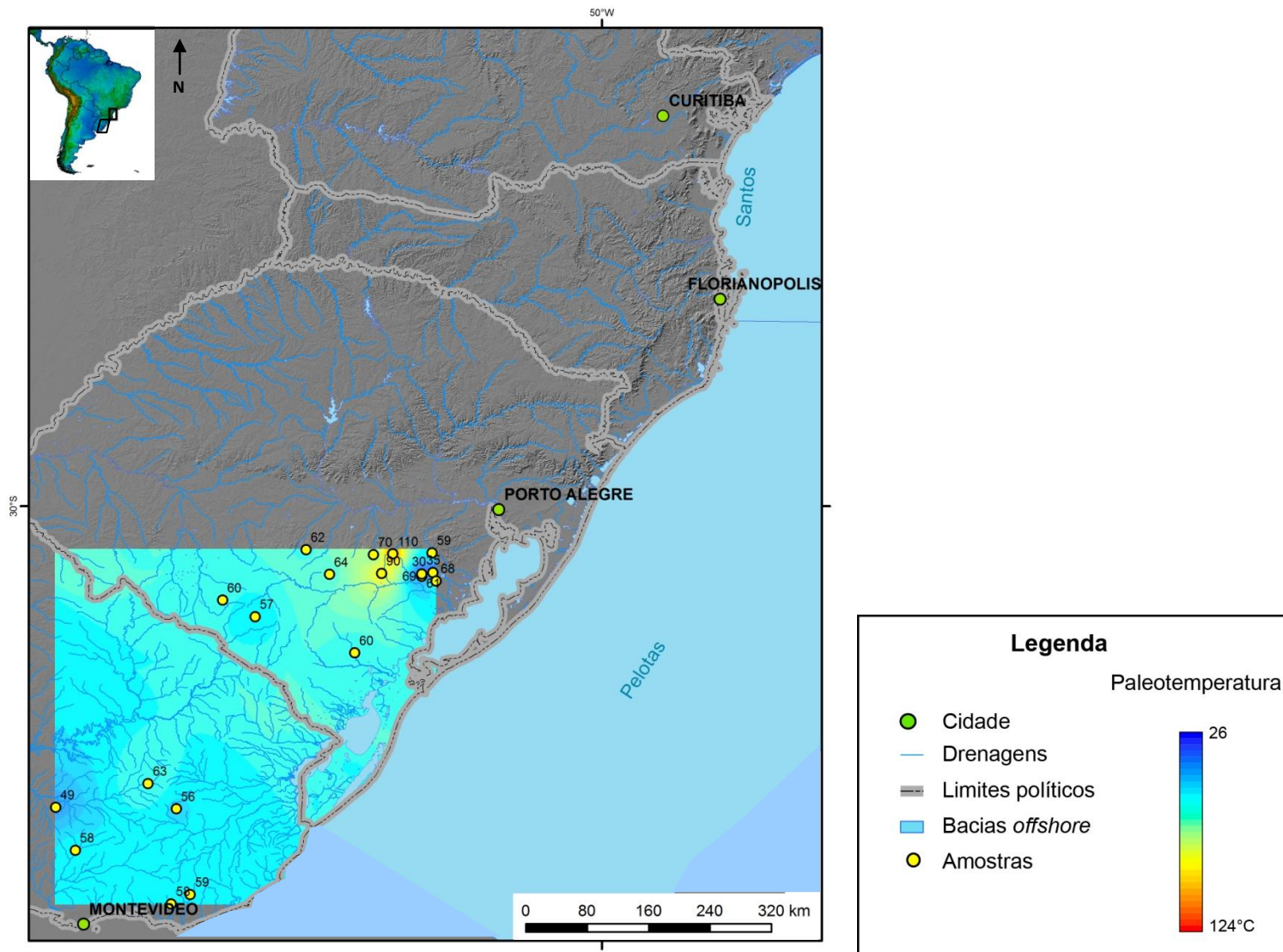


Figura - 3.23. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 180$ Ma.

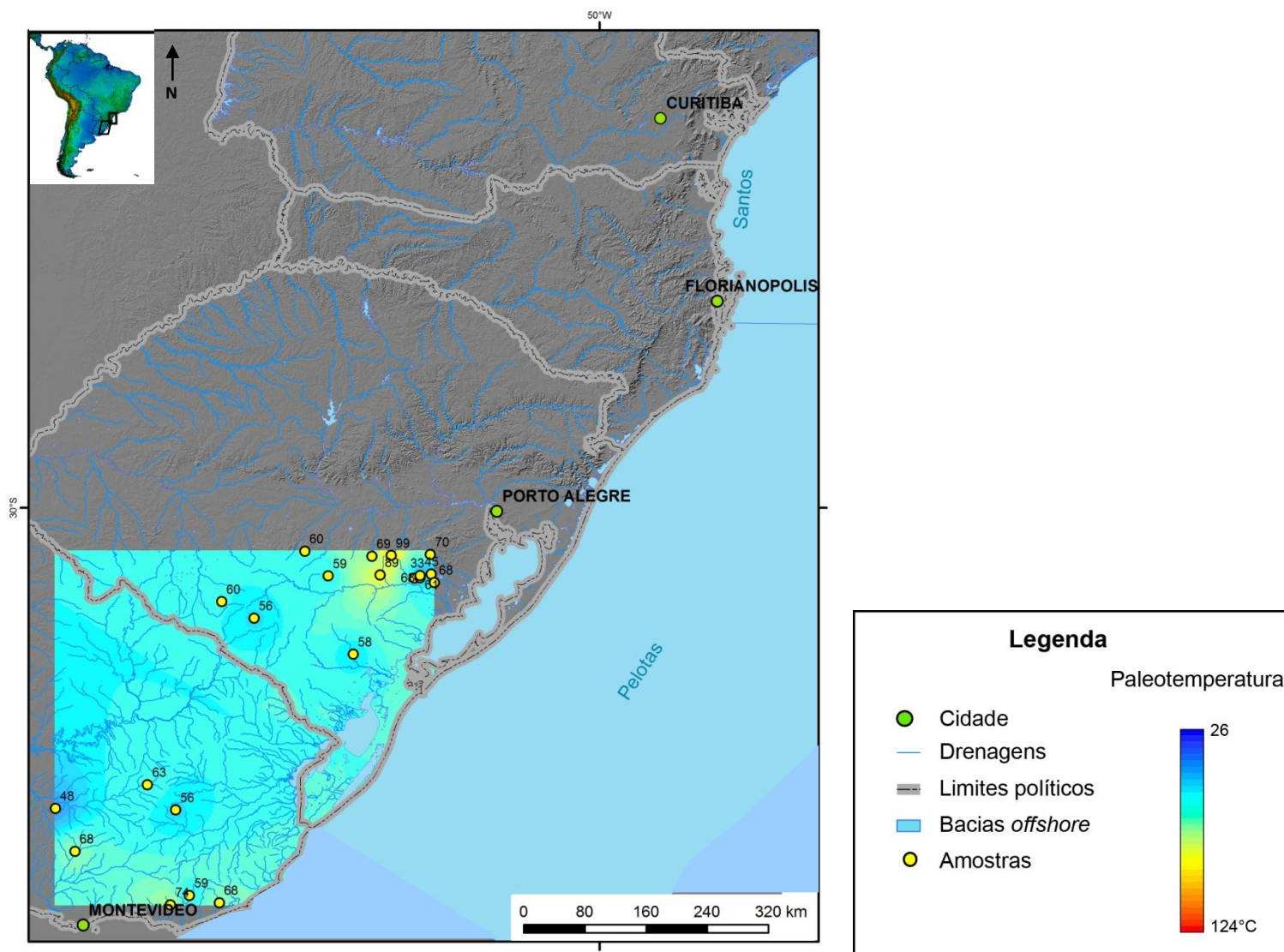


Figura - 3.24. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 150$ Ma.

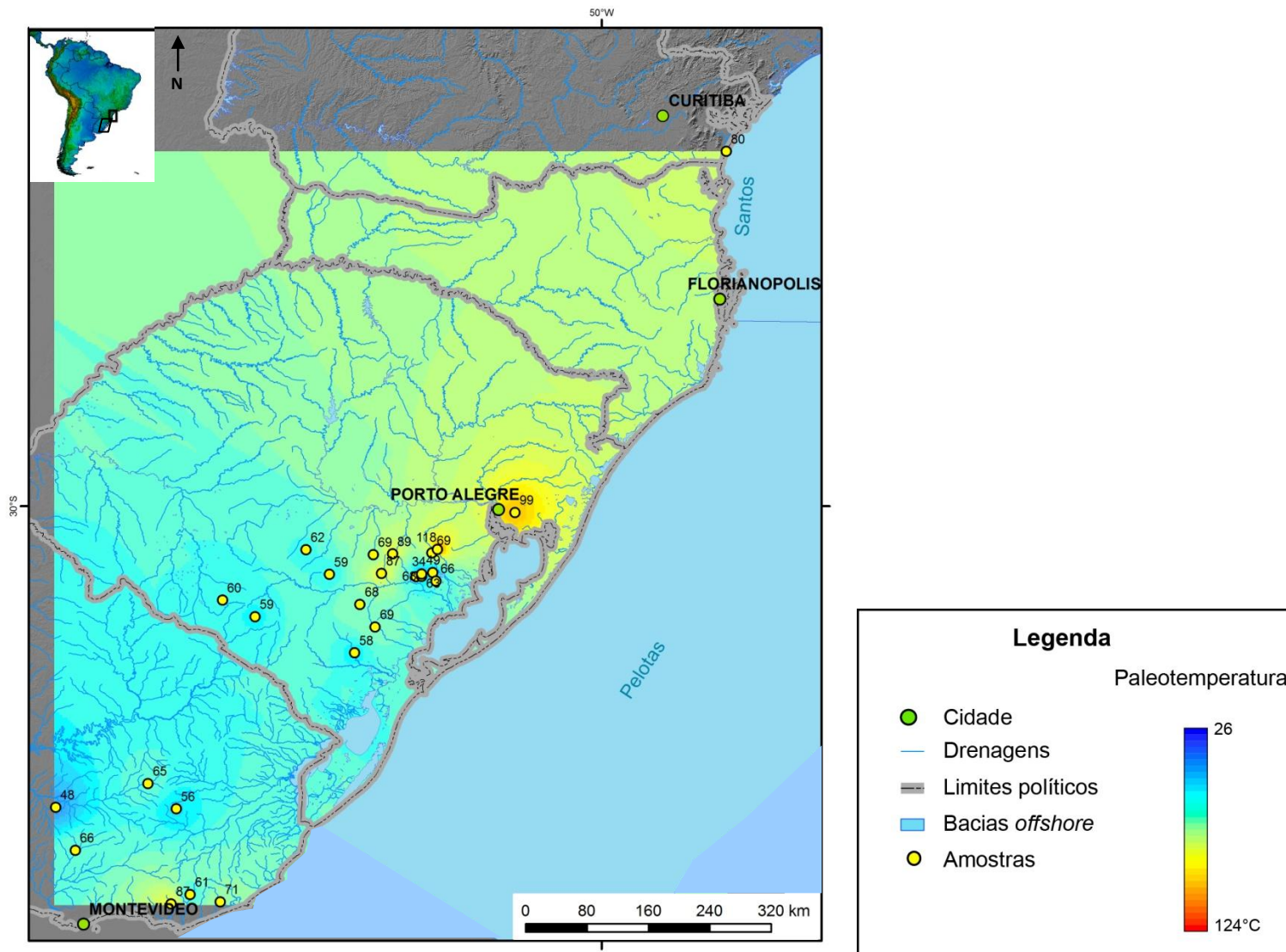


Figura - 3.25. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 130$ Ma.

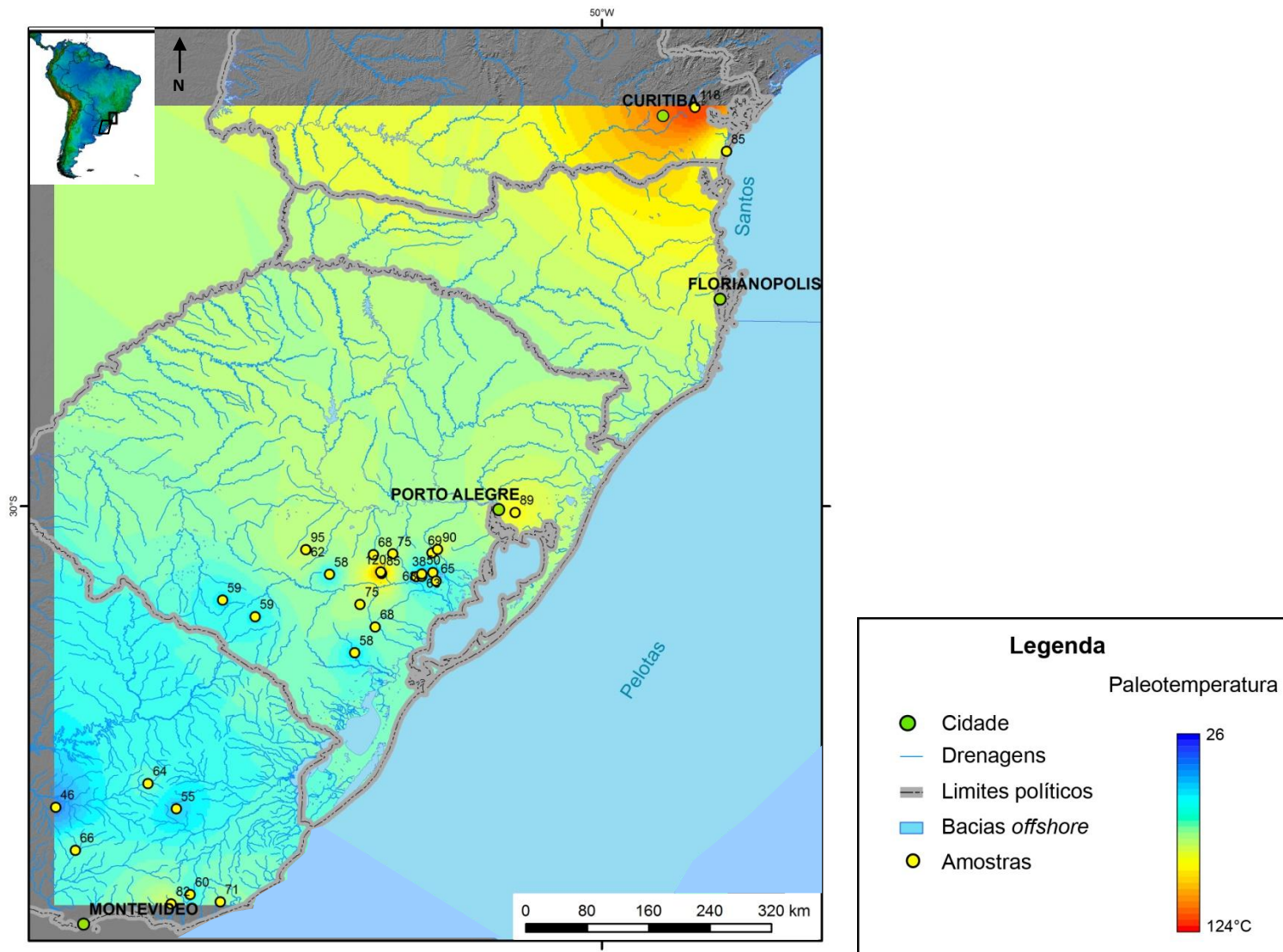


Figura - 3.26. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 120$ Ma.

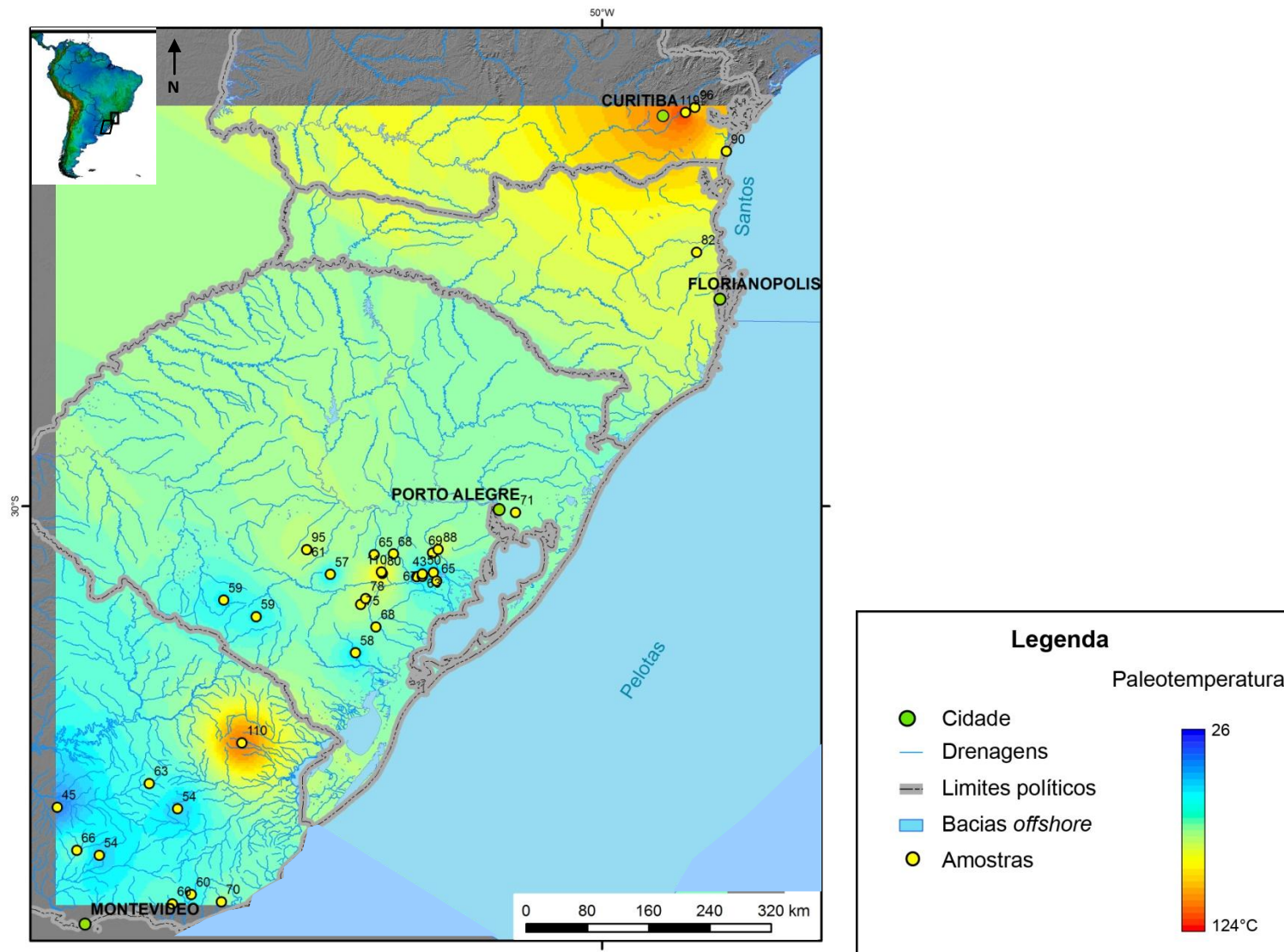


Figura - 3.27. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 100$ Ma.

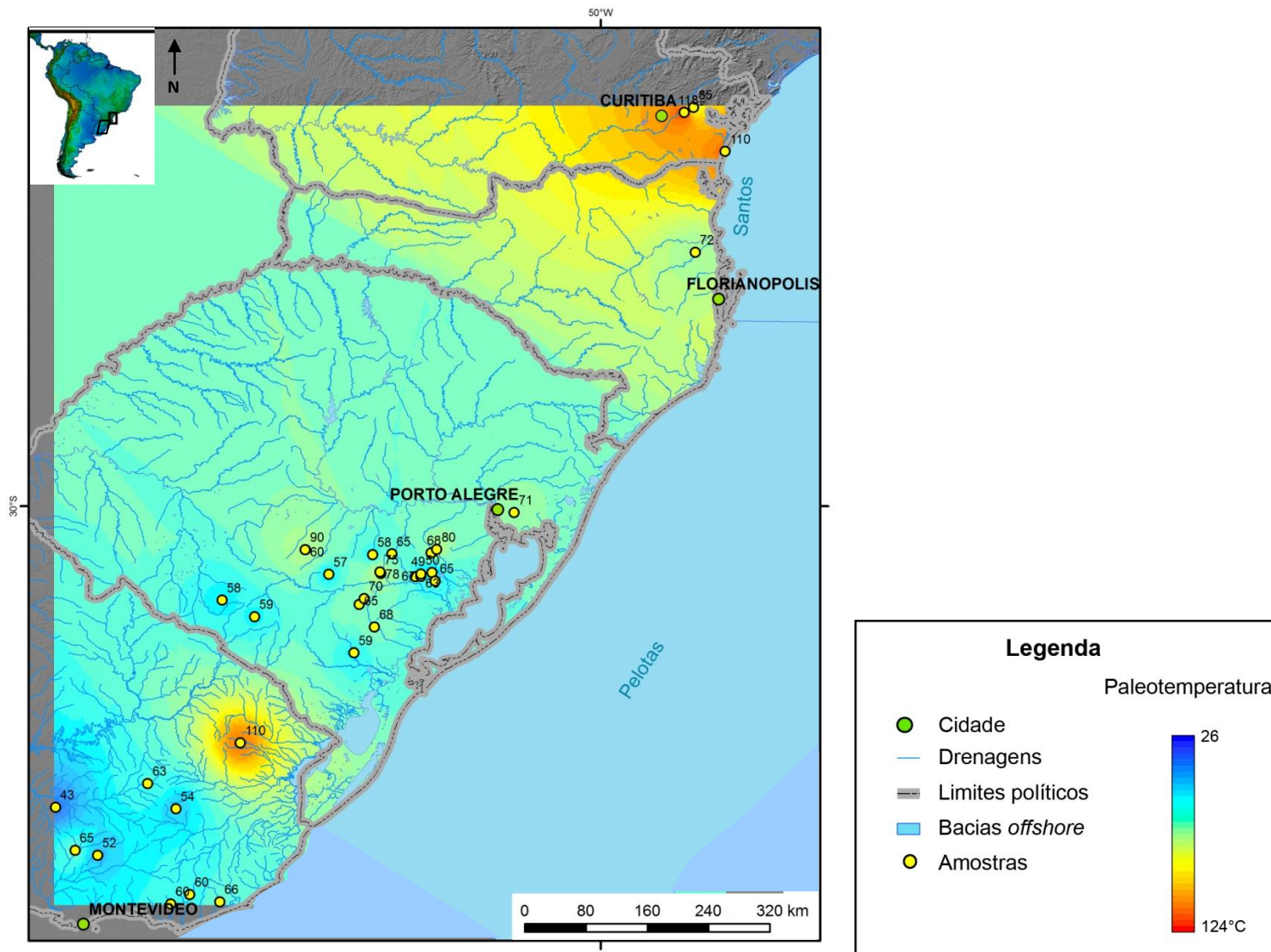


Figura - 3.28. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 80$ Ma.

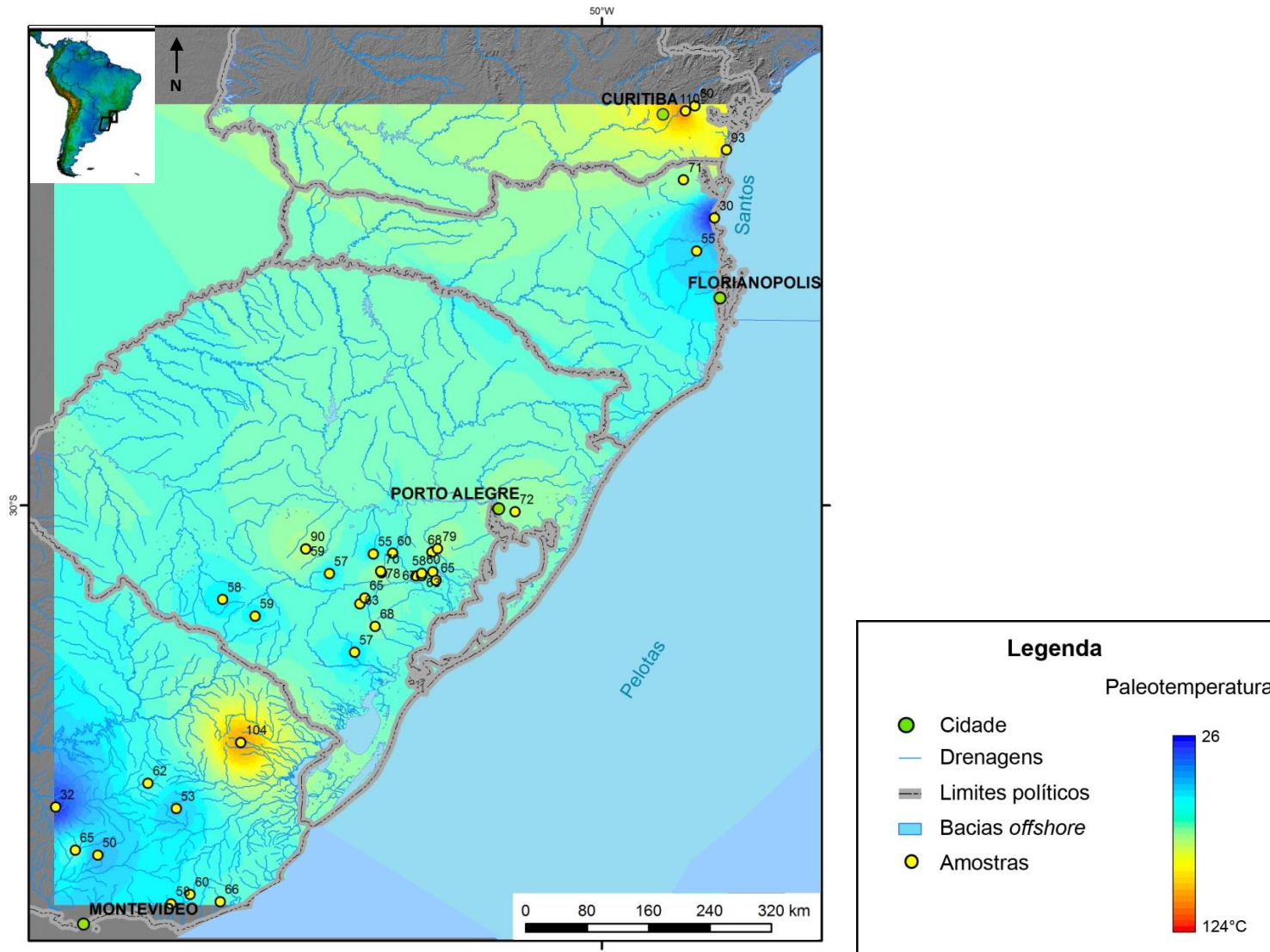


Figura - 3.29. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 60$ Ma.

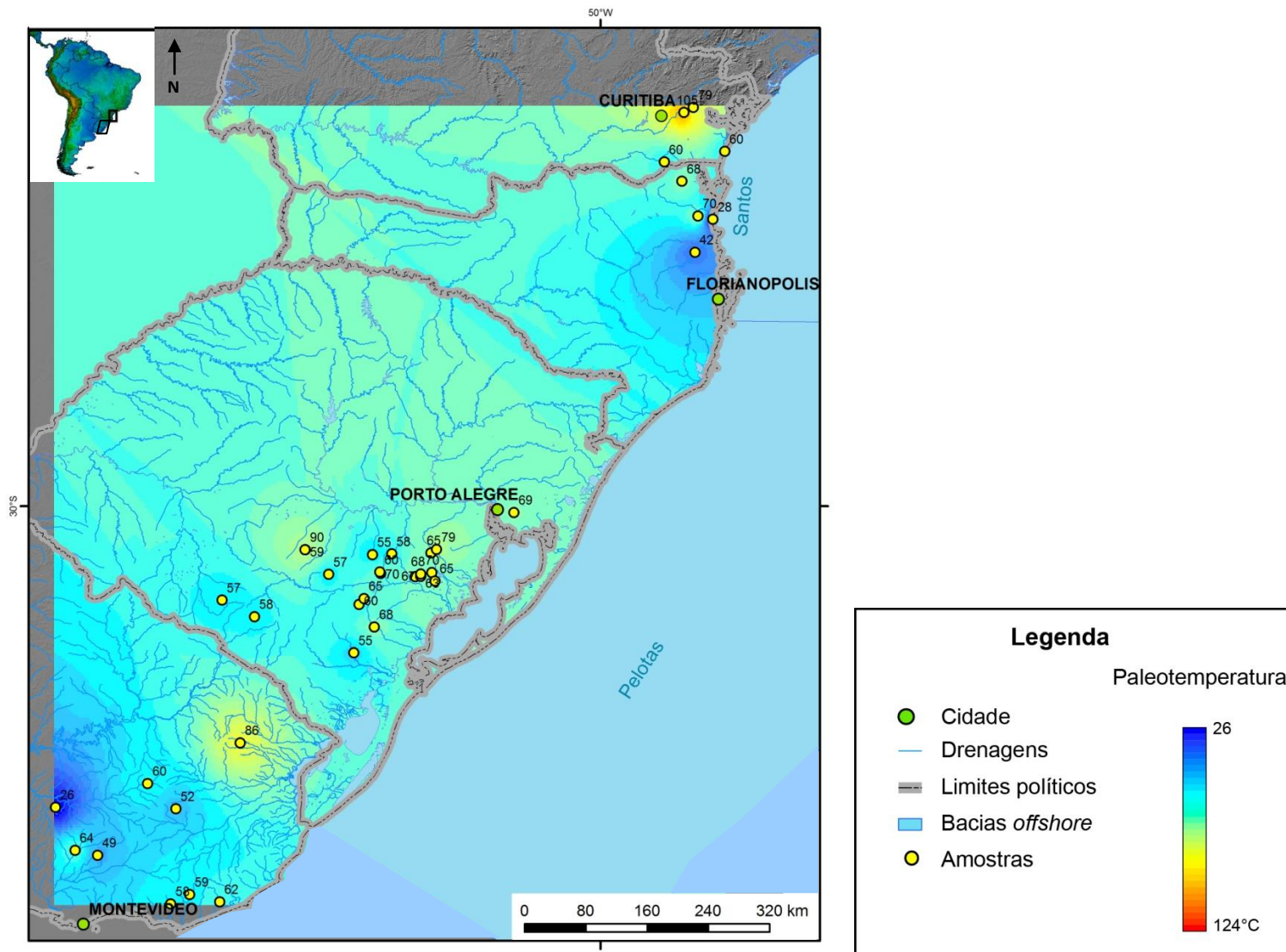


Figura - 3.30. Mapa de contorno de paleotemperaturas obtidos para as amostras estudadas no tempo $t = 40$ Ma.

3.9 - DENUDAÇÃO

A caracterização dos eventos de denudação, incluindo sua quantificação e taxas, foi possível a partir do momento que se tem conhecimento das paleotemperaturas e das idades retiradas do *Best fit* do modelamento térmico e do gradiente geotérmico envolvido, tanto atual quanto suas variações ao longo do tempo geológico. Como nem sempre é possível obtermos os valores do gradiente geotérmico ao longo do tempo, foi utilizado neste estudo um valor constante de 25°C/km para cada intervalo de tempo analisado (TAB. 3.6). A quantidade de seção removida é estimada a partir da razão entre a quantidade de resfriamento pelo gradiente geotérmico, conforme descrito em detalhe no Capítulo II.

As Figuras 3.31 a 3.42 ilustram os mapas de denudação obtidos para as regiões de estudo. A análise dos dados de denudação do Uruguai mostra que entre 300 e 270 Ma ocorre um expressivo aumento da quantidade de material denudado (240-1760m). No Triássico Superior as taxas de denudação chegam a 39 m/Ma, o que significa 1560m de material removido. Entre 150 e 130 Ma se eleva a taxa de denudação (44 m/Ma), sendo denudado praticamente 1760 m de seção. A partir do Cenomaniano há um aumento significativo da denudação (66 m/Ma), principalmente na região próxima ao Rio Grande do Sul (U-1), sendo denudado aproximadamente 2640m de seção.

No Rio Grande do Sul os valores das taxas de denudação se comportam de maneira constante, variando entre 35 m/Ma a 70 m/Ma. Desde o Pensilvaniano (~300 Ma) na região sob influência da Bacia de Retro-arco Brasileira e região de Camaquã é observado quantidades de denudação elevadas (1800m). Entre 240 e 180 Ma a magnitude da denudação diminui e nas áreas de influência do Cinturão Dom Feliciano e Caçapava do Sul-Jaguarí registram valores entre 1720 a 1400m.

Entre 150-120 Ma ocorre um expressivo aumento da quantidade de material denudado (2000-2800m), sendo este padrão observado na região de Camaquã e Encruzilhada do Sul. No período compreendido entre 100-80 Ma a quantidade de material denudado é de 1800m na região de Encruzilhada do Sul. Entre 60-40 Ma há novamente um aumento significativo das quantidades de denudação (1920-2000m), principalmente na região de Camaquã e do Cinturão Dom Feliciano.

Em Santa Catarina as quantidades de denudação são muito variáveis, no Cenomaniano 880m de material é denudado e taxa de 22 m/Ma na região sob influência do Cinturão Tijucas. Entre 60-40 Ma ocorre um expressivo aumento da

quantidade de material denudado (1600-2000m) e taxas variando de 40 a 50 m/Ma na região da Serra do Mar. Enquanto que a zona de costa é caracterizada por baixas quantidades de denudação (320m) e taxas de 8 m/Ma.

O Paraná registra eventos de denudação no Aptiano (2320m), no Campaneano (1600m) e no Selandiano (2440m) com taxas que variam de 40 a 61 m/Ma.

Tabela 3.6. Dados de paleotemperaturas (Tmax), tempo de início do resfriamento, quantidade (D) e taxas de denudação.

Amostras	Tmax (C°)	Início (Ma)	D 25°C/km (m)	Taxa 25°C/km (m/Ma)
U-1	110	100	2640	66
U-2	63	270	1280	32
U-3	66	270	1600	40
U-5	68	150	1760	44
UR-4	78	300	240	6
UR-7	87	130	1520	38
UR-8	63	210	1560	39
UR-9	71	130	1680	42
UR-10	54	100	1160	29
RS-5	60	300	1480	37
RS-6	60	300	1520	38
RS-8	60	180	1400	35
RS-11	64	180	1480	37
RS-12	68	240	1560	39
PJV-2	69	130	1920	48
PJV-3B	69	180	1880	47
PJV-3C	67	240	1720	43
PJV-4	68	40	1920	48
PJV-11	99	130	1960	49
PJV-17	69	130	1920	48
PJV-6	70	150	1800	45
PJV-7	118	130	2360	59
PRD-2	95	120	2800	70
PRD-4	75	120	1600	40
PRD-5	78	100	1800	45
PRD-8	93	210	2000	50
PRD-9	120	120	1600	40
PRD-10	70	180	1400	35
PRD-12	110	180	1520	38
PRD-18	70	40	2000	50
PRD-19	68	270	1800	45
SC-1	30	60	320	8
SC-3	70	40	2000	50
SC-4	71	60	1920	48
SC-5	60	40	1600	40
SC-7	82	100	880	22
PR-1	99	60	2440	61
PR-11	110	80	1600	40
PR-13	118	120	2320	58

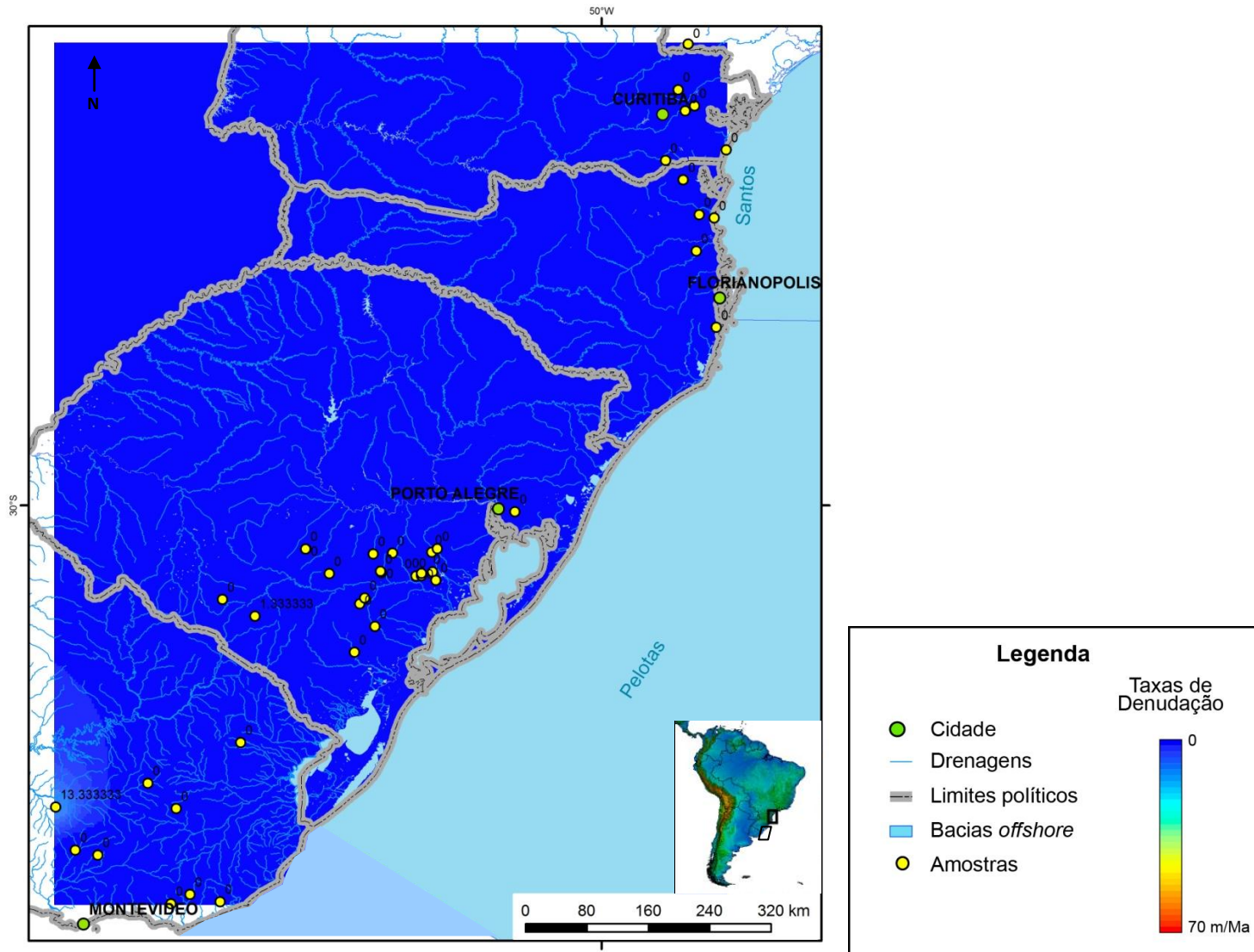


Figura 3.31. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 300-270$ Ma.

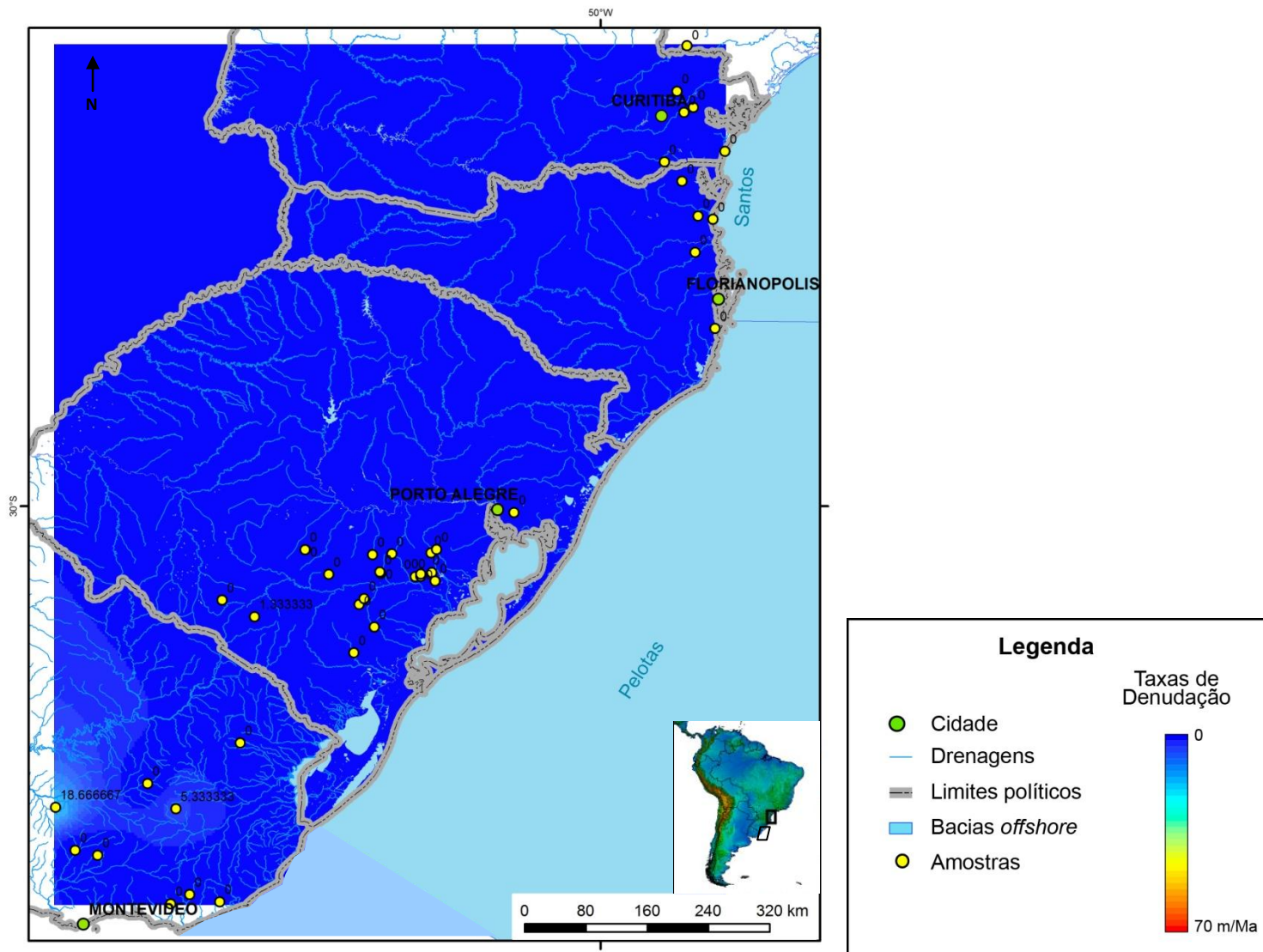


Figura 3.32. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 270-240$ Ma.

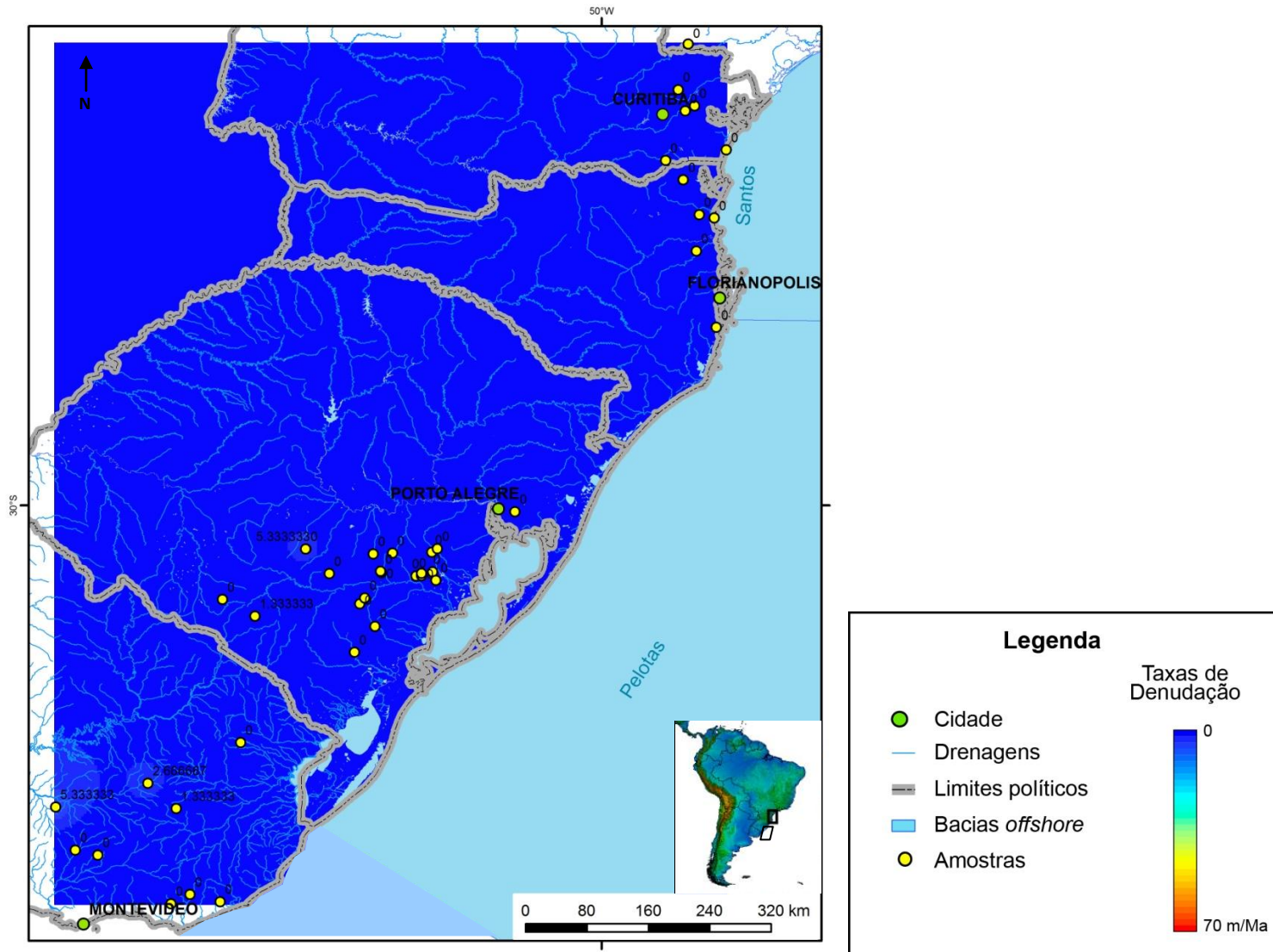


Figura 3.33. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 240-210$ Ma.

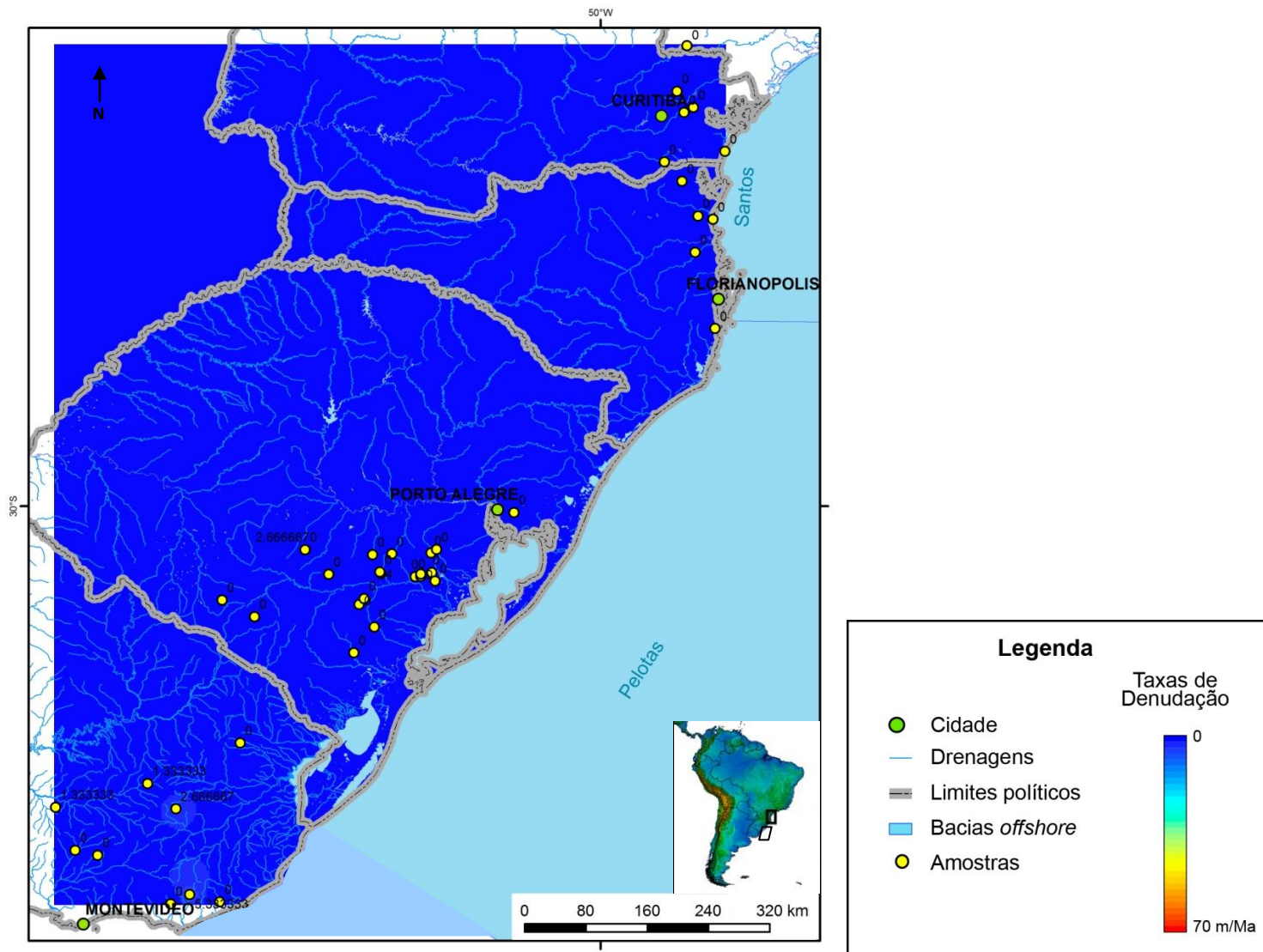


Figura 3.34. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 210-180$ Ma.

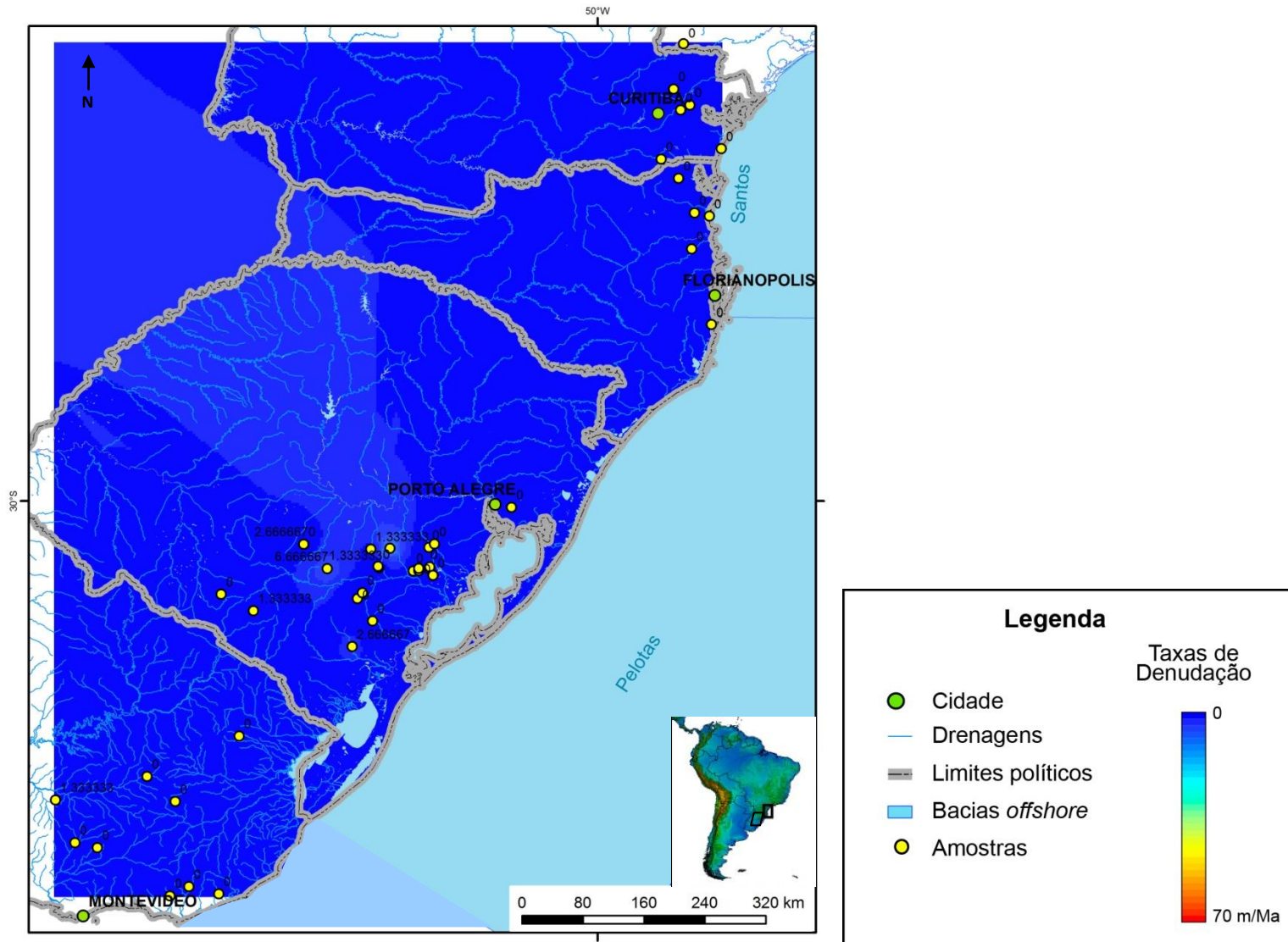


Figura 3.35. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 180-150$ Ma.

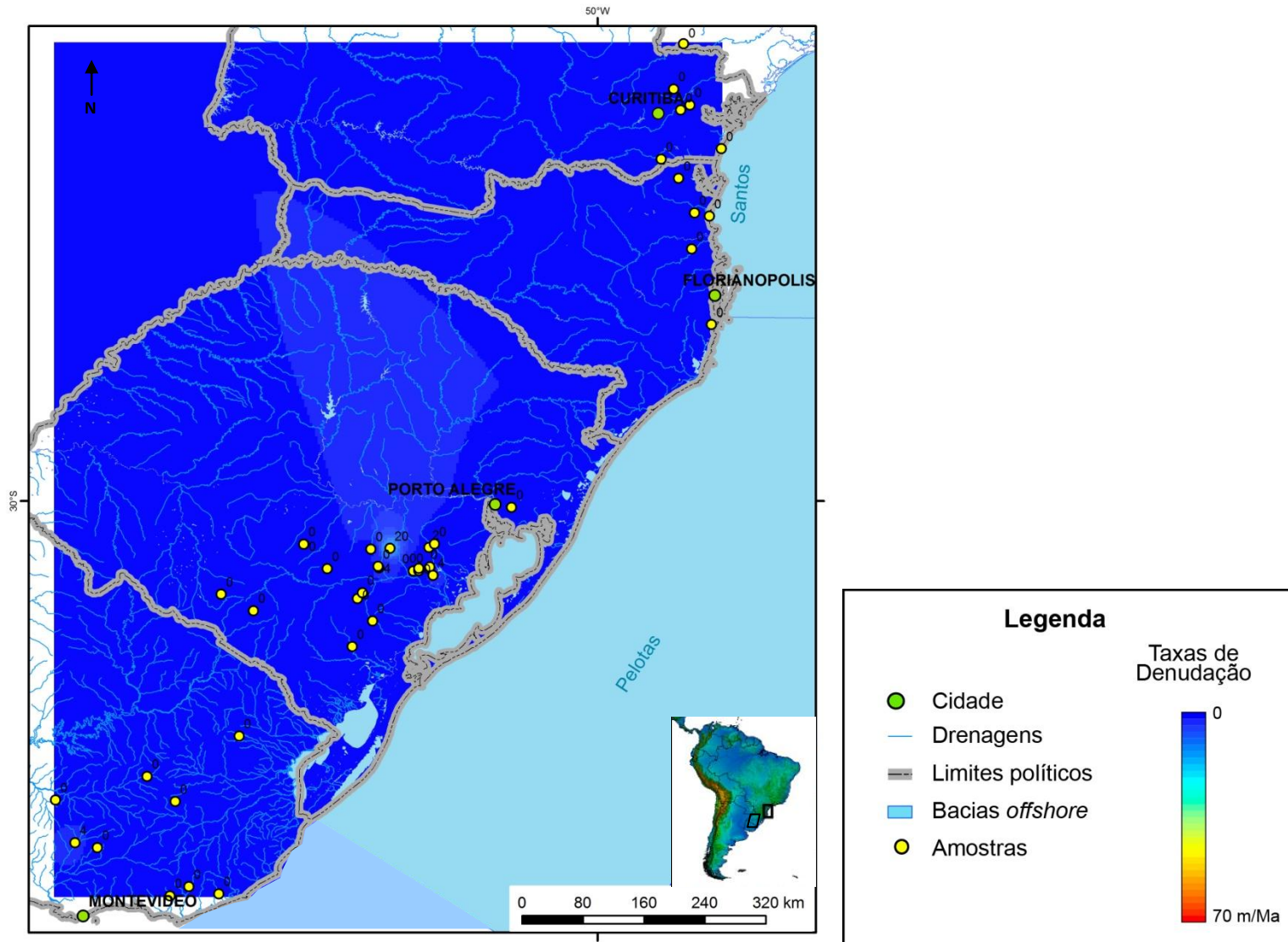


Figura 3.36. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 150-130$ Ma.

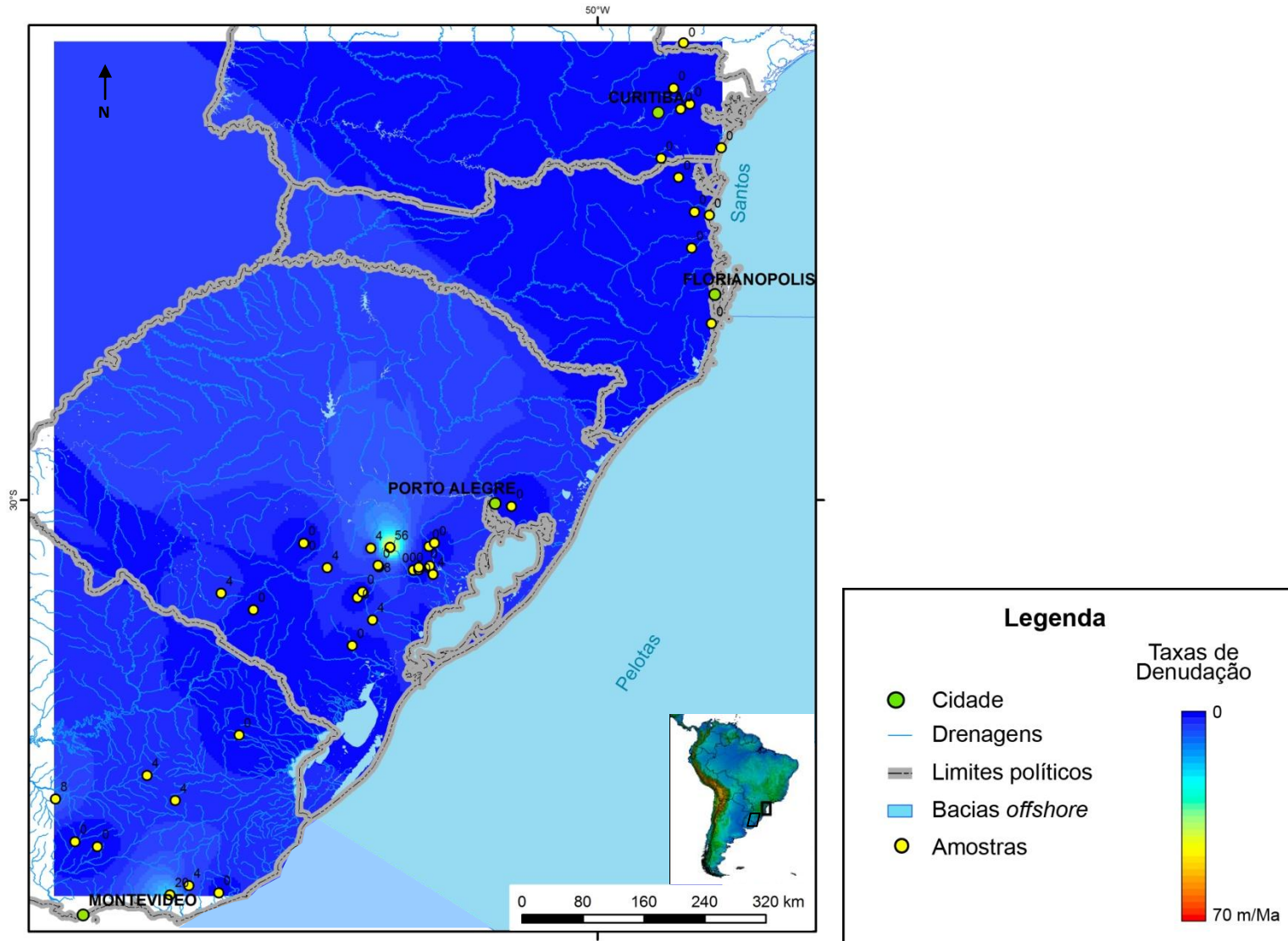


Figura 3.37. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 130-120$ Ma.

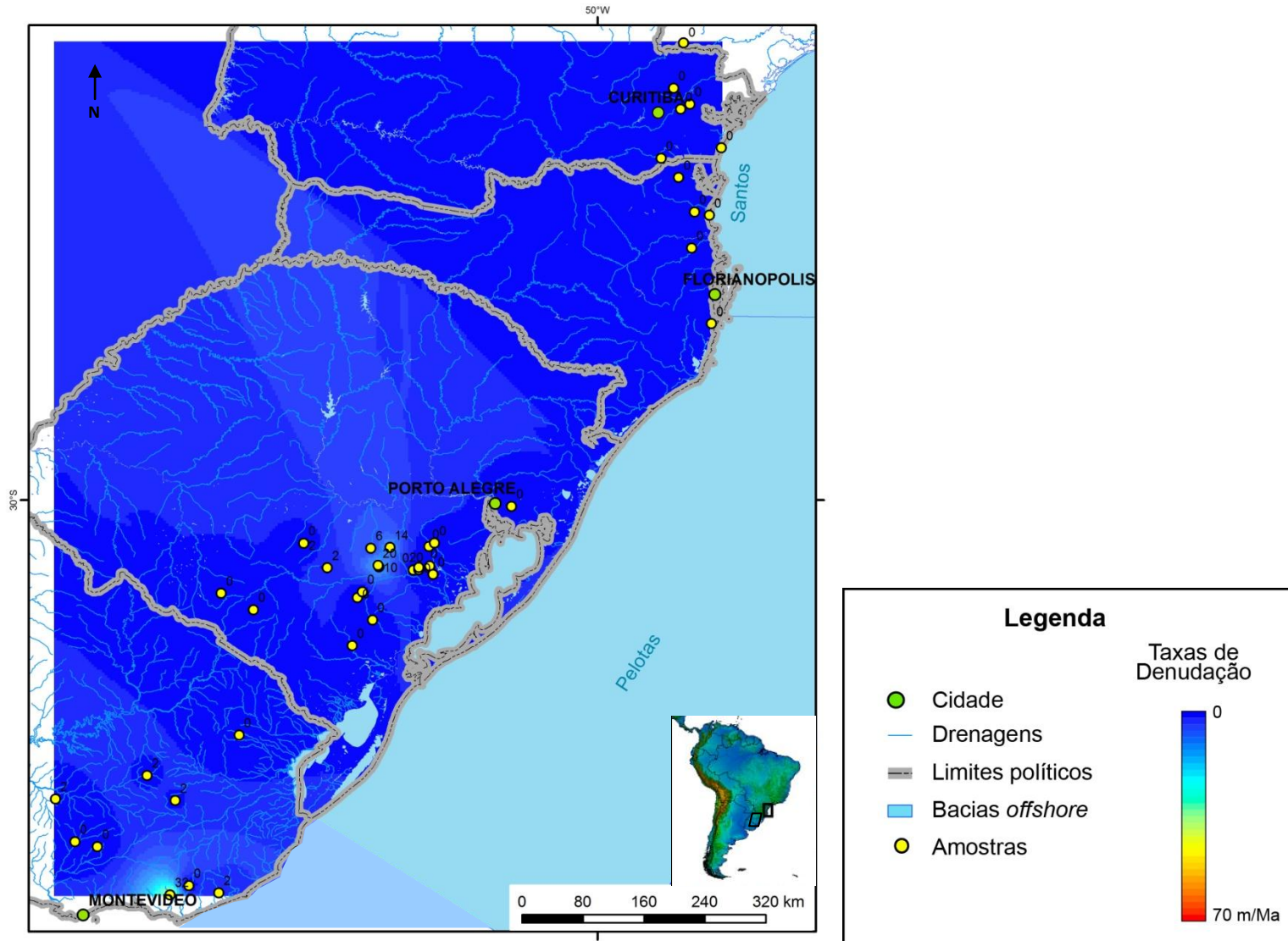


Figura 3.38. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 120-100$ Ma.

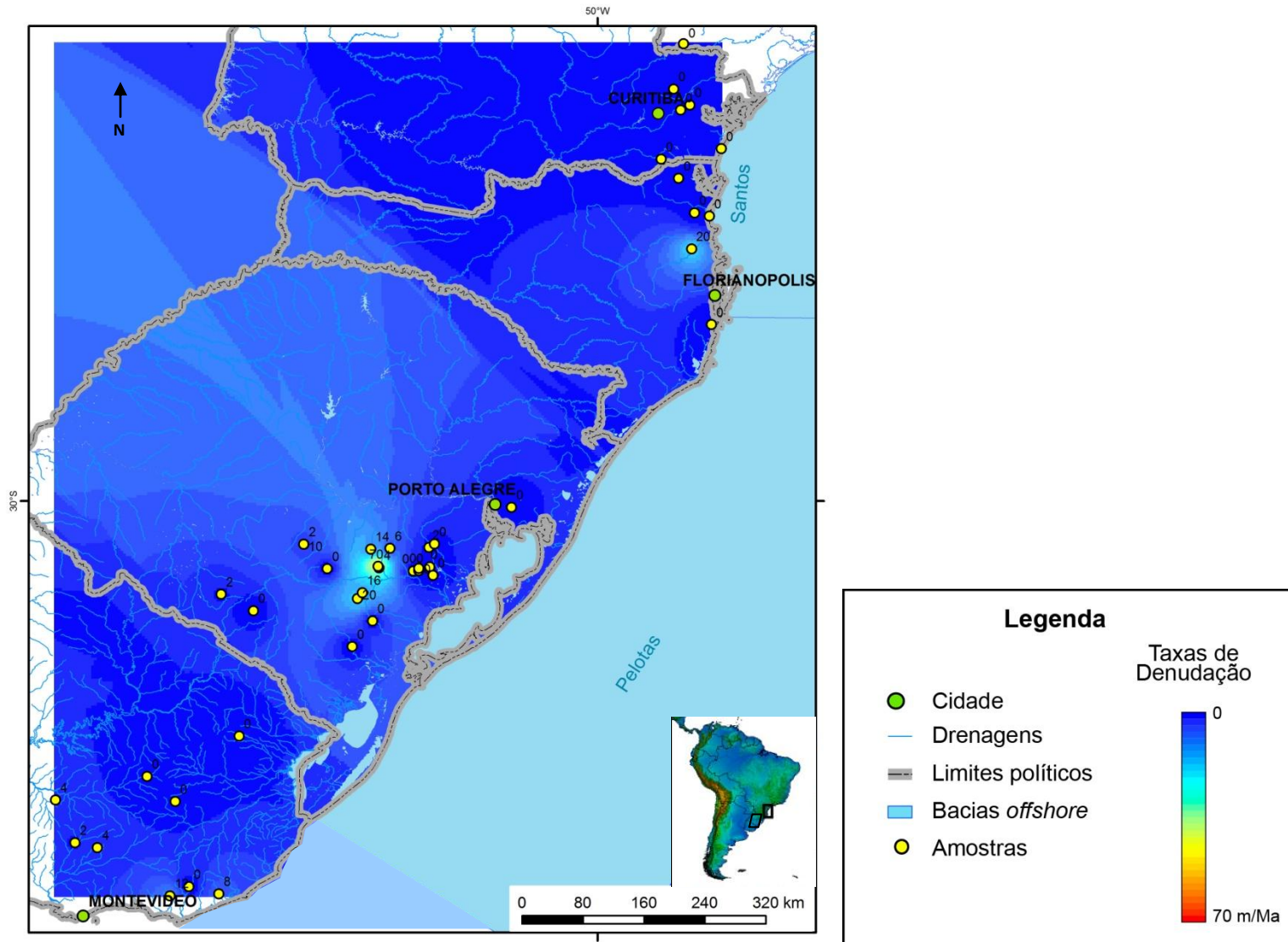


Figura 3.39. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 100-80$ Ma.

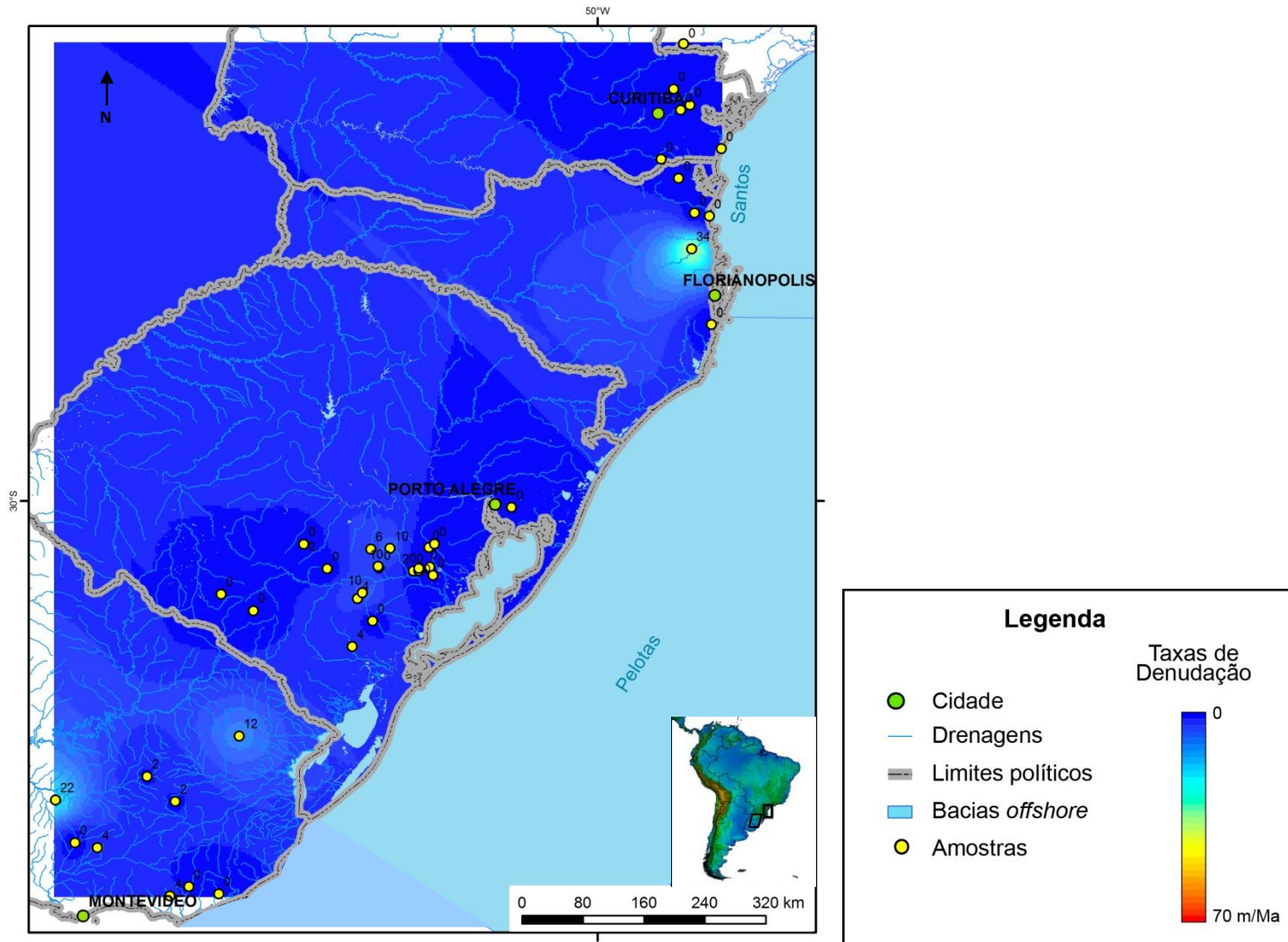


Figura 3.40. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 80-60$ Ma.

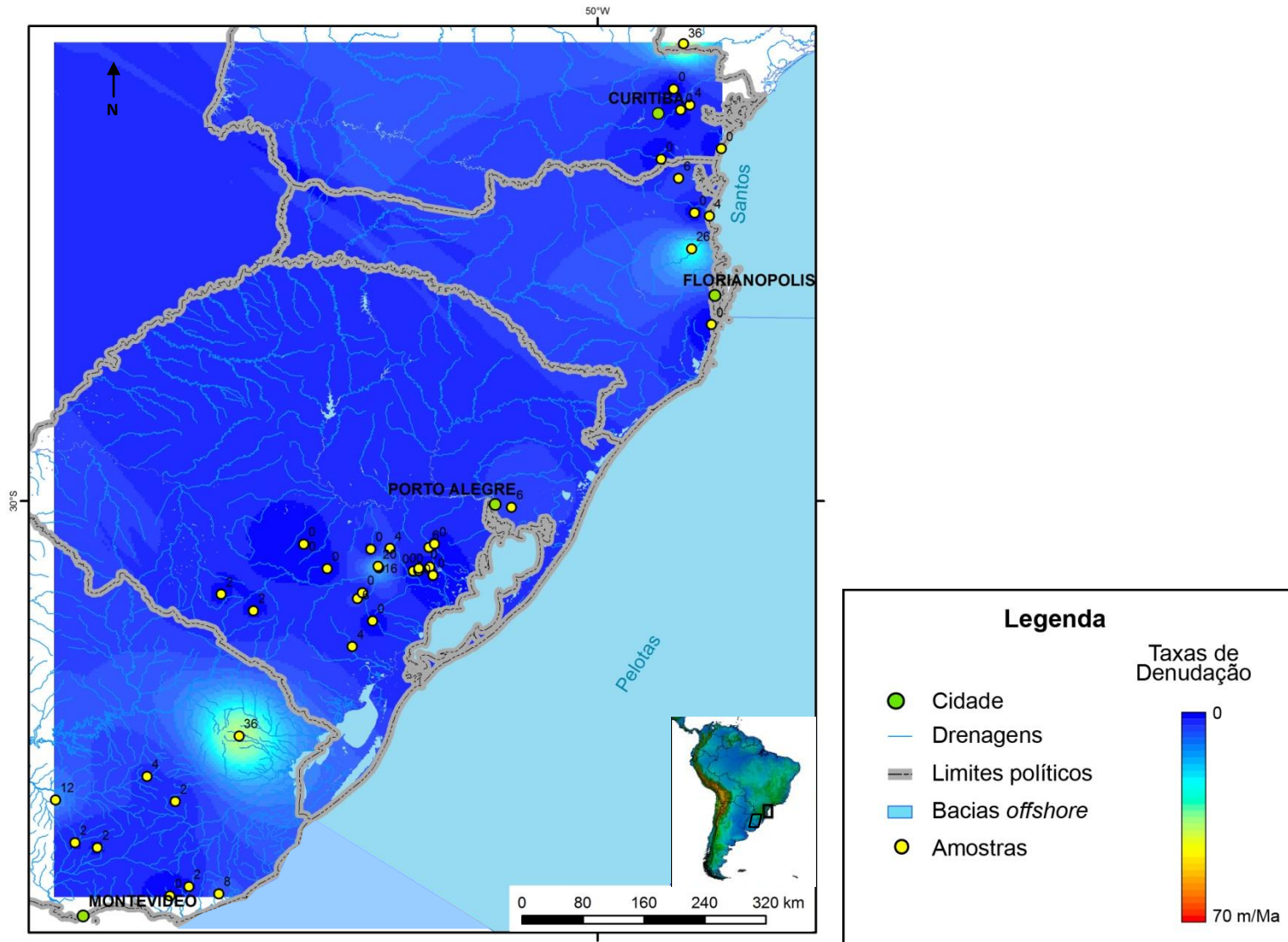


Figura 3.41. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 60-40$ Ma.

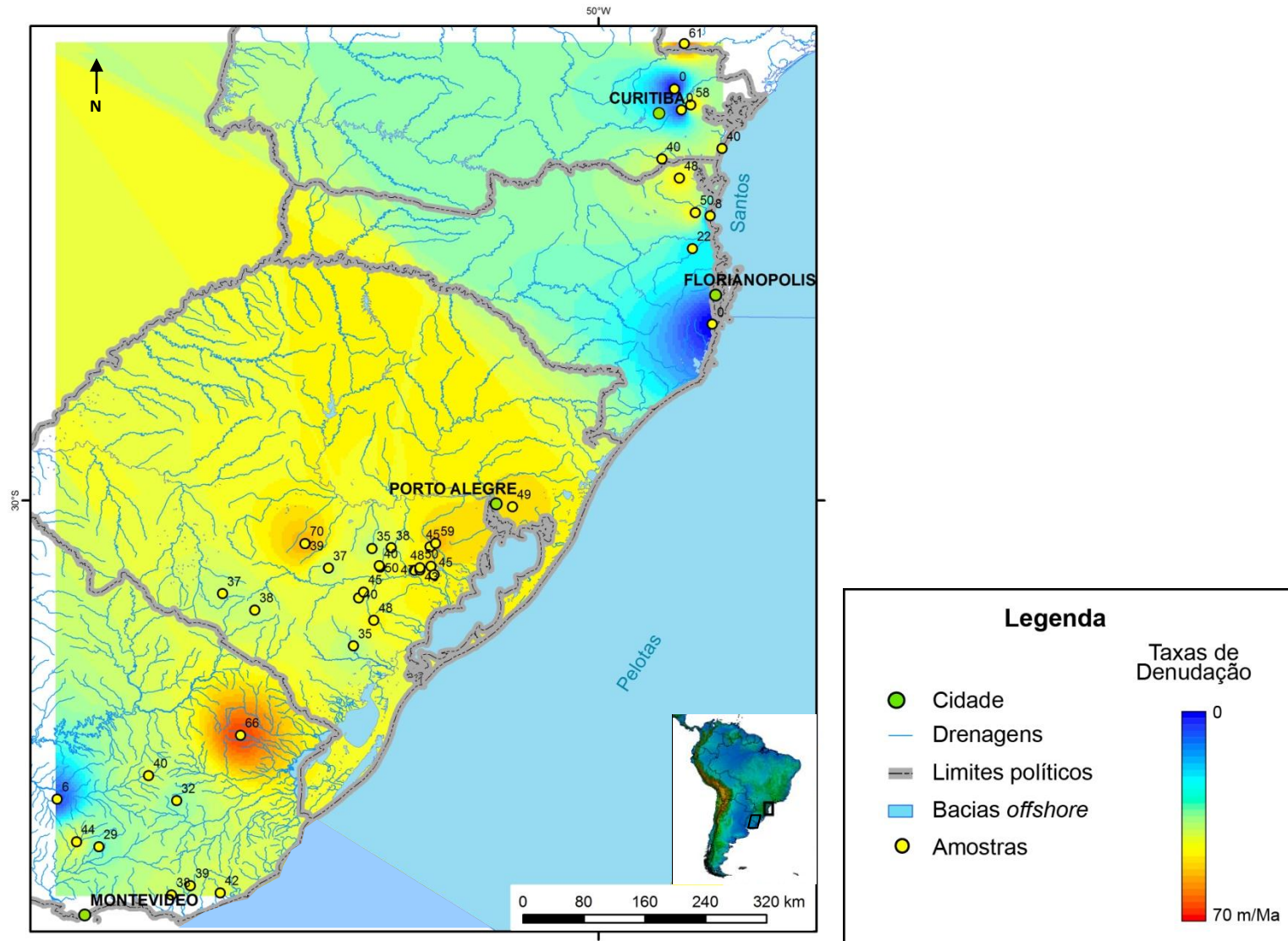


Figura 3.42. Mapa de denudação obtido para as amostras estudadas no tempo $t = 40-0$ Ma.

CAPÍTULO IV –

Discussão

4.1 - INTRODUÇÃO

Os resultados obtidos mostram uma estreita correlação temporal e tectônica entre os eventos de magmatismo, sedimentação, soerguimento e subsidência ocorridos no sul e sudeste da América do Sul. Em termos gerais, pode-se dividir a área de estudo em três regiões principais, a saber:

- 1) Região do Uruguai e RS que apresenta idades de traços de fissão mais antigas, com forte registro do evento orogênico Permo-Carbonífero, evento Gondwanides.
- 2) Região de Santa Catarina e norte do estado do Rio Grande do Sul, a qual é marcada pela forte influência dos processos de separação da América do Sul e África. As idades aparentes obtidas são mais jovens que 150 Ma e estão relacionadas com o recuo da escarpa de margem continental;
- 3) Região do Arco de Ponta Grossa, a qual é diferenciada pelos inúmeros enxames de dique e conseqüente idades aparentes mais jovens que 66 Ma.

Deve-se ressaltar a interação da sedimentação do Cone do Rio Grande, pacote sedimentar de 4000 metros de espessura na Bacia de Pelotas e formado durante os últimos 12 Ma (Chemale et al., 2011), com os eventos de denudação registrados na porção continental do Uruguai e RS.

Em termos gerais, o ponto de partida para os estudos dos eventos fanerozóicos de denudação, subsidência, e erosão no leste da América do Sul e do oeste da África é a configuração do Gondwana Oeste ao final do Ciclo Brasileiro/Pan-africano. Os processos de aglutinação finais das massas continentais representadas pelos cratons de Rio de la Plata, Kahlari e Congo ocorreram na

passagem do Pré-cambriano para o Cambriano, quando formou-se o sistema de montanhas do leste do Brasil e oeste da África (FIG. 4.1). Por outro lado, o cenário para o fanerozóico é de uma região estável, na qual durante o paleozóico foi palco da deposição das bacias intracratônicas (ou sinéclises), marcadas por taxas de deposição baixas, espessuras de pacotes sedimentares no máximo de 5000 metros em torno de 300-400 milhões e ampla distribuição geográfica. No final do mesozóico, iniciou-se a separação dos continentes com a mudança de condições tectônicas nas suas margens. Na Figura 4.2, estão representadas as coberturas fanerozóicas (amarelo) e unidades do embasamento de idade pré-cambriana a eo-paleozóica, em uma reconstrução das placas da América do Sul e África, antes do início da fragmentação do supercontinente Gondwana.

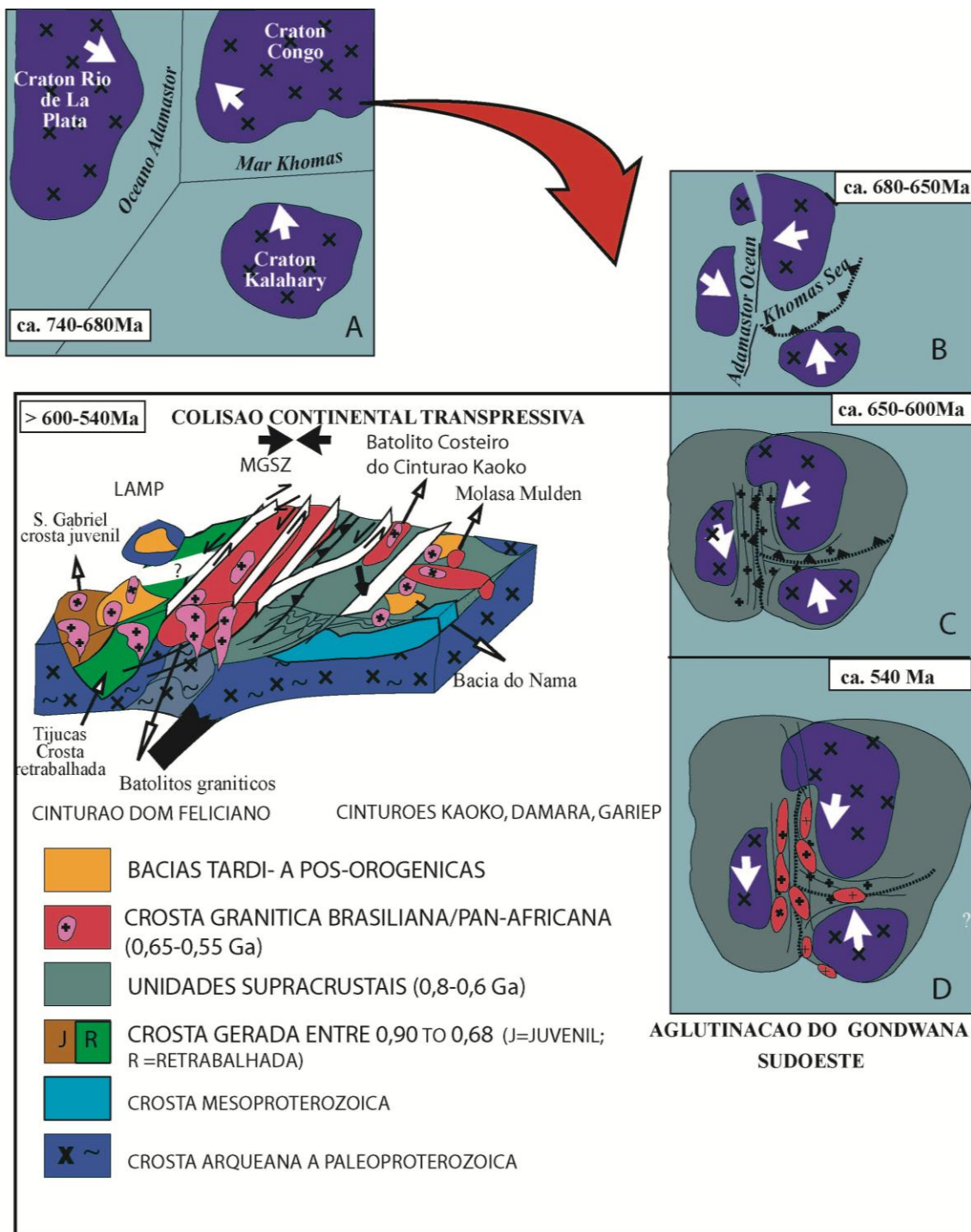


Figura - 4.1. Modelo tectônico para os estágios finais de amalgamação da porção sudoeste do Supercontinente Gondwana. A a D: Cinemática das principais paleoplacas. Estágio C: tem-se a deformação dos cinturões Dom Feliciano, Damara e Gariep. Estágio D: são colocados os principais batólitos ao final da colisão (~540 Ma) associados aos processos de subducção e formação de arcos magmáticos. O bloco diagrama corresponde à colisão continente-continente do Gondwana Sudoeste com as principais unidades tectônicas (LAM= Microplaca Luís Alves) (Chemale et al., em prep.).

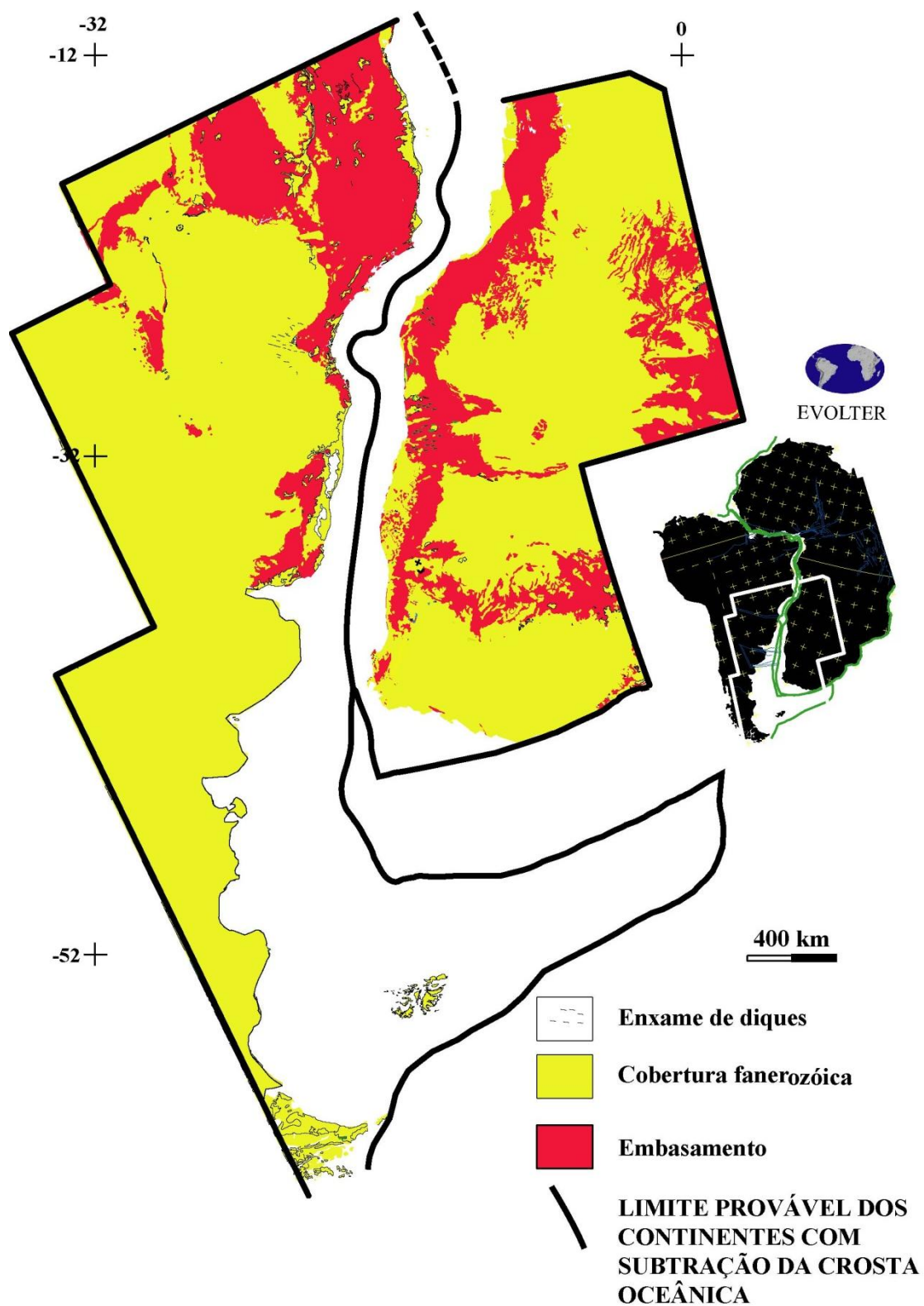


Figura - 4.2. Reconstrução da porção SE da América do Sul e SW da África antes da ruptura Mesozóica (Chemale et al., 2005).

4.2 - PROCESSOS DE DENUDAÇÃO NO URUGUAI E RS E SUA RELAÇÃO COM O EVENTO GONDWANIDES

A primeira evidência importante que surge da análise dos dados de traços de fissão do conjunto de dados apresentado neste trabalho é a presença de idades aparentes de TF em apatita de amostras do Uruguai e RS entre 380 e 250 Ma. Além disso, por meio da modelagem da história térmica destas amostras, pode-se caracterizar a presença de um evento em torno de 300-250 Ma (FIG. 4.3). As histórias térmicas das regiões estudadas sugerem que as amostras residiram na Zona de Estabilidade dos Traços (ZET) por um período lento e contínuo durante esta época, sugerindo que parte da região sul e Uruguai foi pouco denudada após a ruptura do Gondwana. Os dados termocronológicos confirmam a hipótese que os processos compressivos na margem oeste e sul do Gondwana (ex.: Sierra de la Ventana e Cinturão Cabo, FIG. 4.4A), relacionados à Orogenia Sanrafaélica ou Gondwanides (Ramos, 1988), deformaram a litosfera na área cratônica estável flexuralmente (FIG.4.4B). A ausência de registro de sedimentação entre o Devoniano e Carbonífero em parte do sul do Brasil (Milani, 1997) sugere que o Escudo Uuguaio-Sul-Riograndense foi ativo como embasamento na margem sul da Bacia do Paraná. Ao mesmo tempo, o espessamento considerável da seção Permo-Carbonífera na Bacia do Paraná, cuja seção perfaz até 60 % da espessura total da bacia, está relacionado à orogenia gondwanides (Milani, 1997), bem como a formação de alto estrutural do embasamento no RS e Uruguai.

Pulsos magmáticos documentados a partir do Permiano (300-250 Ma) com o desenvolvimento do Arco Magmático Ensiálico registram importantes modificações tectônicas. Bacias do tipo graben (López-Gamundi 2006) principalmente na Argentina e Bolívia entre o final do Triássico e o início do Jurássico (~200Ma) estariam relacionadas ao regime distensivo que atuou junto à margem Gondwânica no Paleozóico (Keeley & Light, 1993; Milani, 2000; Zerfass et al., 2003). No Meso a Neotriássico (245-200 Ma) este padrão tectônico está representado pela Supersequência Gondwana II (Milani, 1997, Zerfass et al. 2003) restrita a porção gaúcha-uruguaia da Bacia do Paraná. As estruturas pré-existentes mais antigas (pré-cambrianas, paleozóicas e triássicas) colaboraram com o rompimento do Oceano Atlântico.

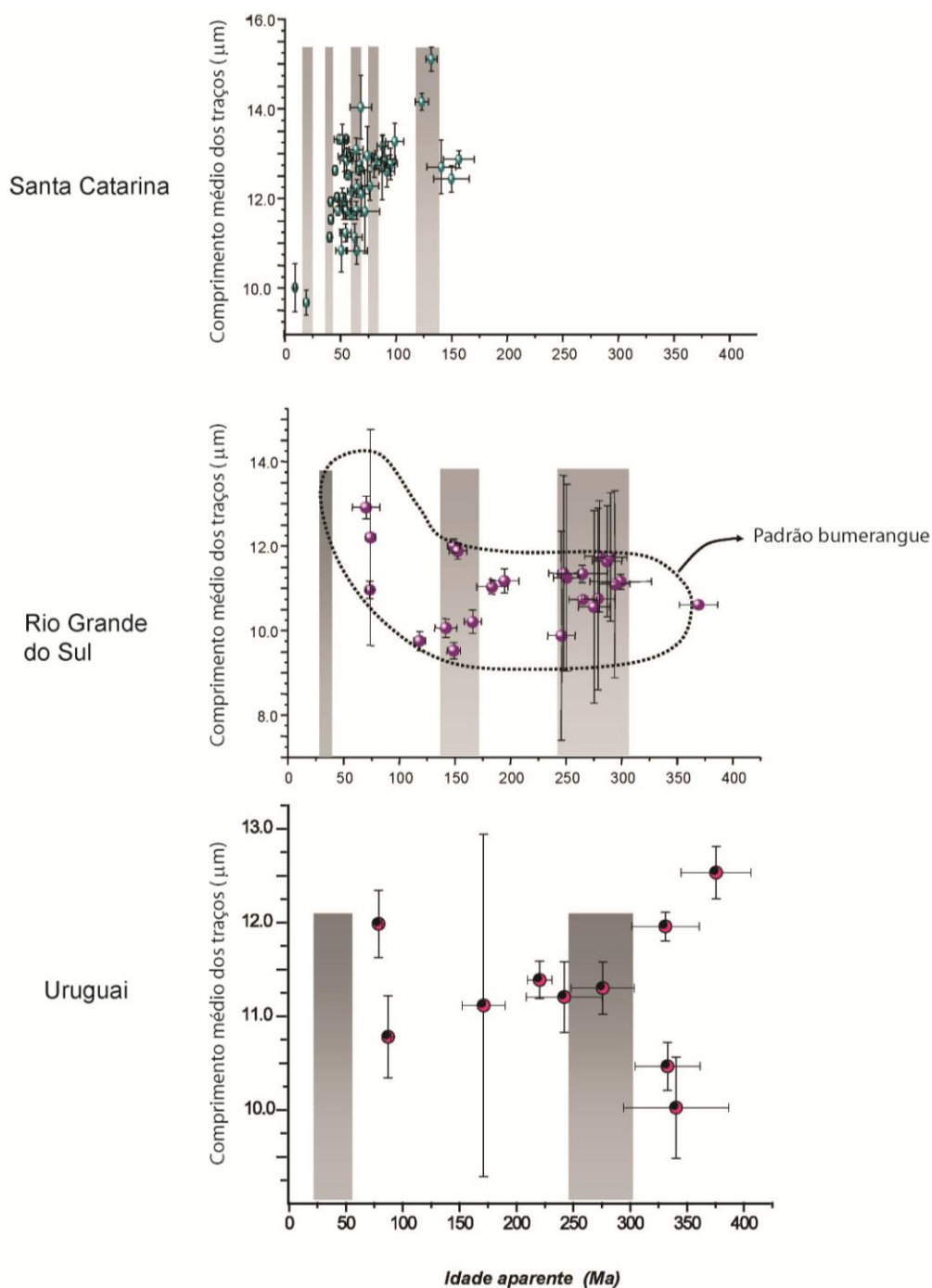


Figura - 4.3. Diagramas de idades aparentes obtidas por traços de fissão em apatita versus comprimento médio dos traços para os setores de Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ver texto para explicação, Chemale Jr. et al. 2005).

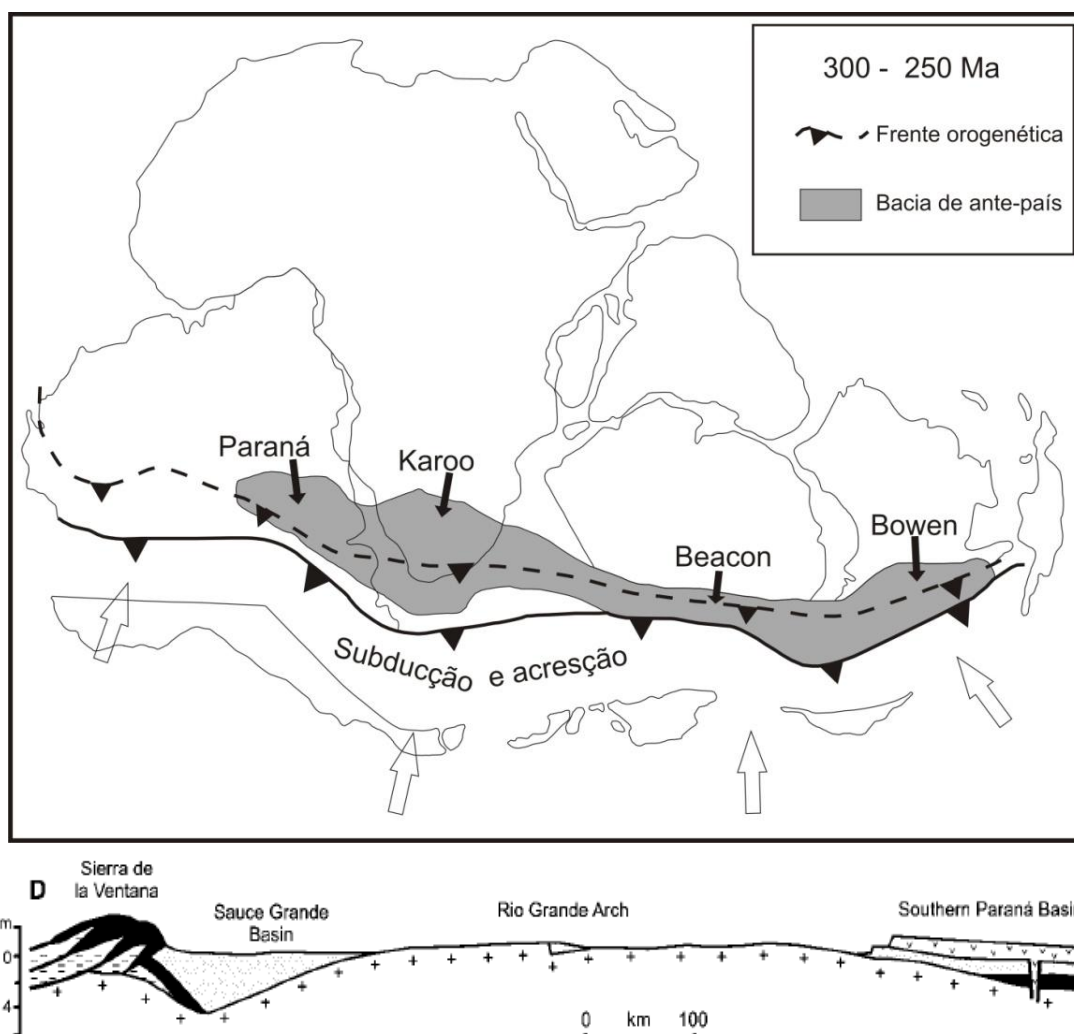


Figura - 4.4. A) Distribuição do Gondwanides na margem sul do Gondwana (modificado de De Wit & Ransome, 1992) e as principais bacias paleozóicas no sul do América do Sul, África, Antártica e Austrália. B) Perfil esquemático N-S mostrando a configuração tectônica e estratigráfica ao longo da Sierra de la Ventana, Uruguai e Sul do Brasil (modificado de França et al., 1995).

As idades traços de fissão mais antigas obtidas, neste estudo, para o Uruguai diminuem gradativamente em direção ao Rio Grande do Sul. Isto pode ser um indicativo de que a ruptura esteja relacionada a movimentos divergentes de direção EW, caracterizados por rotação horária da América do Sul em relação à África, onde a separação se propagou axialmente em direção ao norte (Matos, 1992).

Temperaturas inicialmente de 78°C registradas primeiramente no Pensilvaniano (318-300 Ma) para aquelas amostras localizadas nos Terrenos Piedra Alta e Nico Pérez (Uruguai) tendem gradativamente a uma diminuição durante a fase que antecede o rifte, coincidindo com o período de resfriamento da região. Apenas a

amostra U-5 registra um aumento de temperatura desde o Noriano ($283,6 \pm 29$ Ma). Esta amostra situada próxima ao lineamento Sarandi Del Yi pode ser o registro preservado da movimentação transcorrente na região. No Pensilvaniano, no Rio Grande do Sul, ocorre a deposição do Gondwana I com o registro do Grupo Itararé e das Formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rasto e Pirambóia (Freitas-Brazil, 2004) e no Jurássico (200-145 Ma), a Formação Botucatu. Enquanto que no Permiano-Triássico tem início o desenvolvimento dos lineamentos com direção E-W paralelos as zonas de fraturas oceânicas, que podem estar relacionados ao posterior desenvolvimento do Oceano Atlântico (Zalán et al., 1990).

4.3 - PROCESSOS DE DENUDAÇÃO RELACIONADOS COM A SEPARAÇÃO DA ÁFRICA E AMÉRICA DO SUL

O início da ruptura da América do Sul e África é registrado por uma sedimentação do Jurássico Superior ou processos de soerguimento e erosão atribuídos ao evento pré-rifte. Após, na passagem do Jurássico para o Cretáceo, iniciou o rifteamento das margens das duas placas, com geração intensa de magmatismo básico da Serra Geral (Asmus & Porto, 1972; Chang et al. 1992) A Serra do Mar, situada entre a Bacia do Paraná e o Oceano Atlântico, tem sua estruturação relacionada a reativações do embasamento devido à movimentação vertical. Sua formação se deve ao afinamento da litosfera por erosão superficial e subcrustal associado a um domo térmico localizado entre a Bacia de Santos e a região costeira.

Na região do Paraná, bem como no Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina os dados das análises de traços de fissão indicam populações homogêneas de apatitas com as idades, em sua maioria, menores que a idade estratigráfica da rocha fonte o que nos permite sugerir que as apatitas foram submetidas a temperaturas superiores a 120°C até o Paleogeno, não registrando nenhum traço de fissão até esta época e fazendo com que elas não apresentassem herança da história térmica da rocha fonte. Sendo assim, a idade apresentada pelas amostras, com exceção da PR-1 e PR-3, representam episódios de resfriamento/soerguimento na região. Isto corrobora com o padrão de distribuição entre a idade central e o comprimento dos traços de fissão confinados,

possivelmente com diferentes intensidades e conseqüentemente com denudação diferenciada. Isto seria de se esperar para regiões onde a representação gráfica dos dados sugere a forma de um bumerangue (Green et al., 1986).

A idade de $143,5 \pm 40,5$ Ma obtida na amostra PR-1, um arenito com idade estratigráfica em torno de 100 Ma, parece coincidir com a época de preenchimento da bacia. A bacia é uma depressão, assentada discordantemente sobre rochas vulcânicas de idade aproximada de 130-120 Ma (Pereira & Feijó, 1994), que iniciou seu preenchimento no Neocomiano/Barremiano (145- ~125 Ma) na fase sin-rifte da América do Sul com a deposição da Formação Guaratiba. Depois disso, ocorre a fase transicional com a deposição de sedimentos aptianos da Formação Ariri.

No Neocomiano (145-130 Ma) teve início a fase rifte, e então a ascensão de corpos ígneos intrusivos através de fraturamentos da crosta, entre eles o Arco de Ponta Grossa (Freitas-Brazil., 2004) que corresponde a um braço abortado do rifte sul-atlântico (Milani et al., 2000) e os derrames da Serra Geral, promovidos por estruturas mais antigas de direção NW-SE. Idades traços de fissão entre 140-120 Ma foram obtidas por Lelarge (1993) para a região do Arco de Ponta Grossa, evidenciando um importante evento de denudação/erosão nesta região. De acordo com os dados traços de fissão obtidos aqui, a reativação Jurássico-Cretácica que culminou no magmatismo Serra Geral, ocorrido em 133 ± 1 Ma (Renne et al., 1992) mostra ser o principal evento que forneceu calor suficiente para apagar os traços de fissão das amostras localizadas nesta região fazendo com que elas não apresentassem herança da história térmica da rocha-fonte. Assim, a idade obtida é próxima a do magmatismo, ou seja, registraram os eventos sin-ruptura. Nesta fase, o processo de resfriamento continua no Uruguai e parte do Rio Grande do Sul. As temperaturas diminuem lenta e continuamente com valores não excedentes a 70°C. Contudo, algumas áreas localizadas do Rio Grande do Sul, como: Encruzilhada do Sul, Camaquã e na região de abrangência do Cinturão Dom Feliciano (Suíte intrusiva Viamão; Philipp & Machado, 2001) registram temperaturas elevadas (110°C). Após o magmatismo Serra Geral o substrato da região se moldou por reajustes flexurais, resfriamento e acomodação mecânica (Milani, 2000), facilitando assim a deposição da Bacia de Pelotas (Tomazelli & Villwock, 2000). Esta bacia é formada por sedimentos erodidos do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense e da Bacia do Paraná sobre falhas subparalelas a linha de costa do embasamento, resultantes de repetidos basculamentos e ruptura da crosta em resposta ao resfriamento e

subsidiência da crosta oceânica à medida que se afastava de seu centro de geração (Tomazelli & Villwock, 2000).

No final do Senoniano, a fase pós-rifte é caracterizada por um importante evento de resfriamento, registrado nas amostras do Uruguai e do Rio Grande do Sul com idades inferiores a 70 Ma, principalmente na região de Encruzilhada do Sul. Como sugerido por Borba et al. (2002) isto é um indício de um importante evento de soerguimento ocorrido neste período. Outra evidência importante para este soerguimento diferencial foi proposto por Hartmann et al. (1998) para a região de Caçapava do Sul, sugerindo que os protolitos do Complexo Metamórfico Passo Feio consistem de uma sucessão sedimentar oriunda de um vulcão antigo. Por outro lado, os processos de aquecimento atuantes em algumas regiões do Rio Grande do Sul ocorridos durante a fase rifte se estenderam até o Mioceno (23-5 Ma). Assim, estas regiões preservaram os movimentos tardios como reflexos da organização da placa em virtude da formação do Oceano Atlântico. Na fase pós-rifte, relacionada à subsidiência térmica, se depositam os sedimentos das Formações Florianópolis e Guarujá. Sotoposto a esses estão os depósitos da Formação Itanhaém de idade Eo-Meso-Albiana/Eo-Cenomaniano (112-93 Ma). Após o aprofundamento da bacia que durou até o Meso/Turoniano (~89 Ma) e dos eventos registrados no Maastrichtiano (70-66 Ma) implantaram-se as Formações Itajaí-Açu, Santos e Juréia (Milani, 2000). De acordo como foi mostrado por Pereira (1992), Almeida & Carneiro (1998) e Milani et al. (2000), a Bacia de Santos após a grande transgressão marinha no Neocenomaniano-Eoturoniano sofreu episódios erosivos que desencadeou uma discordância há cerca de 88-89,5 Ma. O reflexo dessa discordância é descrito como soerguimento progressivo e pulsativo que prosseguiu durante o Senoniano (89-65 Ma). O soerguimento progressivo foi atribuído a compensação isostática entre o afundamento da bacia e a elevação do continente (Asmus & Guazelli, 1981). Este evento tectônico é datado entre 100-80 Ma por análise de traços de fissão em apatita em rochas da Serra do Mar na região do Arco de Ponta Grossa por Vignol-Lelarge (1994). Jelinek (1997), a partir da determinação pelo método de traços de fissão em apatitas, obteve idades aparentes de 80 Ma para altitudes inferiores a 800m para o soerguimento da Serra do Mar. As idades significativamente inferiores as idades estratigráficas das rochas amostradas, sugerem uma passagem pela ZAT com altas temperaturas (>110°C) não preservando os eventos anteriores de resfriamento/denudação atuantes em cada região. Estes eventos possivelmente

foram os responsáveis por posicionar as amostras anteriormente localizadas na ZAT e ZAP em condições superficiais. Assim, ao correlacionar os resultados locais com a evolução regional ficam evidentes que eram iminentes o rompimento da litosfera e a formação da margem continental.

As idades traços de fissão obtidas para o Paraná variam de $65,6 \pm 9$ Ma a $9,9 \pm 2,1$ Ma sendo mais jovens do que os eventos descritos. Desta forma, as amostras não registraram tais eventos. Alterações térmicas que possam ter afetado as rochas estavam em uma faixa de temperatura acima da resolução do método para que não permitisse o seu registro. Contudo, essas idades coincidem com os eventos que assolaram o estado do Paraná no Cenozóico (65--1 Ma). Estes dados indicam uma reativação pós-rifte durante o Cretáceo Inferior e Paleogeno. Durante o Paleogeno (65-23 Ma) os pulsos magmáticos que originaram intrusões de diques basálticos e rochas alcalinas (Almeida & Carneiro, 1998) se acumularam e prosseguiram pelo Neogeno (23--1 Ma) e Quaternário (Suguio, 1996). Próximo a zona costeira atual o sistema de *grabens* de direção ENE-WSW desenvolvido no embasamento Pré-Cambriano foi recoberto por 100m de sedimentos terrígenos durante esta época (Bacias Curitiba e Pariquera-Açu, Salamuni et al., 2003). Segundo Riccomini et al., (1989), (2004) e Cobbold et al. (2001), esse sistema de *grabens* é interpretado como bacias do tipo *pull-apart* de alta transtensão lateral desenvolvidas durante o Paleogeno. Enquanto isso, grandes volumes de rochas vulcânicas foram erodidos e depositados nas bacias de offshore. Já no Neogeno Inferior ocorreu uma inversão de bacias do tipo rifte causada por alta transpressão lateral (Cobbold et al., 2001). Em resposta a acomodação da placa da América do Sul a crosta continental quebrou e colapsou gerando *grabens* de direção NE-SW próximos e paralelos a linha de costa. Falhas normais reativadas paralelas as Zonas de Cisalhamento, tipo Lancinha/Cubatão e Taxaquara, formaram uma série de *grabens* de direção NNE-SSW que posteriormente foram mobilizados para NNW e recobertos por sedimentos terrígenos (Melo et al., 1985; Riccomini et al., 1989; Almeida & Carneiro 1998; Almeida et al., 2000; Meisling et al., 2001; Salamuni et al., 2003). Assim, as bacias sedimentares que se localizam no estado do Paraná e se estendem até o estado do Rio de Janeiro apresentam centenas de metros de sedimentação associada com magmatismo alcalino na parte norte do sistema de riftes (Riccomini et al., 1989; Salamuni et al., 2003). A mudança topográfica se torna inevitável na região. Os altos topográficos sofrem exumação e erosão entre o Cretáceo Inferior e o Oligoceno-

Mioceno, e os sedimentos das áreas fontes são depositados em bacias continentais do tipo rifte. Em meados do Eoceno Inferior (~ 55 Ma) a Bacia de Santos sofre subsidência devido à diminuição rápida do aporte de sedimentos clásticos na parte central da bacia (Cobbold et al., 2001). Franco-Magalhães et al. (2010) registrou através de análises por traços de fissão o fraturamento de blocos e exumação na região do Arco de Ponta Grossa durante o Paleoceno-Eoceno, o que está associado a origem e evolução de bacias continentais do tipo rifte de direção NE-SW entre o Mioceno e Pleistoceno. Após o soerguimento do continente no final do Cretáceo iniciou-se um longo período erosivo que perdurou no Eoceno (55-33 Ma).

No Neogeno (23--10 Ma) um novo soerguimento é registrado e consequentemente mais um ciclo de erosões se instalam no continente. A estes eventos tectônicos podem ser relacionados às compensações isostáticas e os processos compressivos oriundos da Cadeia Andina, a formação do Atlântico e dos esforços de falhas transformantes do embasamento, provavelmente reativadas. Isto é descrito por Cobbold et al. (2001), Meisling et al. (2001) e Zalán (2004) como cronologicamente coincidentes às fases da orogenia Andina (Peruviana 90-75 Ma, Incaica 50-40 Ma e Quechuana 25-0 Ma), que ocorreram durante os períodos de rápida convergência da margem Andina (Noblet et al., 1996).

O resfriamento mostrado pelas histórias térmicas das amostras analisadas do Paraná nos últimos 60 Ma pode estar relacionado com estes soerguimentos que afetaram a Bacia de Santos, cujos altos topográficos formados propiciaram a posterior erosão e possivelmente o entalhe do rio Ribeira de Iguapé (Almeida & Carneiro, 1998).

Durante o Mioceno, a Serra do Mar sofreu com movimentação de blocos, exumação e soerguimento, além de inversão das bacias continentais do tipo rifte (Riccomini et al., 1989; Almeida & Carneiro 1998; Salamuni et al., 2003). As altas taxas de soerguimento na região indicam que uma grande quantidade de rocha se elevou. Isto poderia ter compensado as taxas de erosão e explicar as diferenças entre a superfície mais antiga e as escarpas atuais. As reativações perduraram até o presente. Nossos dados indicam que o estado do Paraná, na região do Arco de Ponta Grossa, sofreu movimentação do Paleogeno ao Neogeno.

Dados termocronológicos de análises de traços de fissão obtidos por Franco-Magalhães et al. (2010) ainda mostram uma separação entre NE e SW na região do Arco de Ponta Grossa com idades de 20 Ma e 50 Ma, respectivamente. Eles

interpretaram estas idades como uma possível influência de movimentos tectônicos e denudação diferenciada entre as áreas NE-SW da falha São Jerônimo-Curiúva. Assim, a continuidade da falha poderia ter influenciado a região sul e conseqüentemente na formação da Bacia de Santos. Sabe-se que a borda sul na bacia apresenta registros do final da distribuição dos depósitos de sal (Meisling et al. 2001, Mohriak 2001, 2004), sendo seguida pela fratura Florianópolis, que por sua vez é interpretada como uma zona de transferência gerada durante a evolução do Oceano Atlântico (Cobbold et al. 2001; Meisling et al. 2001; Torsvik et al. 2009). Vale ressaltar que a zona de falha São Jerônimo-Curiúva faz parte do sistema de falhas da Zona de Fratura Florianópolis.

Vignol-Lelarge et al. (1994) demonstrou através de análise de traços de fissão um significativo mas rápido soerguimento na região de costa da Serra do Mar em torno de 86 ± 4 Ma. Gallagher et al. (1995) revelou idades traços de fissão entre 65.1 ± 4 e 154.4 ± 15 Ma, ao longo de uma transecta de direção NW-SE na região do Arco de Ponta Grossa, sugerindo denudação diferencial que afetou a região depois da erupção de basaltos.

A relação cronológica entre as idades traços de fissão perpendiculares a linha de costa parece indicar um importante deslocamento do interior da placa para sua margem nascente. As amostras localizadas no interior do continente registram os eventos de resfriamento/denudação anterior ao Permiano, ao ponto que nas amostras próximas a Lagoa dos Patos, Rio Camaquã e porção leste do Uruguai são registrados os eventos relacionados à ruptura do Gondwana. Gallagher et al. (1994), através da análise de traços de fissão em apatita, obtiveram idades inferiores a 100 Ma e tão baixas quanto 50-60 Ma da costa para o interior do continente, com aumento das idades traços de fissão crescendo para o interior. Isto não foi evidenciado nas amostras estudadas, possivelmente devido ao posicionamento destas ao longo da região amostrada.

A variação dos comprimentos dos traços de fissão confinados com traços de fissão inferiores a $13 \mu\text{m}$ sugere que as amostras sofreram diferentes reduções nos tamanhos dos traços de fissão confinados, podendo ser uma resposta as diferentes posições crustais que estavam submetidas, as paleotemperaturas envolvidas e ao tempo de residência na Zona de Apagamento Parcial (ZAP).

A denudação das regiões estudadas do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná foi lenta e contínua durante a fase pré-rifte com taxas de 50

m/Ma, coincidindo com a deposição da Bacia do Paraná e Bacia Santa Lúcia. A justaposição de processos nas fases subseqüentes foi provavelmente desencadeada por contínuas atividades de estruturas NW a partir da fase rifte, que culminaram em taxas de até 45 m/Ma no Barremiano, na região de Encruzilhada do Sul. Somente a partir do Bartoniano a região sul registra um aumento das taxas de denudação (até 70 m/Ma), sugerindo valores de até 2800m de material denudado.

Por fim, tanto Vignol-Lelarge et al. (1994) quanto Gallagher et al. (1994) estimaram uma denudação de 3 km para a região costeira e 1-2,5 km no interior do continente. Isto significa que grande parte de material da Serra Geral foi removido pela erosão. Em nossas estimativas não alcançamos estes valores, mas de acordo com nossos dados pode-se sugerir que a denudação no interior do continente foi mais proeminente (97m) do que na zona de costa (40m). Estes resultados inversos aos obtidos pelos autores supracitados podem ser devido aos litotipos altos do interior em comparação ao aplainamento costeiro, alguns milhares de anos depois do soerguimento da Serra do Mar.

4.4 - IDADES MIOCÊNICAS NO RS E A FORMAÇÃO DO CONE DO RIO GRANDE

As idades aparentes de traços de fissão mais jovens no Rio Grande do Sul ($38 \pm 2,5$ Ma) coincidem com a localização da anomalia gravimétrica da Lagoa Mirim, na porção sul da Bacia de Pelotas onde ocorre um espesso pacote de sedimentos pós Oligoceno, formado desde o Mioceno até o presente com alta taxa de sedimentação (ca. 200-400 m/Ma), definindo o Cone do Rio Grande (FIG. 4.5). Isso resultou em um pacote sedimentar de 4000 m depositados entre 20 a 12 Ma do Mioceno ao presente. Durante este intervalo de tempo, estruturas relacionadas à movimentação gravitacional (Fontana, 1989) devem ter afetado termicamente a região ao longo dos anos. Castillo et al. (2009) utilizou seções sísmicas ao longo do Cone do Grande para modelar o seu empilhamento estratigráfico e sua estrutura externa e interna. Na Figura 4.6, pode-se visualizar o modelo tectono-estratigráfico do Cone do Rio Grande, o qual é definido por uma falha lítrica principal e diversas estruturas extensionais subsidiárias. Na extremidade leste do Cone do Rio Grande ocorrem falhas inversas que são interpretadas como falhas de acomodação provocadas pelo deslizamento principal da estrutura do Cone do Rio Grande.

História térmica das amostras do Rio Grande do Sul e Uruguai permite reconhecer o evento de denudação próximo a 20 Ma, que deve estar relacionado à formação do Cone do Rio Grande (ver FIG. 4.3, histogramas do Rio Grande do Sul e Uruguai).

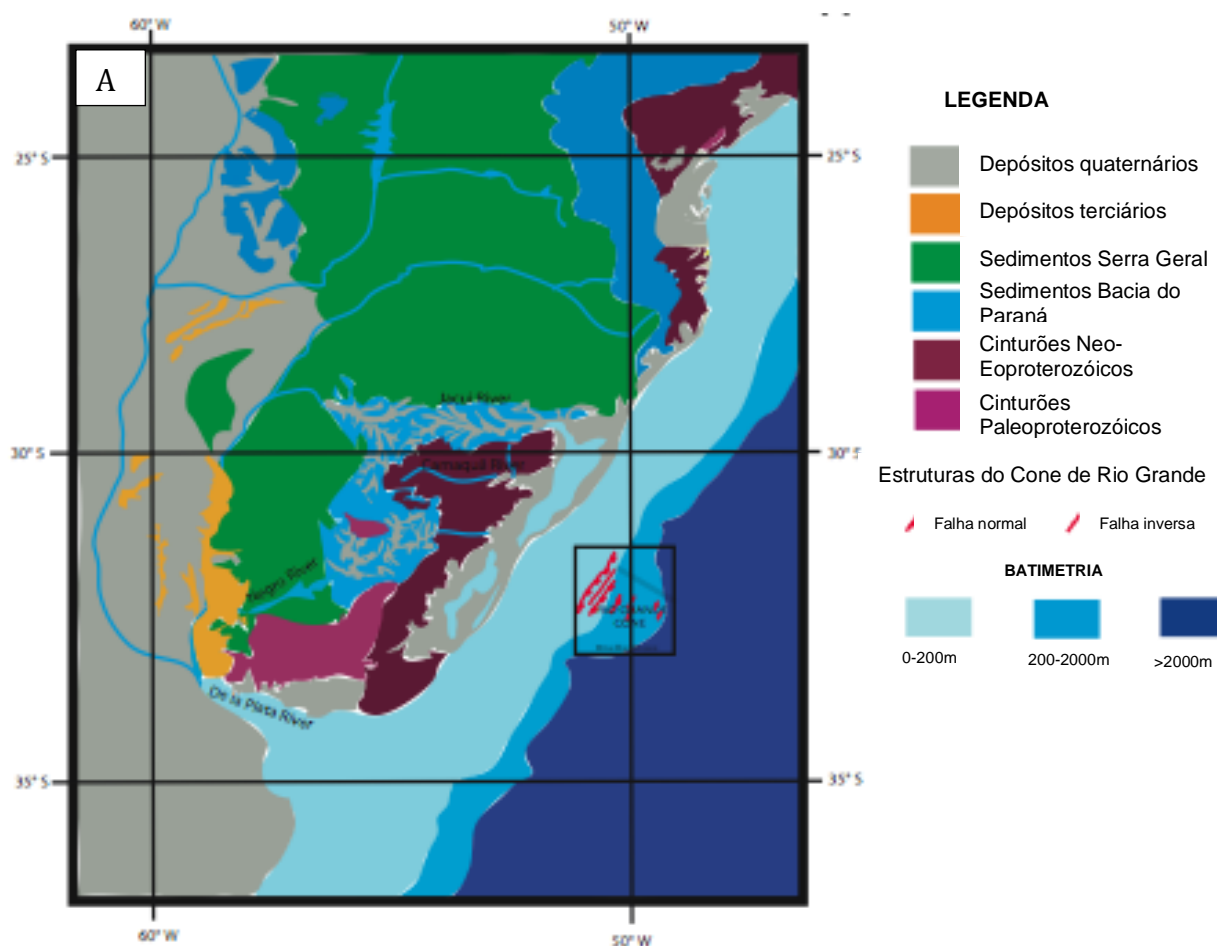


Figura - 4.5. Localização do Cone do Rio Grande na Bacia de Pelotas (Castillo et al., 2009).

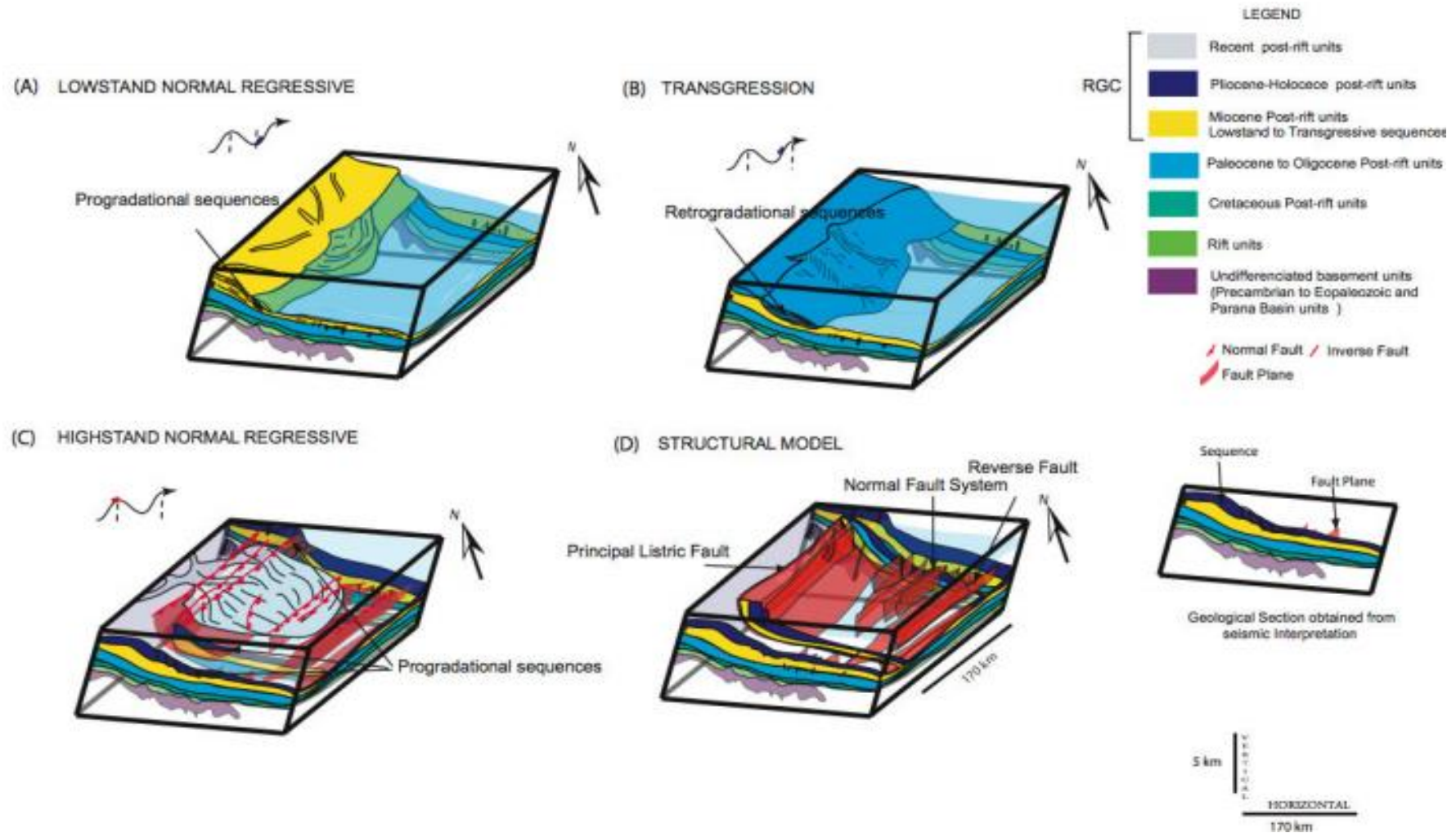


Figura - 4.6. Modelo tectono-estratigráfico do Cone do Rio Grande, com os diversos estágios de deposição (A-C) e estrutural (D) (Castillo et al., 2009).

4.5 - CORRELAÇÃO BRASIL-ÁFRICA

O modelamento morfotectônico da margem sul e sudeste da América do Sul e da margem oeste da África decorreu da fragmentação e dispersão destes continentes e a formação do Oceano Atlântico. As margens desses dois continentes conhecidas atualmente são o produto de margens contínuas de um sistema de rifte intracontinental que evoluiu para uma margem passiva clássica. A correlação da América do Sul e da África em termos de geomorfologia, estratigrafia, paleontologia, geocronologia e, mais recentemente, termocronologia têm sido o foco de vários estudos (Jelinek, 1997; Milani, 2000; Raab et al., 2002; Rapela et al., 2003; Luft et al., 2005; Zerfass et al., 2005; Tinker et al., 2008; Turner et al., 2008; Chemale et al., 2011). Os repetidos episódios de soerguimento e erosão, em grande escala, dentre esses dois continentes durante seus desenvolvimentos fornecem subsídio para o entendimento dos estágios de exumação no transcorrer da formação de margens oceânicas.

Dentro deste contexto, destacam-se as regiões da Namíbia e da África do Sul, que geograficamente são correlatas as áreas enfocadas neste estudo: Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A região da Namíbia, mais especificamente o Cinturão Kaoko, foi estudada a partir de análises por traços de fissão em apatita por Luft et al. (2005). Em seu estudo, eles sugerem que nesta região ficaram preservadas evidências de um evento tectono-termal ocorrido no Cretáceo Superior (99-65 Ma). Este evento afetou tanto o Cinturão Kaoko quanto a Bacia de Walvis, onde se destaca o modelamento morfotectônico da Província Etendeka, grandes escarpas de montanhas e a reativação de estruturas Pré-Cambrianas. As idades traços de fissão para a zona central do cinturão variam de $46,9 \pm 3,8$ a $296,7 \pm 26,1$ Ma. O comprimento médio dos traços de fissão confinados variou de $12,48 \pm 0,56$ a $10,49 \pm 0,37$ μm . A composição química média das apatitas em termos de concentração de cloro ficou em 0,03 wt%, sendo todos os grãos analisados de fluorapatitas.

Segundo os autores, as idades mais jovens (79,7 a 46,9 Ma) estão localizadas próximas a linha de costa e, a idade mais antiga (296,7 Ma) foi obtida na porção mais interna do continente. Isto mostra um forte controle exercido pelo relevo da região. As idades mais jovens (<130 Ma) estão associadas a uma média de comprimentos de traços de fissão confinados mais longos (10,5 μm -12,5 μm). Já as idades que pós-datam a abertura do Oceano Atlântico estão associadas a uma

média de comprimentos de traços de fissão confinados mais curta (10,5 μm -10,75 μm).

O NW da Namíbia foi estudado também por Raab et al. (2002). Eles desenvolveram pesquisas no Cinturão Damara a partir de análises por traços de fissão em apatitas e obtiveram idades que variam entre 547 \pm 95 Ma a 61 \pm 5 Ma, sendo a maioria dessas idades inferiores as idades estratigráficas. A média dos comprimentos de traços de fissão confinados variou de 14,3 \pm 0,7 μm a 9,8 \pm 0,3 μm . A composição química média das apatitas em termos de cloro ficou entre 0,0 e 0,002 wt%.

Segundo os autores, a evolução tectono-termal do cinturão parece ter sido influenciada por reativações de estruturas tectônicas Pré-Cambrianas. Assim, as amostras foram estrategicamente coletadas ao longo das estruturas crustais mais importantes da região, como a Falha Autseib-Otjohorong, o Lineamento Omaruru-Waterberg e o Lineamento Okahandja, localizadas a norte, centro e sul, respectivamente, no Cinturão Damara. No Lineamento Okahandja e na Falha Autseib-Otjohorong as idades são muito variadas (<100 a >500 Ma), tal como o relevo local. Porém, na zona central (Lineamento Omaruru-Waterberg) as variações das idades traços de fissão são pequenas e geralmente inferiores a 100 Ma. De qualquer forma, as histórias térmicas obtidas pelos autores sugerem que todas as amostras experimentaram um episódio de resfriamento acelerado durante o Cretáceo Superior. No setor sul foi registrado paleotemperaturas de 85°C. A norte no Lineamento Okahandja as paleotemperaturas aumentaram gradualmente até 120°C. Esta aparente descontínua diminuição de 40°C nas paleotemperaturas foi interpretada pelos autores como uma evidência para reativações tectônicas do Lineamento Omaruru-Waterberg em torno de 70 Ma, com uma erosão calculada de 4-5 km. O que condiz com as análises de estratigrafia sísmica da região (Clemson et al., 1997), que demonstram que o norte da Namíbia é segmentado em pequenas zonas com diferentes histórias de rifteamento. As estruturas Omaruru e Autseib foram reativadas durante o Triássico (250-200 Ma) e possivelmente também durante o Cretáceo Inferior (145-99 Ma).

Segundo Zerfass et al. (2005) em suas observações sobre a Supersequência Santa Maria, sul do Brasil, e a Bacia de Waterberg, Namíbia, com base na análise de imagens de RADAR, demonstram que o sistema de Falhas Omaruru-Waterberg se prolonga por parte do sul do Rio Grande do Sul (Brasil) com direção NW, sendo

compatível com as paleocorrentes dos sistemas fluviais e deltaico da Supersequência Santa Maria. Segundo os autores, desde o Triássico Inferior várias estruturas dos Cinturões Damara-Katanga-Moçambique foram reativadas na África, como falhas normais e o sistema de riftes que inclui a Bacia de Waterberg. Os autores advogam que a Supersequência Santa Maria representa os depósitos brasileiros correlacionáveis aos africanos. Os depósitos sedimentares Cretáceos, como as Formações Guará e Botucatu, são contemporâneas a Formação Upper Etjo na Namíbia. E ainda, no Cretáceo Inferior o vulcanismo Serra-Geral-Etendeka recobre as unidades mais antigas brasileiras e africanas e, a cobertura sedimentar cenozóica representa as unidades mais jovens.

A região sul da África do Sul foi estudada por Tinker et al. (2008) através de análises de traços de fissão em apatitas. As idades traços de fissão variam de 89 ± 6 Ma (Grupo Kango) a 157 ± 14 Ma (Dolerito Karoo). A média dos comprimentos traços de fissão confinados variou entre $11,86 \mu\text{m}$ a $14,23 \mu\text{m}$. Todas estas idades traços de fissão são mais jovens que as idades estratigráficas: $\sim 518 \pm 9$ Ma para o Grupo Kango e 180 Ma para o dolerito Karoo. Isto indica que todas as amostras desses autores experimentaram paleotemperaturas elevadas, o que apagou todo e qualquer registro termal que precedeu as idades traços de fissão obtidas, e a ausência de idades cenozóicas ainda sugere que o maior evento de resfriamento foi a 65 Ma. Isto condiz com os dados de inclusões fluidas que indicaram temperaturas metamórficas de $240\text{-}410^\circ\text{C}$ para as rochas do embasamento Kango durante a Orogenia Cape (Egle, 1996). Os dados de traços de fissão em zircões das rochas sedimentares do depósito de urânio Rietkivil, localizado a sul da região de estudo (~ 100 km), sugerem paleotemperaturas de $250 \pm 50^\circ\text{C}$ entre 250-190 Ma (Brown et al., 1994; Egle et al., 1998). Os conteúdos de cloro (0,36-1,09 wt%) não mostraram correlação positiva com as idades grão a grão, o que indica, neste caso, que a composição química não influenciou o grau de *annealing* das apatitas.

Devido a ausência de intrusões ígneas significantes ou qualquer atividade vulcânica na região sul de Cape desde 180 Ma, aproximadamente, o resfriamento da crosta superior é muito provavelmente o resultado de denudação (Gallagher & Brown, 1999). Após este período, no Cretáceo, é reportado episódios de atividade kimberlítica pontuais no sul da África do Sul. A época coincide com o final da quebra do Gondwana (130-120 Ma) e o desenvolvimento do Etendeka-Paraná. A atividade ígnea ao longo da margem continental propiciou o desenvolvimento da maior

concentração de intrusões kimberlíticas (>200) em um curto período de tempo (130-120 Ma). Pouco tempo depois, entre 100-90 Ma, ocorre a formação da província ígnea máfica Agulhas e um segundo pulso pontual contemporâneo de intrusões kimberlíticas (~450, Jelsma et al., 2004). Assim, os autores sugerem que dois períodos de aumento de denudação identificados pelas análises de traços de fissão em conjunto com as atividades ígneas do Cretáceo afetou a margem e o interior do continente da África do Sul durante a formação do Oceano Atlântico.

Quando os dados de traços de fissão do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná são comparados com as análises traços de fissão do NW da Namíbia e da África do Sul revelam que a relação entre as idades traços de fissão e as altitudes é altamente variável (FIG. 4.7). Enquanto que no NW da Namíbia e África do Sul parece haver, em geral, uma correlação positiva, pontualmente conforme o grupo de amostras observadas há indícios do oposto. Nas amostras da América do Sul as evidências de correlações são pontuais, com exceção para as amostras do Uruguai que tendem a ter idades traços de fissão mais antigas no interior do continente e idades mais jovens na zona de costa.

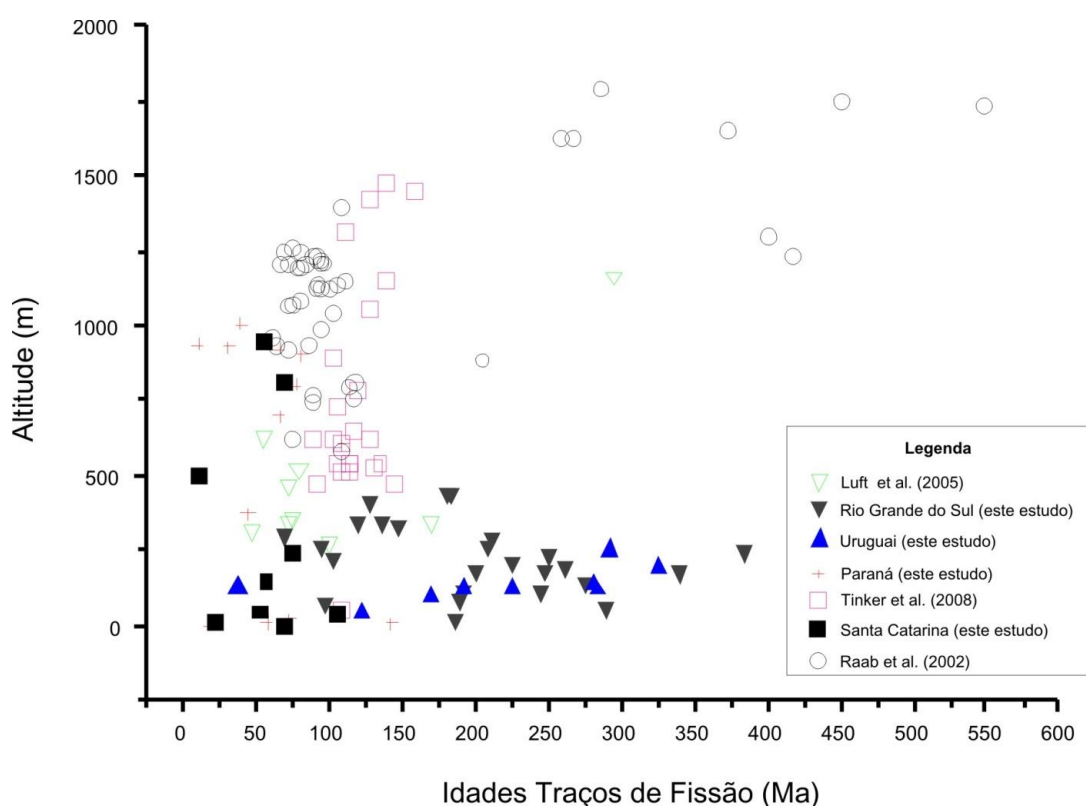


Figura - 4.7. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* altitude para as amostras estudadas em comparação as amostras africanas.

Embora as idades traços de fissão observadas entre os dois continentes variem significativamente de 547 ± 95 Ma a $9,7 \pm 1,2$ Ma a média dos comprimentos dos traços de fissão confinados compreende entre $8,87 \pm 0,53$ μm e $14,9 \pm 0,29$ μm . A partir desta relação, idade e comprimento (FIG. 4.8), é possível observar que todas as amostras experimentaram um episódio comum de resfriamento acelerado durante o Cretáceo Superior-Paleoceno (120-50 Ma). Apenas algumas amostras do Uruguai, Rio Grande do Sul, NW da Namíbia e África do Sul registram idades traços de fissão que pré-datam a quebra do Gondwana. A representação gráfica sugerindo a forma de um bumerangue, por exemplo, no Rio Grande do Sul e NW da Namíbia, indica que as diferentes amostras resfriaram em diferentes paleotemperaturas, o que corrobora com os dados apresentados. No Uruguai, onde existe uma tendência positiva entre as idades traços de fissão e seus respectivos comprimentos de traços de fissão confinados, é possível inferir que as amostras com idades traços de fissão mais antigas provavelmente já estavam em temperaturas inferiores a 60°C quando ocorreram os eventos de resfriamento/denudação e/ou aquecimento das amostras com idades traços de fissão mais jovens. O mesmo padrão é observado para algumas amostras do Rio Grande do Sul, principalmente para aquelas amostras oriundas do Cinturão Dom Feliciano.

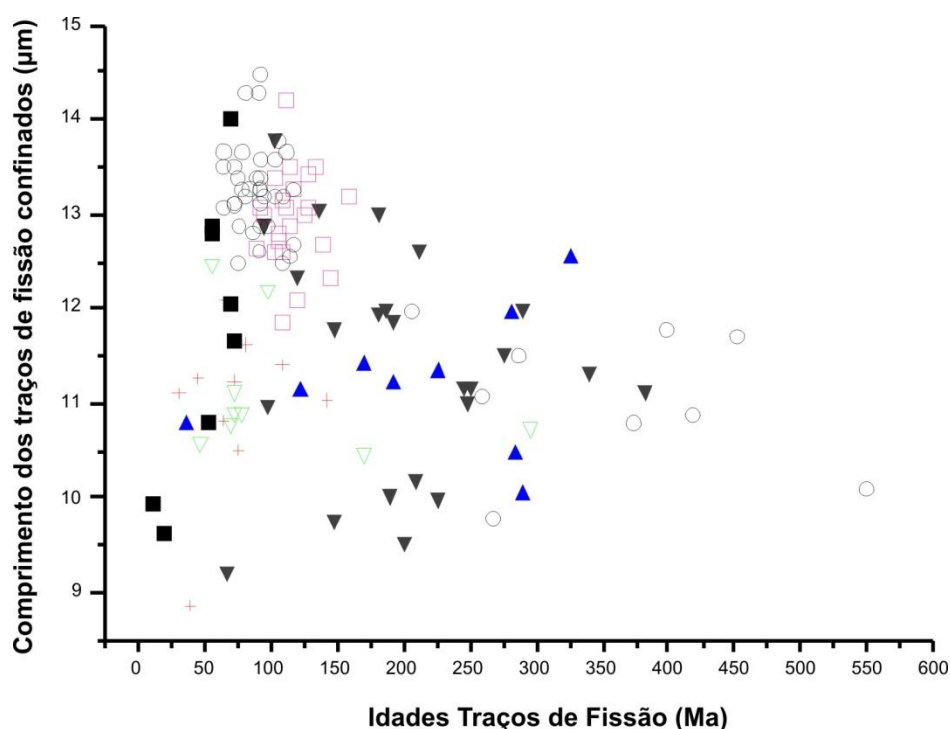


Figura – 4.8. Diagramas de Idades traços de fissão *versus* Comprimentos de traços de fissão confinados para as amostras estudadas em comparação as amostras africanas. Mesma legenda que a Figura 4.7.

Os modelamentos das amostras do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná sugerem a remoção de 1,5-2,8 km entre 130-120 Ma. Na fase pré-rifte (<120 Ma) os valores de estimativa são mais reduzidos, sendo retirado de 0,2 km a 2,0 km e, na fase pós-rifte (>130 Ma) a denudação foi de 0,32-2,6 km. Estes episódios de exumação/erosão podem ser traçados regionalmente ao longo da margem sul e sudeste da América do Sul. Estimativas de valores próximos a estes são descritos na literatura (Raab et al., 2002; Luft et al., 2005; Tinker et al., 2008) para o NW da Namíbia e África do Sul, onde ~3-5 km foi denudado entre o interior do continente e a zona de costa durante os eventos de resfriamentos ocorridos no Cretáceo.

A complexidade de cada região aqui mencionada, tanto na América do Sul quanto na África, remete a dinâmica dos fatores que contribuíram para que estas duas margens se apresentem como são atualmente. A movimentação tectônica atuante desde a fase pré-rifte nas diversas litologias em conjunto com a atividade ígnea foram responsáveis pelos distintos, mas correlacionáveis períodos de denudação identificada através de análises de traços de fissão que afetaram as margens e o interior da América do Sul e África, pré-sin e pós formação do Oceano Atlântico.

CAPÍTULO V –

Conclusões

O estudo do Uruguai, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná através de traços de fissão mostra que as regiões registram processos de resfriamento lentos e contínuos desde o final do Pensilvaniano, os quais são em parte coincidentes com a evolução das fases pré-rifte, sin-rifte e pós-rifte da Plataforma Sul-Americana. O sul do Uruguai registra processos de aquecimento que se iniciam no Anisiano - Titoniano e prossegue até o Aptiniano, possivelmente associado ao rifteamento Juro-Cretáceo que afetou a porção sul do Uruguai. O Rio Grande do Sul, por sua vez, registra a deposição da Bacia do Paraná. Eventos tectono-termais mais recentes (< 130 Ma) são observados nas amostras localizadas próximas a Zona de Cisalhamento Porto Alegre, na região sob influência do magmatismo Serra Geral e, na região de influência da anomalia gravimétrica da Lagoa Mirim. A partir do Bartoniano até o recente as regiões são caracterizadas por um aumento da taxa de denudação de até 70 m/Ma com até 2,8 km de seção denudada.

O estudo das amostras do estado do Paraná através de traços de fissão em apatita mostrou que a população de apatitas é homogênea. As histórias térmicas das idades traços de fissão indicaram que a região estudada sofreu o reflexo da tectônica Cenozóica, possivelmente acompanhando o embasamento nos processos de soerguimento e erosão. Os reflexos dos eventos tectônicos ficaram registrados nas rochas da região. Os dados de modelagem de histórias térmicas mostraram que o Paleoceno, Eoceno e Mioceno foram períodos importantes termicamente. Quando se leva em consideração o contexto estrutural da região se pode correlacionar aos eventos tectônicos de soerguimento/erosão que assolaram o estado do Paraná no entorno da Bacia de Santos e Serra do Mar e as rochas ali encontradas, sendo coerentes com a evolução regional da Plataforma Sul-Americana.

As idades traços de fissão obtidas variam entre $383,4 \pm 40,9$ a $9,7 \pm 1,2$ Ma, que perfaz um intervalo de tempo entre o Devoniano Superior e o Mioceno. Estas

idades são inferiores as idades estratigráficas das rochas amostradas, evidenciando que as amostras foram submetidas a temperaturas superiores a 120°C.

A média dos comprimentos dos traços de fissão confinados das amostras selecionadas varia de 14,02 a 8,87 μm , sendo um indício de que as amostras sofreram diferentes reduções nos tamanhos dos traços. Isto como consequência do posicionamento crustal, paleotemperaturas e tempo de residência na ZAP.

Os principais eventos de denudação são 300-270 Ma, 240-180 Ma, 150-120 Ma, 100-80 Ma e 60-40 Ma, que correspondem ao registro na plataforma estável da Orogênese São Rafael (ou Gondwanides), evento pré-rifte, rifteamento da América do Sul e África e dois eventos de denudação por rearranjos isostáticos da placa Sul-Americana no período pós-rifte, respectivamente. Ainda, no Rio Grande do Sul e norte do Uruguai pode ser distinguido um evento de denudação em torno de 20 Ma, que está relacionado à formação do Cone do Rio Grande na seção miocênica a holocênica da Bacia de Pelotas.

Em vista a conjuntura estrutural das regiões estudadas fica evidente a influência dos eventos de subsidência, soerguimento e denudação com a evolução regional da plataforma. Desta forma, a história térmica registrada pela metodologia empregada se mostrou eficaz no comportamento das rochas que compõem a estratigrafia das áreas analisadas.

CAPÍTULO VI –

Referência bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American platform. **Earth Science Reviews**, v. 50, p. 77-111, 2000.
- ALMEIDA, F. F. M. DE; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da serra do mar. **Revista Brasileira De Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.
- ANJOS-ZERFASS, G. S. **Estudos paleoambientais com base em isótopos de carbono, oxigênio e estrôncio em foraminíferos do terciário da Bacia de Pelotas**. 2009. 233 p. Tesis Doctoral, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- ASMUS, H. E.; GUAZELLI, M. Descrição sumária das estruturas da margem continental brasileira e das áreas oceânicas e continentais adjacentes, hipóteses sobre o tectonismo causador e implicações para os prognósticos de recursos minerais. In: PETROBRAS. **Estruturas e Tectonismo da margem continental brasileira, e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais; Relatório Final**. Projeto REMAC, 9. Rio de Janeiro: CENPES/DINTEP, 1981. p. 187-269.
- ASMUS, H. E.; PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica das placas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Belém. **Anais...** Belém, 1972. v. 2: p. 67-90.
- BARBARAND, J.; LUCAZEAU, F.; PAGEL, M.; SÉRANNE, M. Burial exhumation history of the southern–eastern Massif Central (France) constrained by apatite fission-track thermochronology. **Tectonophysics**, v. 335, p. 275–290, 2001.
- BARBARAND, J.; HURFORD, T.; CARTER, A. Variation in apatite fission-track length measurement: implications for thermal history modeling. **Chemical Geology**, v. 198, p. 77-106, 2003.
- BARBERENA, M. C. Bioestratigrafia preliminar da Formação Santa Maria. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 7, p. 111-129, 1977.
- BEARDSMORE, G. R.; CULL, J. P. Crustal heat flow: A guide to measurement and modelling. **Geological Magazine**; v. 140, n. 3, p. 365, 2001.

- BHANDARI, N.; BHAT, S.; LAL, D.; RAJAGOPALAN, G.; TAMHANE, S. A.; VENKATAVARADAN, V. S. Spontaneous fission record of uranium and extinct transuranic elements in Apollo samples. **Proceedings of the second Lunar Science Conference**, v. 3, p. 2599-2609, 1971.
- BIGAZZI, G. Length of fission tracks and age of muscovite samples. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 3, p. 434-438, 1967.
- BIGAZZI, G.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; ODONE, M.; PAULO, S. R.; ZUÑIGA, A. Absolute thermal neutron fluence determination by thin film of natural uranium. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A**, v. 352, p. 588-591, 1995b.
- BIGAZZI, G.; GUEDES, S.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; ODONE, M.; OSÓRIO, A. M. A.; PAULO, S. R.; ZUÑIGA, A. Potentialities and practical limitations of an absolute neutron dosimetry using thin films of natural uranium and thorium applied to the Fission Track Method. **Radiation Measurements**, v. 31, p. 651-656, 1999.
- BONOW, J. M.; LIDMAR-BERGSTRÖM, K.; JAPSEN, P. Paleosurfaces in central west Greenland as reference for identification of tectonic movements and estimation of erosion. **Global and Planetary Change**, v. 50, p. 161-183, 2006.
- BORBA, A. W.; VIGNOL-LELARGE; MIZUSAKI, A. M. P. Uplift and denudation of the Caçapava do Sul granitoids (southern Brazil) during late Paleozoic and Mesozoic: constraints from apatite fission-track data. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 15, p. 683-692, 2002.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMANN, P. **Carta Geológica del Uruguay**, Escala 1:500.000. Montevideo, Uruguay: GEOEDITORES, 1998.
- BOUDREAU A.E. AND MCCALLUM I.S. Halogens in Apatite from the Stillwater Complex: Preliminary Results (Abs.). **EOS**, v. 68, p. 1518, 1987.
- BRIGGS, N. D.; NAESER, C. W.; MCCULLOH, T. H. Thermal history of sedimentary basins by fission-track dating. Fission Track Dating WORKSHOP, 1., Pisa, **Abstracts... Nuclear Tracks**, v. 5, n. 1-2, p. 235-237, 1981.
- BROWN, R. W. Discussion on the thermal and tectonic history of the east midlands shelf (onshore UK) and surrounding regions assessed by apatite fission track analysis. **Journal of the Geological Society**, London., v. 148, p. 785-787, 1991.
- BROWN, R.; GALLAGHER, K.; GLEADOW, A. J.; SUMMERFELD, M. Morphotectonic evolution of South Atlantic Margins of Africa and South America. In: Summerfeld, M. **Geomorphology and Global Tectonics**. Wiley, New York: 2000. p. 255-281.
- BROWN, R. W.; SUMMERFIELD, M. A.; GLEADOW, A. J. W. Apatite fission track analysis: its potential for the estimation of denudation rates and implications

- for models of long term landscape development. In Kirkby, M.J. **Process Models and Theoretical Geomorphology**. Chichester: JOHN WILEY & SONS, 1994. p. 23-53.
- BURTNER, R. L.; NIGRINI, A.; DONELICK, R. A. Thermochronology of lower cretaceous source rocks in the Idaho-Wyoming thrust belt. **American Association Petrology Geological Bullin**, v. 78, p. 1613-1636, 1994.
- CANDELA, P. A. Towards a thermodynamic model for the halogens in magmatic systems: an application to the melt-vapor-apatite equilibrium. **Chemical Geology**, v. 57, p. 289-301, 1986.
- CASTILLO, L. L. A.; KAZMIERCZAK, T. DE S.; CHEMALE Jr, F. Rio Grande Cone tectono-stratigraphic model – Brazil: seismic sequences. **Earth Sciences Research Journal**, v. 13, n. 1, p. 40-53, 2009.
- CARLSON, W. D. Mechanisms and kinetics of apatite fission-track annealing. **American Mineralogist**, v. 75, p. 120-139, 1990.
- CARLSON, W. D.; DONELICK, R. A.; KETCHAM, R. A. Variability of Apatite Fission-Track Annealing Kinetics: I. Experimental Results. **American Mineralogist**, v. 84, p. 1213-1223, 1999.
- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. A. Tectonics and Stratigraphy of the East Brazil Rift System: An Overview. **Tectonophysics**, v. 213, p. 97-138, 1992.
- CHEMALE JR., F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; de ROS, L. F. **Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 13-52.
- CHEMALE JR., F.; EBERT, H. D.; LUFT JR, J. L.; MALLMANN, G. **Evolução tectônica e história térmica da margem SE do Brasil E W da África**. Porto Alegre: FAURGS/FINEP/PETROBRAS, v. 1, p.102, 2005.
- CHEMALE JR, F.; MALLMANN, G.; BITENCOURT, M. F. E.; KAWASHITA, K. Time Constraints on Magmatism along the Major Gercino Shear Zone, Southern Brazil: Implications for West Gondwana Reconstruction. **Gondwana Research** (Em Prep.)
- CHEMALE JR, F.; JELINEK, A. R.; GOMES, C. H. Phanerozoic evolution of the southern Mantiqueira belt. In: LATIN AMERICAN EARTH SCIENCES COLLOQUIUM, 22., Heidelberg, 2011. **Abstracts...** Heidelberg, 2011. p. 37-37.
- CHEMALE JR, F.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C. Stratigraphy And Tectonism Of The Brasiliano Cycle In Southern Brazil. **Communications of the Geological Survey of Namibia**, v. 10, p. 151-166, 1995.

- CLEMONSON, J.; CARTWRIGHT, J.; BOOTH, J. Structural Segmentation and the Influence of Basement Structure on the Namibia Passive Margin. **Journal of the Geological Society**, London, v. 154, p, 477-482, 1997.
- COBBOLD, P. R.; MEISLING, K. E.; MOUNT, V. S. Reactivation of an Obliquely Rifted Margin, Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil. **AAPG Bulletin**, v. 11, p. 1925-1944, 2001.
- CORRIGAN, J. D.; CROWLEY, K. D. Fission-Track Analysis of Detrital Apatites from Sites 717 And 718, Leg 116, Central Indian Ocean. **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results**, v. 116, p. 75-92, 1990.
- CROWLEY, K. D.; CAMERON, M.; SCHAEFFER, R. L. Experimental studies of annealing of etched fission tracks in fluorapatite. **Geochemica et Cosmochemica Acta**, v. 55, p. 1449-1465, 1991.
- CRUZ, S. A.; CHADDERTON, L. T. Theoretical study of pressure effects on fission fragment track registration lengths in apatite. **Radiation Measurements**, v. 40, p. 765– 769, 2005.
- CUPERTINO, J. A. **Evolução tectono-climática na fase rifte das Bacias de Camamu, parte Norte, e Sul do Recôncavo, com ênfase na utilização de isótopos estáveis e traços de fissão**. 2000. 2 Volumes. Tese de Doutorado - Instituto De Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000
- DODSON, M. H. Closure temperature on cooling geochronological and petrological systems. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 40, p. 259-274, 1973.
- DONELICK, R. A. The method of fission track analysis utilizing bulk chemical etching of apatite. **U.S. Patent Number 5,267,274**, 1993.
- DONELICK, R. A.; KETCHAM, R. A.; CARLSON, W. D. Variability of apatite fission-track annealing kinetics: ii: Crystallographic orientation effects. **American Mineralogist**, v. 84, p. 1224–1234, 1999.
- DONELICK, R. A.; O'SULLIVAN, P. B.; KETCHAM, R. A. Apatite fission-track analysis, low-temperature thermochronology: techniques, interpretations, and applications. **Reviews in Mineralogy & Geochemistry**, p. 49-94, 2005.
- DUNKL, I. TRACKKEY: a windows program for calculation and graphical presentation of fission track data. **Computers & Geosciences**, v. 28, n. 1, p. 3-12, 2002.
- EGLE, S. **Paleo-hydrology of the cape fold belt and the karoo basin, south africa: constraints on the formation of the laingsburg (dr-3) uranium prospecting area**. 1996. 155pp. Ph.D. Thesis. Universität Wien.
- EGLE, S.; DE WIT, M. J.; HOERNES, S. Gondwana fluids and subsurface palaeohydrology of the Cape fold belt and the Karoo basin, South África. **Journal of African Earth Sciences**, v. 27, p. 63–64, 1998.

- EMMEL, B.; GEIGER, M.; JACOBS, J. Detrital apatite fission-track ages in Middle Jurassic strata at the rifted margin of W Madagascar—indicator for a protracted resedimentation history. **Sedimentary Geology**, v. 186, p. 27–38, 2006.
- ENKELMANN, E.; JONCKHEERE, R.; WAUSCHKUHN, B. Independent fission-track ages (-ages) of proposed and accepted apatite age standards and a comparison of /-, z-, f- and f0-ages: implications for method calibration. **Chemical Geology**, v. 222, p. 232–248, 2005.
- FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Deforma-pré-cambrien de rio grande do sul (Brésil). Mode de gisement et Feliciano belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 5, p. 77-96, 1992.
- FLEET, M. E.; PAN, Y. Site preference of rare earth elements in fluorapatite: binary (LREE+HREE)-substituted crystals. **American Mineralogist**, v. 82, p. 870-877, 1997.
- FLEET, M. E.; LIU, X.; PAN, Y. Rare-earth elements in chlorapatite [Ca₁₀(PO₄)₆Cl₂]: uptake, site preference, and degradation of monoclinic structure. **American Mineralogist**, v. 85, p. 1437-1446, 2000.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B. Charged particle tracks in glass. **Journal of Applied Physics**, v. 34, p. 2903-2904, 1963.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. Fission track ages of zircon. **Journal of Geophysical Research**, v. B69, p. 4885–4888, 1964.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. The ion explosion spike mechanism for formation of charged particle tracks in solids. **Journal of Applied Physics**, v. 36, p. 3645-3652, 1965a.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. Effects of temperature, pressure, and ionization of the formation and stability of fission tracks in minerals and glasses. **Journal of Geophysical Research**, v. 70, p. 1497-1502, 1965b.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. **Nuclear tracks in solids: principles and applications**. Berkeley: University of California, Press, 1975.
- FONTANA, R. L. Evidências geofísicas da presença de hidratos de gás na Bacia de Pelotas – Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 1., Rio de Janeiro, 1989. **Anais...** Rio de Janeiro: 1989. P. 234-248.
- FOSTER, D. A.; GLEADOW, A. J. W. Reactivated tectonic boundaries and implications for the reconstruction of southeastern Australia and northern Victoria Land. **Antarctica. Geology**, v. 20, p. 267–270, 1992.
- FOSTER, D. A.; GLEADOW, A. J. W. Structural framework and denudation history of the flanks of the Kenya and Anza rifts, east Africa. **Tectonics**, v. 15, p. 258-271, 1996.

- FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B.; HACKSPACHER, P. C.; SAAD, A. R. Exumação tectônica e reativação de paleolineamentos no Arco de Ponta Grossa: termocronologia por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 184-195, 2010.
- FRANÇA, A. B.; MILANI, E. J.; SCHNEIDER, R. L.; LÓPEZ, O.; LÓPEZ, M.; SUAREZ, R.; DE SANTA ANA, H.; WIENS, F.; FERREIRO, O.; ROSSELLO, E. A. Phanerozoic correlation in southern South America. In: TANKARD, A. J.; SUAREZ, R.; WELSINK, H. J. **Petroleum Basins of South America: AAPG Memoir 62**, 1995.
- FREITAS-BRASIL, F. A. De. **Estratigrafia de sequências e processo diagenético: exemplos dos arenitos marinho-rasos da Formação Ponta Grossa, noroeste da Bacia do Paraná**. 2004. 135f. Dissertação (Mestrado Em Geologia) – Programa De Pós-Graduação Em Análise De Bacias E Faixas Móveis, Faculdade De Geologia, UERJ, Rio De Janeiro, 2004.
- GALBRAITH, R. F. On statistical models for fission track counts. **Mathematical Geology**, v. 13, p. 471-488, 1981.
- GALBRAITH, R. F.; LASLETT, G. M.; GREEN, P. F.; DUDDY, I. R. Apatite fission track analysis: geological thermal history analysis based on a three-dimensional random process of Linear Radiation Damage. **Philosophical transactions of the royal society of London**, v. 332, p. 419-438, 1990.
- GALBRAITH, R. F.; LASLETT, G. M. Statistical models for mixed fission track ages. **Nuclear Tracks and Radiation Measurements**, v. 21, p. 459-470, 1993.
- GALLAGHER, K.; BROWN, R. The Mesozoic denudation history of the Atlantic margins of southern Africa and southeast Brazil and the relationship to offshore sedimentation. In: Cameron, N.R.; Bate R.H.; Clure, V.S. **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Geological Society, London: SPECIAL PUBLICATIONS, 1999. p. 153
- GALLAGHER, K.; BROWN, R.; JOHNSON, C. Fission track analysis and its applications to geological problems. **Annual Reviews Earth Planet Science**, v. 26, p. 519–72, 1998.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. The denudation history of the onshore continental margin se Brazil inferred from apatite fission track data. **Journal of Geophysical Research**, v. 99(B9), n. 18, p. 117-18,145, 1994.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Denudation, fission track analysis and long-term evolution passive margin topography: application to the southeast Brazilian margin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 1, p. 65-77, 1995.
- GAMBOA, L. A. P.; RABINOWITZ, P. D. The Rio Grande fracture zone in the western South Atlantic and its tectonics implications. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 52, p. 410-418, 1981.

- GLEADOW, A. J. W.; BROWN, R. W. Fission track thermochronology, and the long-term denudational response to tectonics. In: SUMMERFIELD, M.J. **Geomorphology and Global Tectonics**. 2000. p. 57-75.
- GLEADOW, A. J. W.; DUDDY, I. R.; GREEN, P. F.; LOVERING, J. F. Confined track lengths in apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 94, p.405-415, 1986.
- GLEADOW, A. J. W.; DUDDY, I. R. A natural long-term track annealing experiment for apatite. **Nuclear Tracks**, v. 5, p, 169-174, 1981.
- GLEADOW, A. J. W.; DUDDY, I. R.; GREEN, P. F.; LOVERING, J. F. Confined fission track lengths in apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 94, p. 405-415, 1986.
- GLEADOW, A. J. W.; DUDDY, I. R.; LASLETT, G. M. The two stage model for the shortening of fossil fission track in apatites during. Annealing. **Nuclear Tracks**, v. 7, p. 47-59, 1983.
- GLEADOW, A. J. W.; FITZGERALD, P.G. Uplift history and structure of the Transantarctic Mountains: new evidence from fission track dating of basement apatite in the dry valleys area, southern Victoria Land. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 82, p. 1–14, 1987.
- GLEADOW, A. J. W.; O'BRIEN, P. E. Apatite fission-track thermochronology and tectonics, Clarence-Moreton Basin. **AGSO Bulletin**, v. 241, p. 189-194, 1994.
- GREEN, P. F. "Tack-In-Track" length measurements in annealed apatite. **Nuclear Tracks**, v. 5, n. 1-2, p. 121-128, 1981.
- GREEN, P. F. On the thermotectonic evolution of northern England: evidence from fission track analysis. **Geological Magazine**, v. 123, p. 405-415, 1986.
- GREEN, P. F. The relationship between track shortening and fission track age reduction in apatite. Combined influence of inherent stability, annealing anisotropy, length bias and system calibration. **Earth Planetary Science Letters**, v. 89, p. 335- 352, 1988.
- GREEN, P. F.; DUDDY, I. R.; LASLETT, G. M.; HEGARTY, K. A.; GLEADOW, A. J. W.; LOVERING, J. F. Thermal annealing of fission tracks in apatite. Quantitative modelling techniques and extension to geological timescales. **Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)**, v. 79, p. 155-182, 1989.
- GRIST, A. M; ZENTILLI, M. The thermal history of the Nares strait, Kane basin, and smith sound region in Canada and Greenland: constraints from apatite fission-track and (U–Th–Sm)/He dating. Canadian **Journal of Earth Sciences**, v. 42, n. 9, p. 1547-1569, 2005.
- HACKSPACHER, P. C.; RIBEIRO, L. F. B.; RIBEIRO, M. C. S.; FETTER, A. H.; HADLER NETO, J. C.; TELLO, C. A. S.; DANTAS, E. L. Consolidation and

breakup of the South American Platform in Southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. **Gondwana Resources**, v. 7, p. 91-101, 2004.

HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C.; REMUS, M. V. D.; LEITE, J. A. D.; PHILLIP, R. P. Evolução geotectônica do sul do Brasil e Uruguai entre 3,3 Ga e 470 Ma. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, 2., Punta del Este, Uruguay, 1998. **Actas...** Punta del Este, Uruguay: 1998. p. 277-284.

HARTMANN, L. A.; PIÑEYRO, D.; BOSSI, J.; LEITE, J. A. D.; MCNAUGHTON, N. J. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Paleoproterozoic Isla Mala granitic magmatism in the Rio de La Plata Craton, Uruguay. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, p. 105-113, 2000.

HARTMANN, L. A.; CAMPAL, N.; SANTOS, J. O. S.; MCNAUGHTON, N. J.; BOSSI, J.; SCHIPILOV, A.; LAFON, J. M. Archean crust in the Rio de La Plata Craton, Uruguay - SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 557-570, 2001.

HASEBEA, N.; BARBARAND, B. J.; JARVIS, K.; CARTERA, A.; HURFORD, A. J. Apatite Fission-Track Chronometry Using Laser Ablation ICP-MS. **Chemical Geology**, v. 207, p. 135-145, 2004.

HUGHES, J. M.; CAMERON, M.; MARIANO, A. N. Rare-earth-element ordering and structural variations in natural rare-earth-bearing apatites. **American Mineralogist**, v. 76, p. 1165-1173, 1991.

HURFORD, A. J.; GREEN, P. F. The zeta age calibration of fission track dating. **Chemical Geology** (Isotope Geoscience Section), v. 1, p. 285-317, 1983.

HURFORD, A. J.; HAMMERSCHMIDT, K. (Super 40) Ar/ (Super 39) Ar and K/ Ar dating of the Bishop and Fish Canyon Tuffs; calibration ages for Fission-Track-Dating standards. **Chemical Geology**, Isotope Geoscience Section, v. 58, p. 23-32, 1985.

JELINEK, A. R. J. **Análise por traços de fissão em apatitas (AFTA) da encaixante dos Depósitos de Fluorita Filoniana do Sudeste Catarinense: uma evolução hidrotermal polifásica.** 1997. 200 P. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

JELINEK, A. R.; BASTOS NETO, A. C.; POUPEAU, G. Análise por traços de fissão em apatitas do Distrito Fluorítico de Santa Catarina: relações entre hidrotermalismo e evolução da margem continental. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 3, p. 289-298, 2003.

JELSMA, H. A.; DE WIT, M. J.; THIART, C.; DIRKS, P. H. G. M.; VIOLA, G.; BASSON, I. J.; ANCKAR, E. Preferential distribution along transcontinental corridors of kimberlites and related rocks of southern Africa. **South African Journal of Geology**, v. 107, p. 301-324, 2004.

- JOLIVET, M.; BRUNEL, M.; SEWARD, D.; XU, Z.; YANG, J.; ROGER, F.; TAPPONNIER, P.; MALAVIEILLE, J.; ARNAUD, N.; WU, C. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northern edge of the Tibetan plateau: fission-track constraints: **Tectonophysics**, v. 343, p. 111–134, 2001.
- KEELEY, M. L.; LIGHT, M. P. R. Basin evolution and prospectivity of the Argentine continental margin. **Journal of Petroleum Geology**, v. 16, n. 4, p. 451–464, 1993.
- KETCHAM, R. A.; DONELICK, R. A.; CARLSON, W. D. Variability of Apatite Fission-Track Annealing Kinetics: III. Extrapolation to Geologic Time Scales. **American Mineralogist**, v.84, p, 1235-1255, 1999.
- KETCHAM, R. A.; DONELICK, R. A.; DONELICK, M. B. Aftsolve: a program for multikinetic modelling of apatite fission-track data. **Geological Materials Research**, v. 2, p. 1–32, 2000.
- KETCHAM, R. A. CARTER, A. C. DONELICK, R. A.; BARBARAND, J.; HURFORD, A. J. Improved modeling of fission-track annealing in apatite. **American Mineralogist**, v. 92, p. 799–810, 2007.
- KOHN, B. P.; GLEADOW, A. J. W.; BROWN, R. W.; GALLAGHER, K.; O'SULLIVAN, P. B.; FOSTER, D. A. Shaping the Australian crust over the last 300 million years: insights from fission track thermotectonic imaging and denudation studies of key terranes. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 49, p. 697-717, 2002.
- KRAML, M.; KELLER, J.; HENJES-KUNST, F. Spot fusion and incremental heating of single crystals from Kaiserstuhl volcanic rocks with the BGR $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe. In: V.M. GOLDSCHMIDT CONFERENCE, 17., Heidelberg, Germany, 1996. **Journal of Conference Abstracts...** Heidelberg, Germany: 1996. v. 1, p. 332.
- LAL, D.; RAJAN, R. S.; TAMHANE, A. S. Chemical composition of nuclei of $Z > 22$ in cosmic rays using meteoric minerals as detectors. **Nature**, v. 221, p. 33-37, 1969.
- LASLETT, G. M.; KENDALL, W. S.; GLEADOW, A. J. W.; DUDDY, I. R. Bias in measurement of Fission-Track length distributions. **Nuclear Tracks**, v. 6, p. 79–85, 1982.
- LELARGE, M. L. M. V. **Thermochronologie par la methode des traces de fission d'une marge passive (Dome de Ponta Grossa, SE Brésil) et au sein d'une chaine de collision (zone externe de l'arc Alpin, France)**. 1993. 251p. Tese De Doutorado - Université Joseph Fourier, Grenoble, 1993.
- LOPEZ-GAMUNDI, O. Permian plate margin volcanism and tuffs in adjacent basins of west Gondwana: age constraints and common characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 22, p. 227–238, 2006.
- LUFT, F. F.; LUFT JR, J. L.; CHEMALE JR, F.; LELARGE, M. L. M. V.; ÁVILA. J. N. Post-Gondwana break-up record constraints from apatite fission track

- thermochronology in NW Namibia. **Radiation Measurements**, v. 39, p. 675–679, 2005.
- MALLMANN, G.; CHEMALE JR, F.; AVILA, J. N.; KAWASHITA, K.; ARMSTRONG, R. A. Isotope geochemistry and geochronology of the Nico Pérez terrane, río de La Plata craton, Uruguay. **Gondwana Research**, v. 12, p. 489-508, 2007.
- MATOS, R. M. D. **Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil**. 1992. 276p. Ph.D. Dissertation - Cornell University, U.S.A, 1992.
- MCDOWELL, F. W.; MCINTOSH, W. C.; FARLEY, K. A. A precise ^{40}Ar – ^{39}Ar reference Age for the Durango Apatite (U–Th)/He and Fission-Track Dating Standard. **Chemical Geology**, v. 214, n. 3–4, p. 249–263, 2005.
- MEISLING, K. E.; COBBOLD, P. R.; MOUNT, V. S. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. **AAPG Bull**, v. 85, n. 11, p. 1903-1924, 2001.
- MELO, M. S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; COIMBRA, A. M. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 3, p. 193-201, 1985.
- MILANI, A. J. **Evolução tectono-estratigráfica da bacia do paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do gondwana sul-ocidental**. 1997. 2v. Tese De Doutorado, CPGEU/UFRGS, 1997.
- MILANI, E. J. Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 275-302.
- MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. I.; ZALÁN, P. V.; GAMBOA, I. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 3, 2000.
- MOHRIAK, W. U. Salt tectonics, volcanic centers, fracture zones and their relationship with the origin and evolution of the South Atlantic Ocean: geophysical evidence in the Brazilian and West African margins. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, SBGF, 7., Salvador–Bahia–Brazil, 2001. **Expanded Abstract...** Salvador–Bahia–Brazil: p. 1594.
- MOHRIAK, W. U. Recursos energéticos associados à ativação tectônica mesozóico-cenozóica da América do Sul. In: Mantesso–Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R.; Brito-Neves, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, Cap. XVIII, 2004. p. 293–318.
- MOORE, J. C.; ROESKE, S.; LUNDBERG, N.; SCHOONMAKER, J.; COWAN, D. S.; GONZALES, E.; LUCAS, S. E. Scaly fabrics from deep sea drilling project cores from forearcs. In: Moore, J.C. **Structural Fabrics from deep sea**

- drilling Project Cores from forearcs.** Geological Society Of America, Memoir 166. 1986. p. 55-73.
- MORRISON, J.; VALLEY, J. W. Partitioning of F-Cl-OH between amphibole, apatite, and biotite N granulites from the Adirondack Mountains, New York (Abs.). **EOS**, v. 70, p. 493, 1989.
- NERSEN, C. W. The use of apatite and sphene for fission track age determinations. **Geological Society of America Bulletin**, v. 7E, p. 1523-1526, 1957.
- NAESER, C. W. Thermal history of sedimentary basins: fission track dating of subsurface rocks. In: **Aspects of Diagenesis**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 26 Edited By: P.A. Scholle and P.R. Schluger, 1979. p. 109-112.
- NAESER, C. W.; DODGE, F. C. W. Fission-track ages of accessory minerals from granitic rocks of the central Sierra Nevada batholith, California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 80, p. 2201-2212, 1969.
- NAESER, N. D.; NAESER, C. W.; MCCULLOH, T. H. The application of fission-track dating to the depositional and thermal history of rocks in sedimentary basins. In: NAESER, N. D.; MCCULLOH, T. H. **Thermal History of Sedimentary Basins**. Springer-Verlag, 1989. p. 157-180.
- NAESER, C. W.; FLEISCHER, R. L. Age of the apatite at Cerro de Mercado, Mexico: a problem for fission-track annealing corrections. **Geophysical Research Letters**, v.1, p. 67-70, 1975.
- NOBLET, C.; LAVENÙ, A.; MAROCCO, R. Concept of continuum as opposed to periodic tectonism in the Andes. **Tectonophysics**, v. 255, p. 65-78, 1996.
- OMAR, G. I.; STECKLER, M. S.; BUCK, W. R.; KOHN, B. P. Fission-track analysis of basement apatites at the western margin of the gulf of Suez rift, Egypt: evidence for synchronicity of uplift and subsidence. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 94, p. 316-328, 1989.
- O'SULLIVAN, P. B.; BROWN, R. W. Effects of surface cooling on apatite fission-track data: evidence for Miocene climatic change, North Slope, Alaska. In: VAN DEN HAUTE, P.; CORTE, F. **Advances in Fission-Track Geochronology**. Selections of papers presented at the International Workshop on Fission Track Dating, Ghent, Belgium: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1998.
- PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR, F.; LOPES, R. C. A Bacia do Camaquã. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. 1 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 231-274.
- PAUL, T. A.; FITZGERALD, P. G.. Transmission electron microscopy investigation of fission tracks in fluorapatite. **American Mineralogist**, v. 77, p. 336-344, 1992.

- PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKY, W. Mantle plumes and flood basalt stratigraphy in the Paraná. **South America. Geology**, v. 18, p. 1223-1226, 1990.
- PEREIRA, M. J. Considerações sobre a estratigrafia do Cenomaniano-Santoniano em algumas bacias continentais brasileiras e sua implicação na história tectônica e sedimentar da margem continental. **Boletim Geociências Petrobrás**, v. 6, n. 3/4, p. 171-176, 1992.
- PEREIRA, M. J.; FEIJÓ, F. J. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n.1, p. 219–234, 1994.
- PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. Estratigrafia e significado tectônico das suítes graníticas do batólito Pelotas no RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 257-266, 2001.
- PORCHER, C.C. **Caracterização das condições de fluxo em uma zona de cisalhamento tangencial na região de Santana da Boa Vista**. 1992. 192p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Geociência) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- PORCHER, C.C.; FERNANDES, L. A. D. Relações embasamento/cobertura na porção ocidental do cinturão Dom Feliciano: um esboço estrutural. **Pesquisas**, v. 17, n. 1-2, p. 72-96, 1990.
- PRICE, P.B.; WALKER, R. M. Chemical etching of charged particle tracks. **Journal of Applied Physics**, v. 33, p. 3407-3412, 1962.
- PRICE, P. B.; WALKER, R. M. Fossil tracks of charged particles in gneiss and the age of minerals. **Journal of Geophysical Research**, v. 68, p. 4847-4862, 1963.
- RAAB, M. J.; BROWN, R. W.; GALLAGHER, K.; CARTER, A.; WEBER, K. Late cretaceous reactivation of major crustal shear zones in northern Namibia: constraints from apatite fission track analysis. **Tectonophysics**, v. 349, p. 75–92, 2002.
- RAMOS, V. A. The tectonics of the central Andes. In: Clark, S. P.; Burchfiel, B. C.; Suppe, J. **Processes in continental lithospheric deformation**. Geological Society of America Special Paper, v. 218, p. 31–54, 1988.
- RAPELA, C. W.; PANKHURST, R. I.; FANNING, C. M.; GRECCO, L. E. Basement evolution of the Sierra de La Ventana fold belt: new evidence for Cambrian continental rifting along the southern margin of Gondwana. **Journal of the Geological Society**, London, v. 160, p. 613-628, 2003.
- RENE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J. M.; PREVOT, M.; PERRIN, M. The age of the Paraná flood volcanism, rifting Gondwanaland, and the Jurassic-cretaceous boundary. **Science**, v. 258, p. 975-979, 1992.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.; MARTIN, L. The colônia astrobleme. In: **ABEQUA/INQUA**, International Symposium on global changes in South

America during the Quaternary: past, present and future. São Paulo. Excursion Field Guide, 1989, 14p.

- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; BRITO NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. BECA, 2004. p. 383-405.
- ROHRMAN, M.; ANDRIESSEN, P.; VAN DER BEEK, P. The relationship between basin and margin thermal evolution assessed by fission track thermochronology: and application to offshore southern Norway. **Basin Research**, v. 8, p. 45-63, 1996.
- RØNSBO, J. G. Coupled substitutions involving Rees and NA and SI in apatites. In: Alkali Rocks from the Ilimaussaq Intrusion, South Greenland, and the Petrological Implications. **American Mineralogist**, v. 74, p. 896-901, 1989.
- SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da bacia sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 469-478, 2003.
- SILK, E. C. H.; BARNES, R. S. Examination of fission fragment tracks with an electron microscope. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 970-971, 1959.
- SPELL, T. L.; MCDUGALL, I. Characterization and calibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards. **Chemical Geology**, v. 198, p. 189-211, 2003.
- STORMER, J. C.; CARMICHAEL, I. S. E. Fluorine-hydroxyl exchange in apatite and biotite: a potencial igneous geothermometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 31, p. 121-131, 1971.
- SUGUIO, K. A importância da história evolutiva Neocenozóica das planícies costeiras e das plataformas continentais adjacentes na dinâmica sedimentar litorânea atual do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém, PA, 1996. **BOLETIM DE RESUMOS EXPANDIDOS E GUIA DE EXCURSÕES**, Belém, PA: 1996. p. 23-25.
- TELLO, C. A. S.; HACKSPACHER, P. C.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; RIBEIRO, L. F. B.; PAULO, S. R. Recognition of cretaceous, Paleocene and Neogene tectonic reactivation through apatite fission track analysis in Precambrian areas of southeast Brazil: association with the opening of South Atlantic Ocean. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 15, p. 765-774, 2003.
- TINKER, J.; DE WIT, M.; BROWN, R. W. Mesozoic exhumation of the southern Cape, South Africa, quantified using apatite fission track thermochronology: **Tectonophysics**, v. 455, p. 77-93, 2008.
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IG/UFRGS, 2000. p. 375-406.

- TORSVIK, T.H.; ROUSSE, S.; LABAILS, C.; SMETHURST, M. A. South Atlantic reconstructions and the Aptian salt enigma. **Geophysical Journal International**, v. 177, p. 1315–1333, 2009
- TURNER, R.; KOEHLER, R. D.; BRIGGS, R. W.; WESNOUSKY, S. G. Paleoseismic and slip rate observations along the honey lake fault zone, northeastern California, USA. **Bulletin of the Seismological Society of America**, v. 98, p. 1730–1736, 2008.
- TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v.121, p.333-348, 1994.
- WAGNER, G. A. Fission track dating of apatites. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 4, p. 411-415, 1968.
- WAGNER, G. A. The geological interpretation of fission track age. **Transactions of American Nuclear Society**, v. 15, p.117, 1972.
- WAGNER, G. A.; HEIJ, L. Apatite fission-track-age-spectrum based on projected track length analysis. **Chemical Geology (Isotope Geosciences Section)**, v. 87, p. 1-9, 1991.
- WAGNER, G. A.; REIMER, G. M. Fission track tectonics: the tectonic interpretation of fission track apatite ages. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 14, p. 263–268, 1972.
- WAGNER, G. A.; STORZER, D. Fission track length reductions in minerals and the thermal history of rocks. **Transactions of American Nuclear Society**, v. 15, p. 127-128, 1972.
- WAGNER, G. A.; VAN DEN HAUTE, P. **Fission track-dating**. Dordrecht: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1992. p. 285.
- WENDT, A. S.; VIDAL, O.; CHADDERTON, L. T. Experimental evidence for the pressure dependence of fission track annealing in apatite. **Earth And Planetary Science Letters**, v. 201, p. 593–607, 2002.
- WHITE, I. C. 1908. **Relatório Final Da Comissão De Estudos Das Minas De Carvão De Pedra Do Brasil**. Rio de Janeiro : DNPM, 1988. Parte I, P.1-300; Parte II, P. 301-617. (Ed. Fac-Similar)
- DE WIT, M. J.; RANSOME, I. G. D. Regional inversion tectonics along the southern margin of Gondwana. In: DE WIT, M. J.; RANSOME, I. G. D. **Inversion Tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of Southern Africa**. Rotterdam: BALKEMA PUBLISHERS, 1992. p. 15–22.
- VAN DER BEEK, P. A.; DELVAUX, D.; ANDRIESSEN, P. A. M.; LEVI, K.G. Early Cretaceous denudation related to compressional deformation in the Baikal region, SE Siberia. **Journal of the Geological Society London**, v. 153, p. 515-523, 1996.

- VIGNOL-LELARGE, M. L. M.; SOLIANI JR, E.; POUPEAU, G. Datação pelos traços de fissão do domínio meridional da Serra do Mar (Arco de Ponta Grossa - Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, 1994. **Anais...** Balneário Camboriú: SBG, 1994. v. 1, p. 379-380.
- YOUNG, D. A. Etching of radiation damage in lithium fluoride. **Nature**, v. 182, p. 375-377, 1958.
- YOUNG, E. J.; MUNSON, E. L. Fluor-Chlor-Oxy-apatite and sphene from crystal lodge pegmatite near eagle, Colorado. **American Mineralogist**, v. 51, p. 1476-1493, 1966.
- ZALÁN, P. V. A evolução Fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MONTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITONEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul- Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. BECCA, 2004. p.595- 612.
- ZALÁN, P. V.; WOLFFS, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; ASTOLFI, M. A. M.; MARQUES, A. The Paraná Basin. In: LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F.; EIDEL, J. J. **Interior Cratonic Basins**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir, 51, 1990. p. 681-708.
- ZERFASS, H.; LAVINA, E.L.; SCHULTZ, C.L.; GARCIA, A.J.V.; FACCINI, U.F.; CHEMALE JR, F. Sequence stratigraphy of continental Triassic strata of southernmost Brazil: a contribution to southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. **Sedimentary Geology**, v. 161, p. 85-105, 2003.
- ZERFASS, H.; CHEMALE JR, F.; LAVINA, E. Tectonic control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná Basin, southernmost Brazil, and its correlation to the Waterberg Basin, Namibia. **Gondwana Research**, v. 8, n. 2, p. 163-176, 2005
- ZHAO, M. W.; BEHR, H. J.; AHRENDT, H.; WEMMER, K.; REN, Z.; ZHAO, Z. Thermal and tectonic history of the Ordos Basin, China; evidence from apatite fission track analysis, vitrinite reflectance, and K-Ar dating. **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 80, p. 1110–1134, 1996.

ANEXOS

**ANEXO 1 –
IDADES TRAÇOS DE FISSÃO**

URUGUAI

Apatite

U-1

Olympus

Cryst.: Area:

50 50

Ns: RhoS:

1331 10.648

Ni: Rhol:

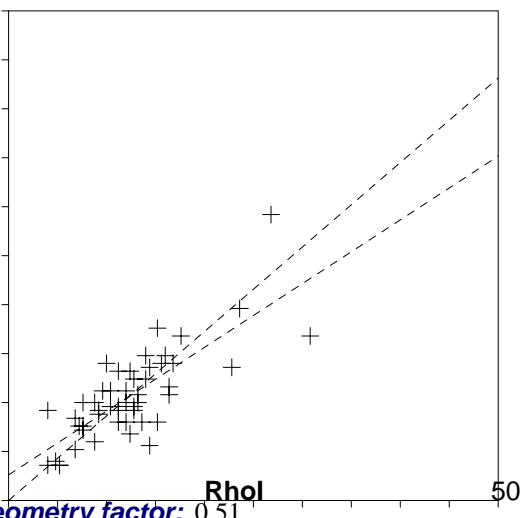
1543 12.344

Pooled: 0.863 38.0 ± 2.4

Mean: 0.906 39.9 ± 1.8

Central: 0.863 38.0 ± 2.5

RhoS



Chi-sq.: 53.44 P (%): 30.77

Dispersion: 0.10

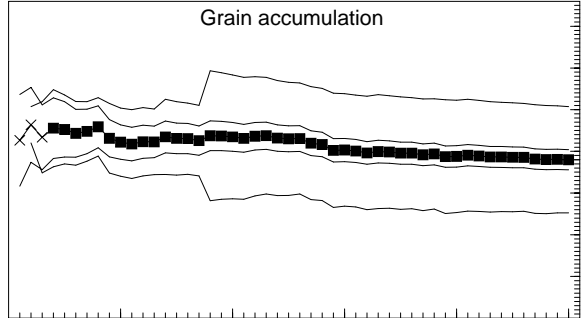
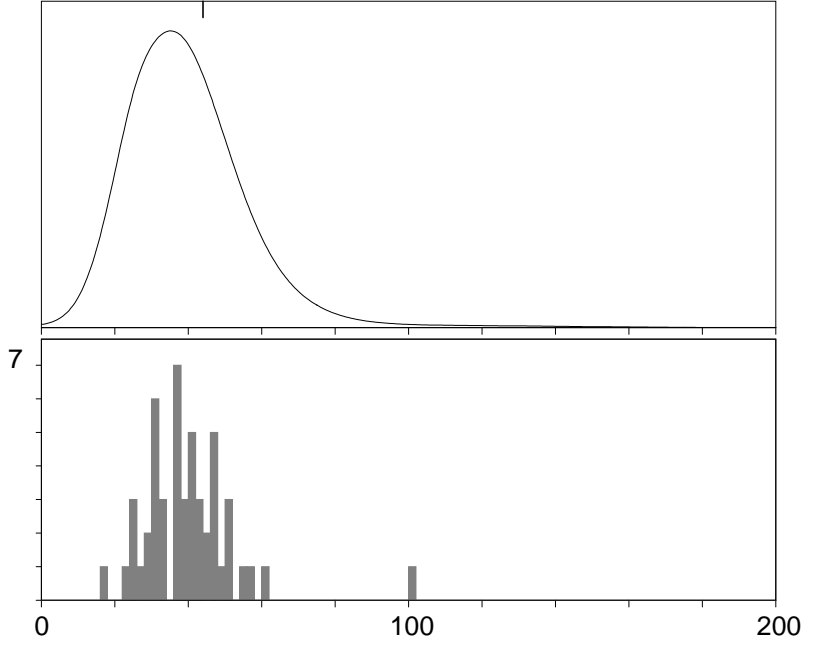
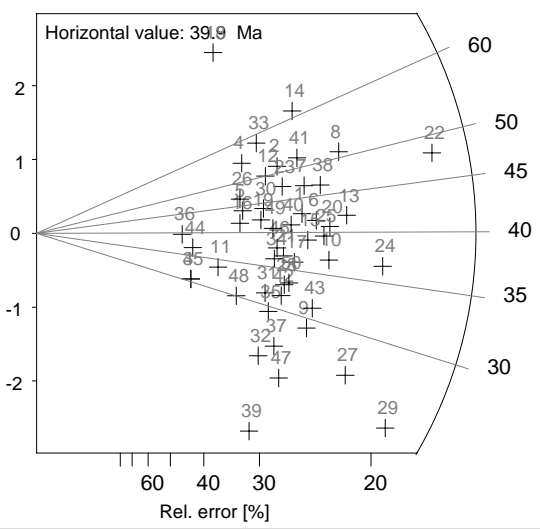
a: 2.609 b: 0.651 r: 0.78

Irr.: 03-2CN5 Glass: CN_5

Nd: 16493 RhoD: 2.316 Geometry factor: 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 64.86 (± 44 %)

Goodness: n. d.



37.98

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. U-1 . .

50 Apatite crystals Sum. Ns: 1331 Sum. Ni: 1543

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoL	Age	+-	1s	Uran.
1	31	32	1	12.400	12.800	42.64	10.97	67.261	
2	28	24	1	11.200	9.600	51.32	14.52	50.446	
3	9	13	1	3.600	5.200	30.50	13.32	27.325	
4	21	17	1	8.400	6.800	54.32	17.95	35.732	
5	19	19	1	7.600	7.600	44.01	14.46	39.936	
6	34	36	1	13.600	14.400	41.57	10.17	75.668	
7	33	31	1	13.200	12.400	46.84	11.97	65.159	
8	44	38	1	17.600	15.200	50.93	11.59	79.872	
9	27	41	1	10.800	16.400	29.02	7.35	86.178	
10	35	42	1	14.000	16.800	36.70	8.61	88.280	
11	13	17	1	5.200	6.800	33.68	12.53	35.732	
12	25	22	1	10.000	8.800	49.99	14.84	46.242	
13	42	44	1	16.800	17.600	42.02	9.32	92.484	
14	35	25	1	14.000	10.000	61.53	16.43	52.547	
15	31	35	1	12.400	14.000	39.00	9.83	73.566	
16	18	19	1	7.200	7.600	41.70	13.89	39.936	
17	27	33	1	10.800	13.200	36.03	9.54	69.363	
18	23	10	1	9.200	4.000	100.78	38.53	21.019	
19	22	23	1	8.800	9.200	42.10	12.75	48.344	
20	37	40	1	14.800	16.000	40.72	9.53	84.076	
21	25	30	1	10.000	12.000	36.70	10.12	63.057	
22	73	67	1	29.200	26.800	47.94	8.48	140.827	
23	28	26	1	11.200	10.400	47.38	13.14	54.649	
24	49	59	1	19.600	23.600	36.57	7.32	124.012	
25	35	39	1	14.000	15.600	39.51	9.43	81.974	
26	19	18	1	7.600	7.200	46.45	15.47	37.834	
27	34	57	1	13.600	22.800	26.29	5.86	119.808	
28	24	32	1	9.600	12.800	33.04	9.08	67.261	
29	42	77	1	16.800	30.800	24.04	4.78	161.846	
30	23	23	1	9.200	9.200	44.01	13.18	48.344	
31	20	28	1	8.000	11.200	31.47	9.36	58.853	
32	17	31	1	6.800	12.400	24.17	7.40	65.159	
33	25	19	1	10.000	7.600	57.85	17.86	39.936	
34	23	28	1	9.200	11.200	36.17	10.35	58.853	
35	20	30	1	8.000	12.000	29.37	8.62	63.057	
36	9	10	1	3.600	4.000	39.62	18.32	21.019	
37	20	34	1	8.000	13.600	25.93	7.43	71.465	
38	37	35	1	14.800	14.000	46.52	11.23	73.566	
39	14	36	1	5.600	14.400	17.15	5.48	75.668	
40	28	30	1	11.200	12.000	41.09	11.01	63.057	
41	33	28	1	13.200	11.200	51.84	13.59	58.853	
42	23	32	1	9.200	12.800	31.66	8.81	67.261	
43	29	41	1	11.600	16.400	31.16	7.73	86.178	
44	10	12	1	4.000	4.800	36.70	15.83	25.223	
45	9	13	1	3.600	5.200	30.50	13.32	27.325	
46	24	28	1	9.600	11.200	37.74	10.68	58.853	
47	20	38	1	8.000	15.200	23.20	6.52	79.872	
48	15	22	1	6.000	8.800	30.04	10.18	46.242	
49	24	26	1	9.600	10.400	40.64	11.70	54.649	
50	25	33	1	10.000	13.200	33.37	9.02	69.363	

Apatite

U-2

AutoScan

Cryst.: Area:

30 500

Ns: RhoS:

930 18.6

Ni: Rhol:

137 2.74

Pooled: 6.788 281.8 ± 29.7

Mean: 7.291 302.2 ± 16.9

Central: 6.788 281.8 ± 29.7

Chi-sq.: 13.88 P (%): 99.19

Dispersion: 0.00

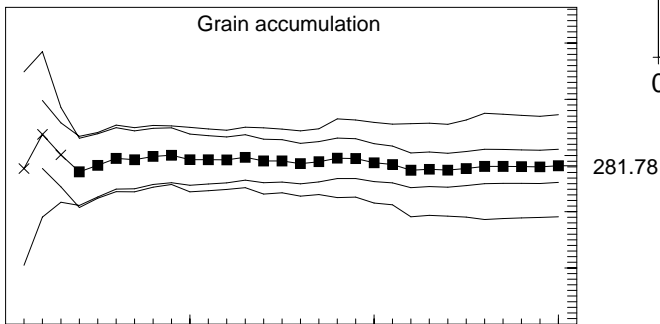
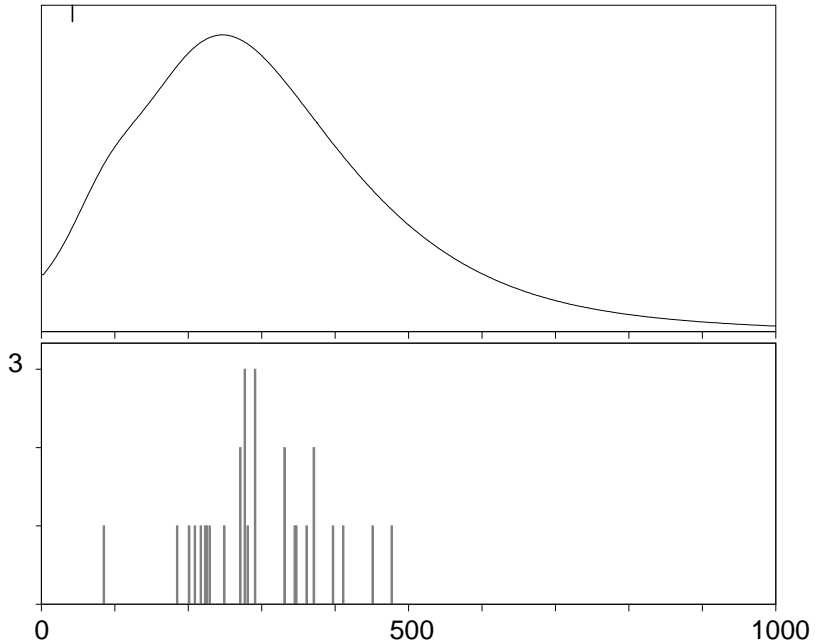
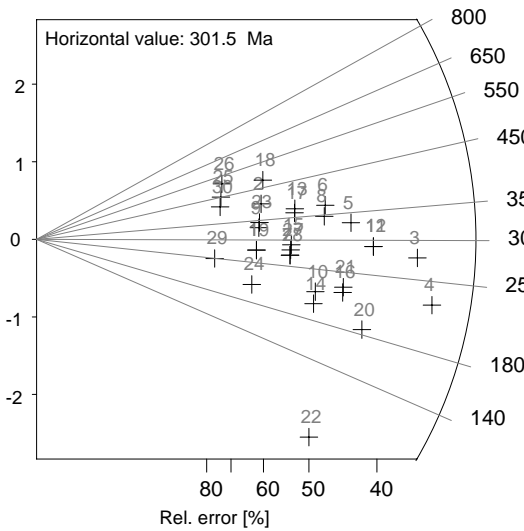
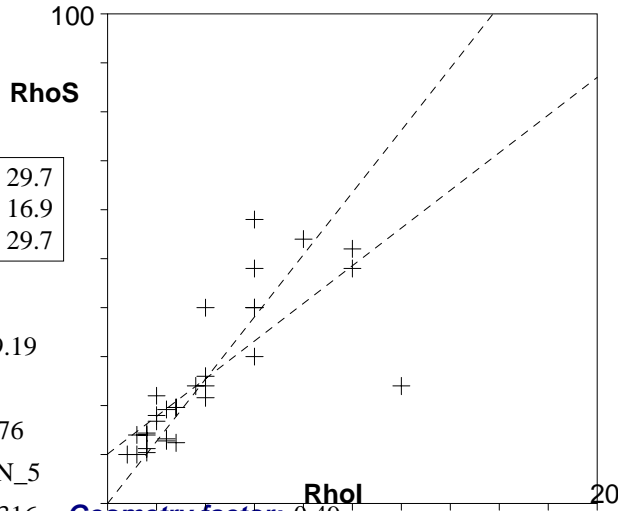
a: 10.083 b: 3.847 r: 0.76

Irr.: 03-2CN5 Glass: CN_5

Nd: 16493 RhoD: 2.316 Geometry factor: 0.49

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 21.16 (± 72 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. U-2 . .

30 Apatite crystals Sum. Ns: 930 Sum. Ni: 137

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	20	3	5	40.000	6.000	276.84	172.00	31.528	
2	29	3	5	58.000	6.000	397.64	242.04	31.528	
3	60	9	25	24.000	3.600	276.84	100.00	18.917	
4	54	10	25	21.600	4.000	225.15	78.39	21.019	
5	48	6	25	19.200	2.400	330.81	144.27	12.611	
6	45	5	25	18.000	2.000	370.99	175.95	10.509	
7	26	4	25	10.400	1.600	270.06	145.72	8.408	
8	42	5	25	16.800	2.000	346.91	165.11	10.509	
9	24	3	5	48.000	6.000	330.81	203.31	31.528	
10	26	5	5	52.000	10.000	216.95	106.54	52.547	
11	49	7	25	19.600	2.800	290.37	118.29	14.713	
12	49	7	25	19.600	2.800	290.37	118.29	14.713	
13	36	4	25	14.400	1.600	370.99	196.48	8.408	
14	24	5	5	48.000	10.000	200.52	99.12	52.547	
15	28	4	25	11.200	1.600	290.37	155.94	8.408	
16	32	6	25	12.800	2.400	222.41	99.62	12.611	
17	35	4	25	14.000	1.600	360.97	191.44	8.408	
18	35	3	25	14.000	1.200	476.94	287.99	6.306	
19	20	3	5	40.000	6.000	276.84	172.00	31.528	
20	31	7	25	12.400	2.800	185.22	78.10	14.713	
21	33	6	25	13.200	2.400	229.24	102.44	12.611	
22	12	6	5	24.000	12.000	84.31	42.38	63.057	
23	25	3	25	10.000	1.200	344.23	211.09	6.306	
24	15	3	5	30.000	6.000	208.74	132.46	31.528	
25	22	2	10	22.000	2.000	450.61	333.62	10.509	
26	25	2	25	10.000	.800	509.69	375.48	4.204	
27	27	4	5	54.000	8.000	280.23	150.84	42.038	
28	26	4	10	26.000	4.000	270.06	145.72	21.019	
29	12	2	5	24.000	4.000	249.68	191.14	21.019	
30	20	2	5	40.000	4.000	410.93	305.50	21.019	

Apatite

TFU-3

OLBX40

Cryst.: 23 Area: 450

Ns: 358 RhoS: 7.956

Ni: 51 Rhol: 1.133

Pooled:	7.02	291.2 ± 46.1
Mean:	8.141	336.5 ± 38.3
Central:	7.02	291.2 ± 46.1

Chi-sq.: 6.85 P (%): 99.91

Dispersion: 0.00

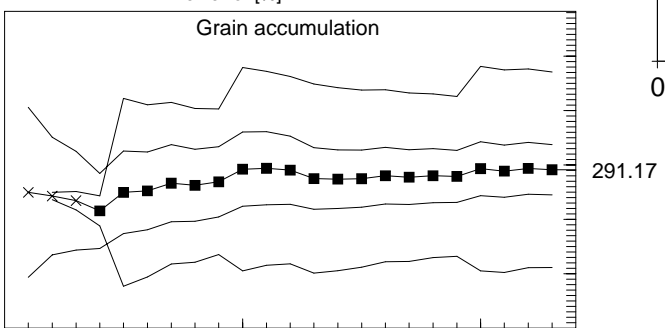
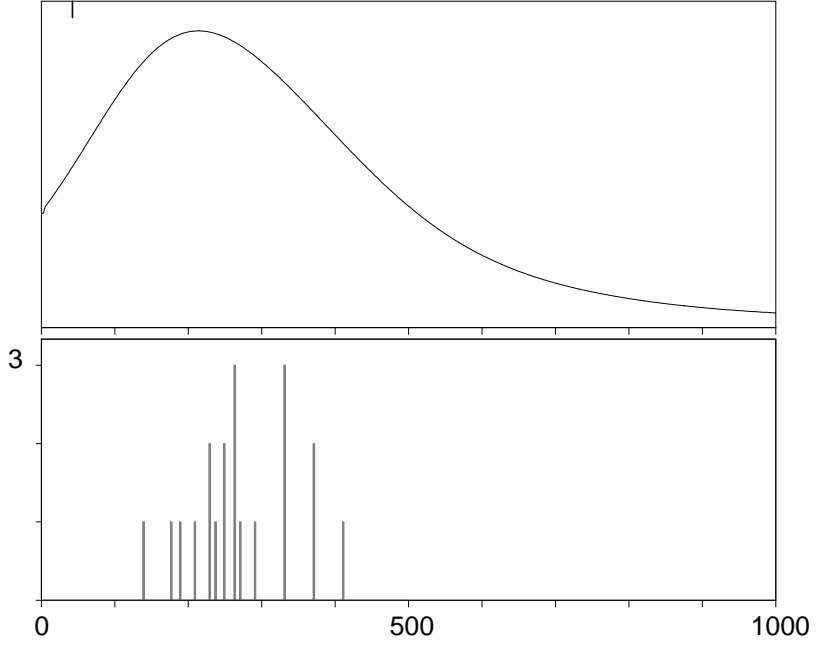
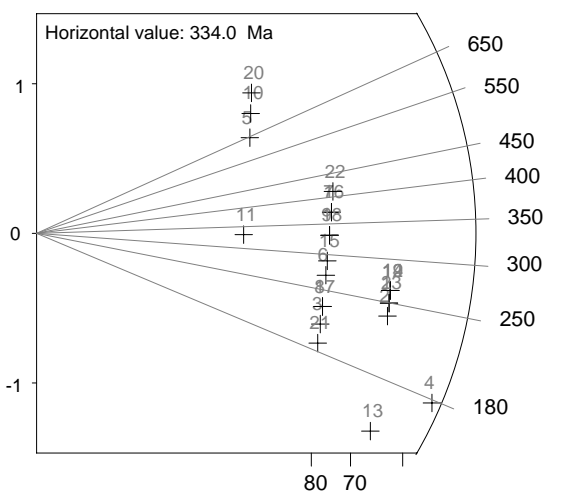
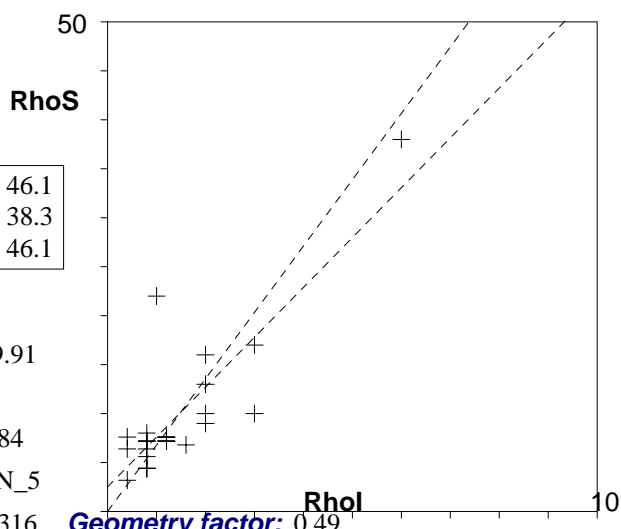
a: 2.509 b: 5.091 r: 0.84

Irr.: 03-2CN5 Glass: CN_5

Nd: 16493 RhoD: 2.316 Geometry factor: 0.49

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 7.81 (± 83 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. TFU-3 . .

23 Apatite crystals Sum. Ns: 358 Sum. Ni: 51

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	18	3	25	7.200	1.200	249.68	156.24	6.306	
2	17	3	10	17.000	3.000	236.06	148.34	15.764	
3	10	2	10	10.000	2.000	208.74	162.05	10.509	
4	17	4	25	6.800	1.600	177.85	99.27	8.408	
5	16	1	25	6.400	.400	645.47	666.18	2.102	
6	13	2	10	13.000	2.000	270.06	205.61	10.509	
7	18	2	25	7.200	.800	370.99	277.19	4.204	
8	11	2	25	4.400	.800	229.24	176.62	4.204	
9	16	2	25	6.400	.800	330.81	248.70	4.204	
10	19	1	25	7.600	.400	759.61	780.35	2.102	
11	8	1	25	3.200	.400	330.81	351.30	2.102	
12	19	3	25	7.600	1.200	263.28	164.13	6.306	
13	10	3	10	10.000	3.000	139.91	92.38	15.764	
14	19	3	5	38.000	6.000	263.28	164.13	31.528	
15	14	2	25	5.600	.800	290.37	220.02	4.204	
16	18	2	25	7.200	.800	370.99	277.19	4.204	
17	11	2	25	4.400	.800	229.24	176.62	4.204	
18	16	2	10	16.000	2.000	330.81	248.70	10.509	
19	19	3	25	7.600	1.200	263.28	164.13	6.306	
20	22	1	10	22.000	1.000	871.78	892.52	5.255	
21	9	2	10	9.000	2.000	188.16	147.42	10.509	
22	20	2	25	8.000	.800	410.93	305.50	4.204	
23	18	3	25	7.200	1.200	249.68	156.24	6.306	

Apatite

U-5

Olympus

Cryst.: Area:
38 38

Ns: RhoS:
1805 19.0

Ni: Rhol:
281 2.958

Pooled:	6.423	277.6 ± 22.9
Mean:	7.68	330.5 ± 21.8
Central:	6.564	283.6 ± 28.6

Chi-sq.: 64.46 P (%): 0.34

Dispersion: 0.35

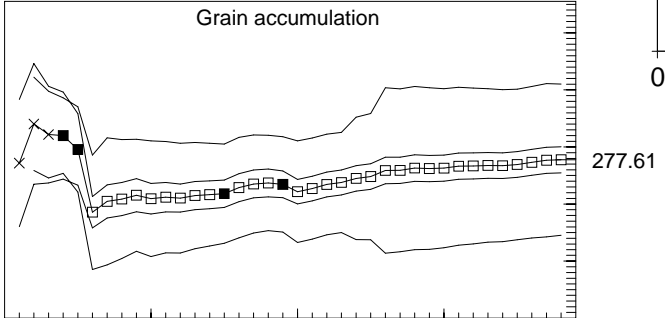
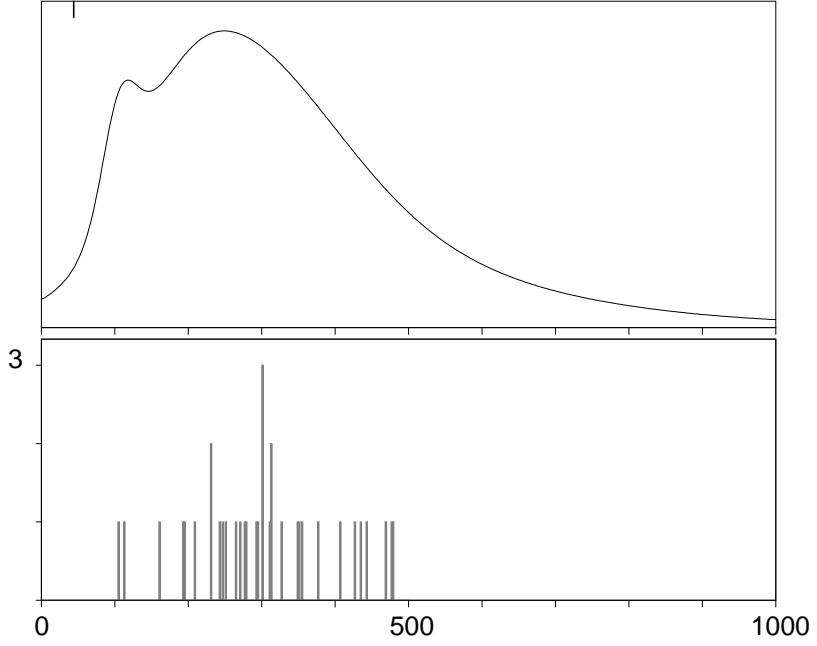
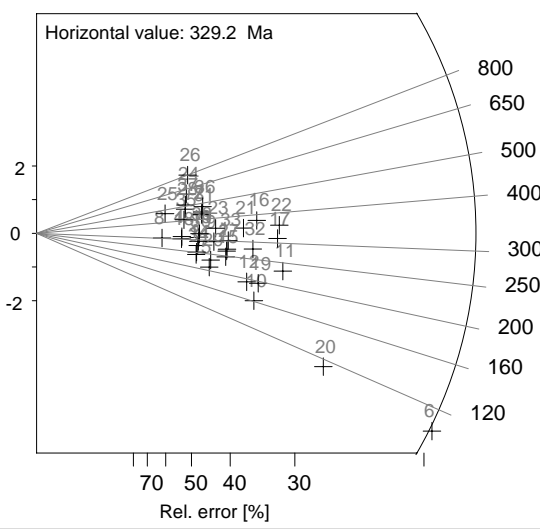
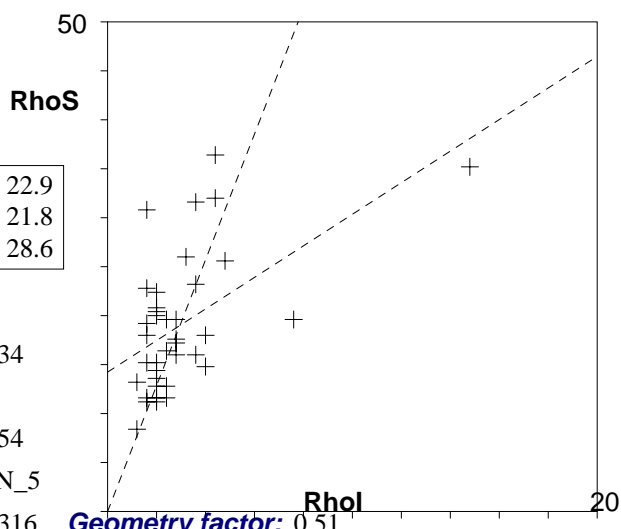
a: 14.231 b: 1.612 r: 0.54

Irr.: 03-2CN5 Glass: CN_5

Nd: 16493 RhoD: 2.316 Geometry factor: 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 15.54 (± 79 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. U-5 . .

38 Apatite crystals Sum. Ns: 1805 Sum. Ni: 281

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	44	7	1	17.600	2.800	271.78	111.49 14.713
2	51	5	1	20.400	2.000	435.41	205.30 10.509
3	32	5	1	12.800	2.000	276.62	133.80 10.509
4	29	4	1	11.600	1.600	312.48	167.46 8.408
5	29	6	1	11.600	2.400	209.99	94.81 12.611
6	88	37	1	35.200	14.800	104.19	21.12 77.770
7	52	5	1	20.800	2.000	443.67	209.01 10.509
8	21	3	1	8.400	1.200	301.95	187.03 6.306
9	41	6	1	16.400	2.400	294.93	129.82 12.611
10	37	10	1	14.800	4.000	161.36	58.12 21.019
11	64	12	1	25.600	4.800	231.33	73.76 25.223
12	40	9	1	16.000	3.600	193.35	72.04 18.917
13	36	5	1	14.400	2.000	310.38	149.00 10.509
14	29	5	1	11.600	2.000	251.18	122.33 10.509
15	40	7	1	16.000	2.800	247.54	102.23 14.713
16	79	9	1	31.600	3.600	376.44	133.87 18.917
17	80	11	1	32.000	4.400	313.44	102.10 23.121
18	28	4	1	11.200	1.600	301.95	162.16 8.408
19	45	10	1	18.000	4.000	195.73	69.18 21.019
20	49	19	1	19.600	7.600	112.90	31.07 39.936
21	65	8	1	26.000	3.200	349.19	132.08 16.815
22	91	11	1	36.400	4.400	355.37	114.93 23.121
23	49	6	1	19.600	2.400	350.93	152.88 12.611
24	57	4	1	22.800	1.600	600.46	312.15 8.408
25	33	3	1	13.200	1.200	468.35	283.47 6.306
26	77	4	1	30.800	1.600	798.56	411.61 8.408
27	43	7	1	17.200	2.800	265.73	109.18 14.713
28	45	4	1	18.000	1.600	478.61	250.95 8.408
29	32	6	1	12.800	2.400	231.33	103.61 12.611
30	34	5	1	13.600	2.000	293.52	141.41 10.509
31	50	5	1	20.000	2.000	427.15	201.58 10.509
32	58	9	1	23.200	3.600	278.50	100.82 18.917
33	49	7	1	19.600	2.800	301.95	123.01 14.713
34	28	5	1	11.200	2.000	242.68	118.50 10.509
35	38	4	1	15.200	1.600	406.46	214.70 8.408
36	56	5	1	22.400	2.000	476.56	223.81 10.509
37	48	4	1	19.200	1.600	509.29	266.36 8.408
38	38	5	1	15.200	2.000	327.19	156.58 10.509

Apatite

UR-4

Cryst.: Area:

25 25

Ns: RhoS:

1018 16.288

Ni: Rhol:

190 3.04

Pooled: 5.358 326.4 ± 30.9

Mean: 5.684 345.7 ± 16.9

Central: 5.358 326.4 ± 30.9

Chi-sq.: 7.01 **P (%)**: 99.97

Dispersion: 0.00

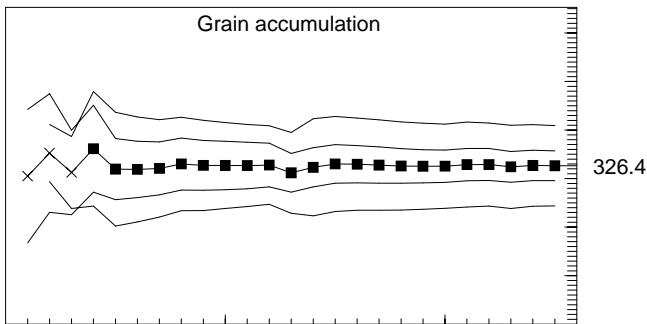
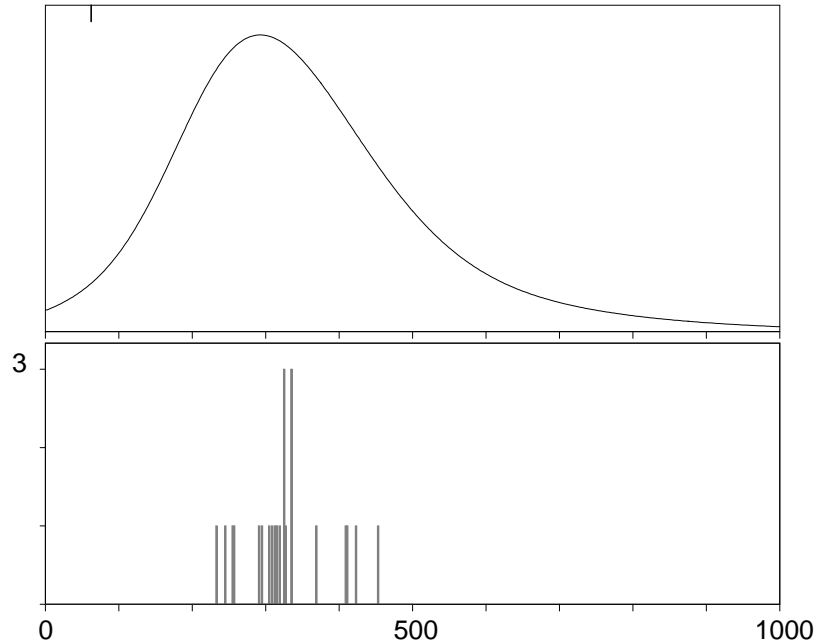
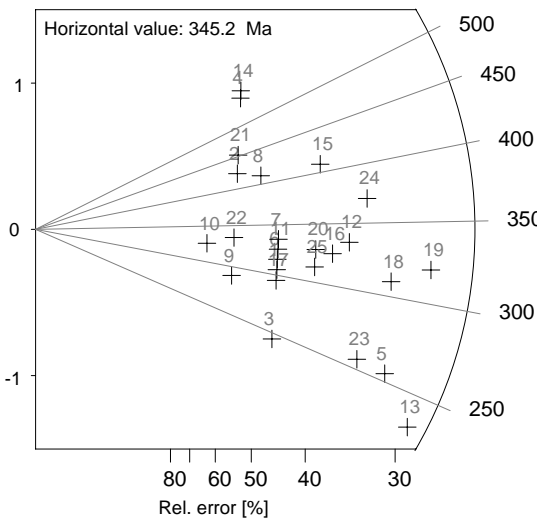
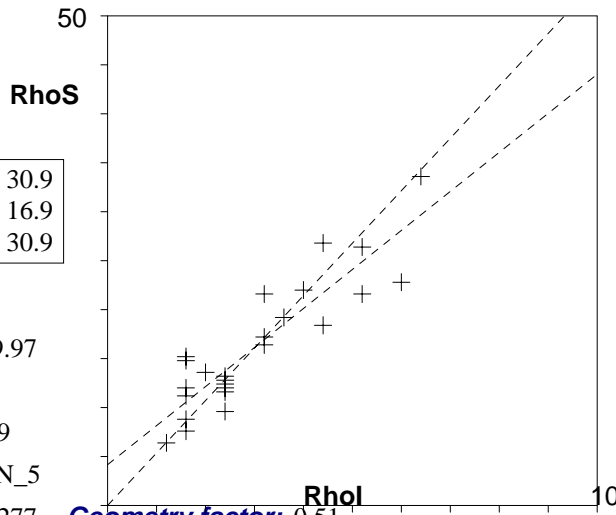
a: 4.171 **b:** 3.986 **r:** 0.9

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 11.29 ($\pm 49\%$)

Goodness: n. d.



- 1 Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)
- 25

. UR-4 .
25 Apatite crystals Sum. Ns: 1018 Sum. Ni: 190
Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500
Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	30	6	1	12.000	2.400	305.10	137.37	8.913	
2	28	4	1	11.200	1.600	423.21	227.29	5.942	
3	24	6	1	9.600	2.400	245.22	112.66	8.913	
4	37	4	1	14.800	1.600	553.54	292.77	5.942	
5	54	13	1	21.600	5.200	254.47	79.73	19.312	
6	31	6	1	12.400	2.400	315.03	141.46	8.913	
7	33	6	1	13.200	2.400	334.83	149.62	8.913	
8	34	5	1	13.600	2.000	411.49	198.26	7.428	
9	19	4	1	7.600	1.600	290.18	160.35	5.942	
10	16	3	1	6.400	1.200	324.94	205.13	4.457	
11	32	6	1	12.800	2.400	324.94	145.54	8.913	
12	55	10	1	22.000	4.000	334.83	116.42	14.855	
13	57	15	1	22.800	6.000	233.18	68.75	22.283	
14	38	4	1	15.200	1.600	567.87	299.96	5.942	
15	54	8	1	21.600	3.200	408.56	156.24	11.884	
16	48	9	1	19.200	3.600	324.94	119.24	13.370	
17	29	6	1	11.600	2.400	295.16	133.27	8.913	
18	66	13	1	26.400	5.200	309.68	95.34	19.312	
19	84	16	1	33.600	6.400	319.98	88.86	23.768	
20	43	8	1	17.200	3.200	327.41	127.21	11.884	
21	30	4	1	12.000	1.600	452.40	241.96	5.942	
22	22	4	1	8.800	1.600	334.83	182.83	5.942	
23	46	11	1	18.400	4.400	256.15	87.00	16.341	
24	67	11	1	26.800	4.400	369.79	121.83	16.341	
25	41	8	1	16.400	3.200	312.55	121.89	11.884	

Apatite

UR-7

Cryst.: Area:

16 113

Ns: RhoS:

238 21.062

Ni: Rhol:

75 6.637

Pooled: 3.173 187.8 ± 26.7

Mean: 4.554 267.8 ± 45.5

Central: 3.26 192.8 ± 33.2

Chi-sq.: 20.99 **P (%):** 13.7

Dispersion: 0.37

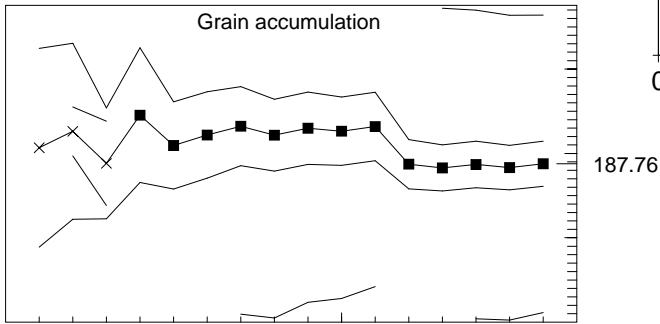
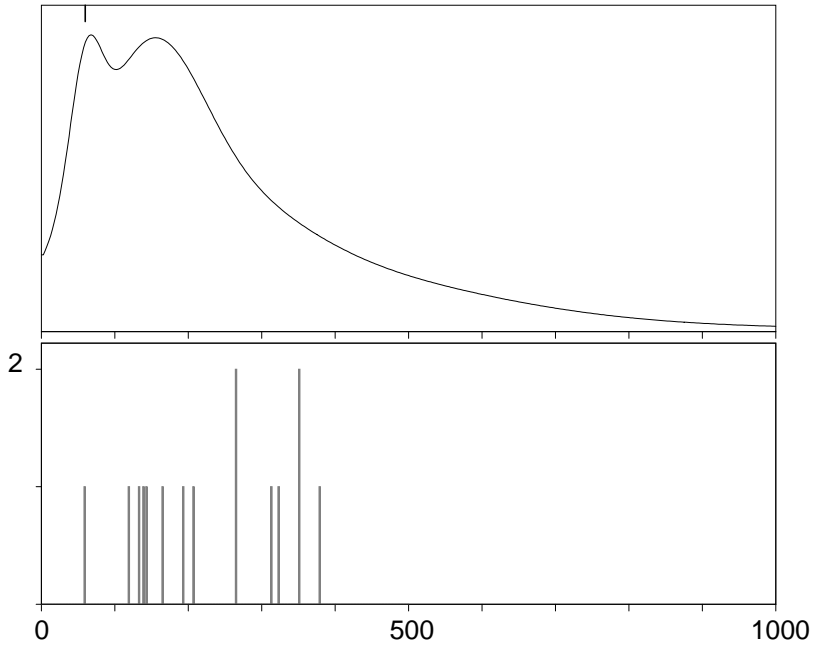
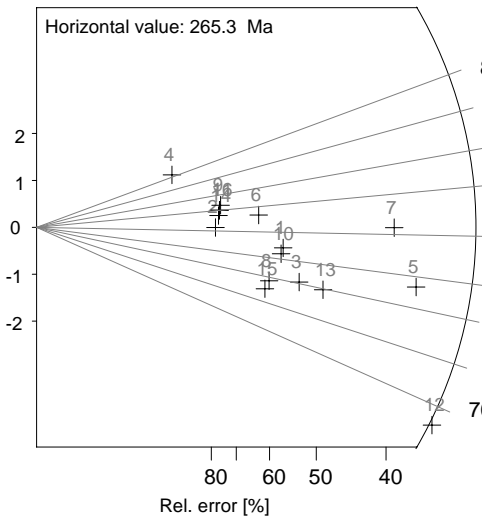
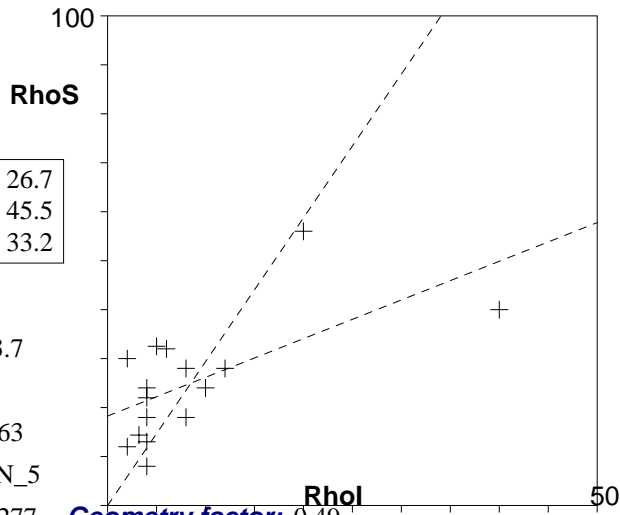
a: 18.265 **b:** 0.79 **r:** 0.63

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.49

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 31.61 ($\pm 112\%$)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. UR-7 . .

16 Apatite crystals Sum. Ns: 238 Sum. Ni: 75

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+ - 1s	Uran.
1	14	4	5	28.000	8.000	206.78	117.72	29.710
2	9	2	5	18.000	4.000	264.66	207.35	14.855
3	12	5	5	24.000	10.000	142.50	76.21	37.138
4	15	1	5	30.000	2.000	842.95	871.70	7.428
5	28	10	5	56.000	20.000	165.95	61.74	74.275
6	16	3	5	32.000	6.000	312.50	197.28	22.283
7	36	8	25	14.400	3.200	264.66	104.36	11.884
8	9	4	5	18.000	8.000	133.69	80.64	29.710
9	13	2	4	32.500	5.000	378.88	288.46	18.569
10	13	4	10	13.000	4.000	192.22	110.36	14.855
11	12	2	5	24.000	4.000	350.52	268.33	14.855
12	16	16	4	40.000	40.000	59.76	21.36	148.551
13	14	6	5	28.000	12.000	138.59	68.01	44.565
14	11	2	5	22.000	4.000	322.02	248.11	14.855
15	8	4	10	8.000	4.000	118.97	73.12	14.855
16	12	2	10	12.000	2.000	350.52	268.33	7.428

Apatite

Auto Scan

Cryst.: 29
Area: 555

Ns: 392
RhoS: 7.063

Ni: 102
Rhol: 1.838

Pooled:	3.843	226.7 ± 27.8
Mean:	4.53	266.4 ± 26.5
Central:	3.843	226.7 ± 27.8

Chi-sq.: 12.16 **P (%):** 99.59

Dispersion: 0.00

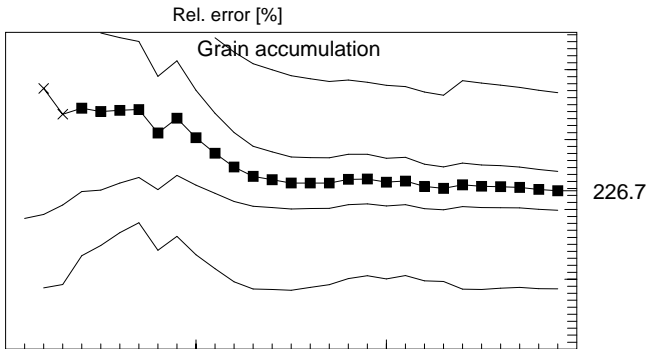
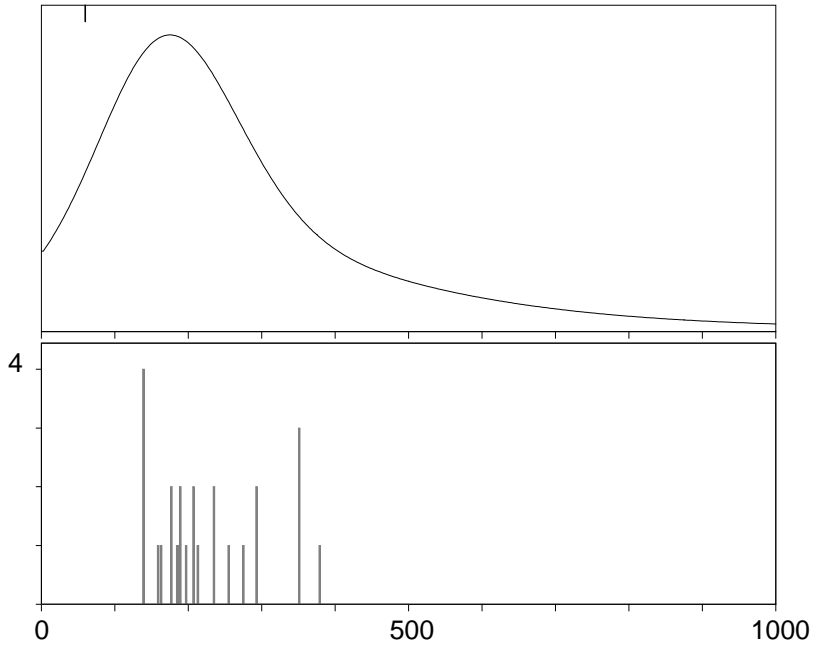
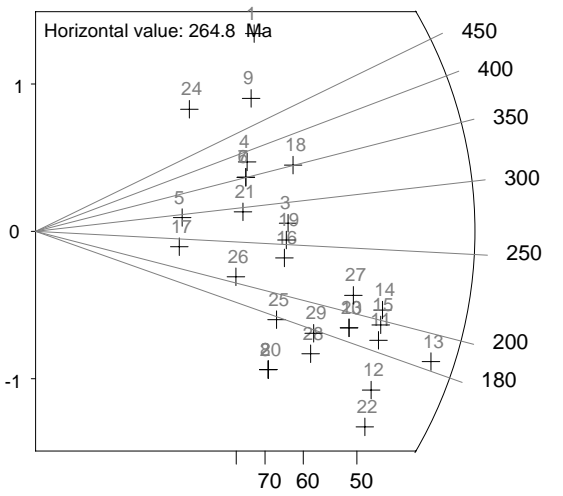
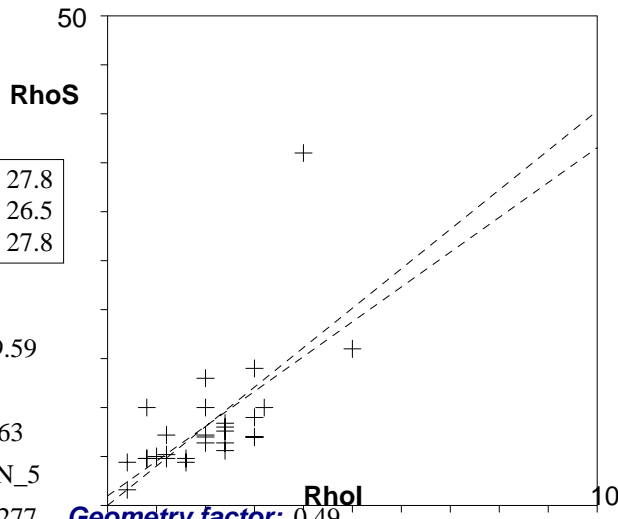
a: 0.986 **b:** 3.555 **r:** 0.63

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.49

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 7.71 (± 52 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

29 Apatite crystals Sum. Ns: 392 Sum. Ni: 102
 Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100
 Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	25	2	25	10.000	.800	709.90	522.97	2.971	
2	7	3	10	7.000	3.000	138.59	95.90	11.141	
3	14	3	10	14.000	3.000	274.25	175.07	11.141	
4	13	2	10	13.000	2.000	378.88	288.46	7.428	
5	5	1	10	5.000	1.000	293.40	321.77	3.714	
6	12	2	25	4.800	.800	350.52	268.33	2.971	
7	12	2	25	4.800	.800	350.52	268.33	2.971	
8	7	3	10	7.000	3.000	138.59	95.90	11.141	
9	18	2	5	36.000	4.000	518.88	387.69	14.855	
10	16	5	25	6.400	2.000	189.31	97.49	7.428	
11	19	6	25	7.600	2.400	187.37	88.28	8.913	
12	16	6	25	6.400	2.400	158.14	76.15	8.913	
13	25	8	25	10.000	3.200	184.94	75.74	11.884	
14	21	6	25	8.400	2.400	206.78	96.32	8.913	
15	20	6	25	8.000	2.400	197.08	92.31	8.913	
16	12	3	25	4.800	1.200	235.78	152.69	4.457	
17	4	1	25	1.600	.400	235.78	263.90	1.486	
18	18	3	25	7.200	1.200	350.52	219.35	4.457	
19	13	3	25	5.200	1.200	255.05	163.90	4.457	
20	7	3	10	7.000	3.000	138.59	95.90	11.141	
21	10	2	10	10.000	2.000	293.40	227.78	7.428	
22	14	6	25	5.600	2.400	138.59	68.01	8.913	
23	16	5	10	16.000	5.000	189.31	97.49	18.569	
24	11	1	25	4.400	.400	628.72	657.49	1.486	
25	9	3	10	9.000	3.000	177.64	118.79	11.141	
26	7	2	10	7.000	2.000	206.78	166.14	7.428	
27	18	5	25	7.200	2.000	212.59	108.04	7.428	
28	11	4	25	4.400	1.600	163.02	95.56	5.942	
29	12	4	25	4.800	1.600	177.64	102.98	5.942	

Apatite

UR-9

Olympus BX-40

Cryst.: Area:

50 50

Ns: RhoS:

3217 25.736

Ni: Rhol:

1159 9.272

Pooled: 2.776 171.2 ± 10.7

Mean: 2.892 178.2 ± 5.4

Central: 2.776 171.2 ± 10.7

Chi-sq.: 29.5 **P (%)**: 98.76

Dispersion: 0.00

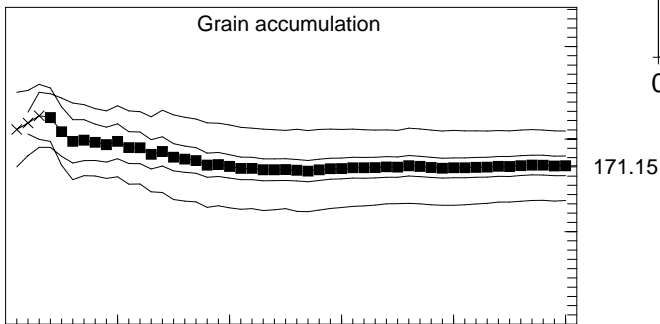
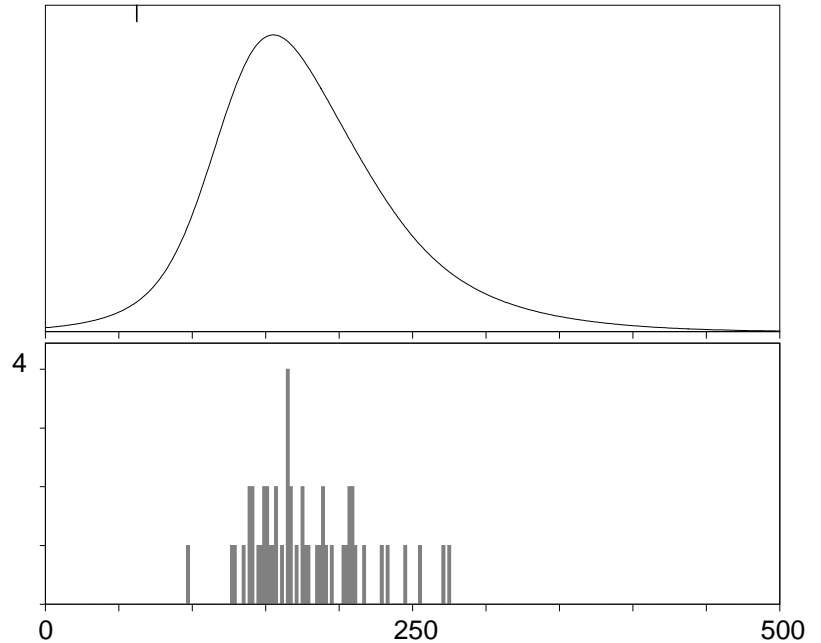
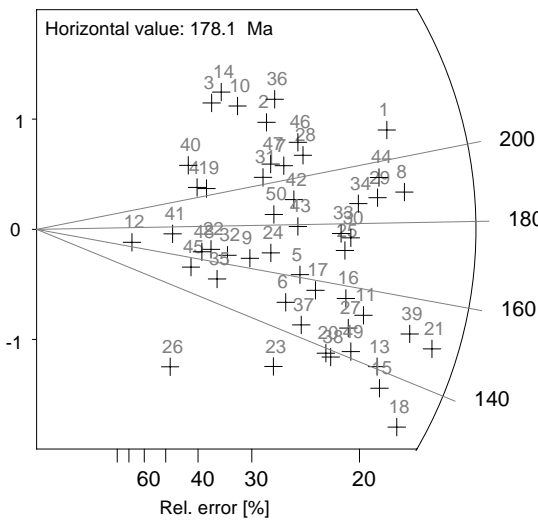
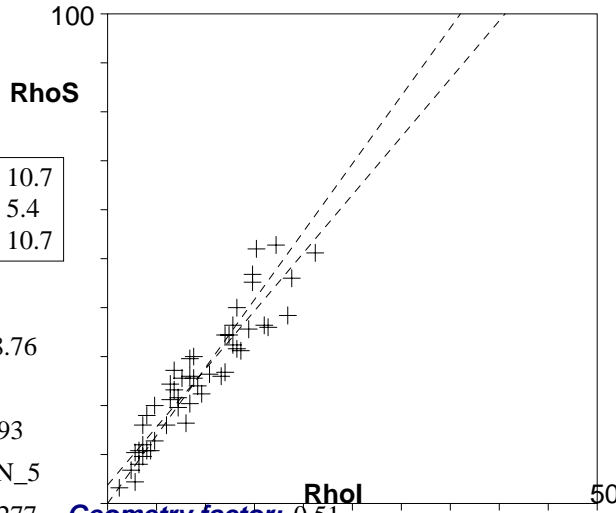
a: 3.745 **b:** 2.372 **r:** 0.93

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 34.43 ($\pm 54\%$)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. UR-9 .

50 Apatite crystals Sum. Ns: 3217 Sum. Ni: 1159

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

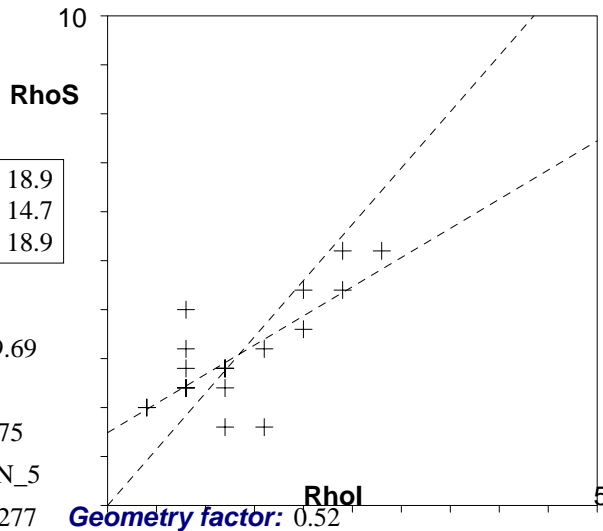
Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age	+-	1s	Uran.
1	130	38	1	52.000	15.200	210.30	40.30	56.449	
2	61	16	1	24.400	6.400	233.94	66.83	23.768	
3	40	9	1	16.000	3.600	271.90	101.31	13.370	
4	27	8	1	10.800	3.200	207.52	84.23	11.884	
5	60	23	1	24.000	9.200	160.98	40.36	34.167	
6	51	21	1	20.400	8.400	150.00	39.67	31.196	
7	64	19	1	25.600	7.600	207.12	55.18	28.225	
8	132	43	1	52.800	17.200	189.02	34.62	63.877	
9	40	15	1	16.000	6.000	164.52	50.54	22.283	
10	50	12	1	20.000	4.800	255.24	83.12	17.826	
11	89	36	1	35.600	14.400	152.66	31.18	53.478	
12	8	3	1	3.200	1.200	164.52	111.71	4.457	
13	91	40	1	36.400	16.000	140.61	27.66	59.420	
14	45	10	1	18.000	4.000	275.23	97.28	14.855	
15	90	41	1	36.000	16.400	135.73	26.53	60.906	
16	81	32	1	32.400	12.800	156.26	33.63	47.536	
17	66	26	1	26.400	10.400	156.70	37.19	38.623	
18	96	46	1	38.400	18.400	129.11	24.11	68.333	
19	30	9	1	12.000	3.600	205.00	78.64	13.370	
20	65	29	1	26.000	11.600	138.56	31.77	43.080	
21	128	53	1	51.200	21.200	149.17	25.58	78.732	
22	27	10	1	10.800	4.000	166.55	62.26	14.855	
23	41	20	1	16.400	8.000	126.84	35.22	29.710	
24	49	18	1	19.600	7.200	167.90	47.09	26.739	
25	86	31	1	34.400	12.400	171.06	36.93	46.051	
26	11	7	1	4.400	2.800	97.45	47.39	10.399	
27	79	33	1	31.600	13.200	147.88	31.60	49.022	
28	75	22	1	30.000	8.800	209.58	51.97	32.681	
29	113	37	1	45.200	14.800	188.07	36.94	54.964	
30	91	32	1	36.400	12.800	175.29	37.17	47.536	
31	53	16	1	21.200	6.400	203.73	59.08	23.768	
32	32	12	1	12.800	4.800	164.52	56.34	17.826	
33	86	30	1	34.400	12.000	176.69	38.58	44.565	
34	100	33	1	40.000	13.200	186.63	38.71	49.022	
35	27	11	1	10.800	4.400	151.58	54.79	16.341	
36	68	17	1	27.200	6.800	245.22	67.71	25.254	
37	56	24	1	22.400	9.600	144.18	35.97	35.652	
38	67	30	1	26.800	12.000	138.07	31.17	44.565	
39	115	47	1	46.000	18.800	151.11	27.32	69.819	
40	26	7	1	10.400	2.800	228.01	97.82	10.399	
41	17	6	1	6.800	2.400	174.66	83.44	8.913	
42	65	21	1	26.000	8.400	190.57	48.85	31.196	
43	64	22	1	25.600	8.800	179.26	45.28	32.681	
44	117	37	1	46.800	14.800	194.63	38.08	54.964	
45	20	8	1	8.000	3.200	154.35	65.07	11.884	
46	74	21	1	29.600	8.400	216.52	54.71	31.196	
47	58	17	1	23.200	6.800	209.74	58.87	25.254	
48	24	9	1	9.600	3.600	164.52	64.87	13.370	
49	78	34	1	31.200	13.600	141.78	30.06	50.507	
50	54	18	1	21.600	7.200	184.79	51.21	26.739	

Apatite

Olympus BX-40

Cryst.: 19
Area: 19
Ns: 147
RhoS: 3.095
Ni: 64
Rhol: 1.347
Pooled: 2.297
Mean: 2.721
Central: 2.297

121.9 ± 18.9
144.1 ± 14.7
121.9 ± 18.9



Chi-sq.: 5.81 **P (%):** 99.69

Dispersion: 0.00

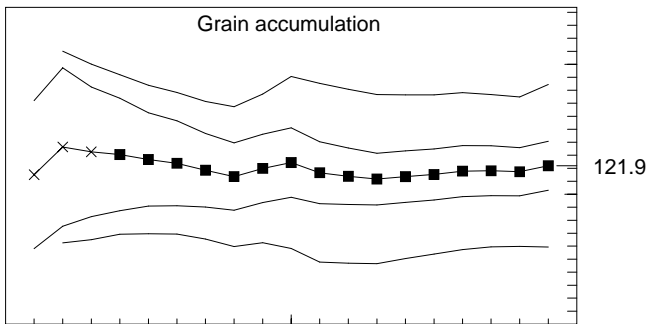
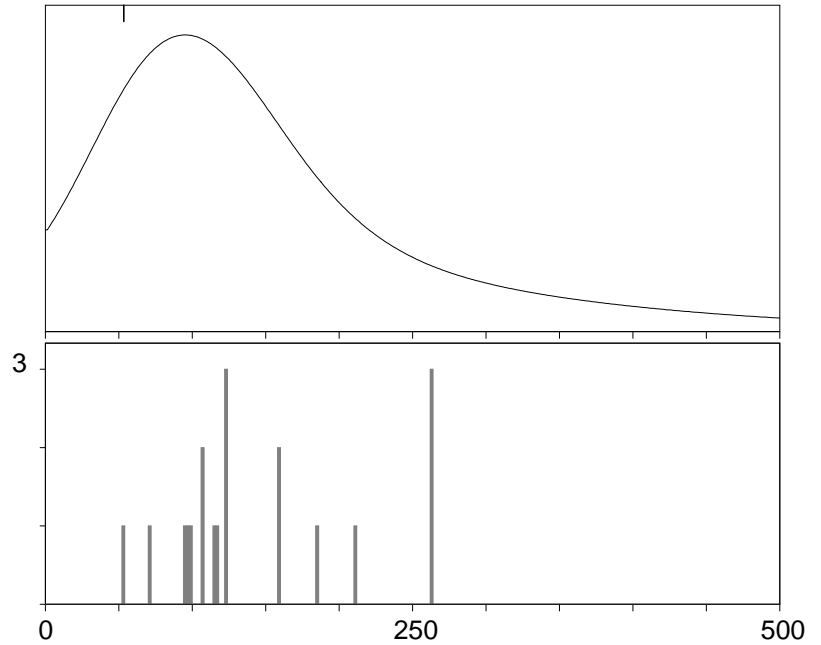
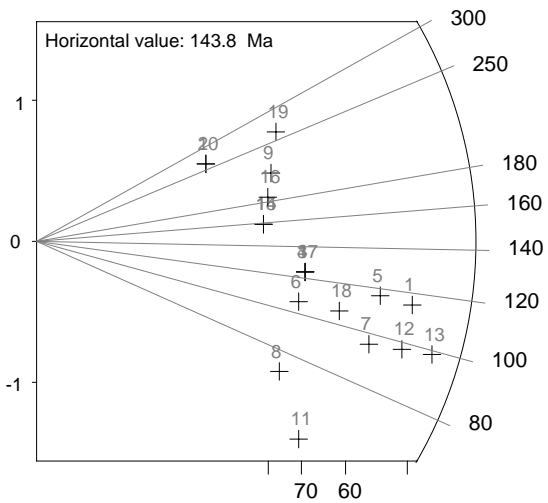
a: 1.489 **b:** 1.191 **r:** 0.75

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 314.4 ± 12.43 **U.:** 5.0 (± 52 %)

Goodness: n. d.



1 19

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

19 Apatite crystals Sum. Ns: 147 Sum. Ni: 64
Zeta: 314.4 +- 12.43 Micr. grid.: 2500
Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.	
1	13	6	1	5.200	2.400	115.05	56.97	8.913
2	5	1	1	2.000	.400	262.46	287.71	1.486
3	7	3	1	2.800	1.200	123.81	85.59	4.457
4	7	3	1	2.800	1.200	123.81	85.59	4.457
5	11	5	1	4.400	2.000	116.80	63.17	7.428
6	6	3	1	2.400	1.200	106.27	75.27	4.457
7	9	5	1	3.600	2.000	95.72	53.53	7.428
8	4	3	1	1.600	1.200	71.04	54.33	4.457
9	8	2	1	3.200	.800	210.82	166.88	2.971
10	5	1	1	2.000	.400	262.46	287.71	1.486
11	4	4	1	1.600	1.600	53.35	37.79	5.942
12	11	6	1	4.400	2.400	97.48	49.63	8.913
13	13	7	1	5.200	2.800	98.74	46.46	10.399
14	6	2	1	2.400	.800	158.75	129.78	2.971
15	6	2	1	2.400	.800	158.75	129.78	2.971
16	7	2	1	2.800	.800	184.84	148.39	2.971
17	7	3	1	2.800	1.200	123.81	85.59	4.457
18	8	4	1	3.200	1.600	106.27	65.22	5.942
19	10	2	1	4.000	.800	262.46	203.58	2.971

RIO GRANDE DO SUL

Apatite

SV-10

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: 50
Area: 50

Ns: 1977
RhoS: 15.816

Ni: 385
Rhol: 3.08

Pooled: 5.135	290.1 ± 24.2
Mean: 5.024	284.0 ± 10.0
Central: 5.135	290.1 ± 24.2

Chi-sq.: 15.48 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

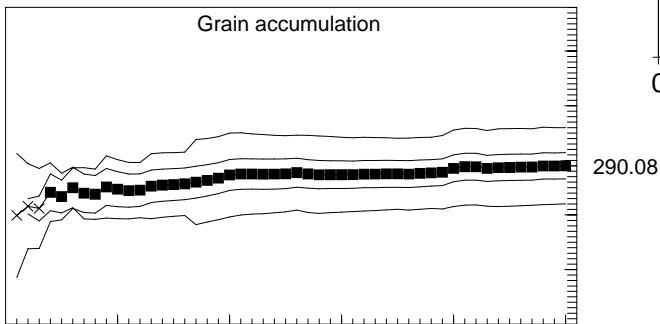
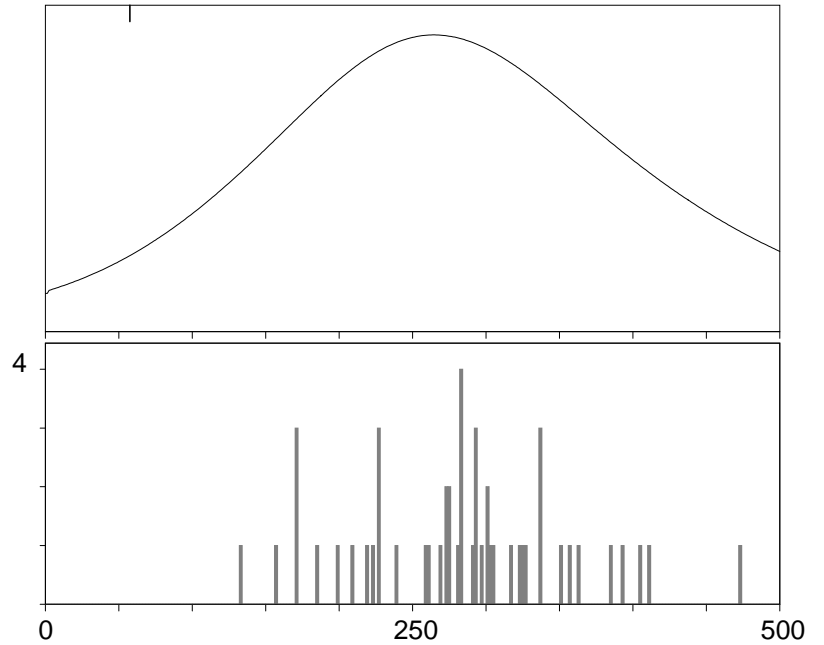
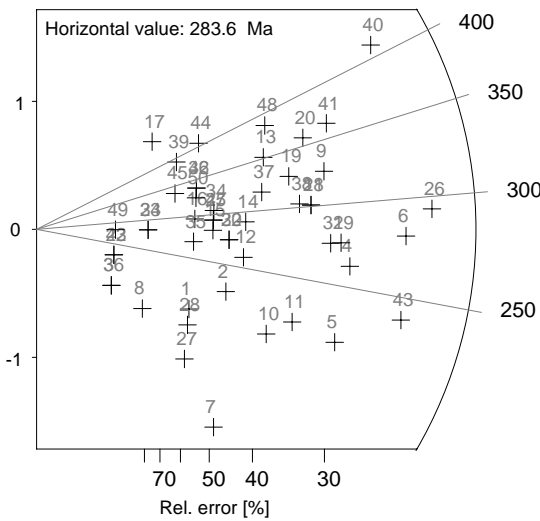
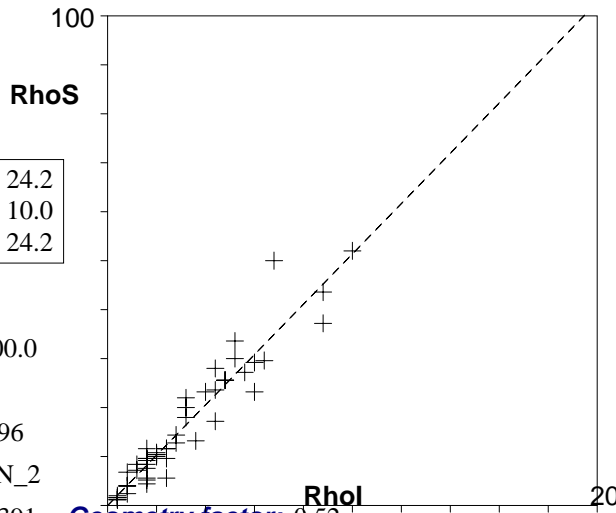
a: -0.022 **b:** 5.142 **r:** 0.96

Irr.: 03-2CN2 **Glass:** CN_2

Nd: 7122 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 15.21 (± 77 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SV-10 . .

50 Apatite crystals Sum. Ns: 1977 Sum. Ni: 385

Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	14	4	1	5.600	1.600	199.12	113.57	7.902	
2	24	6	1	9.600	2.400	227.08	104.60	11.852	
3	3	1	1	1.200	.400	171.05	197.80	1.975	
4	74	16	1	29.600	6.400	261.84	73.99	31.606	
5	58	15	1	23.200	6.000	219.63	65.06	29.631	
6	109	22	1	43.600	8.800	280.10	67.73	43.458	
7	14	6	1	5.600	2.400	133.43	65.63	11.852	
8	6	2	1	2.400	.800	171.05	140.07	3.951	
9	75	13	1	30.000	5.200	325.02	99.70	25.680	
10	33	9	1	13.200	3.600	208.45	79.45	17.778	
11	43	11	1	17.200	4.400	222.00	76.26	21.729	
12	32	7	1	12.800	2.800	258.87	109.20	13.828	
13	50	8	1	20.000	3.200	351.38	135.56	15.803	
14	36	7	1	14.400	2.800	290.51	121.35	13.828	
15	25	5	1	10.000	2.000	282.62	139.56	9.877	
16	21	4	1	8.400	1.600	296.43	162.76	7.902	
17	17	2	1	6.800	.800	473.32	355.05	3.951	
18	64	12	1	25.600	4.800	301.02	96.52	23.705	
19	58	10	1	23.200	4.000	326.71	113.69	19.754	
20	70	11	1	28.000	4.400	357.59	118.08	21.729	
21	64	12	1	25.600	4.800	301.02	96.52	23.705	
22	29	6	1	11.600	2.400	273.39	123.78	11.852	
23	4	1	1	1.600	.400	227.08	254.27	1.975	
24	10	2	1	4.000	.800	282.62	219.61	3.951	
25	26	5	1	10.400	2.000	293.67	144.56	9.877	
26	130	25	1	52.000	10.000	293.67	66.67	49.384	
27	11	4	1	4.400	1.600	156.97	92.17	7.902	
28	13	4	1	5.200	1.600	185.10	106.46	7.902	
29	73	15	1	29.200	6.000	275.24	79.87	29.631	
30	29	6	1	11.600	2.400	273.39	123.78	11.852	
31	68	14	1	27.200	5.600	274.71	82.40	27.655	
32	24	4	1	9.600	1.600	337.68	183.57	7.902	
33	10	2	1	4.000	.800	282.62	219.61	3.951	
34	27	5	1	10.800	2.000	304.70	149.55	9.877	
35	19	4	1	7.600	1.600	268.78	148.79	7.902	
36	3	1	1	1.200	.400	171.05	197.80	1.975	
37	45	8	1	18.000	3.200	317.09	123.24	15.803	
38	59	11	1	23.600	4.400	302.69	101.17	21.729	
39	21	3	1	8.400	1.200	392.28	243.34	5.926	
40	125	17	1	50.000	6.800	411.44	109.38	33.581	
41	84	13	1	33.600	5.200	362.94	110.49	25.680	
42	4	1	1	1.600	.400	227.08	254.27	1.975	
43	93	22	1	37.200	8.800	239.74	58.75	43.458	
44	29	4	1	11.600	1.600	405.86	217.93	7.902	
45	18	3	1	7.200	1.200	337.68	211.62	5.926	
46	24	4	1	9.600	1.600	337.68	183.57	7.902	
47	26	5	1	10.400	2.000	293.67	144.56	9.877	
48	55	8	1	22.000	3.200	385.48	147.81	15.803	
49	5	1	1	2.000	.400	282.62	310.09	1.975	
50	23	4	1	9.200	1.600	323.96	176.65	7.902	

Apatite

LGI/UFRGS
Axioplan-2

Cryst.: 50
Area: 50

Ns: 773
RhoS: 6.184

Ni: 279
Rhol: 2.232

Pooled: 2.771 190.8 ± 21.3
Mean: 2.84 195.5 ± 7.2
Central: 2.771 190.8 ± 21.3

Chi-sq.: 12.0 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

a: 0.32 **b:** 2.627 **r:** 0.91

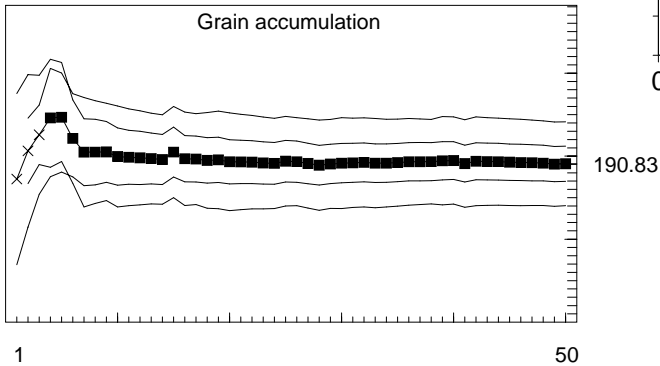
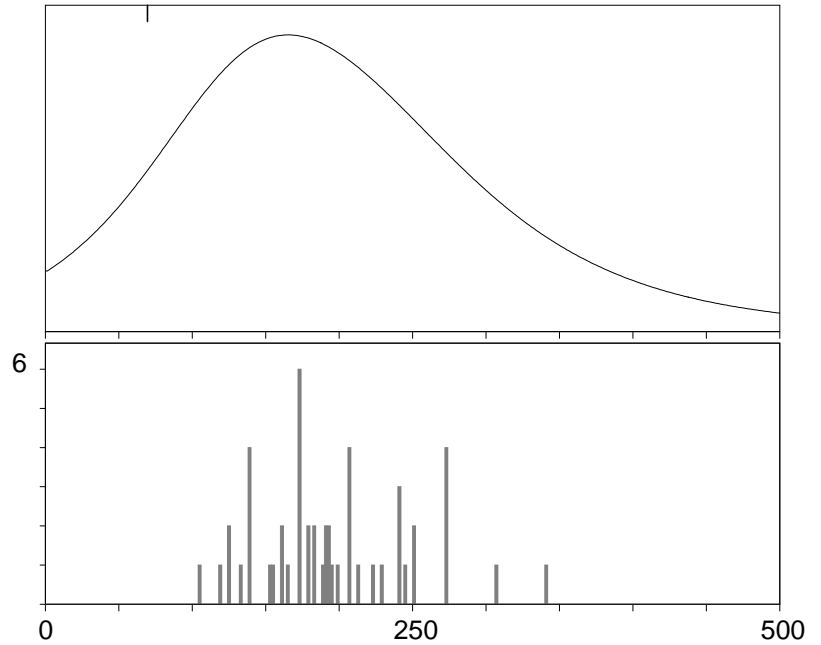
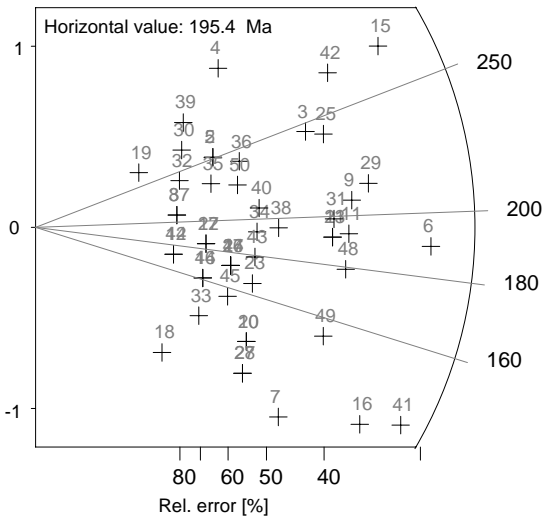
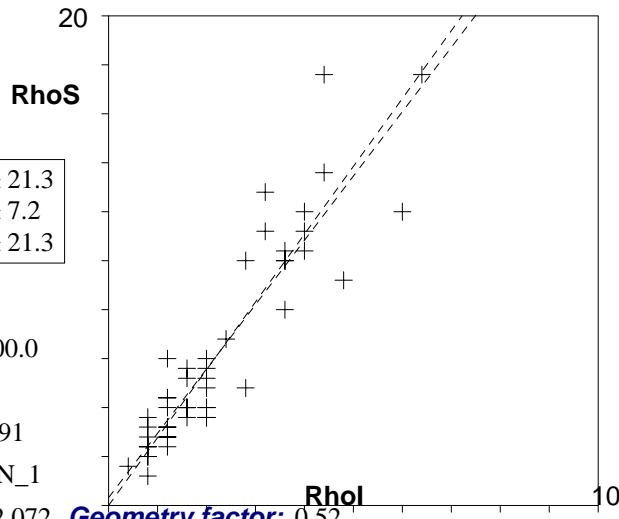
Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 7.36 ($\pm 64\%$)

Goodness: n. d.

PJV-2



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

PJV-2
 50 Apatite crystals Sum. Ns: 773 Sum. Ni: 279
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	10	4	1	4.000	1.600	172.44	103.11	5.275	
2	11	3	1	4.400	1.200	251.36	165.17	3.956	
3	25	7	1	10.000	2.800	244.95	106.89	9.231	
4	15	3	1	6.000	1.200	340.38	217.30	3.956	
5	11	3	1	4.400	1.200	251.36	165.17	3.956	
6	44	16	1	17.600	6.400	189.43	57.71	21.100	
7	12	7	1	4.800	2.800	118.74	57.41	9.231	
8	6	2	1	2.400	.800	206.38	169.46	2.638	
9	30	10	1	12.000	4.000	206.38	77.47	13.188	
10	10	5	1	4.000	2.000	138.32	76.71	6.594	
11	28	10	1	11.200	4.000	192.82	72.99	13.188	
12	5	2	1	2.000	.800	172.44	145.05	2.638	
13	25	9	1	10.000	3.600	191.31	76.21	11.869	
14	7	3	1	2.800	1.200	161.08	112.04	3.956	
15	44	11	1	17.600	4.400	273.73	95.30	14.506	
16	23	12	1	9.200	4.800	132.61	48.61	15.825	
17	8	3	1	3.200	1.200	183.77	125.44	3.956	
18	3	2	1	1.200	.800	104.01	95.38	2.638	
19	4	1	1	1.600	.400	273.73	306.96	1.319	
20	10	5	1	4.000	2.000	138.32	76.71	6.594	
21	25	9	1	10.000	3.600	191.31	76.21	11.869	
22	8	3	1	3.200	1.200	183.77	125.44	3.956	
23	12	5	1	4.800	2.000	165.63	89.33	6.594	
24	10	4	1	4.000	1.600	172.44	103.11	5.275	
25	28	8	1	11.200	3.200	240.14	98.51	10.550	
26	10	4	1	4.000	1.600	172.44	103.11	5.275	
27	9	5	1	3.600	2.000	124.62	70.35	6.594	
28	9	5	1	3.600	2.000	124.62	70.35	6.594	
29	34	11	1	13.600	4.400	212.53	76.00	14.506	
30	8	2	1	3.200	.800	273.73	217.71	2.638	
31	26	9	1	10.400	3.600	198.85	78.83	11.869	
32	7	2	1	2.800	.800	240.14	193.67	2.638	
33	6	3	1	2.400	1.200	138.32	98.54	3.956	
34	14	5	1	5.600	2.000	192.82	101.85	6.594	
35	10	3	1	4.000	1.200	228.91	151.99	3.956	
36	14	4	1	5.600	1.600	240.14	137.74	5.275	
37	6	2	1	2.400	.800	206.38	169.46	2.638	
38	17	6	1	6.800	2.400	195.08	94.18	7.913	
39	9	2	1	3.600	.800	307.14	241.59	2.638	
40	15	5	1	6.000	2.000	206.38	108.08	6.594	
41	30	15	1	12.000	6.000	138.32	45.36	19.781	
42	32	8	1	12.800	3.200	273.73	110.79	10.550	
43	13	5	1	5.200	2.000	179.24	95.60	6.594	
44	5	2	1	2.000	.800	172.44	145.05	2.638	
45	9	4	1	3.600	1.600	155.40	94.36	5.275	
46	7	3	1	2.800	1.200	161.08	112.04	3.956	
47	10	4	1	4.000	1.600	172.44	103.11	5.275	
48	26	10	1	10.400	4.000	179.24	68.49	13.188	
49	20	9	1	8.000	3.600	153.50	63.05	11.869	
50	13	4	1	5.200	1.600	223.28	129.14	5.275	

Apatite

PJV-3b

LGI/UFRGS
Axioplan 2

Cryst.: 43
Area: 43

Ns: 2451
RhoS: 22.8

Ni: 842
Rhol: 7.833

Pooled: 2.911	200.3 ± 19.2
Mean: 3.0	206.3 ± 7.9
Central: 2.911	200.3 ± 19.2

Chi-sq.: 33.27 **P (%):** 82.99

Dispersion: 0.01

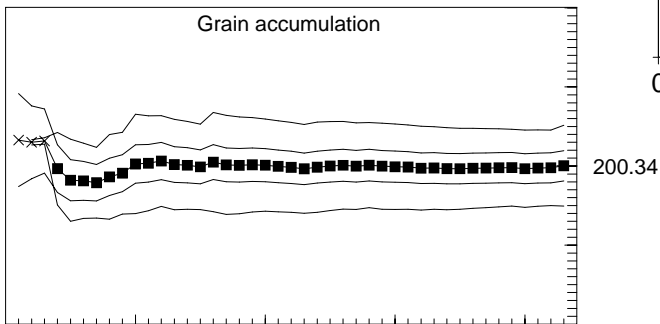
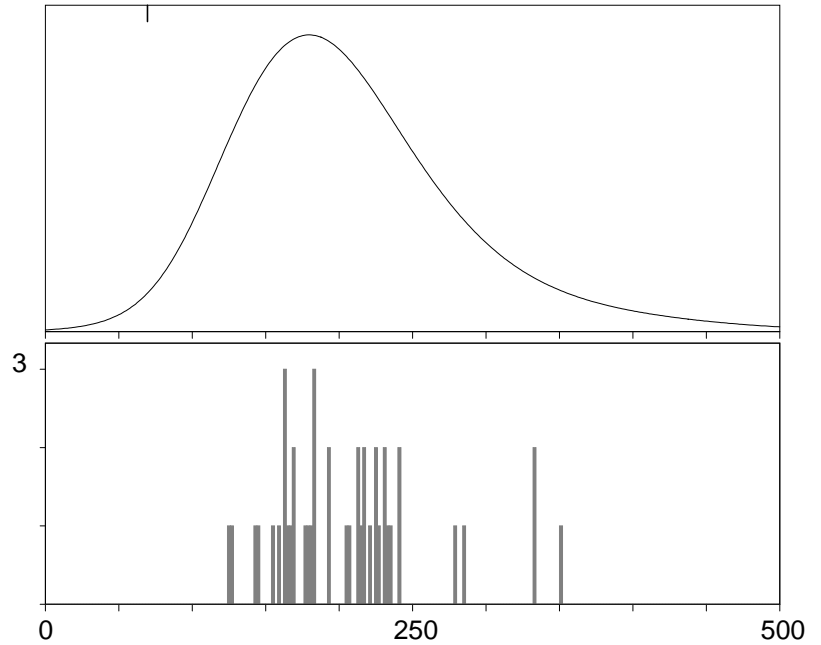
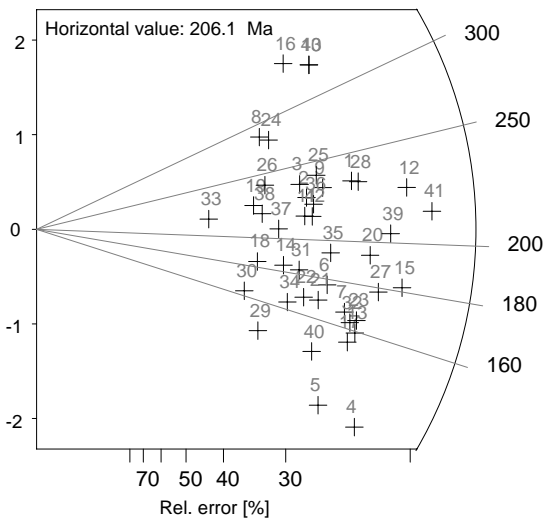
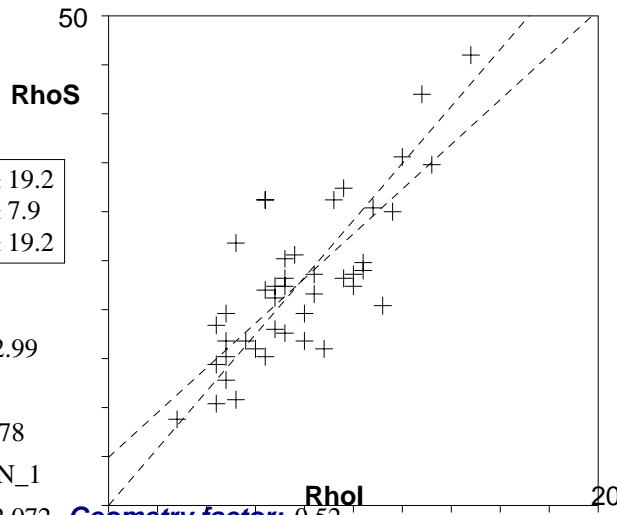
a: 4.925 **b:** 2.282 **r:** 0.78

Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 25.82 (± 35 %)

Goodness: n. d.



1 43

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-3b .
 43 Apatite crystals Sum. Ns: 2451 Sum. Ni: 842
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	78	23	1	31.200	9.200	232.82	58.84 30.331
2	56	17	1	22.400	6.800	226.26	65.67 22.419
3	55	16	1	22.000	6.400	235.93	70.09 21.100
4	51	28	1	20.400	11.200	126.09	31.62 36.925
5	40	22	1	16.000	8.800	125.86	35.16 29.013
6	54	21	1	21.600	8.400	177.30	48.13 27.694
7	58	24	1	23.200	9.600	166.76	43.00 31.650
8	46	11	1	18.400	4.400	285.90	99.13 14.506
9	64	19	1	25.600	7.600	231.27	63.68 25.056
10	78	16	1	31.200	6.400	332.09	95.61 21.100
11	53	17	1	21.200	6.800	214.34	62.59 22.419
12	105	32	1	42.000	12.800	225.39	49.56 42.200
13	60	26	1	24.000	10.400	159.34	39.90 34.288
14	40	15	1	16.000	6.000	183.77	57.89 19.781
15	87	33	1	34.800	13.200	181.71	40.37 43.519
16	67	13	1	26.800	5.200	350.57	110.54 17.144
17	56	25	1	22.400	10.000	154.72	39.57 32.969
18	32	12	1	12.800	4.800	183.77	64.23 15.825
19	36	11	1	14.400	4.400	224.82	79.88 14.506
20	76	27	1	30.400	10.800	193.83	46.59 35.606
21	49	20	1	19.600	8.000	169.03	47.20 26.375
22	44	18	1	17.600	7.200	168.65	49.42 23.738
23	62	26	1	24.800	10.400	164.58	41.03 34.288
24	49	12	1	19.600	4.800	279.31	93.19 15.825
25	63	18	1	25.200	7.200	240.14	67.50 23.738
26	42	12	1	16.800	4.800	240.14	81.33 15.825
27	75	29	1	30.000	11.600	178.30	41.96 38.244
28	81	24	1	32.400	9.600	231.72	57.50 31.650
29	27	13	1	10.800	5.200	143.58	50.05 17.144
30	26	11	1	10.400	4.400	163.15	60.37 14.506
31	45	17	1	18.000	6.800	182.44	54.31 22.419
32	59	25	1	23.600	10.000	162.90	41.38 32.969
33	22	7	1	8.800	2.800	216.04	95.62 9.231
34	38	16	1	15.200	6.400	163.92	50.89 21.100
35	59	21	1	23.600	8.400	193.47	51.96 27.694
36	58	18	1	23.200	7.200	221.41	62.77 23.738
37	42	14	1	16.800	5.600	206.38	66.17 18.463
38	38	12	1	15.200	4.800	217.65	74.52 15.825
39	89	30	1	35.600	12.000	204.12	46.61 39.563
40	42	20	1	16.800	8.000	145.16	41.41 26.375
41	115	37	1	46.000	14.800	213.69	44.46 48.794
42	56	18	1	22.400	7.200	213.90	60.87 23.738
43	78	16	1	31.200	6.400	332.09	95.61 21.100

Apatite

PJV-3C

LGI/UFRGS

Cryst.: Area:

26 158

Ns: RhoS:

825 52.215

Ni: Rhol:

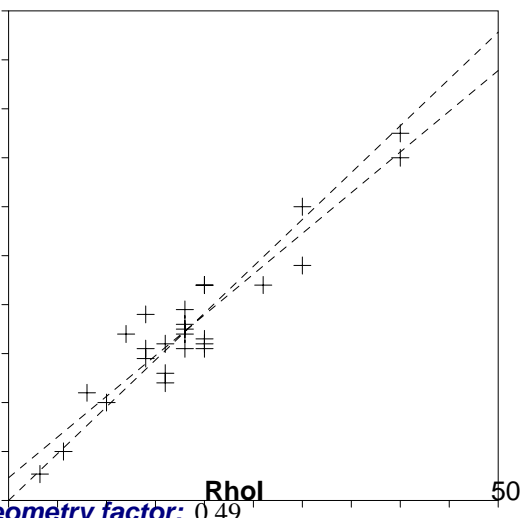
216 13.671

Pooled: 3.819 247.9 ± 24.0

Mean: 3.925 254.6 ± 9.1

Central: 3.819 247.9 ± 24.0

RhoS



Chi-sq.: 4.64 P (%): 100.0

Dispersion: 0.00

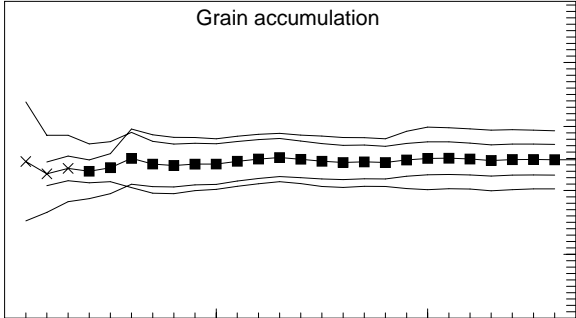
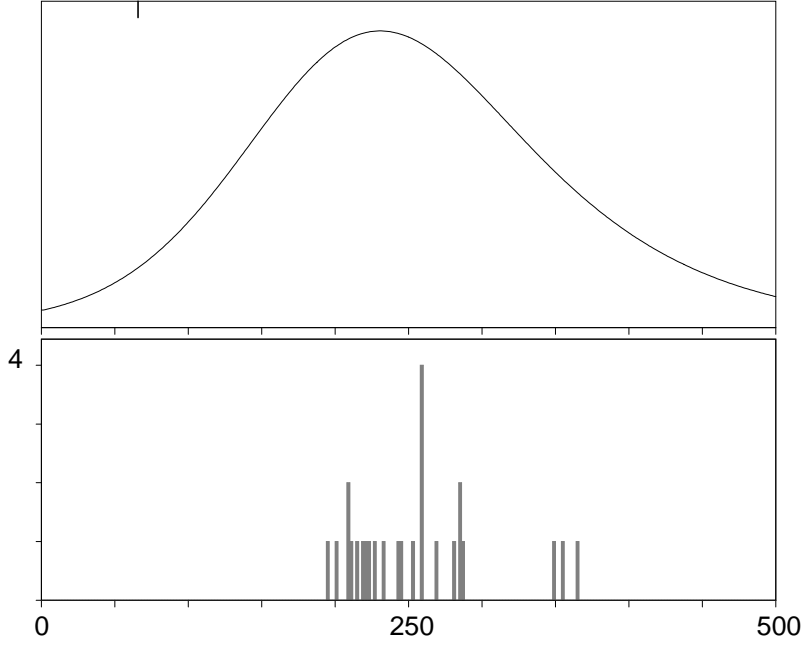
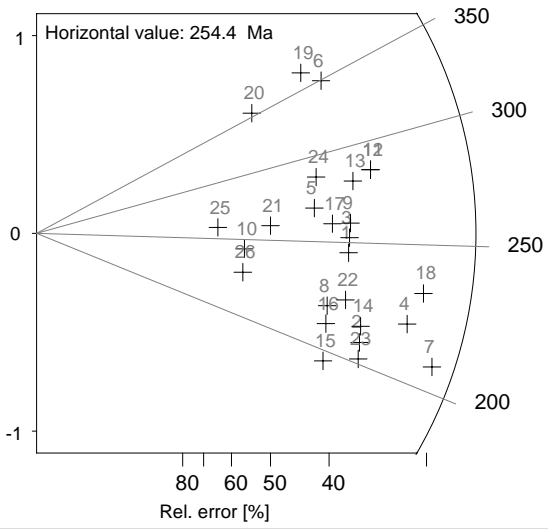
a: 9.319 b: 3.326 r: 0.94

Irr.: 02-3CN1 Glass: CN_1

Nd: 16440 RhoD: 12.072 Geometry factor: 0.49

Zeta: 111.86 ± 6.61 U.: 61.47 (± 48 %)

Goodness: n. d.



247.9

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-3C . .
 26 Apatite crystals Sum. Ns: 825 Sum. Ni: 216
 Zeta: 111.86 +- 6.61 Micr. grid.: 100
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	34	9	5	68.000	18.000	245.24	93.09	59.344	
2	32	10	5	64.000	20.000	208.34	76.49	65.938	
3	35	9	5	70.000	18.000	252.32	95.49	59.344	
4	44	13	5	88.000	26.000	220.15	70.72	85.719	
5	29	7	5	58.000	14.000	268.46	114.18	46.156	
6	38	7	5	76.000	14.000	349.55	145.27	46.156	
7	48	15	5	96.000	30.000	208.34	62.87	98.907	
8	27	8	25	10.800	3.200	219.54	89.34	10.550	
9	36	9	5	72.000	18.000	259.38	97.90	59.344	
10	15	4	1	150.000	40.000	243.47	137.78	131.875	
11	44	10	5	88.000	20.000	284.76	101.19	65.938	
12	44	10	5	88.000	20.000	284.76	101.19	65.938	
13	39	9	5	78.000	18.000	280.54	105.08	59.344	
14	33	10	5	66.000	20.000	214.74	78.56	65.938	
15	24	8	5	48.000	16.000	195.51	80.66	52.750	
16	26	8	5	52.000	16.000	211.54	86.45	52.750	
17	32	8	5	64.000	16.000	259.38	103.69	52.750	
18	50	14	25	20.000	5.600	232.09	71.53	18.463	
19	34	6	5	68.000	12.000	364.45	162.84	39.563	
20	22	4	5	44.000	8.000	354.02	193.59	26.375	
21	20	5	5	40.000	10.000	259.38	130.61	32.969	
22	31	9	5	62.000	18.000	223.98	85.85	59.344	
23	31	10	5	62.000	20.000	201.93	74.41	65.938	
24	31	7	5	62.000	14.000	286.57	121.13	46.156	
25	12	3	1	120.000	30.000	259.38	168.14	98.907	
26	14	4	1	140.000	40.000	227.53	129.71	131.875	

Apatite

PJV-4

LGI/UFRGS
AutoScan

Cryst.: 30
Area: 665

Ns: 1230
RhoS: 18.496

Ni: 278
Rhol: 4.18

Pooled:	4.424	225.8 ± 19.1
Mean:	4.49	229.1 ± 10.4
Central:	4.424	225.8 ± 19.1

Chi-sq.: 13.12 **P (%):** 99.5

Dispersion: 0.00

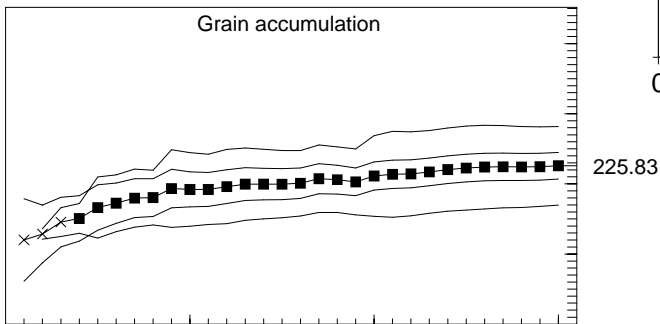
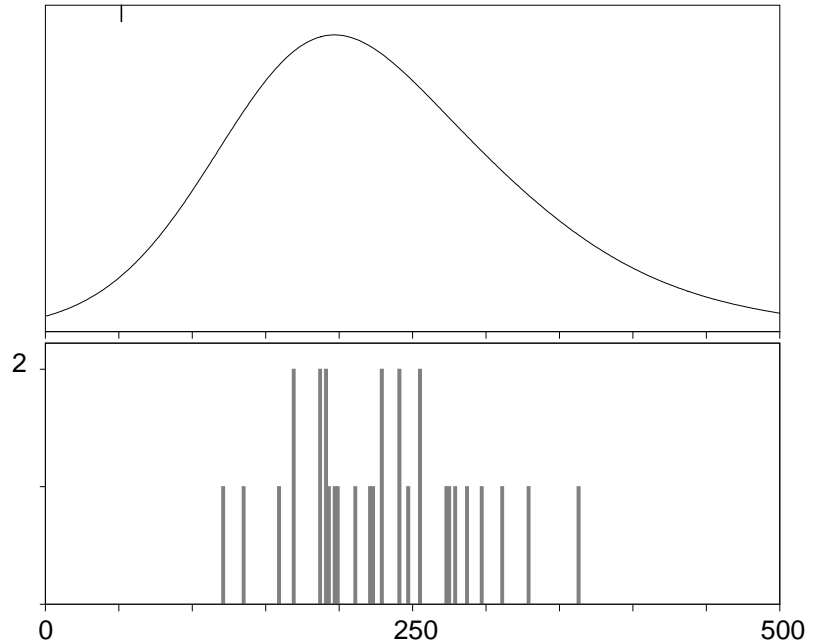
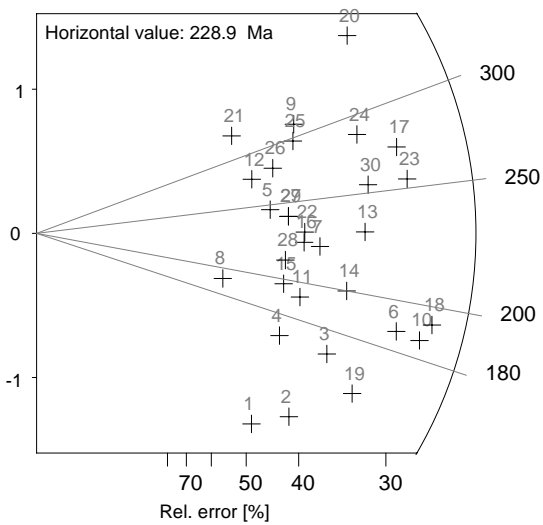
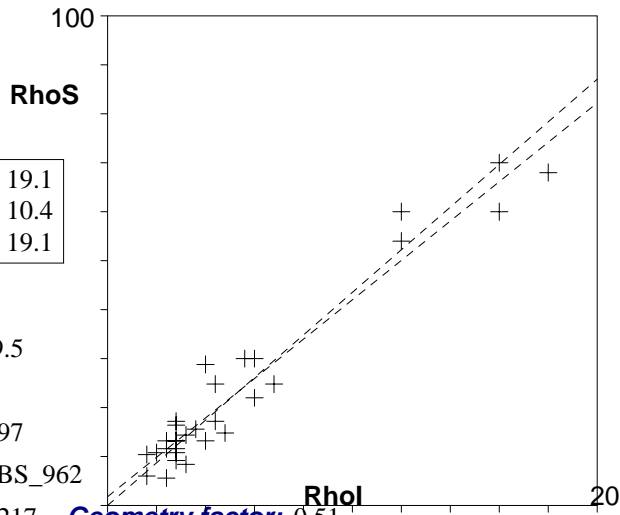
a: 1.785 **b:** 4.023 **r:** 0.97

Irr.: 02-3NBS **Glass:** NBS_962

Nd: 15546 **RhoD:** 3.217 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 316.62 ± 16.42 **U.:** 20.65 (± 85 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-4 . . .

30 Apatite crystals Sum. Ns: 1230 Sum. Ni: 278
 Zeta: 316.62 +- 16.42 Micr. grid.: 100
 Glass: NBS_962 Irrad. code: 02-3NBS RhoD: 3.217 Nd: 15546

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	14	6	25	5.600	2.400	120.08	58.93	9.176	
2	21	8	25	8.400	3.200	134.94	56.51	12.235	
3	33	10	25	13.200	4.000	169.19	61.71	15.294	
4	23	7	25	9.200	2.800	168.46	73.25	10.706	
5	29	6	25	11.600	2.400	246.31	111.22	9.176	
6	55	15	25	22.000	6.000	187.71	55.56	22.941	
7	39	9	25	15.600	3.600	221.26	82.64	13.764	
8	15	4	25	6.000	1.600	191.92	108.47	6.118	
9	43	7	25	17.200	2.800	311.46	127.99	10.706	
10	62	17	25	24.800	6.800	186.72	52.05	25.999	
11	30	8	5	60.000	16.000	191.92	77.03	61.175	
12	27	5	25	10.800	2.000	274.58	134.46	7.647	
13	54	12	10	54.000	12.000	229.62	74.27	45.881	
14	43	11	25	17.200	4.400	199.93	68.36	16.823	
15	27	7	25	10.800	2.800	197.32	84.33	10.706	
16	35	8	5	70.000	16.000	223.35	88.31	61.175	
17	75	14	25	30.000	5.600	272.45	80.60	21.411	
18	68	18	10	68.000	18.000	193.32	52.24	68.822	
19	37	12	25	14.800	4.800	158.21	53.21	18.353	
20	72	10	25	28.800	4.000	363.57	124.17	15.294	
21	26	4	25	10.400	1.600	329.11	177.60	6.118	
22	36	8	25	14.400	3.200	229.62	90.56	12.235	
23	75	15	25	30.000	6.000	254.64	73.25	22.941	
24	62	11	25	24.800	4.400	286.34	94.88	16.823	
25	41	7	25	16.400	2.800	297.30	122.58	10.706	
26	33	6	25	13.200	2.400	279.56	124.94	9.176	
27	33	7	25	13.200	2.800	240.36	100.81	10.706	
28	29	7	25	11.600	2.800	211.69	89.84	10.706	
29	33	7	25	13.200	2.800	240.36	100.81	10.706	
30	60	12	10	60.000	12.000	254.64	81.62	45.881	

Apatite

PJV-5

LGI/UFRGS
Axioplan-2

Cryst.: 10
Area: 10

Ns: 727
RhoS: 29.08

Ni: 157
Rhol: 6.28

Pooled: 4.631	262.2 ± 29.9
Mean: 4.922	278.4 ± 17.6
Central: 4.631	262.2 ± 29.9

Chi-sq.: 4.0 **P (%):** 91.13

Dispersion: 0.00

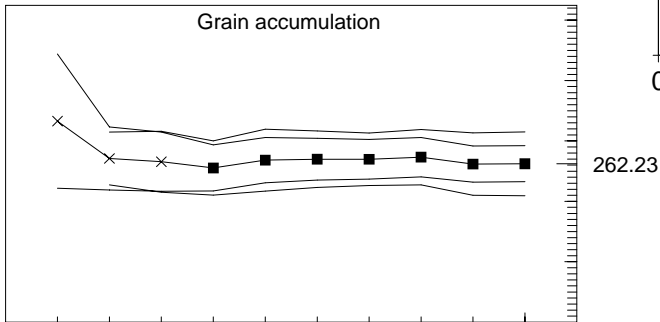
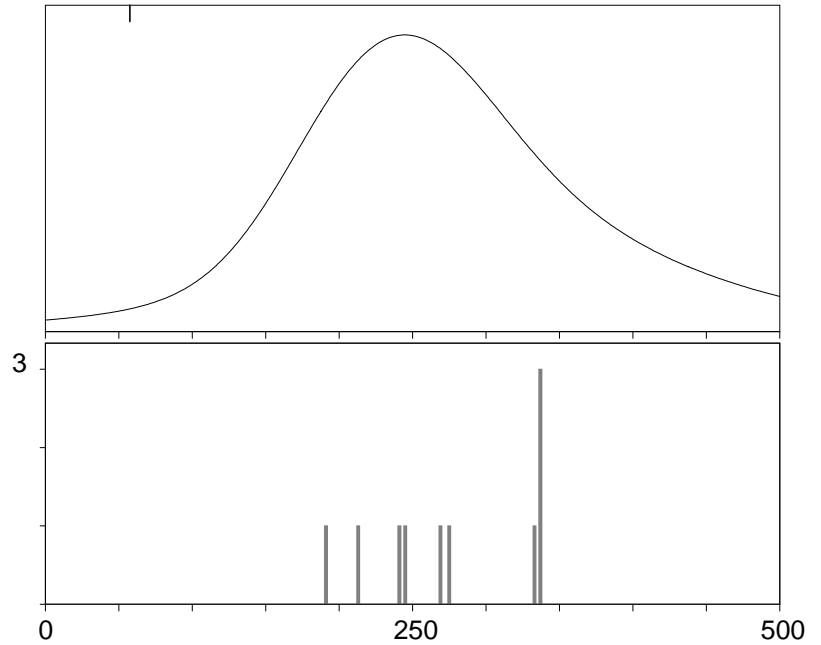
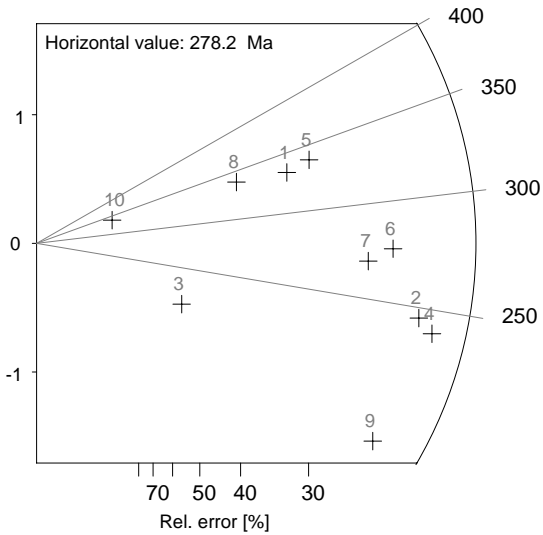
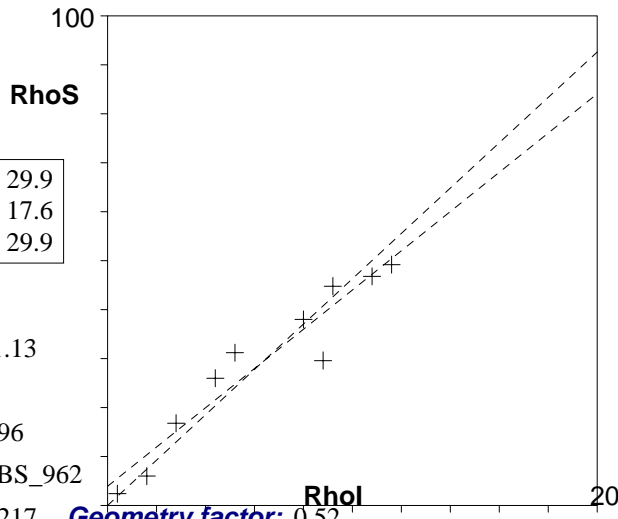
a: 3.897 **b:** 4.01 **r:** 0.96

Irr.: 02-3NBS **Glass:** NBS_962

Nd: 15546 **RhoD:** 3.217 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 345.51 ± 24.92 **U.:** 24.01 (± 63 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 10 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-5 . .

10 Apatite crystals Sum. Ns: 727 Sum. Ni: 157

Zeta: 345.51 +- 24.92 Micr. grid.: 2500

Glass: NBS_962 Irrad. code: 02-3NBS RhoD: 3.217 Nd: 15546

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	65	11	1	26.000	4.400	332.80	111.16 16.823
2	117	27	1	46.800	10.800	245.72	55.41 41.293
3	15	4	1	6.000	1.600	213.18	120.96 6.118
4	123	29	1	49.200	11.600	240.60	52.65 44.352
5	78	13	1	31.200	5.200	337.78	104.12 19.882
6	112	23	1	44.800	9.200	275.48	66.16 35.176
7	95	20	1	38.000	8.000	268.86	68.96 30.588
8	42	7	1	16.800	2.800	337.78	140.06 10.706
9	74	22	1	29.600	8.800	191.54	48.54 33.646
10	6	1	1	2.400	.400	337.78	365.67 1.529

Apatite

PJV-6

LGI/UFRGS
OL BX40

Cryst.: 28
Area: 28

Ns: 2104
RhoS: 30.057

Ni: 635
Rhol: 9.071

Pooled: 3.313	213.0 ± 13.2
Mean: 3.516	225.8 ± 13.1
Central: 3.314	213.0 ± 13.4

Chi-sq.: 30.05 **P (%):** 31.2

Dispersion: 0.06

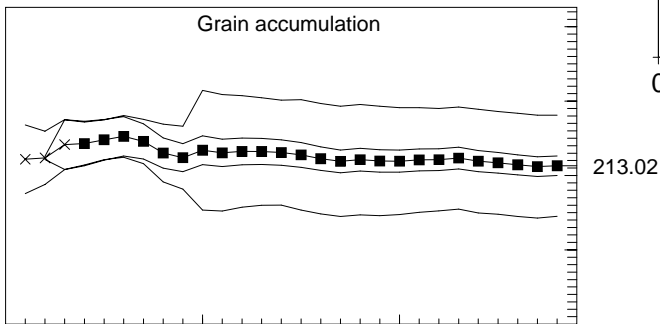
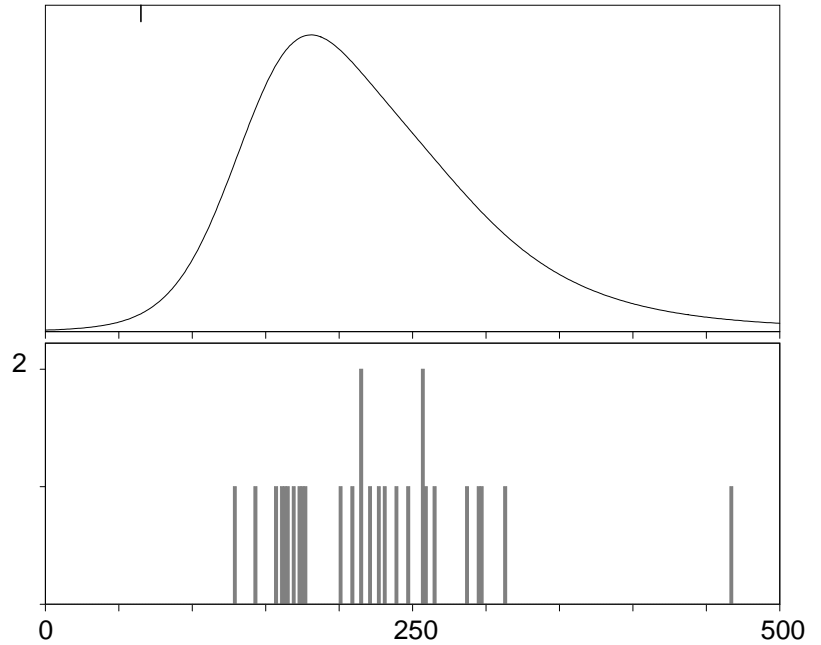
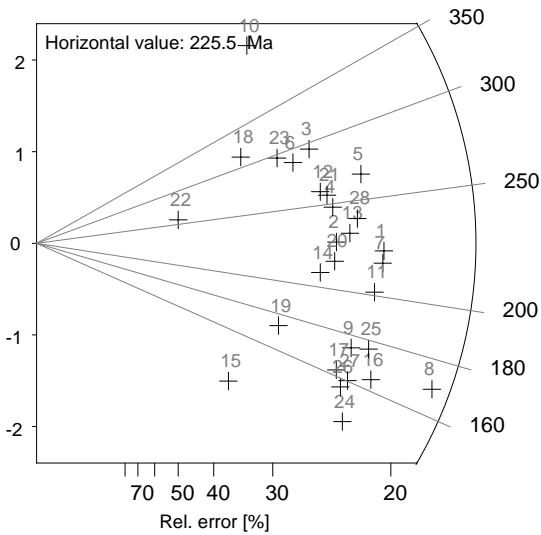
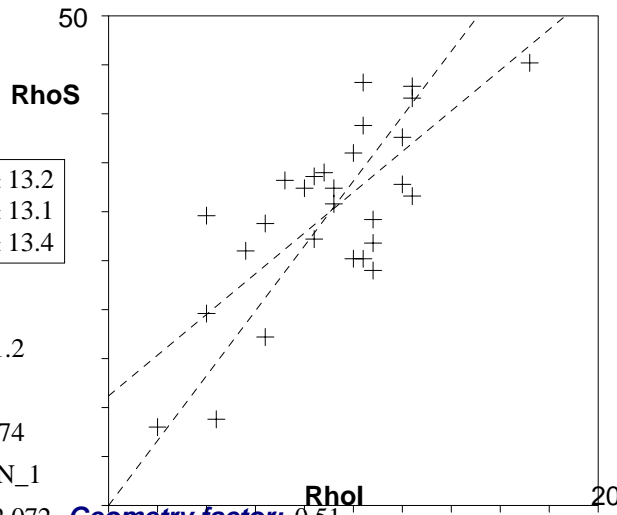
a: 11.198 **b:** 2.079 **r:** 0.74

Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 106.17 ± 4.43 **U.:** 29.91 (± 36 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-6 . .
 28 Apatite crystals Sum. Ns: 2104 Sum. Ni: 635
 Zeta: 106.17 +- 4.43 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	107	31	1	42.800	12.400	221.76	46.20	40.881	
2	81	23	1	32.400	9.200	226.19	54.30	30.331	
3	83	18	1	33.200	7.200	294.58	77.61	23.738	
4	85	22	1	34.000	8.800	247.73	60.18	29.013	
5	108	26	1	43.200	10.400	265.96	59.19	34.288	
6	72	16	1	28.800	6.400	287.63	80.43	21.100	
7	104	31	1	41.600	12.400	215.64	45.07	40.881	
8	113	43	1	45.200	17.200	169.53	31.22	56.706	
9	73	27	1	29.200	10.800	174.35	39.96	35.606	
10	74	10	1	29.600	4.000	466.42	158.39	13.188	
11	94	30	1	37.600	12.000	201.63	43.14	39.563	
12	81	20	1	32.400	8.000	259.44	65.71	26.375	
13	90	25	1	36.000	10.000	231.12	53.17	32.969	
14	68	21	1	27.200	8.400	208.26	52.74	27.694	
15	22	11	1	8.800	4.400	129.42	48.11	14.506	
16	79	31	1	31.600	12.400	164.46	35.55	40.881	
17	63	25	1	25.200	10.000	162.65	39.06	32.969	
18	49	10	1	19.600	4.000	312.59	109.28	13.188	
19	43	16	1	17.200	6.400	173.32	51.29	21.100	
20	77	23	1	30.800	9.200	215.20	51.95	30.331	
21	84	21	1	33.600	8.400	256.30	63.47	27.694	
22	20	5	1	8.000	2.000	256.30	128.61	6.594	
23	65	14	1	26.000	5.600	296.56	88.28	18.463	
24	60	27	1	24.000	10.800	143.65	33.84	35.606	
25	82	30	1	32.800	12.000	176.24	38.34	39.563	
26	63	26	1	25.200	10.400	156.47	37.07	34.288	
27	67	27	1	26.800	10.800	160.20	37.15	35.606	
28	97	26	1	38.800	10.400	239.37	53.83	34.288	

Apatite

PJV-7

LGI/UFRGS
OL BX40

Cryst.: Area:

50 50

Ns: RhoS:
677 5.416

Ni: Rhol:
506 4.048

Pooled:	1.338	70.5 ± 5.2
Mean:	1.306	68.8 ± 2.8
Central:	1.334	70.3 ± 5.2

Chi-sq.: 23.8 **P (%)**: 99.91

Dispersion: 0.04

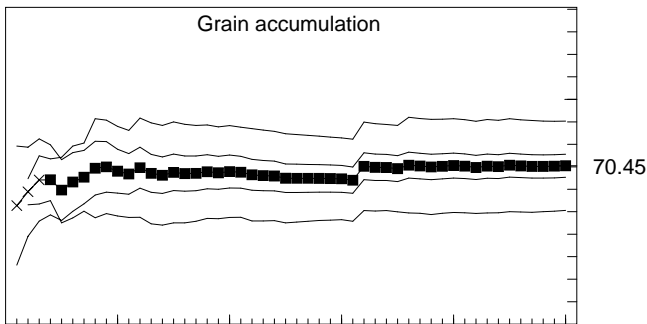
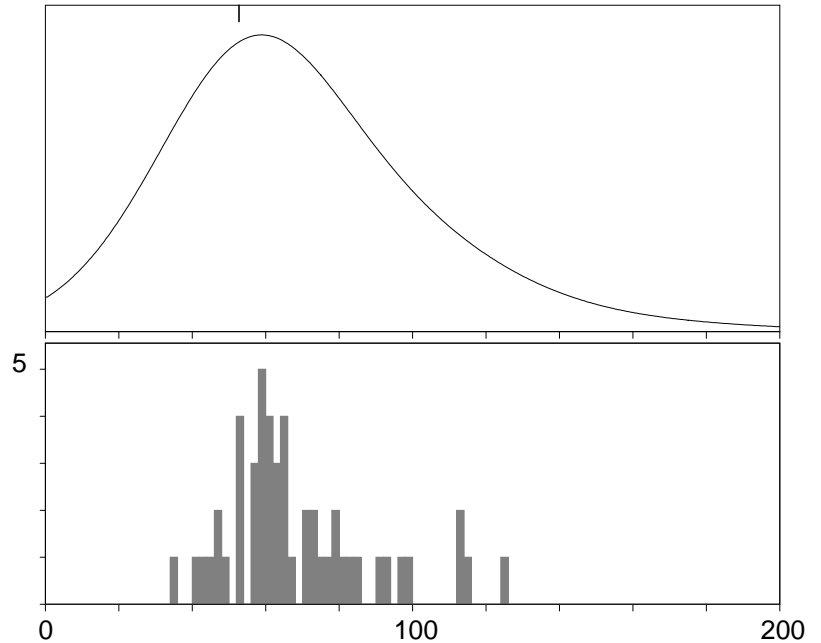
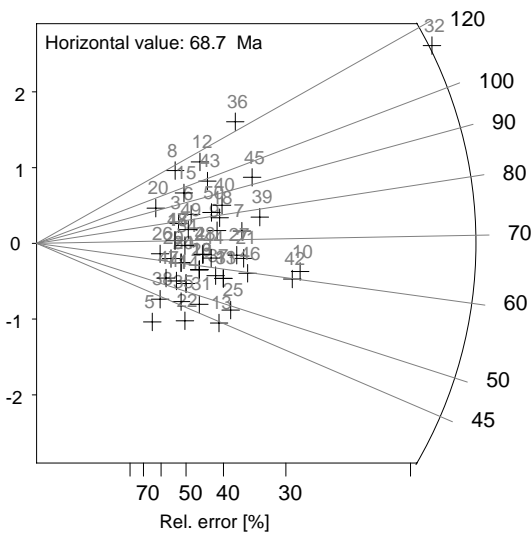
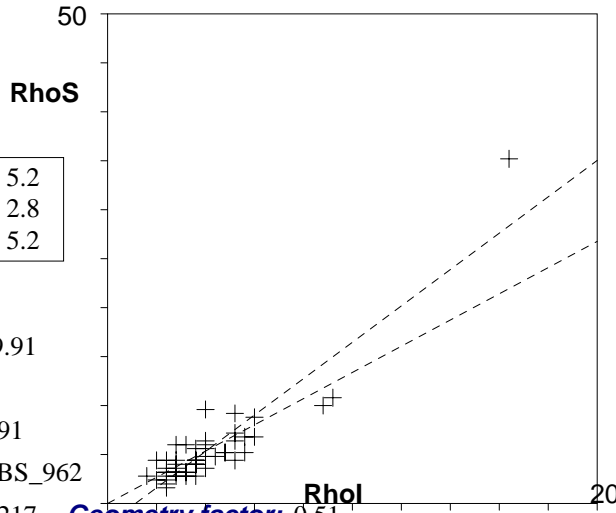
a: -2.098 **b:** 1.856 **r:** 0.91

Irr.: 02-3NBS **Glass:** NBS_962

Nd: 15546 **RhoD:** 3.217 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 322.7 ± 13.9 **U.:** 15.48 (± 58 %)

Goodness: n. d.



1 50

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-7 . .
 50 Apatite crystals Sum. Ns: 677 Sum. Ni: 506
 Zeta: 322.7 +- 13.9 Micr. grid.: 2500
 Glass: NBS_962 Irrad. code: 02-3NBS RhoD: 3.217 Nd: 15546

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	8	8	1	3.200	3.200	52.73	26.47	12.235	
2	11	9	1	4.400	3.600	64.39	29.08	13.764	
3	9	6	1	3.600	2.400	78.93	41.74	9.176	
4	11	9	1	4.400	3.600	64.39	29.08	13.764	
5	4	6	1	1.600	2.400	35.20	22.77	9.176	
6	11	7	1	4.400	2.800	82.67	40.13	10.706	
7	18	13	1	7.200	5.200	72.89	26.72	19.882	
8	11	5	1	4.400	2.000	115.44	62.47	7.647	
9	14	10	1	5.600	4.000	73.70	30.68	15.294	
10	27	23	1	10.800	9.200	61.85	17.76	35.176	
11	13	12	1	5.200	4.800	57.10	23.00	18.353	
12	15	7	1	6.000	2.800	112.47	51.72	10.706	
13	11	13	1	4.400	5.200	44.64	18.39	19.882	
14	8	8	1	3.200	3.200	52.73	26.47	12.235	
15	11	6	1	4.400	2.400	96.34	49.08	9.176	
16	10	9	1	4.000	3.600	58.56	27.03	13.764	
17	8	6	1	3.200	2.400	70.21	38.04	9.176	
18	15	10	1	6.000	4.000	78.93	32.41	15.294	
19	10	9	1	4.000	3.600	58.56	27.03	13.764	
20	7	4	1	2.800	1.600	91.99	57.80	6.118	
21	17	14	1	6.800	5.600	63.97	23.26	21.411	
22	7	9	1	2.800	3.600	41.05	20.76	13.764	
23	10	9	1	4.000	3.600	58.56	27.03	13.764	
24	8	7	1	3.200	2.800	60.23	31.28	10.706	
25	13	14	1	5.200	5.600	48.98	18.99	21.411	
26	6	5	1	2.400	2.000	63.22	38.38	7.647	
27	16	13	1	6.400	5.200	64.84	24.38	19.882	
28	11	9	1	4.400	3.600	64.39	29.08	13.764	
29	7	6	1	2.800	2.400	61.47	34.31	9.176	
30	8	7	1	3.200	2.800	60.23	31.28	10.706	
31	9	10	1	3.600	4.000	47.47	21.91	15.294	
32	88	41	1	35.200	16.400	112.65	21.86	62.704	
33	13	12	1	5.200	4.800	57.10	23.00	18.353	
34	9	7	1	3.600	2.800	67.71	34.25	10.706	
35	7	8	1	2.800	3.200	46.16	23.98	12.235	
36	24	10	1	9.600	4.000	125.83	47.68	15.294	
37	12	11	1	4.800	4.400	57.50	24.13	16.823	
38	5	6	1	2.000	2.400	43.97	26.69	9.176	
39	22	15	1	8.800	6.000	77.19	26.07	22.941	
40	16	10	1	6.400	4.000	84.16	34.13	15.294	
41	7	7	1	2.800	2.800	52.73	28.28	10.706	
42	25	22	1	10.000	8.800	59.89	17.70	33.646	
43	15	8	1	6.000	3.200	98.51	43.34	12.235	
44	12	10	1	4.800	4.000	63.22	27.21	15.294	
45	23	13	1	9.200	5.200	93.00	32.53	19.882	
46	17	15	1	6.800	6.000	59.73	21.32	22.941	
47	6	6	1	2.400	2.400	52.73	30.53	9.176	
48	8	6	1	3.200	2.400	70.21	38.04	9.176	
49	10	7	1	4.000	2.800	75.19	37.20	10.706	
50	14	9	1	5.600	3.600	81.84	35.15	13.764	

Apatite

PJV-11

LGI/UFRGS
OL BX40

Cryst.: Area:
35 35

Ns: RhoS:
1456 16.64

Ni: RhoI:
1024 11.703

Pooled:	1.422	98.6 ± 9.5
Mean:	1.445	100.2 ± 2.5
Central:	1.422	98.6 ± 9.5

Chi-sq.: 10.65 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

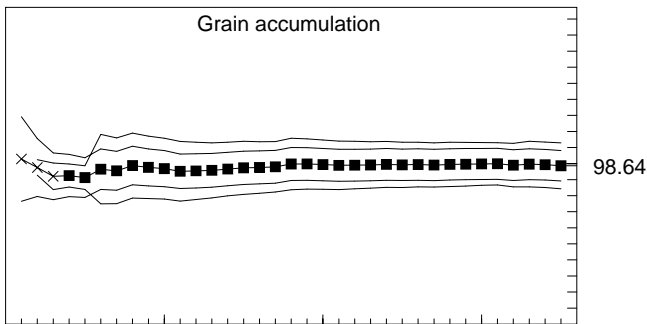
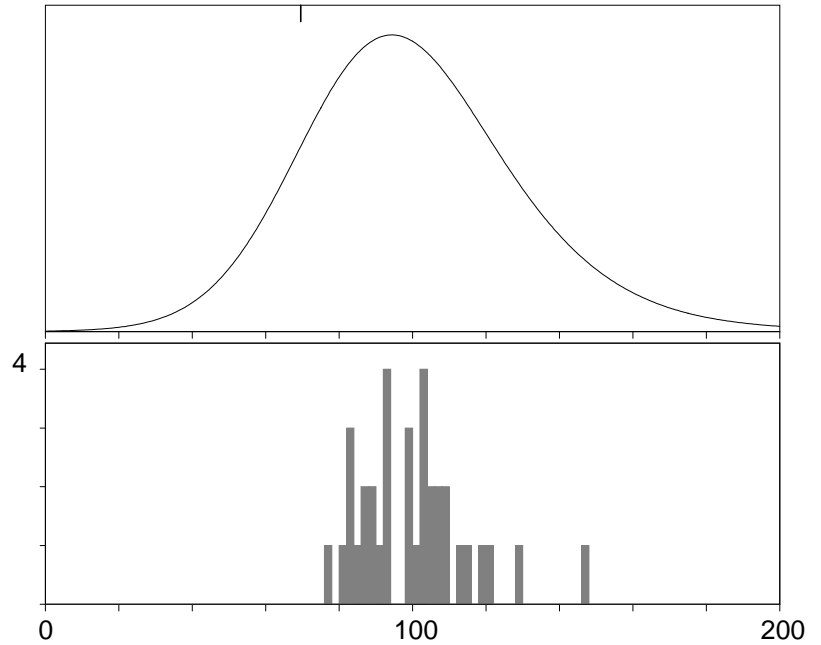
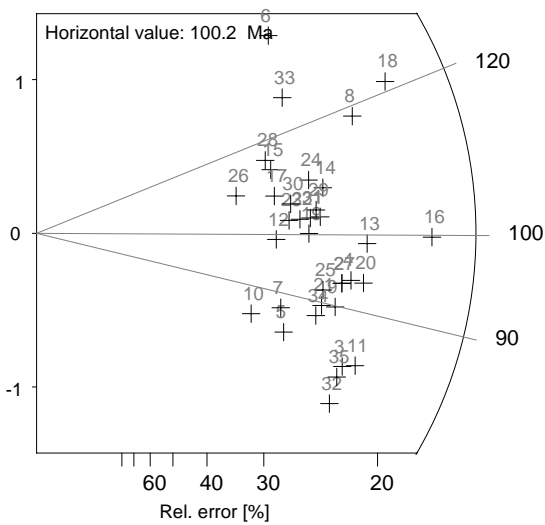
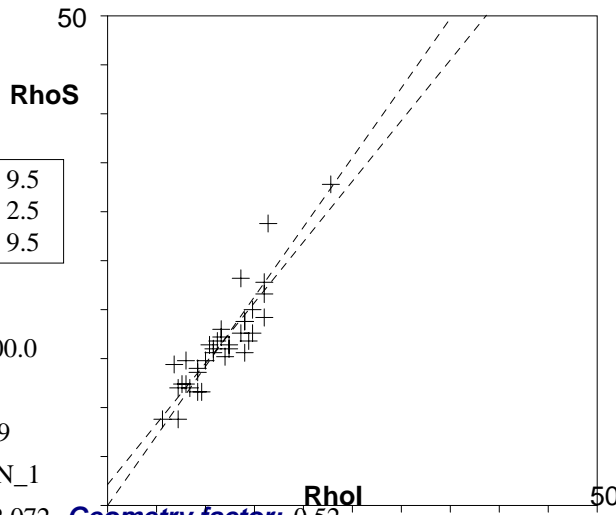
a: 2.149 **b:** 1.238 **r:** 0.9

Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 38.58 (± 31 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-11 .
 35 Apatite crystals Sum. Ns: 1456 Sum. Ni: 1024
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age	+-	1s	Uran.
1	43	29	1	17.200	11.600	102.83	26.28	38.244	
2	47	35	1	18.800	14.000	93.20	22.33	46.156	
3	44	37	1	17.600	14.800	82.60	19.78	48.794	
4	50	37	1	20.000	14.800	93.78	21.91	48.794	
5	29	24	1	11.600	9.600	83.92	24.28	31.650	
6	36	17	1	14.400	6.800	146.36	44.91	22.419	
7	29	23	1	11.600	9.200	87.54	25.60	30.331	
8	58	34	1	23.200	13.600	118.16	27.51	44.838	
9	44	34	1	17.600	13.600	89.84	21.95	44.838	
10	22	18	1	8.800	7.200	84.88	27.97	23.738	
11	48	40	1	19.200	16.000	83.35	19.26	52.750	
12	30	21	1	12.000	8.400	99.10	29.48	27.694	
13	57	40	1	22.800	16.000	98.85	22.13	52.750	
14	45	29	1	18.000	11.600	107.57	27.27	38.244	
15	31	19	1	12.400	7.600	113.06	34.38	25.056	
16	82	57	1	32.800	22.800	99.79	19.27	75.169	
17	31	20	1	12.400	8.000	107.45	32.21	26.375	
18	72	41	1	28.800	16.400	121.61	26.04	54.069	
19	39	27	1	15.600	10.800	100.19	26.56	35.606	
20	54	40	1	21.600	16.000	93.69	21.18	52.750	
21	40	31	1	16.000	12.400	89.58	22.81	40.881	
22	37	25	1	14.800	10.000	102.64	28.03	32.969	
23	34	23	1	13.600	9.200	102.52	29.08	30.331	
24	41	26	1	16.400	10.400	109.30	29.01	34.288	
25	41	31	1	16.400	12.400	91.80	23.26	40.881	
26	22	14	1	8.800	5.600	108.93	38.43	18.463	
27	47	35	1	18.800	14.000	93.20	22.33	46.156	
28	30	18	1	12.000	7.200	115.47	35.86	23.738	
29	42	28	1	16.800	11.200	104.01	26.94	36.925	
30	35	23	1	14.000	9.200	105.51	29.77	30.331	
31	40	27	1	16.000	10.800	102.74	27.11	35.606	
32	39	35	1	15.600	14.000	77.43	19.25	46.156	
33	37	20	1	14.800	8.000	128.05	37.24	26.375	
34	38	30	1	15.200	12.000	87.94	22.80	39.563	
35	42	36	1	16.800	14.400	81.04	19.71	47.475	

Apatite

PJV-14

LGI/UFRGS
Axioplan-02

Cryst.: 11
Area: 11

Ns: 76
RhoS: 2.764

Ni: 56
Rhol: 2.036

Pooled:	1.357	94.2 ± 18.5
Mean:	1.521	105.5 ± 17.6
Central:	1.357	94.2 ± 18.5

Chi-sq.: 6.5 **P (%):** 77.12

Dispersion: 0.00

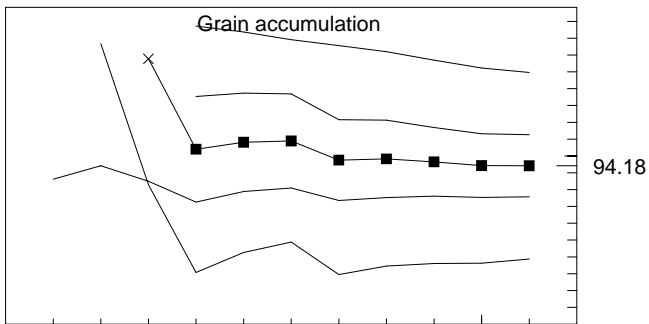
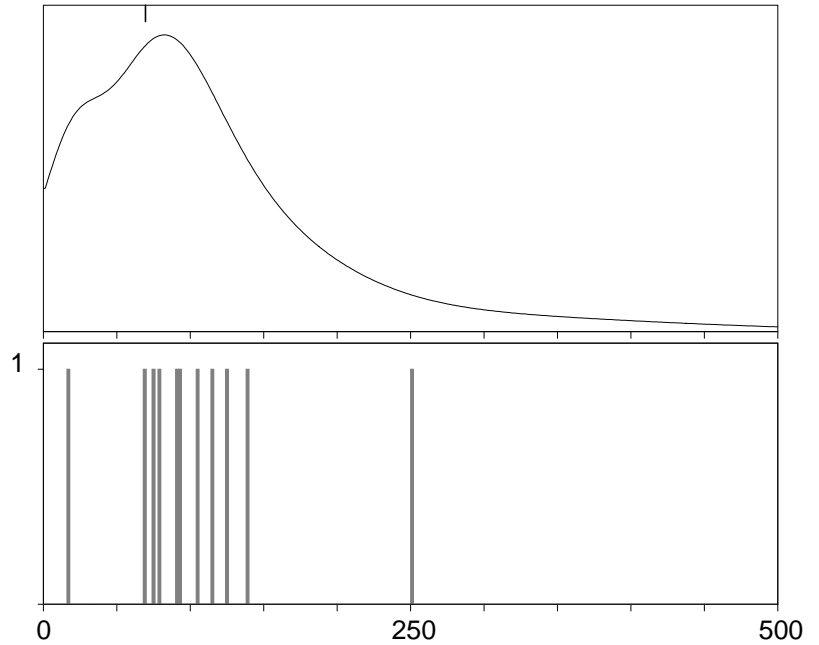
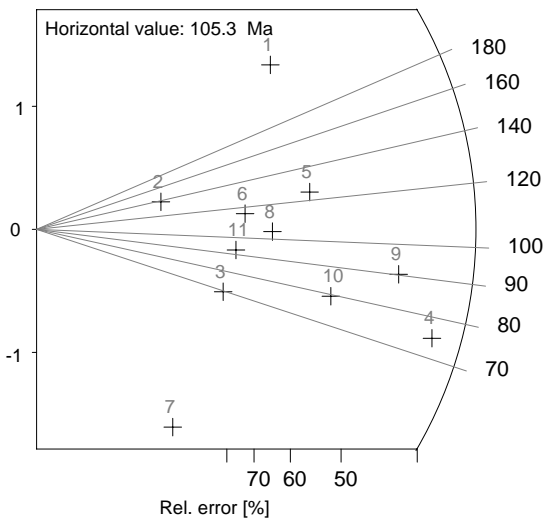
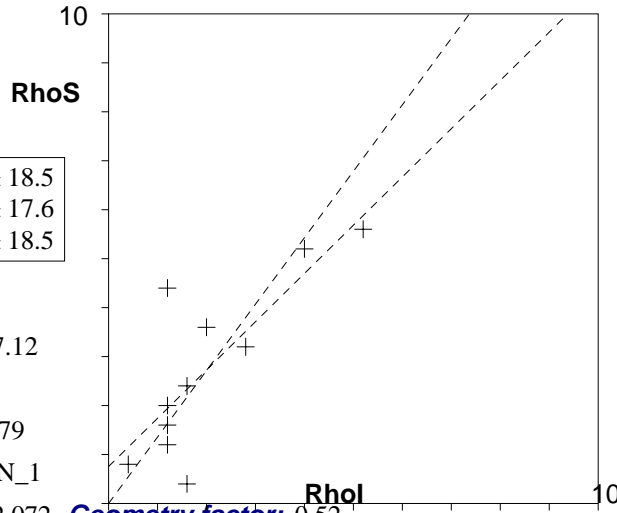
a: 0.756 **b:** 0.986 **r:** 0.79

Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 6.71 (± 70 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-14 . .

11 Apatite crystals Sum. Ns: 76 Sum. Ni: 56

Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	11	3	1	4.400	1.200	251.36	165.17	3.956	
2	2	1	1	.800	.400	138.32	169.83	1.319	
3	3	3	1	1.200	1.200	69.53	57.09	3.956	
4	14	13	1	5.600	5.200	74.85	29.55	17.144	
5	9	5	1	3.600	2.000	124.62	70.35	6.594	
6	5	3	1	2.000	1.200	115.47	84.92	3.956	
7	1	4	1	.400	1.600	17.45	19.57	5.275	
8	6	4	1	2.400	1.600	104.01	67.75	5.275	
9	13	10	1	5.200	4.000	90.24	38.76	13.188	
10	8	7	1	3.200	2.800	79.40	41.67	9.231	
11	4	3	1	1.600	1.200	92.54	71.14	3.956	

Apatite

PJV-17

LGI/UFRGS
OL BX40

Cryst.: 49
Area: 49

Ns: 1672
RhoS: 13.649

Ni: 712
Rhol: 5.812

Pooled: 2.348	151.7 ± 9.4
Mean: 2.344	151.4 ± 5.4
Central: 2.348	151.7 ± 9.4

Chi-sq.: 25.99 **P (%)**: 99.6

Dispersion: 0.00

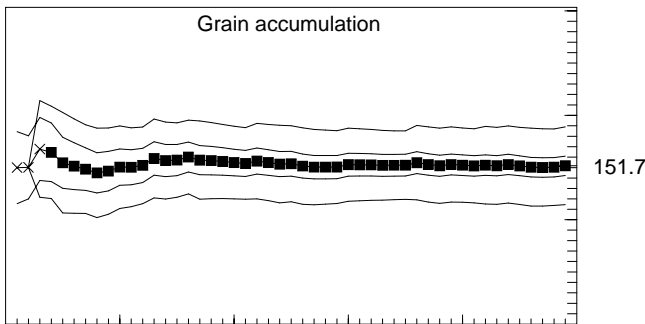
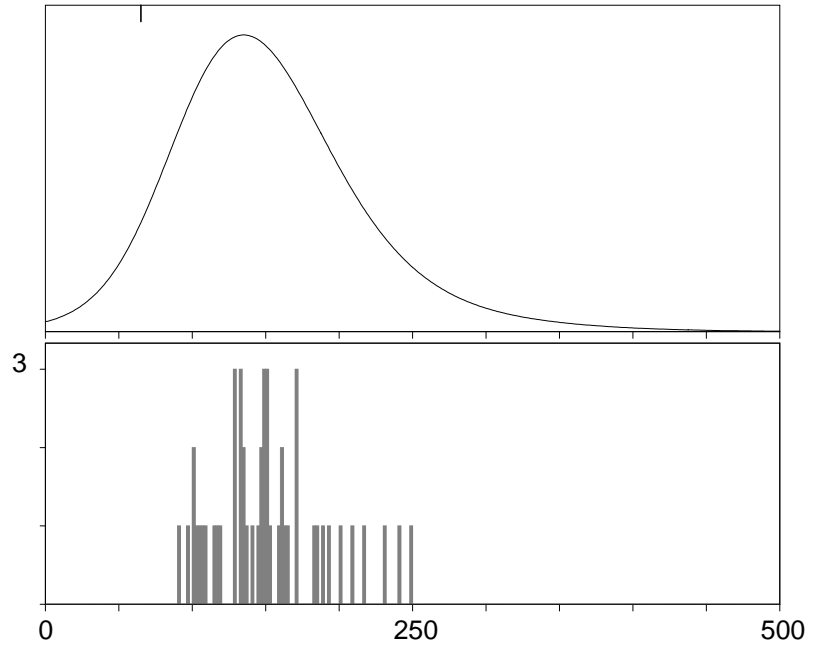
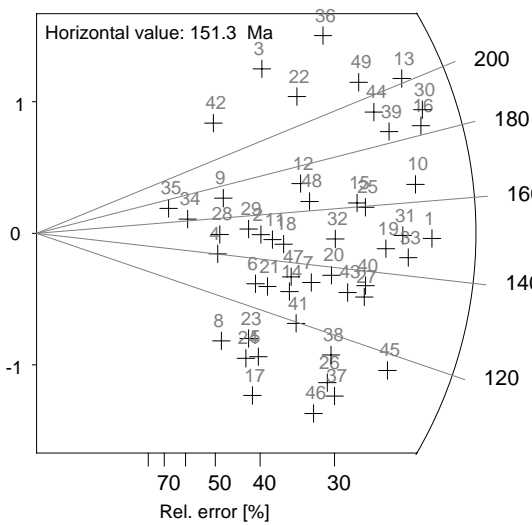
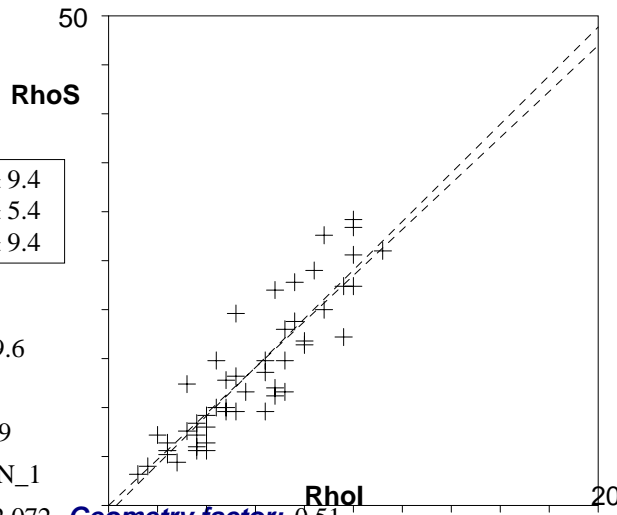
a: -0.775 **b:** 2.482 **r:** 0.9

Irr.: 02-3CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 16440 **RhoD:** 12.072 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 106.17 ± 4.43 **U.:** 19.16 (± 45 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PJV-17 .
 49 Apatite crystals Sum. Ns: 1672 Sum. Ni: 712
 Zeta: 106.17 +- 4.43 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 02-3CN1 RhoD: 12.072 Nd: 16440

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	65	28	1	26.000	11.200	149.98	34.50	36.925	
2	21	9	1	8.400	3.600	150.74	60.40	11.869	
3	31	8	1	12.400	3.200	248.44	99.08	10.550	
4	13	6	1	5.200	2.400	140.09	69.40	7.913	
5	16	10	1	6.400	4.000	103.75	42.05	13.188	
6	18	9	1	7.200	3.600	129.42	53.12	11.869	
7	29	14	1	11.600	5.600	134.00	43.98	18.463	
8	11	7	1	4.400	2.800	101.91	49.46	9.231	
9	16	6	1	6.400	2.400	171.99	82.66	7.913	
10	64	25	1	25.600	10.000	165.20	39.59	32.969	
11	23	10	1	9.200	4.000	148.62	56.65	13.188	
12	32	12	1	12.800	4.800	171.99	58.68	15.825	
13	69	22	1	27.600	8.800	201.82	50.15	29.013	
14	24	12	1	9.600	4.800	129.42	46.09	15.825	
15	45	18	1	18.000	7.200	161.38	45.52	23.738	
16	71	25	1	28.400	10.000	183.02	43.27	32.969	
17	14	10	1	5.600	4.000	90.87	37.82	13.188	
18	25	11	1	10.000	4.400	146.87	53.51	14.506	
19	50	22	1	20.000	8.800	146.87	38.09	29.013	
20	34	16	1	13.600	6.400	137.43	42.07	21.100	
21	20	10	1	8.000	4.000	129.42	50.43	13.188	
22	37	11	1	14.800	4.400	216.20	74.81	14.506	
23	15	9	1	6.000	3.600	108.03	45.78	11.869	
24	14	9	1	5.600	3.600	100.89	43.32	11.869	
25	47	19	1	18.800	7.600	159.70	43.94	25.056	
26	28	17	1	11.200	6.800	106.77	33.14	22.419	
27	41	20	1	16.400	8.000	132.63	36.61	26.375	
28	14	6	1	5.600	2.400	150.74	73.83	7.913	
29	19	8	1	7.600	3.200	153.40	64.98	10.550	
30	73	25	1	29.200	10.000	188.10	44.31	32.969	
31	56	24	1	22.400	9.600	150.74	37.33	31.650	
32	37	16	1	14.800	6.400	149.41	45.15	21.100	
33	56	25	1	22.400	10.000	144.78	35.36	32.969	
34	10	4	1	4.000	1.600	161.38	95.72	5.275	
35	8	3	1	3.200	1.200	171.99	116.67	3.956	
36	49	13	1	19.600	5.200	241.79	76.13	17.144	
37	29	18	1	11.600	7.200	104.46	31.66	23.738	
38	30	17	1	12.000	6.800	114.33	35.05	22.419	
39	60	21	1	24.000	8.400	184.11	47.33	27.694	
40	42	20	1	16.800	8.000	135.83	37.35	26.375	
41	24	13	1	9.600	5.200	119.56	41.48	17.144	
42	18	5	1	7.200	2.000	231.12	117.25	6.594	
43	37	18	1	14.800	7.200	132.98	38.63	23.738	
44	57	19	1	22.800	7.600	193.17	51.83	25.056	
45	43	24	1	17.200	9.600	116.06	29.98	31.650	
46	24	16	1	9.600	6.400	97.31	31.68	21.100	
47	25	12	1	10.000	4.800	134.76	47.67	15.825	
48	33	13	1	13.200	5.200	163.83	54.10	17.144	
49	55	17	1	22.000	6.800	208.08	58.41	22.419	

Apatite

RS-5

LGI/UFRGS

Cryst.: Area:

25 521

Ns: RhoS:

1232 23.647

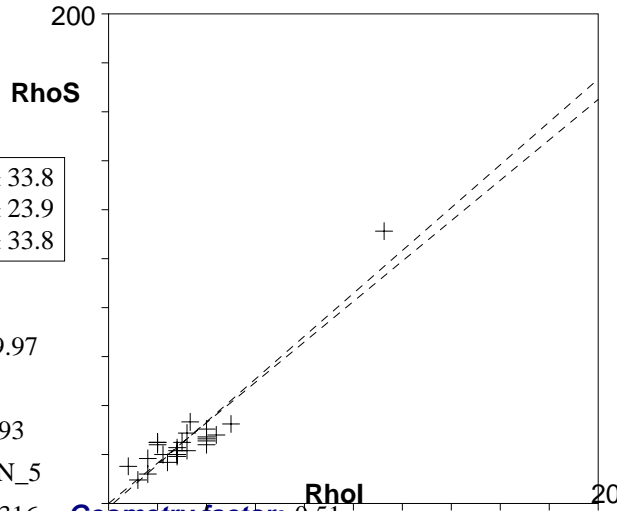
Ni: Rhol:

156 2.994

Pooled: 7.897 339.7 ± 33.8

Mean: 8.764 375.9 ± 23.9

Central: 7.897 339.7 ± 33.8



Chi-sq.: 6.94 **P (%)**: 99.97

Dispersion: 0.00

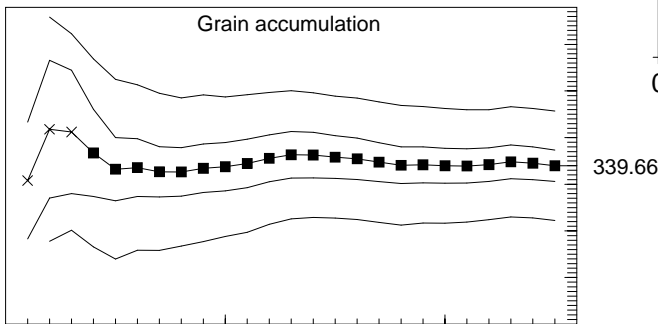
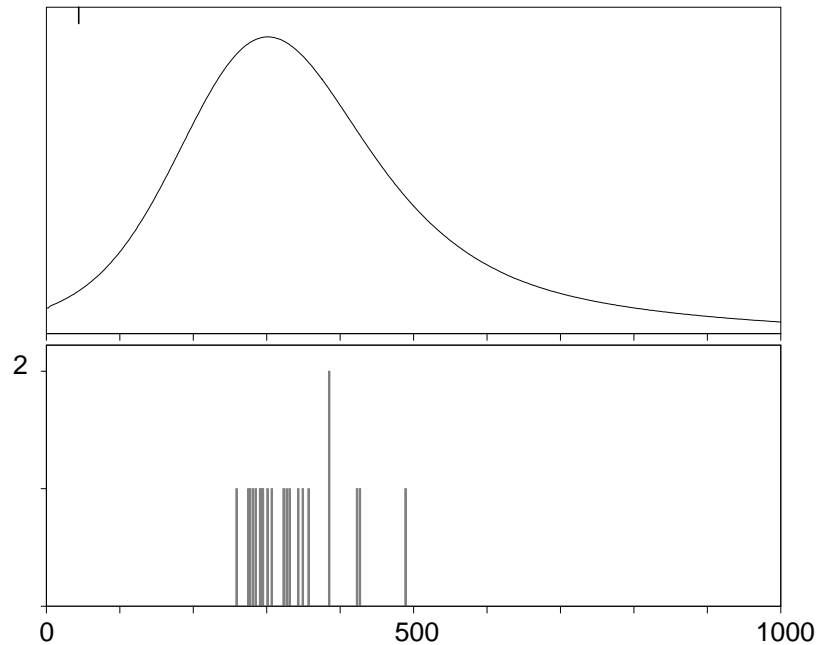
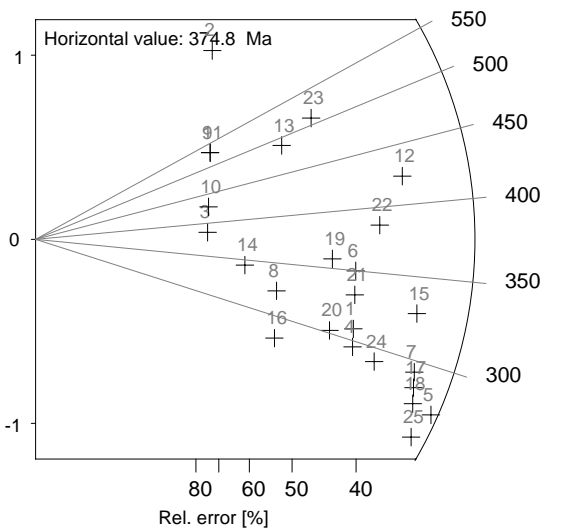
a: -1.584 **b:** 8.747 **r:** 0.93

Irr.: 03-2CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 16493 **RhoD:** 2.316 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 16.9 ($\pm 62\%$)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. RS-5 . .

25 Apatite crystals Sum. Ns: 1232 Sum. Ni: 156

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	50	7	25	20.000	2.800	307.97	125.31	14.713	
2	38	2	25	15.200	.800	788.80	573.72	4.204	
3	18	2	9	20.000	2.222	385.69	288.17	11.677	
4	48	7	25	19.200	2.800	295.93	120.71	14.713	
5	70	11	25	28.000	4.400	275.08	90.36	23.121	
6	57	7	25	22.800	2.800	349.94	141.32	14.713	
7	68	10	25	27.200	4.000	293.52	100.57	21.019	
8	30	4	25	12.000	1.600	322.99	172.74	8.408	
9	25	2	10	25.000	2.000	529.66	390.19	10.509	
10	20	2	6	33.333	3.333	427.15	317.56	17.516	
11	25	2	10	25.000	2.000	529.66	390.19	10.509	
12	89	9	8	111.250	11.250	422.56	149.42	59.116	
13	46	4	25	18.400	1.600	488.85	256.09	8.408	
14	24	3	25	9.600	1.200	343.96	211.39	6.306	
15	76	10	25	30.400	4.000	327.19	111.37	21.019	
16	26	4	8	32.500	5.000	280.85	151.54	26.274	
17	66	10	25	26.400	4.000	285.07	97.86	21.019	
18	64	10	25	25.600	4.000	276.62	95.15	21.019	
19	50	6	20	25.000	3.000	357.90	155.74	15.764	
20	42	6	25	16.800	2.400	301.95	132.71	12.611	
21	54	7	25	21.600	2.800	331.98	134.47	14.713	
22	72	8	25	28.800	3.200	385.69	145.13	16.815	
23	60	5	25	24.000	2.000	509.29	238.53	10.509	
24	54	8	25	21.600	3.200	291.41	111.43	16.815	
25	60	10	25	24.000	4.000	259.67	89.71	21.019	

Apatite

RS-6

LGI/UFRGS
AutoScan

Cryst.: Area:
30 670

Ns: RhoS:
1145 17.09

Ni: Rhol:
128 1.91

Pooled: 8.945 383.4 ± 40.9

Mean: 9.076 388.9 ± 16.8

Central: 8.945 383.4 ± 40.9

Chi-sq.: 8.6 **P (%):** 99.99

Dispersion: 0.00

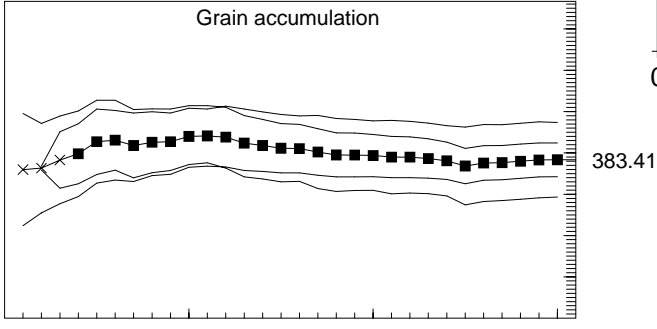
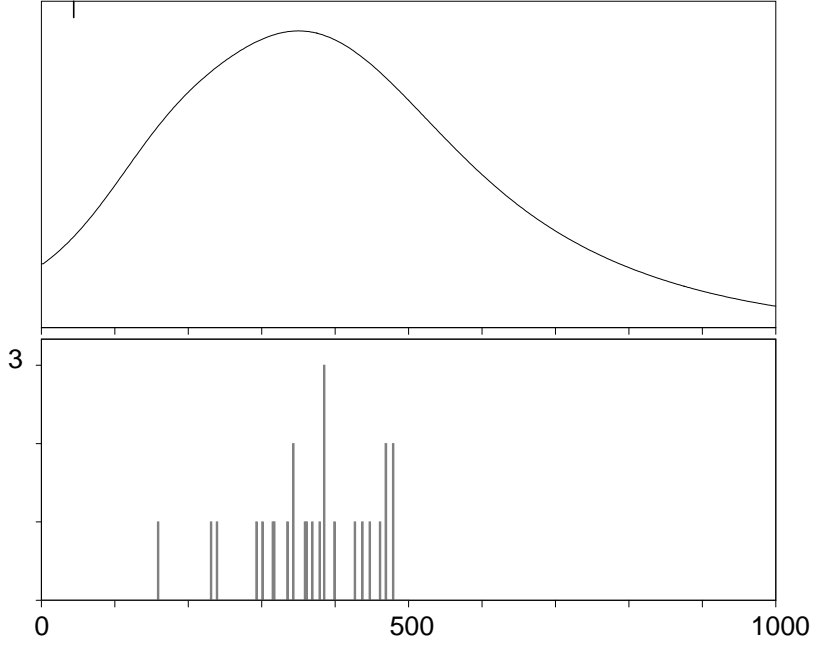
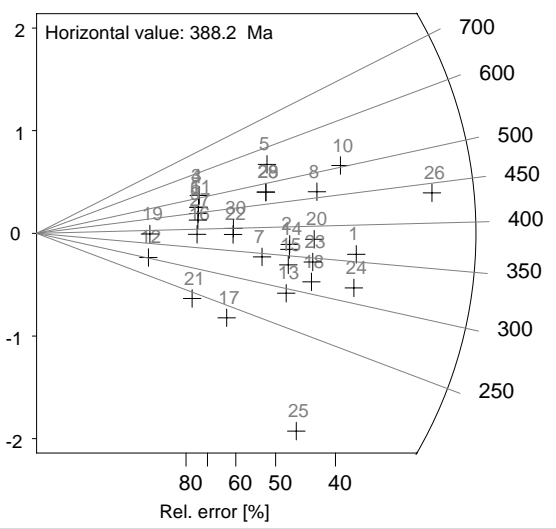
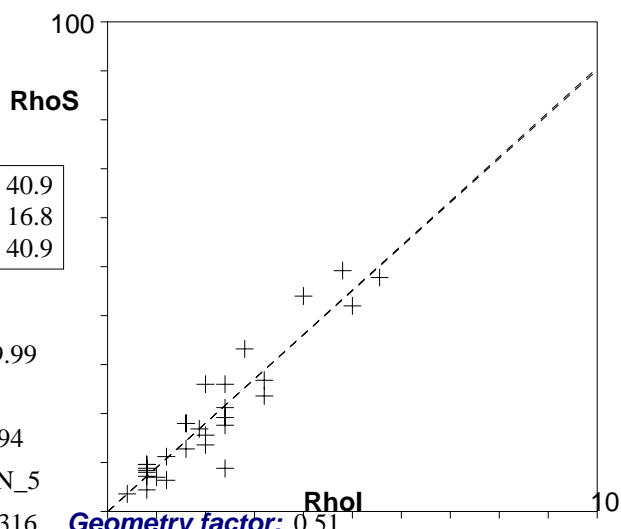
a: -0.122 **b:** 9.071 **r:** 0.94

Irr.: 03-2CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 16493 **RhoD:** 2.316 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 10.97 ($\pm 65\%$)

Goodness: n. d.



1 30

\ Poisson (1x) ■ Zero tracks
 \ St. dev. (1x) □ Chi pass/fail (5%)

. RS-6 . .

30 Apatite crystals Sum. Ns: 1145 Sum. Ni: 128

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 100

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	67	8	25	26.800	3.200	359.64	135.82	16.815	
2	43	5	9	47.778	5.556	369.03	175.42	29.193	
3	24	2	25	9.600	.800	509.29	375.76	4.204	
4	24	2	25	9.600	.800	509.29	375.76	4.204	
5	52	4	20	26.000	2.000	549.97	286.79	10.509	
6	22	2	5	44.000	4.000	468.35	346.76	21.019	
7	32	4	25	12.800	1.600	343.96	183.28	8.408	
8	65	6	25	26.000	2.400	461.50	198.37	12.611	
9	21	2	25	8.400	.800	447.79	332.18	4.204	
10	83	7	25	33.200	2.800	503.46	199.87	14.713	
11	22	2	25	8.800	.800	468.35	346.76	4.204	
12	7	1	10	7.000	1.000	301.95	323.18	5.255	
13	34	5	25	13.600	2.000	293.52	141.41	10.509	
14	42	5	10	42.000	5.000	360.68	171.66	26.274	
15	39	5	25	15.600	2.000	335.58	160.36	10.509	
16	18	2	25	7.200	.800	385.69	288.17	4.204	
17	16	3	25	6.400	1.200	231.33	146.04	6.306	
18	44	6	25	17.600	2.400	315.99	138.49	12.611	
19	9	1	25	3.600	.400	385.69	407.05	2.102	
20	53	6	25	21.200	2.400	378.75	164.32	12.611	
21	11	2	25	4.400	.800	238.43	183.70	4.204	
22	27	3	16	16.875	1.875	385.69	235.58	9.853	
23	48	6	25	19.200	2.400	343.96	150.01	12.611	
24	59	8	25	23.600	3.200	317.74	120.84	16.815	
25	22	6	25	8.800	2.400	159.93	74.12	12.611	
26	123	12	25	49.200	4.800	437.48	134.24	25.223	
27	20	2	25	8.000	.800	427.15	317.56	4.204	
28	45	4	25	18.000	1.600	478.61	250.95	8.408	
29	45	4	25	18.000	1.600	478.61	250.95	8.408	
30	28	3	25	11.200	1.200	399.54	243.60	6.306	

Apatite

RS-7

LGI/UFRGS
OL BX 40

Cryst.: 20
Area: 20

Ns: 816
RhoS: 16.32

Ni: 267
Rhol: 5.34

Pooled: 3.056	133.6 ± 11.7
Mean: 3.241	141.6 ± 17.1
Central: 2.979	130.2 ± 13.3

Chi-sq.: 28.69 **P (%):** 7.11

Dispersion: 0.22

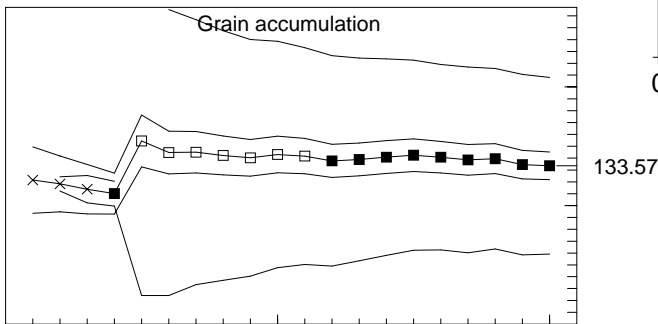
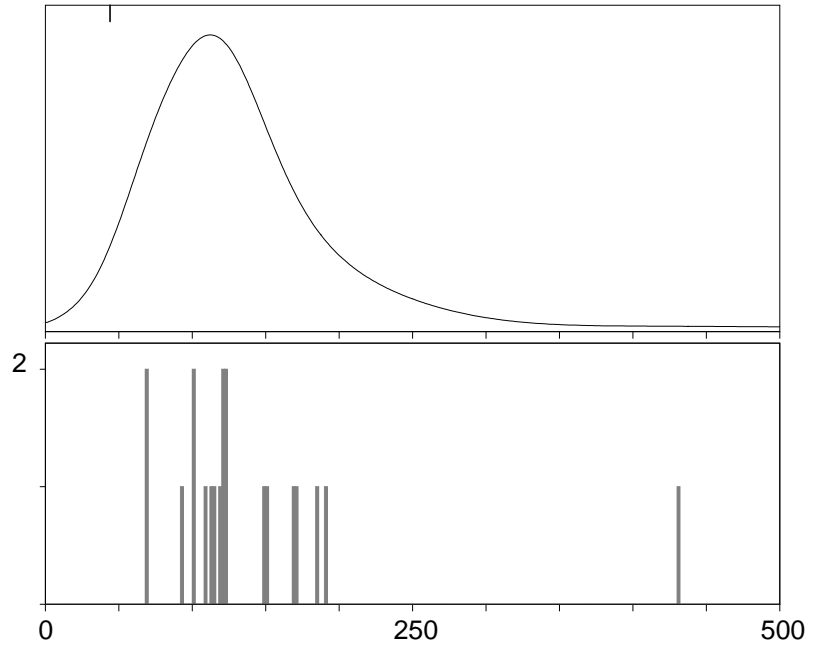
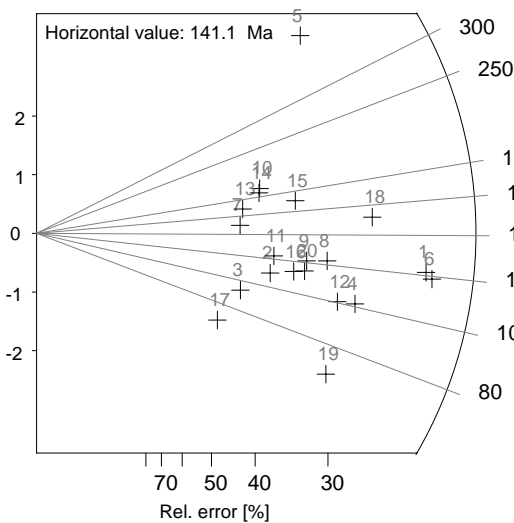
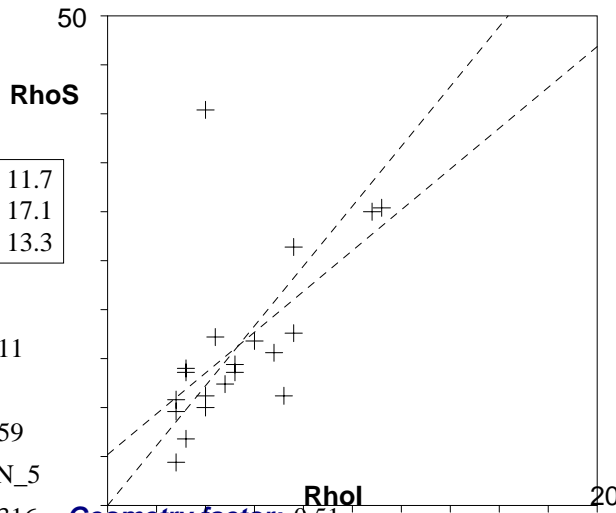
a: 5.197 **b:** 2.083 **r:** 0.59

Irr.: 03-2CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 16493 **RhoD:** 2.316 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 28.06 (± 47 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

RS-7 . .
20 Apatite crystals Sum. Ns: 816 Sum. Ni: 267
Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500
Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	75	27	1	30.000	10.800	121.52	27.99 56.751
2	25	10	1	10.000	4.000	109.47	41.35 21.019
3	17	8	1	6.800	3.200	93.17	40.24 16.815
4	44	19	1	17.600	7.600	101.47	28.35 39.936
5	101	10	1	40.400	4.000	431.29	144.72 21.019
6	76	28	1	30.400	11.200	118.77	26.97 58.853
7	24	7	1	9.600	2.800	149.66	64.76 14.713
8	42	15	1	16.800	6.000	122.48	37.39 31.528
9	36	13	1	14.400	5.200	121.15	39.70 27.325
10	35	8	1	14.000	3.200	190.37	75.26 16.815
11	28	10	1	11.200	4.000	122.48	45.57 21.019
12	39	17	1	15.600	6.800	100.53	29.68 35.732
13	27	7	1	10.800	2.800	168.13	71.84 14.713
14	34	8	1	13.600	3.200	185.01	73.33 16.815
15	43	11	1	17.200	4.400	170.36	58.24 23.121
16	31	12	1	12.400	4.800	113.09	38.89 25.223
17	11	7	1	4.400	2.800	69.03	33.57 14.713
18	66	19	1	26.400	7.600	151.61	40.25 39.936
19	28	18	1	11.200	7.200	68.33	20.95 37.834
20	34	13	1	13.600	5.200	114.48	37.80 27.325

Apatite

RS-8

LGI/UFRGS
OL BX 40

Cryst.: 50
Area: 50

Ns: 3855
RhoS: 30.84

Ni: 878
Rhol: 7.024

Pooled: 4.391	191.0 ± 12.2
Mean: 4.625	201.1 ± 7.5
Central: 4.391	191.0 ± 12.3

Chi-sq.: 43.03 **P (%):** 71.27

Dispersion: 0.03

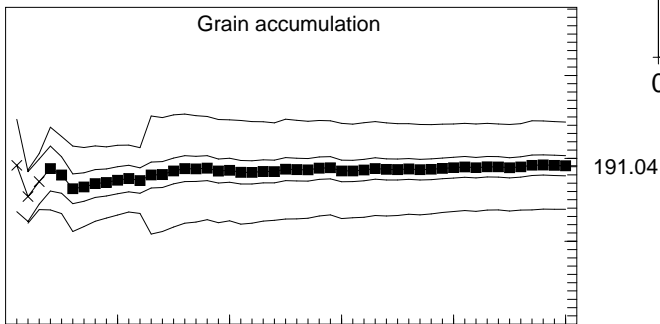
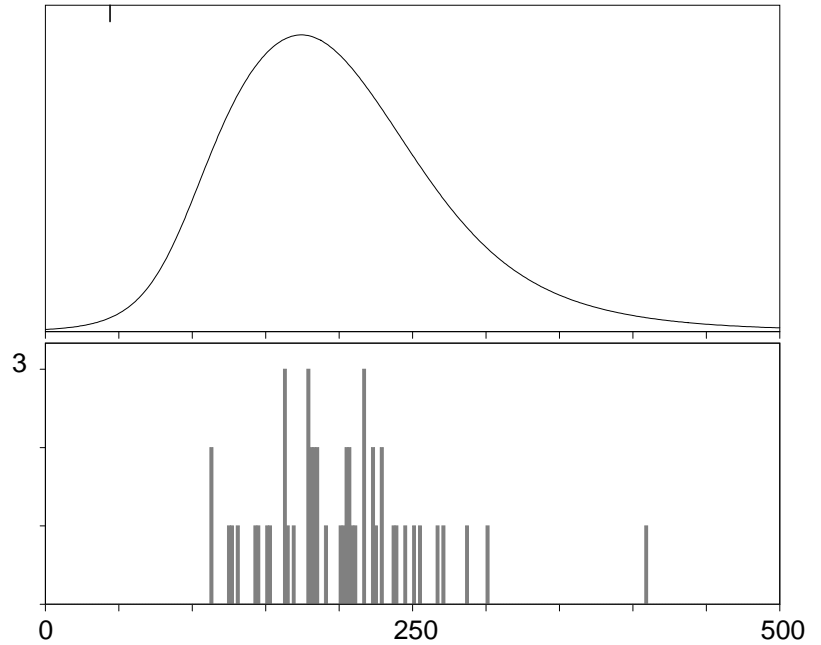
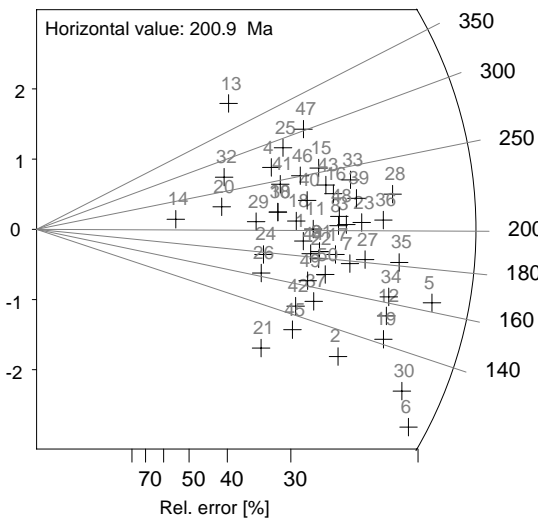
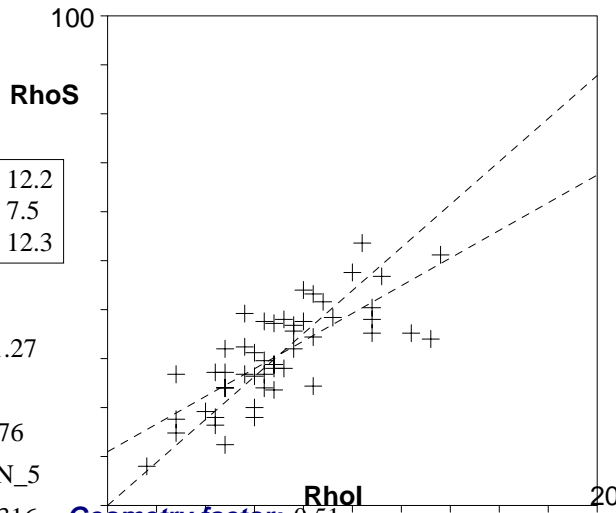
a: 10.989 **b:** 2.826 **r:** 0.76

Irr.: 03-2CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 16493 **RhoD:** 2.316 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 36.91 (± 38 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

RS-8 . .
 50 Apatite crystals Sum. Ns: 3855 Sum. Ni: 878
 Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age	+-	1s	Uran.
1	66	15	1	26.400	6.000	191.44	55.66	31.528	
2	61	21	1	24.400	8.400	127.02	32.81	44.140	
3	94	20	1	37.600	8.000	204.29	51.41	42.038	
4	68	11	1	27.200	4.400	267.38	88.00	23.121	
5	128	34	1	51.200	13.600	164.15	32.80	71.465	
6	85	33	1	34.000	13.200	112.76	23.86	69.363	
7	86	21	1	34.400	8.400	178.37	44.39	44.140	
8	89	19	1	35.600	7.600	203.62	52.53	39.936	
9	72	17	1	28.800	6.800	184.38	50.63	35.732	
10	60	12	1	24.000	4.800	217.11	69.58	25.223	
11	74	16	1	29.600	6.400	201.08	56.41	33.630	
12	95	27	1	38.000	10.800	153.54	34.42	56.751	
13	67	7	1	26.800	2.800	409.42	164.01	14.713	
14	20	4	1	8.000	1.600	217.11	119.45	8.408	
15	94	16	1	37.600	6.400	254.37	70.05	33.630	
16	95	18	1	38.000	7.200	228.96	60.05	37.834	
17	80	19	1	32.000	7.600	183.32	47.74	39.936	
18	67	14	1	26.800	5.600	207.96	62.06	29.427	
19	88	27	1	35.200	10.800	142.35	32.18	56.751	
20	37	7	1	14.800	2.800	229.30	95.26	14.713	
21	31	12	1	12.400	4.800	113.09	38.89	25.223	
22	70	17	1	28.000	6.800	179.33	49.37	35.732	
23	104	22	1	41.600	8.800	205.46	49.38	46.242	
24	45	11	1	18.000	4.400	178.18	60.64	23.121	
25	80	12	1	32.000	4.800	287.89	90.37	25.223	
26	41	11	1	16.400	4.400	162.54	55.83	23.121	
27	96	23	1	38.400	9.200	181.74	43.24	48.344	
28	134	26	1	53.600	10.400	223.68	49.32	54.649	
29	48	10	1	19.200	4.000	208.57	73.31	21.019	
30	88	31	1	35.200	12.400	124.16	26.72	65.159	
31	72	17	1	28.800	6.800	184.38	50.63	35.732	
32	44	7	1	17.600	2.800	271.78	111.49	14.713	
33	110	20	1	44.000	8.000	238.43	59.27	42.038	
34	101	27	1	40.400	10.800	163.12	36.34	56.751	
35	117	28	1	46.800	11.200	181.94	39.43	58.853	
36	119	25	1	47.600	10.000	206.86	46.76	52.547	
37	59	17	1	23.600	6.800	151.48	42.43	35.732	
38	60	12	1	24.000	4.800	217.11	69.58	25.223	
39	108	21	1	43.200	8.400	223.21	54.48	44.140	
40	78	15	1	31.200	6.000	225.65	64.69	31.528	
41	68	12	1	27.200	4.800	245.52	77.93	25.223	
42	50	15	1	20.000	6.000	145.55	43.51	31.528	
43	93	17	1	37.200	6.800	237.18	63.76	35.732	
44	67	16	1	26.800	6.400	182.33	51.61	33.630	
45	45	15	1	18.000	6.000	131.14	39.69	31.528	
46	81	14	1	32.400	5.600	250.58	73.68	29.427	
47	98	14	1	39.200	5.600	301.95	87.69	29.427	
48	92	19	1	36.800	7.600	210.37	54.13	39.936	
49	60	16	1	24.000	6.400	163.52	46.79	33.630	
50	70	18	1	28.000	7.200	169.49	45.65	37.834	

Apatite

RS-11

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: 46
Area: 46

Ns: 2676
RhoS: 23.27

Ni: 590
Rhol: 5.13

Pooled: 4.536	197.3 ± 13.6
Mean: 5.023	218.1 ± 13.5
Central: 4.511	196.2 ± 14.7

Chi-sq.: 61.6 **P (%):** 5.05

Dispersion: 0.18

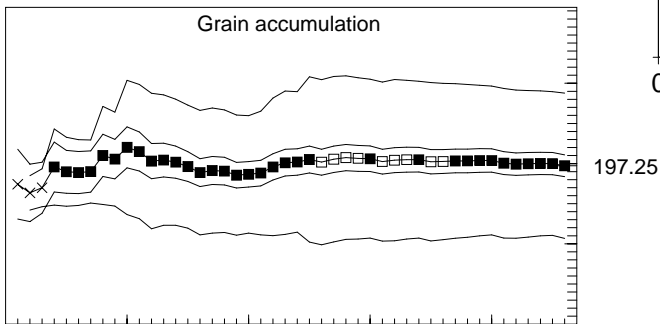
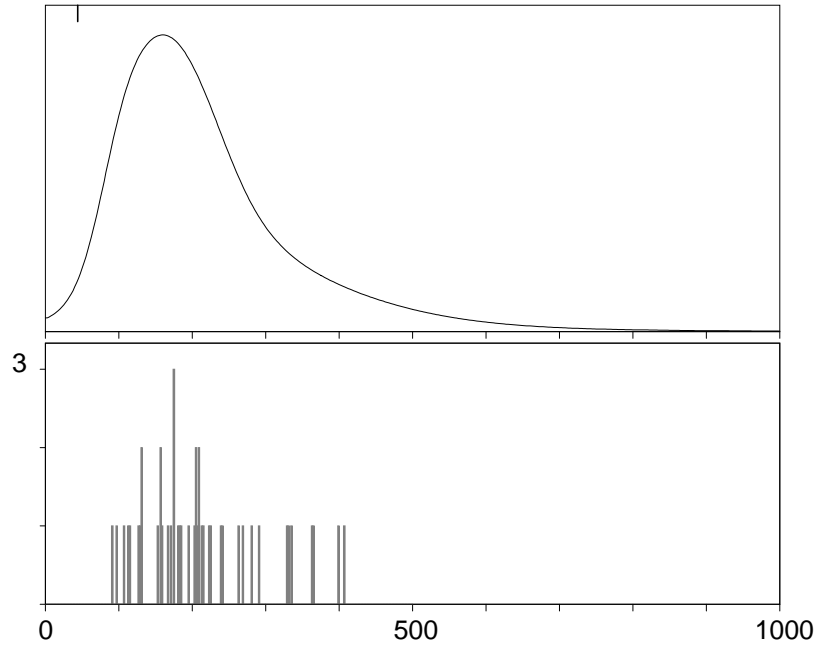
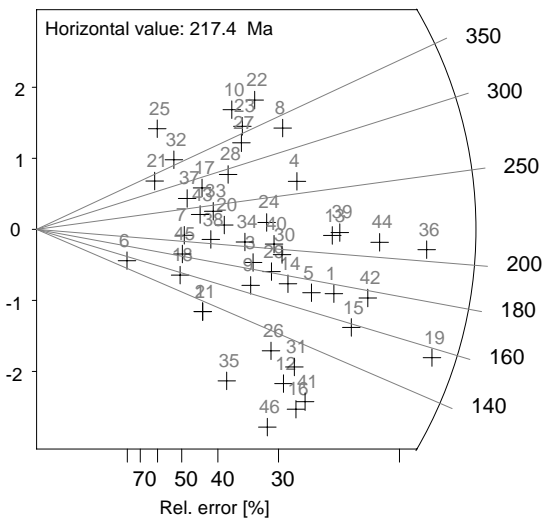
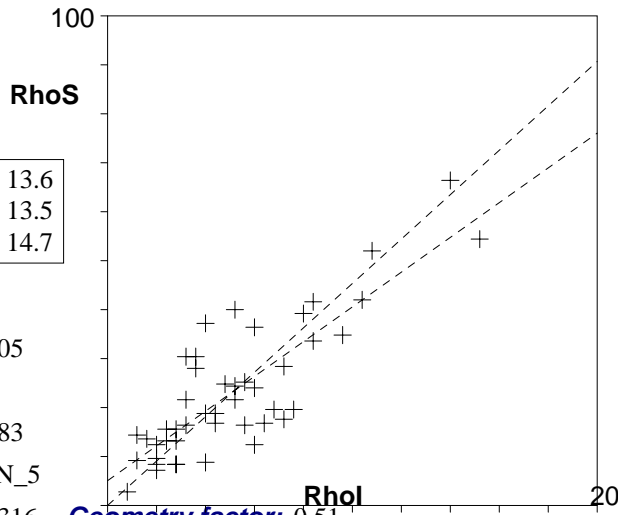
a: 5.059 **b:** 3.549 **r:** 0.83

Irr.: 03-2CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 16493 **RhoD:** 2.316 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 26.96 (± 63 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. RS-11 . .

46 Apatite crystals Sum. Ns: 2676 Sum. Ni: 590

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	84	21	1	33.600	8.400	174.27	43.47	44.140	
2	21	7	1	8.400	2.800	131.14	57.64	14.713	
3	47	11	1	18.800	4.400	185.98	63.04	23.121	
4	91	15	1	36.400	6.000	262.50	74.41	31.528	
5	71	18	1	28.400	7.200	171.88	46.23	37.834	
6	7	2	1	2.800	.800	152.74	122.72	4.204	
7	24	5	1	9.600	2.000	208.57	103.10	10.509	
8	100	13	1	40.000	5.200	331.06	99.11	27.325	
9	42	11	1	16.800	4.400	166.45	57.04	23.121	
10	76	8	1	30.400	3.200	406.46	152.55	16.815	
11	21	7	1	8.400	2.800	131.14	57.64	14.713	
12	42	16	1	16.800	6.400	114.90	34.28	33.630	
13	98	20	1	39.200	8.000	212.84	53.38	42.038	
14	60	15	1	24.000	6.000	174.27	51.12	31.528	
15	87	24	1	34.800	9.600	158.13	37.37	50.446	
16	44	18	1	17.600	7.200	107.06	30.47	37.834	
17	39	6	1	15.600	2.400	280.85	124.02	12.611	
18	18	5	1	7.200	2.000	157.06	79.81	10.509	
19	136	38	1	54.400	15.200	156.15	29.78	79.872	
20	41	8	1	16.400	3.200	222.45	86.75	16.815	
21	23	3	1	9.200	1.200	329.99	203.29	6.306	
22	93	10	1	37.200	4.000	398.16	134.11	21.019	
23	76	9	1	30.400	3.600	362.54	129.18	18.917	
24	62	12	1	24.800	4.800	224.23	71.67	25.223	
25	36	3	1	14.400	1.200	509.29	307.19	6.306	
26	41	14	1	16.400	5.600	128.05	40.19	29.427	
27	70	9	1	28.000	3.600	334.65	119.77	18.917	
28	54	8	1	21.600	3.200	291.41	111.43	16.815	
29	54	13	1	21.600	5.200	180.88	56.67	27.325	
30	63	14	1	25.200	5.600	195.73	58.72	29.427	
31	49	17	1	19.600	6.800	126.05	36.08	35.732	
32	34	4	1	13.600	1.600	364.86	193.79	8.408	
33	39	7	1	15.600	2.800	241.47	99.91	14.713	
34	47	10	1	18.800	4.000	204.29	71.93	21.019	
35	22	10	1	8.800	4.000	96.43	37.12	21.019	
36	166	35	1	66.400	14.000	206.13	39.81	73.566	
37	31	5	1	12.400	2.000	268.15	129.98	10.509	
38	33	7	1	13.200	2.800	204.90	85.93	14.713	
39	104	21	1	41.600	8.400	215.08	52.65	44.140	
40	61	13	1	24.400	5.200	203.96	63.20	27.325	
41	49	19	1	19.600	7.600	112.90	31.07	39.936	
42	105	26	1	42.000	10.400	175.93	39.61	54.649	
43	33	6	1	13.200	2.400	238.43	106.54	12.611	
44	130	27	1	52.000	10.800	209.20	45.56	56.751	
45	21	5	1	8.400	2.000	182.86	91.49	10.509	
46	31	15	1	12.400	6.000	90.63	28.89	31.528	

Apatite

RS-12

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: Area:

50 50

Ns: RhoS:

2778 22.224

Ni: Rhol:

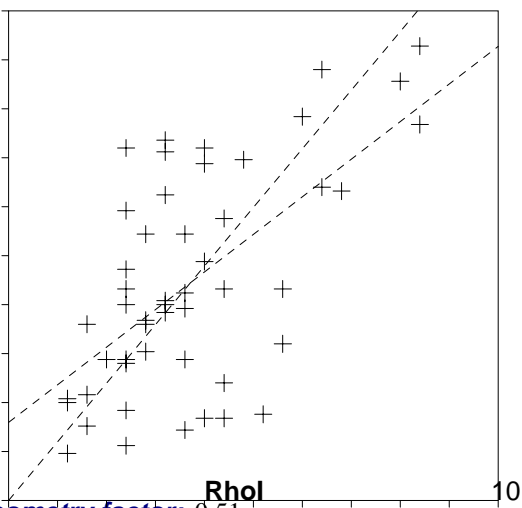
464 3.712

Pooled: 5.987 259.1 ± 18.7

Mean: 6.471 279.6 ± 17.3

Central: 5.772 250.0 ± 21.0

RhoS



Chi-sq.: 91.89 P (%): 0.02

Dispersion: 0.29

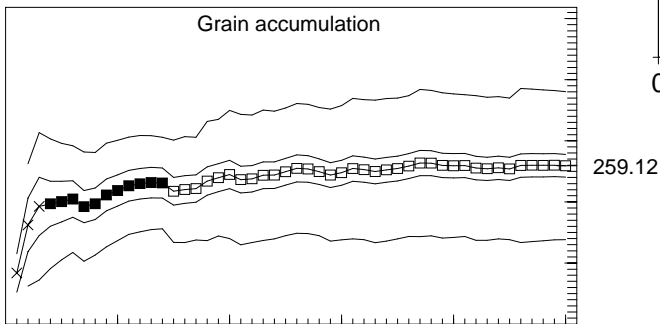
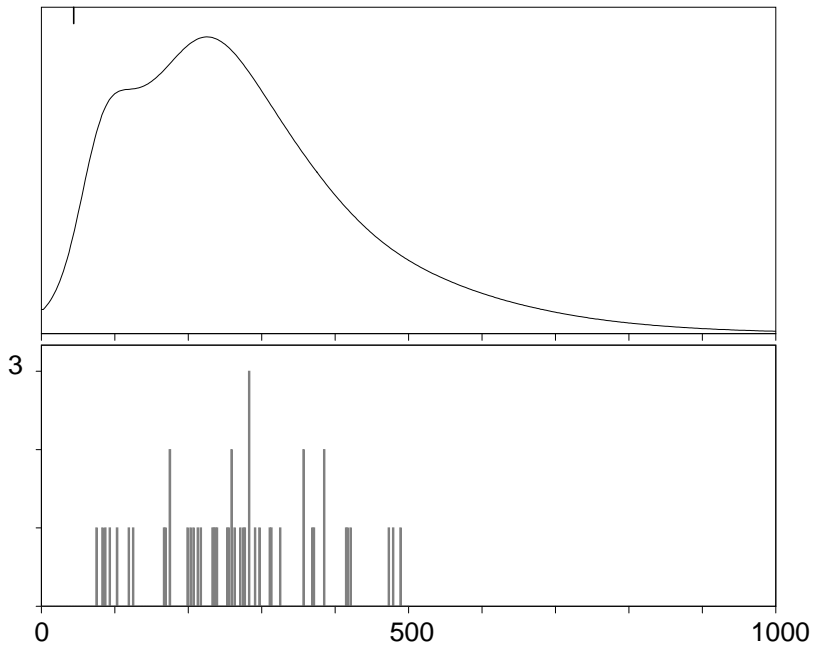
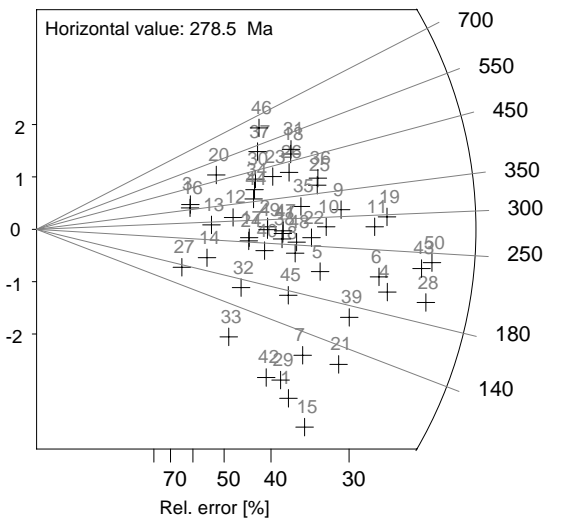
a: 7.97 b: 3.84 r: 0.62

Irr.: 03-2CN5 Glass: CN_5

Nd: 16493 RhoD: 2.316 Geometry factor: 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 19.51 (± 49 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. RS-12 . .

50 Apatite crystals Sum. Ns: 2778 Sum. Ni: 464

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-2CN5 RhoD: 2.316 Nd: 16493

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	21	11	1	8.400	4.400	83.76	31.48	23.121	
2	46	7	1	18.400	2.800	283.87	116.11	14.713	
3	26	3	1	10.400	1.200	371.81	227.53	6.306	
4	79	17	1	31.600	6.800	202.03	55.02	35.732	
5	54	11	1	21.600	4.400	213.23	71.40	23.121	
6	80	16	1	32.000	6.400	217.11	60.52	33.630	
7	30	11	1	12.000	4.400	119.33	42.52	23.121	
8	49	9	1	19.600	3.600	236.06	86.48	18.917	
9	87	12	1	34.800	4.800	312.48	97.58	25.223	
10	72	11	1	28.800	4.400	282.77	92.71	23.121	
11	98	15	1	39.200	6.000	282.26	79.62	31.528	
12	36	5	1	14.400	2.000	310.38	149.00	10.509	
13	27	4	1	10.800	1.600	291.41	156.86	8.408	
14	19	4	1	7.600	1.600	206.43	114.07	8.408	
15	22	13	1	8.800	5.200	74.31	26.28	27.325	
16	25	3	1	10.000	1.200	357.90	219.47	6.306	
17	36	6	1	14.400	2.400	259.67	115.30	12.611	
18	89	8	1	35.600	3.200	473.48	176.49	16.815	
19	110	16	1	44.000	6.400	296.68	80.86	33.630	
20	45	4	1	18.000	1.600	478.61	250.95	8.408	
21	40	14	1	16.000	5.600	124.96	39.34	29.427	
22	61	10	1	24.400	4.000	263.91	91.08	21.019	
23	68	7	1	27.200	2.800	415.33	166.27	14.713	
24	35	6	1	14.000	2.400	252.60	112.38	12.611	
25	86	10	1	34.400	4.000	369.03	124.78	21.019	
26	78	8	1	31.200	3.200	416.81	156.25	16.815	
27	12	3	1	4.800	1.200	174.27	112.86	6.306	
28	96	21	1	38.400	8.400	198.79	48.99	44.140	
29	21	10	1	8.400	4.000	92.08	35.70	21.019	
30	59	6	1	23.600	2.400	420.26	181.40	12.611	
31	92	8	1	36.800	3.200	488.85	181.97	16.815	
32	23	6	1	9.200	2.400	167.10	77.09	12.611	
33	14	6	1	5.600	2.400	102.23	50.17	12.611	
34	54	6	1	21.600	2.400	385.69	167.18	12.611	
35	68	9	1	27.200	3.600	325.32	116.62	18.917	
36	90	10	1	36.000	4.000	385.69	130.11	21.019	
37	74	6	1	29.600	2.400	522.88	223.60	12.611	
38	48	8	1	19.200	3.200	259.67	100.08	16.815	
39	54	14	1	21.600	5.600	168.13	51.17	29.427	
40	38	7	1	15.200	2.800	235.39	97.59	14.713	
41	50	8	1	20.000	3.200	270.27	103.87	16.815	
42	18	9	1	7.200	3.600	87.73	36.10	18.917	
43	107	20	1	42.800	8.000	232.04	57.80	42.038	
44	50	6	1	20.000	2.400	357.90	155.74	12.611	
45	36	9	1	14.400	3.600	174.27	65.58	18.917	
46	90	6	1	36.000	2.400	630.57	267.88	12.611	
47	51	8	1	20.400	3.200	275.56	105.76	16.815	
48	53	9	1	21.200	3.600	254.96	92.87	18.917	
49	45	7	1	18.000	2.800	277.83	113.80	14.713	
50	116	21	1	46.400	8.400	239.44	58.13	44.140	

Apatite

LGI

PRD 2

Cryst.: Area:

20 42356

Ns: RhoS:

294 6.941

Ni: Rhol:

158 3.73

Pooled: 1.861 120.6 ± 12.9

Mean: 2.083 134.8 ± 8.7

Central: 1.861 120.6 ± 12.9

Weigh.I: 1.796 116.4

Weigh.II: 2.00 129.4

Chi-sq.: 8.69 **P (%):** 97.83

Dispersion: 0.00

a: 3.693 **b:** 0.885 **r:** 0.78

Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

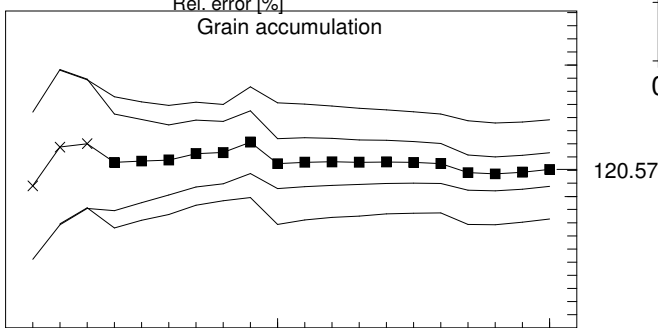
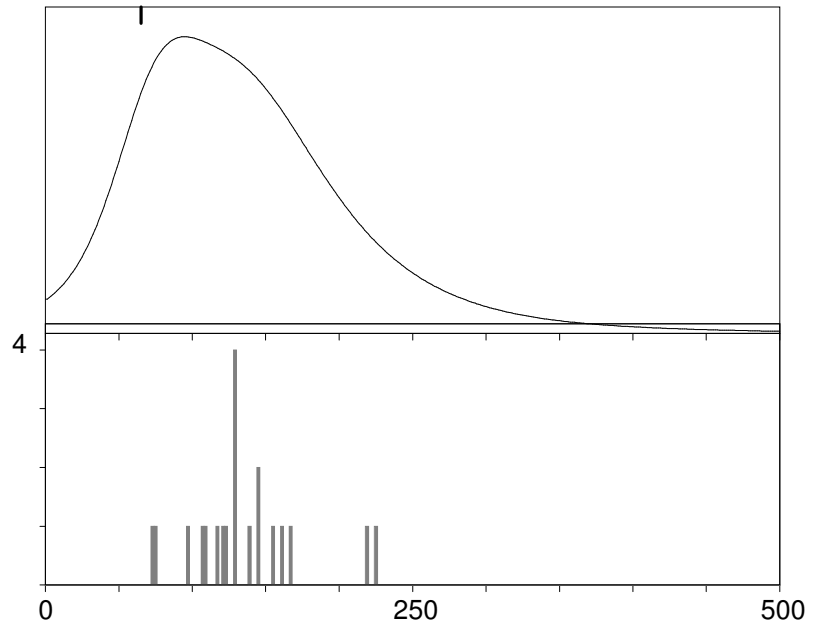
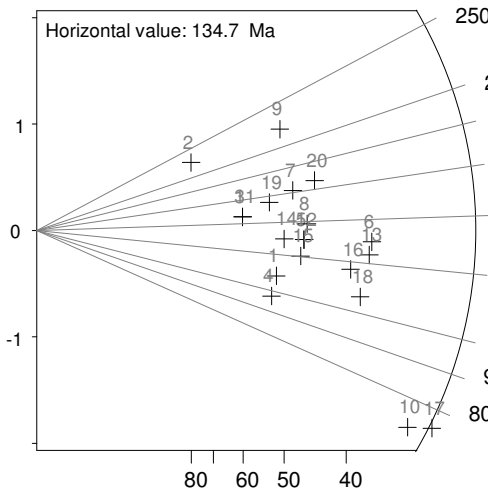
Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 8.42 (± 52 %)

RhoS

Rhol

kurt.: 1.17 skew.: 0.83



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

PRD 2

20 Apatite crystals Sum. Ns: 294 Sum. Ni: 158

Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1

Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	10	6	2340.189				
			4.273	2.564	108.10	56.00	5.819
2	7	2	1348.792				
			5.190	1.483	224.95	180.60	3.366
3	9	4	2221.775				
			4.051	1.800	145.51	87.65	4.086
4	9	6	2295.501				
			3.921	2.614	97.37	51.48	5.933
5	14	7	2049.159				
			6.832	3.416	129.51	60.19	7.753
6	22	11	1932.625				
			11.383	5.692	129.51	48.12	12.919
7	15	6	2089.475				
			7.179	2.872	161.48	78.29	6.518
8	15	7	2166.409				
			6.924	3.231	138.66	63.73	7.334
9	17	5	2120.702				
			8.016	2.358	218.64	111.60	5.351
10	19	17	2233.711				
			8.506	7.611	72.69	24.45	17.274
11	9	4	2198.776				
			4.093	1.819	145.51	87.65	4.129
12	14	7	2115.784				
			6.617	3.308	129.51	60.19	7.509
13	21	11	2100.025				
			10.000	5.238	123.67	46.31	11.889
14	12	6	2181.649				
			5.500	2.750	129.51	64.97	6.242
15	13	7	2231.787				
			5.825	3.136	120.34	56.63	7.119
16	18	10	2110.405				
			8.529	4.738	116.67	46.27	10.755
17	22	19	2152.903				
			10.219	8.825	75.29	23.78	20.031
18	18	11	2148.733				
			8.377	5.119	106.15	40.86	11.619
19	12	5	2280.406				
			5.262	2.193	155.10	82.80	4.977
20	18	7	2036.875				
			8.837	3.437	166.03	74.27	7.800

Apatite

LGI

PRD 4

Cryst.: Area:

20 16369

Ns: RhoS:

688 42.031

Ni: Rhol:

301 18.388

Pooled: 2.286 147.8 ± 11.9

Mean: 2.336 151.0 ± 6.9

Central: 2.286 147.8 ± 11.9

Weigh.I: 2.302 148.8

Weigh.II: 2.32 150.1

Chi-sq.: 7.72 **P (%):** 98.93

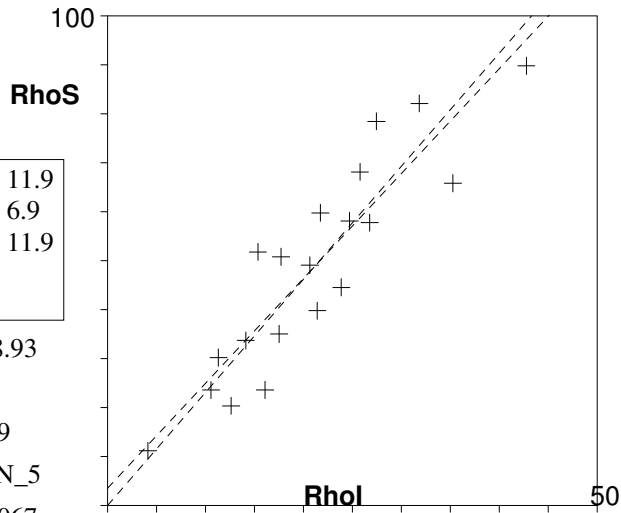
Dispersion: 0.00

a: 3.493 **b:** 2.143 **r:** 0.9

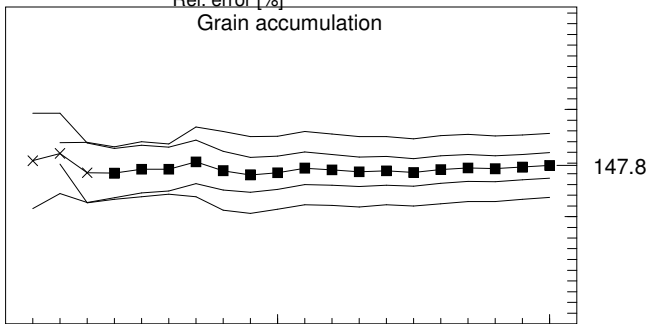
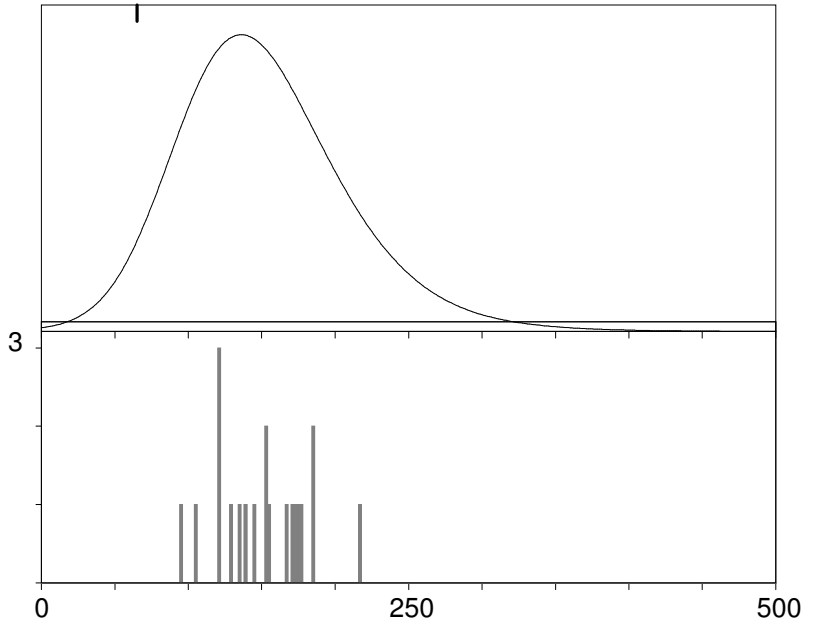
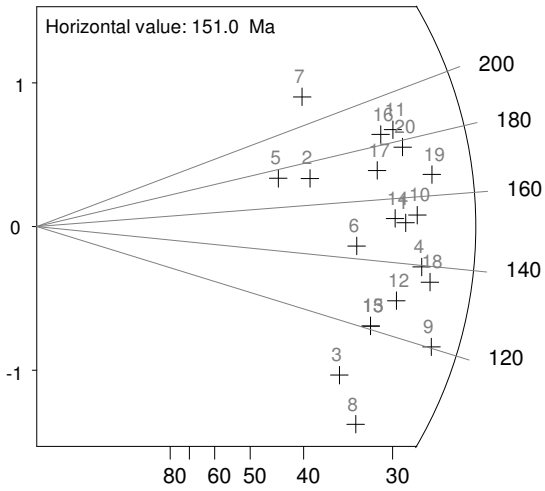
Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 47.85 (± 44 %)



kurt.: -0.27 skew.: 0.09



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

 PRD 4
 20 Apatite crystals Sum. Ns: 688 Sum. Ni: 301
 Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1
 Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	40	17	688.1901				
			58.123	24.702	152.09	44.48	56.068
2	24	9	795.1872				
			30.182	11.318	172.10	67.64	25.689
3	21	13	1031.402				
			20.361	12.604	104.80	37.24	28.608
4	41	19	709.8984				
			57.755	26.764	139.62	39.17	60.748
5	19	7	1703.719				
			11.152	4.109	175.13	77.77	9.325
6	29	13	1230.277				
			23.572	10.567	144.28	48.52	23.983
7	27	8	521.4352				
			51.780	15.342	217.05	87.83	34.823
8	22	15	932.4999				
			23.592	16.086	95.22	32.13	36.510
9	39	21	980.5493				
			39.774	21.417	120.34	32.95	48.610
10	43	18	1276.313				
			33.691	14.103	154.39	43.81	32.010
11	43	15	846.7111				
			50.785	17.716	184.83	55.95	40.209
12	34	17	970.9166				
			35.018	17.509	129.51	38.84	39.741
13	28	15	425.4125				
			65.818	35.260	120.95	39.02	80.030
14	38	16	774.6308				
			49.056	20.655	153.50	46.18	46.881
15	28	15	628.4576				
			44.554	23.868	120.95	39.02	54.173
16	40	14	509.9165				
			78.444	27.455	184.22	57.71	62.316
17	37	14	543.1561				
			68.120	25.775	170.59	53.99	58.503
18	42	20	467.6455				
			89.812	42.767	135.91	37.35	97.070
19	49	19	596.6926				
			82.119	31.842	166.51	45.52	72.273
20	44	16	736.0496				
			59.779	21.738	177.41	52.31	49.338

Apatite

LGI

PRD 5

Cryst.: Area:

15 25110

Ns: RhoS:
247 9.837

Ni: Rhol:
155 6.173

Pooled:	1.594	103.4 ± 11.4
Mean:	1.76	114.1 ± 12.5
Central:	1.594	103.4 ± 11.4
Weigh.I:	1.582	102.6
Weigh.II:	1.70	110.2

Chi-sq.: 8.29 **P (%):** 87.39

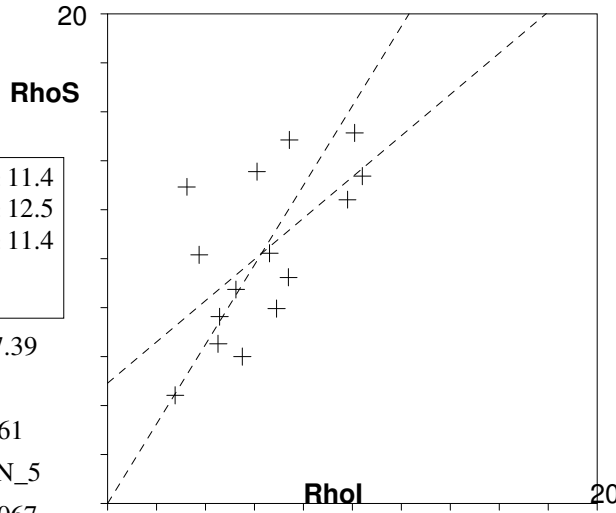
Dispersion: 0.00

a: 4.914 **b:** 0.843 **r:** 0.61

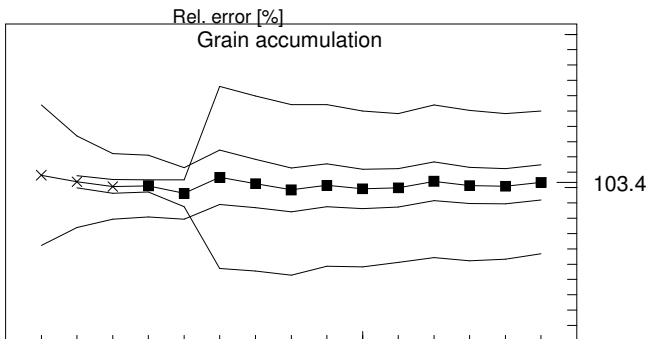
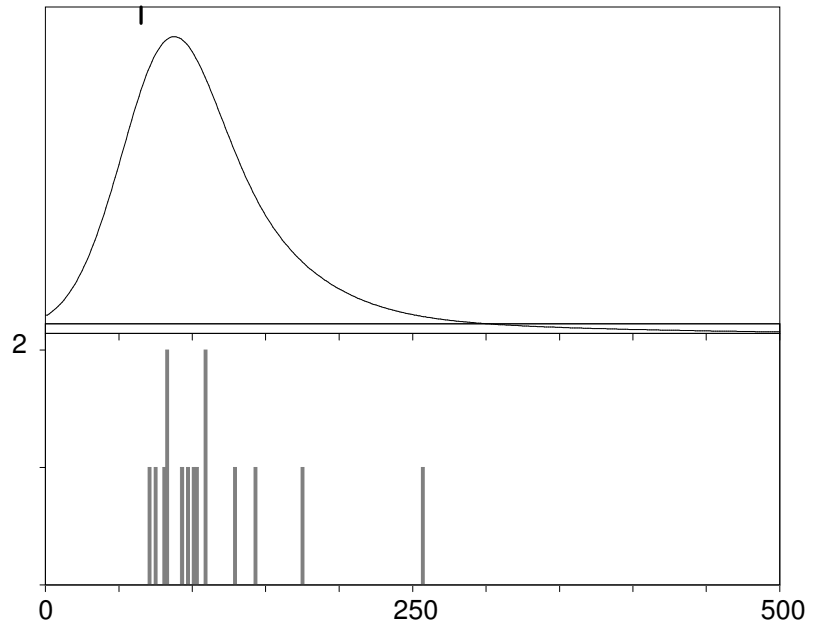
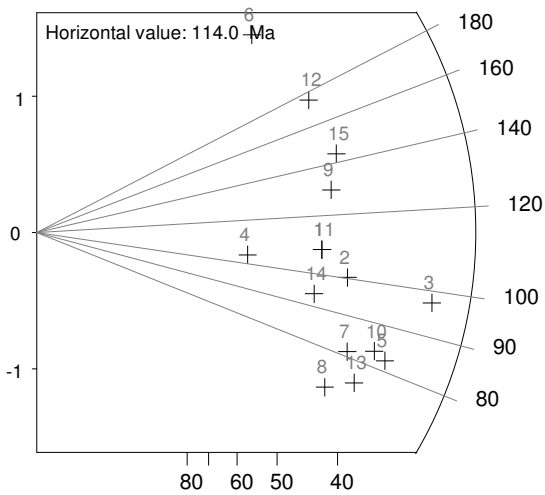
Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 14.27 (± 39 %)



kurt.: 5.04 skew.: 2.12



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

 PRD 5

15 Apatite crystals Sum. Ns: 247 Sum. Ni: 155
 Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1
 Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	15	9	1716.206	8.740	5.244	108.10	45.80 11.903
2	17	11	1663.1	10.222	6.614	100.30	39.03 15.012
3	27	18	1783.306	15.140	10.094	97.37	29.90 22.910
4	8	5	1809.97	4.420	2.762	103.81	59.34 6.270
5	19	15	1530.724	12.412	9.799	82.32	28.64 22.242
6	16	4	1237.169	12.933	3.233	256.46	143.76 7.338
7	15	12	1623.848	9.237	7.390	81.25	31.64 16.773
8	12	11	1999.534	6.001	5.501	70.96	29.77 12.486
9	18	9	1211.853	14.853	7.427	129.51	53.14 16.856
10	18	14	1346.046	13.372	10.401	83.55	29.97 23.607
11	15	9	1966.263	7.629	4.577	108.10	45.80 10.389
12	19	7	1870.55	10.157	3.742	175.13	77.77 8.494
13	15	13	1884.214	7.961	6.899	75.03	28.60 15.660
14	13	9	1992.262	6.525	4.517	93.79	40.85 10.253
15	20	9	1475.365	13.556	6.100	143.74	58.00 13.846

Apatite

LGI

PRD 8

Cryst.: Area:

2 1109

Ns: RhoS:

53 47.772

Ni: Rhol:

16 14.422

Pooled: 3.313 213.1 ± 61.4

Mean: 3.313 213.1 ±

Central: 3.313 213.1 ± 61.4

Weigh.I: 3.315 213.3

Weigh.II: 3.31 213.1

Chi-sq.: 0.0 **P (%):** 94.73

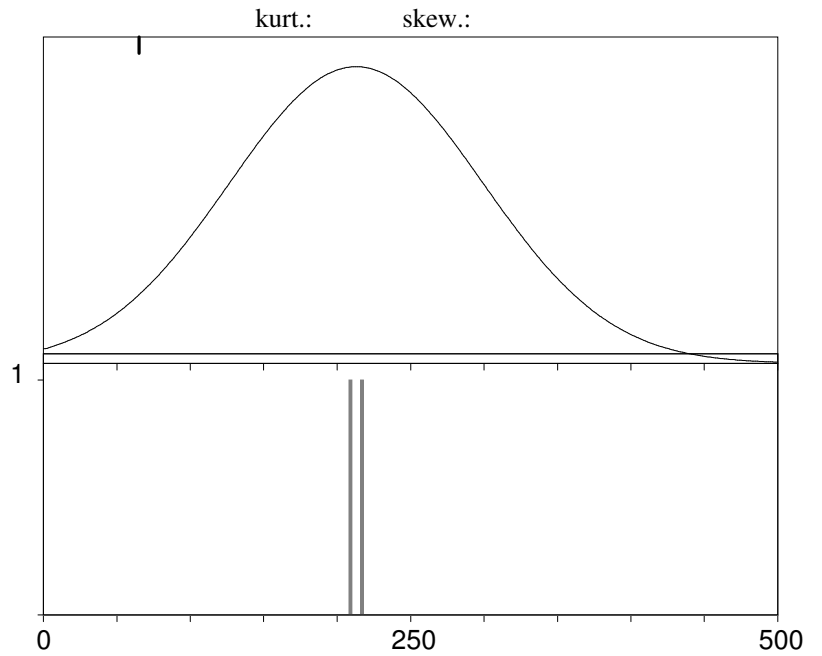
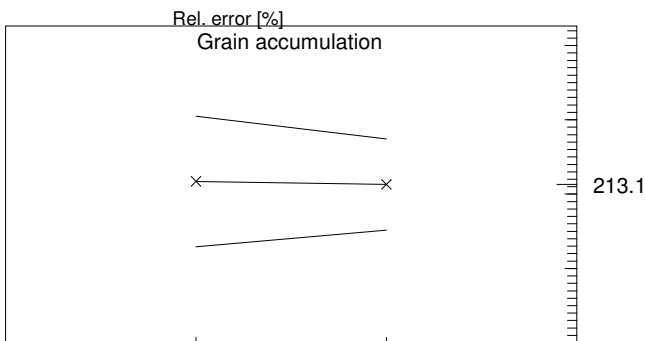
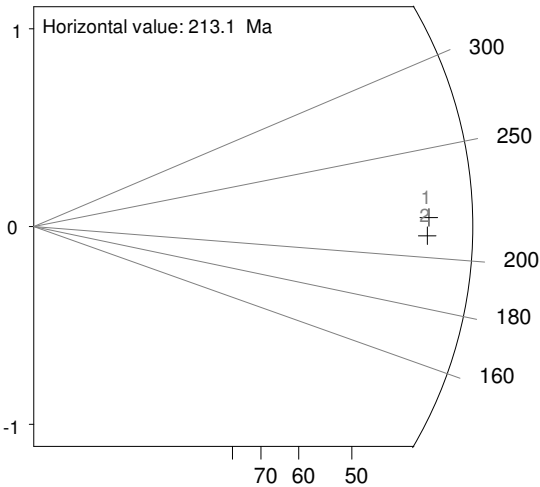
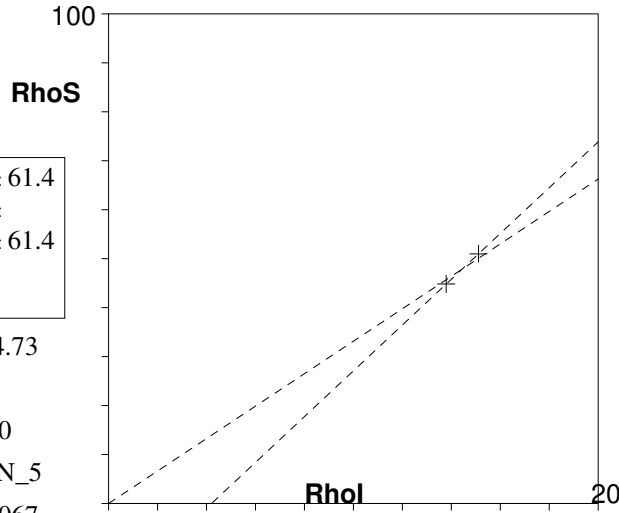
Dispersion: 0.00

a: -19.731 **b:** 4.681 **r:** 1.0

Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 32.8 (± 6%)



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- 2 ■ Zero tracks
- 2 □ Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

PRD 8

2 Apatite crystals Sum. Ns: 53 Sum. Ni: 16

Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1

Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst Ns Ni A RhoS RhoI Age +- 1s Uran.

1	27	8	529.3716					
			51.004	15.112	217.05	87.83	34.301	
2	26	8	580.0538					
			44.823	13.792	209.14	85.00	31.304	

Apatite

LGI

PRD 9

Cryst.: Area:

5 8940

Ns: RhoS:

88 9.843

Ni: Rhol:

42 4.698

Pooled: 2.095 135.6 ± 26.0

Mean: 2.18 141.0 ± 12.9

Central: 2.095 135.6 ± 26.0

Weigh.I: 2.078 134.5

Weigh.II: 2.15 138.8

Chi-sq.: 0.8 **P (%):** 93.83

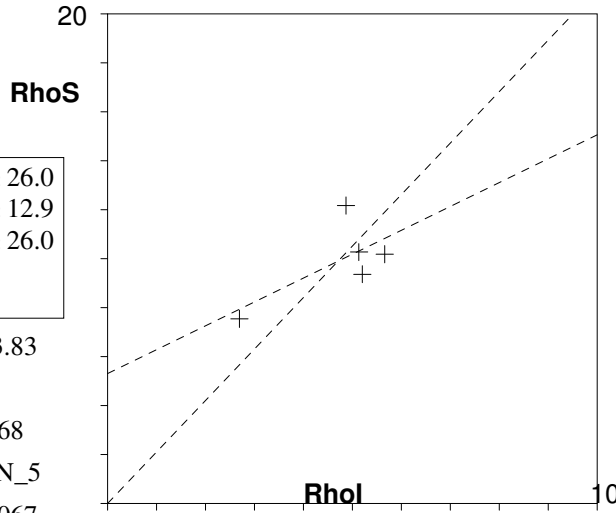
Dispersion: 0.00

a: 5.315 **b:** 0.975 **r:** 0.68

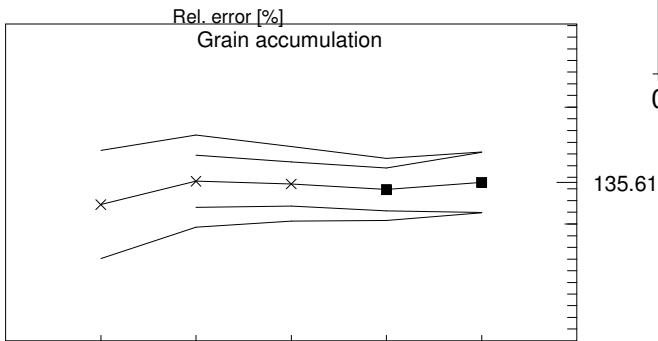
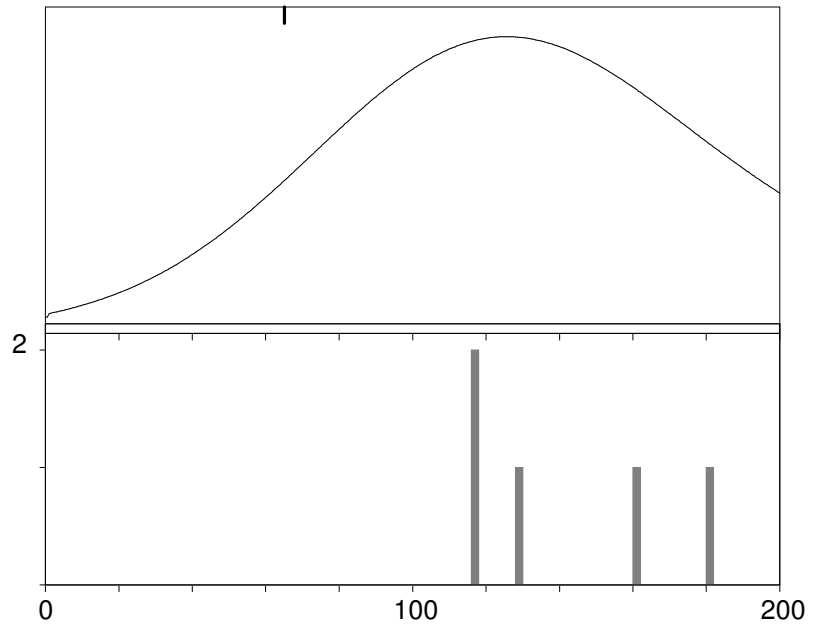
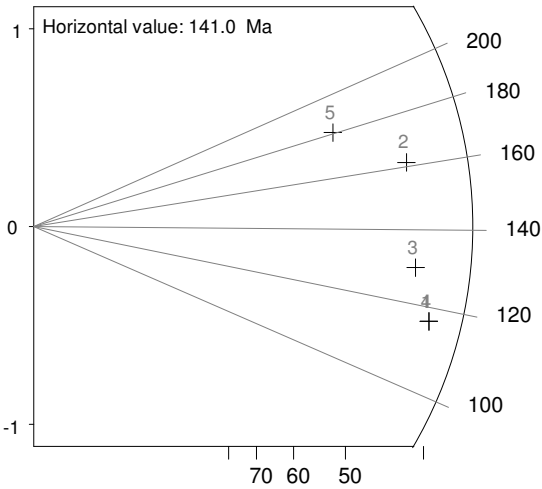
Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 10.7 (± 25 %)



kurt.: -1.87 skew.: 0.70



- ∖ Poisson (1x)
- ∖ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

 PRD 9

5 Apatite crystals Sum. Ns: 88 Sum. Ni: 42

Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1

Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

 Cryst Ns Ni A RhoS RhoI Age +- 1s Uran.

1	18	10	1767.078					
			10.186	5.659	116.67	46.27	12.844	
2	20	8	1642.943					
			12.173	4.869	161.48	67.88	11.052	
3	18	9	1752.8					
			10.269	5.135	129.51	53.14	11.654	
4	18	10	1921.853					
			9.366	5.203	116.67	46.27	11.810	
5	14	5	1855.652					
			7.545	2.694	180.59	94.38	6.116	

Apatite

LGI

PRD 10

Cryst.: Area:

25 25366

Ns: RhoS:

634 24.994

Ni: Rhol:

226 8.91

Pooled: 2.805 180.9 ± 15.9

Mean: 3.178 204.6 ± 15.8

Central: 2.805 180.9 ± 15.9

Weigh.I: 2.672 172.5

Weigh.II: 3.01 194.0

Chi-sq.: 14.73 P (%):92.85

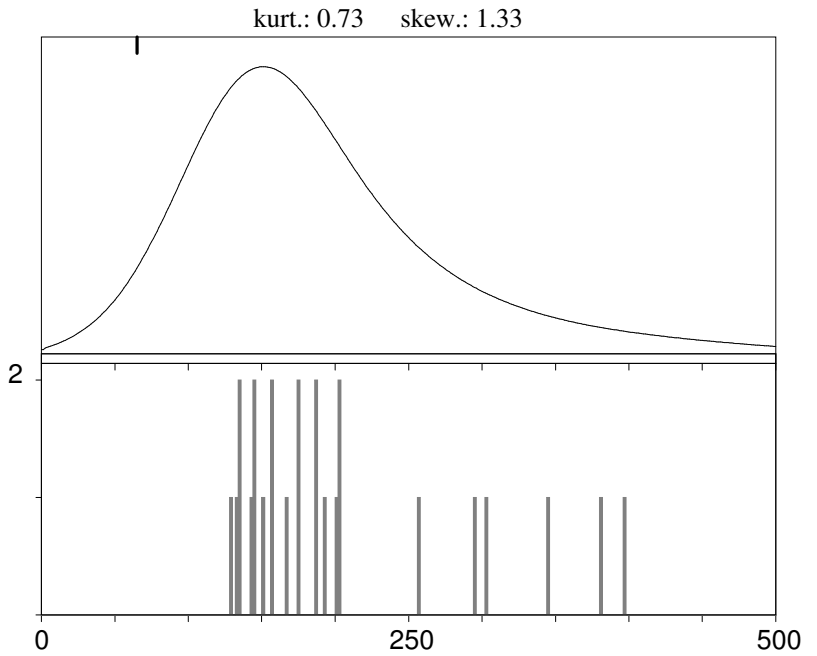
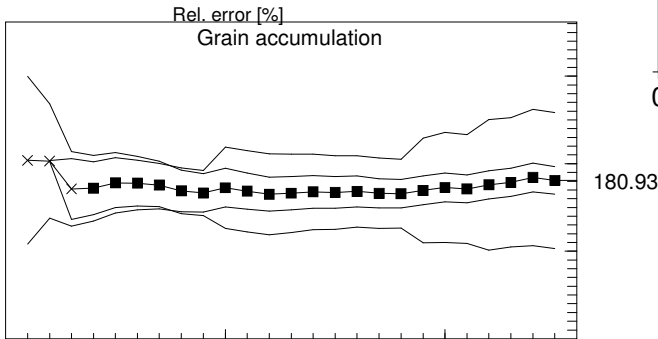
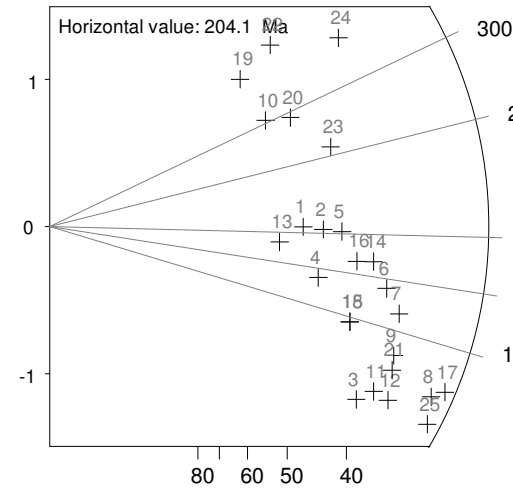
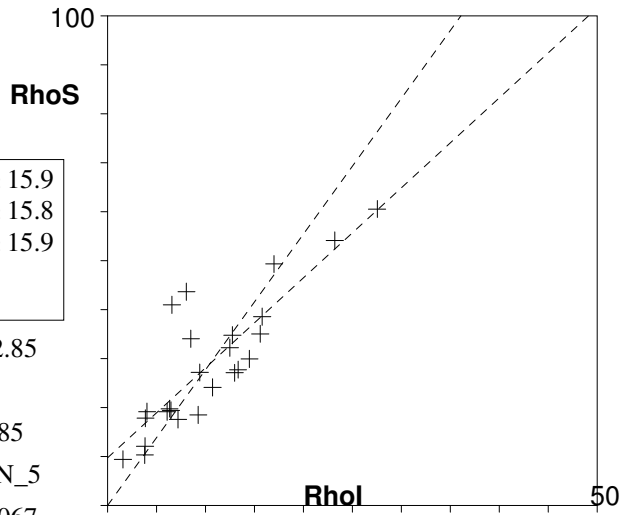
Dispersion: 0.00

a: 9.742 b: 1.837 r: 0.85

Irr.: OR0207p1Glass: CN_5

Nd: 7600 RhoD: 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 U.: 23.67 (± 60 %)



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

PRD 10

25 Apatite crystals Sum. Ns: 634 Sum. Ni: 226

Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1

Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	19	6	1571.736				
			12.089	3.817	203.87	95.84	8.664
2	22	7	1150.488				
			19.122	6.084	202.36	88.21	13.810
3	20	10	1080.091				
			18.517	9.258	129.51	50.44	21.014
4	19	7	1843.399				
			10.307	3.797	175.13	77.77	8.619
5	25	8	1264.453				
			19.771	6.327	201.22	82.16	14.360
6	30	11	862.9891				
			34.763	12.746	175.96	62.45	28.931
7	31	12	961.7903				
			32.232	12.477	166.79	57.12	28.319
8	33	15	544.9409				
			60.557	27.526	142.31	44.70	62.476
9	28	12	517.372				
			54.120	23.194	150.84	52.42	52.644
10	19	4	992.1692				
			19.150	4.032	303.43	167.39	9.151
11	23	11	848.1225				
			27.119	12.970	135.33	49.92	29.438
12	25	12	901.1717				
			27.742	13.316	134.85	47.68	30.224
13	15	5	773.1688				
			19.401	6.467	193.29	100.14	14.678
14	29	10	587.9333				
			49.325	17.009	186.94	68.99	38.605
15	22	9	570.3832				
			38.571	15.779	157.93	62.83	35.814
16	26	9	957.2208				
			27.162	9.402	186.24	72.44	21.340
17	36	16	1026.497				
			35.071	15.587	145.51	44.13	35.378
18	22	9	1251.194				
			17.583	7.193	157.93	62.83	16.326
19	18	3	1912.005				
			9.414	1.569	380.96	238.09	3.561
20	23	5	1291.148				
			17.814	3.873	294.06	145.61	8.790
21	27	12	1120.349				
			24.100	10.711	145.51	50.84	24.311
22	25	4	609.8632				
			40.993	6.559	396.36	214.07	14.887
23	28	7	822.2498				
			34.053	8.513	256.46	108.89	19.323
24	38	7	869.989				
			43.679	8.046	345.63	142.88	18.262
25	31	15	1035.345				
			29.942	14.488	133.78	42.44	32.883

Apatite

LGI

PRD 12

Cryst.: Area:

9 7954

Ns: RhoS:

289 36.333

Ni: Rhol:

102 12.824

Pooled: 2.833 182.7 ± 22.4

Mean: 3.13 201.5 ± 21.6

Central: 2.833 182.7 ± 22.4

Weigh.I: 2.75 177.4

Weigh.II: 3.01 194.0

Chi-sq.: 6.78 **P (%):** 56.09

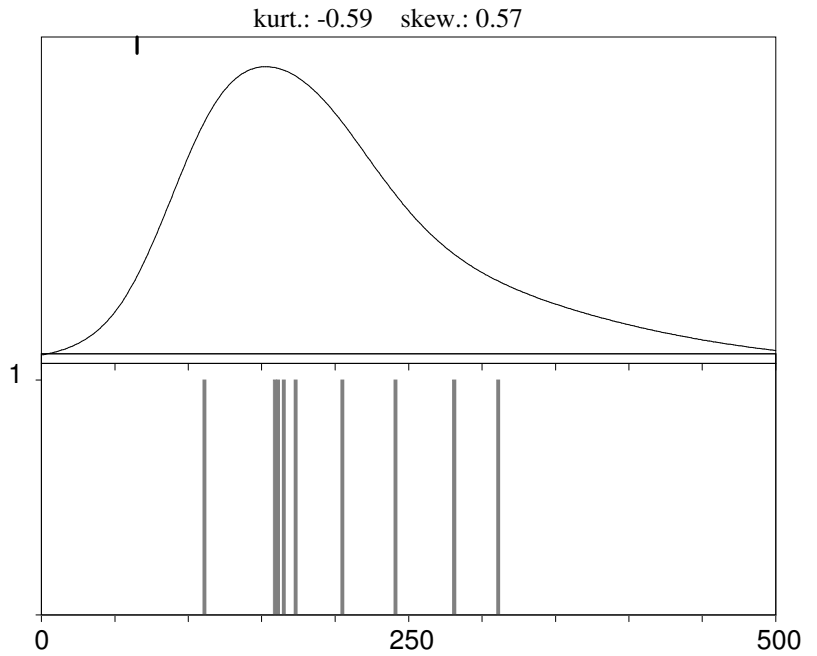
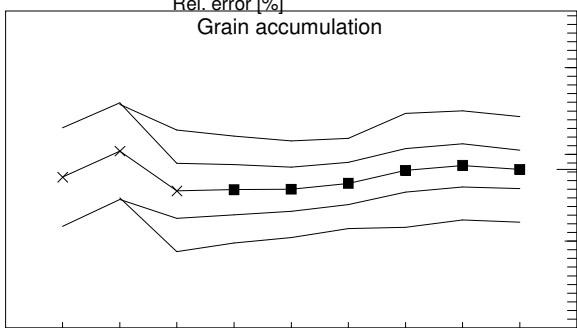
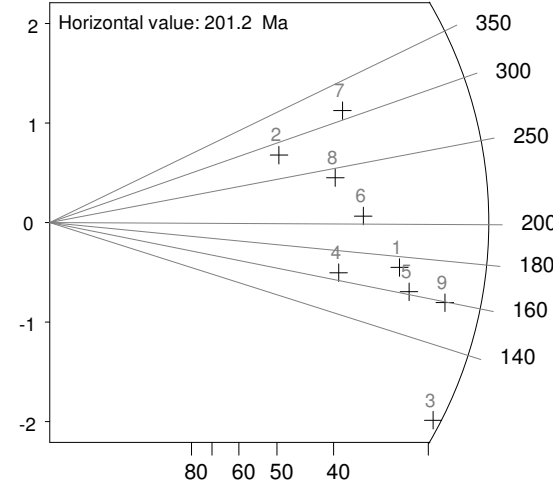
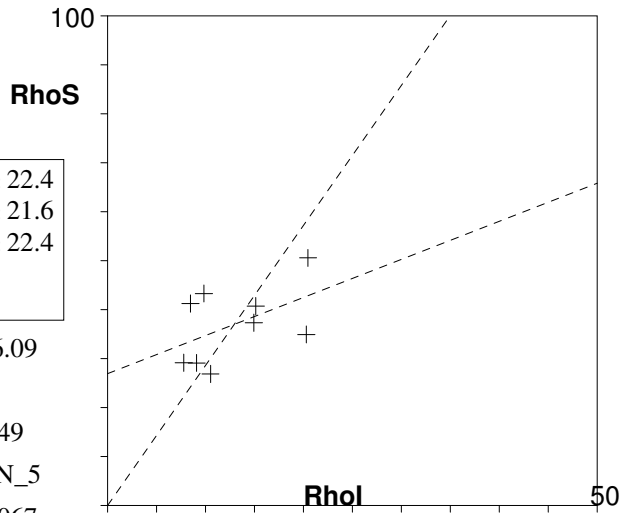
Dispersion: 0.01

a: 26.957 **b:** 0.778 **r:** 0.49

Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 29.38 (± 38 %)



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

 PRD 12

9 Apatite crystals Sum. Ns: 289 Sum. Ni: 102
 Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1
 Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	35	13	859.3563				
				40.728	15.128	173.73	56.88 34.335
2	22	5	508.2203				
				43.288	9.838	281.55	139.97 22.330
3	31	18	887.2227				
				34.940	20.288	111.67	33.41 46.048
4	23	9	856.6539				
				26.849	10.506	165.02	65.24 23.846
5	35	14	937.8162				
				37.321	14.928	161.48	51.50 33.883
6	32	10	1099.774				
				29.097	9.093	205.98	75.11 20.638
7	39	8	945.5692				
				41.245	8.461	311.23	121.48 19.203
8	30	8	1028.75				
				29.162	7.776	240.73	96.30 17.650
9	42	17	830.7559				
				50.556	20.463	159.60	46.35 46.446

Apatite

LGI

PRD 18

Cryst.: Area:

25 30808

Ns: RhoS:

776 25.189

Ni: Rhol:

199 6.459

Pooled: 3.899 250.1 ± 22.4

Mean: 4.661 297.9 ± 28.9

Central: 3.906 250.5 ± 23.1

Weigh.I: 3.753 240.9

Weigh.II: 4.33 277.0

Chi-sq.: 27.5 **P (%):** 28.17

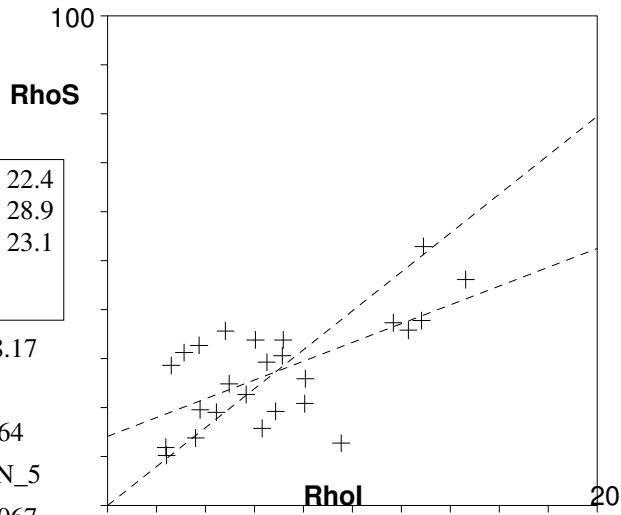
Dispersion: 0.11

a: 14.106 **b:** 1.92 **r:** 0.64

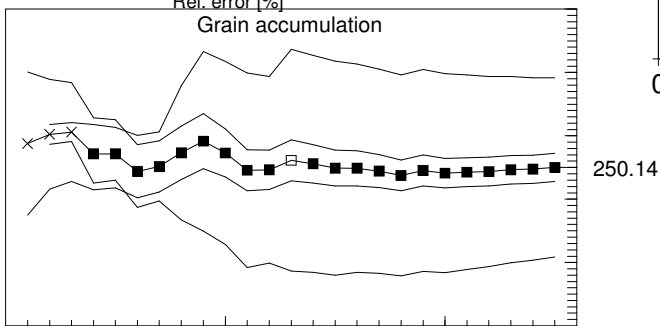
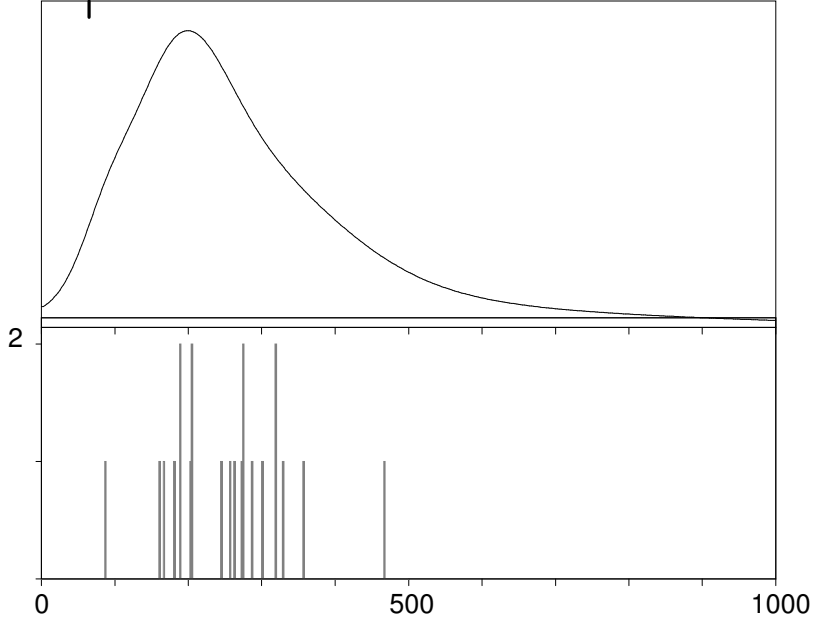
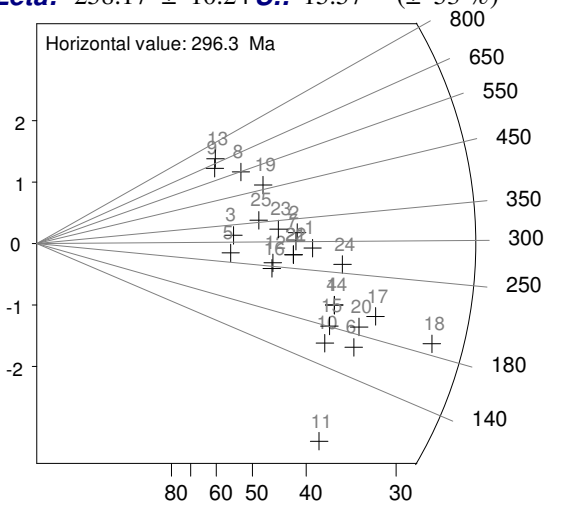
Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 15.57 (± 53 %)



kurt.: 1.63 skew.: 1.36



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

PRD 18
 25 Apatite crystals Sum. Ns: 776 Sum. Ni: 199
 Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1
 Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	36	8	1230.511				
			29.256	6.501	287.81	113.12	14.756
2	35	7	1408.278				
			24.853	4.971	319.01	132.74	11.282
3	20	4	1684.271				
			11.875	2.375	319.01	175.23	5.390
4	32	10	857.0526				
			37.337	11.668	205.98	75.11	26.483
5	17	4	1660.797				
			10.236	2.408	272.15	151.66	5.467
6	31	12	1489.662				
			20.810	8.056	166.79	57.12	18.284
7	33	7	976.081				
			33.809	7.172	301.20	125.95	16.277
8	35	4	1070.433				
			32.697	3.737	548.32	290.29	8.481
9	30	3	960.8536				
			31.222	3.122	622.98	378.11	7.087
10	25	10	1584.868				
			15.774	6.310	161.48	60.79	14.321
11	16	12	1257.219				
			12.727	9.545	86.63	33.27	21.664
12	24	6	1058.8				
			22.667	5.667	256.46	117.54	12.862
13	33	3	1153.608				
			28.606	2.601	682.09	412.28	5.902
14	32	10	1237.644				
			25.856	8.080	205.98	75.11	18.339
15	28	10	1456.84				
			19.220	6.864	180.59	66.94	15.580
16	23	6	1666.961				
			13.798	3.599	245.98	113.22	8.170
17	41	13	888.4442				
			46.148	14.632	203.05	65.17	33.211
18	53	18	1403.823				
			37.754	12.822	189.77	52.36	29.103
19	37	5	1038.611				
			35.625	4.814	466.71	223.21	10.927
20	35	12	977.2266				
			35.816	12.280	188.00	63.37	27.871
21	30	7	981.2454				
			30.573	7.134	274.39	115.73	16.192
22	30	7	1574.982				
			19.048	4.444	274.39	115.73	10.088
23	31	6	1586.419				
			19.541	3.782	329.38	147.53	8.584
24	41	10	775.0739				
			52.898	12.902	262.74	93.30	29.284
25	28	5	827.9332				
			33.819	6.039	356.25	173.59	13.707

Apatite

LGI

PRD 19

Cryst.: Area:

13 13118

Ns: RhoS:

350 26.681

Ni: Rhol:

81 6.175

Pooled: 4.321 276.6 ± 36.0

Mean: 4.777 305.1 ± 36.6

Central: 4.321 276.6 ± 36.0

Weigh.I: 4.274 273.6

Weigh.II: 4.57 292.5

Chi-sq.: 6.08 **P (%):** 91.21

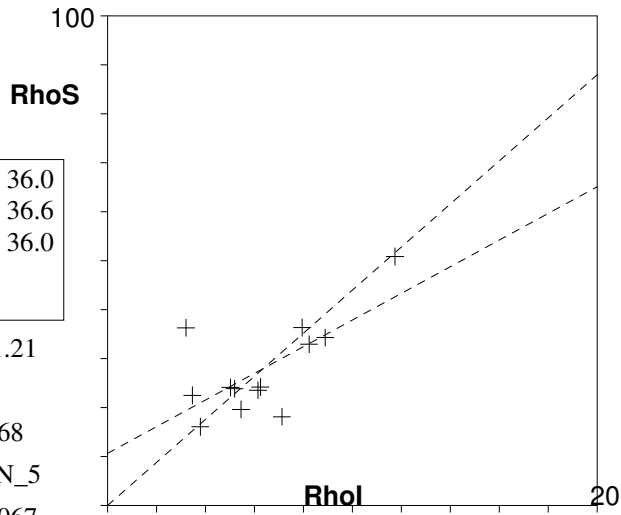
Dispersion: 0.00

a: 10.625 **b:** 2.725 **r:** 0.68

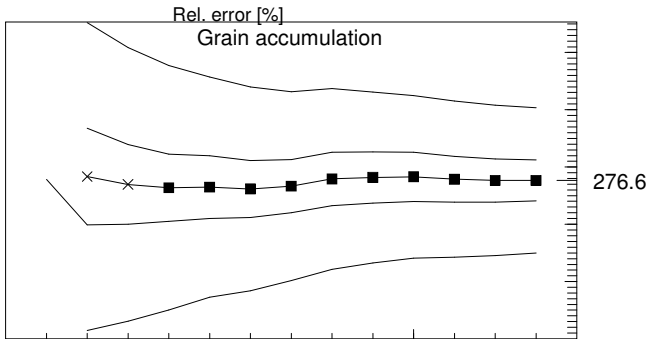
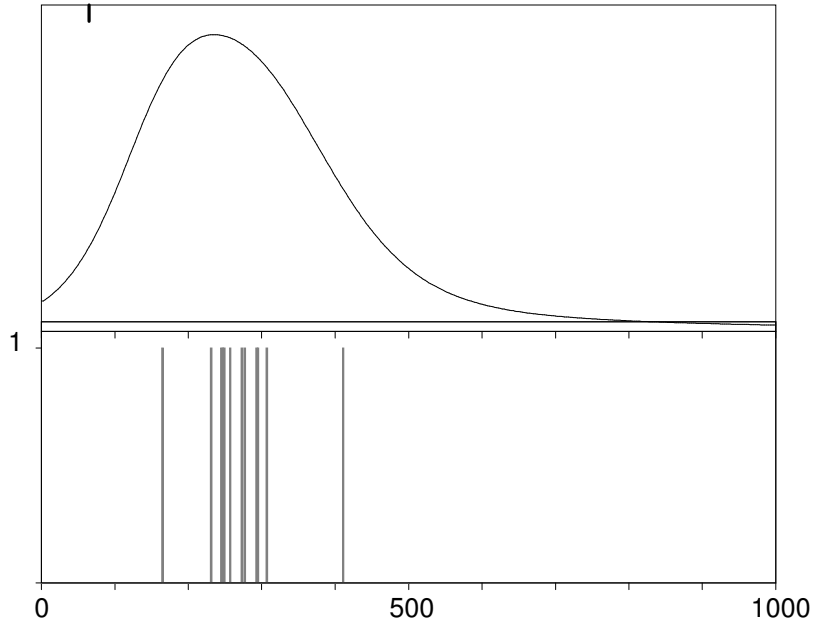
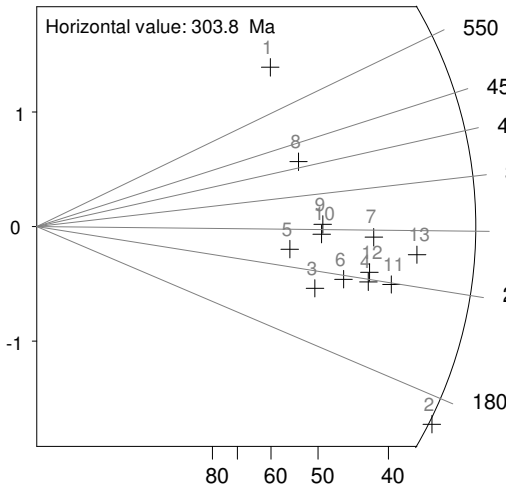
Irr.: OR0207p1 **Glass:** CN_5

Nd: 7600 **RhoD:** 5.067

Zeta: 258.17 ± 10.24 **U.:** 14.39 (± 38 %)



kurt.: 7.65 skew.: 2.57



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

Goodness: n. d.

 PRD 19

13 Apatite crystals Sum. Ns: 350 Sum. Ni: 81
 Zeta: 258.17 +- 10.24 Micr. grid.: 1
 Glass: CN_5 Irrad. code: OR0207p1 RhoD: 5.067 Nd: 7600

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	34	3	936.8479				
			36.292	3.202	701.67	423.60	7.268
2	28	11	1545.059				
			18.122	7.119	164.38	58.88	16.159
3	18	5	917.2408				
			19.624	5.451	231.27	117.30	12.373
4	27	7	787.0735				
			34.304	8.894	247.47	105.46	20.186
5	17	4	1057.364				
			16.078	3.783	272.15	151.66	8.586
6	23	6	976.524				
			23.553	6.144	245.98	113.22	13.946
7	32	7	880.7355				
			36.333	7.948	292.28	122.55	18.039
8	26	4	1156.899				
			22.474	3.458	411.72	221.78	7.848
9	24	5	995.9919				
			24.097	5.020	306.55	151.23	11.394
10	23	5	964.7839				
			23.840	5.183	294.06	145.61	11.763
11	31	8	1282.073				
			24.180	6.240	248.60	99.12	14.163
12	28	7	850.6667				
			32.915	8.229	256.46	108.89	18.677
13	39	9	766.7829				
			50.862	11.737	277.38	103.21	26.640

SANTA CATARINA

Apatite

SC-1

LGI/UFRGS
AXIOPLAN 2

Cryst.: 24
Area: 24

Ns: 139
RhoS: 2.317

Ni: 116
Rhol: 1.933

Pooled: 1.198	68.9 ± 9.7
Mean: 1.23	70.7 ± 4.3
Central: 1.198	68.9 ± 9.7

Chi-sq.: 4.64 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

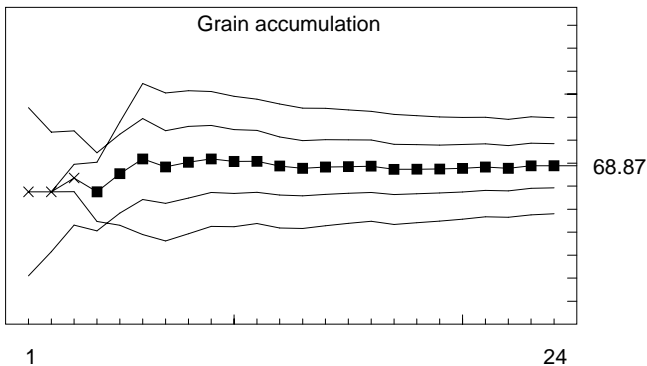
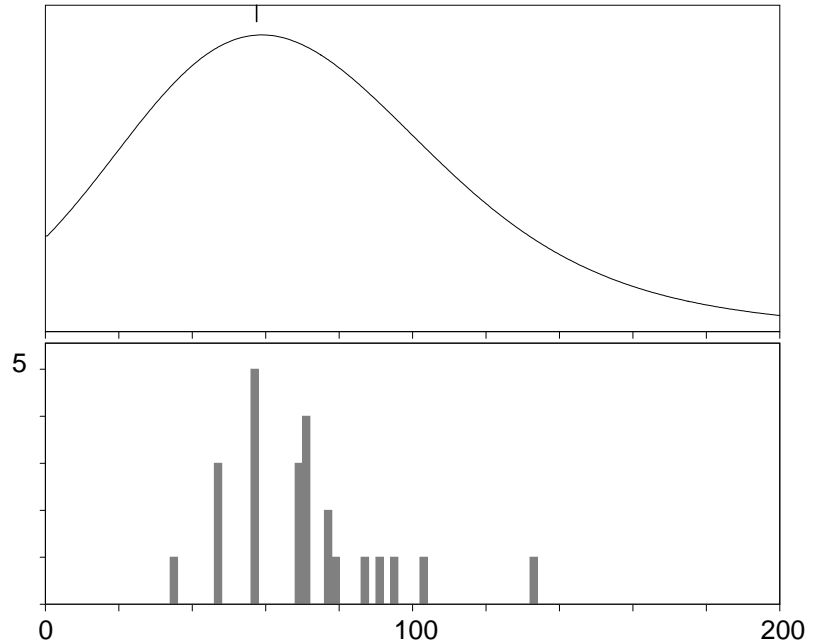
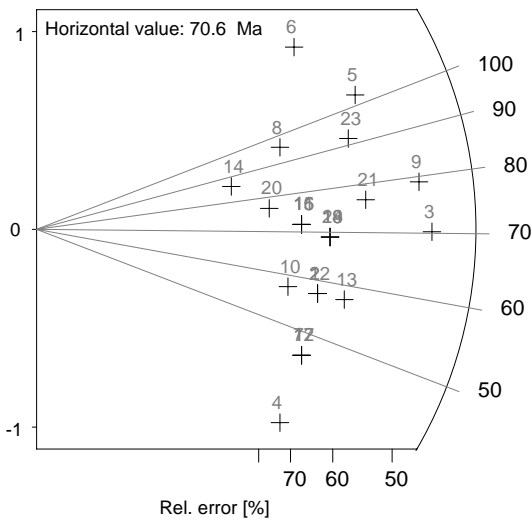
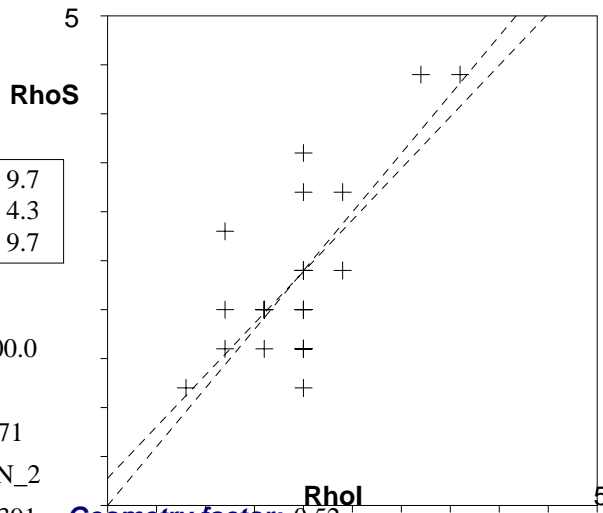
a: 0.277 **b:** 1.055 **r:** 0.71

Irr.: 03-2CN2 **Glass:** CN_2

Nd: 7122 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 9.55 (± 31%)

Goodness: n. d.



/ Poisson (1x) ■ Zero tracks
 / St. dev. (1x) □ Chi pass/fail (5%)

SC-1 . . .
24 Apatite crystals Sum. Ns: 139 Sum. Ni: 116
Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500
Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	5	5	1	2.000	2.000	57.52	36.56 9.877
2	5	5	1	2.000	2.000	57.52	36.56 9.877
3	11	9	1	4.400	3.600	70.24	31.87 17.778
4	3	5	1	1.200	2.000	34.58	25.34 9.877
5	9	5	1	3.600	2.000	103.17	57.90 9.877
6	7	3	1	2.800	1.200	133.43	92.45 5.926
7	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03 9.877
8	5	3	1	2.000	1.200	95.59	70.06 5.926
9	11	8	1	4.400	3.200	78.96	37.02 15.803
10	4	4	1	1.600	1.600	57.52	40.83 7.902
11	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39 7.902
12	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03 9.877
13	6	6	1	2.400	2.400	57.52	33.40 11.852
14	3	2	1	1.200	.800	86.09	78.77 3.951
15	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39 7.902
16	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39 7.902
17	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03 9.877
18	6	5	1	2.400	2.000	68.97	41.98 9.877
19	6	5	1	2.400	2.000	68.97	41.98 9.877
20	4	3	1	1.600	1.200	76.58	58.68 5.926
21	8	6	1	3.200	2.400	76.58	41.63 11.852
22	5	5	1	2.000	2.000	57.52	36.56 9.877
23	8	5	1	3.200	2.000	91.79	52.64 9.877
24	6	5	1	2.400	2.000	68.97	41.98 9.877

Apatite

SC-3

LGI/UFRGS
Axioplan 2

Cryst.: Area:

40 40

Ns: RhoS:

204 2.04

Ni: Rhol:

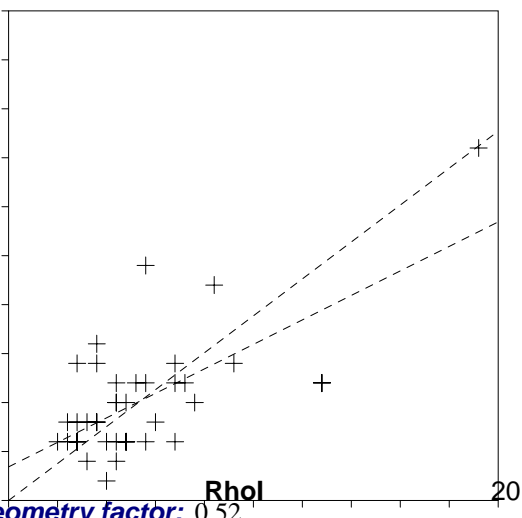
541 5.41

Pooled: 0.377 51.4 ± 5.3

Mean: 0.419 57.0 ± 4.4

Central: 0.377 51.4 ± 5.3

RhoS



Chi-sq.: 31.23 P (%): 80.76

Dispersion: 0.04

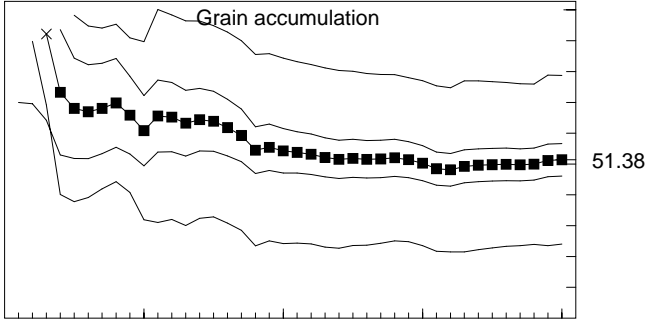
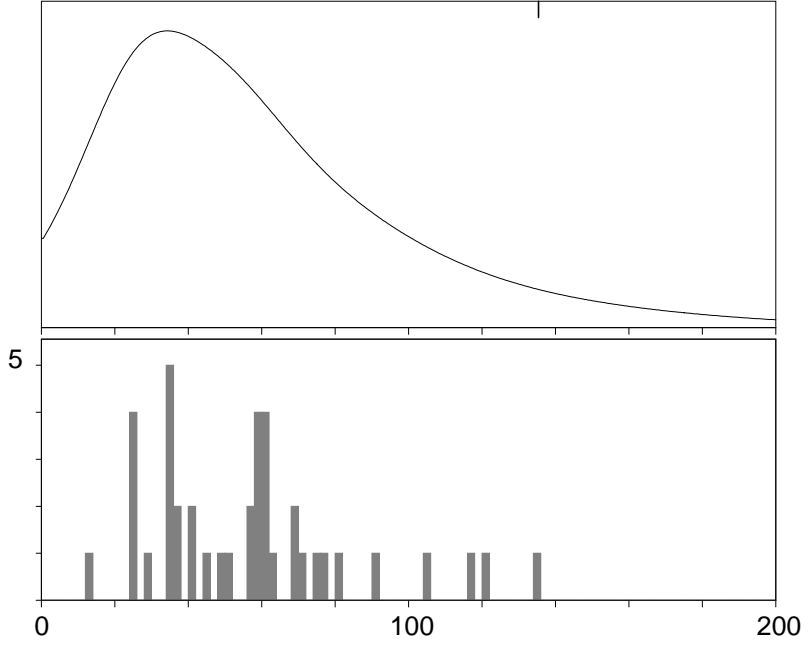
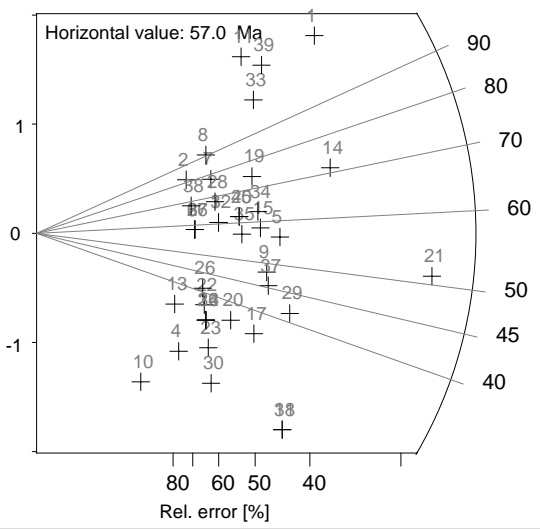
a: 0.687 b: 0.25 r: 0.67

Irr.: 03-1CN2 Glass: CN_2

Nd: 9221 RhoD: 17.5 Geometry factor: 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 U.: 11.28 (± 62 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

SC-3 . . .
 40 Apatite crystals Sum. Ns: 204 Sum. Ni: 541
 Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_2 Irrad. code: 03-1CN2 RhoD: 17.5 Nd: 9221

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	12	14	1	4.800	5.600	116.21	46.28 11.680
2	3	5	1	1.200	2.000	81.57	59.78 4.171
3	4	9	1	1.600	3.600	60.52	36.56 7.509
4	2	11	1	.800	4.400	24.83	19.15 9.177
5	7	17	1	2.800	6.800	56.09	25.43 14.183
6	3	7	1	1.200	2.800	58.37	40.44 5.840
7	4	7	1	1.600	2.800	77.71	48.94 5.840
8	4	6	1	1.600	2.400	90.57	58.73 5.006
9	6	17	1	2.400	6.800	48.11	23.04 14.183
10	1	10	1	.400	4.000	13.67	14.36 8.343
11	7	7	1	2.800	2.800	135.38	72.84 5.840
12	4	9	1	1.600	3.600	60.52	36.56 7.509
13	2	8	1	.800	3.200	34.11	27.05 6.674
14	11	21	1	4.400	8.400	71.27	26.89 17.520
15	6	14	1	2.400	5.600	58.37	28.71 11.680
16	3	12	1	1.200	4.800	34.11	22.12 10.011
17	5	19	1	2.000	7.600	35.90	18.18 15.851
18	6	32	1	2.400	12.800	25.60	11.50 26.697
19	6	11	1	2.400	4.400	74.19	37.93 9.177
20	4	15	1	1.600	6.000	36.38	20.59 12.514
21	18	48	1	7.200	19.200	51.10	14.47 40.046
22	3	11	1	1.200	4.400	37.20	24.34 9.177
23	3	14	1	1.200	5.600	29.25	18.70 11.680
24	3	12	1	1.200	4.800	34.11	22.12 10.011
25	5	11	1	2.000	4.400	61.89	33.60 9.177
26	3	10	1	1.200	4.000	40.91	27.05 8.343
27	3	7	1	1.200	2.800	58.37	40.44 5.840
28	4	8	1	1.600	3.200	68.04	41.88 6.674
29	7	23	1	2.800	9.200	41.50	18.10 19.189
30	3	17	1	1.200	6.800	24.10	15.16 14.183
31	6	32	1	2.400	12.800	25.60	11.50 26.697
32	3	12	1	1.200	4.800	34.11	22.12 10.011
33	7	9	1	2.800	3.600	105.54	53.58 7.509
34	6	13	1	2.400	5.200	62.84	31.25 10.846
35	5	12	1	2.000	4.800	56.75	30.41 10.011
36	3	7	1	1.200	2.800	58.37	40.44 5.840
37	6	18	1	2.400	7.200	45.44	21.60 15.017
38	3	6	1	1.200	2.400	68.04	48.30 5.006
39	8	9	1	3.200	3.600	120.48	59.01 7.509
40	5	11	1	2.000	4.400	61.89	33.60 9.177

Apatite

SC-4

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: Area:
34 34

Ns: RhoS:
259 3.047

Ni: Rhol:
232 2.729

Pooled:	1.116	69.4 ± 7.2
Mean:	1.19	74.0 ± 5.7
Central:	1.116	69.4 ± 7.2

Chi-sq.: 18.67 P (%): 97.87

Dispersion: 0.00

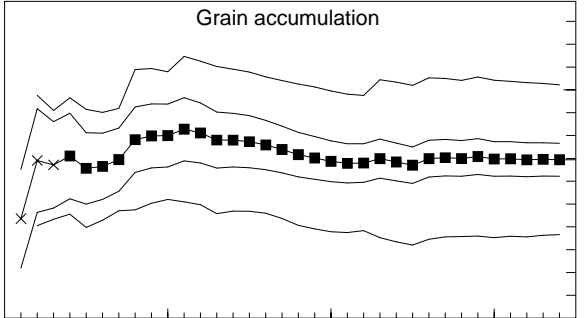
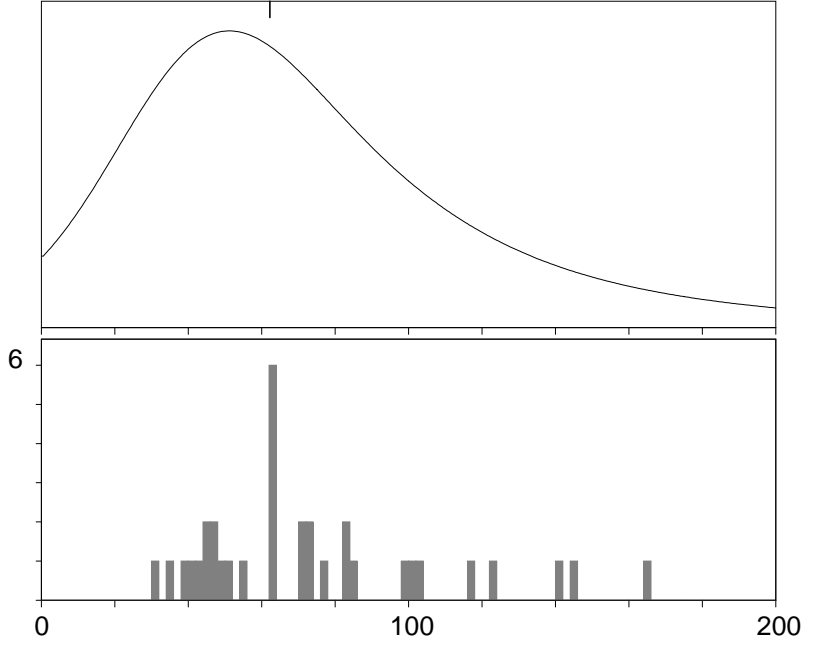
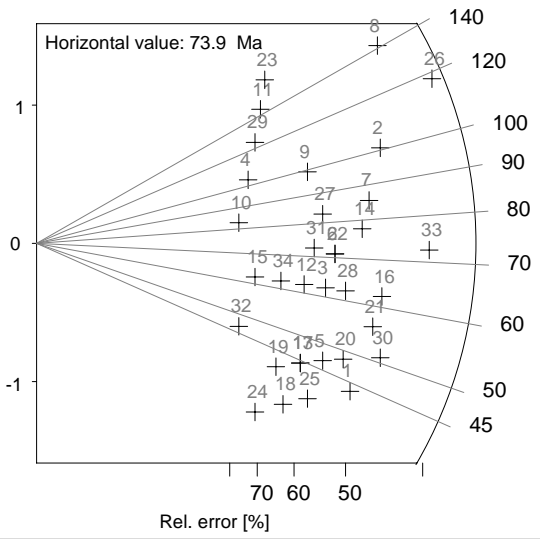
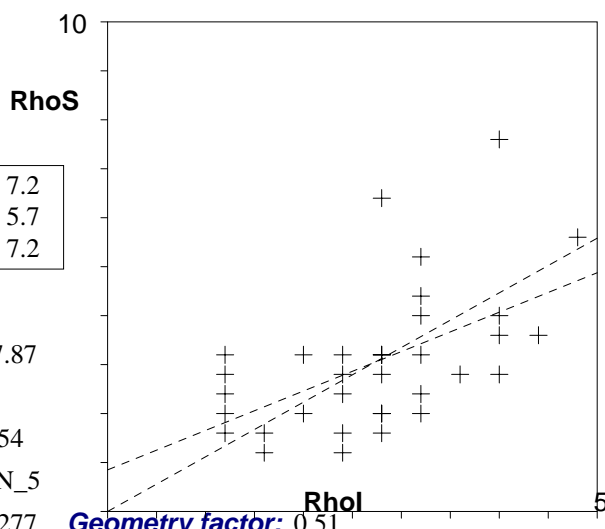
a: 0.848 b: 0.806 r: 0.54

Irr.: 03-3CN5 Glass: CN_5

Nd: 13095 RhoD: 3.277 Geometry factor: 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 U.: 10.14 (± 36 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

SC-4 . .
 34 Apatite crystals Sum. Ns: 259 Sum. Ni: 232
 Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	7	10	1	2.800	4.000	43.59	21.60	14.855	
2	13	8	1	5.200	3.200	100.75	45.58	11.884	
3	7	7	1	2.800	2.800	62.19	33.40	10.399	
4	5	3	1	2.000	1.200	103.31	75.64	4.457	
5	6	8	1	2.400	3.200	46.70	25.34	11.884	
6	8	7	1	3.200	2.800	71.02	36.94	10.399	
7	11	8	1	4.400	3.200	85.35	39.91	11.884	
8	16	7	1	6.400	2.800	141.27	64.44	10.399	
9	8	5	1	3.200	2.000	99.21	56.80	7.428	
10	4	3	1	1.600	1.200	82.78	63.37	4.457	
11	7	3	1	2.800	1.200	144.18	99.78	4.457	
12	6	6	1	2.400	2.400	62.19	36.05	8.913	
13	5	7	1	2.000	2.800	44.48	26.15	10.399	
14	10	8	1	4.000	3.200	77.64	37.05	11.884	
15	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
16	10	10	1	4.000	4.000	62.19	28.00	14.855	
17	5	7	1	2.000	2.800	44.48	26.15	10.399	
18	4	7	1	1.600	2.800	35.61	22.40	10.399	
19	4	6	1	1.600	2.400	41.52	26.89	8.913	
20	7	9	1	2.800	3.600	48.42	24.53	13.370	
21	9	10	1	3.600	4.000	55.99	25.89	14.855	
22	8	7	1	3.200	2.800	71.02	36.94	10.399	
23	8	3	1	3.200	1.200	164.52	111.71	4.457	
24	3	6	1	1.200	2.400	31.17	22.10	8.913	
25	5	8	1	2.000	3.200	38.94	22.29	11.884	
26	19	10	1	7.600	4.000	117.65	46.37	14.855	
27	8	6	1	3.200	2.400	82.78	44.92	8.913	
28	8	8	1	3.200	3.200	62.19	31.26	11.884	
29	6	3	1	2.400	1.200	123.78	87.76	4.457	
30	9	11	1	3.600	4.400	50.92	23.04	16.341	
31	7	6	1	2.800	2.400	72.49	40.51	8.913	
32	3	4	1	1.200	1.600	46.70	35.75	5.942	
33	14	12	1	5.600	4.800	72.49	28.77	17.826	
34	5	5	1	2.000	2.000	62.19	39.46	7.428	

Apatite

SC-5

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: 49
Area: 49

Ns: 224
RhoS: 1.829

Ni: 257
Rhol: 2.098

Pooled: 0.872	54.2 ± 5.7
Mean: 0.999	62.1 ± 4.1
Central: 0.872	54.2 ± 5.7

Chi-sq.: 18.92 **P (%):** 99.99

Dispersion: 0.00

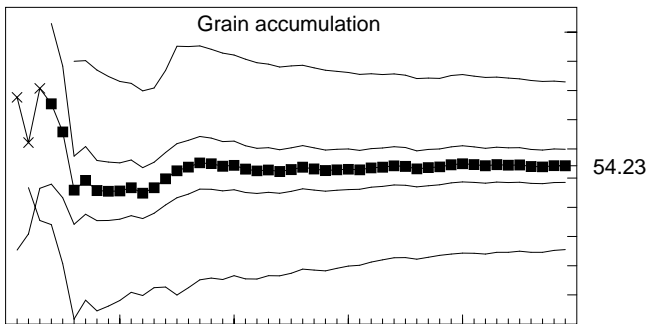
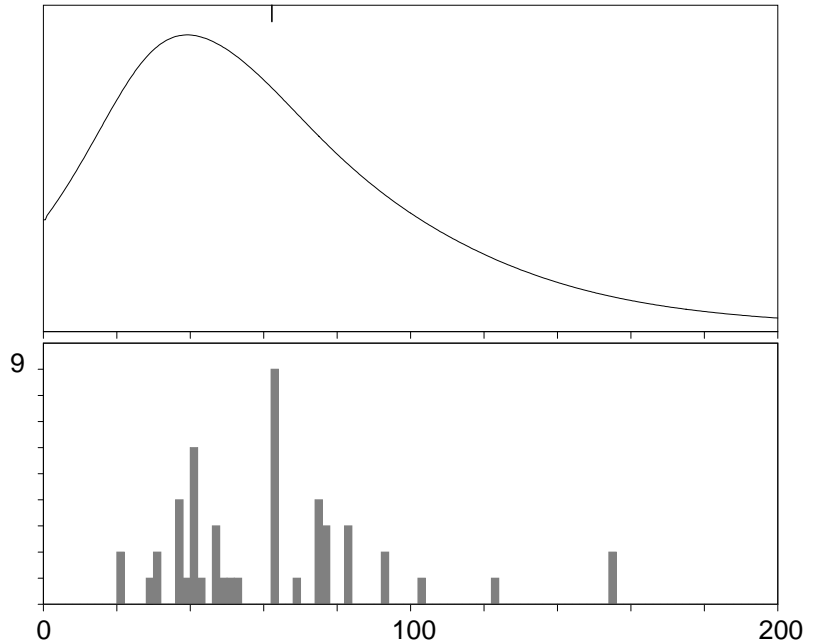
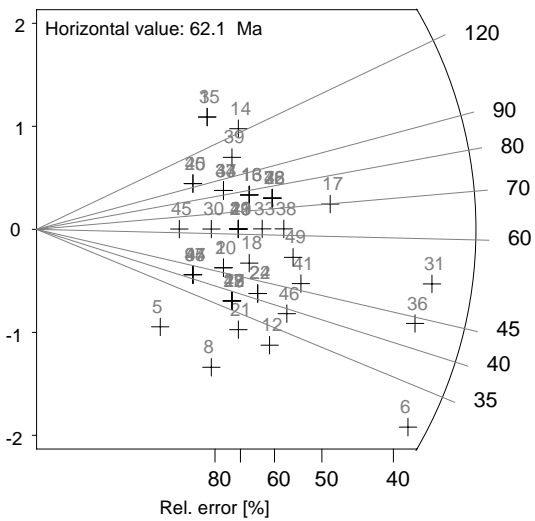
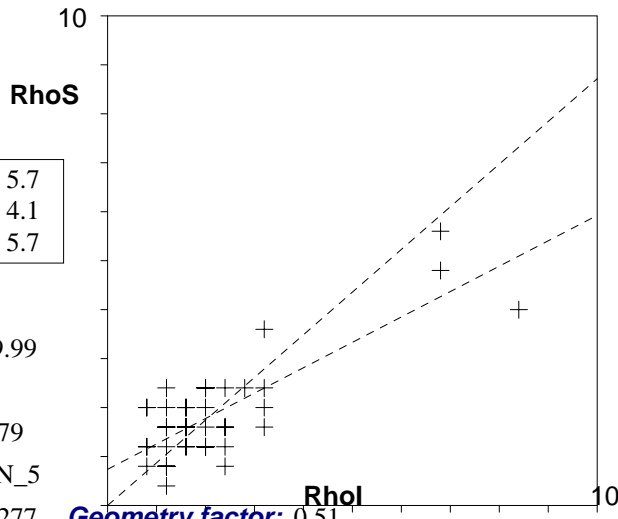
a: 0.741 **b:** 0.518 **r:** 0.79

Irr.: 03-3CN5 **Glass:** CN_5

Nd: 13095 **RhoD:** 3.277 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 373.89 ± 19.2 **U.:** 7.79 (± 72 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SC-5 . .

49 Apatite crystals Sum. Ns: 224 Sum. Ni: 257

Zeta: 373.89 +- 19.2 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_5 Irrad. code: 03-3CN5 RhoD: 3.277 Nd: 13095

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age	+-	1s	Uran.
1	5	4	1	2.000	1.600	77.64	52.24	5.942	
2	3	4	1	1.200	1.600	46.70	35.75	5.942	
3	5	2	1	2.000	.800	154.35	129.39	2.971	
4	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
5	1	3	1	.400	1.200	20.80	24.04	4.457	
6	10	21	1	4.000	8.400	29.69	11.51	31.196	
7	6	5	1	2.400	2.000	74.55	45.31	7.428	
8	2	6	1	.800	2.400	20.80	17.01	8.913	
9	2	3	1	.800	1.200	41.52	37.97	4.457	
10	3	4	1	1.200	1.600	46.70	35.75	5.942	
11	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
12	4	8	1	1.600	3.200	31.17	19.16	11.884	
13	5	4	1	2.000	1.600	77.64	52.24	5.942	
14	6	3	1	2.400	1.200	123.78	87.76	4.457	
15	5	2	1	2.000	.800	154.35	129.39	2.971	
16	5	4	1	2.000	1.600	77.64	52.24	5.942	
17	9	8	1	3.600	3.200	69.92	34.17	11.884	
18	4	5	1	1.600	2.000	49.80	33.51	7.428	
19	3	5	1	1.200	2.000	37.38	27.37	7.428	
20	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
21	3	6	1	1.200	2.400	31.17	22.10	8.913	
22	4	6	1	1.600	2.400	41.52	26.89	8.913	
23	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
24	4	6	1	1.600	2.400	41.52	26.89	8.913	
25	3	2	1	1.200	.800	93.06	85.09	2.971	
26	6	5	1	2.400	2.000	74.55	45.31	7.428	
27	3	5	1	1.200	2.000	37.38	27.37	7.428	
28	3	5	1	1.200	2.000	37.38	27.37	7.428	
29	4	4	1	1.600	1.600	62.19	44.09	5.942	
30	3	3	1	1.200	1.200	62.19	50.88	4.457	
31	14	17	1	5.600	6.800	51.26	18.69	25.254	
32	6	5	1	2.400	2.000	74.55	45.31	7.428	
33	5	5	1	2.000	2.000	62.19	39.46	7.428	
34	4	3	1	1.600	1.200	82.78	63.37	4.457	
35	2	3	1	.800	1.200	41.52	37.97	4.457	
36	12	17	1	4.800	6.800	43.96	16.73	25.254	
37	4	3	1	1.600	1.200	82.78	63.37	4.457	
38	6	6	1	2.400	2.400	62.19	36.05	8.913	
39	5	3	1	2.000	1.200	103.31	75.64	4.457	
40	3	2	1	1.200	.800	93.06	85.09	2.971	
41	6	8	1	2.400	3.200	46.70	25.34	11.884	
42	3	5	1	1.200	2.000	37.38	27.37	7.428	
43	4	3	1	1.600	1.200	82.78	63.37	4.457	
44	2	3	1	.800	1.200	41.52	37.97	4.457	
45	2	2	1	.800	.800	62.19	62.27	2.971	
46	5	8	1	2.000	3.200	38.94	22.29	11.884	
47	2	3	1	.800	1.200	41.52	37.97	4.457	
48	6	5	1	2.400	2.000	74.55	45.31	7.428	
49	6	7	1	2.400	2.800	53.34	29.80	10.399	

Apatite

SC-6

LGI/UFRGS
AXIOPLAN 2

Cryst.: 44
Area: 44

Ns: 476
RhoS: 4.327

Ni: 259
Rhol: 2.355

Pooled: 1.838	105.3 ± 10.4
Mean: 1.847	105.9 ± 4.1
Central: 1.838	105.3 ± 10.4

Chi-sq.: 10.91 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

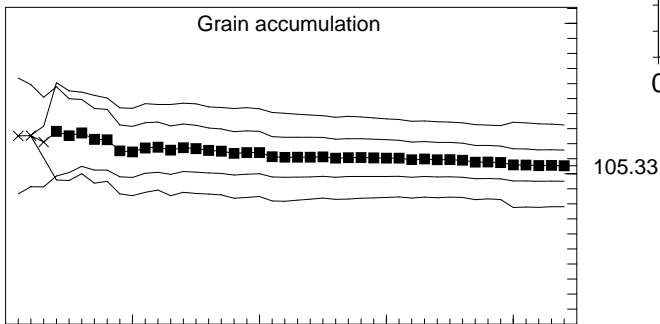
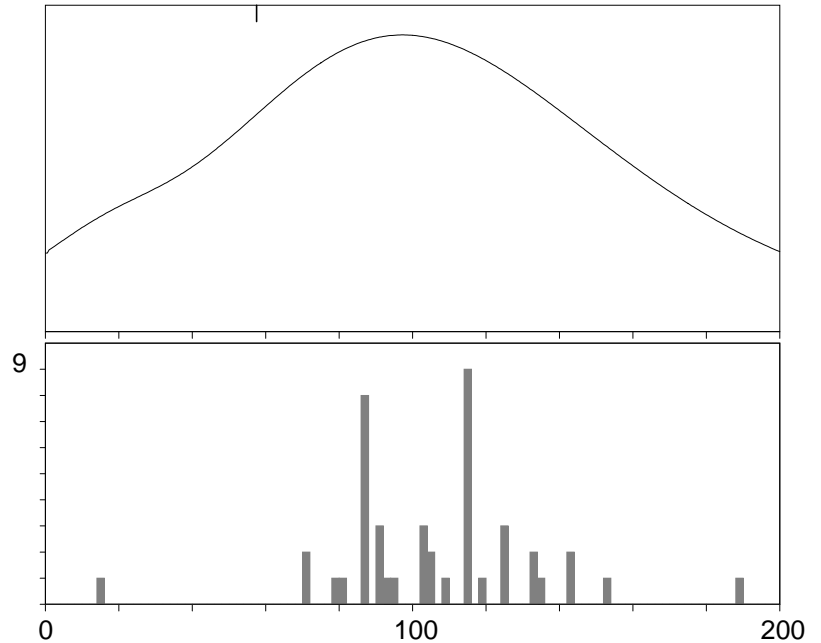
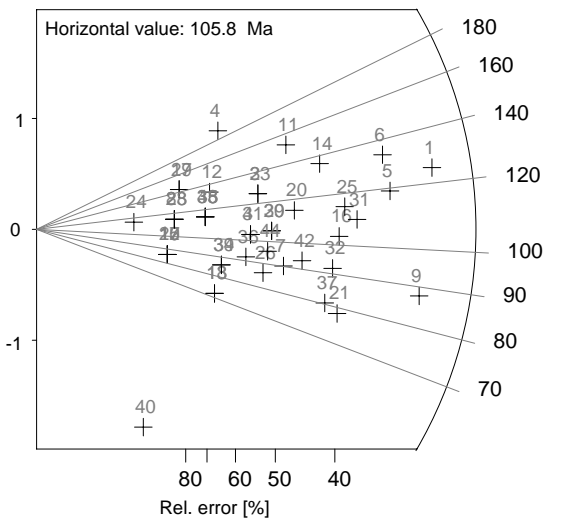
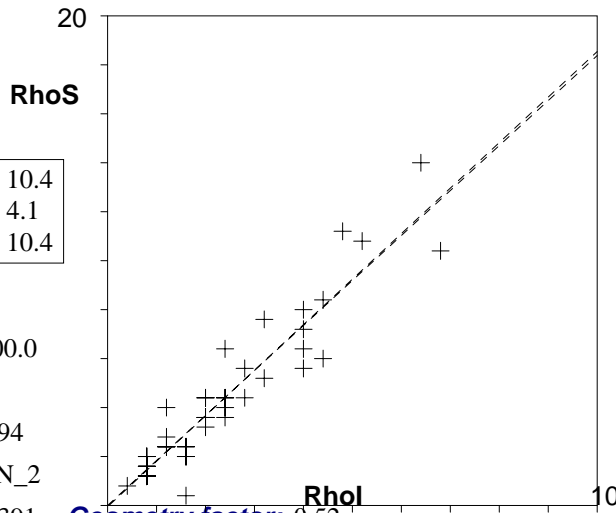
a: -0.052 **b:** 1.86 **r:** 0.94

Irr.: 03-2CN2 **Glass:** CN_2

Nd: 7122 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 11.63 (± 67 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SC-6 . .

44 Apatite crystals Sum. Ns: 476 Sum. Ni: 259

Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	35	16	1	14.000	6.400	125.17	38.56	31.606	
2	11	5	1	4.400	2.000	125.88	68.34	9.877	
3	9	5	1	3.600	2.000	103.17	57.90	9.877	
4	10	3	1	4.000	1.200	189.78	125.48	5.926	
5	27	13	1	10.800	5.200	118.90	40.81	25.680	
6	28	12	1	11.200	4.800	133.43	46.78	23.705	
7	11	7	1	4.400	2.800	90.16	43.95	13.828	
8	4	2	1	1.600	.800	114.54	99.45	3.951	
9	26	17	1	10.400	6.800	87.77	27.91	33.581	
10	3	2	1	1.200	.800	86.09	78.77	3.951	
11	16	6	1	6.400	2.400	152.27	73.50	11.852	
12	7	3	1	2.800	1.200	133.43	92.45	5.926	
13	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39	7.902	
14	19	8	1	7.600	3.200	135.79	57.85	15.803	
15	3	2	1	1.200	.800	86.09	78.77	3.951	
16	18	10	1	7.200	4.000	103.17	41.19	19.754	
17	3	2	1	1.200	.800	86.09	78.77	3.951	
18	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39	7.902	
19	5	2	1	2.000	.800	142.86	119.85	3.951	
20	14	7	1	5.600	2.800	114.54	53.49	13.828	
21	15	11	1	6.000	4.400	78.31	31.46	21.729	
22	3	2	1	1.200	.800	86.09	78.77	3.951	
23	4	2	1	1.600	.800	114.54	99.45	3.951	
24	2	1	1	.800	.400	114.54	140.46	1.975	
25	20	10	1	8.000	4.000	114.54	44.93	19.754	
26	9	6	1	3.600	2.400	86.09	45.69	11.852	
27	5	2	1	2.000	.800	142.86	119.85	3.951	
28	4	2	1	1.600	.800	114.54	99.45	3.951	
29	11	6	1	4.400	2.400	105.07	53.72	11.852	
30	11	6	1	4.400	2.400	105.07	53.72	11.852	
31	21	11	1	8.400	4.400	109.38	41.27	21.729	
32	16	10	1	6.400	4.000	91.79	37.44	19.754	
33	11	5	1	4.400	2.000	125.88	68.34	9.877	
34	6	4	1	2.400	1.600	86.09	55.83	7.902	
35	6	3	1	2.400	1.200	114.54	81.30	5.926	
36	8	5	1	3.200	2.000	91.79	52.64	9.877	
37	14	10	1	5.600	4.000	80.39	33.66	19.754	
38	6	3	1	2.400	1.200	114.54	81.30	5.926	
39	6	4	1	2.400	1.600	86.09	55.83	7.902	
40	1	4	1	.400	1.600	14.43	16.16	7.902	
41	9	5	1	3.600	2.000	103.17	57.90	9.877	
42	13	8	1	5.200	3.200	93.22	42.28	15.803	
43	6	3	1	2.400	1.200	114.54	81.30	5.926	
44	10	6	1	4.000	2.400	95.59	49.72	11.852	

Apatite

SC-7

LGI/UFRGS
AXIOPLAN

Cryst.: 22
Area: 22

Ns: 81
RhoS: 1.473

Ni: 64
Rhol: 1.164

Pooled:	1.266	72.7 ± 13.0
Mean:	1.298	74.6 ± 7.5
Central:	1.266	72.7 ± 13.0

Chi-sq.: 3.25 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

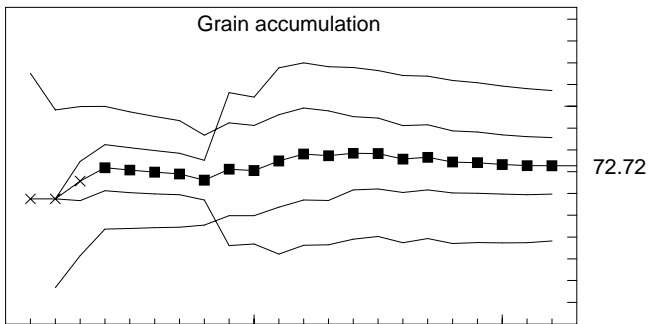
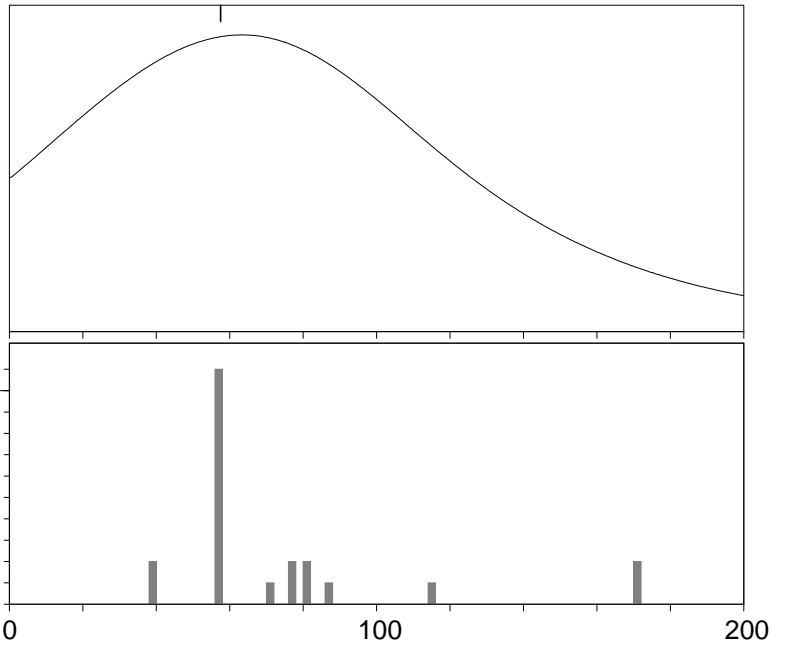
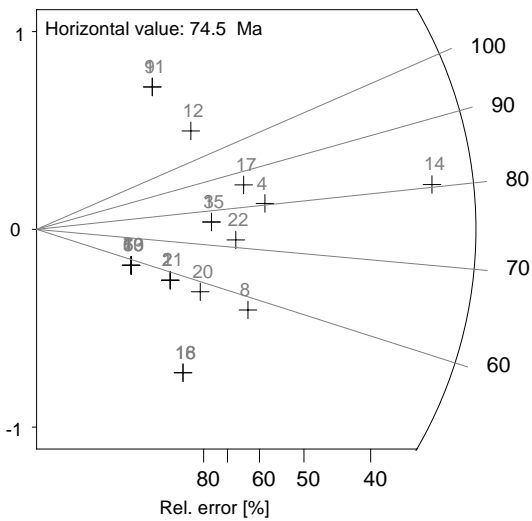
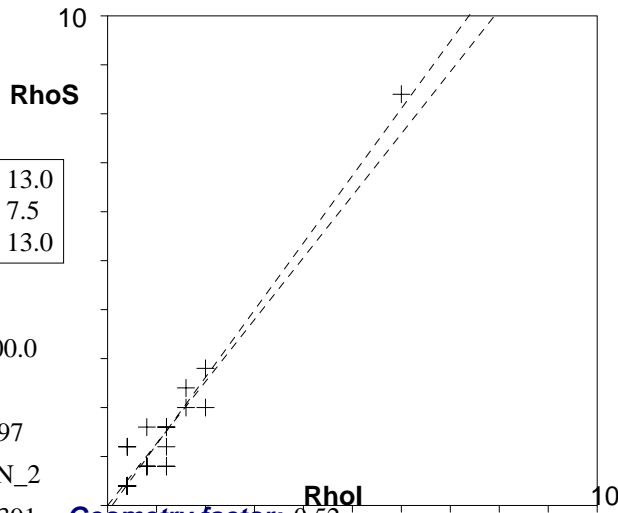
a: -0.123 **b:** 1.372 **r:** 0.97

Irr.: 03-2CN2 **Glass:** CN_2

Nd: 7122 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 5.75 (± 103 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SC-7 . .

22 Apatite crystals Sum. Ns: 81 Sum. Ni: 64

Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	2	2	1	.800	.800	57.52	57.63	3.951	
2	2	2	1	.800	.800	57.52	57.63	3.951	
3	4	3	1	1.600	1.200	76.58	58.68	5.926	
4	7	5	1	2.800	2.000	80.39	47.33	9.877	
5	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
6	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
7	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
8	5	5	1	2.000	2.000	57.52	36.56	9.877	
9	3	1	1	1.200	.400	171.05	197.80	1.975	
10	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
11	3	1	1	1.200	.400	171.05	197.80	1.975	
12	4	2	1	1.600	.800	114.54	99.45	3.951	
13	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
14	21	15	1	8.400	6.000	80.39	27.63	29.631	
15	4	3	1	1.600	1.200	76.58	58.68	5.926	
16	2	3	1	.800	1.200	38.41	35.14	5.926	
17	6	4	1	2.400	1.600	86.09	55.83	7.902	
18	2	3	1	.800	1.200	38.41	35.14	5.926	
19	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
20	3	3	1	1.200	1.200	57.52	47.10	5.926	
21	2	2	1	.800	.800	57.52	57.63	3.951	
22	5	4	1	2.000	1.600	71.82	48.39	7.902	

Apatite

SC-8

LGI/UFRGS
OLYMPUS

Cryst.: Area:

40 50

Ns: RhoS:

359 2.872

Ni: Rhol:

370 2.96

Pooled:	0.97	55.8 ± 5.4
Mean:	0.971	55.8 ± 3.2
Central:	0.97	55.8 ± 5.4

Chi-sq.: 16.65 P (%): 99.93

Dispersion: 0.00

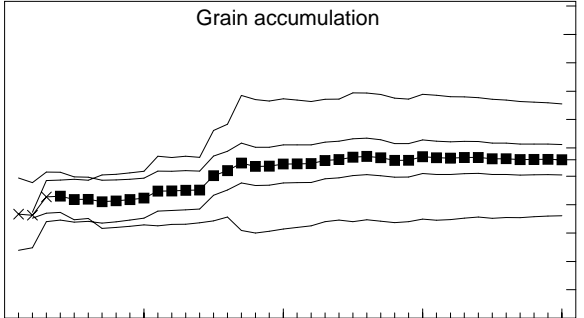
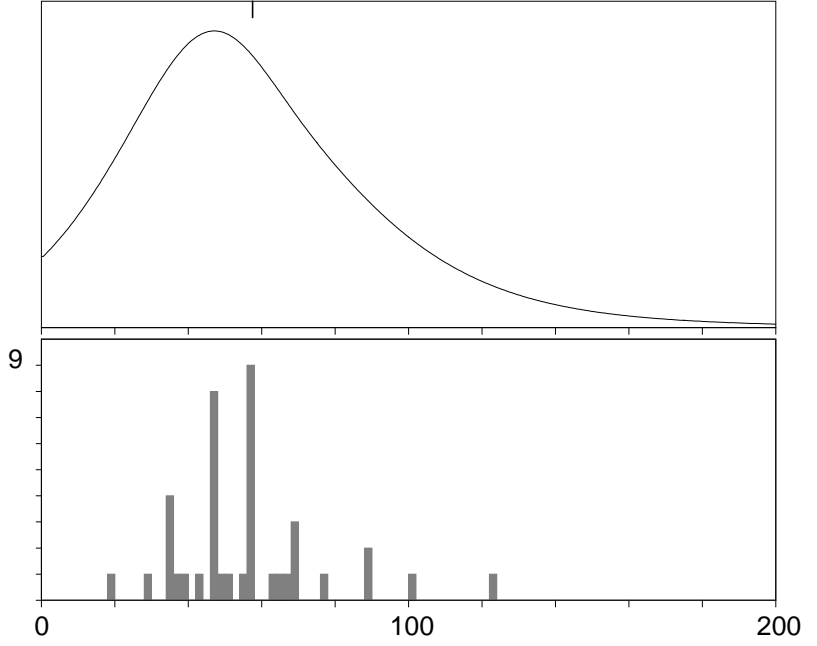
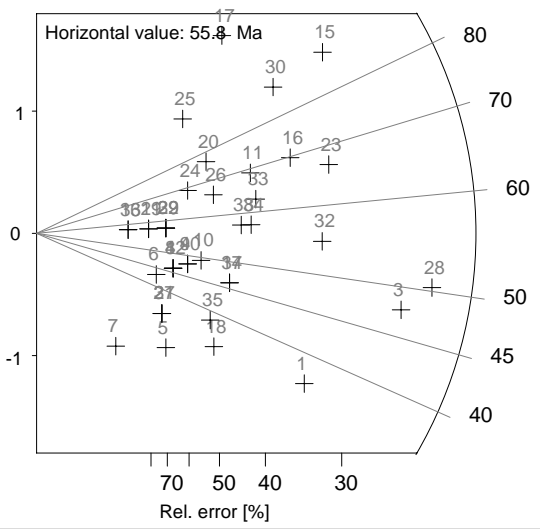
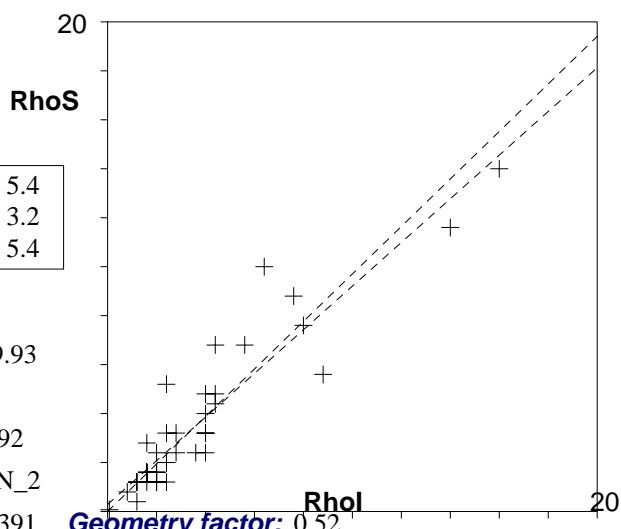
a: 0.288 b: 0.892 r: 0.92

Irr.: 03-2CN2 Glass: CN_2

Nd: 7122 RhoD: 7.391 Geometry factor: 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 U.: 18.18 (± 89 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

SC-8 . . .
 40 Apatite crystals Sum. Ns: 359 Sum. Ni: 370
 Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	14	22	1	5.600	8.800	36.66	12.74	43.458	
2	3	5	1	1.200	2.000	34.58	25.34	9.877	
3	29	35	1	11.600	14.000	47.70	12.34	69.138	
4	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03	9.877	
5	3	6	1	1.200	2.400	28.83	20.46	11.852	
6	3	4	1	1.200	1.600	43.19	33.10	7.902	
7	1	3	1	.400	1.200	19.23	22.24	5.926	
8	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03	9.877	
9	5	6	1	2.000	2.400	47.97	29.20	11.852	
10	6	7	1	2.400	2.800	49.34	27.62	13.828	
11	12	10	1	4.800	4.000	68.97	29.84	19.754	
12	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03	9.877	
13	2	2	1	.800	.800	57.52	57.63	3.951	
14	8	10	1	3.200	4.000	46.06	22.03	19.754	
15	25	16	1	10.000	6.400	89.66	29.24	31.606	
16	17	14	1	6.800	5.600	69.78	25.55	27.655	
17	13	6	1	5.200	2.400	123.99	61.68	11.852	
18	6	10	1	2.400	4.000	34.58	17.98	19.754	
19	3	3	1	1.200	1.200	57.52	47.10	5.926	
20	8	6	1	3.200	2.400	76.58	41.63	11.852	
21	3	3	1	1.200	1.200	57.52	47.10	5.926	
22	4	4	1	1.600	1.600	57.52	40.83	7.902	
23	22	19	1	8.800	7.600	66.56	21.25	37.532	
24	6	5	1	2.400	2.000	68.97	41.98	9.877	
25	7	4	1	2.800	1.600	100.33	63.19	7.902	
26	8	7	1	3.200	2.800	65.70	34.25	13.828	
27	3	5	1	1.200	2.000	34.58	25.34	9.877	
28	35	40	1	14.000	16.000	50.36	12.07	79.015	
29	4	4	1	1.600	1.600	57.52	40.83	7.902	
30	17	11	1	6.800	4.400	88.68	34.75	21.729	
31	3	5	1	1.200	2.000	34.58	25.34	9.877	
32	19	20	1	7.600	8.000	54.66	17.84	39.508	
33	12	11	1	4.800	4.400	62.73	26.47	21.729	
34	11	11	1	4.400	4.400	57.52	24.79	21.729	
35	6	9	1	2.400	3.600	38.41	20.38	17.778	
36	2	2	11	.073	.073	57.52	57.63	.359	
37	8	10	1	3.200	4.000	46.06	22.03	19.754	
38	10	10	1	4.000	4.000	57.52	25.97	19.754	
39	4	4	1	1.600	1.600	57.52	40.83	7.902	
40	5	6	1	2.000	2.400	47.97	29.20	11.852	

Apatite

SC-9

Axioplan-2

Cryst.: 37
Area: 37

Ns: 252
RhoS: 2.724

Ni: 1590
Rhol: 17.189

Pooled:	0.158	19.9 ± 2.2
Mean:	0.159	20.0 ± 1.7
Central:	0.157	19.8 ± 2.4

Chi-sq.: 51.82 **P (%):** 4.26

Dispersion: 0.29

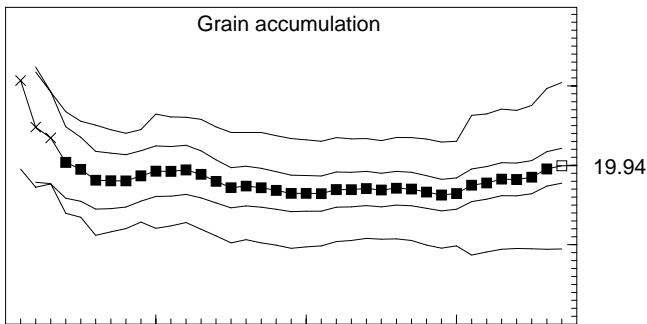
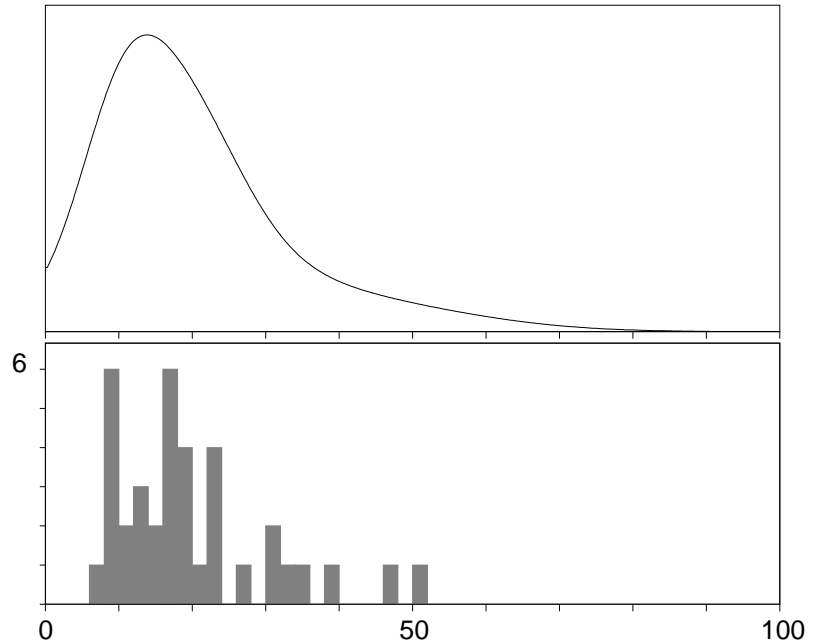
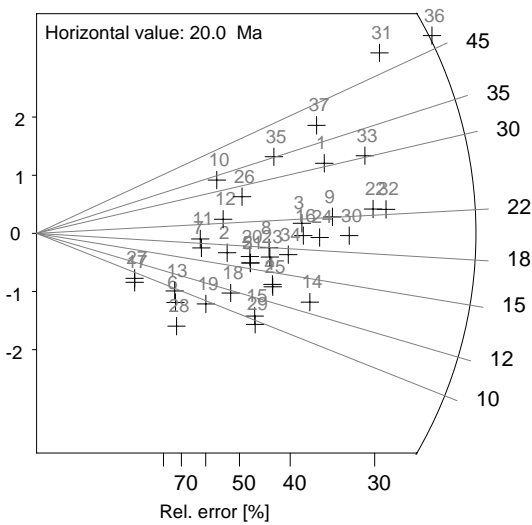
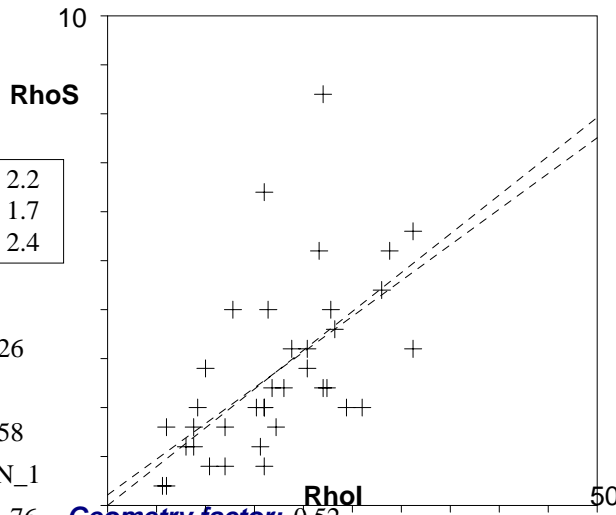
a: 0.218 **b:** 0.146 **r:** 0.58

Irr.: 03-1CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 11290 **RhoD:** 21.76 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 31.44 (± 41 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SC-9 . .

37 Apatite crystals Sum. Ns: 252 Sum. Ni: 1590

Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_1 Irrad. code: 03-1CN1 RhoD: 21.76 Nd: 11290

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age +- 1s	Uran.
1	10	41	1	4.000	16.400	30.66	11.14 29.996
2	4	30	1	1.600	12.000	16.78	9.05 21.949
3	8	47	1	3.200	18.800	21.41	8.40 34.386
4	6	55	1	2.400	22.000	13.73	6.02 40.239
5	5	40	1	2.000	16.000	15.73	7.59 29.265
6	2	30	1	.800	12.000	8.39	6.17 21.949
7	3	22	1	1.200	8.800	17.16	10.67 16.096
8	6	42	1	2.400	16.800	17.98	8.00 30.728
9	10	57	1	4.000	22.800	22.07	7.81 41.702
10	4	15	1	1.600	6.000	33.51	19.08 10.974
11	3	20	1	1.200	8.000	18.87	11.80 14.632
12	4	22	1	1.600	8.800	22.87	12.59 16.096
13	2	26	1	.800	10.400	9.69	7.16 19.022
14	8	78	1	3.200	31.200	12.91	4.92 57.066
15	5	61	1	2.000	24.400	10.32	4.88 44.629
16	8	51	1	3.200	20.400	19.74	7.70 37.313
17	1	15	1	.400	6.000	8.39	8.70 10.974
18	4	43	1	1.600	17.200	11.71	6.21 31.460
19	3	39	1	1.200	15.600	9.69	5.86 28.533
20	5	38	1	2.000	15.200	16.56	8.01 27.801
21	5	40	1	2.000	16.000	15.73	7.59 29.265
22	13	72	1	5.200	28.800	22.71	7.12 52.676
23	6	45	1	2.400	18.000	16.78	7.44 32.923
24	9	58	1	3.600	23.200	19.52	7.20 42.434
25	6	56	1	2.400	22.400	13.49	5.91 40.971
26	5	23	1	2.000	9.200	27.33	13.70 16.827
27	1	14	1	.400	5.600	8.99	9.34 10.243
28	2	40	1	.800	16.000	6.30	4.60 29.265
29	5	65	1	2.000	26.000	9.69	4.57 47.555
30	11	70	1	4.400	28.000	19.77	6.64 51.213
31	16	40	1	6.400	16.000	50.21	15.48 29.265
32	14	78	1	5.600	31.200	22.58	6.84 57.066
33	13	54	1	5.200	21.600	30.26	9.71 39.507
34	7	51	1	2.800	20.400	17.27	7.12 37.313
35	7	25	1	2.800	10.000	35.19	15.36 18.290
36	21	55	1	8.400	22.000	47.93	12.99 40.239
37	10	32	1	4.000	12.800	39.26	14.63 23.412

Apatite

SC-10

LGI/UFRGS
Axioplan-2

Cryst.: Area:

51 51

Ns: RhoS:
124 0.973

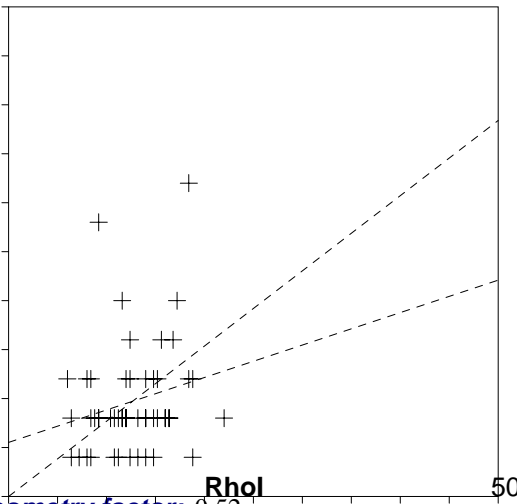
Ni: Rhol:
1615 12.667

Pooled: 0.077 9.7 ± 1.2

Mean: 0.081 10.2 ± 0.9

Central: 0.077 9.7 ± 1.2

RhoS



Chi-sq.: 38.94 **P (%)**: 87.12

Dispersion: 0.03

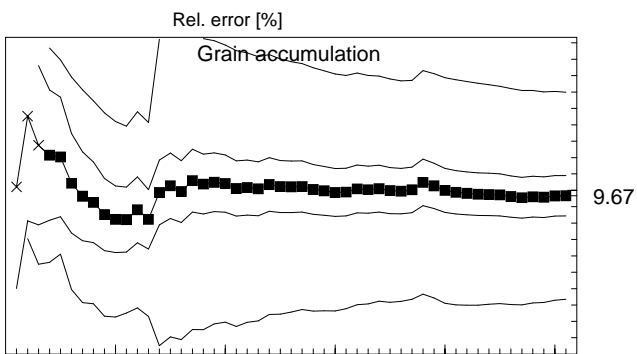
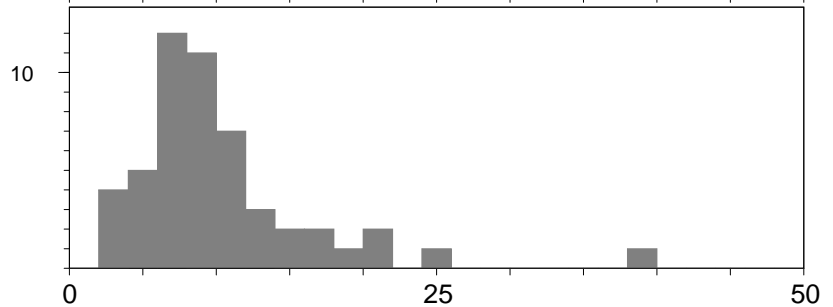
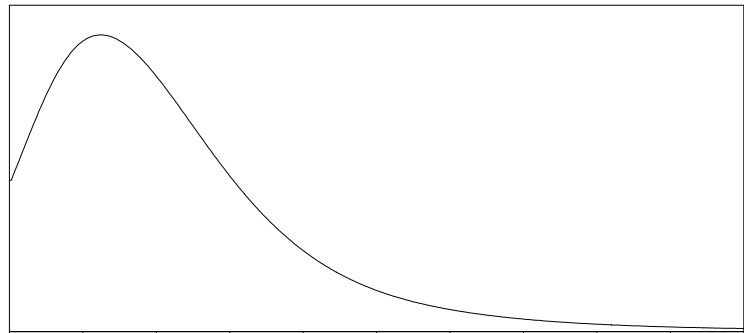
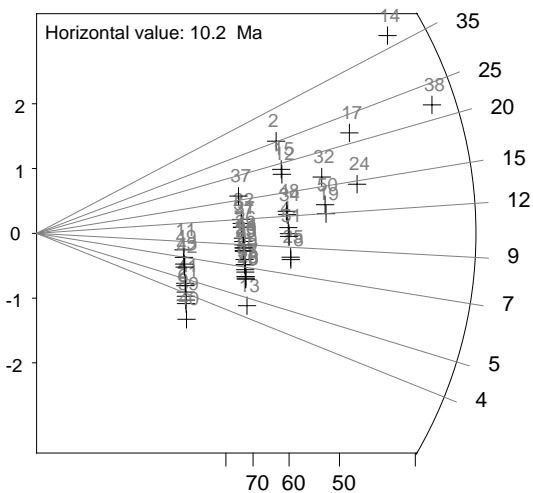
a: 0.553 **b:** 0.033 **r:** 0.21

Irr.: 03-1CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 11290 **RhoD:** 21.76 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 23.17 (± 29 %)

Goodness: n. d.



1

51

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. SC-10 . .
 51 Apatite crystals Sum. Ns: 124 Sum. Ni: 1615
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 03-1CN1 RhoD: 21.76 Nd: 11290

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoL	Age	+-	1s	Uran.
1	3	37	1	1.200	14.800	10.21	6.19	27.070	
2	3	15	1	1.200	6.000	25.15	16.06	10.974	
3	2	27	1	.800	10.800	9.33	6.88	19.754	
4	3	35	1	1.200	14.000	10.79	6.56	25.607	
5	2	22	1	.800	8.800	11.44	8.51	16.096	
6	1	33	1	.400	13.200	3.82	3.89	24.143	
7	1	27	1	.400	10.800	4.67	4.77	19.754	
8	2	35	1	.800	14.000	7.20	5.27	25.607	
9	1	35	1	.400	14.000	3.60	3.66	25.607	
10	2	40	1	.800	16.000	6.30	4.60	29.265	
11	1	16	1	.400	6.400	7.87	8.14	11.706	
12	3	21	1	1.200	8.400	17.98	11.20	15.364	
13	2	55	1	.800	22.000	4.58	3.32	40.239	
14	7	23	1	2.800	9.200	38.24	16.84	16.827	
15	3	20	1	1.200	8.000	18.87	11.80	14.632	
16	2	41	1	.800	16.400	6.14	4.48	29.996	
17	5	29	1	2.000	11.600	21.69	10.67	21.217	
18	3	47	1	1.200	18.800	8.04	4.84	34.386	
19	4	42	1	1.600	16.800	11.99	6.36	30.728	
20	2	29	1	.800	11.600	8.68	6.39	21.217	
21	1	31	1	.400	12.400	4.06	4.14	22.680	
22	2	21	1	.800	8.400	11.99	8.93	15.364	
23	2	30	1	.800	12.000	8.39	6.17	21.949	
24	5	43	1	2.000	17.200	14.64	7.03	31.460	
25	3	46	1	1.200	18.400	8.21	4.95	33.654	
26	2	26	1	.800	10.400	9.69	7.16	19.022	
27	2	23	1	.800	9.200	10.95	8.13	16.827	
28	2	40	1	.800	16.000	6.30	4.60	29.265	
29	2	33	1	.800	13.200	7.63	5.60	24.143	
30	2	35	1	.800	14.000	7.20	5.27	25.607	
31	2	23	1	.800	9.200	10.95	8.13	16.827	
32	4	31	1	1.600	12.400	16.24	8.74	22.680	
33	2	30	1	.800	12.000	8.39	6.17	21.949	
34	3	31	1	1.200	12.400	12.18	7.44	22.680	
35	2	38	1	.800	15.200	6.63	4.84	27.801	
36	2	29	1	.800	11.600	8.68	6.39	21.217	
37	2	16	1	.800	6.400	15.73	11.88	11.706	
38	8	46	1	3.200	18.400	21.88	8.59	33.654	
39	1	37	1	.400	14.800	3.40	3.46	27.070	
40	1	47	1	.400	18.800	2.68	2.72	34.386	
41	1	28	1	.400	11.200	4.50	4.60	20.485	
42	1	21	1	.400	8.400	6.00	6.16	15.364	
43	1	20	1	.400	8.000	6.30	6.48	14.632	
44	2	28	1	.800	11.200	8.99	6.63	20.485	
45	2	30	1	.800	12.000	8.39	6.17	21.949	
46	2	41	1	.800	16.400	6.14	4.48	29.996	
47	2	37	1	.800	14.800	6.81	4.98	27.070	
48	3	30	1	1.200	12.000	12.59	7.70	21.949	
49	1	18	1	.400	7.200	7.00	7.21	13.169	
50	4	39	1	1.600	15.600	12.91	6.87	28.533	
51	3	38	1	1.200	15.200	9.94	6.02	27.801	

PARANÁ

Apatite

PR-1

LGI/UFRGS

Cryst.: Area:

9 9

Ns: RhoS:

48 2.133

Ni: Rhol:

19 0.844

Pooled:	2.526	144.3 ± 40.1
Mean:	2.778	158.5 ± 37.6
Central:	2.512	143.5 ± 40.5

Chi-sq.: 7.02 **P (%)**: 53.49

Dispersion: 0.11

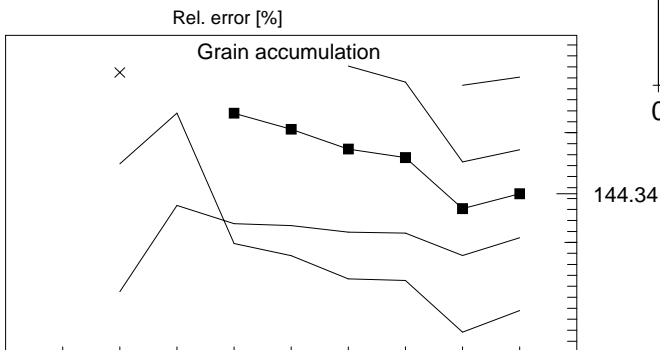
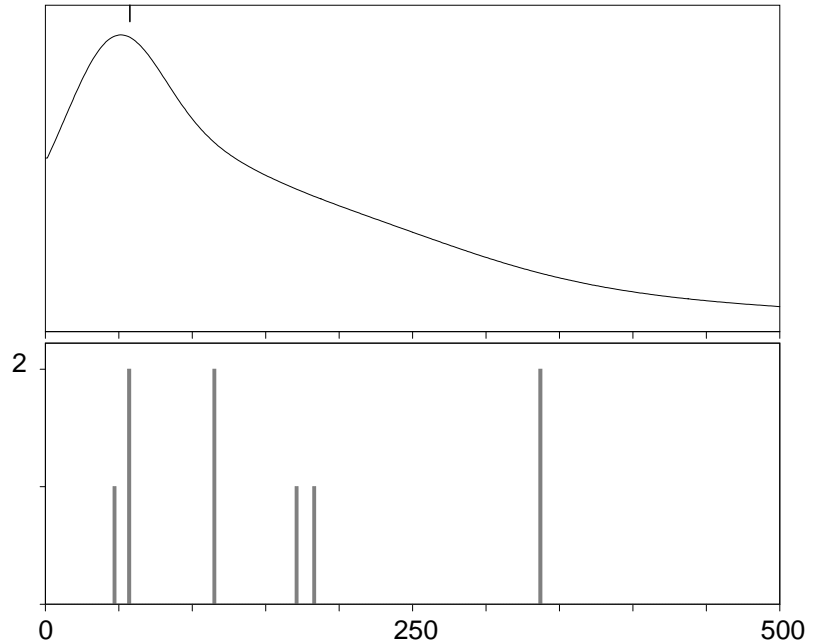
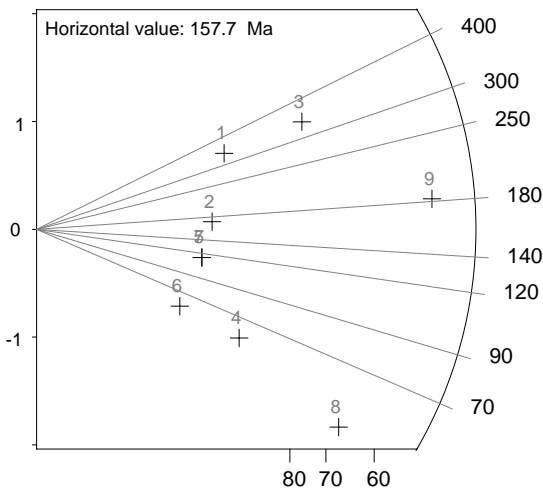
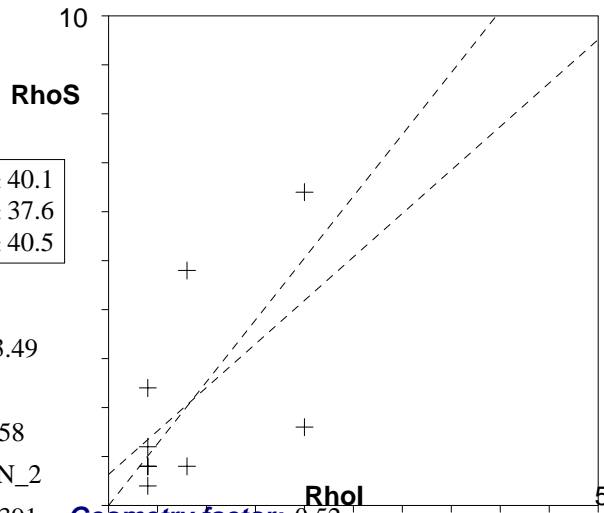
a: 0.633 **b:** 1.777 **r:** 0.58

Irr.: 03-2CN2 **Glass:** CN_2

Nd: 7122 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 4.17 (± 80 %)

Goodness: n. d.



- 1 / Poisson (1x)
- 1 / St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PR-1 . .

9 Apatite crystals Sum. Ns: 48 Sum. Ni: 19

Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	6	1	1	2.400	.400	337.68	365.34	1.975	
2	3	1	1	1.200	.400	171.05	197.80	1.975	
3	12	2	1	4.800	.800	337.68	258.76	3.951	
4	2	2	1	.800	.800	57.52	57.63	3.951	
5	2	1	1	.800	.400	114.54	140.46	1.975	
6	1	1	1	.400	.400	57.52	81.43	1.975	
7	2	1	1	.800	.400	114.54	140.46	1.975	
8	4	5	1	1.600	2.000	46.06	31.03	9.877	
9	16	5	1	6.400	2.000	182.30	94.08	9.877	

Apatite

PR-3

LGI/UFRGS
AXIOPLAN

Cryst.: Area:

3 3

Ns: RhoS:

17 2.267

Ni: Rhol:

27 3.6

Pooled: 0.63

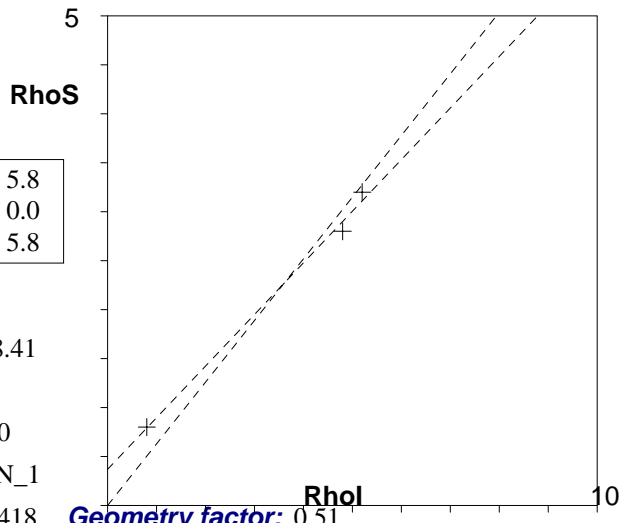
18.4 ± 5.8

Mean: 0.733

21.5 ± 0.0

Central: 0.63

18.4 ± 5.8



Chi-sq.: 0.25 **P (%)**: 88.41

Dispersion: 0.00

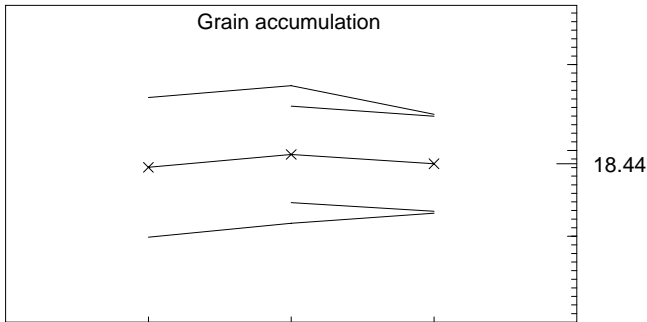
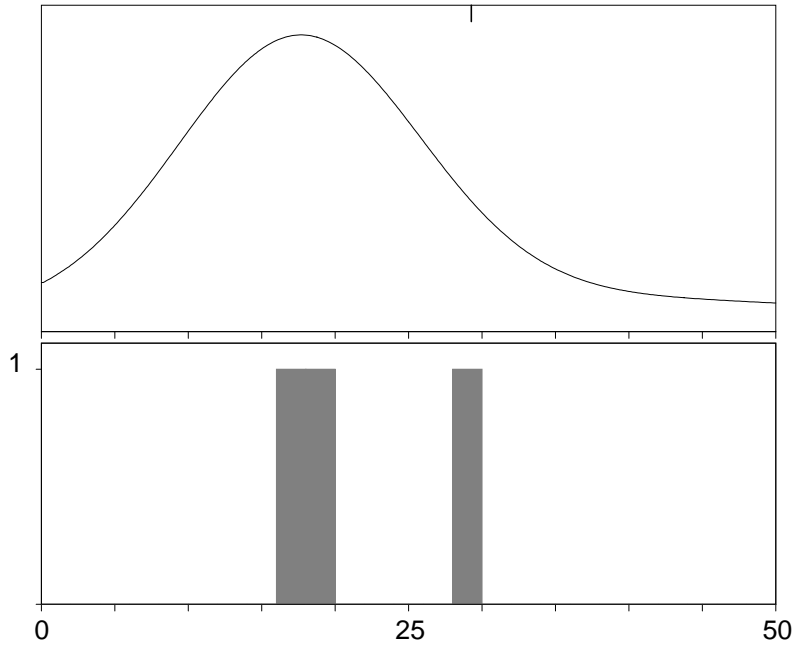
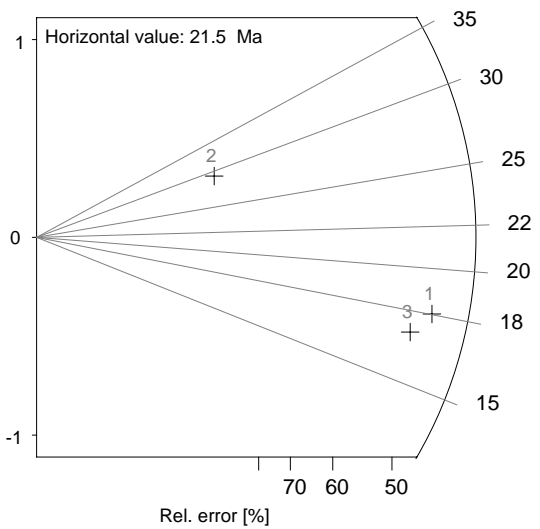
a: 0.369 **b:** 0.527 **r:** 1.0

Irr.: 03-2CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 21148 **RhoD:** 5.418 **Geometry factor:** 0.51

Zeta: 106.17 ± 4.43 **U.:** 26.45 (± 68 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- 3 ■ Zero tracks
- 3 □ Chi pass/fail (5%)

. PR-3 . .

3 Apatite crystals Sum. Ns: 17 Sum. Ni: 27

Zeta: 106.17 +- 4.43 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_1 Irrad. code: 03-2CN1 RhoD: 5.418 Nd: 21148

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoI	Age +- 1s	Uran.
1	8	13	1	3.200	5.200	18.03	8.14 38.199
2	2	2	1	.800	.800	29.27	29.30 5.877
3	7	12	1	2.800	4.800	17.09	8.16 35.260

Apatite

PR-8

LGI/UFRGS
ZEISS

Cryst.: 8
Area: 8

Ns: 41
RhoS: 2.05

Ni: 75
Rhol: 3.75

Pooled: 0.547	31.5 ± 6.4
Mean: 0.502	28.9 ± 3.4
Central: 0.547	31.5 ± 6.4

Chi-sq.: 1.65 **P (%):** 97.67

Dispersion: 0.00

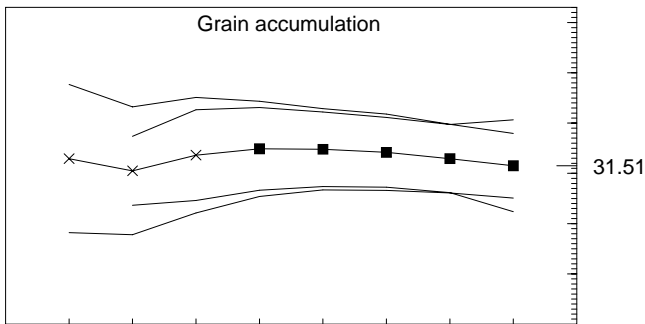
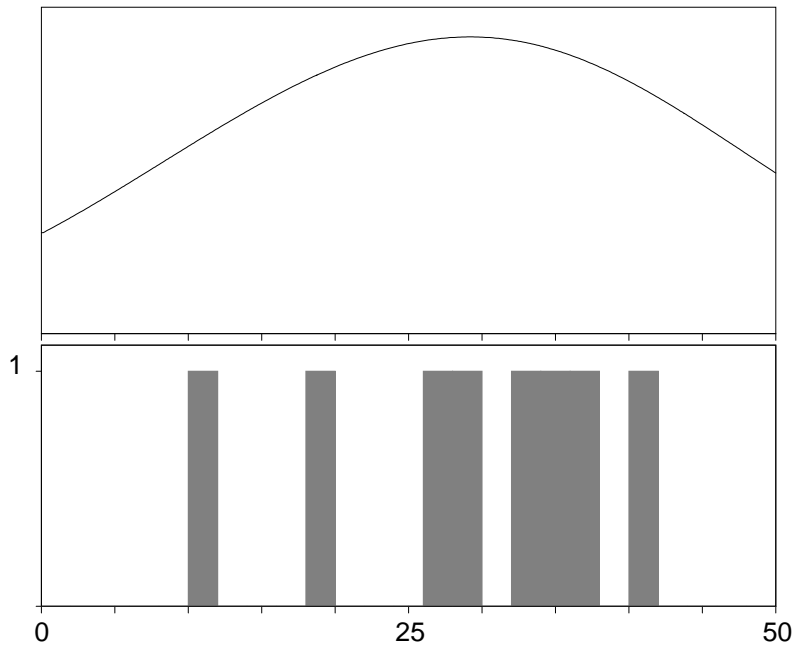
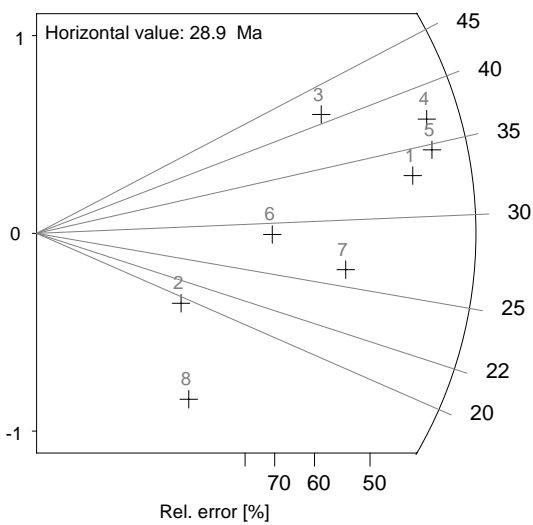
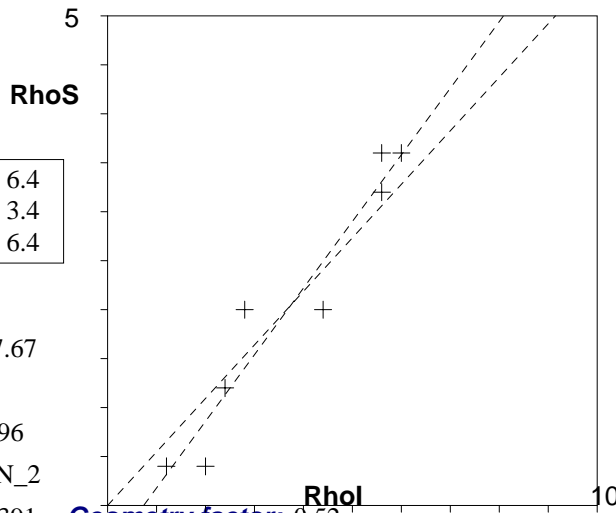
a: -0.5 **b:** 0.68 **r:** 0.96

Irr.: 03-2CN1 **Glass:** CN_2

Nd: 21148 **RhoD:** 7.391 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 150.34 ± 9.15 **U.:** 18.52 (± 50 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PR-8 . .

8 Apatite crystals Sum. Ns: 41 Sum. Ni: 75

Zeta: 150.34 +- 9.15 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN1 RhoD: 7.391 Nd: 21148

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	8	14	1	3.200	5.600	32.93	14.73	27.655	
2	1	3	1	.400	1.200	19.23	22.24	5.926	
3	5	7	1	2.000	2.800	41.14	24.22	13.828	
4	9	14	1	3.600	5.600	37.04	15.99	27.655	
5	9	15	1	3.600	6.000	34.58	14.73	29.631	
6	3	6	1	1.200	2.400	28.83	20.46	11.852	
7	5	11	1	2.000	4.400	26.21	14.23	21.729	
8	1	5	1	.400	2.000	11.55	12.67	9.877	

Apatite

PR-10

LGI/UFRGS
Axiplan 2

Cryst.: Area:
50 50

Ns: RhoS:
494 3.952

Ni: Rhol:
1386 11.088

Pooled:	0.356	44.8 ± 4.6
Mean:	0.365	45.9 ± 2.4
Central:	0.356	44.7 ± 4.6

Chi-sq.: 49.78 **P (%)**: 44.21

Dispersion: 0.12

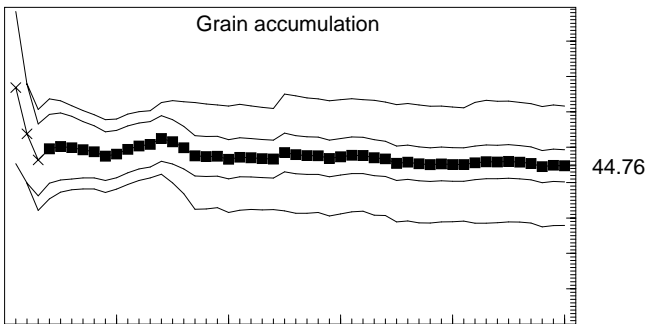
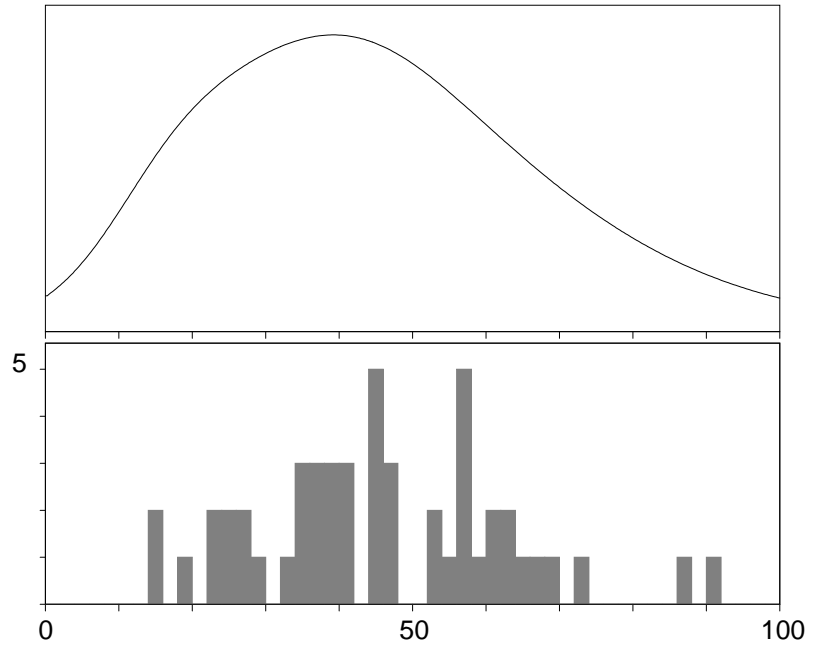
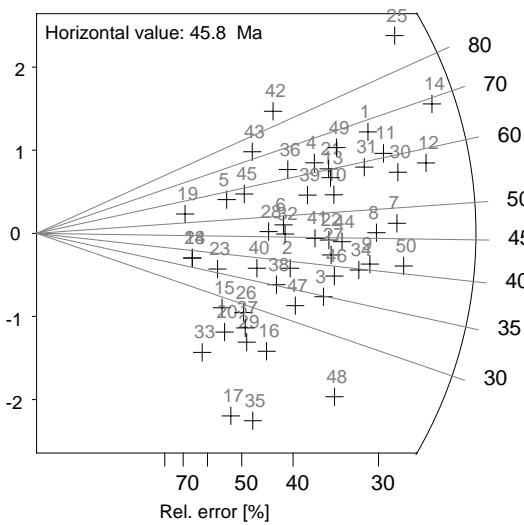
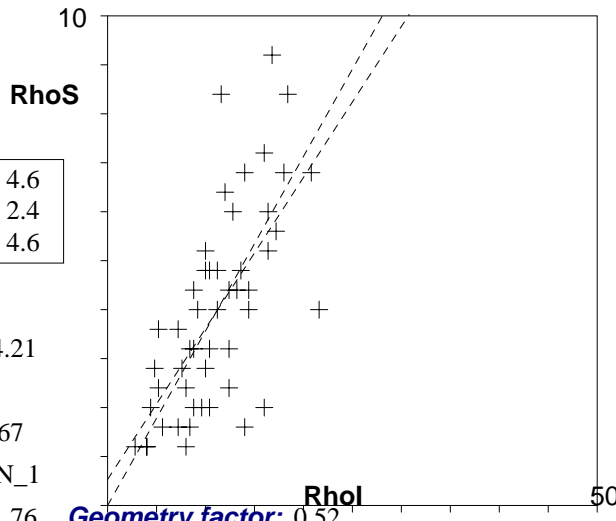
a: 0.533 **b:** 0.308 **r:** 0.67

Irr.: 03-1CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 11290 **RhoD:** 21.76 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 20.28 (± 41 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

PR-10 . . .
 50 Apatite crystals Sum. Ns: 494 Sum. Ni: 1386
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 03-1CN1 RhoD: 21.76 Nd: 11290

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	16	30	1	6.400	12.000	66.86	21.50	21.949	
2	8	26	1	3.200	10.400	38.65	15.99	19.022	
3	10	36	1	4.000	14.400	34.91	12.84	26.338	
4	11	22	1	4.400	8.800	62.70	23.79	16.096	
5	5	11	1	2.000	4.400	57.02	31.15	8.048	
6	8	21	1	3.200	8.400	47.82	20.30	15.364	
7	17	45	1	6.800	18.000	47.43	14.12	32.923	
8	15	41	1	6.000	16.400	45.94	14.43	29.996	
9	14	43	1	5.600	17.200	40.90	13.08	31.460	
10	12	28	1	4.800	11.200	53.78	19.14	20.485	
11	17	35	1	6.800	14.000	60.91	18.77	25.607	
12	21	46	1	8.400	18.400	57.27	15.89	33.654	
13	12	26	1	4.800	10.400	57.90	20.83	19.022	
14	23	42	1	9.200	16.800	68.64	18.78	30.728	
15	4	18	1	1.600	7.200	27.94	15.64	13.169	
16	6	31	1	2.400	12.400	24.34	11.06	22.680	
17	4	35	1	1.600	14.000	14.38	7.70	25.607	
18	3	10	1	1.200	4.000	37.69	25.03	7.316	
19	3	7	1	1.200	2.800	53.78	37.40	5.121	
20	4	21	1	1.600	8.400	23.96	13.24	15.364	
21	12	25	1	4.800	10.000	60.20	21.78	18.290	
22	11	31	1	4.400	12.400	44.56	16.11	22.680	
23	4	14	1	1.600	5.600	35.90	20.59	10.243	
24	3	10	1	1.200	4.000	37.69	25.03	7.316	
25	21	29	1	8.400	11.600	90.61	27.14	21.217	
26	5	22	1	2.000	8.800	28.57	14.37	16.096	
27	11	33	1	4.400	13.200	41.87	15.03	24.143	
28	7	19	1	2.800	7.600	46.26	20.85	13.901	
29	5	26	1	2.000	10.400	24.19	12.00	19.022	
30	18	40	1	7.200	16.000	56.45	16.76	29.265	
31	15	32	1	6.000	12.800	58.80	19.10	23.412	
32	8	22	1	3.200	8.800	45.66	19.27	16.096	
33	3	20	1	1.200	8.000	18.87	11.80	14.632	
34	13	41	1	5.200	16.400	39.83	13.14	29.996	
35	5	40	1	2.000	16.000	15.73	7.59	29.265	
36	9	18	1	3.600	7.200	62.70	26.17	13.169	
37	5	24	1	2.000	9.600	26.20	13.08	17.559	
38	7	25	1	2.800	10.000	35.19	15.36	18.290	
39	10	23	1	4.000	9.200	54.55	21.20	16.827	
40	6	20	1	2.400	8.000	37.69	17.85	14.632	
41	10	28	1	4.000	11.200	44.85	16.98	20.485	
42	9	13	1	3.600	5.200	86.65	38.33	9.511	
43	7	12	1	2.800	4.800	73.09	35.34	8.779	
44	12	34	1	4.800	13.600	44.32	15.37	24.875	
45	6	13	1	2.400	5.200	57.90	29.02	9.511	
46	11	36	1	4.400	14.400	38.39	13.64	26.338	
47	8	31	1	3.200	12.400	32.44	13.17	22.680	
48	10	54	1	4.000	21.600	23.29	8.27	39.507	
49	13	25	1	5.200	10.000	65.19	23.00	18.290	
50	17	52	1	6.800	20.800	41.06	12.02	38.044	

Apatite

PR-11

LGI/UFRGS
ZEISS

Cryst.: 50
Area: 50

Ns: 806
RhoS: 6.448

Ni: 435
Rhol: 3.48

Pooled: 1.853	57.9 ± 6.1
Mean: 1.958	61.1 ± 1.7
Central: 1.853	57.9 ± 6.1

Chi-sq.: 9.49 **P (%):** 100.0

Dispersion: 0.00

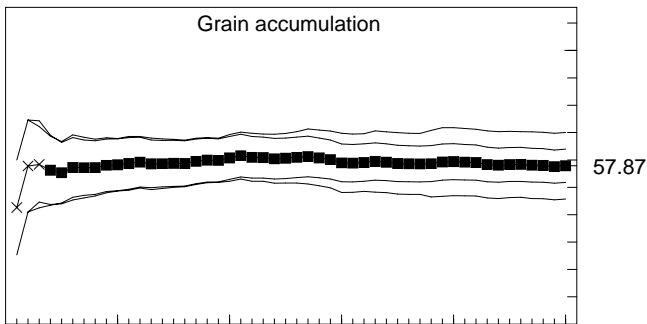
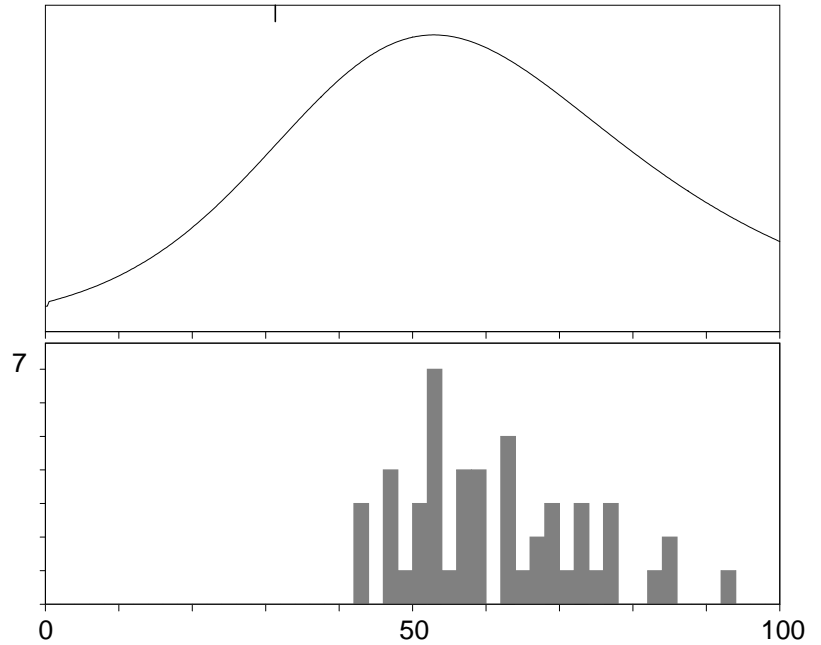
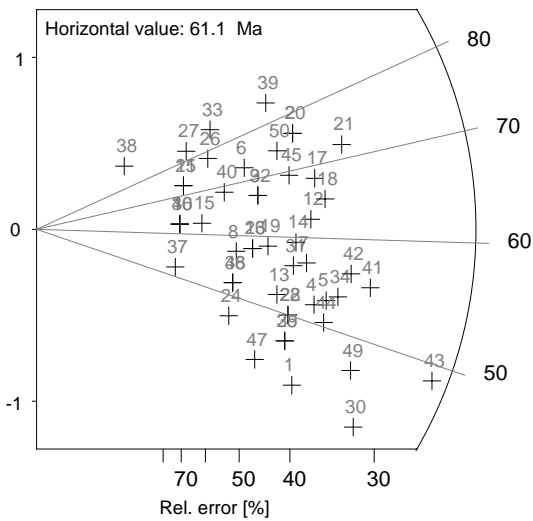
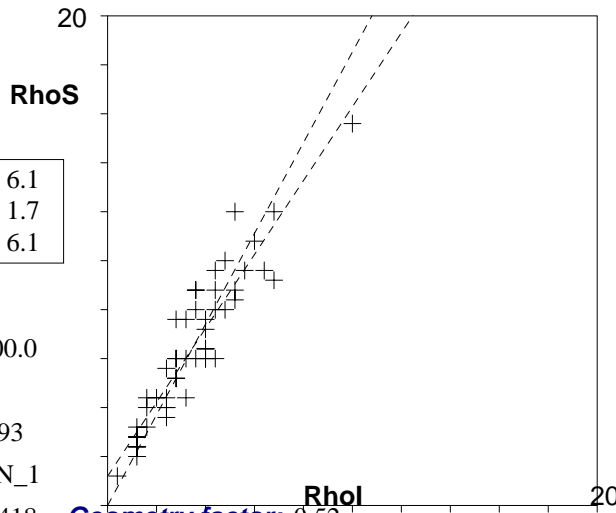
a: 1.198 **b:** 1.509 **r:** 0.93

Irr.: 03-2CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 21148 **RhoD:** 5.418 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 25.56 (± 53 %)

Goodness: n. d.



- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

PR-11 . . .
 50 Apatite crystals Sum. Ns: 806 Sum. Ni: 435
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 03-2CN1 RhoD: 5.418 Nd: 21148

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	15	11	1	6.000	4.400	42.64	17.33	32.322	
2	22	9	1	8.800	3.600	76.24	30.89	26.445	
3	6	3	1	2.400	1.200	62.44	44.49	8.815	
4	20	12	1	8.000	4.800	52.08	19.55	35.260	
5	22	13	1	8.800	5.200	52.88	19.06	38.199	
6	14	6	1	5.600	2.400	72.79	36.08	17.630	
7	20	11	1	8.000	4.400	56.79	21.88	32.322	
8	11	6	1	4.400	2.400	57.26	29.49	17.630	
9	15	7	1	6.000	2.800	66.88	31.16	20.568	
10	6	3	1	2.400	1.200	62.44	44.49	8.815	
11	7	3	1	2.800	1.200	72.79	50.63	8.815	
12	22	11	1	8.800	4.400	62.44	23.69	32.322	
13	15	9	1	6.000	3.600	52.08	22.42	26.445	
14	19	10	1	7.600	4.000	59.34	23.75	29.384	
15	8	4	1	3.200	1.600	62.44	38.62	11.753	
16	13	7	1	5.200	2.800	58.00	27.66	20.568	
17	24	11	1	9.600	4.400	68.09	25.49	32.322	
18	25	12	1	10.000	4.800	65.03	23.53	35.260	
19	15	8	1	6.000	3.200	58.56	26.14	23.507	
20	22	9	1	8.800	3.600	76.24	30.89	26.445	
21	30	13	1	12.000	5.200	72.00	24.71	38.199	
22	16	10	1	6.400	4.000	50.00	20.62	29.384	
23	13	7	1	5.200	2.800	58.00	27.66	20.568	
24	9	6	1	3.600	2.400	46.89	25.05	17.630	
25	7	3	1	2.800	1.200	72.79	50.63	8.815	
26	10	4	1	4.000	1.600	77.96	46.62	11.753	
27	8	3	1	3.200	1.200	83.13	56.74	8.815	
28	16	10	1	6.400	4.000	50.00	20.62	29.384	
29	15	10	1	6.000	4.000	46.89	19.57	29.384	
30	23	17	1	9.200	6.800	42.31	14.02	49.952	
31	18	10	1	7.200	4.000	56.23	22.71	29.384	
32	15	7	1	6.000	2.800	66.88	31.16	20.568	
33	11	4	1	4.400	1.600	85.71	50.59	11.753	
34	24	14	1	9.600	5.600	53.56	18.60	41.137	
35	15	10	1	6.000	4.000	46.89	19.57	29.384	
36	10	6	1	4.000	2.400	52.08	27.27	17.630	
37	5	3	1	2.000	1.200	52.08	38.30	8.815	
38	3	1	1	1.200	.400	93.44	108.20	2.938	
39	19	7	1	7.600	2.800	84.60	38.12	20.568	
40	11	5	1	4.400	2.000	68.66	37.51	14.692	
41	30	17	1	12.000	6.800	55.13	17.41	49.952	
42	27	15	1	10.800	6.000	56.23	18.76	44.075	
43	39	25	1	15.600	10.000	48.76	13.19	73.459	
44	21	13	1	8.400	5.200	50.48	18.35	38.199	
45	20	9	1	8.000	3.600	69.35	28.48	26.445	
46	6	3	1	2.400	1.200	62.44	44.49	8.815	
47	11	8	1	4.400	3.200	43.00	20.32	23.507	
48	10	6	1	4.000	2.400	52.08	27.27	17.630	
49	24	16	1	9.600	6.400	46.89	15.67	47.014	
50	19	8	1	7.600	3.200	74.09	31.88	23.507	

Apatite

PR-12

LGI/UFRGS
Axioplan 2

Cryst.: 21
Area: 21

Ns: 30
RhoS: 0.571

Ni: 383
Rhol: 7.295

Pooled: 0.078	9.9 ± 2.1
Mean: 0.108	13.7 ± 2.4
Central: 0.078	9.9 ± 2.1

Chi-sq.: 15.47 **P (%):** 74.88

Dispersion: 0.00

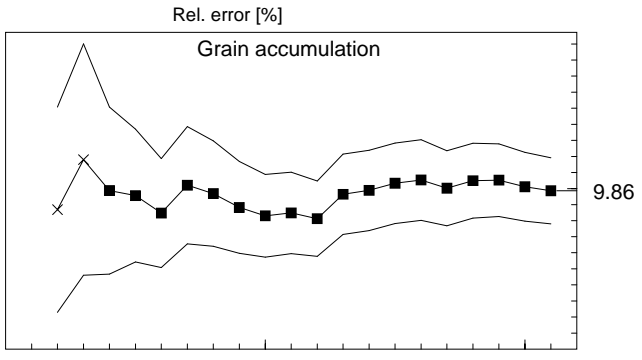
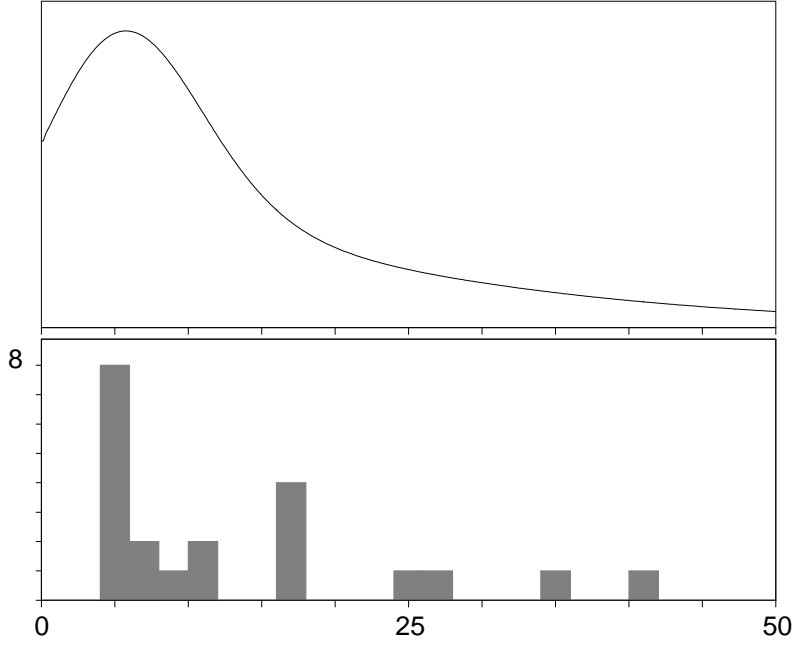
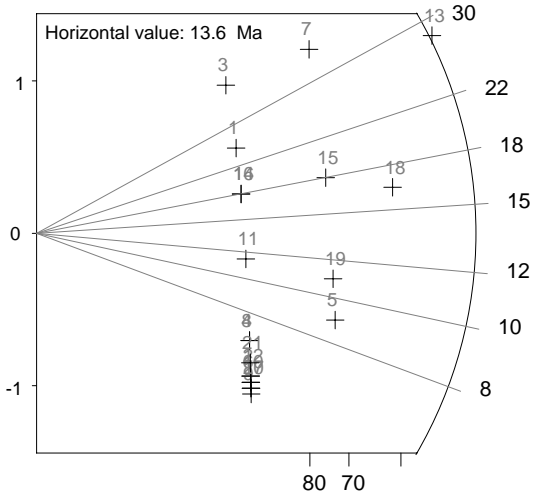
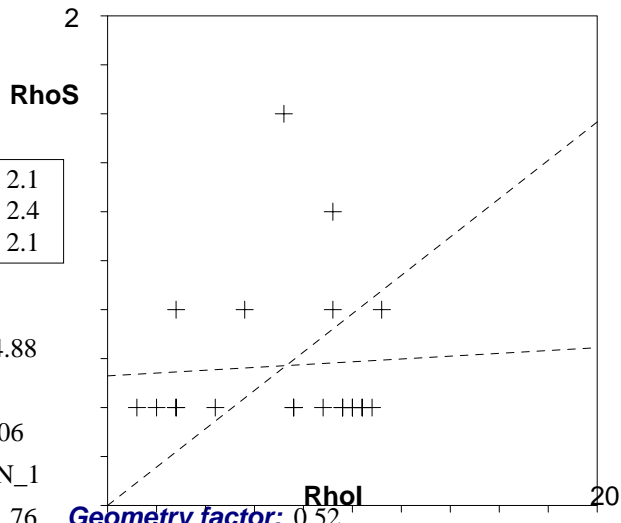
a: 0.53 **b:** 0.006 **r:** 0.06

Irr.: 03-1CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 11290 **RhoD:** 21.76 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 13.34 (± 45 %)

Goodness: n. d.



- 1 \ Poisson (1x)
- 1 \ St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

. PR-12 . . .

21 Apatite crystals Sum. Ns: 30 Sum. Ni: 383

Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500

Glass: CN_1 Irrad. code: 03-1CN1 RhoD: 21.76 Nd: 11290

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	1	5	1	.400	2.000	25.15	27.64	3.658	
2	1	24	1	.400	9.600	5.25	5.38	17.559	
3	1	3	1	.400	1.200	41.87	48.48	2.195	
4	1	19	1	.400	7.600	6.63	6.83	13.901	
5	2	28	1	.800	11.200	8.99	6.63	20.485	
6	1	25	1	.400	10.000	5.04	5.16	18.290	
7	2	7	1	.800	2.800	35.90	28.95	5.121	
8	1	19	1	.400	7.600	6.63	6.83	13.901	
9	1	27	1	.400	10.800	4.67	4.77	19.754	
10	1	25	1	.400	10.000	5.04	5.16	18.290	
11	1	11	1	.400	4.400	11.44	12.00	8.048	
12	1	24	1	.400	9.600	5.25	5.38	17.559	
13	4	18	1	1.600	7.200	27.94	15.64	13.169	
14	1	7	1	.400	2.800	17.98	19.28	5.121	
15	2	14	1	.800	5.600	17.98	13.68	10.243	
16	1	7	1	.400	2.800	17.98	19.28	5.121	
17	1	26	1	.400	10.400	4.84	4.95	19.022	
18	3	23	1	1.200	9.200	16.41	10.18	16.827	
19	2	23	1	.800	9.200	10.95	8.13	16.827	
20	1	26	1	.400	10.400	4.84	4.95	19.022	
21	1	22	1	.400	8.800	5.73	5.87	16.096	

Apatite

PR-13

LGI/UFRGS
Olympus

Cryst.: Area:
25 25

Ns: RhoS:
165 2.64

Ni: Rhol:
131 2.096

Pooled:	1.26	65.6 ± 9.0
Mean:	1.357	70.7 ± 6.7
Central:	1.26	65.6 ± 9.0

Chi-sq.: 13.81 P (%): 95.07

Dispersion: 0.00

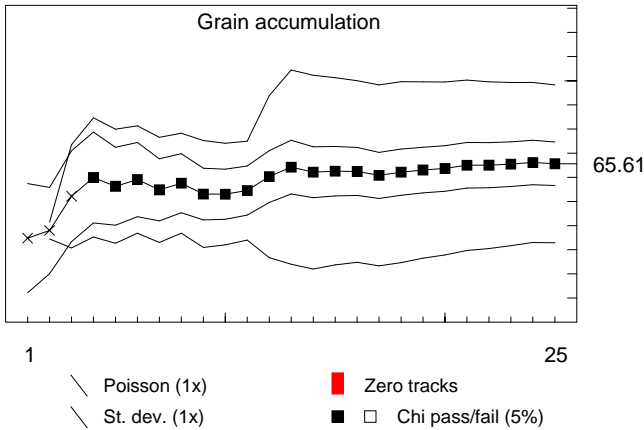
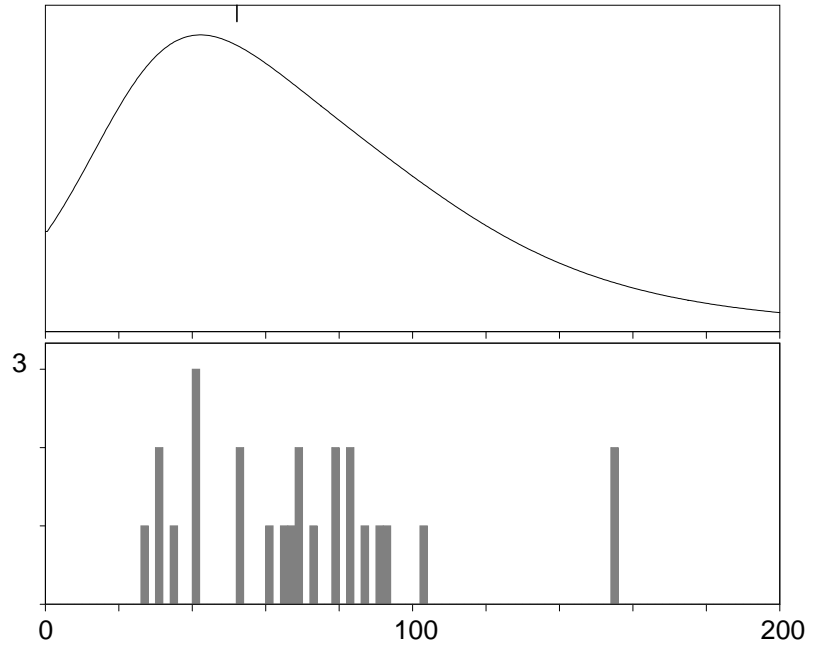
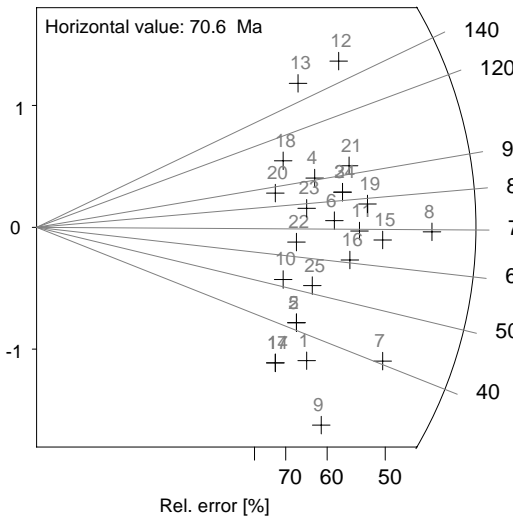
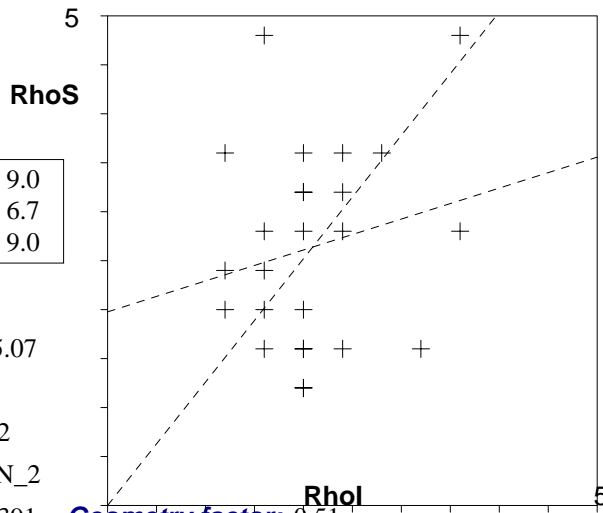
a: 1.978 b: 0.316 r: 0.2

Irr.: 03-2CN2 Glass: CN_2

Nd: 7122 RhoD: 7.391 Geometry factor: 0.51

Zeta: 138.9 ± 10 U.: 10.35 (± 31 %)

Goodness: n. d.



. PR-13 . .
25 Apatite crystals Sum. Ns: 165 Sum. Ni: 131
Zeta: 138.9 +- 10 Micr. grid.: 2500
Glass: CN_2 Irrad. code: 03-2CN2 RhoD: 7.391 Nd: 7122

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	Rhol	Age	+-	1s	Uran.
1	4	6	1	1.600	2.400	34.81	22.61	11.852	
2	4	5	1	1.600	2.000	41.75	28.17	9.877	
3	8	5	1	3.200	2.000	83.23	47.84	9.877	
4	7	4	1	2.800	1.600	90.98	57.41	7.902	
5	4	5	1	1.600	2.000	41.75	28.17	9.877	
6	7	5	1	2.800	2.000	72.89	43.01	9.877	
7	7	9	1	2.800	3.600	40.59	20.67	17.778	
8	12	9	1	4.800	3.600	69.43	31.03	17.778	
9	4	8	1	1.600	3.200	26.13	16.11	15.803	
10	4	4	1	1.600	1.600	52.15	37.07	7.902	
11	8	6	1	3.200	2.400	69.43	37.84	11.852	
12	12	4	1	4.800	1.600	155.19	90.31	7.902	
13	9	3	1	3.600	1.200	155.19	104.08	5.926	
14	3	5	1	1.200	2.000	31.34	23.00	9.877	
15	9	7	1	3.600	2.800	66.97	34.10	13.828	
16	7	6	1	2.800	2.400	60.80	34.11	11.852	
17	3	5	1	1.200	2.000	31.34	23.00	9.877	
18	6	3	1	2.400	1.200	103.87	73.84	5.926	
19	9	6	1	3.600	2.400	78.06	41.53	11.852	
20	5	3	1	2.000	1.200	86.68	63.61	5.926	
21	9	5	1	3.600	2.000	93.56	52.63	9.877	
22	5	4	1	2.000	1.600	65.12	43.94	7.902	
23	6	4	1	2.400	1.600	78.06	50.71	7.902	
24	8	5	1	3.200	2.000	83.23	47.84	9.877	
25	5	5	1	2.000	2.000	52.15	33.20	9.877	

Apatite

PR-14

LGI/UFRGS
axioplan 2

Cryst.: 35
Area: 35

Ns: 228
RhoS: 2.606

Ni: 713
Rhol: 8.149

Pooled: 0.32	40.2 ± 4.6
Mean: 0.365	45.9 ± 3.4
Central: 0.32	40.2 ± 4.6

Chi-sq.: 24.69 **P (%)**: 87.88

Dispersion: 0.00

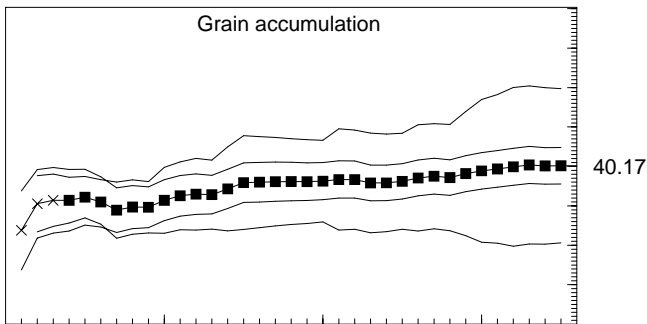
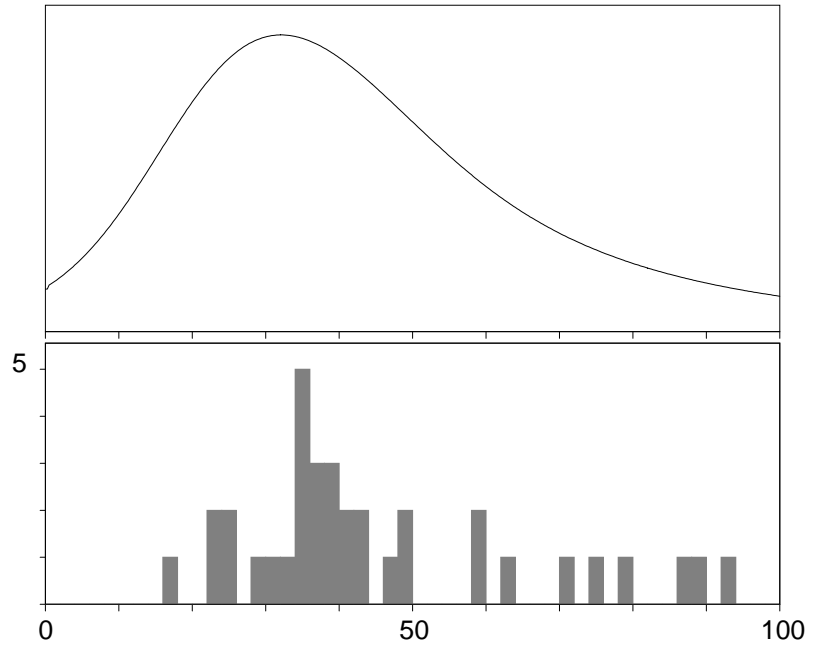
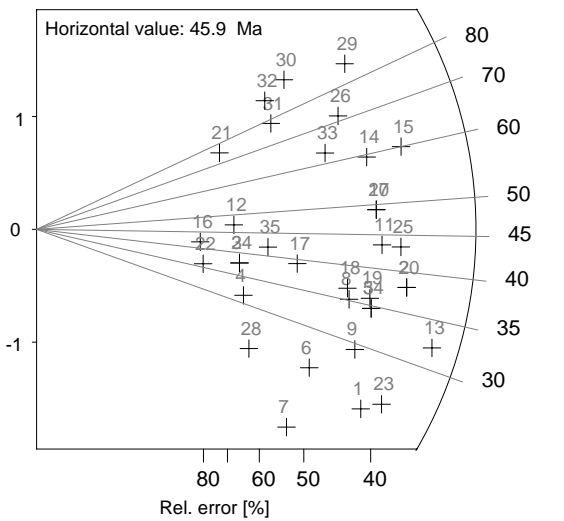
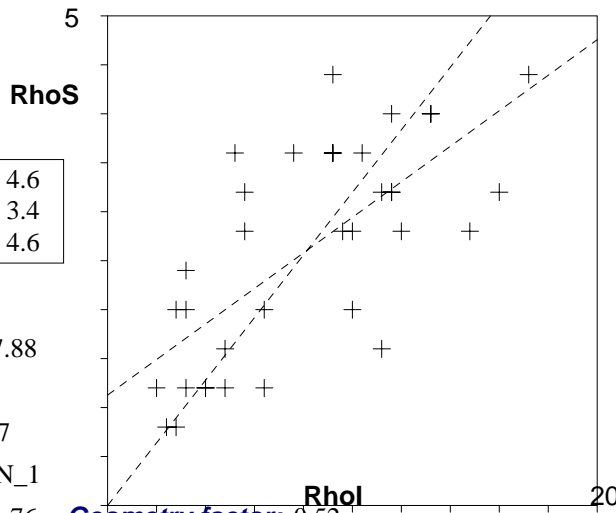
a: 1.126 **b:** 0.182 **r:** 0.7

Irr.: 03-1CN1 **Glass:** CN_1

Nd: 11290 **RhoD:** 21.76 **Geometry factor:** 0.52

Zeta: 111.36 ± 9.65 **U.:** 14.9 (± 52 %)

Goodness: n. d.



1 35

- Poisson (1x)
- St. dev. (1x)
- Zero tracks
- Chi pass/fail (5%)

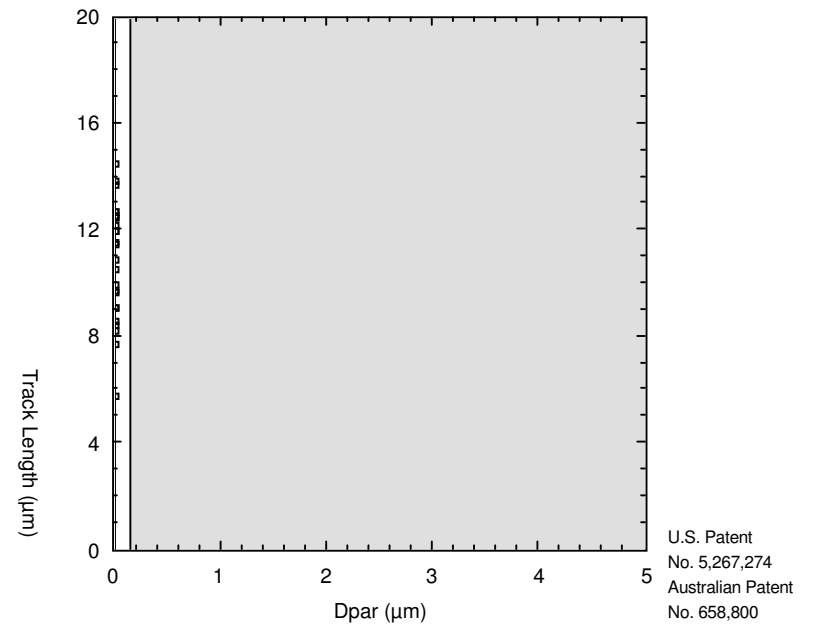
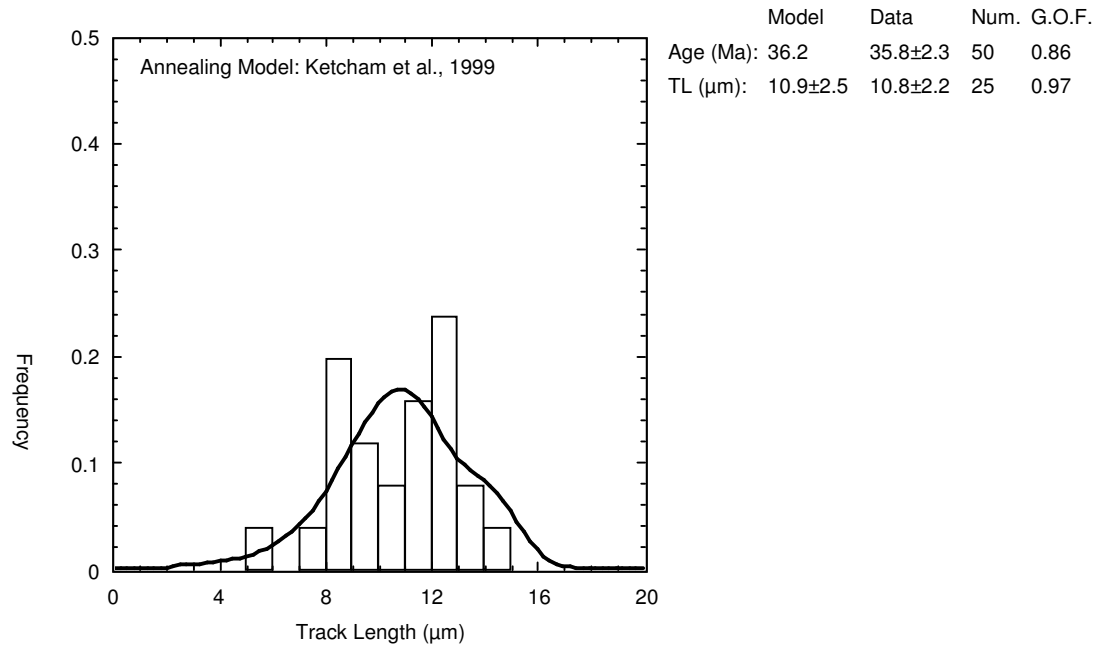
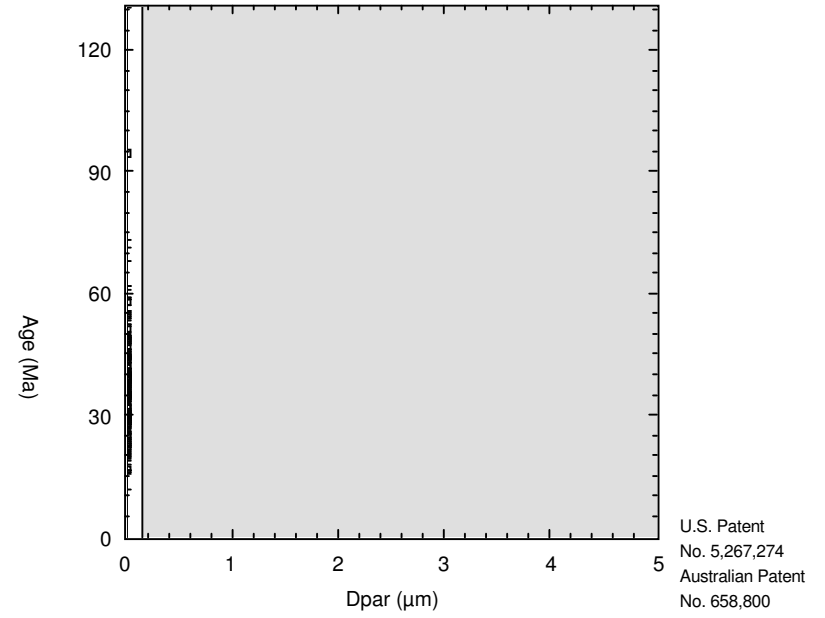
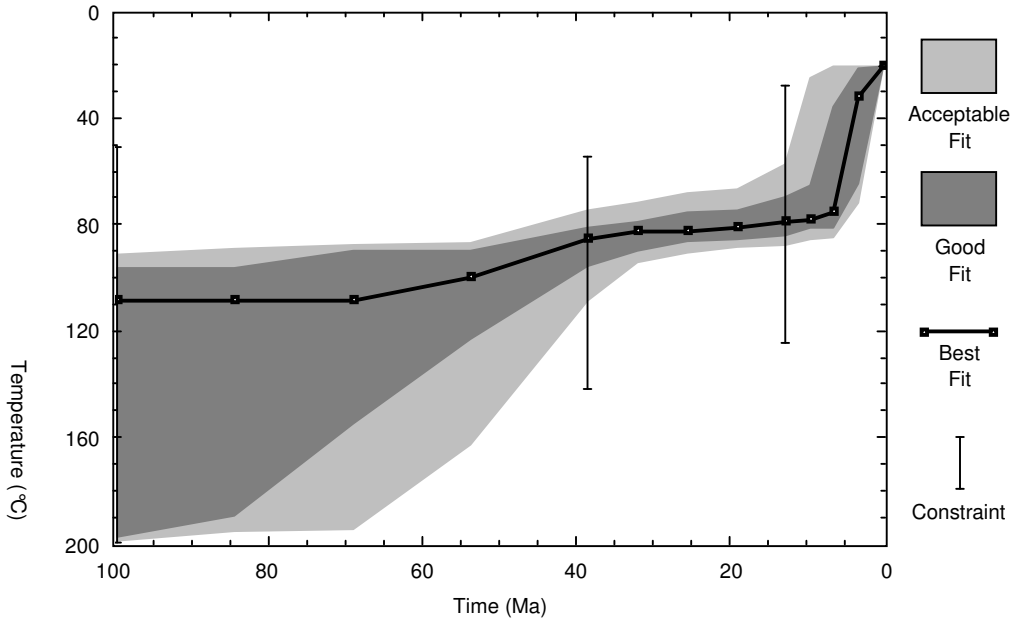
PR-14 . . .
 35 Apatite crystals Sum. Ns: 228 Sum. Ni: 713
 Zeta: 111.36 +- 9.65 Micr. grid.: 2500
 Glass: CN_1 Irrad. code: 03-1CN1 RhoD: 21.76 Nd: 11290

Cryst	Ns	Ni	A	RhoS	RhoL	Age	+-	1s	Uran.
1	7	37	1	2.800	14.800	23.80	10.02	27.070	
2	10	33	1	4.000	13.200	38.07	14.14	24.143	
3	3	10	1	1.200	4.000	37.69	25.03	7.316	
4	3	12	1	1.200	4.800	31.42	20.47	8.779	
5	8	29	1	3.200	11.600	34.67	14.17	21.217	
6	5	25	1	2.000	10.000	25.15	12.52	18.290	
7	4	28	1	1.600	11.200	17.98	9.74	20.485	
8	7	25	1	2.800	10.000	35.19	15.36	18.290	
9	7	30	1	2.800	12.000	29.33	12.58	21.949	
10	9	23	1	3.600	9.200	49.12	19.78	16.827	
11	9	26	1	3.600	10.400	43.47	17.23	19.022	
12	3	8	1	1.200	3.200	47.08	32.14	5.853	
13	11	43	1	4.400	17.200	32.15	11.22	31.460	
14	9	19	1	3.600	7.600	59.41	24.59	13.901	
15	11	23	1	4.400	9.200	59.98	22.60	16.827	
16	2	6	1	.800	2.400	41.87	34.38	4.390	
17	5	16	1	2.000	6.400	39.26	20.40	11.706	
18	7	24	1	2.800	9.600	36.65	16.06	17.559	
19	8	28	1	3.200	11.200	35.90	14.73	20.485	
20	10	33	1	4.000	13.200	38.07	14.14	24.143	
21	3	5	1	1.200	2.000	75.16	55.28	3.658	
22	2	7	1	.800	2.800	35.90	28.95	5.121	
23	8	40	1	3.200	16.000	25.15	9.99	29.265	
24	3	10	1	1.200	4.000	37.69	25.03	7.316	
25	10	29	1	4.000	11.600	43.30	16.32	21.217	
26	8	14	1	3.200	5.600	71.60	32.34	10.243	
27	9	23	1	3.600	9.200	49.12	19.78	16.827	
28	3	16	1	1.200	6.400	23.58	14.98	11.706	
29	9	13	1	3.600	5.200	86.65	38.33	9.511	
30	6	8	1	2.400	3.200	93.82	51.32	5.853	
31	5	8	1	2.000	3.200	78.28	45.14	5.853	
32	5	7	1	2.000	2.800	89.38	52.91	5.121	
33	7	14	1	2.800	5.600	62.70	29.53	10.243	
34	8	29	1	3.200	11.600	34.67	14.17	21.217	
35	4	12	1	1.600	4.800	41.87	24.45	8.779	

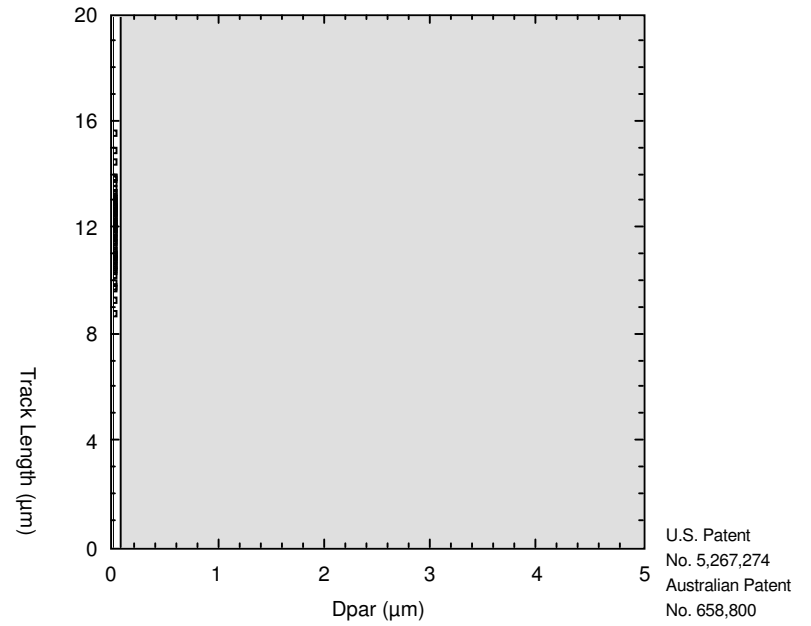
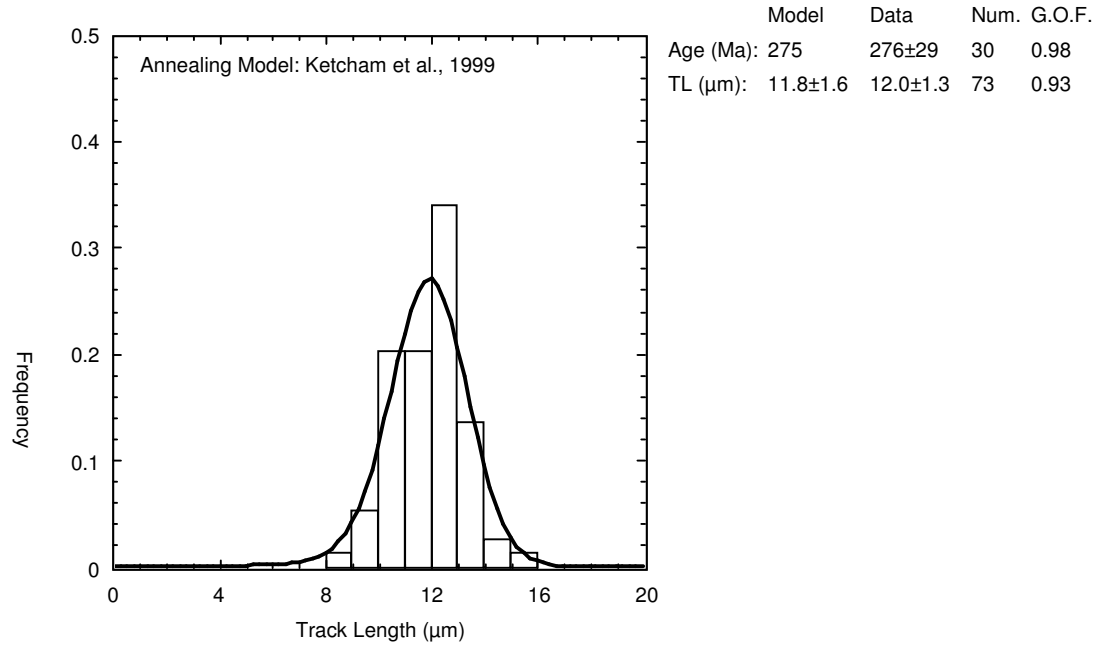
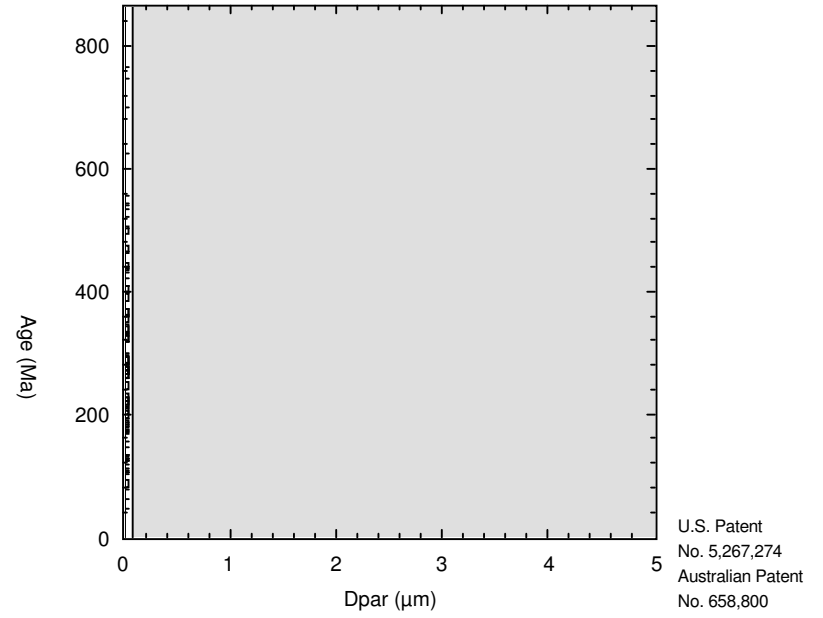
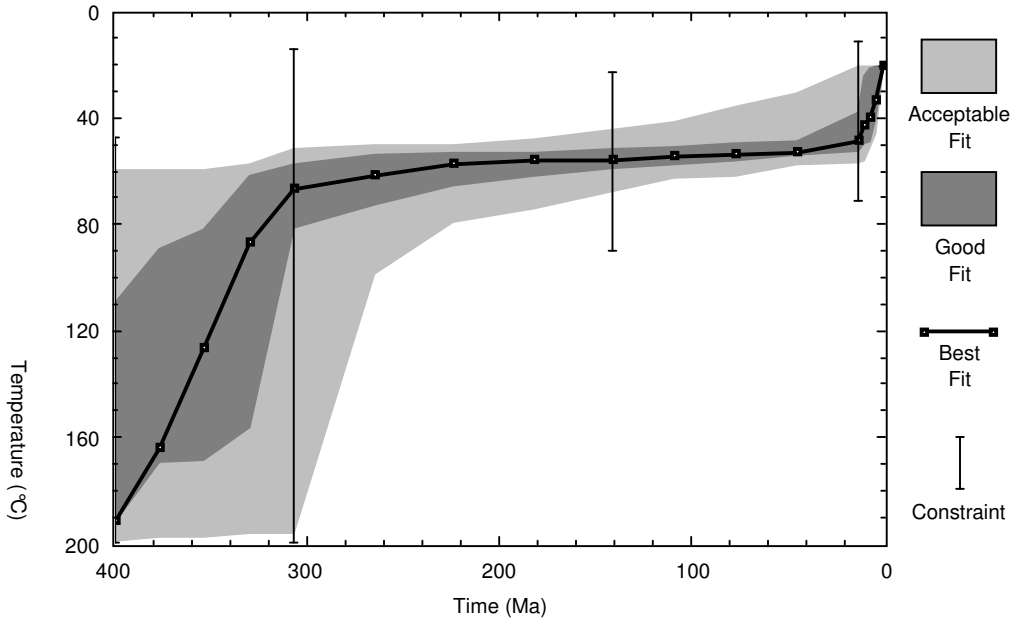
**ANEXO 2 –
MODELAMENTOS**

URUGUAI

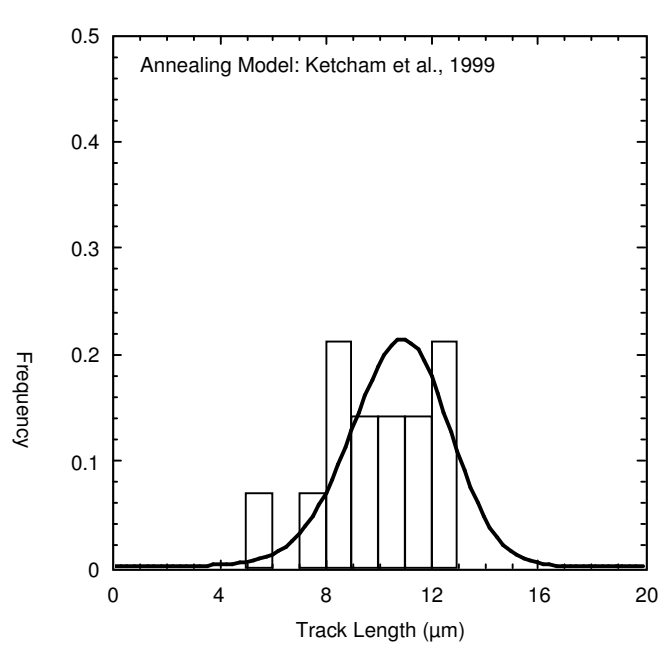
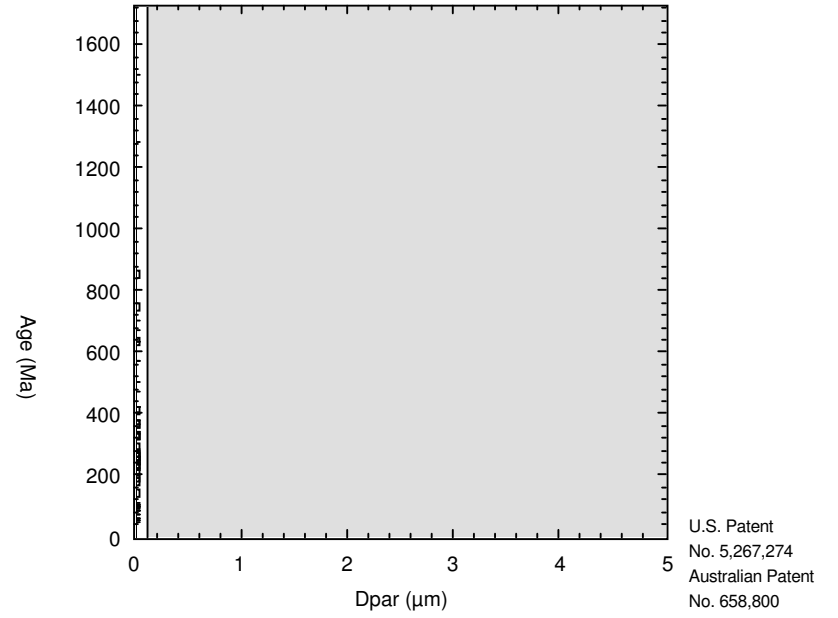
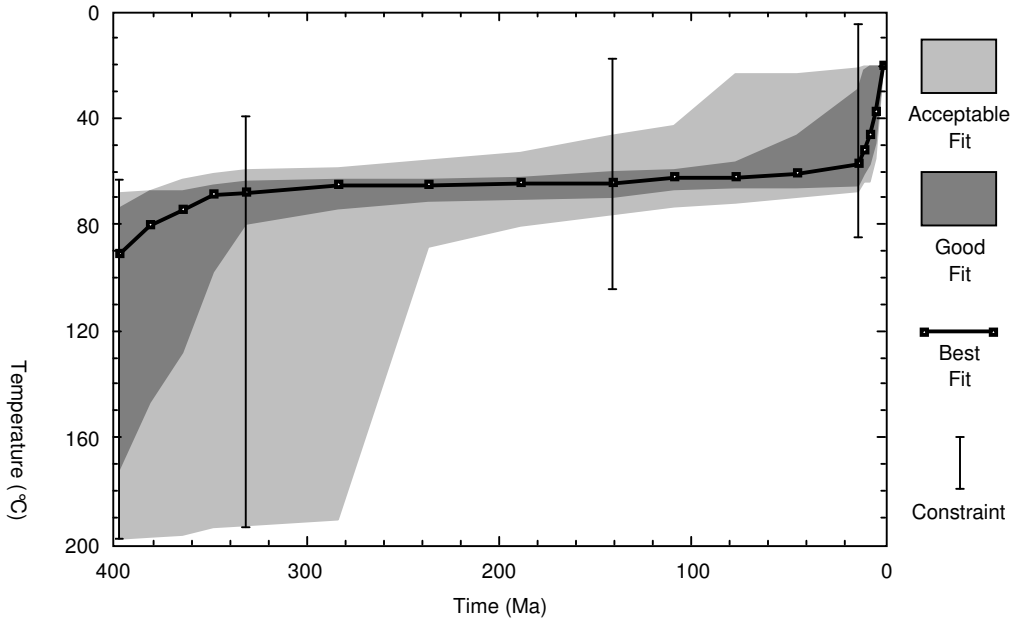
U-1



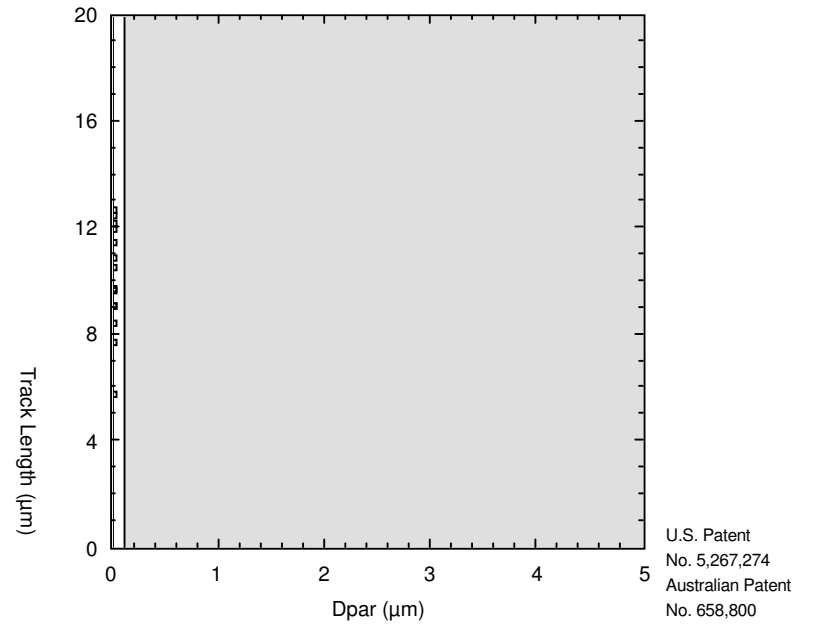
U-2



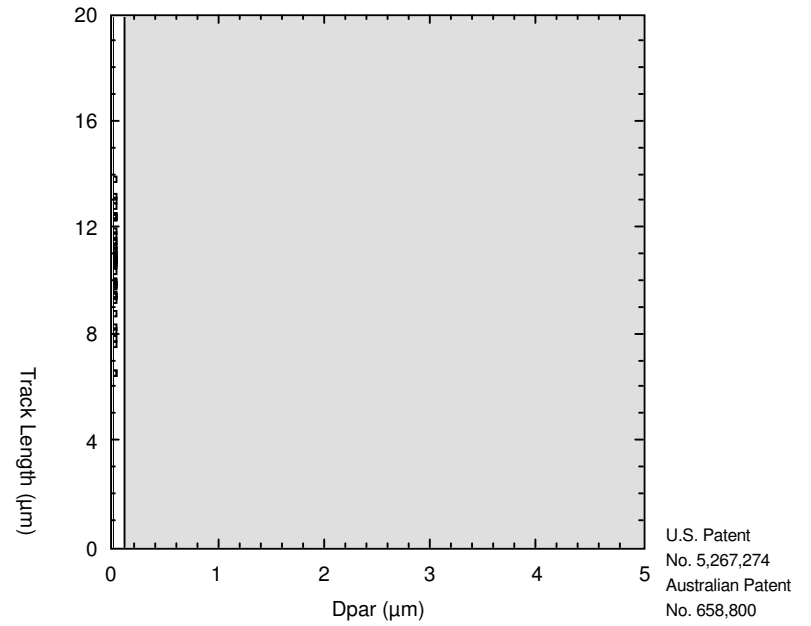
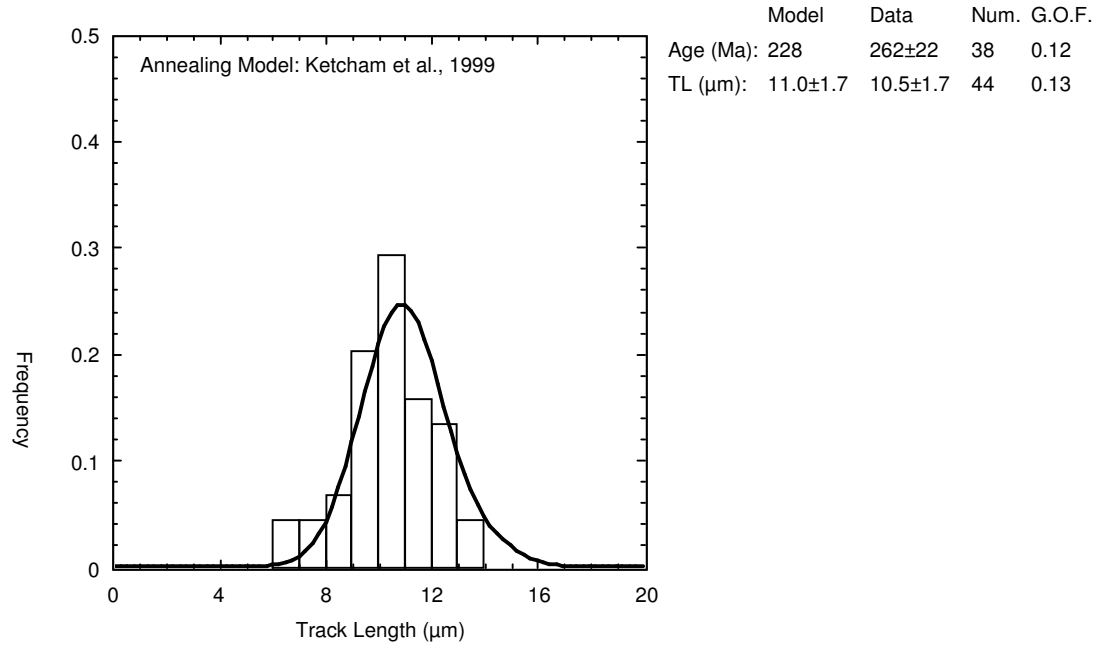
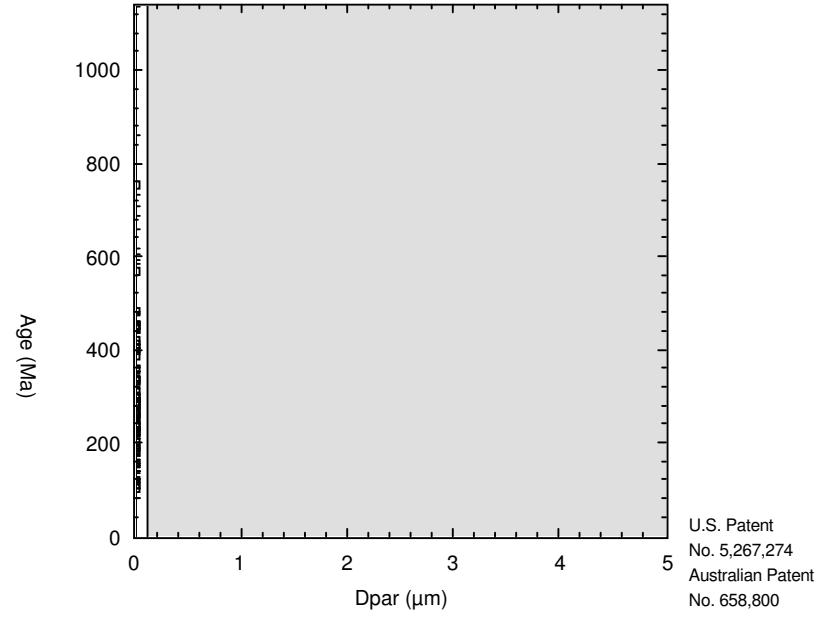
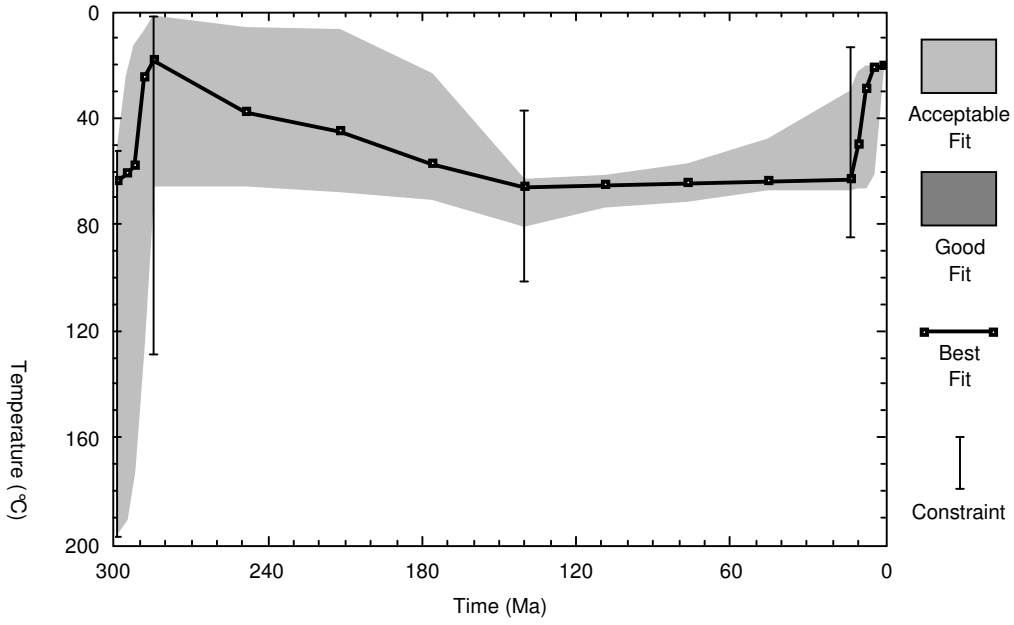
U-3



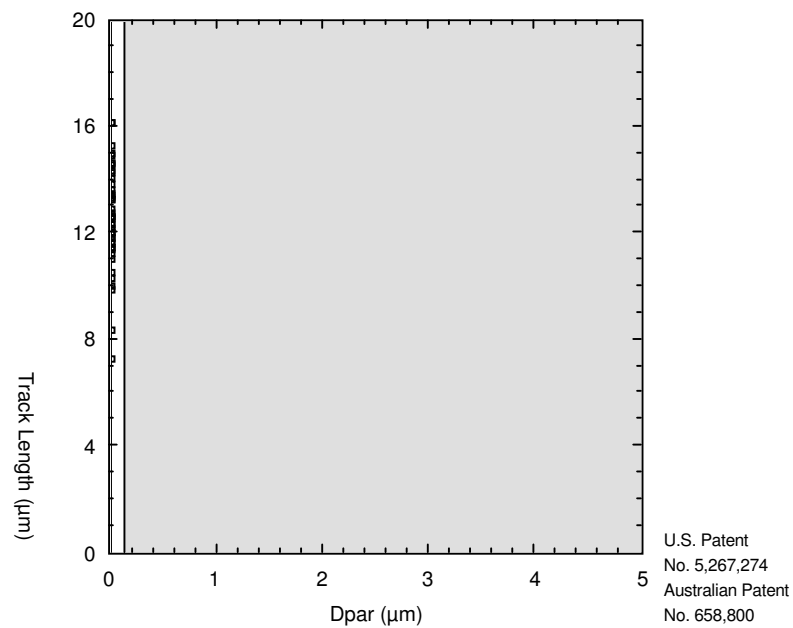
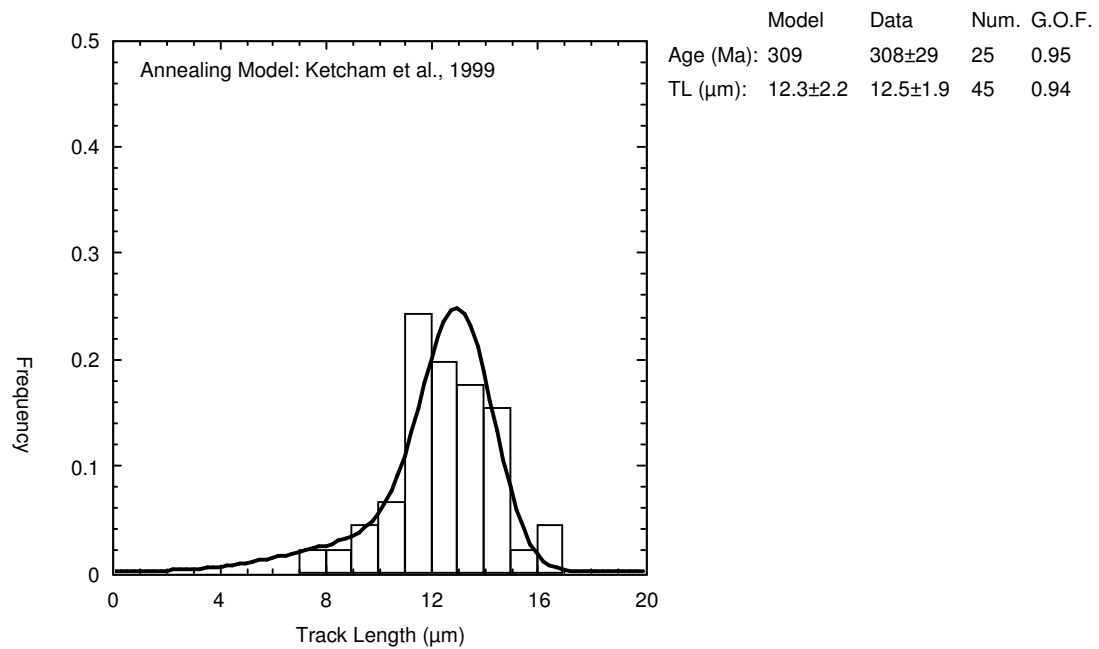
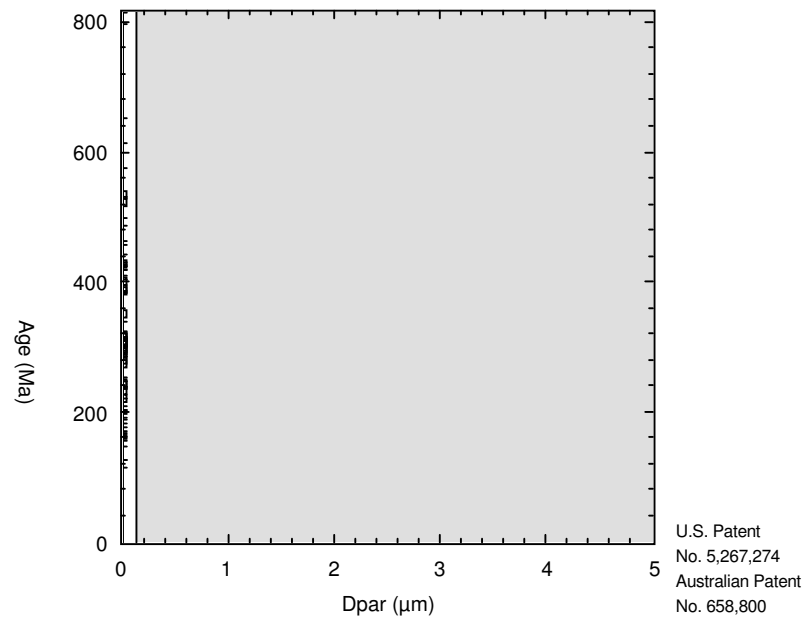
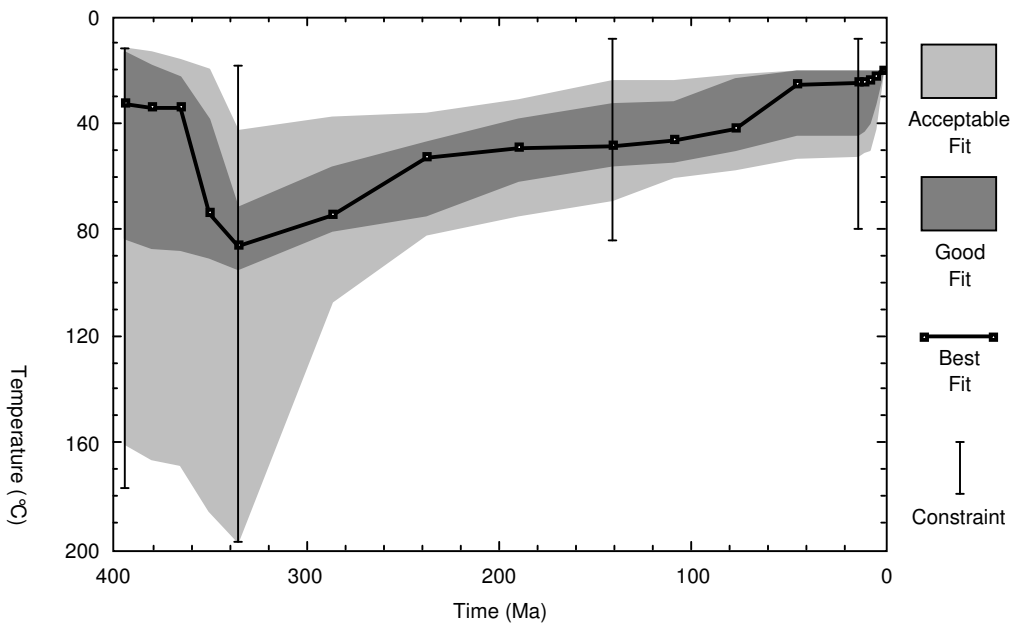
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	286	285±45	23	0.99
TL (μm):	10.7±1.9	10.0±2.0	14	0.78



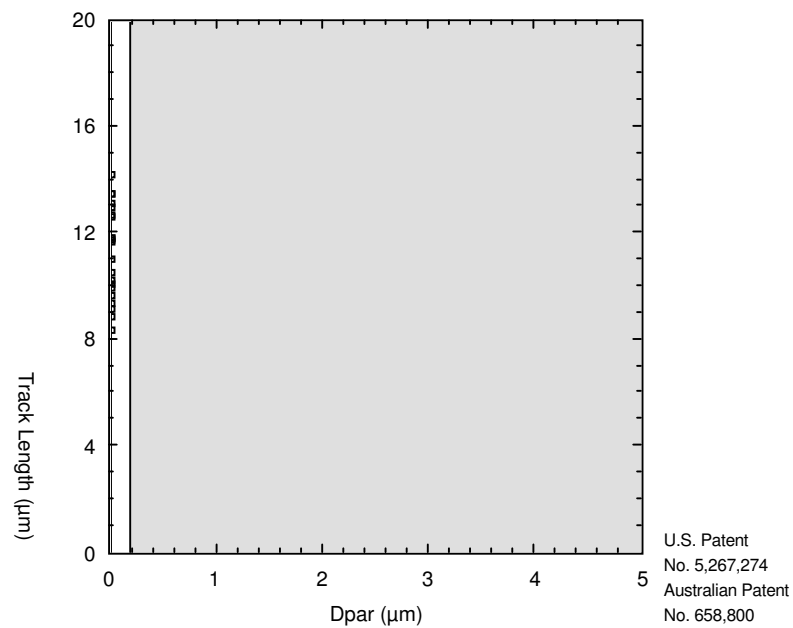
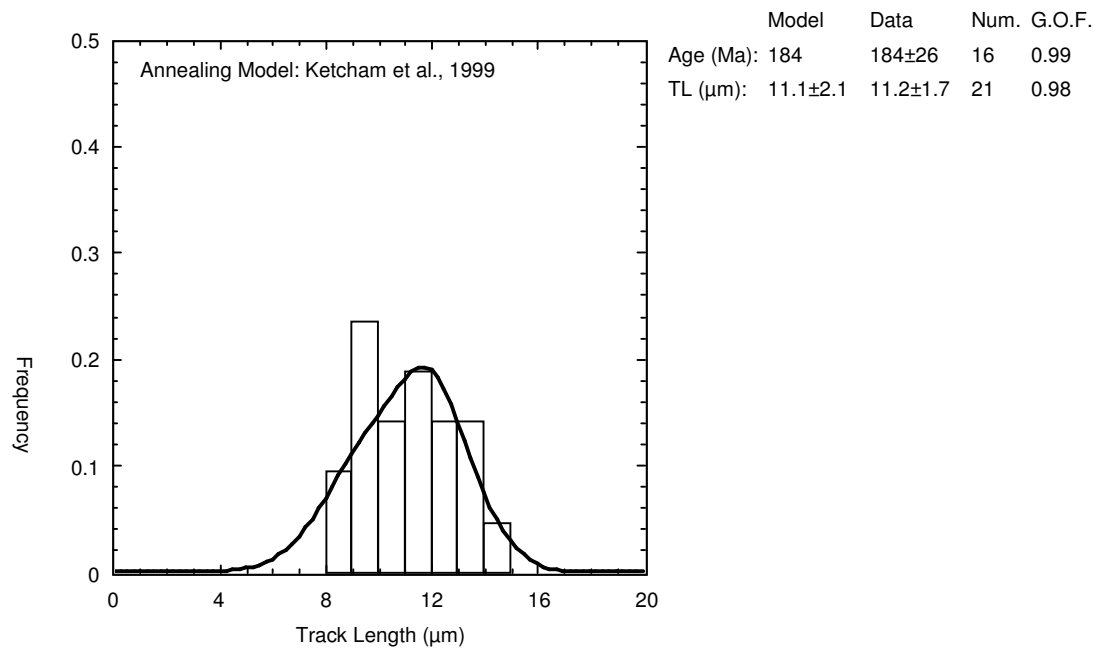
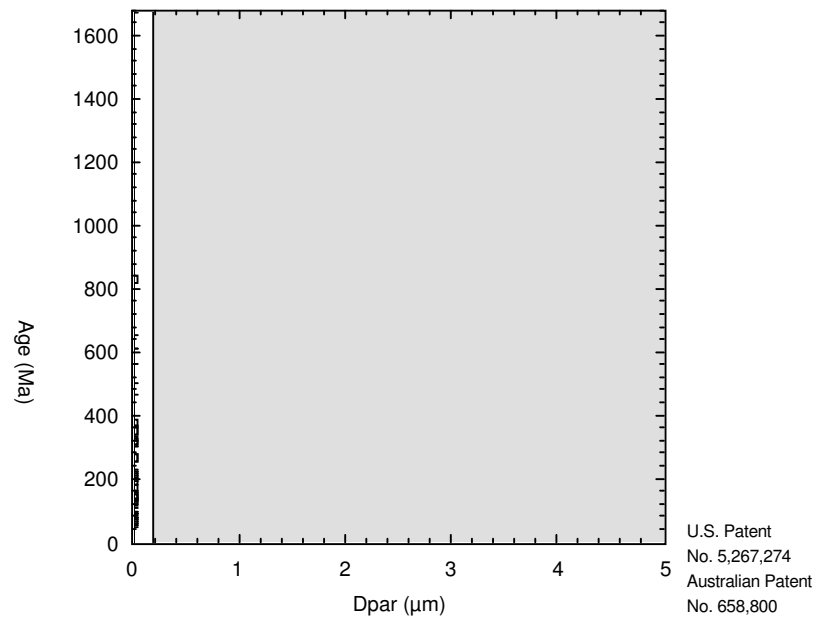
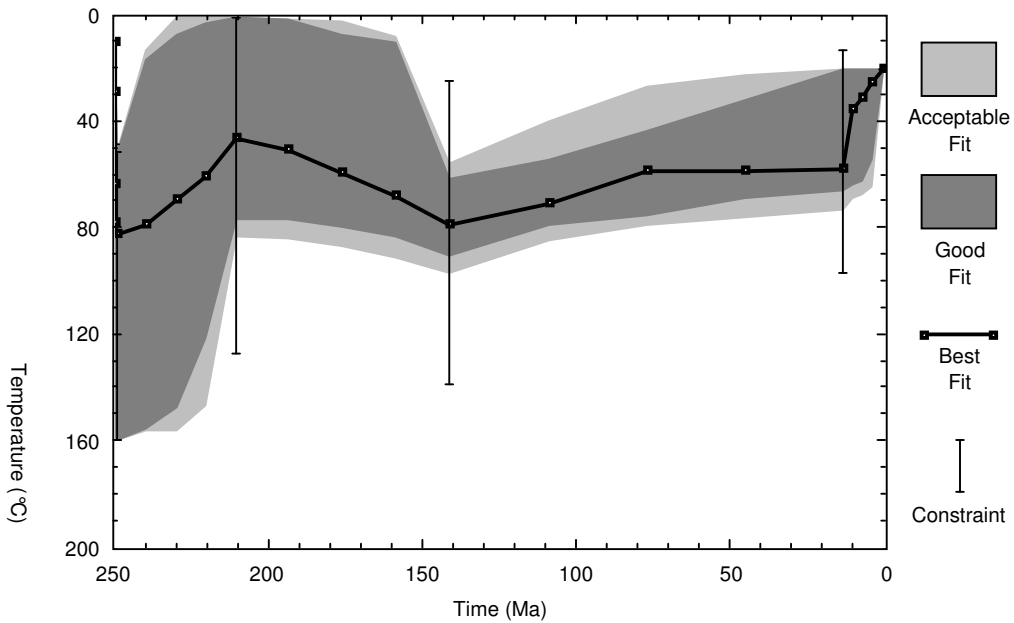
U-5



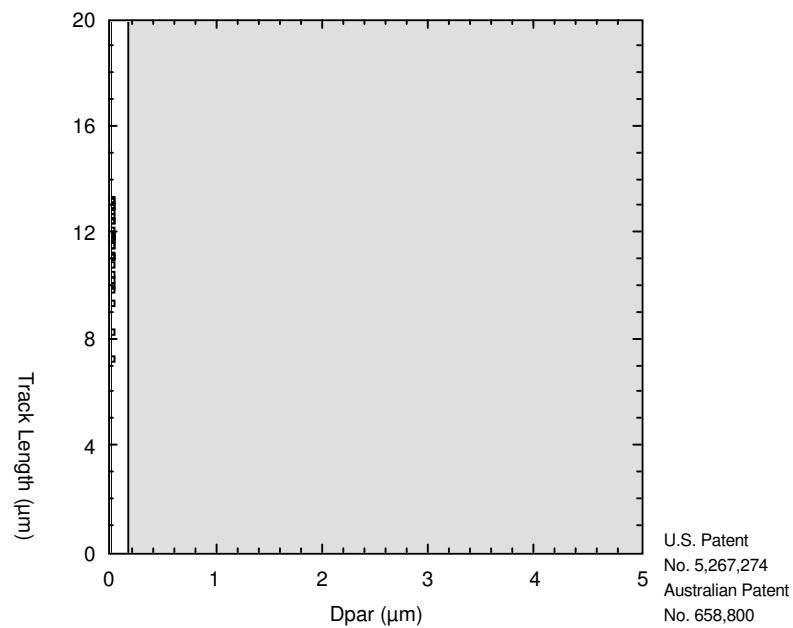
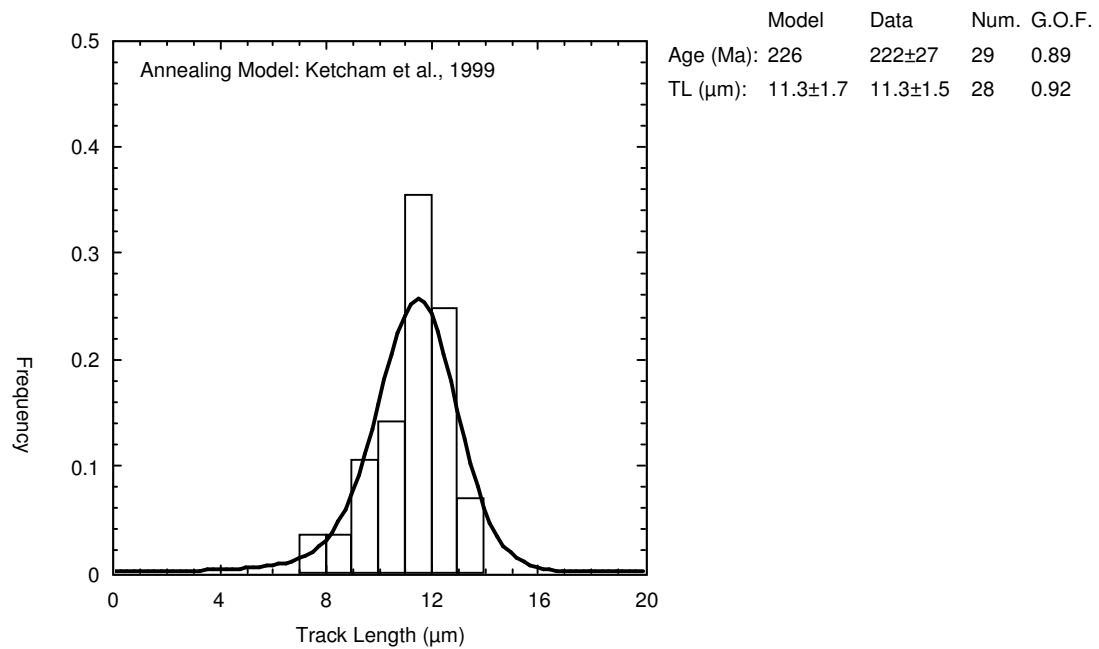
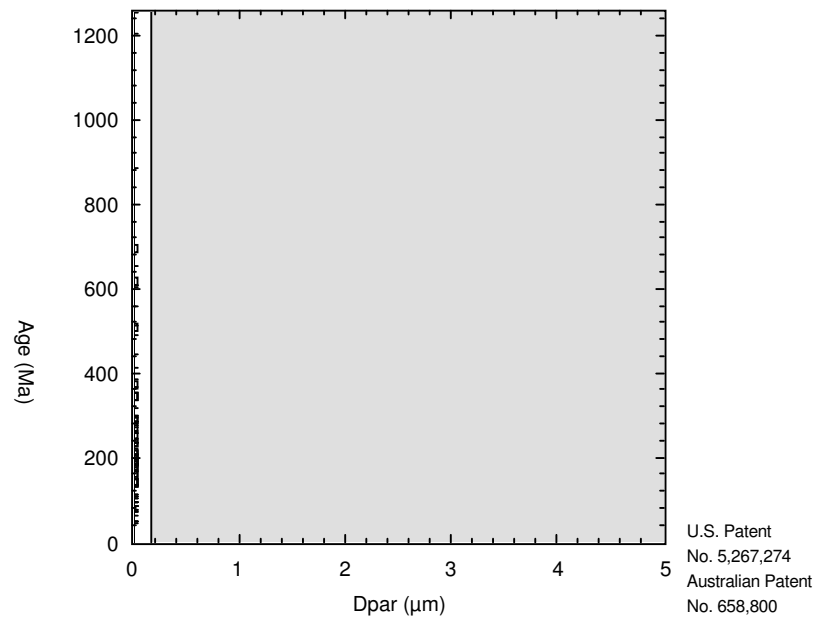
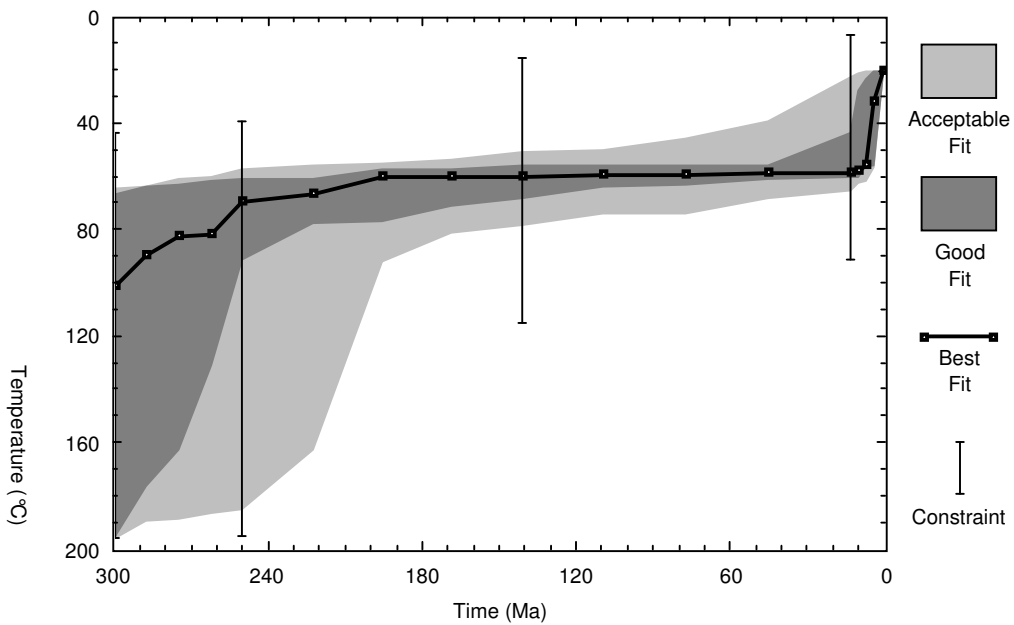
UR-4



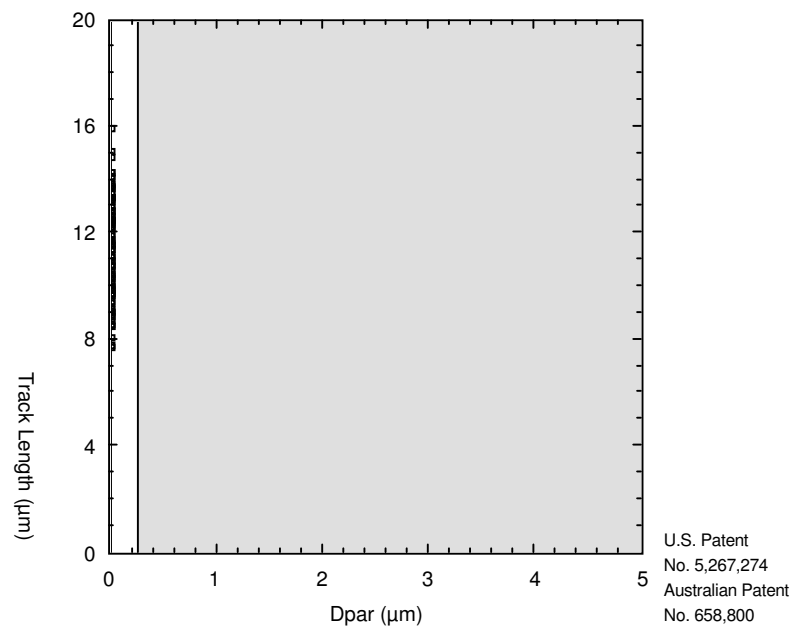
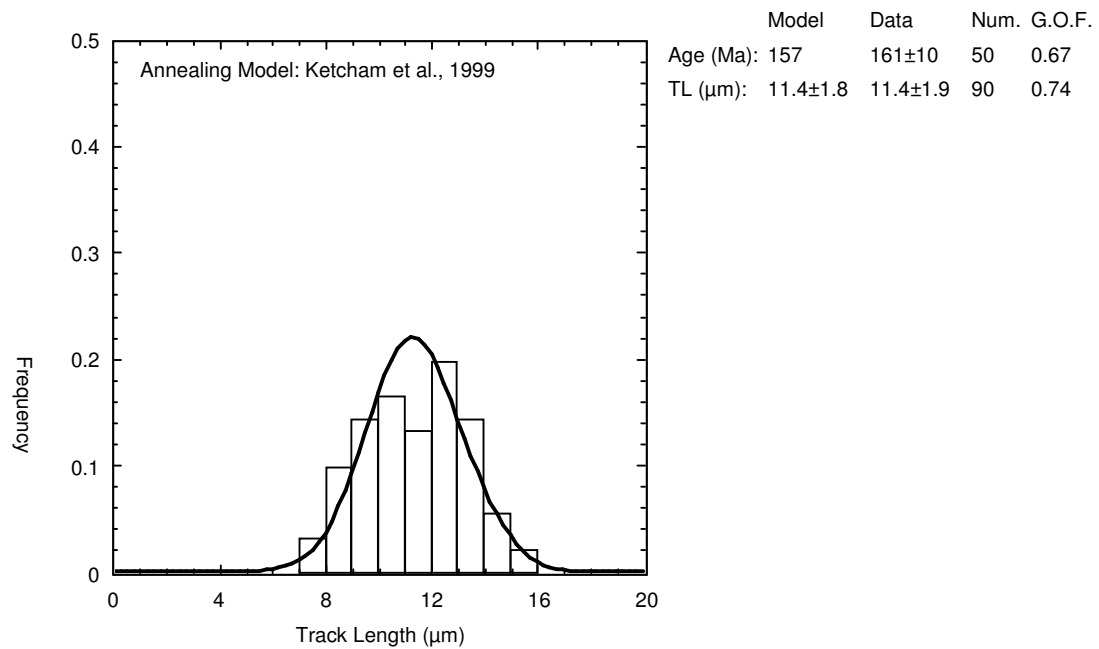
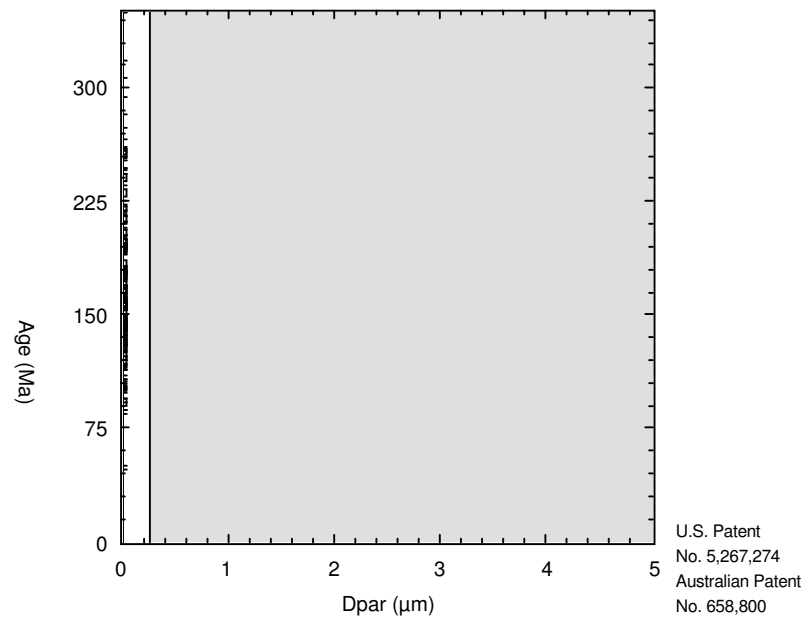
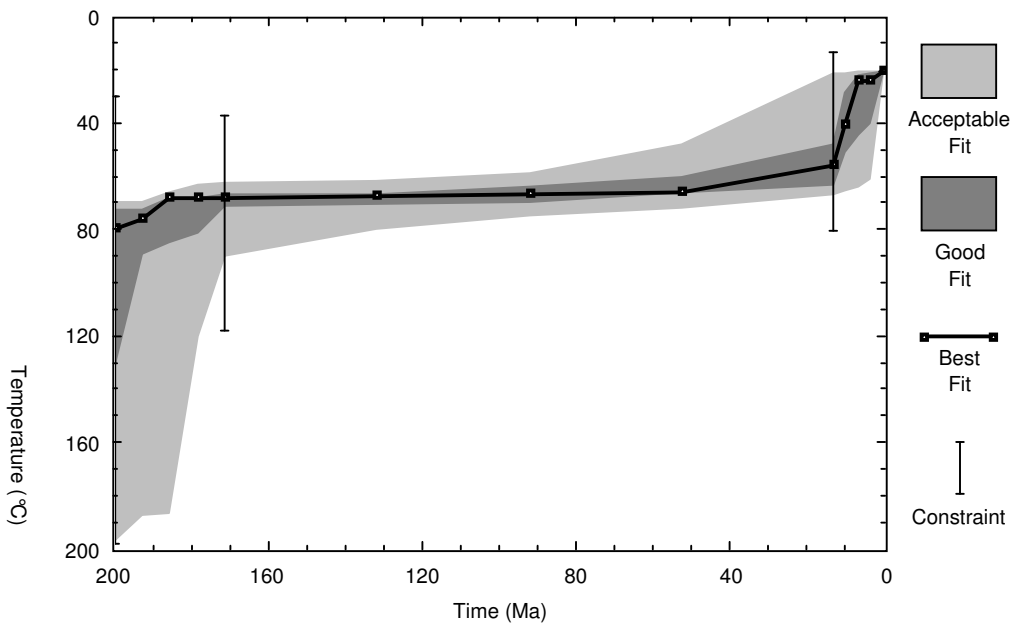
UR-7



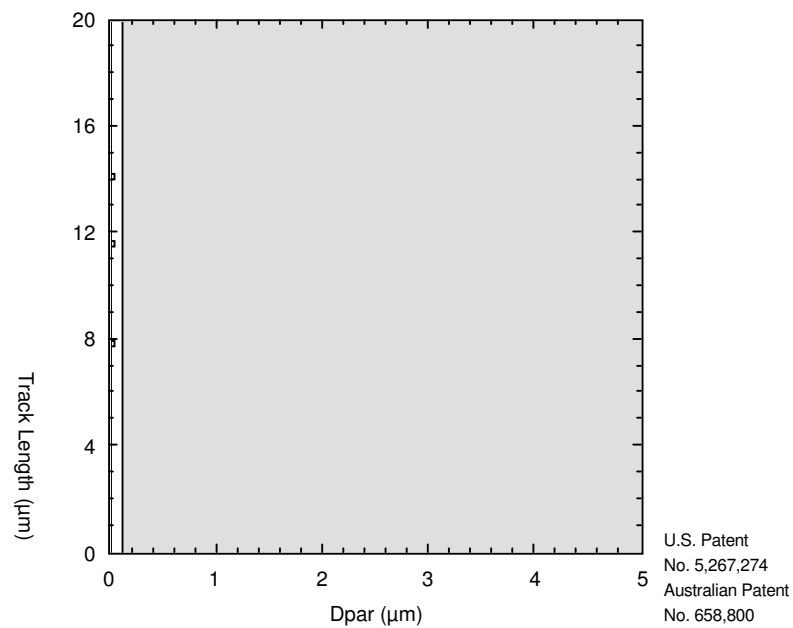
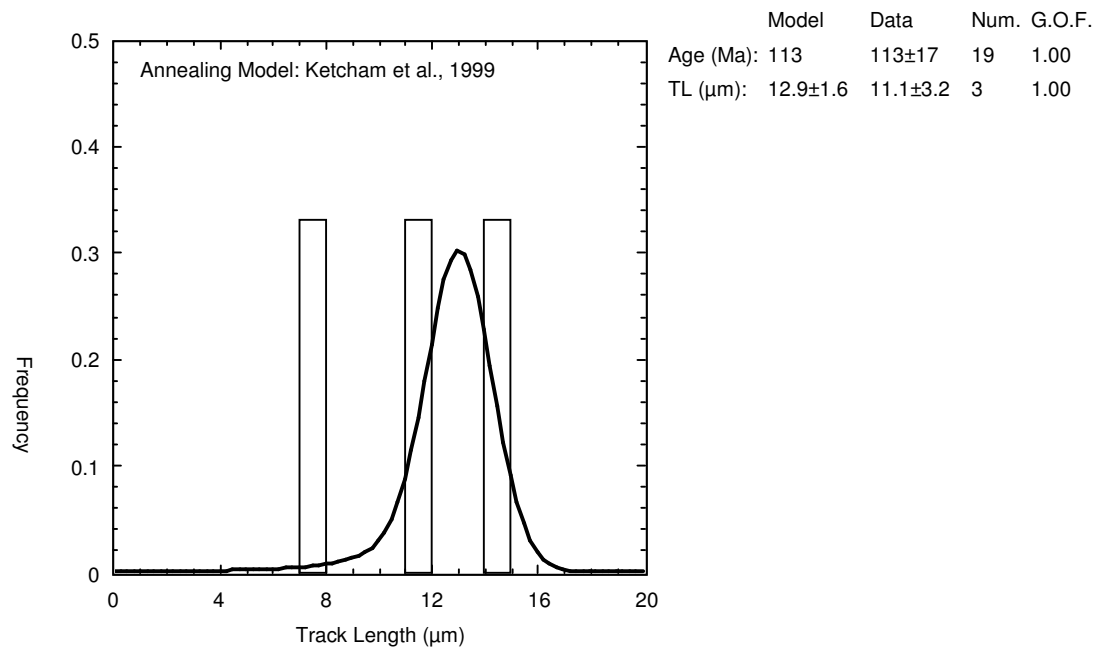
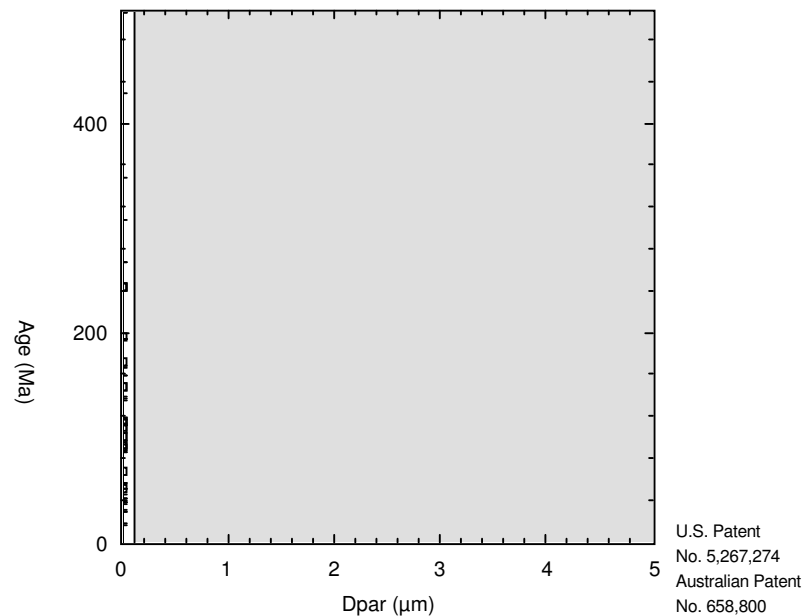
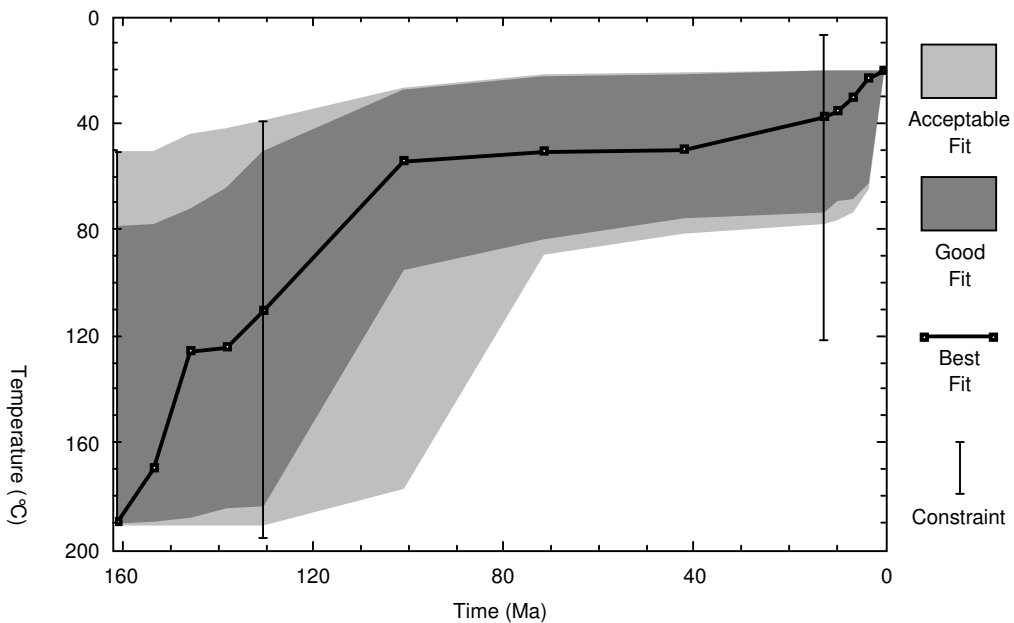
UR-8



UR-9

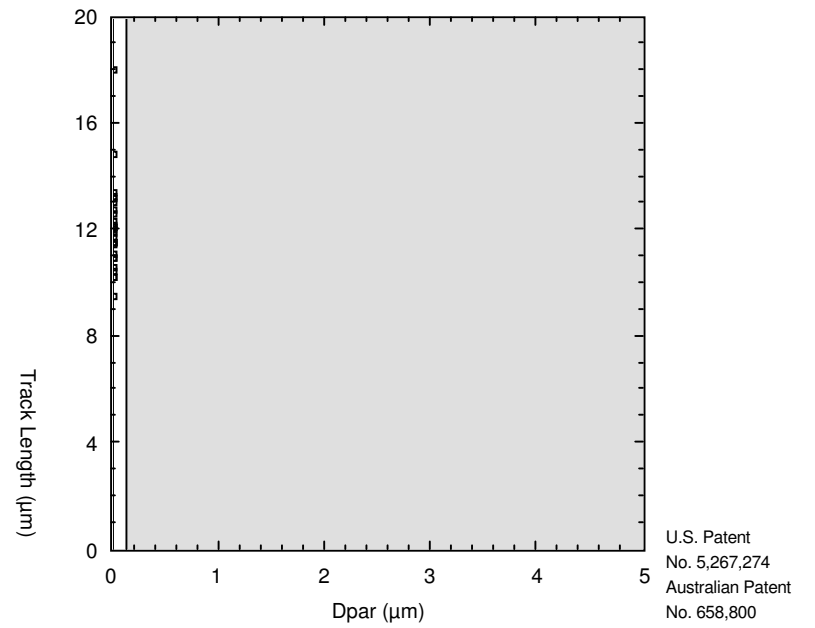
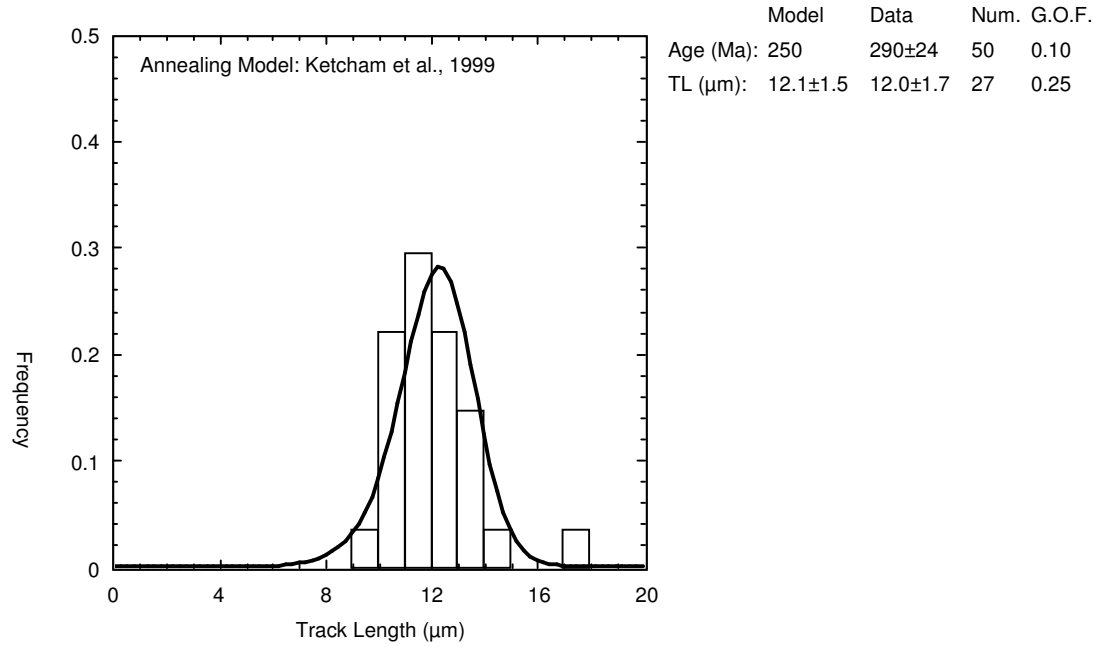
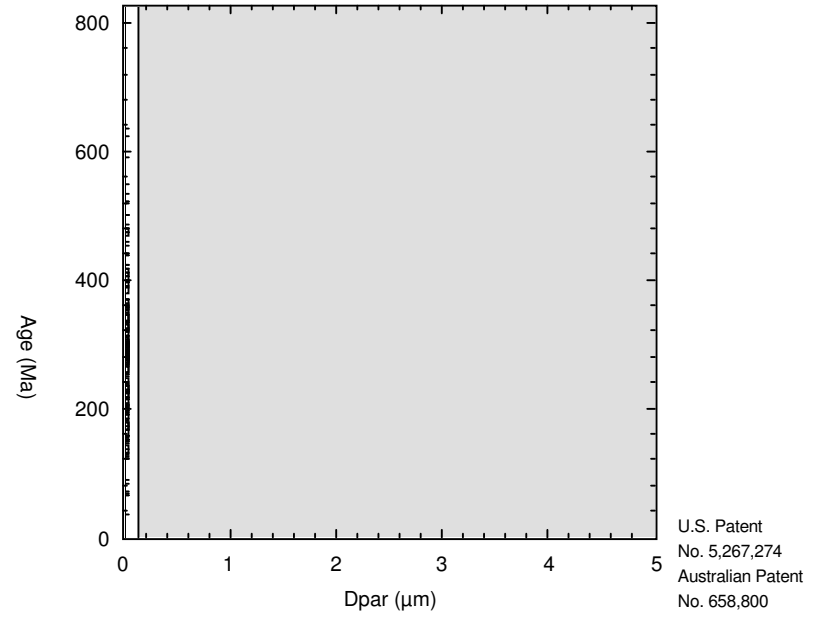
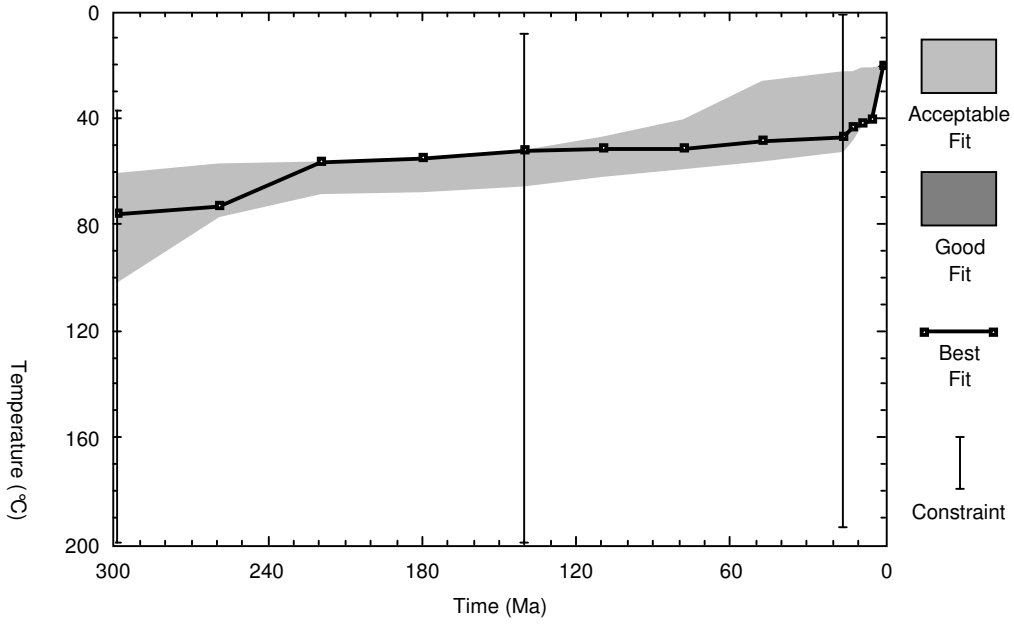


UR-10

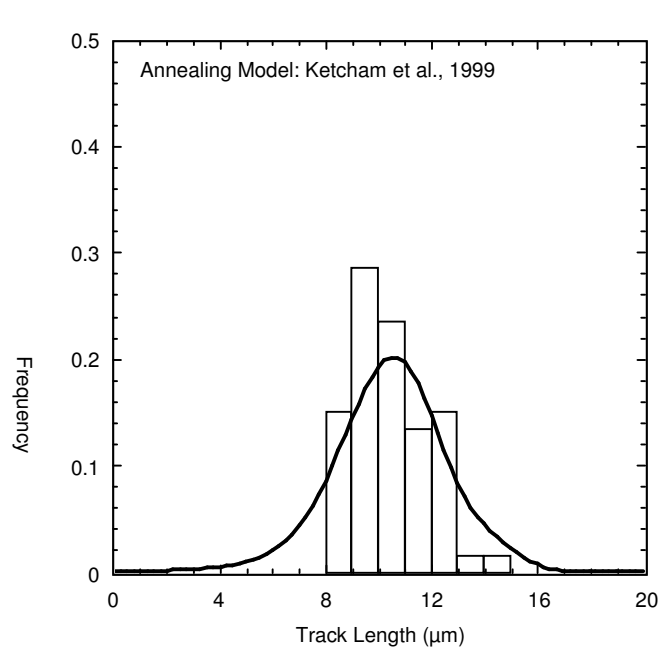
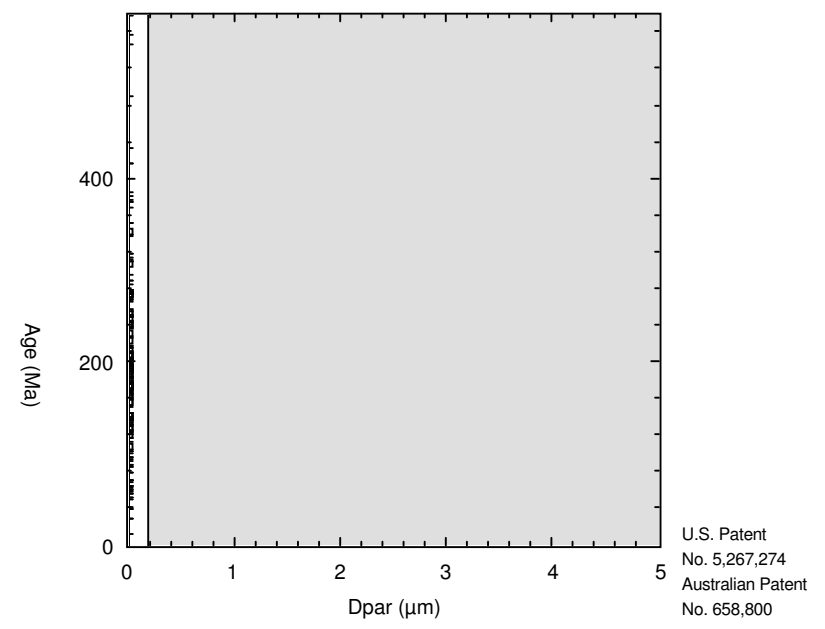
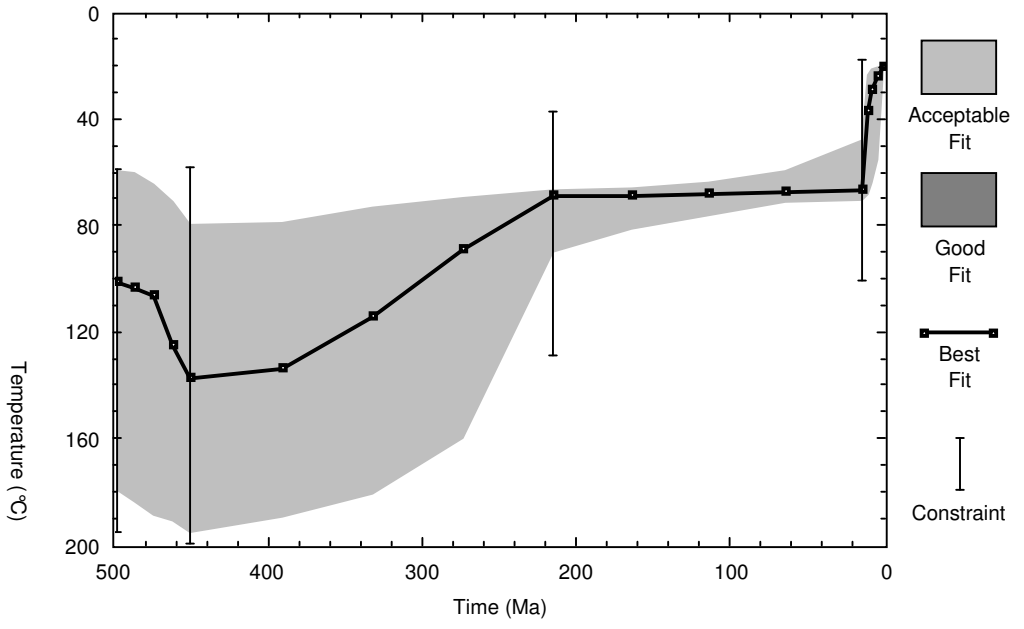


RIO GRANDE DO SUL

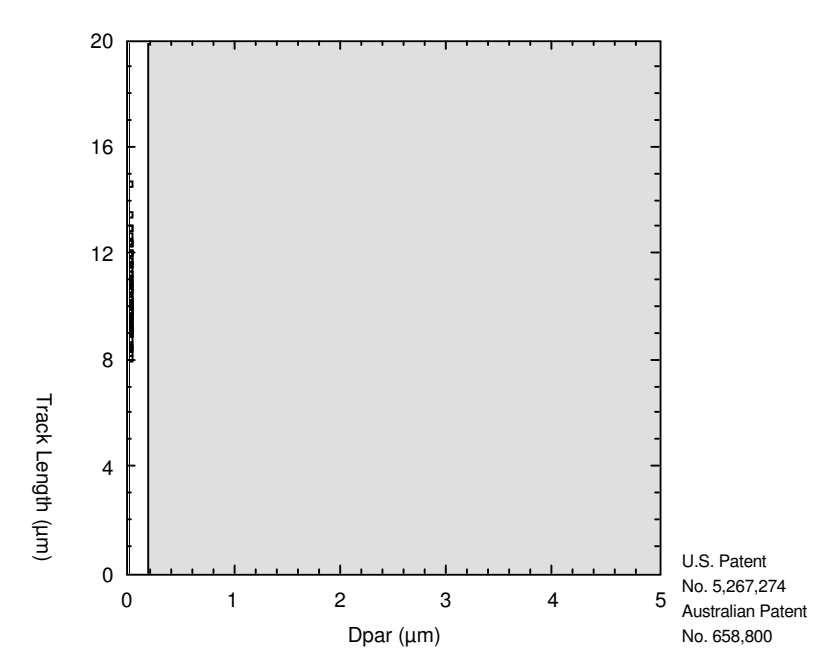
SV-10



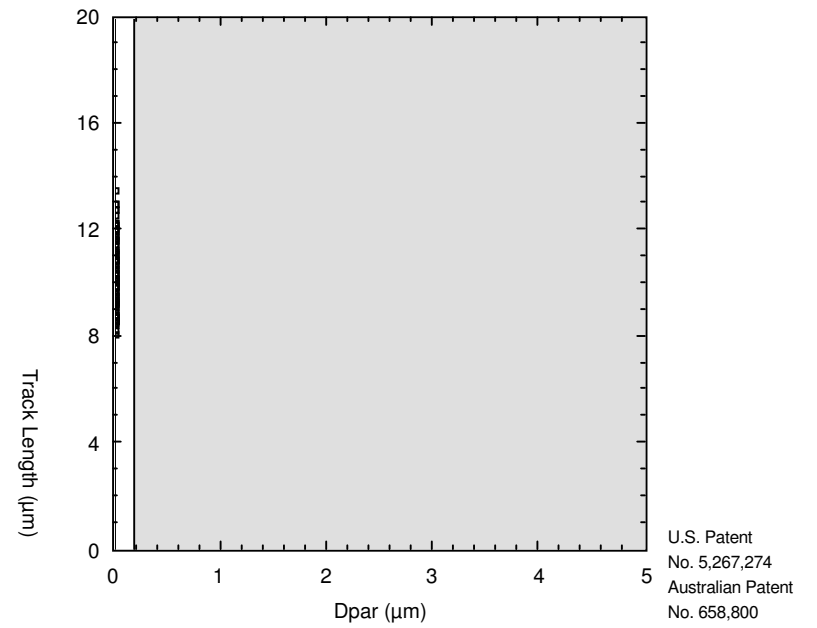
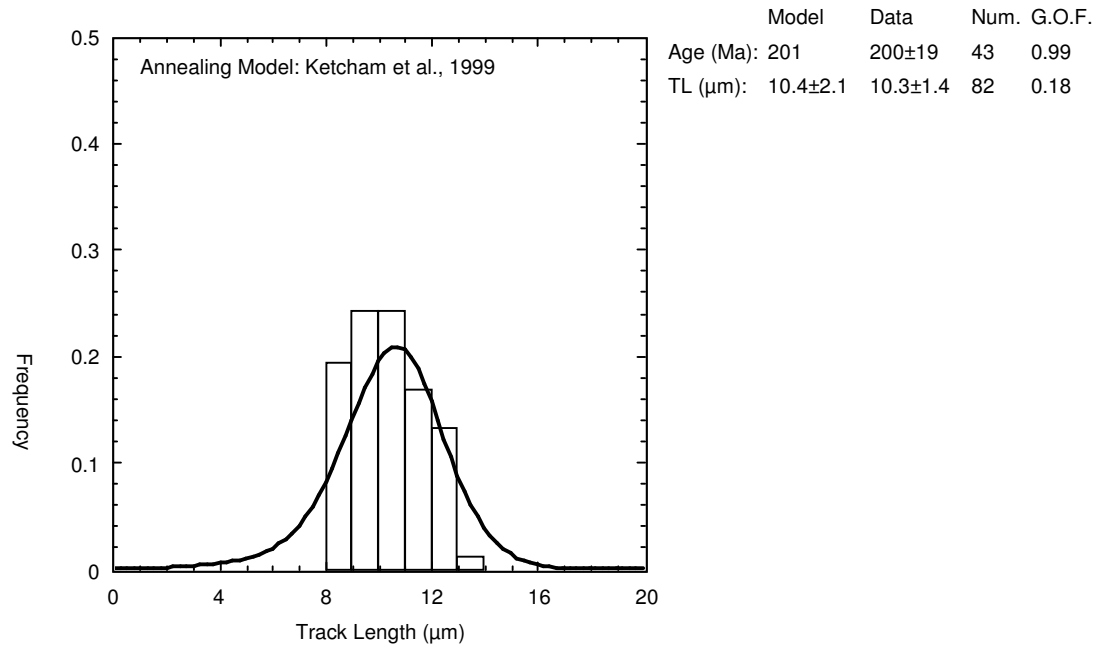
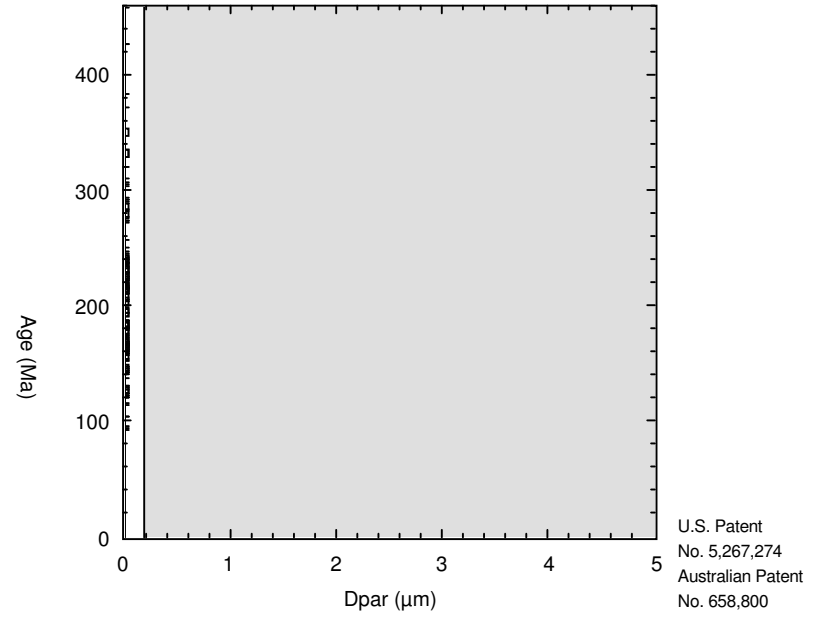
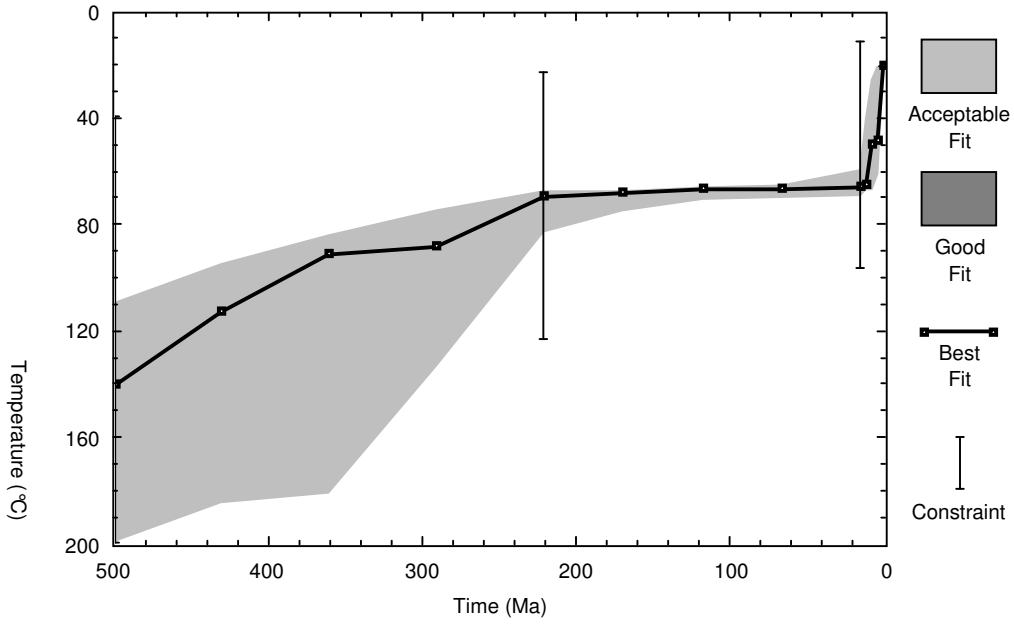
PJV-2



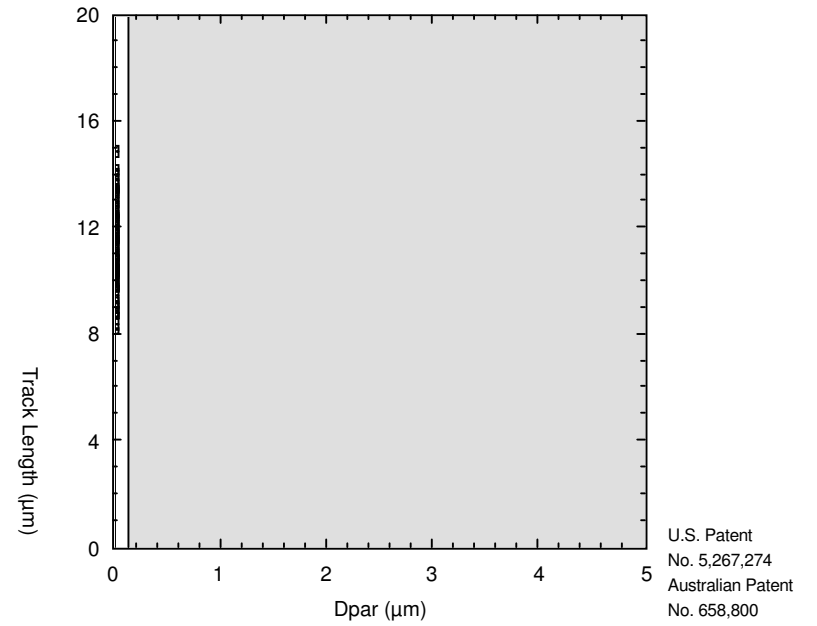
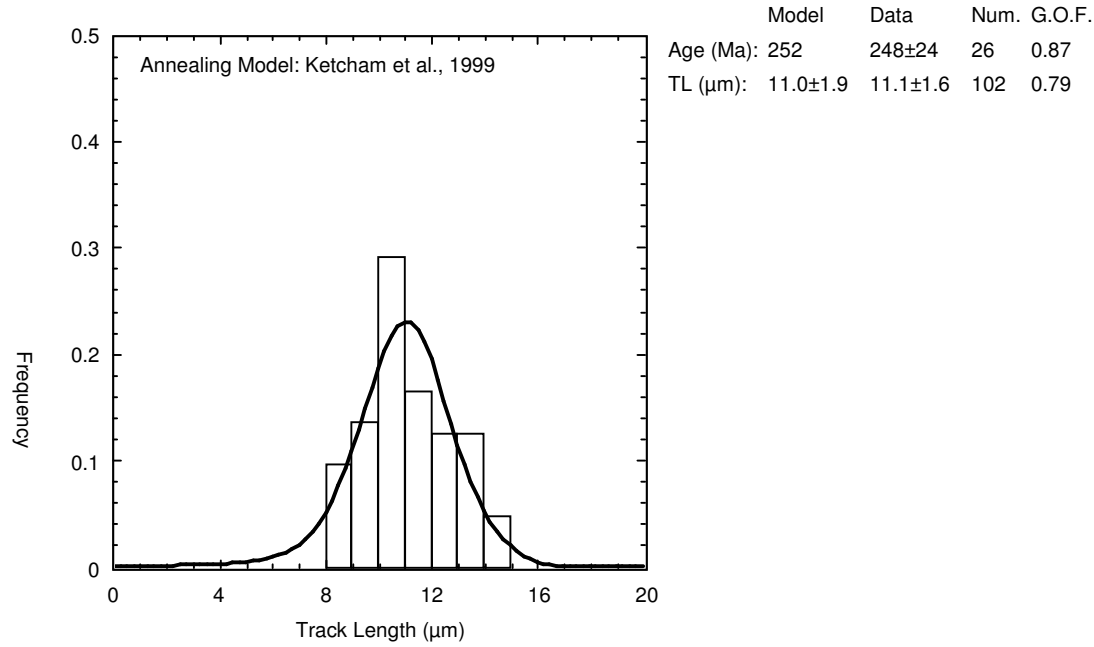
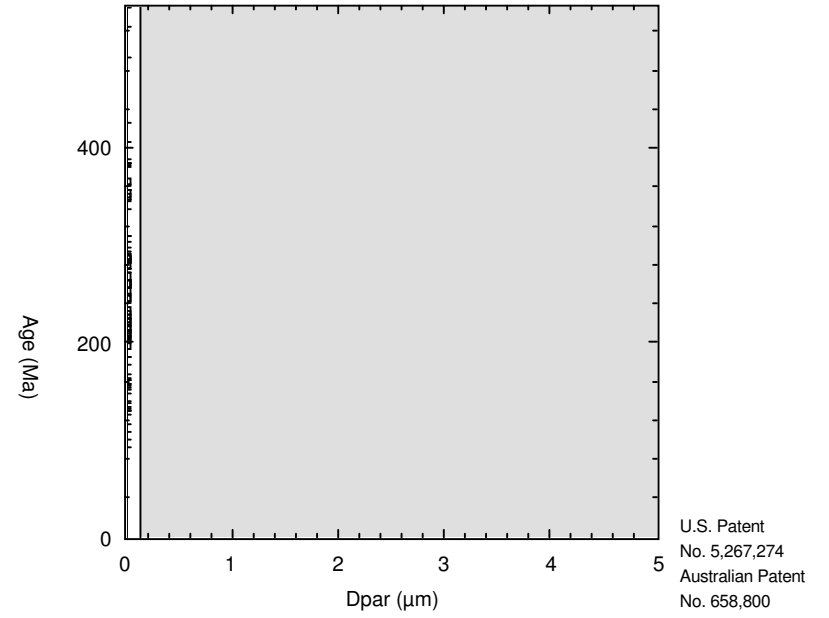
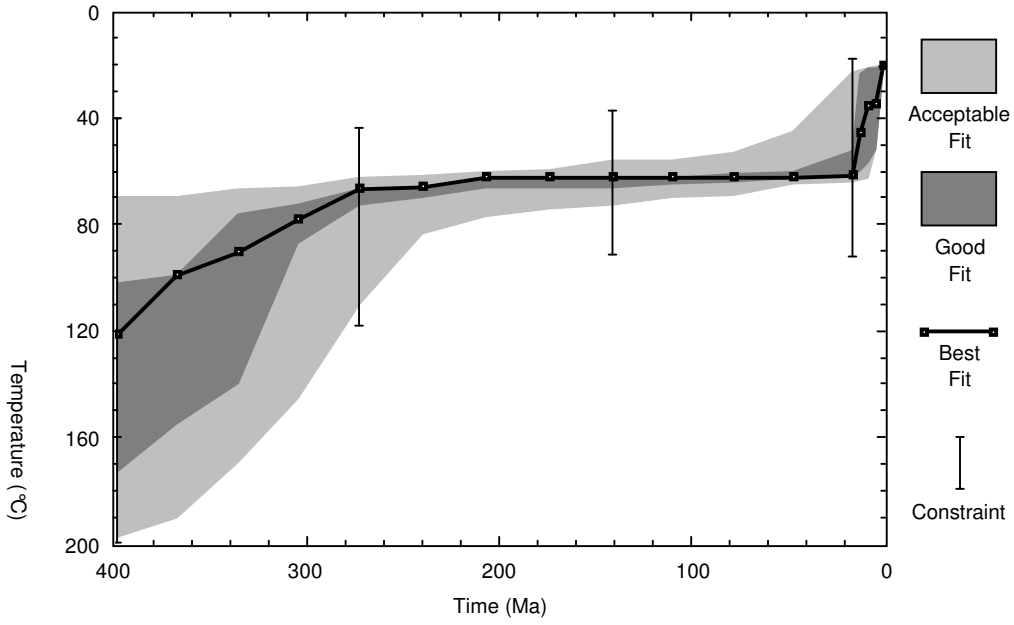
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	190	191±21	50	0.96
TL (μm):	10.5±2.1	10.4±1.5	59	0.39



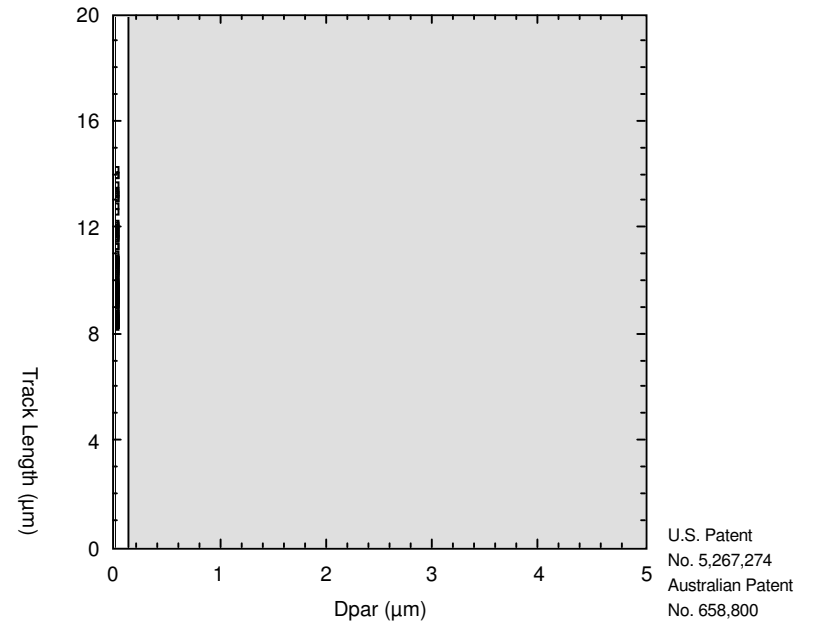
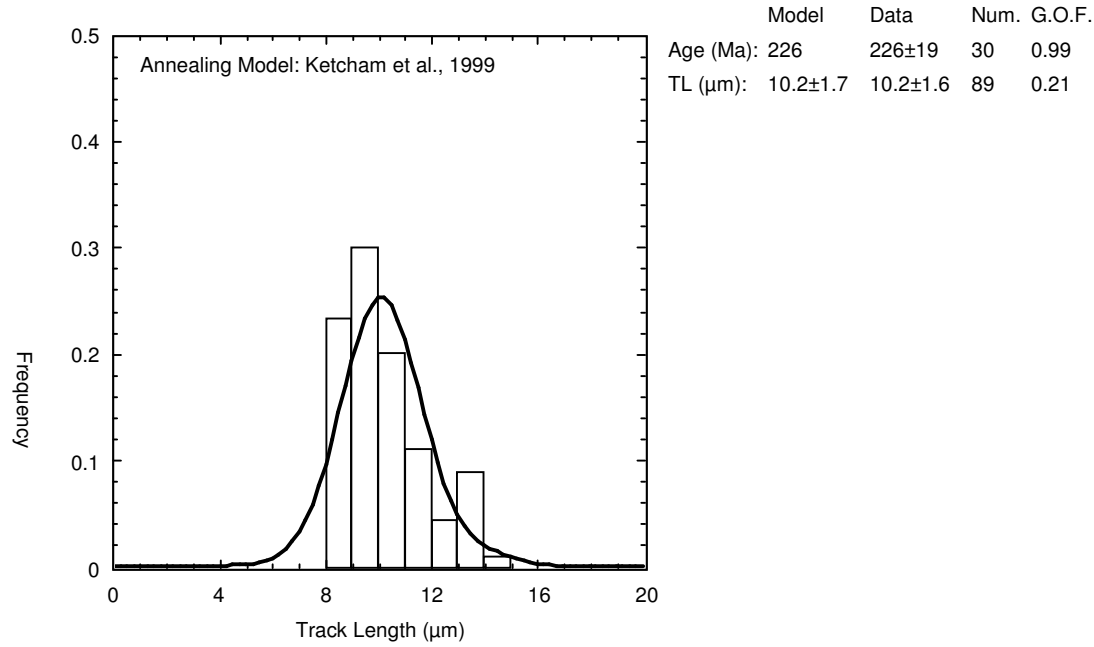
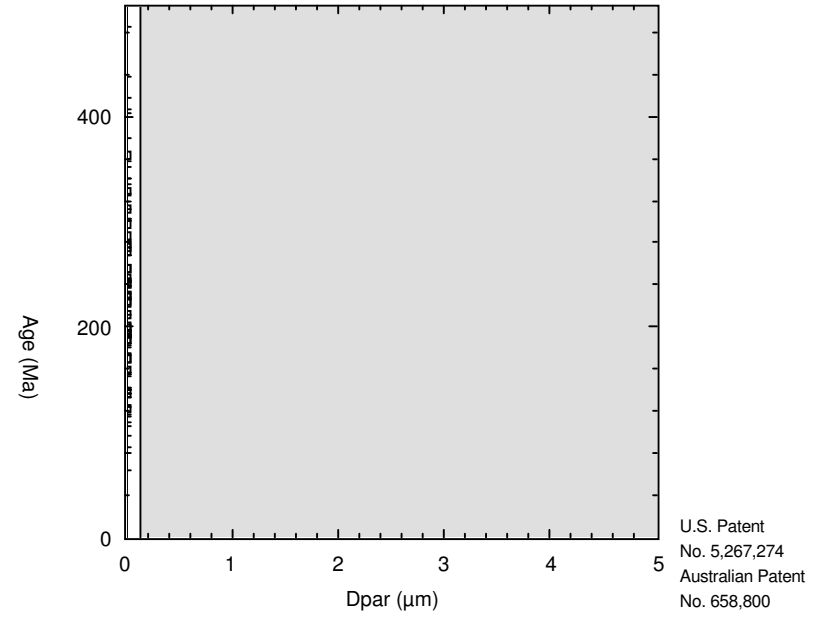
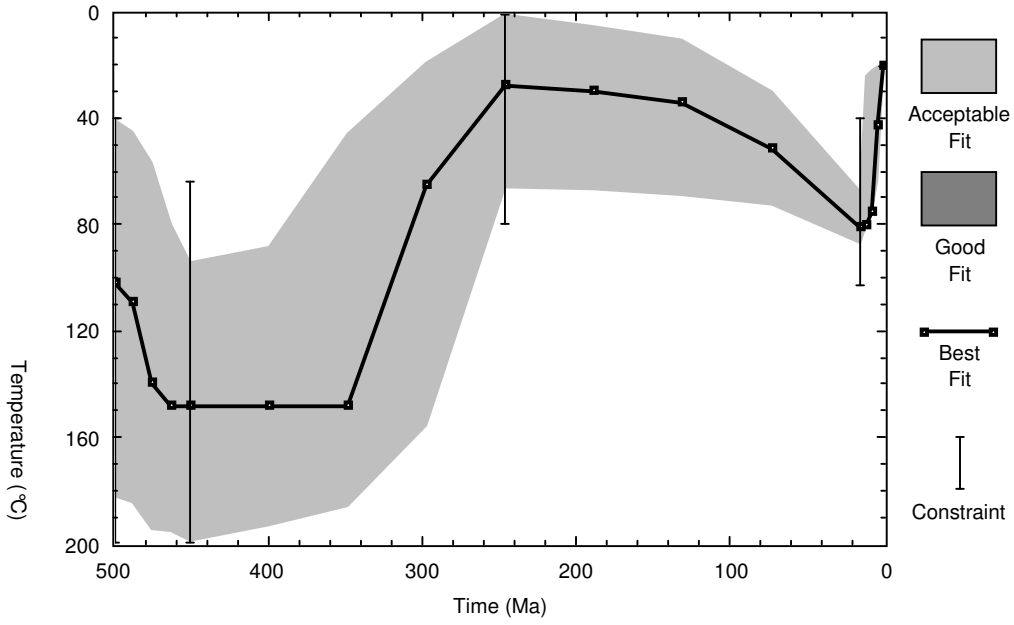
PJV-3B



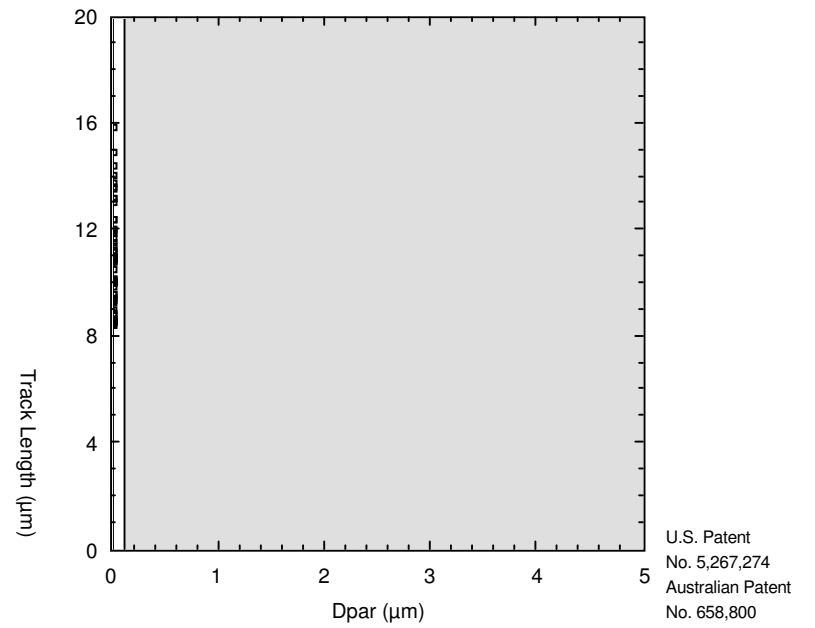
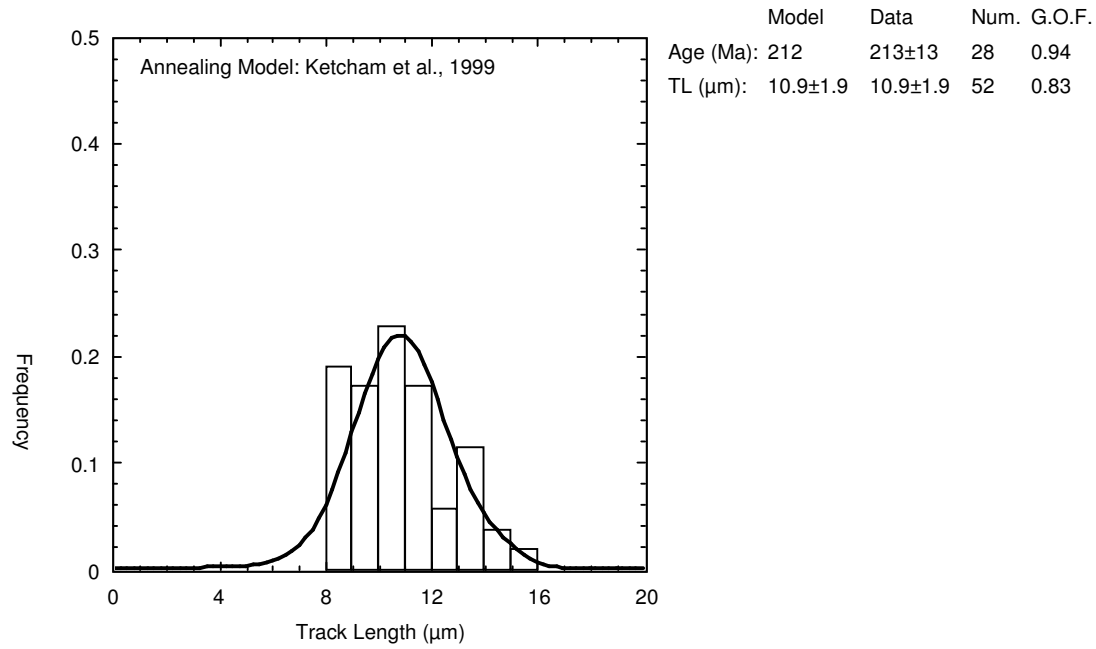
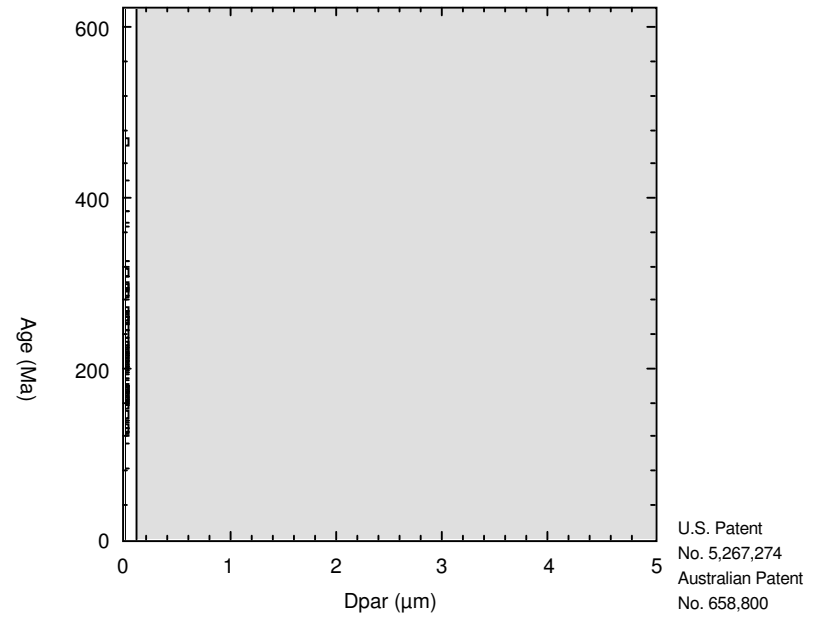
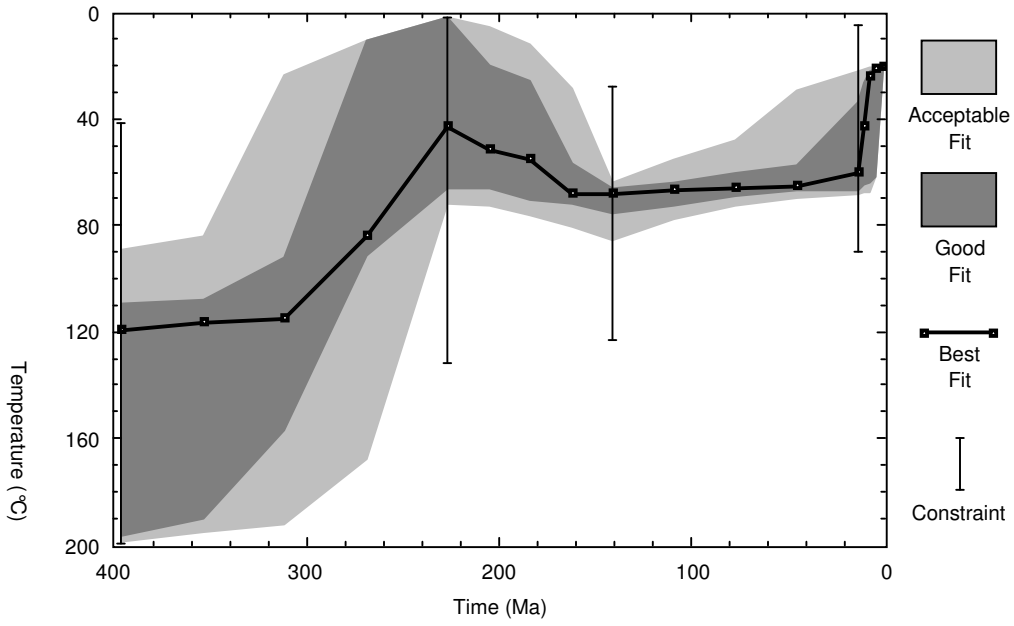
PJV-3C



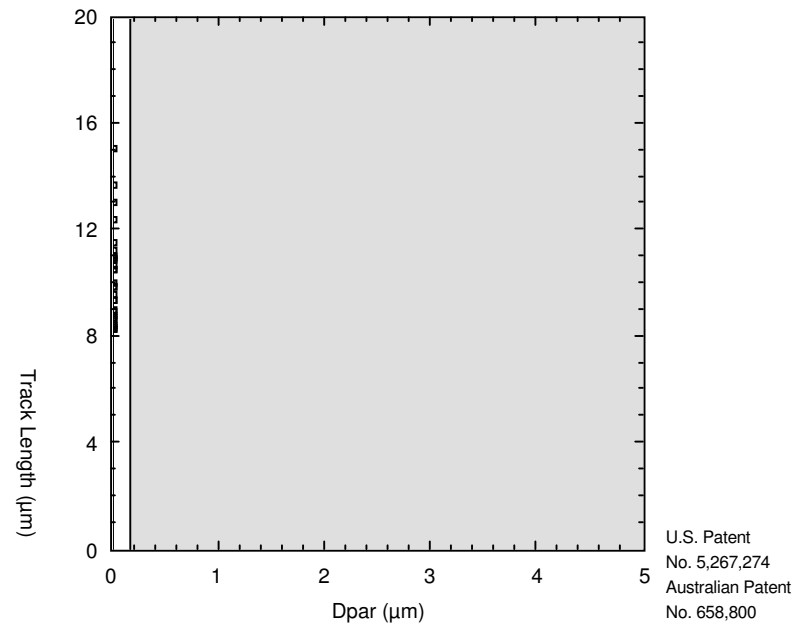
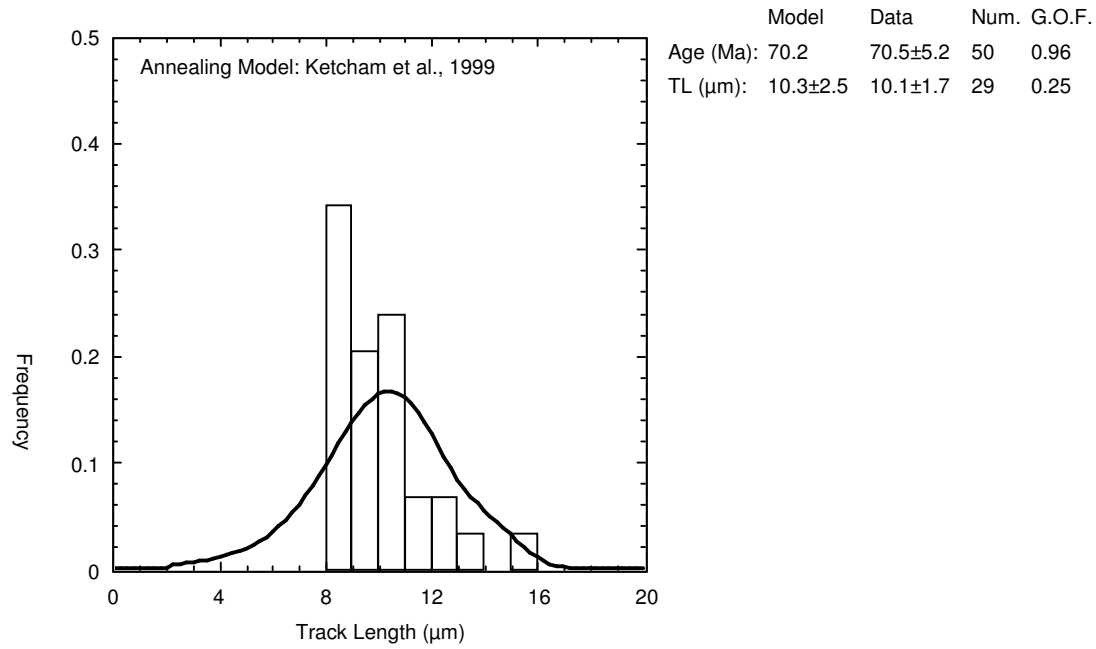
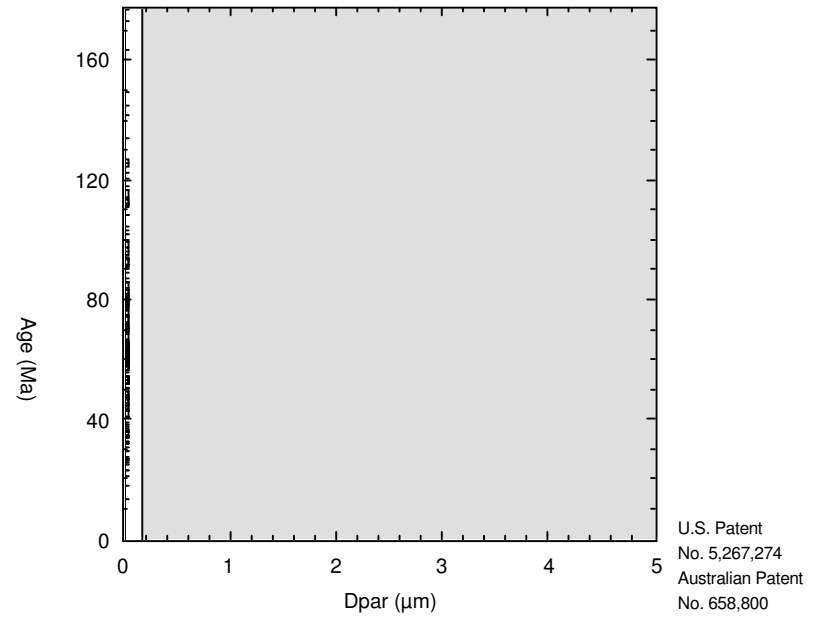
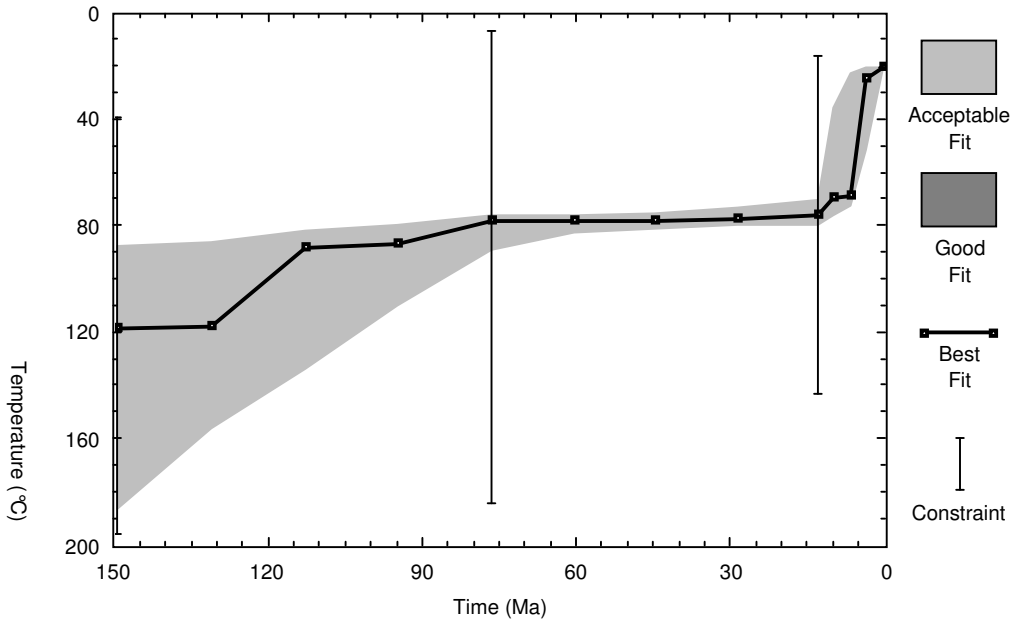
PJV-4



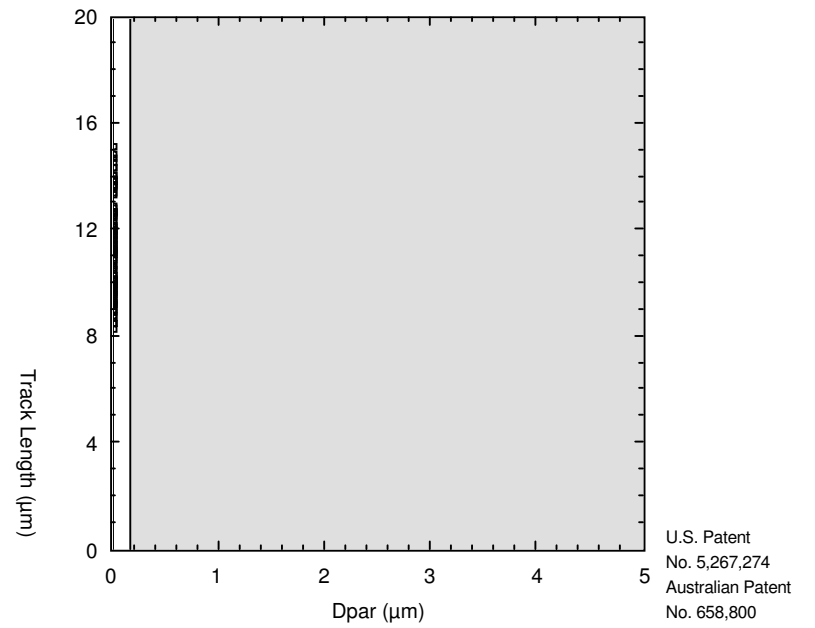
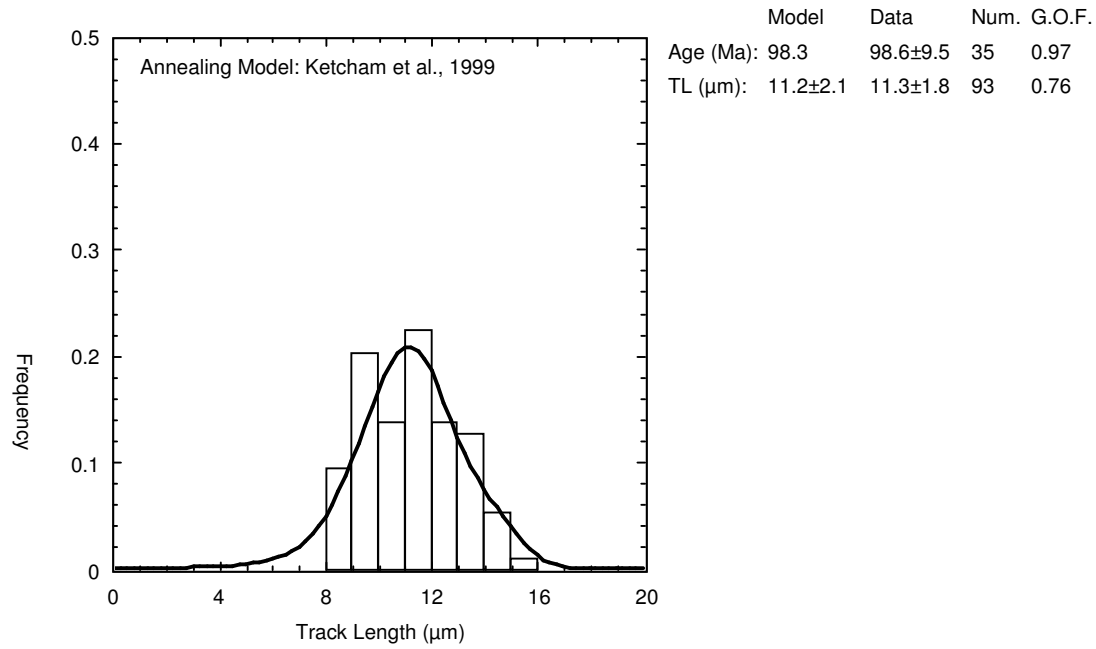
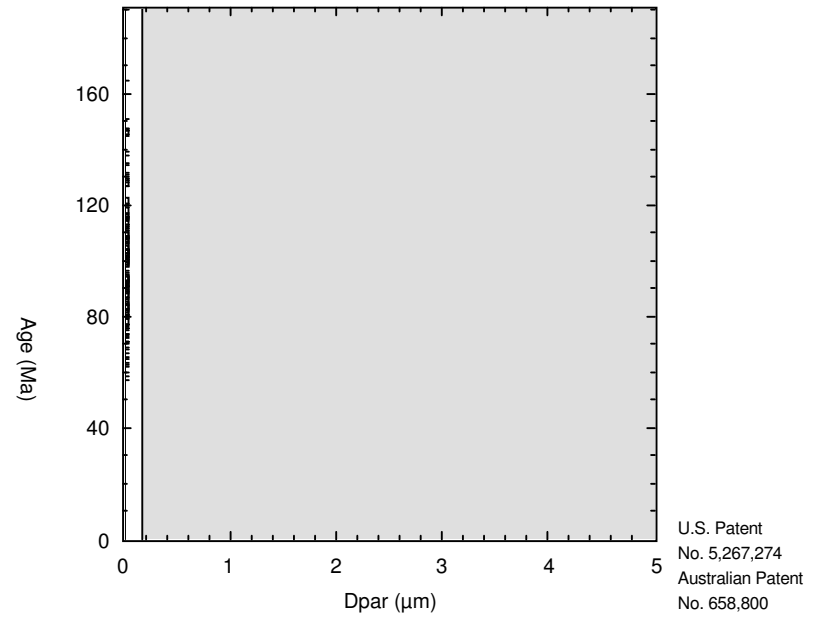
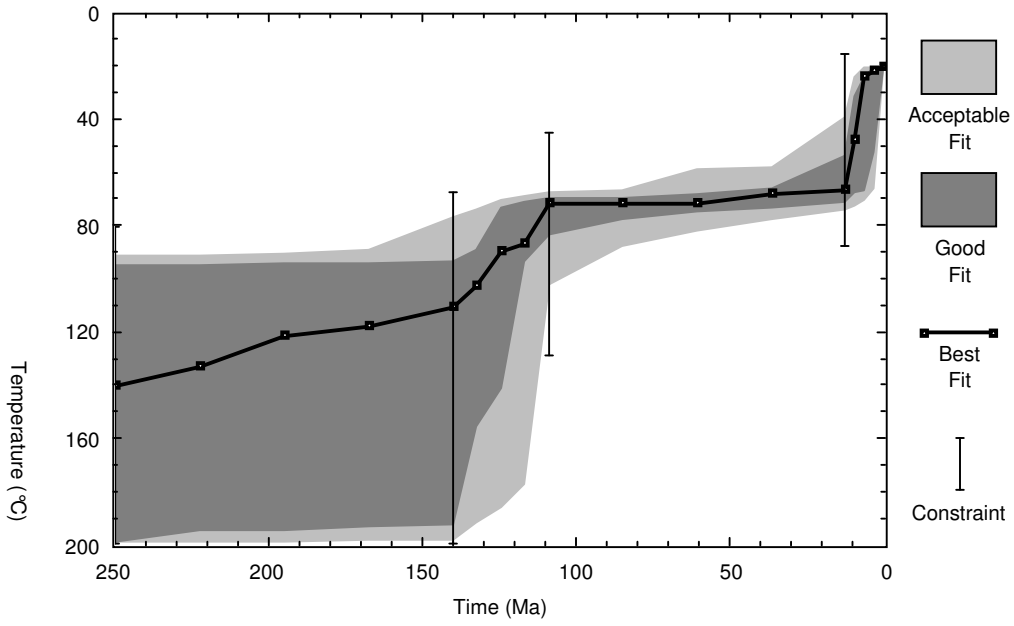
PJV-6



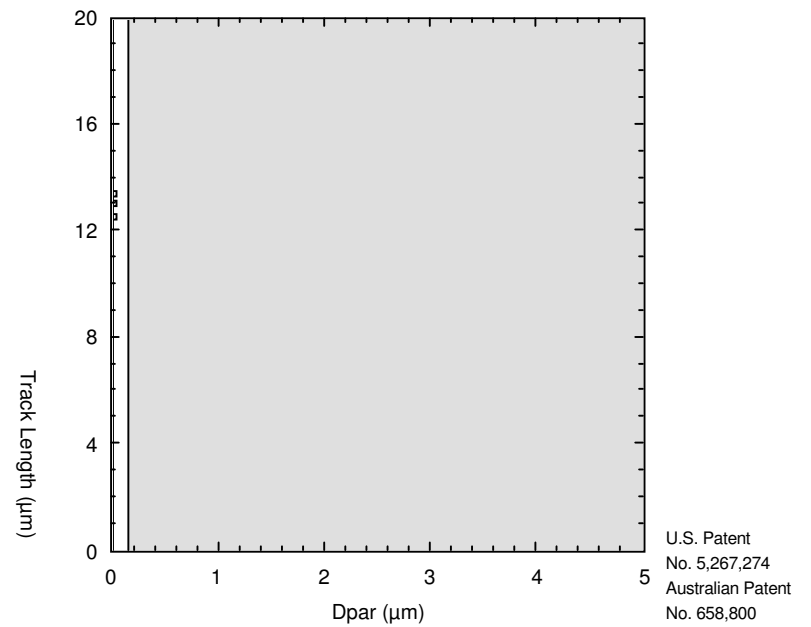
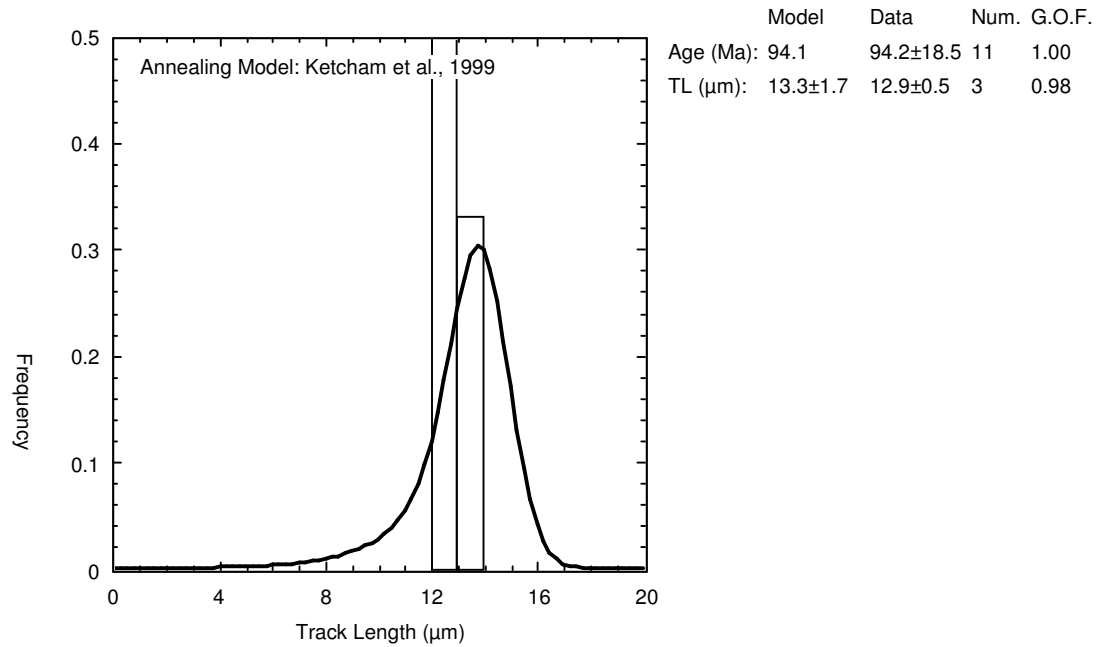
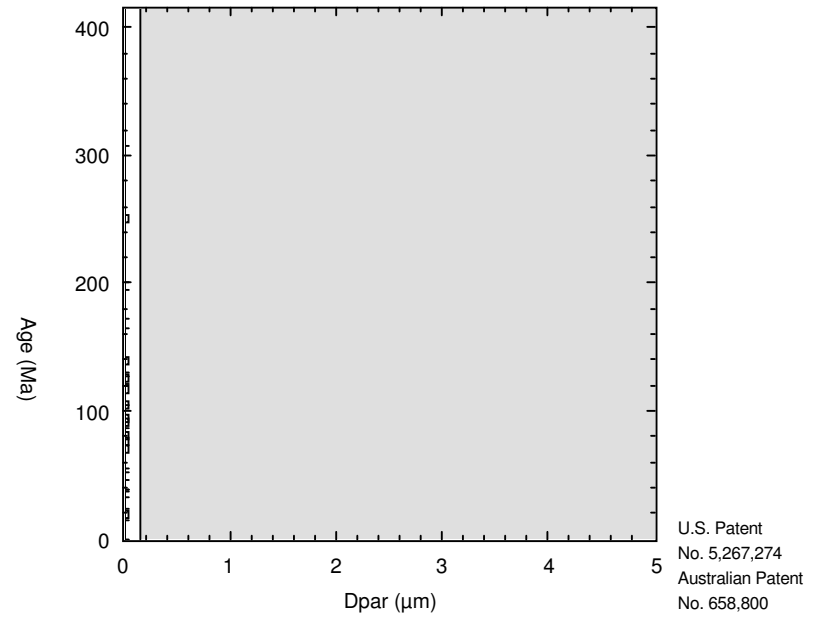
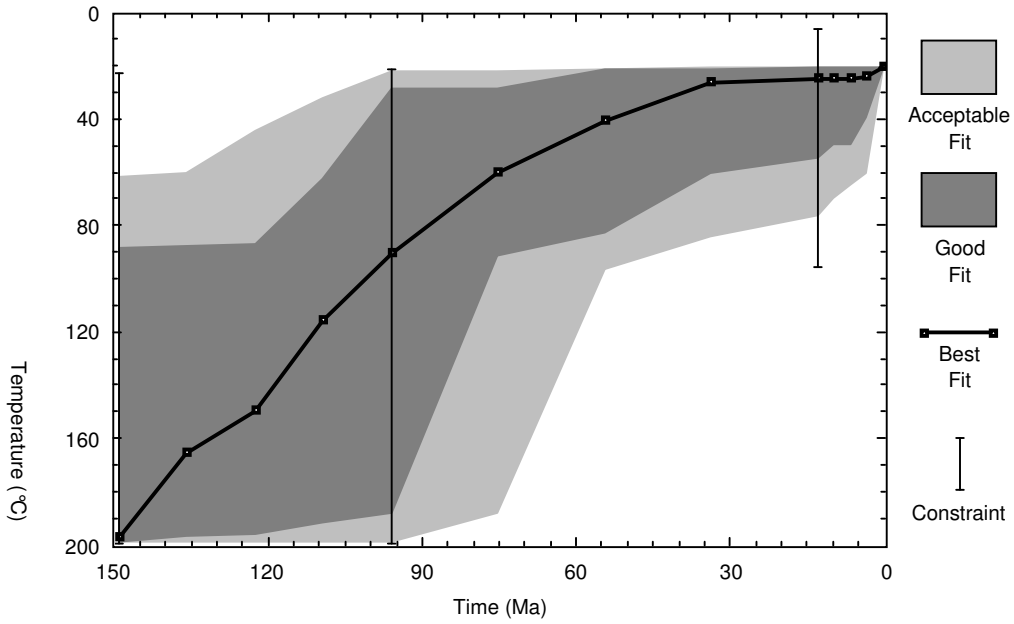
PJV-7



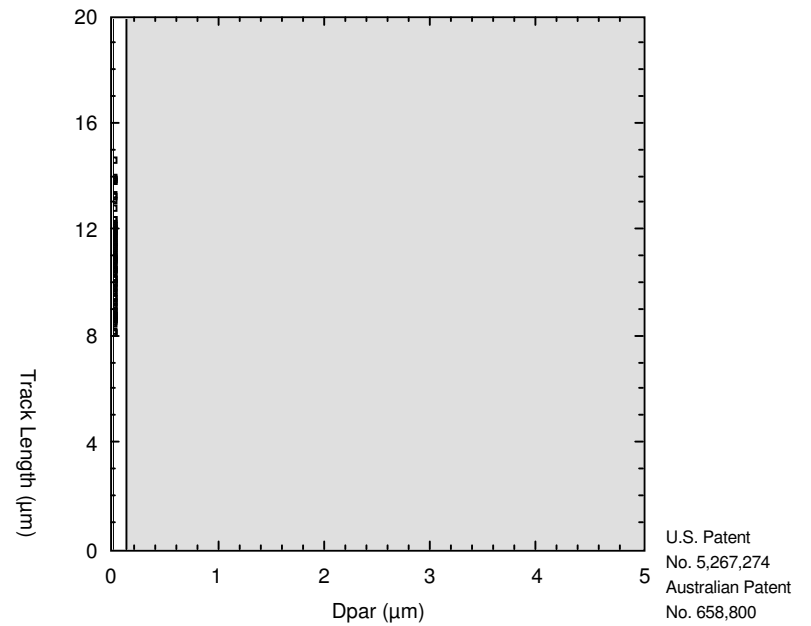
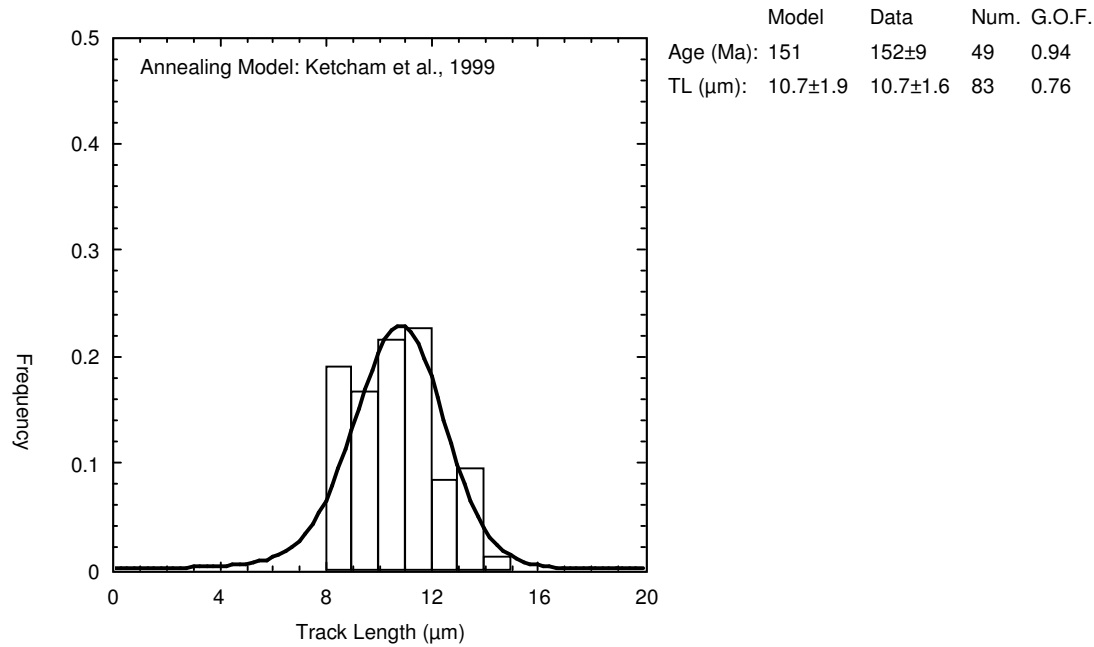
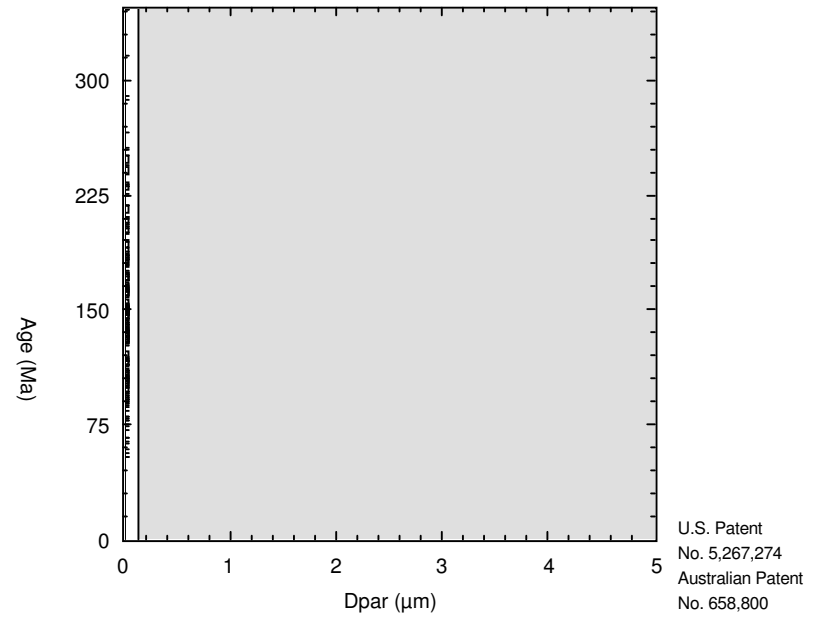
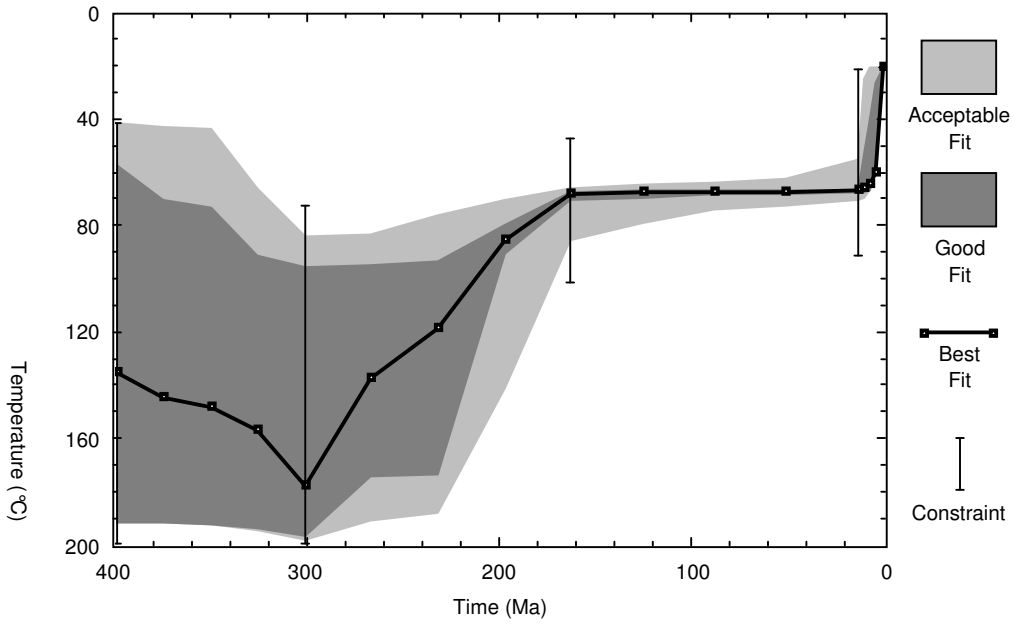
PJV-11



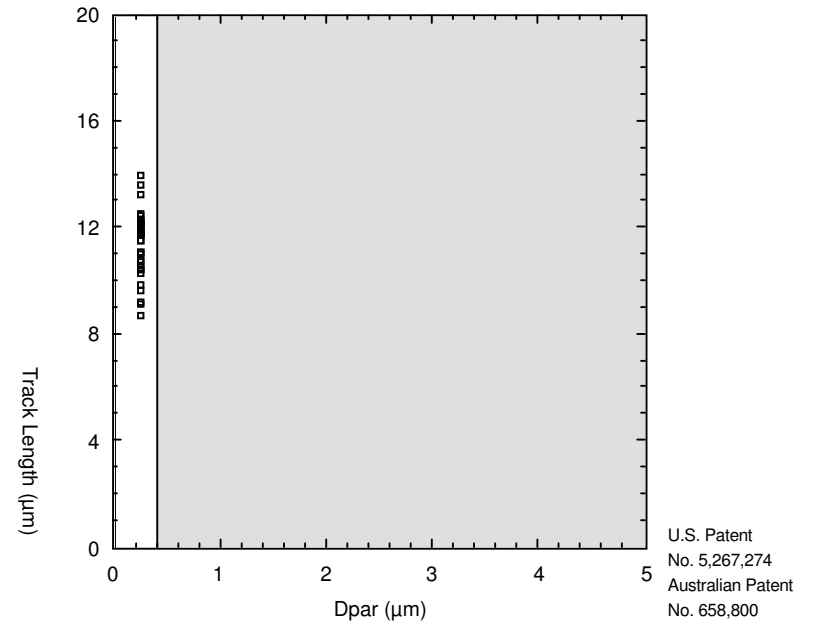
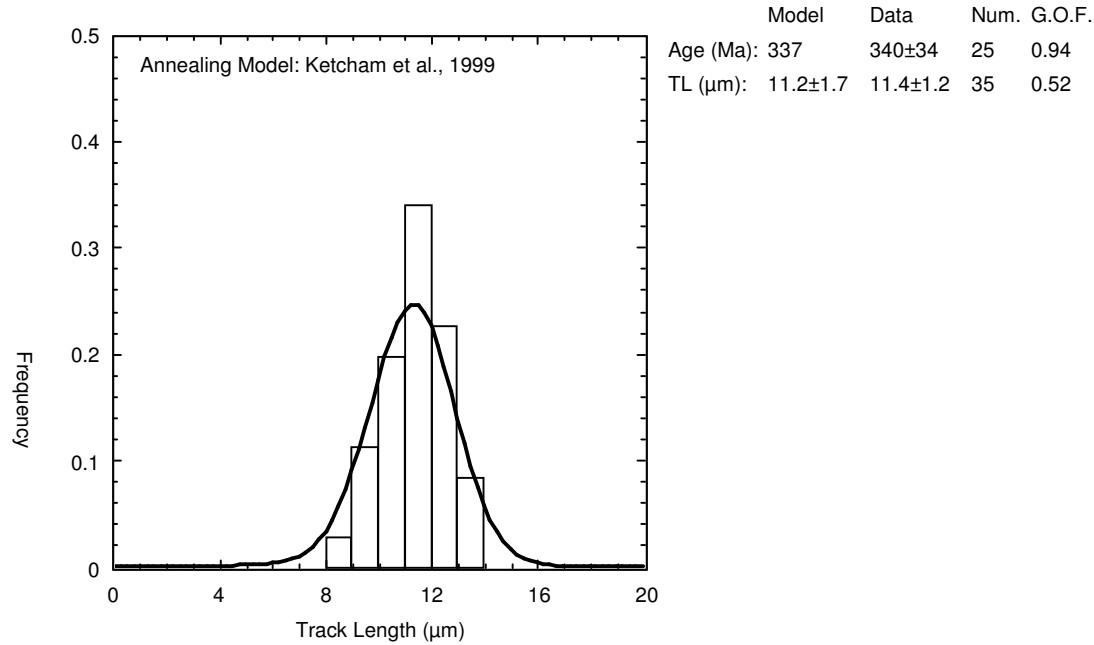
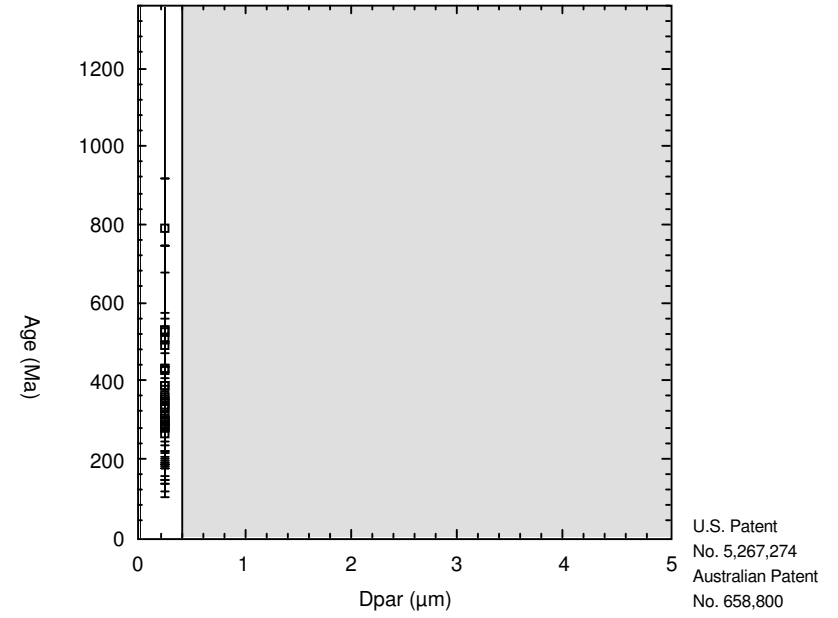
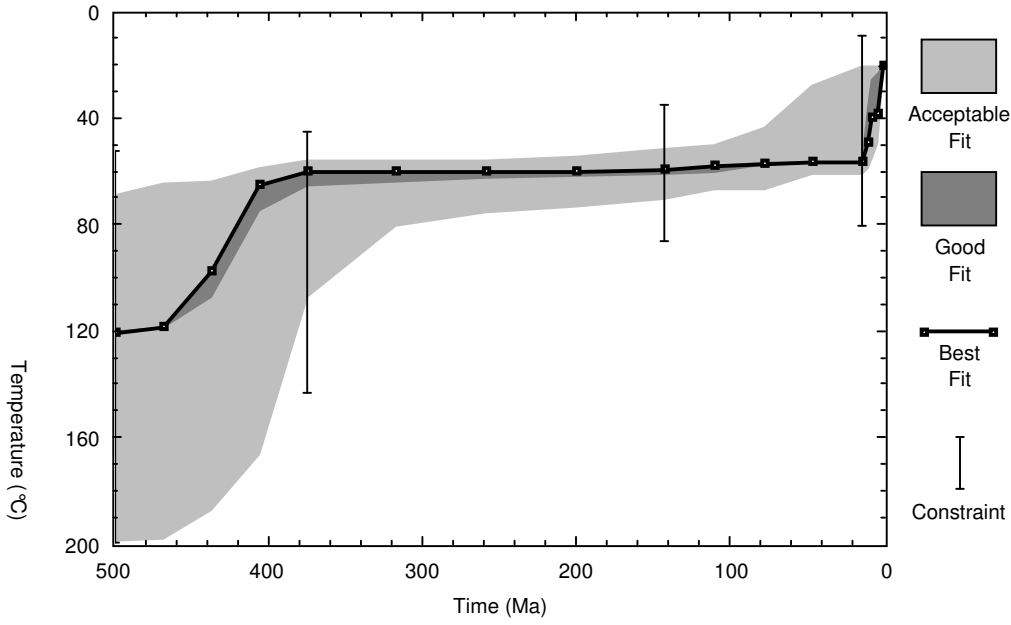
PJV-14



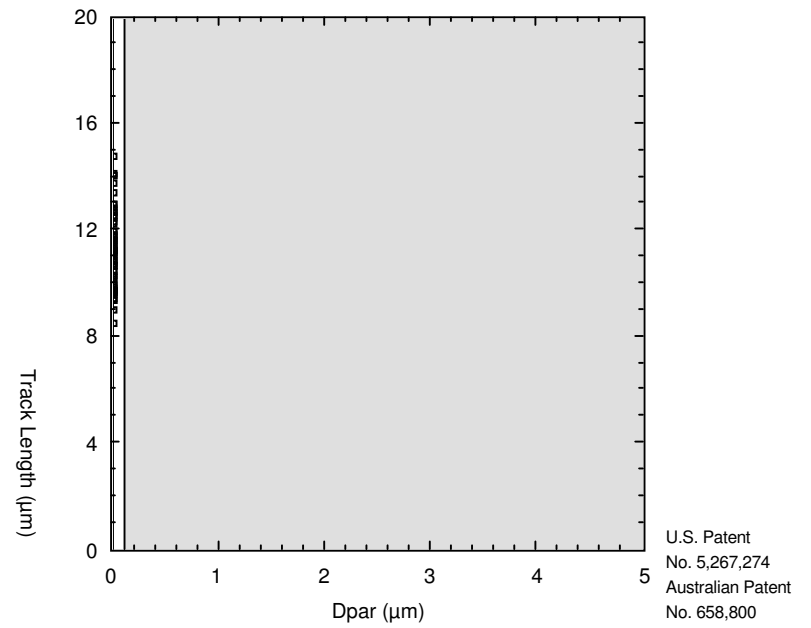
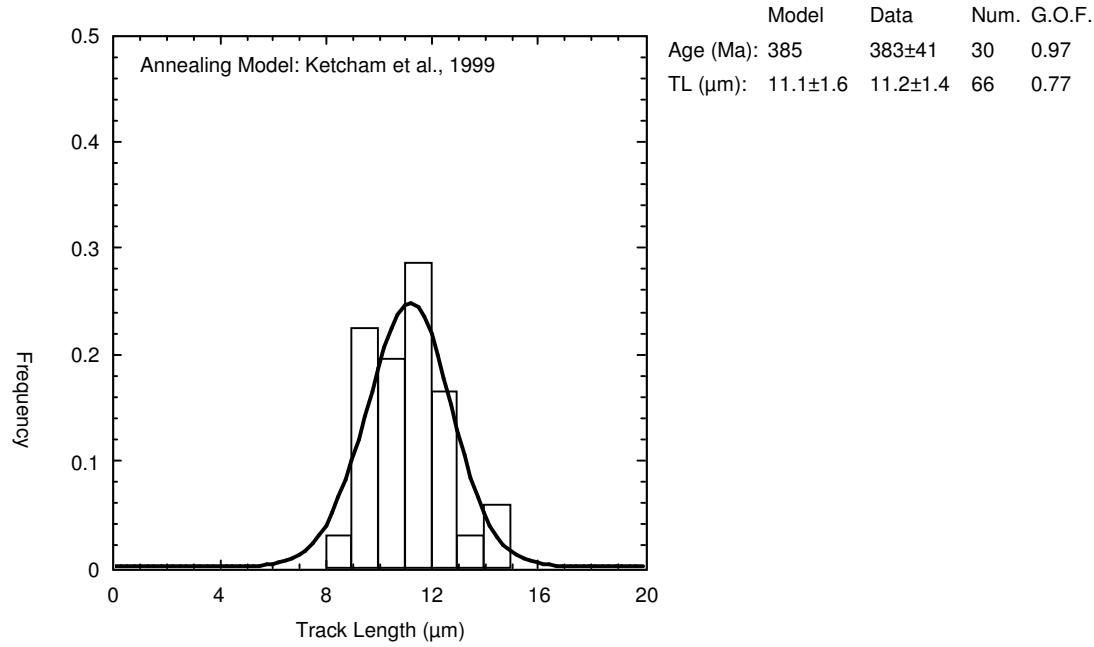
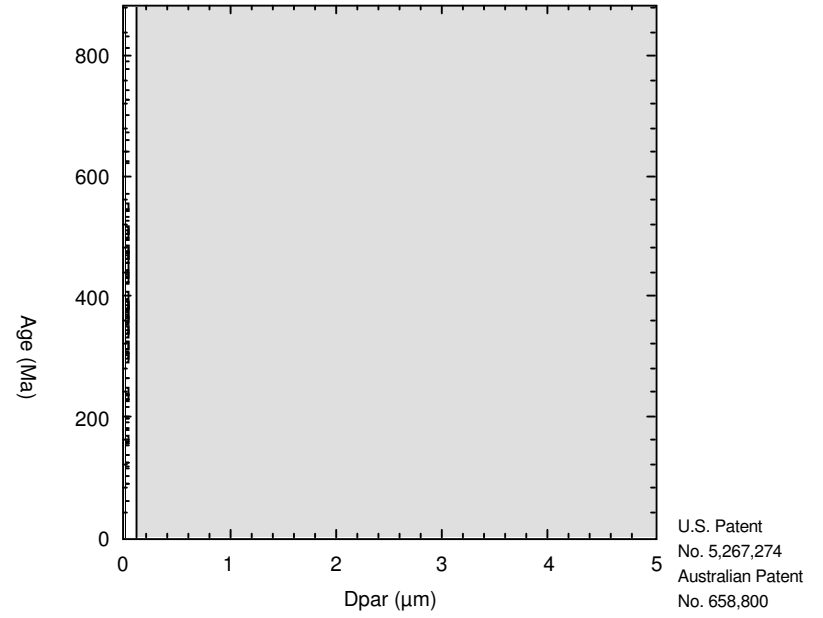
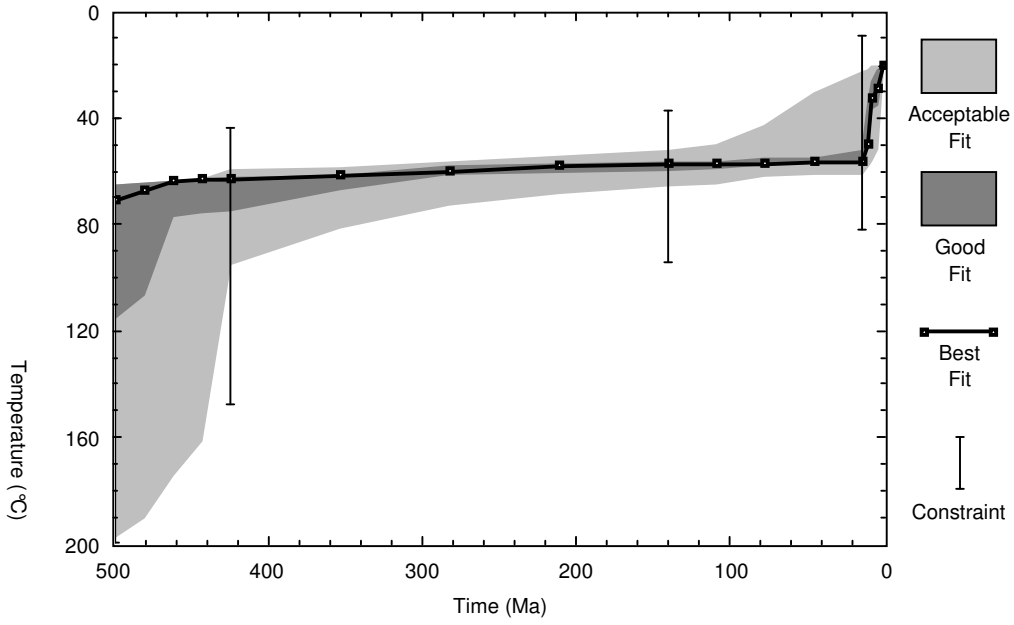
PJV-17



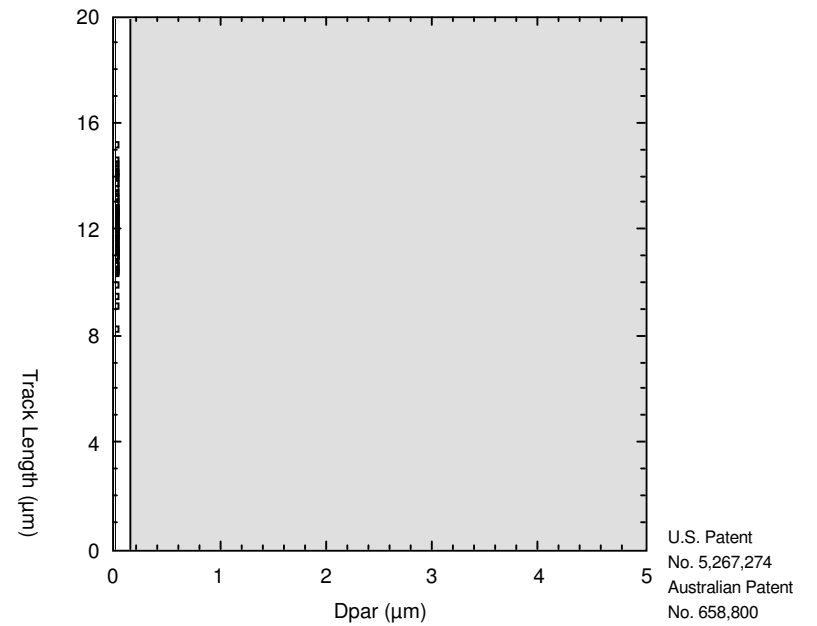
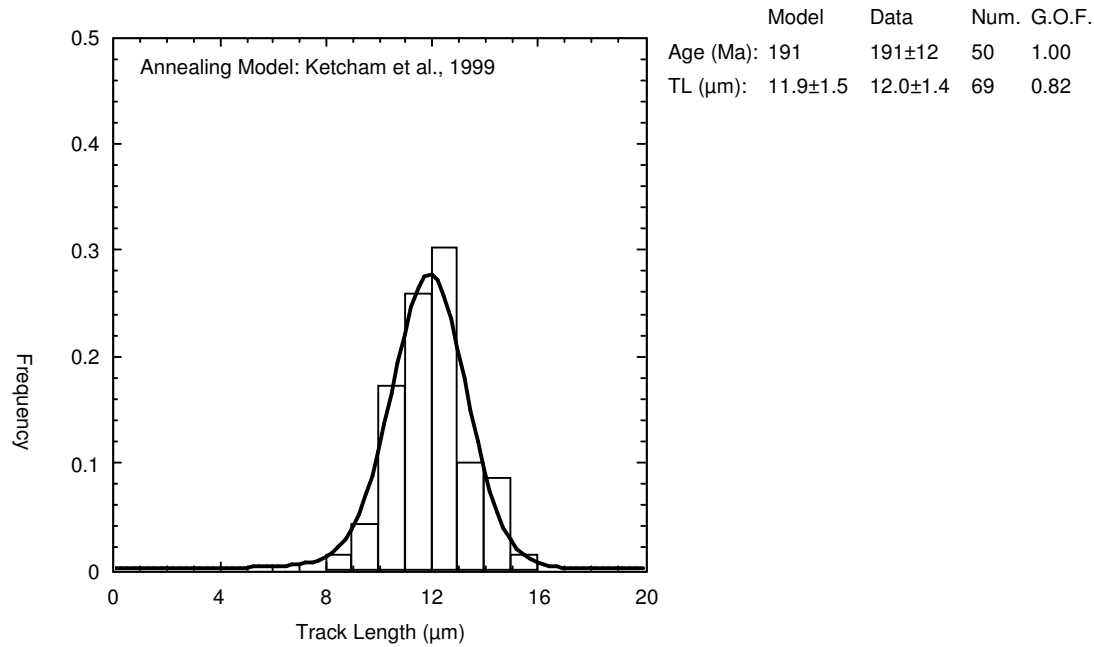
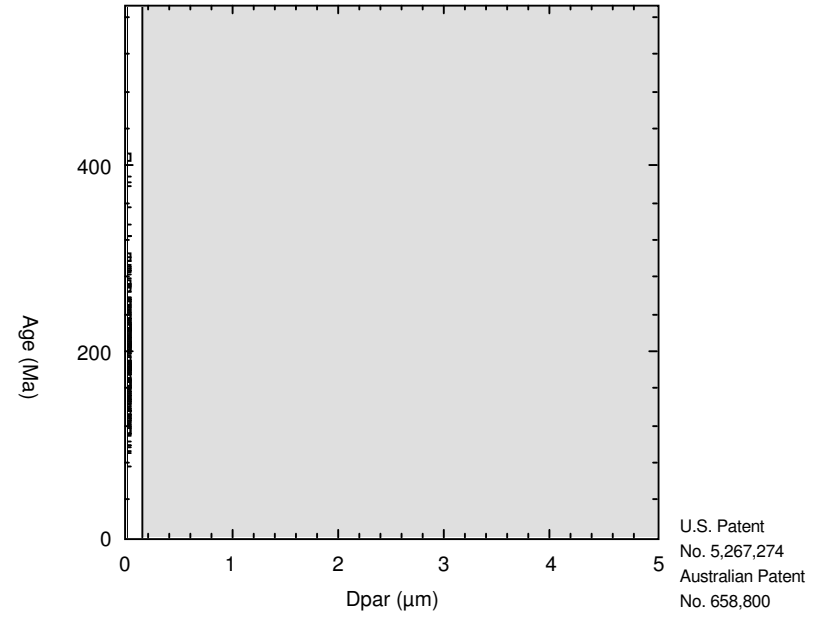
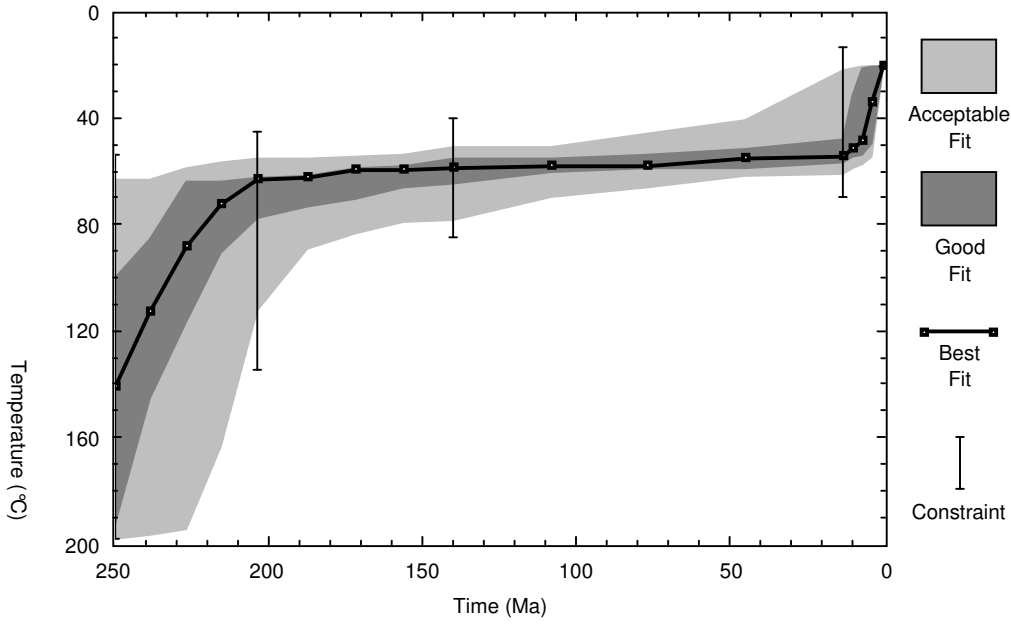
RS-5



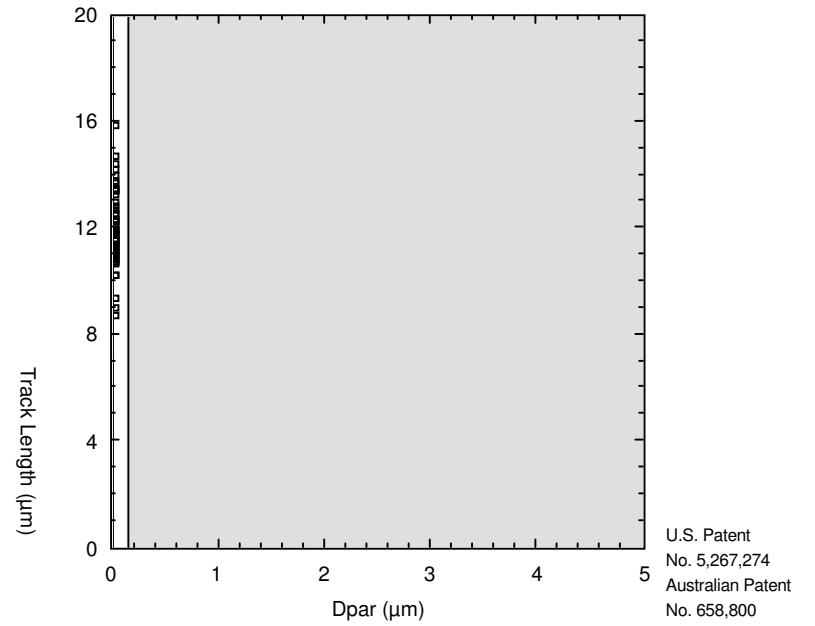
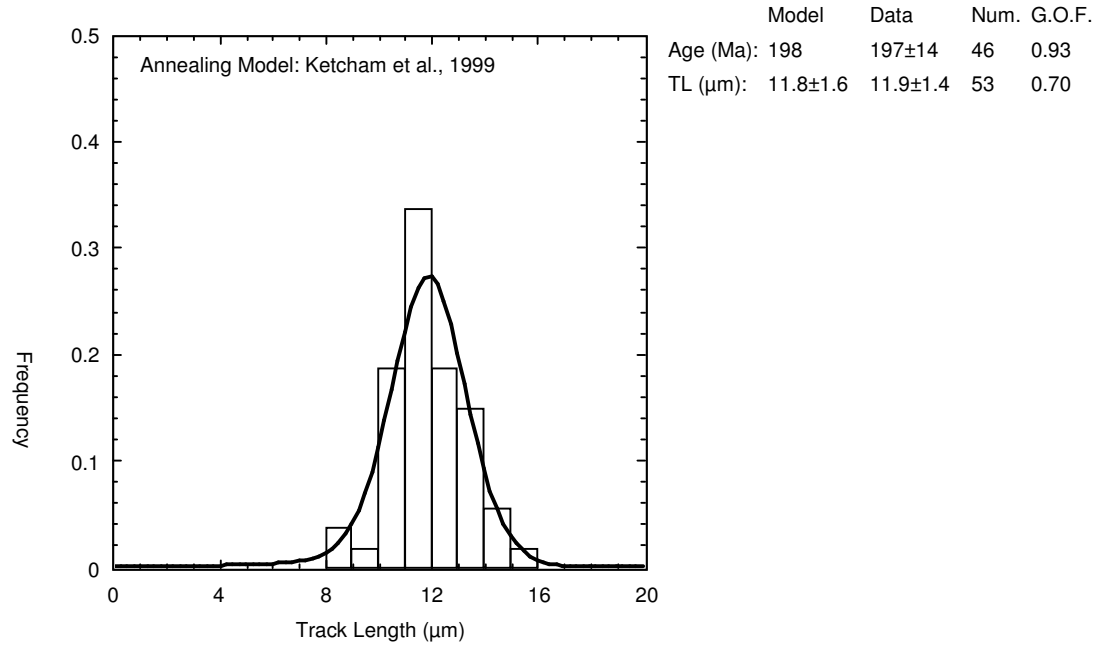
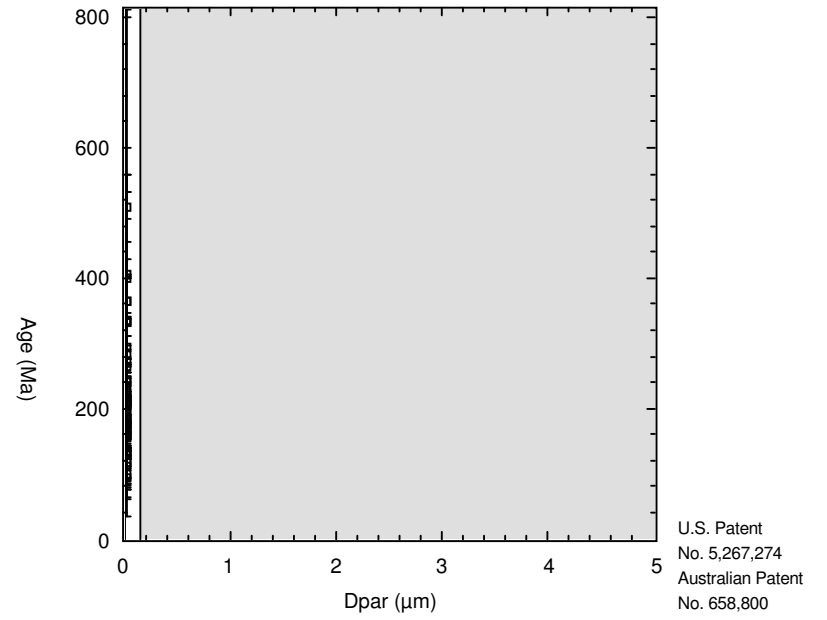
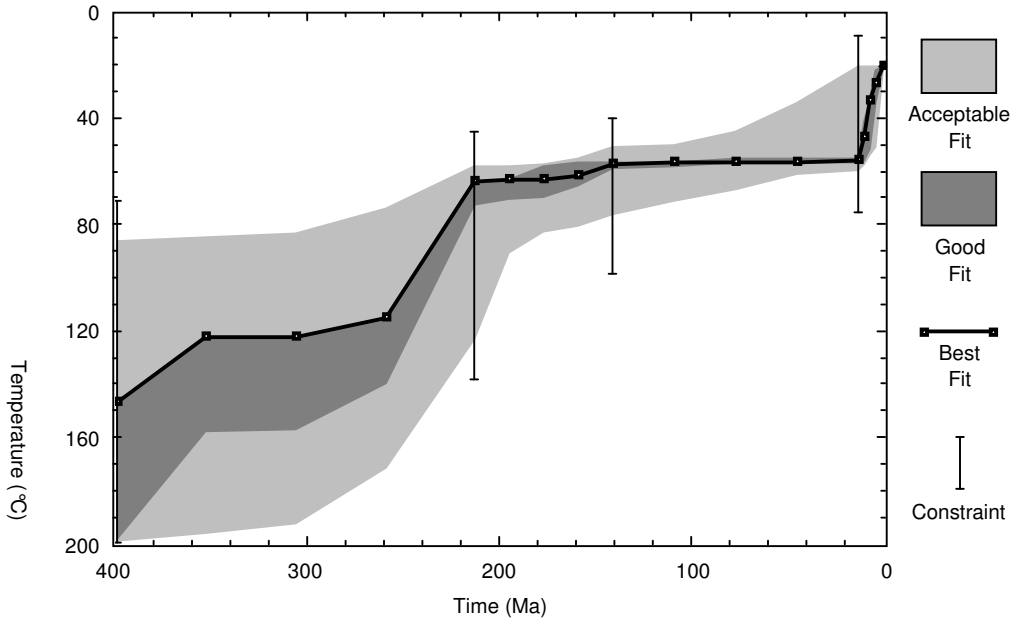
RS-6



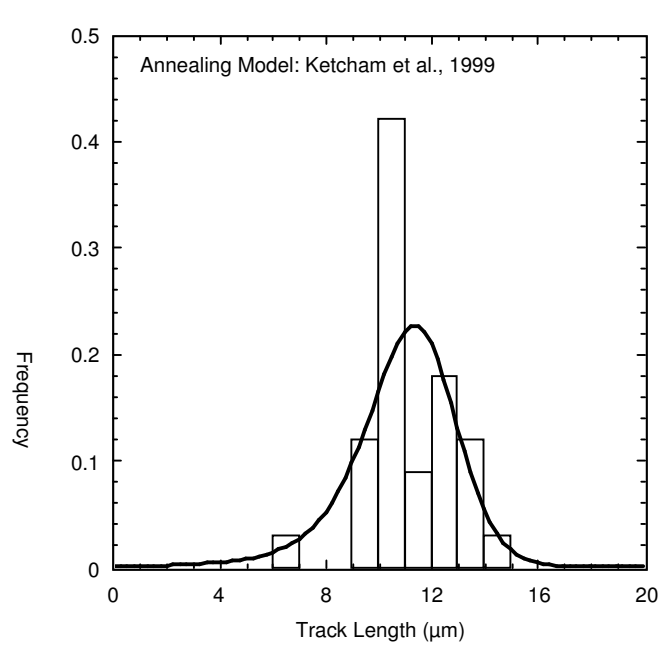
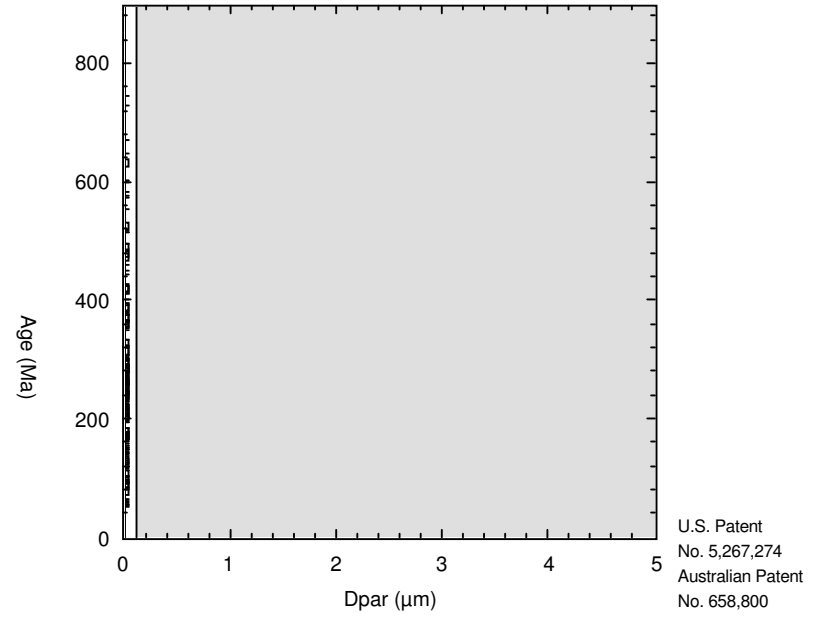
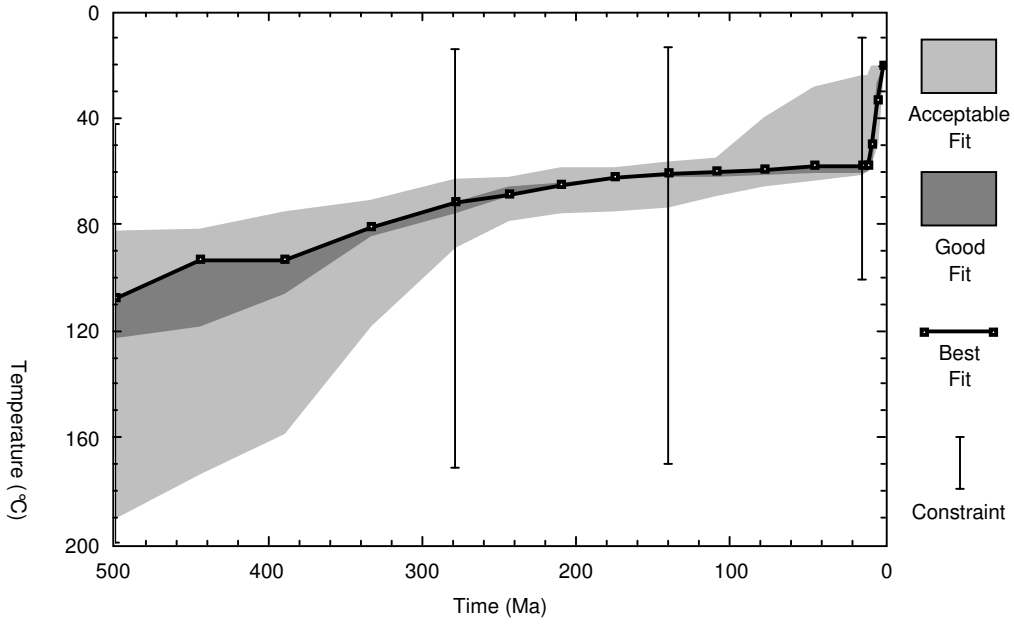
RS-8



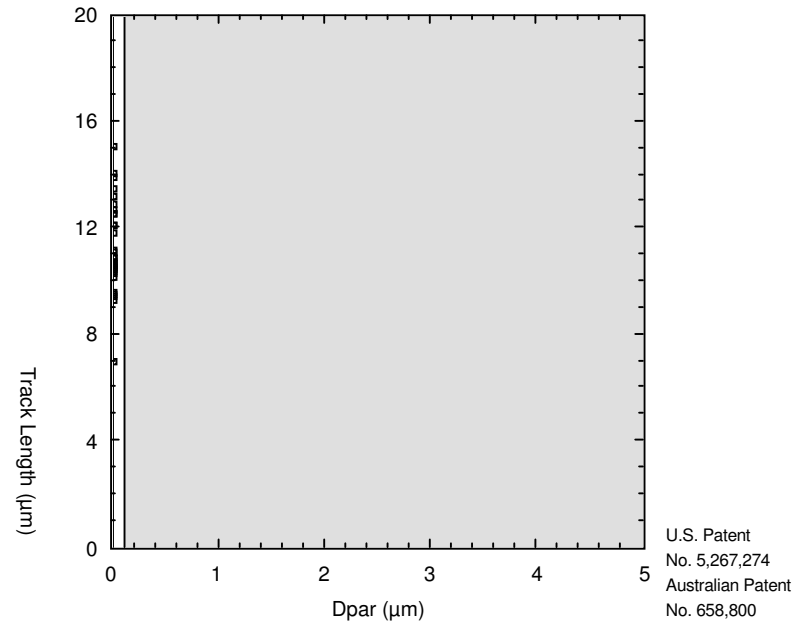
RS-11



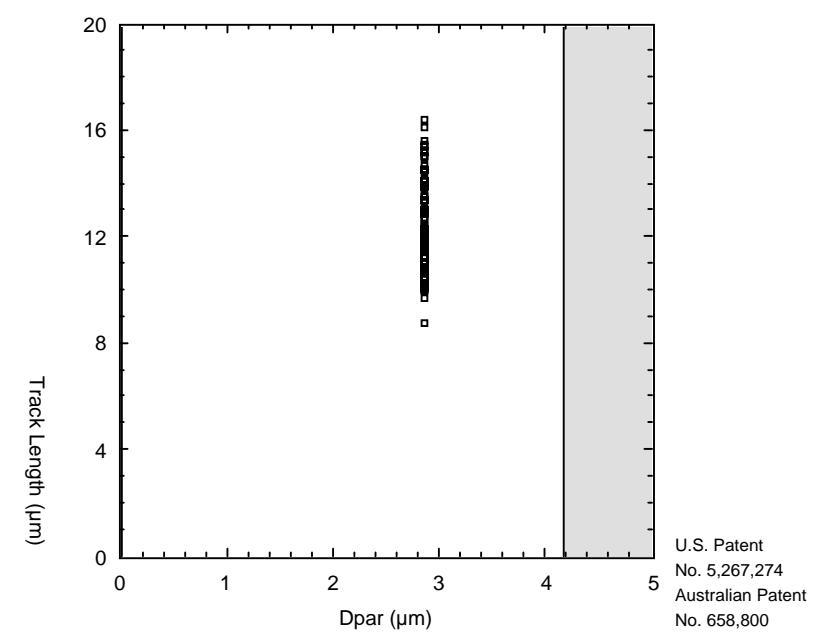
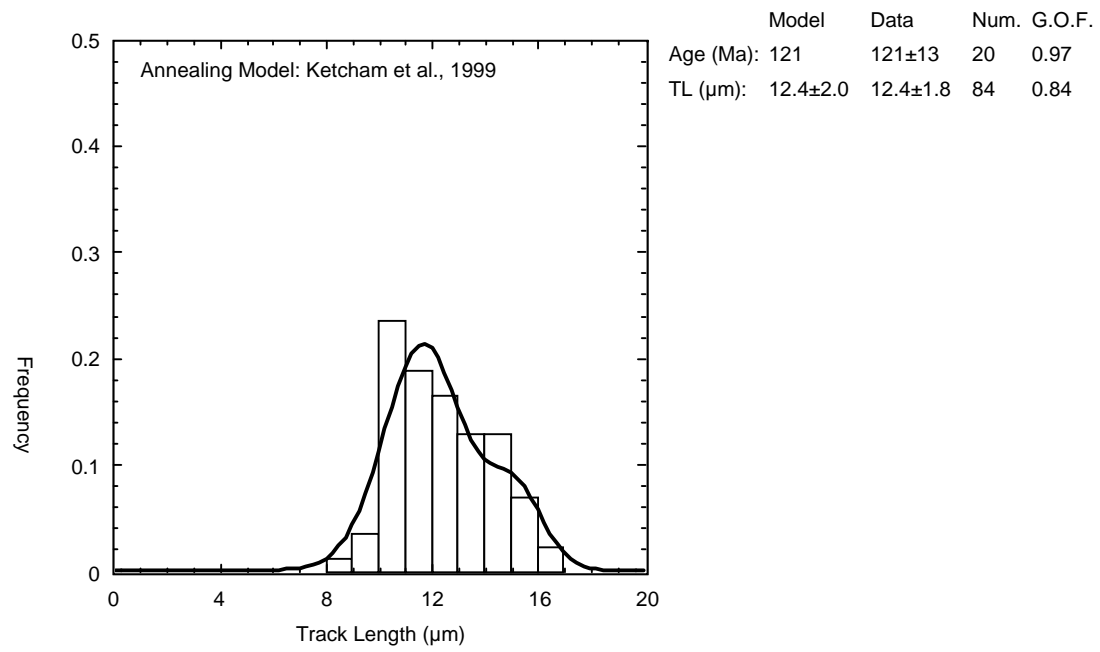
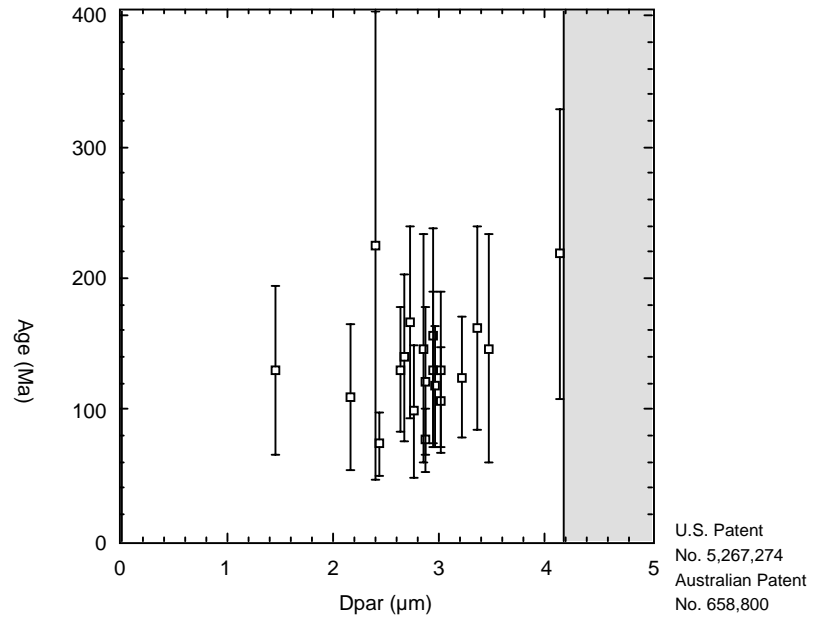
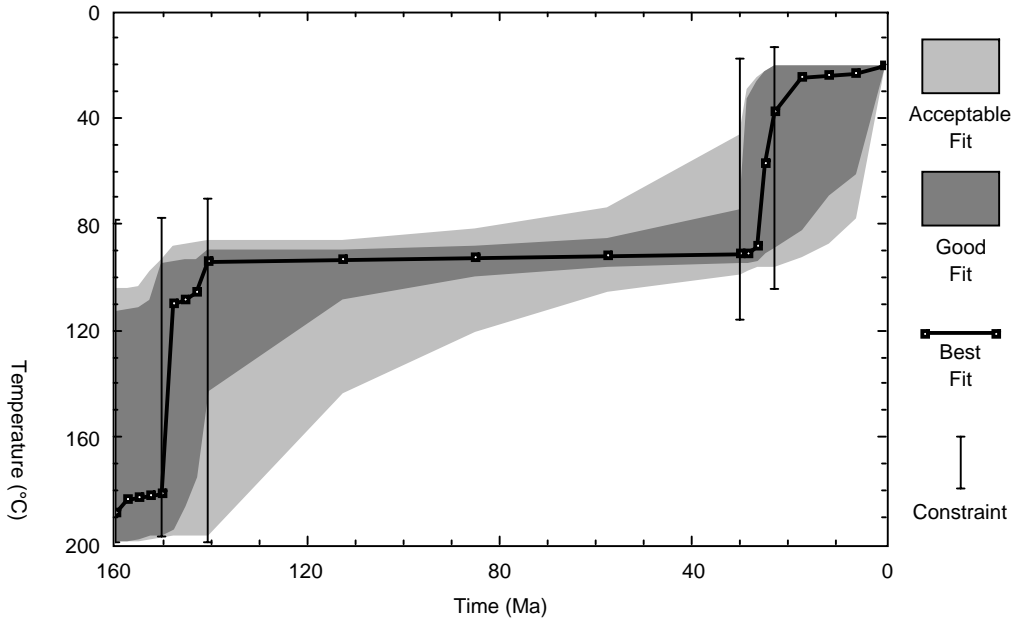
RS-12



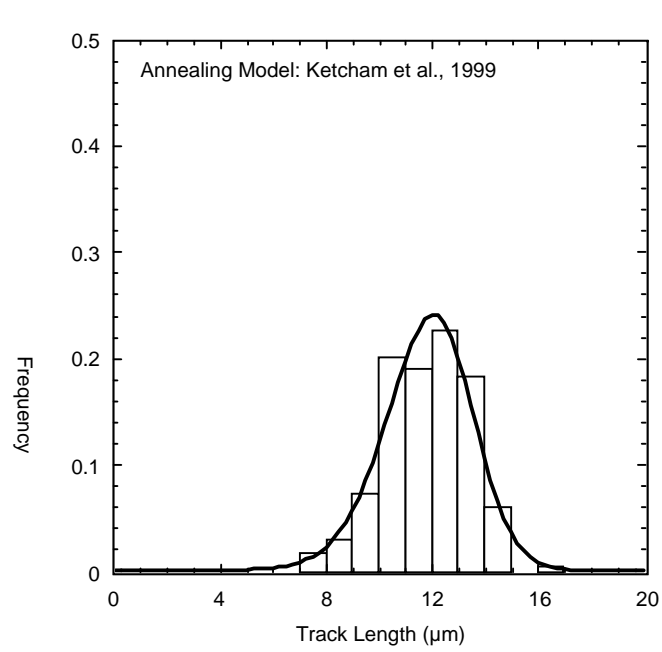
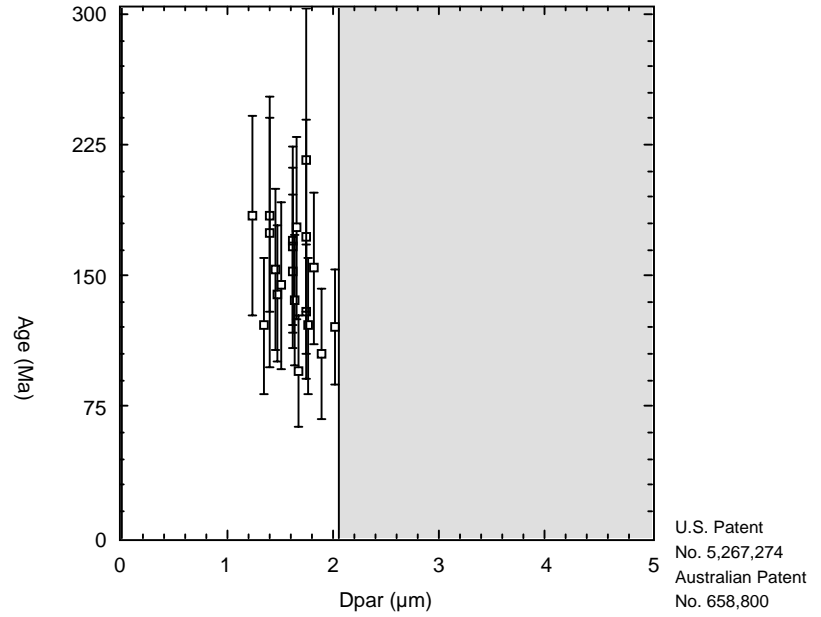
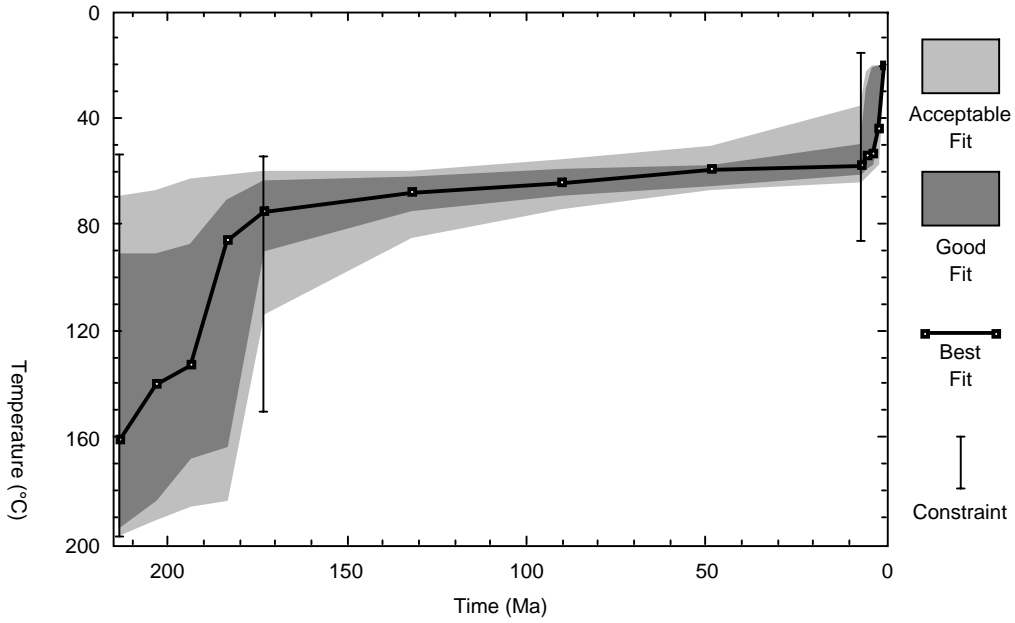
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	264	259±19	50	0.82
TL (μm):	10.9±2.0	11.2±1.6	33	0.62



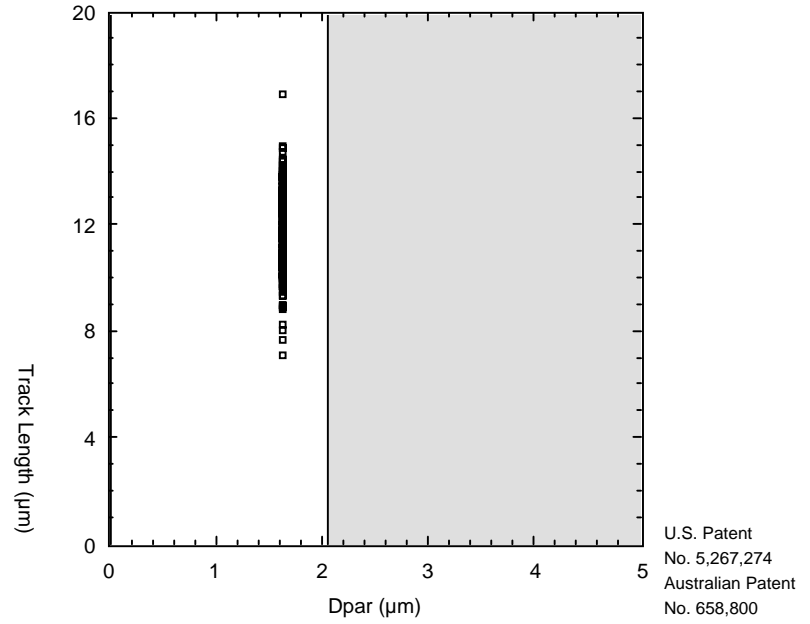
PRD-02



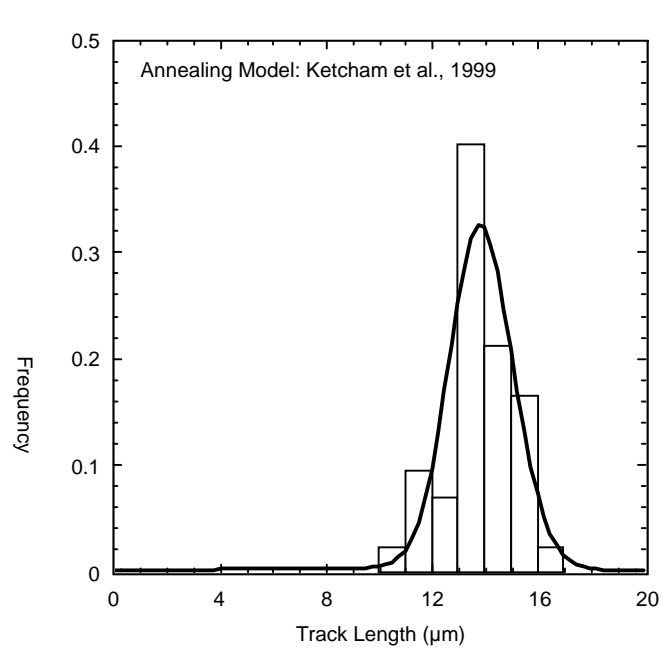
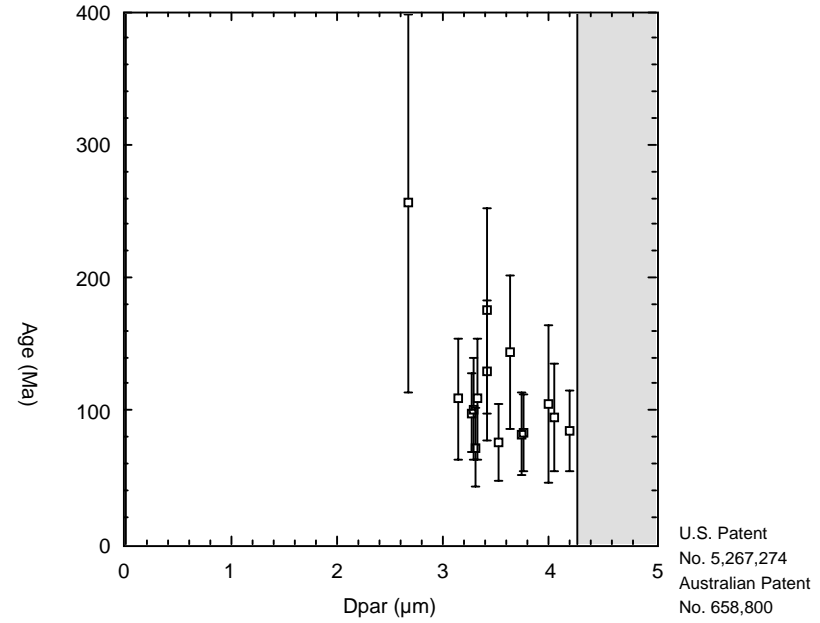
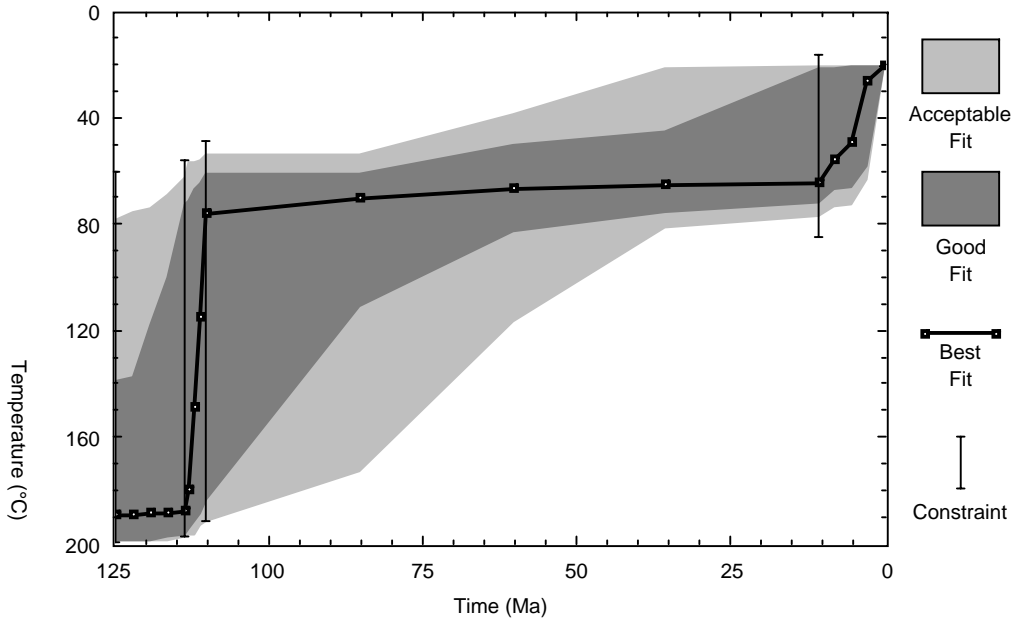
PRD-04



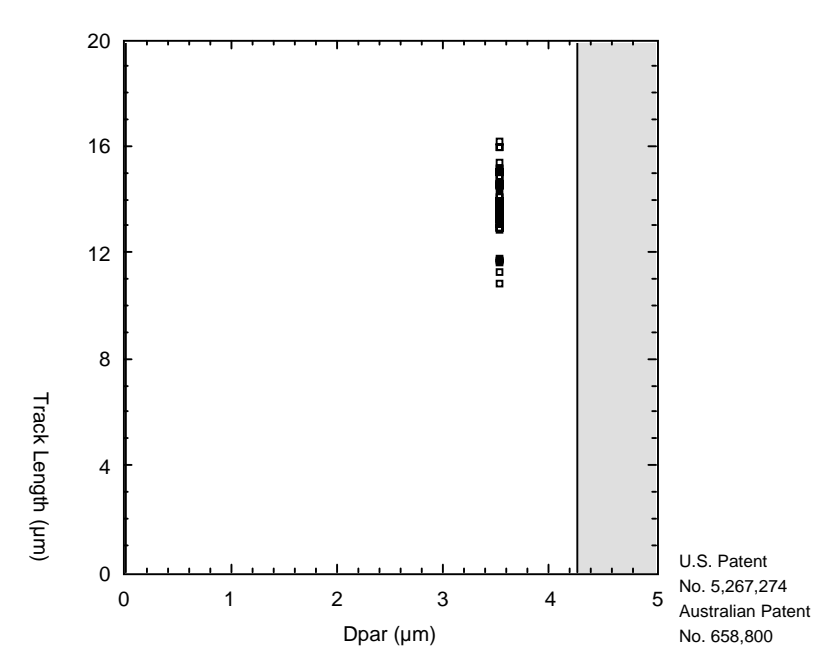
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	148	148±12	20	0.99
TL (μm):	11.8±1.7	11.8±1.6	162	0.88



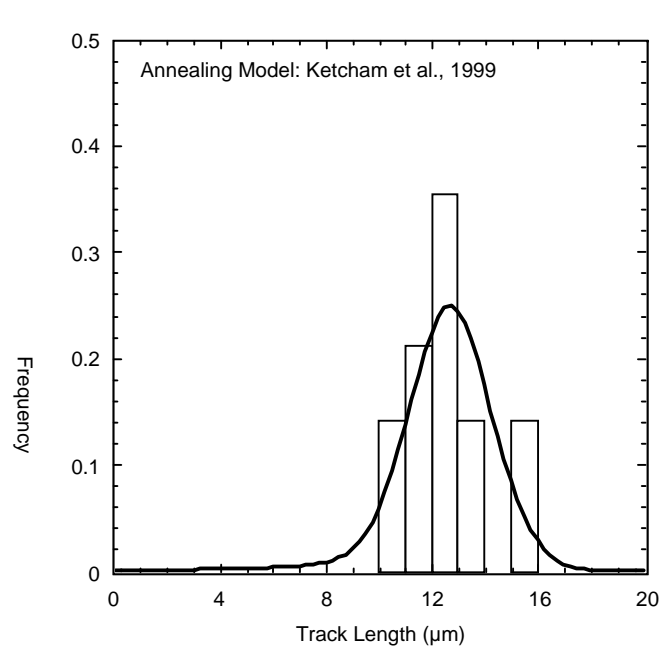
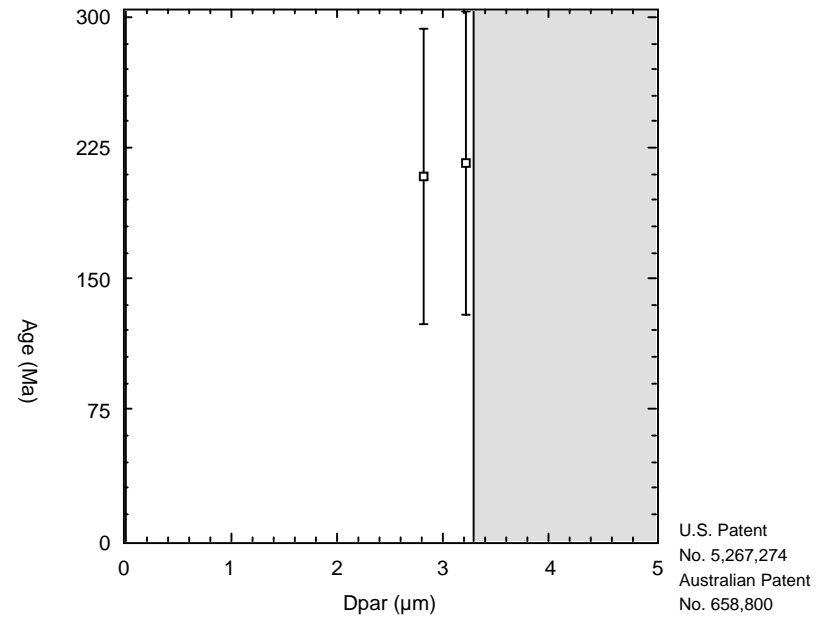
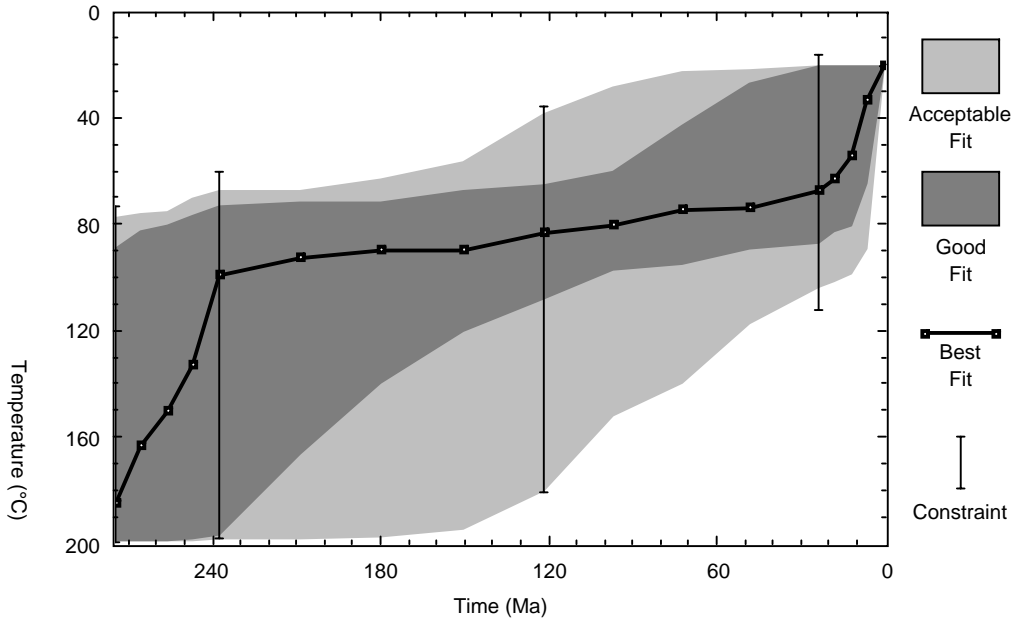
PRD-05



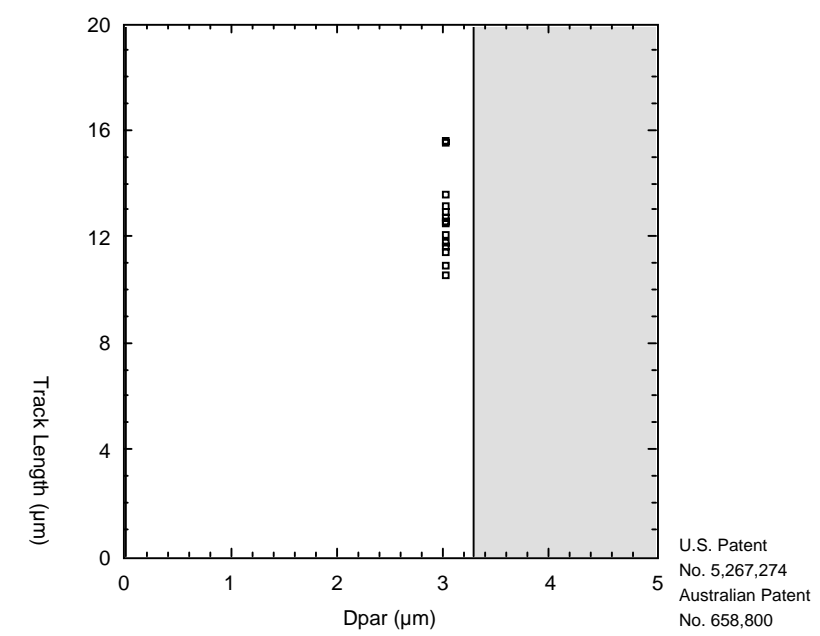
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	103	103±11	15	0.99
TL (μm):	13.8±1.4	13.8±1.2	42	0.97



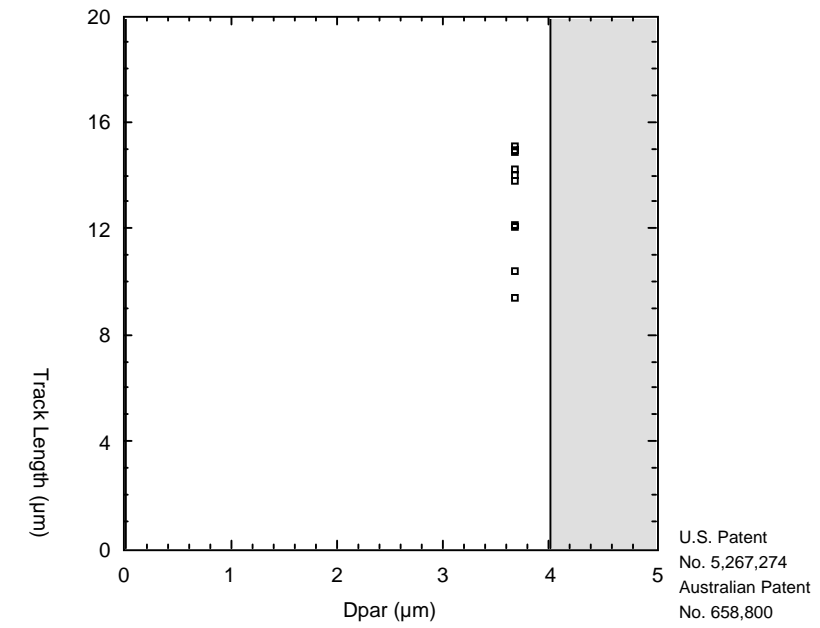
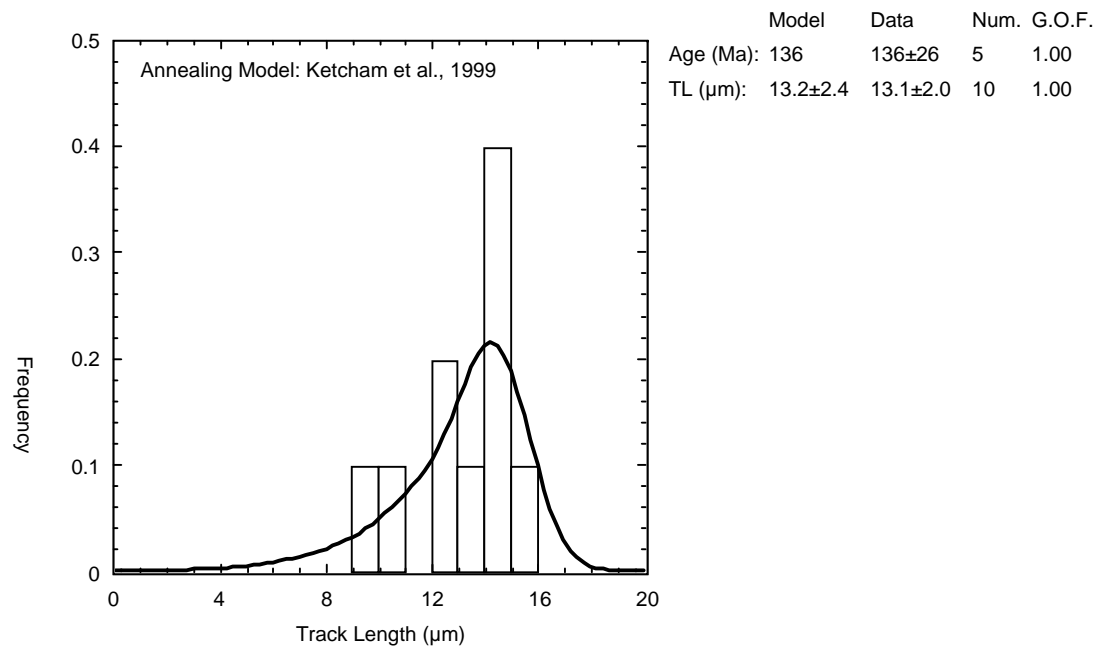
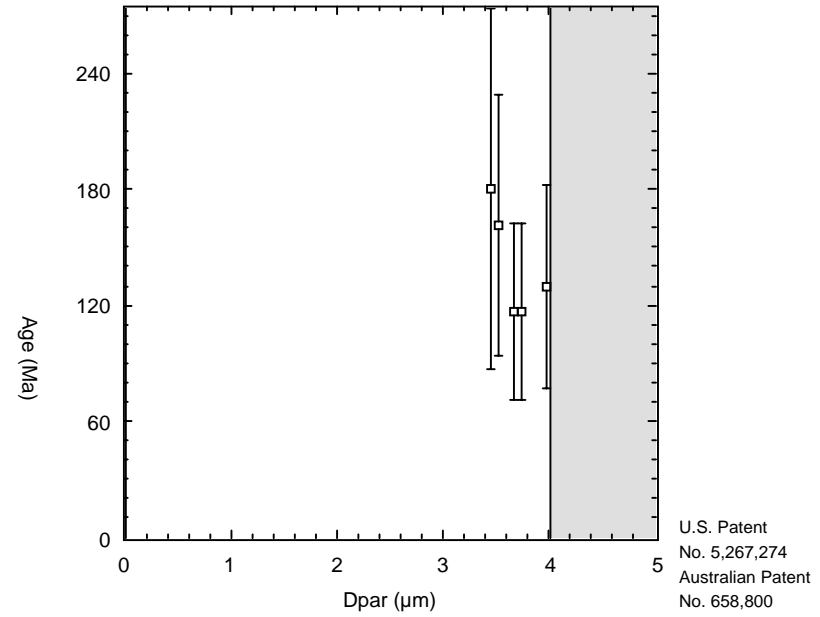
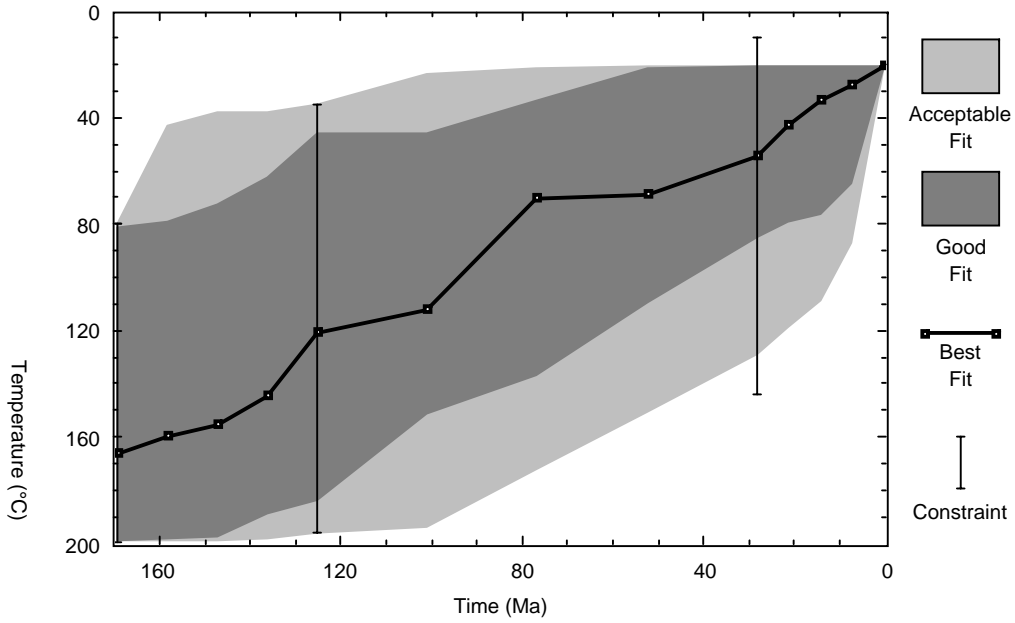
PRD-08



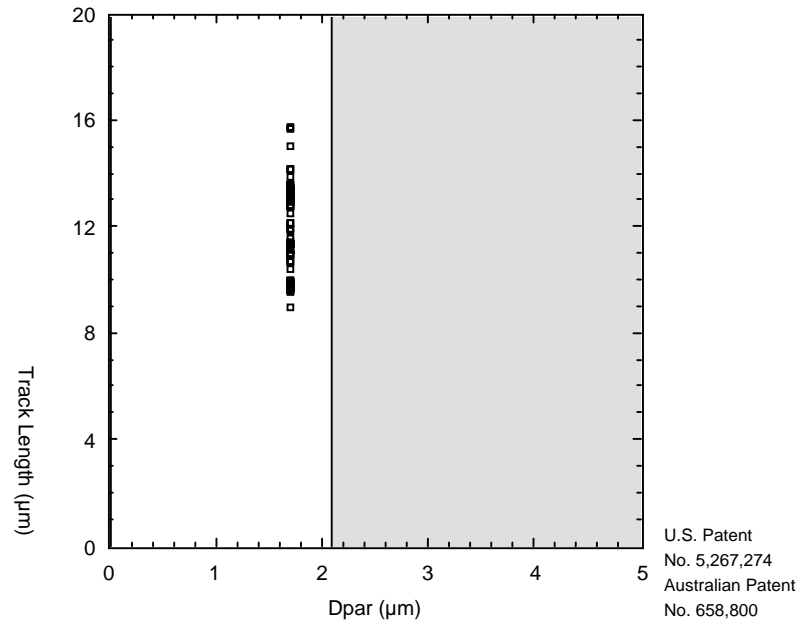
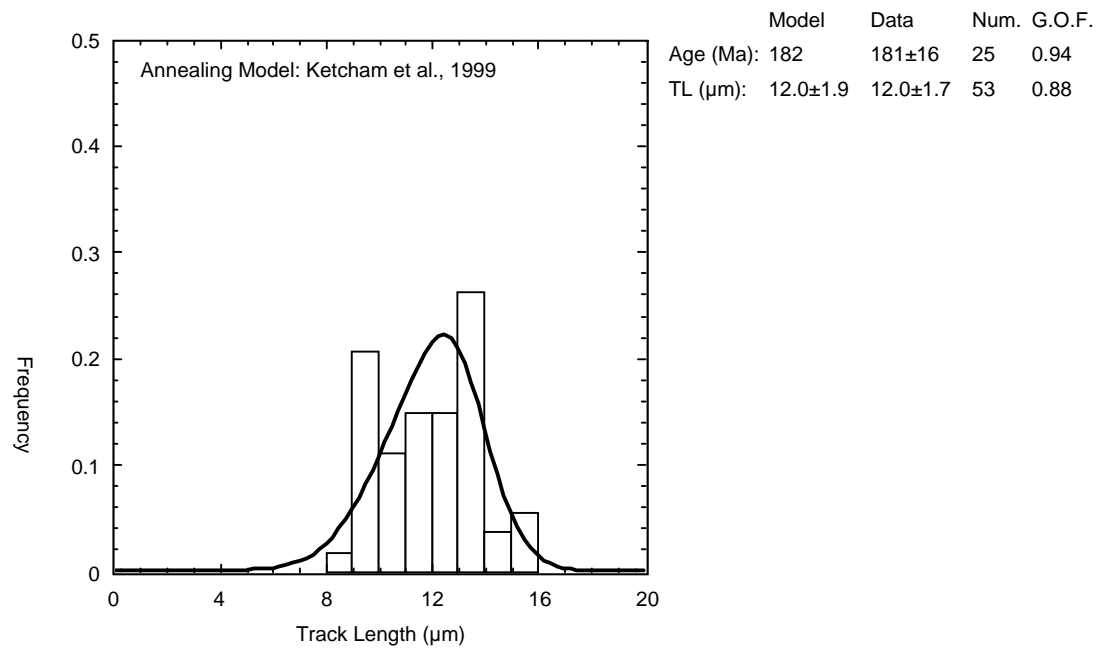
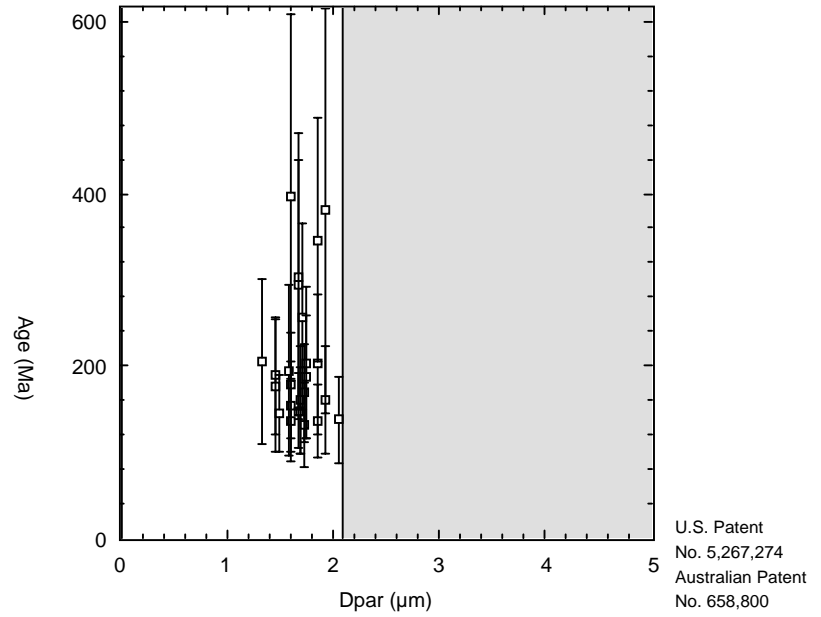
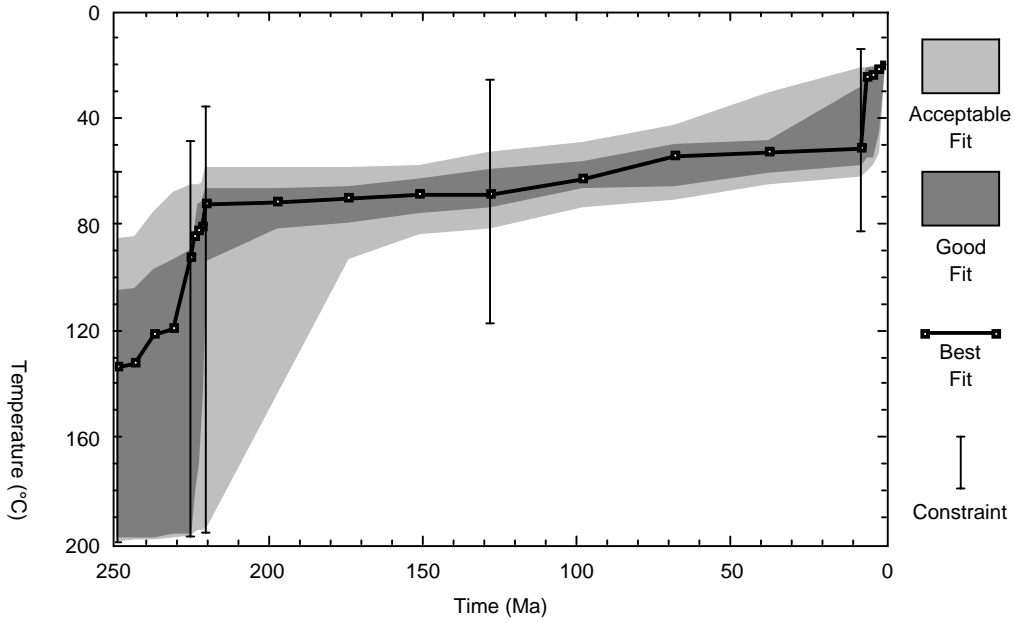
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	214	213±61	2	0.99
TL (μm):	12.6±1.8	12.6±1.5	14	0.99



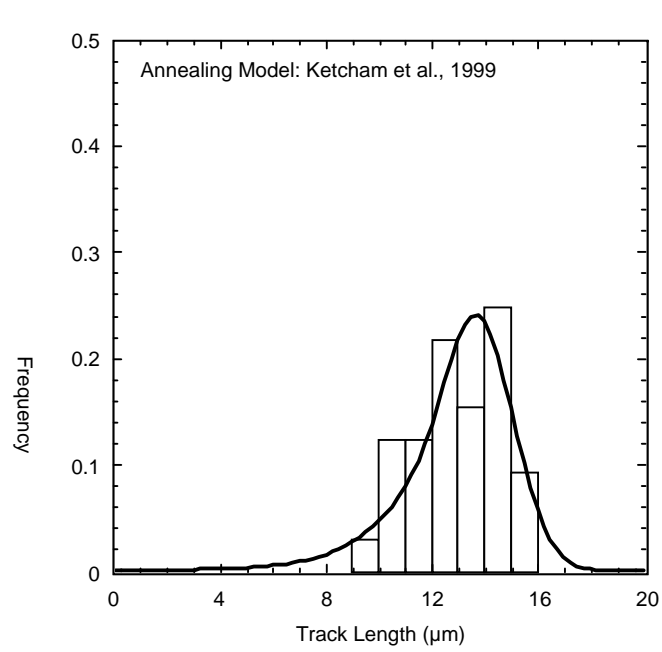
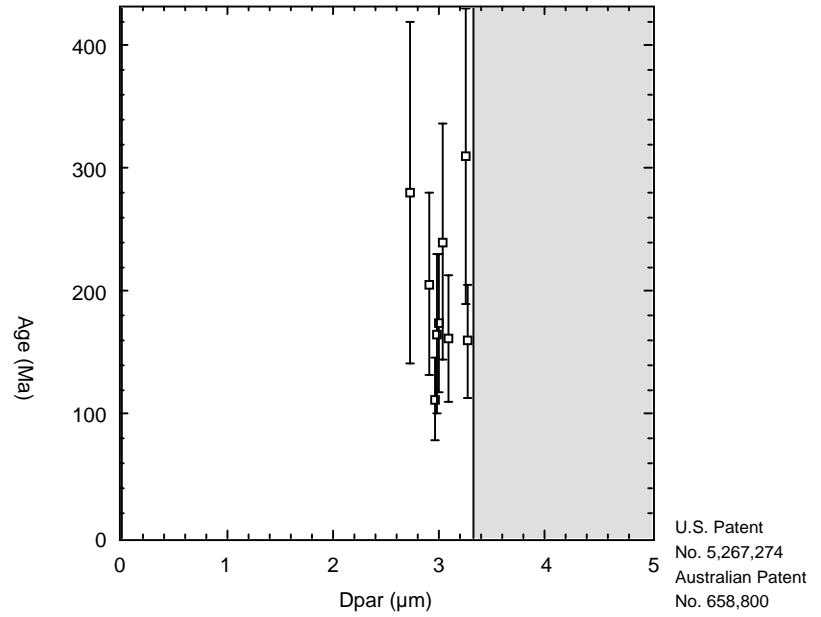
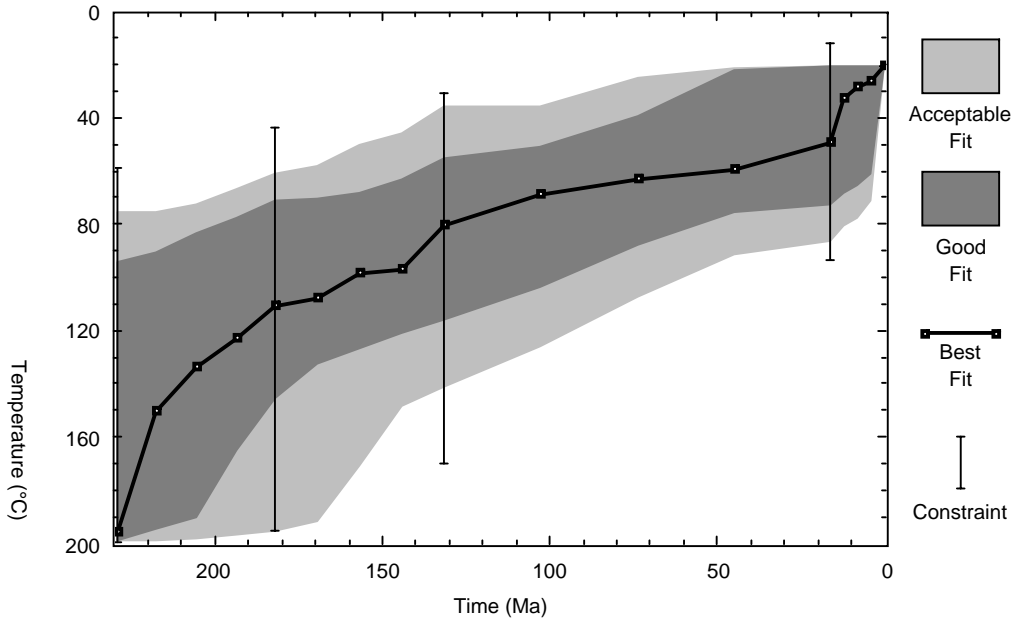
PRD-09



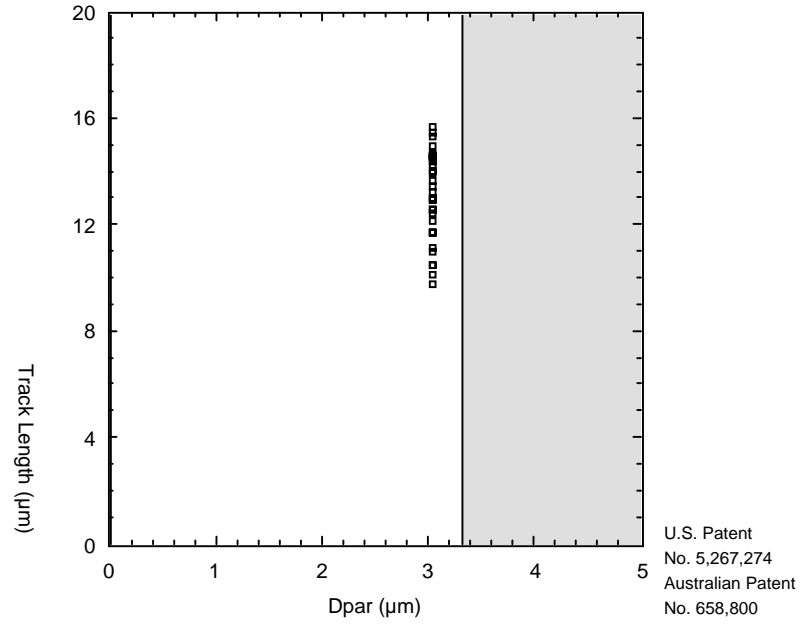
PRD-10



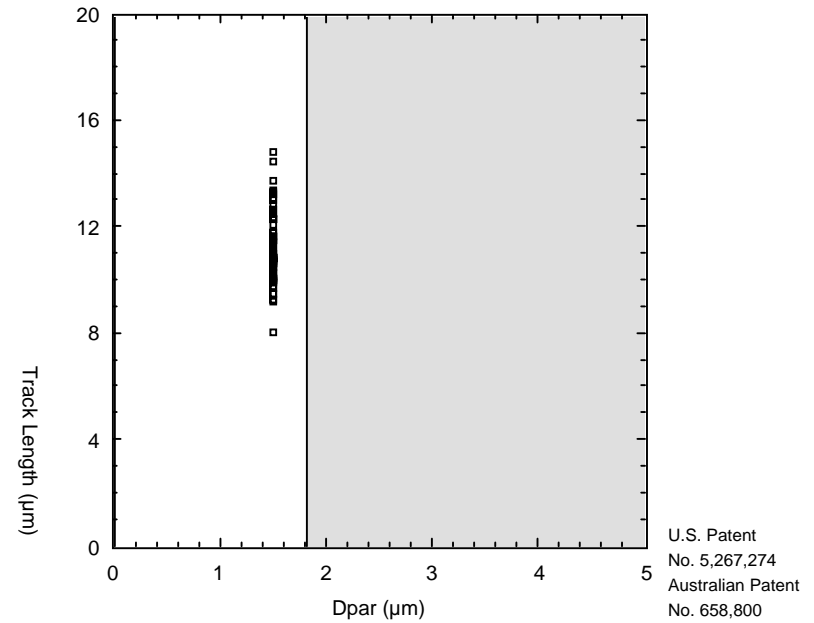
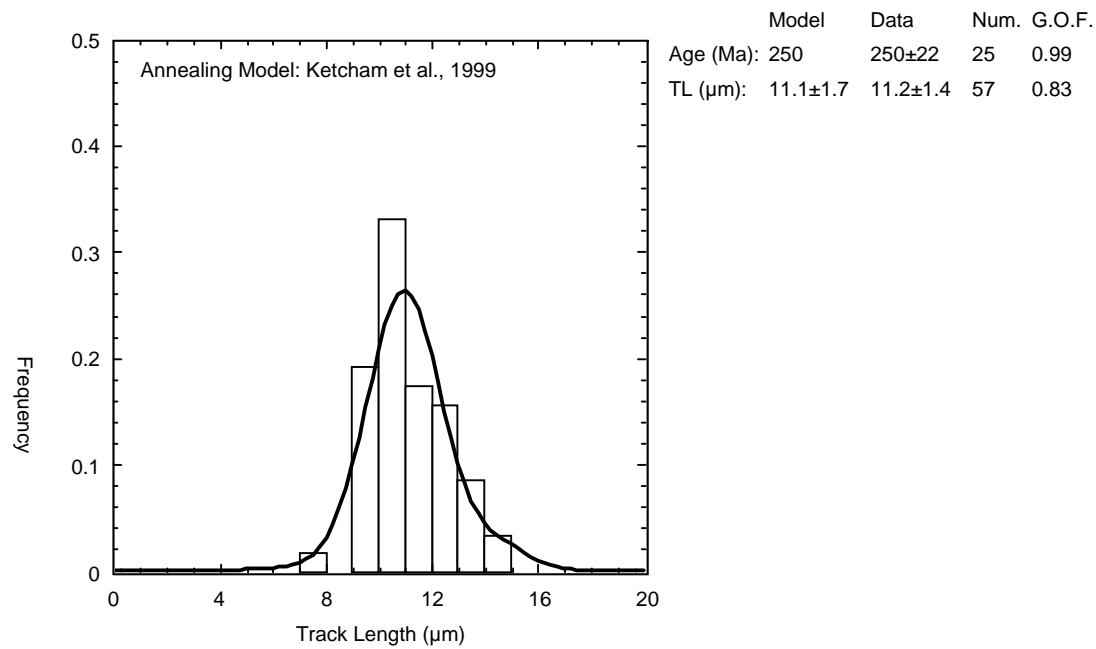
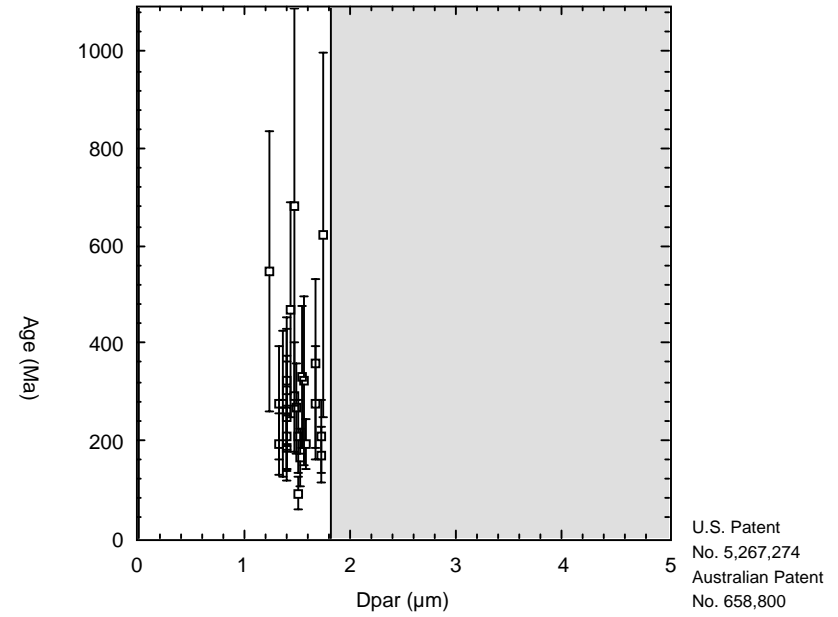
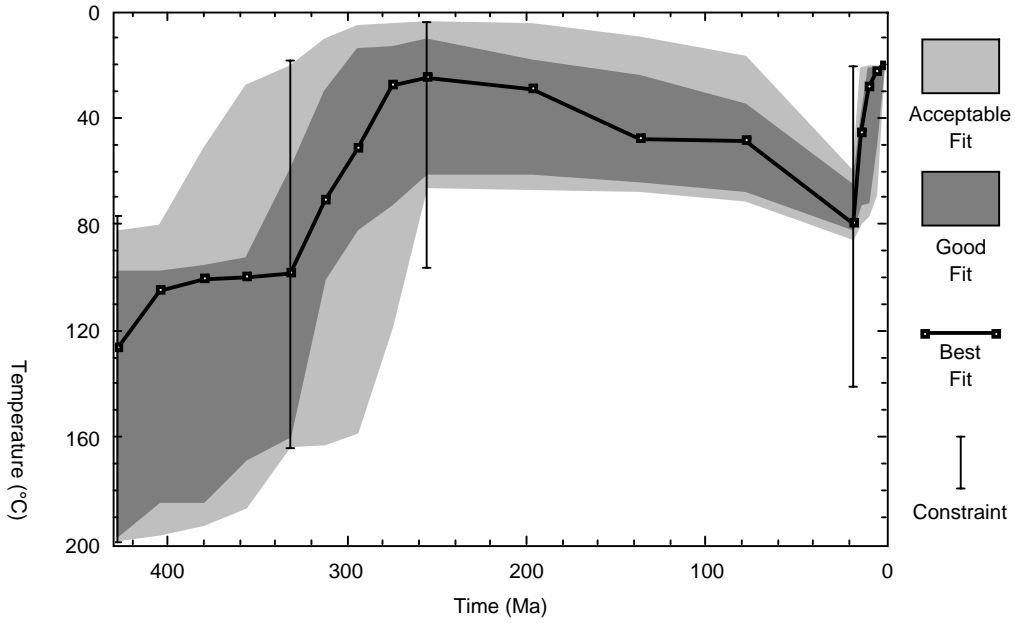
PRD-12



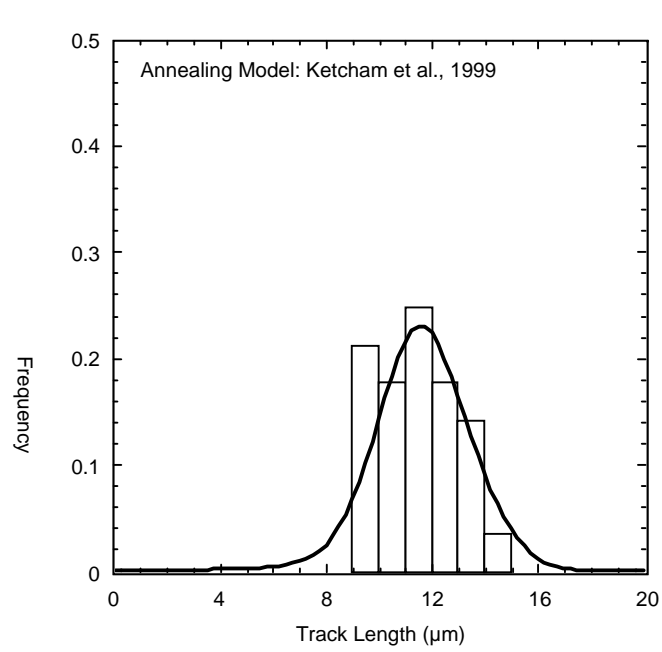
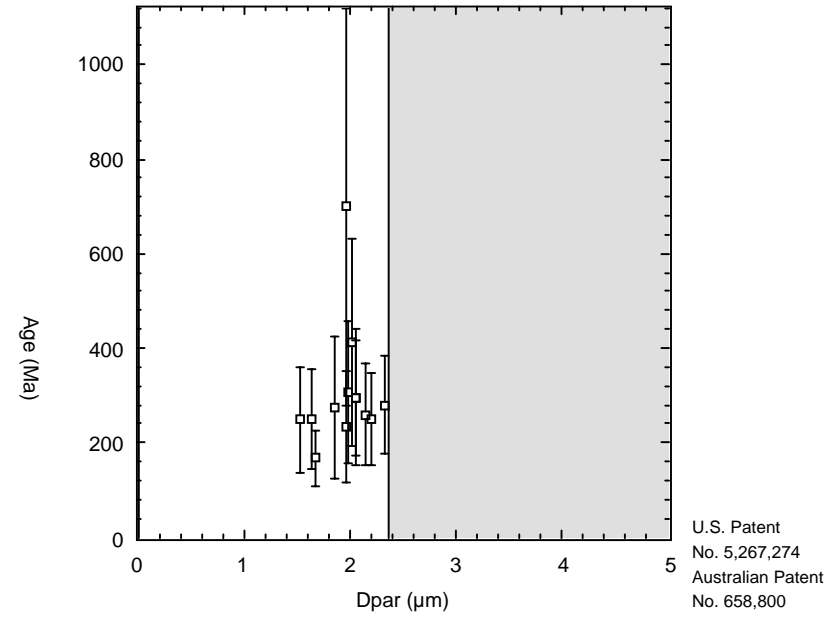
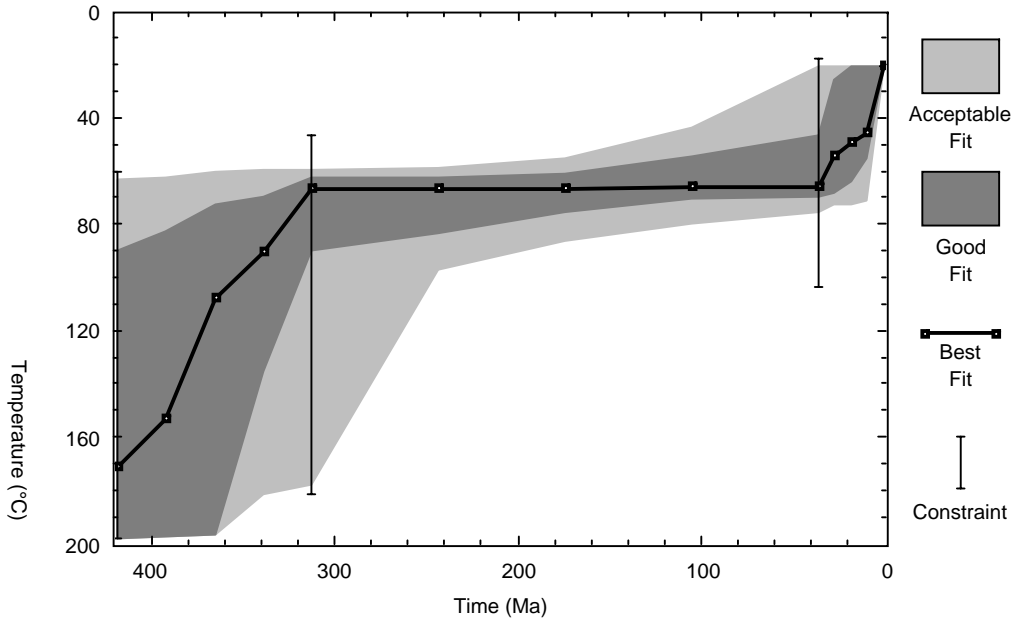
	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	183	183±22	9	0.99
TL (μm):	13.0±2.1	13.0±1.7	32	1.00



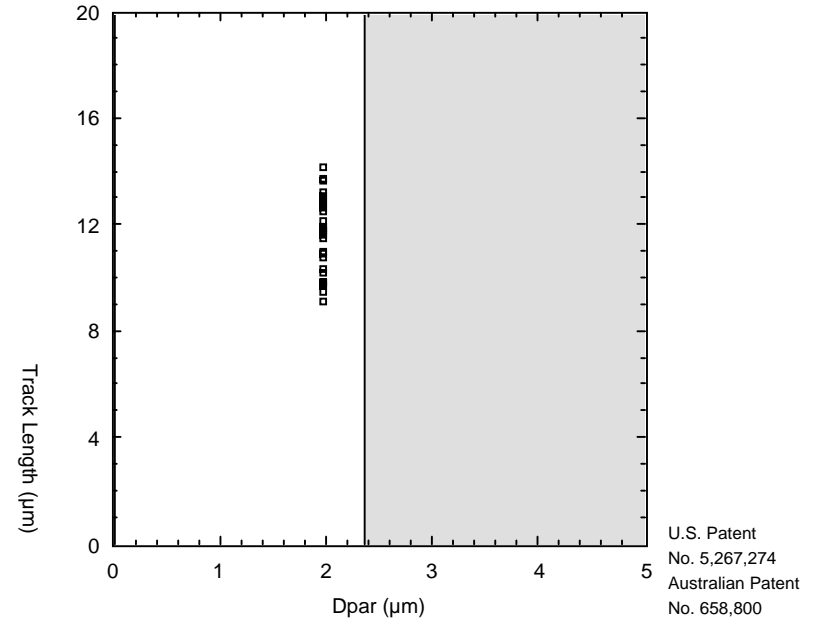
PRD-18



PRD-19

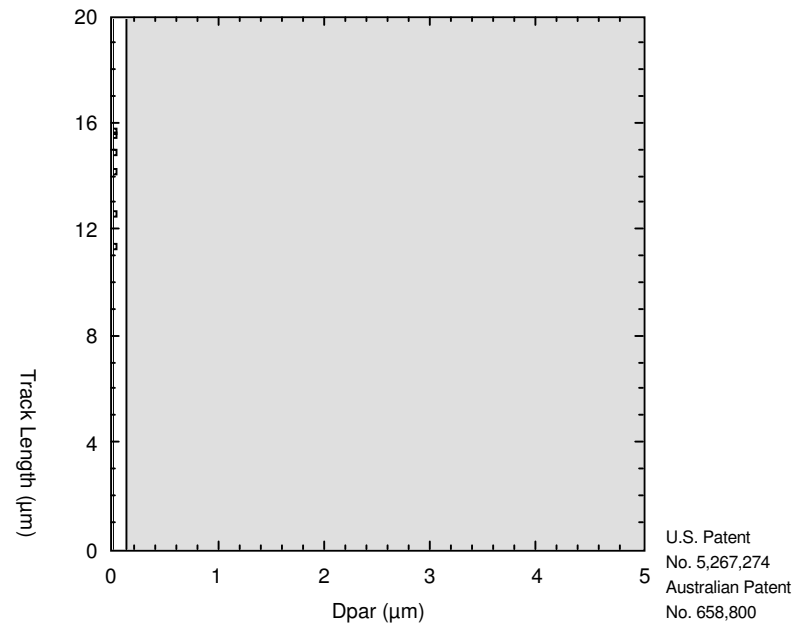
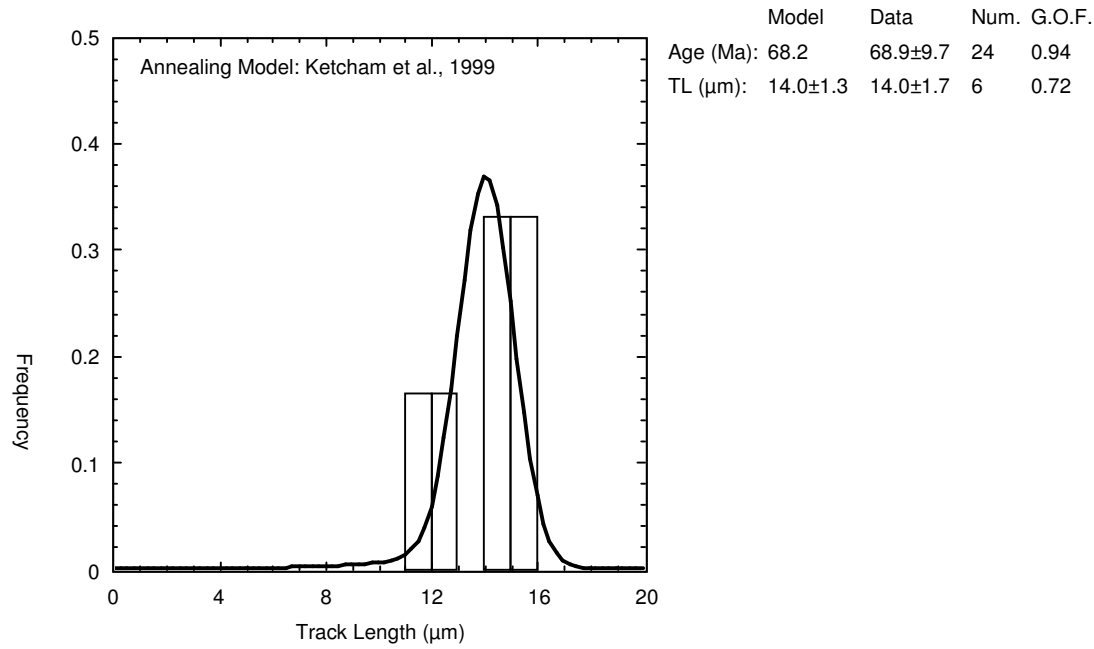
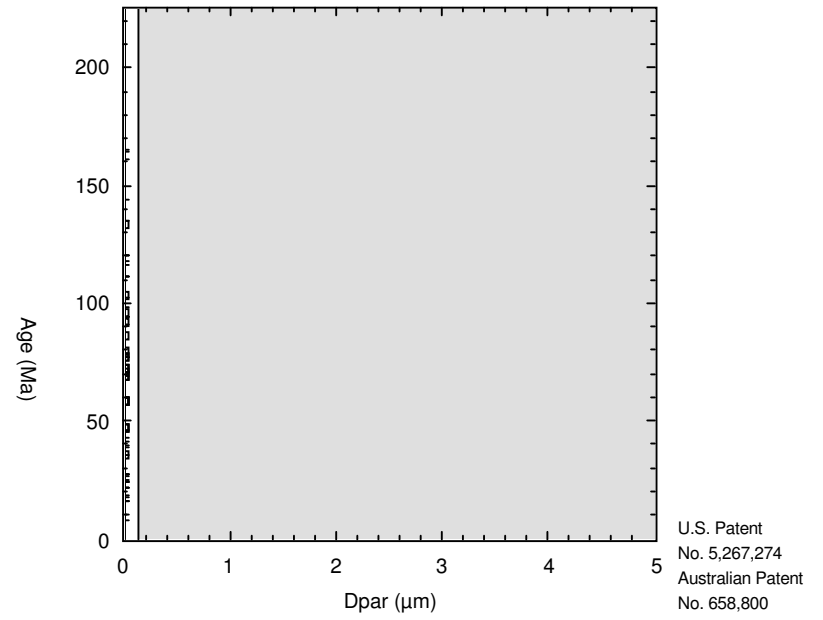
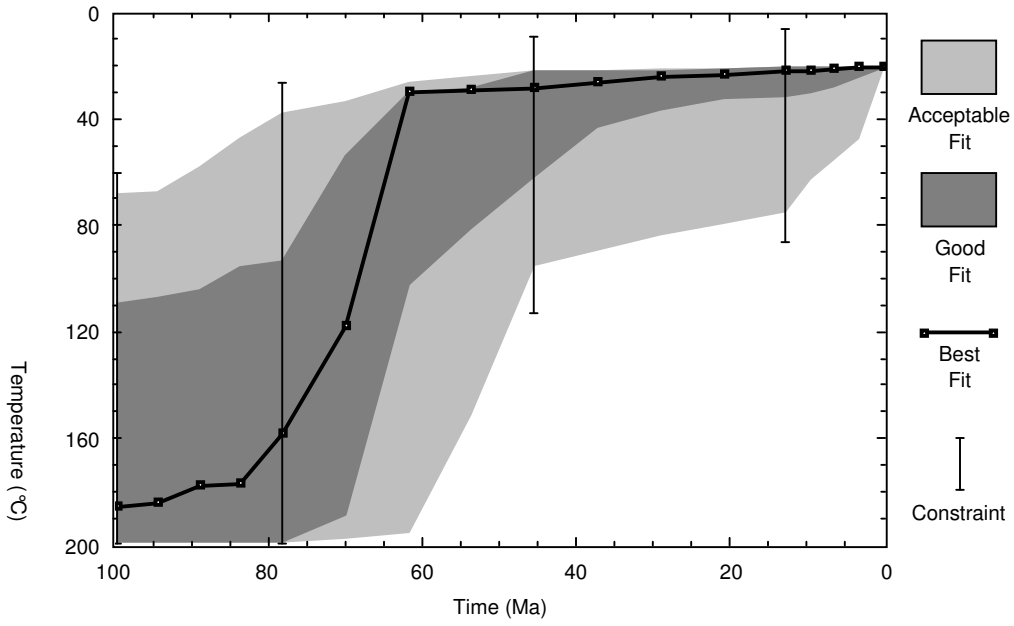


	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	277	277±36	13	1.00
TL (μm):	11.6±1.8	11.5±1.4	28	1.00

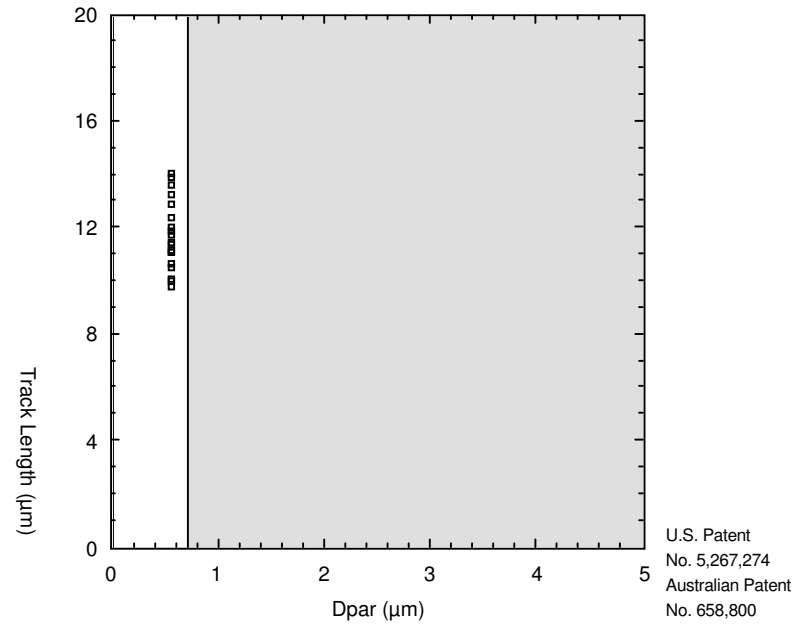
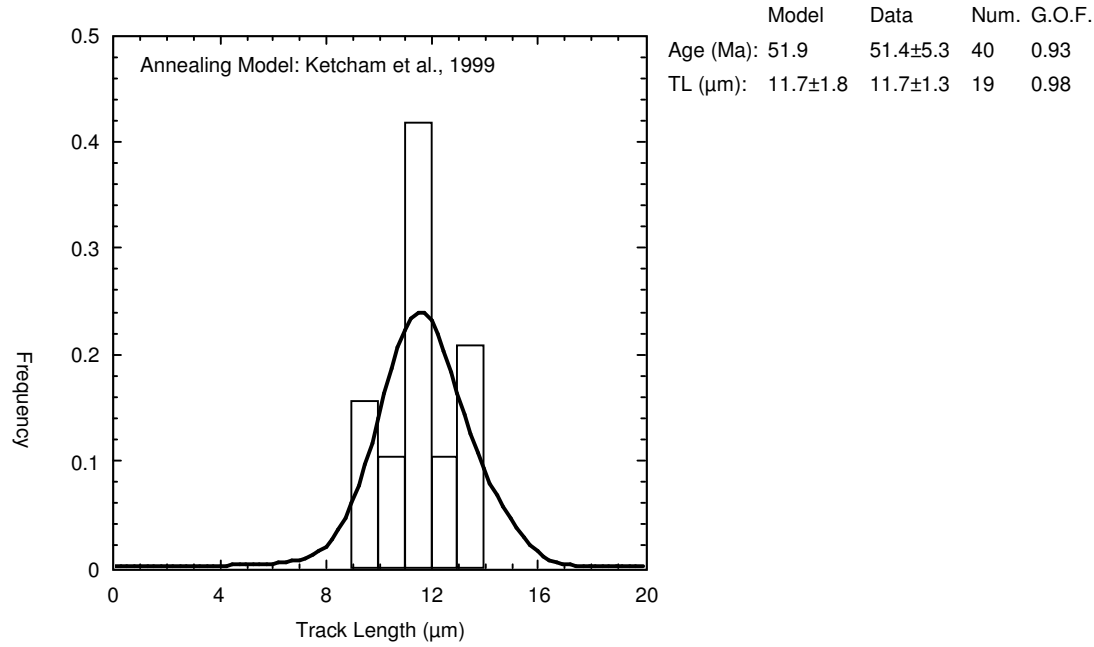
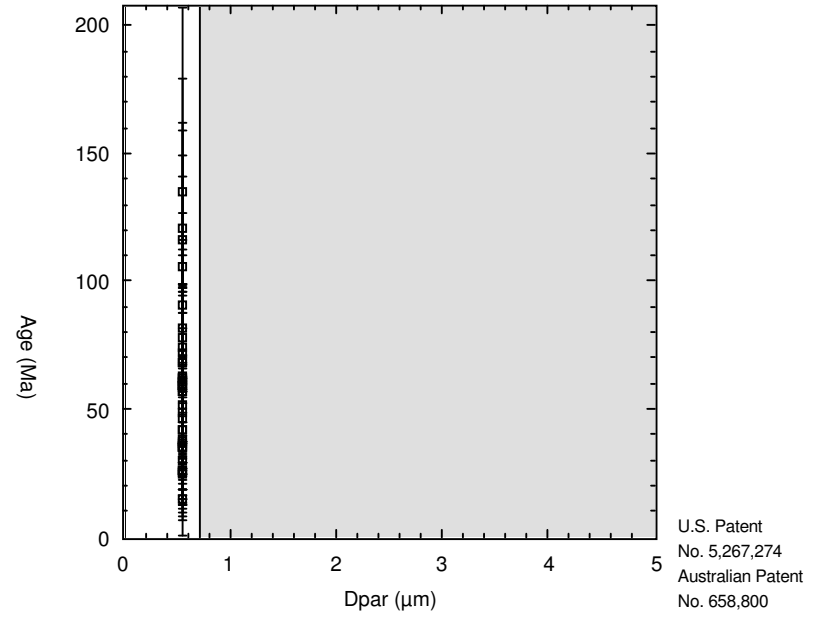
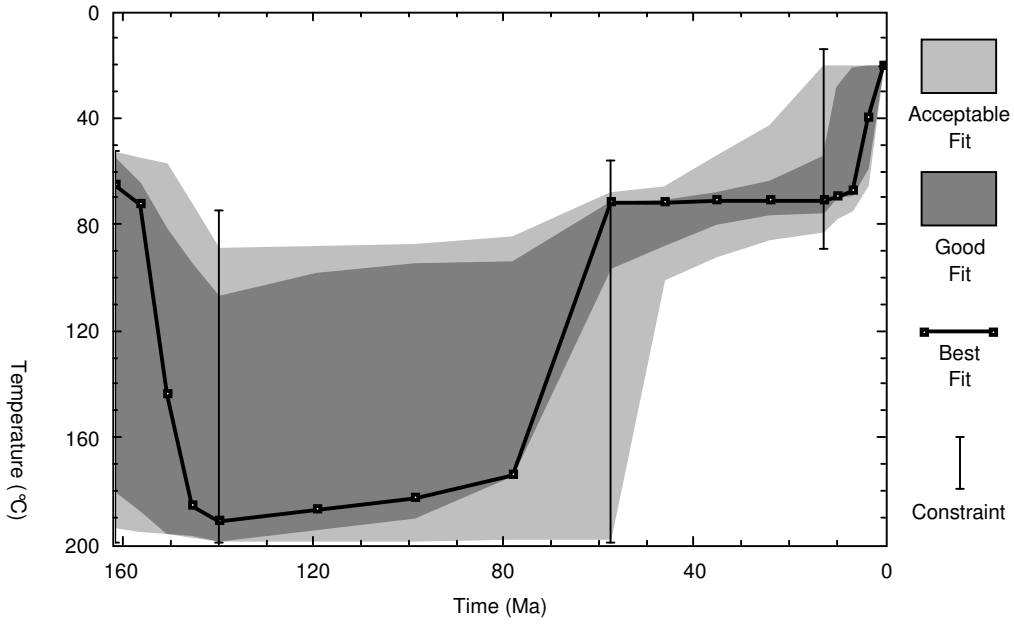


SANTA CATARINA

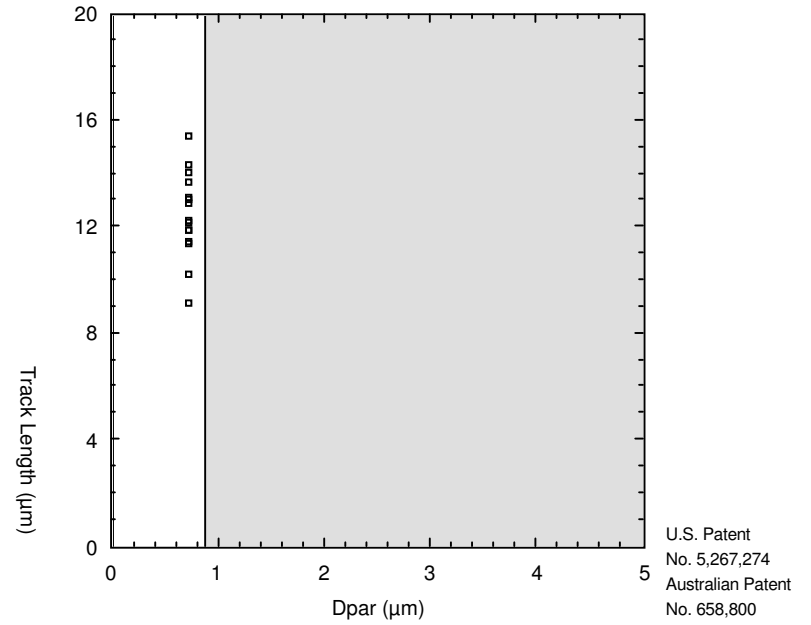
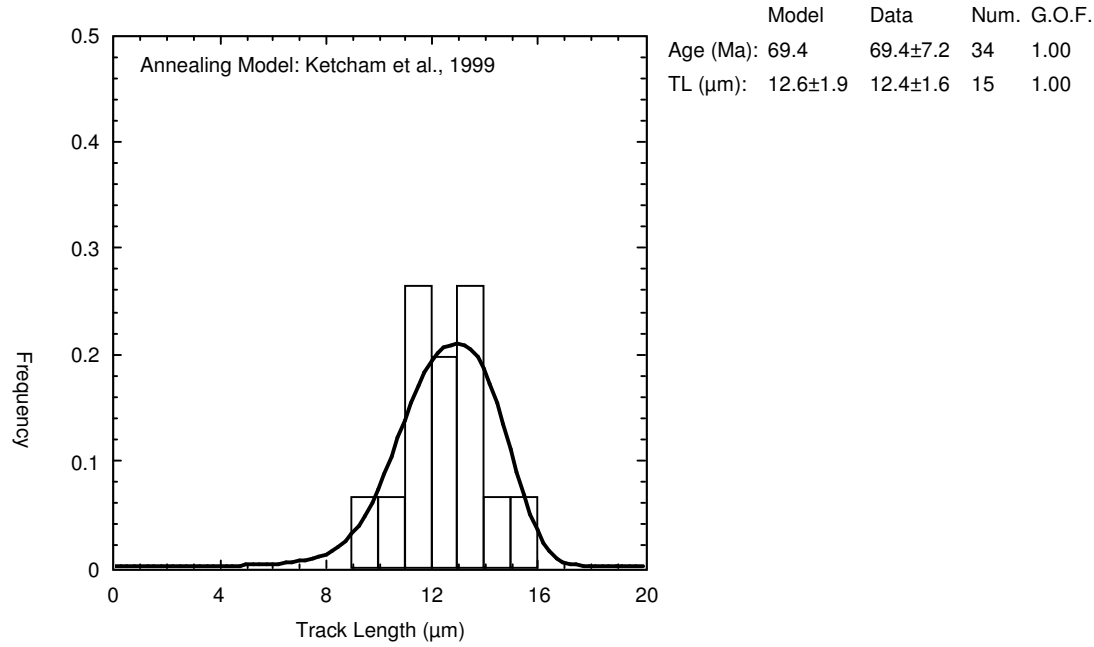
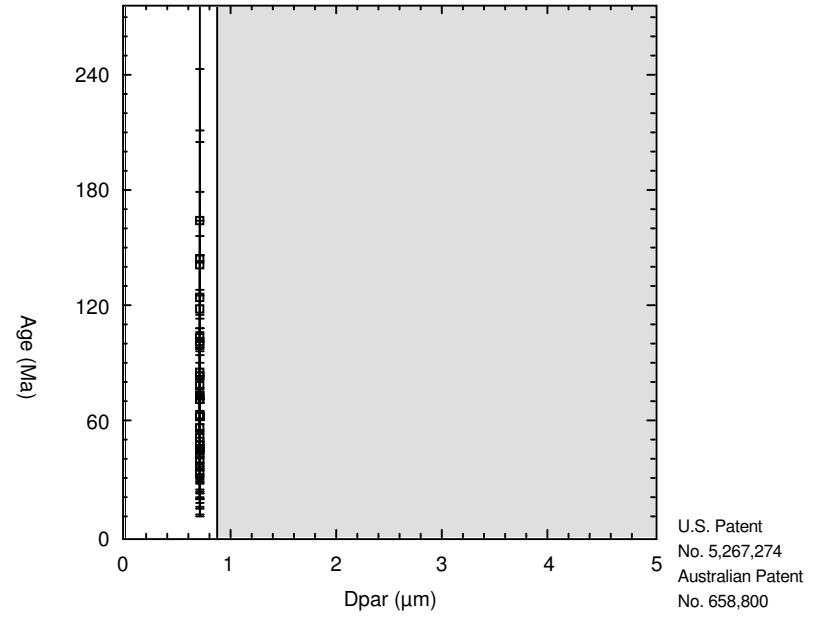
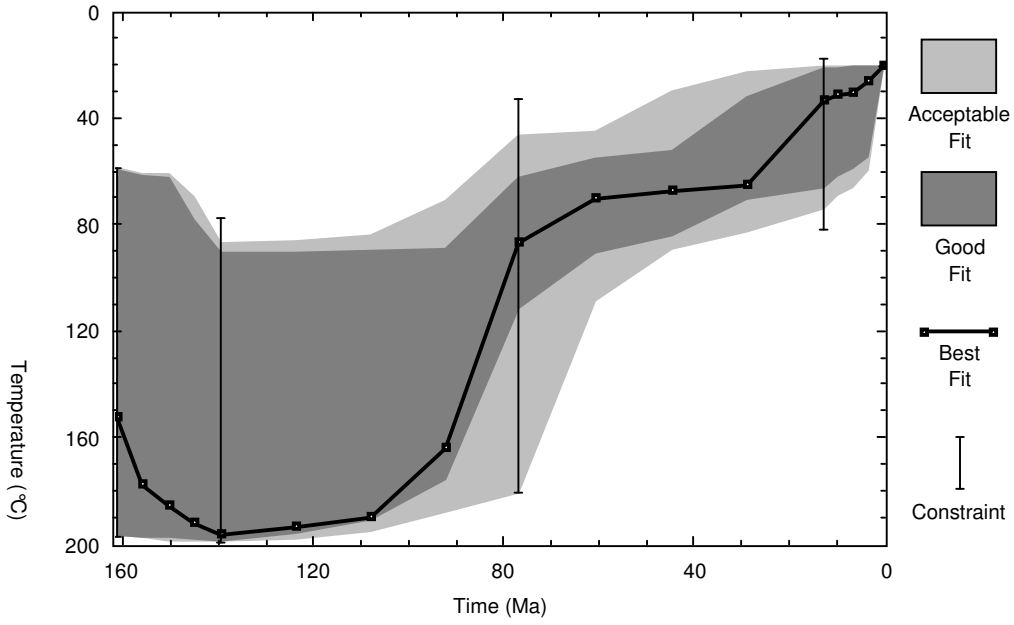
SC-1



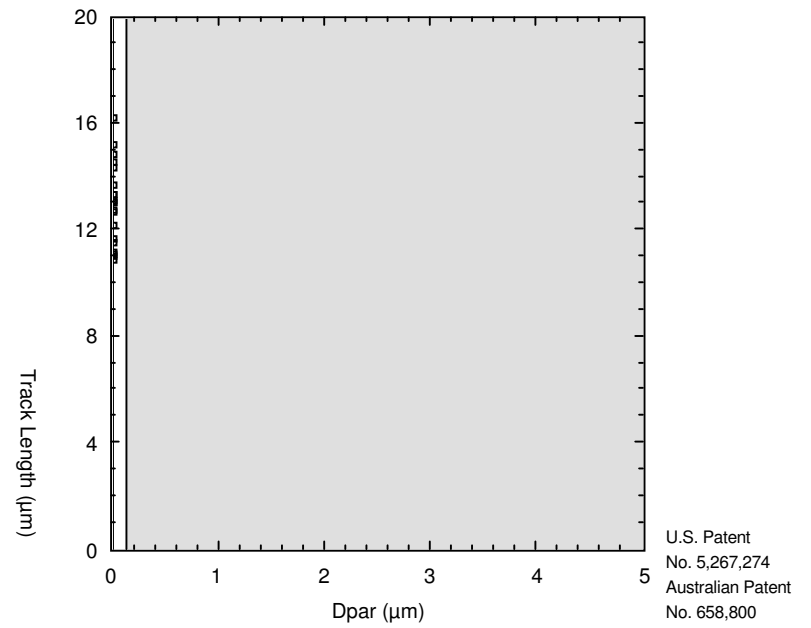
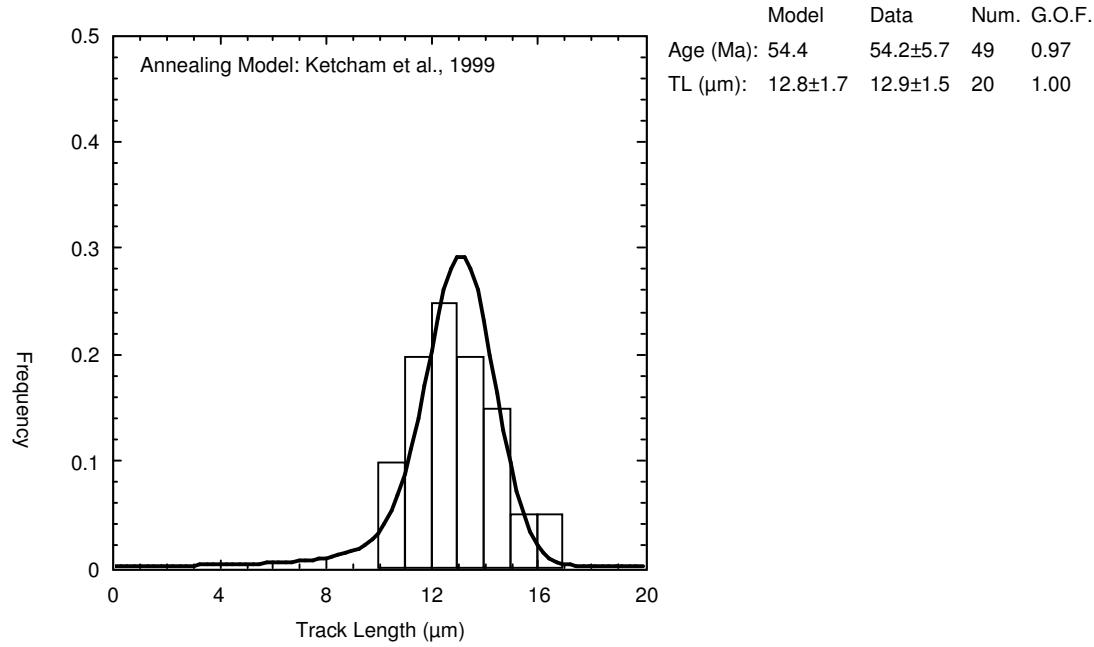
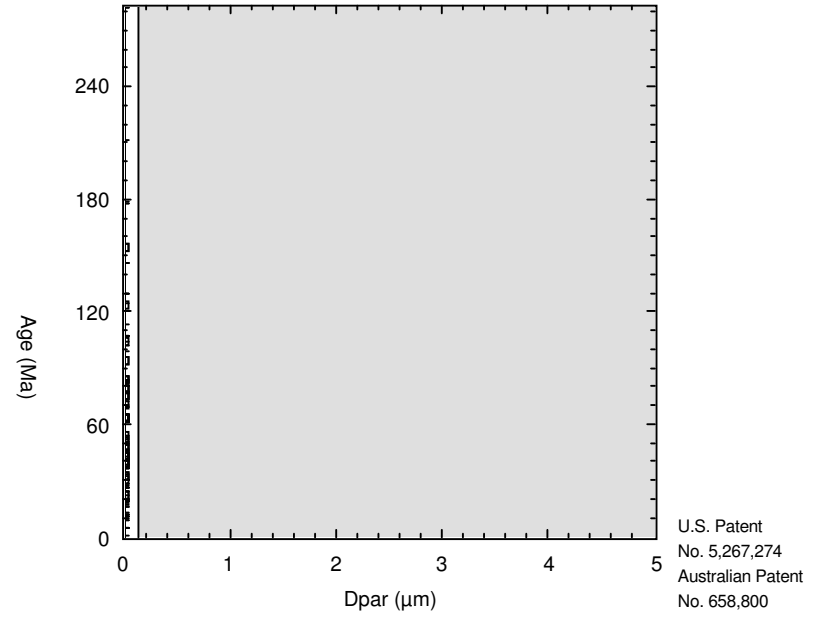
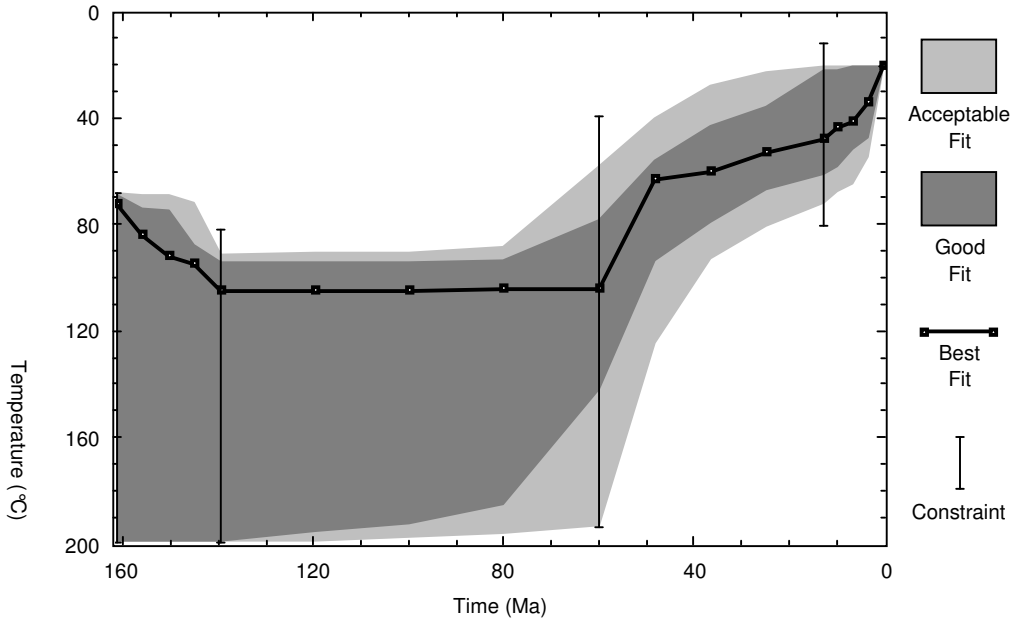
SC-3



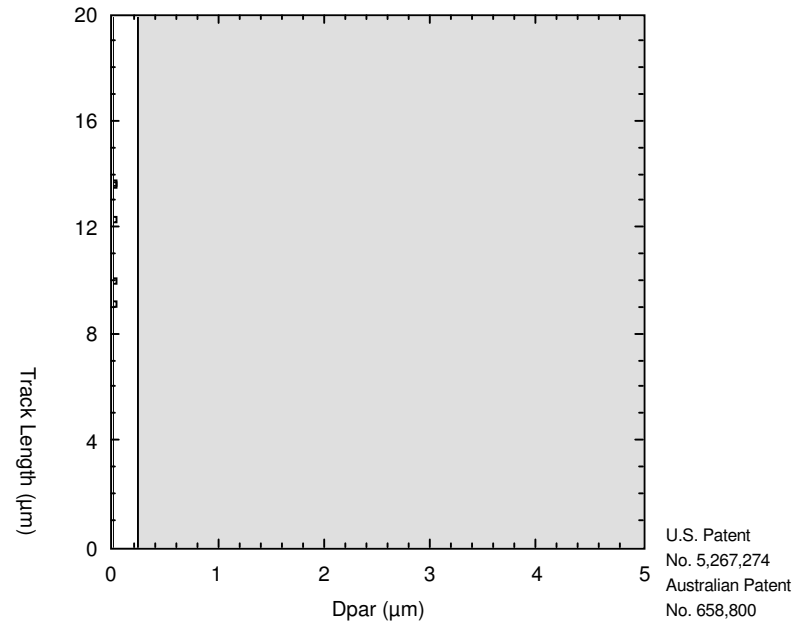
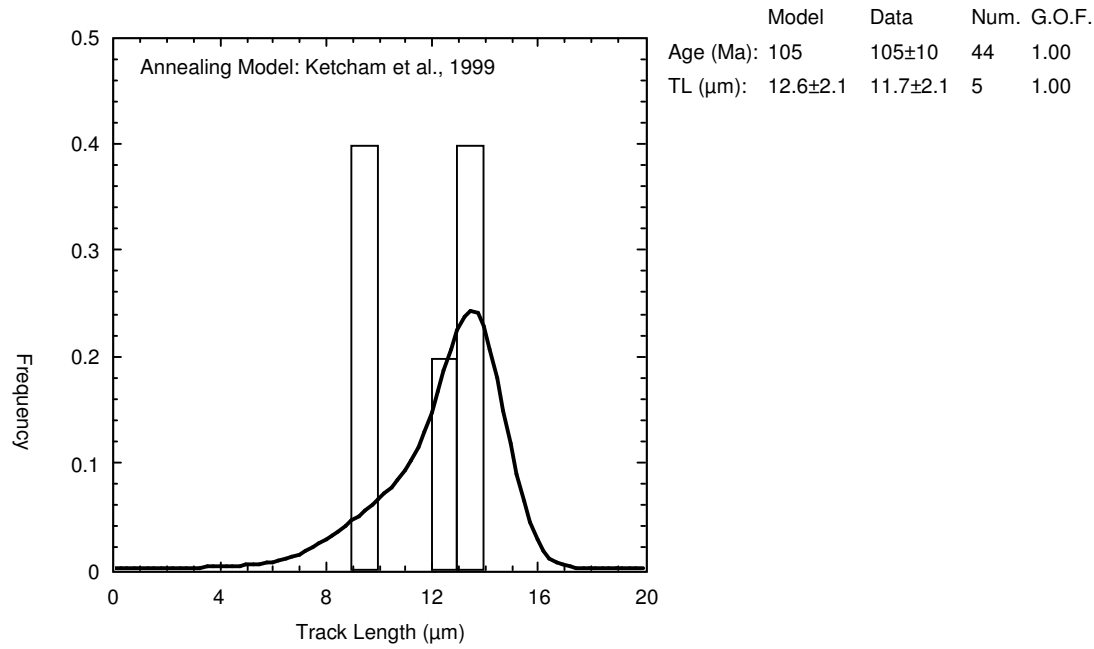
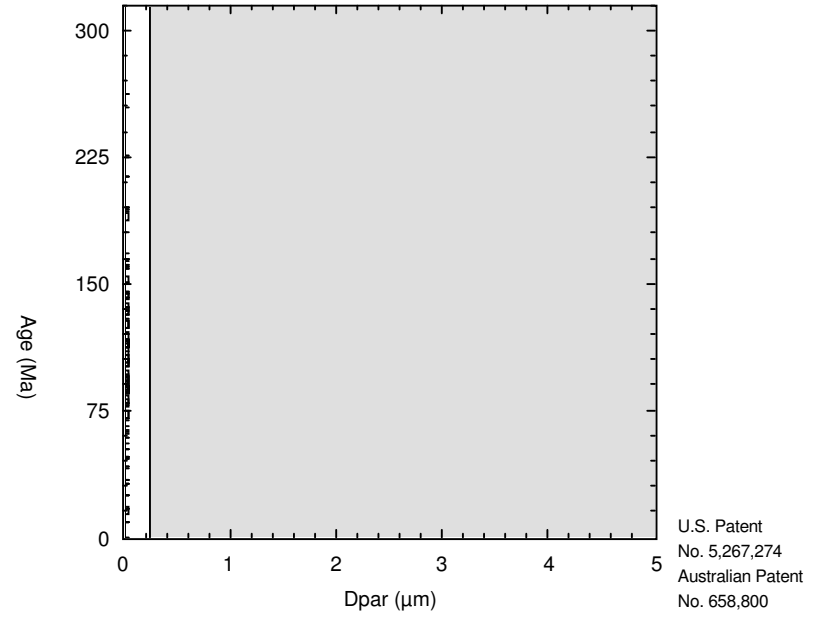
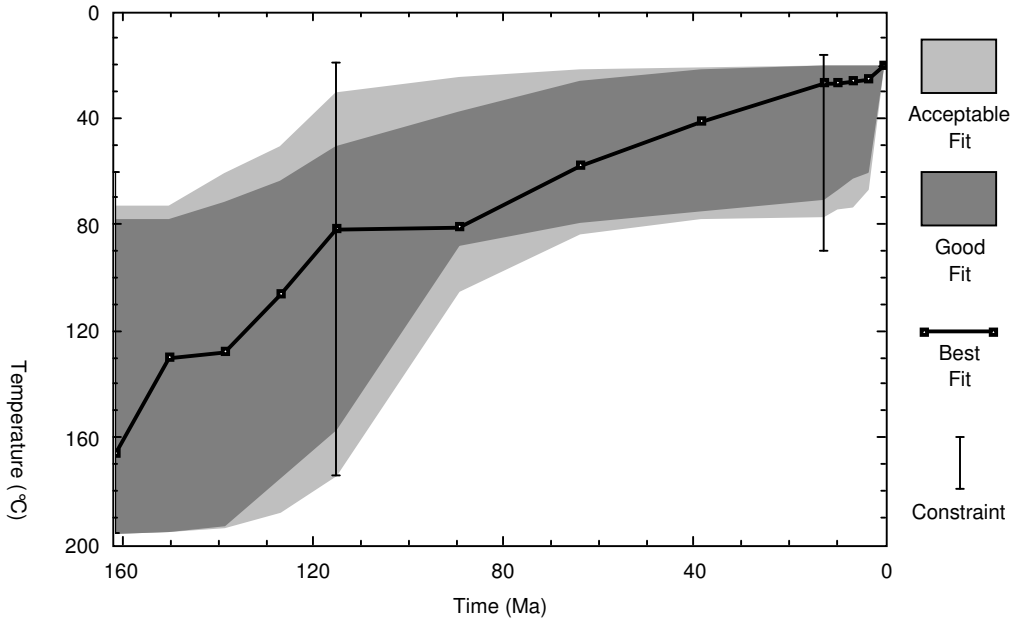
SC-4



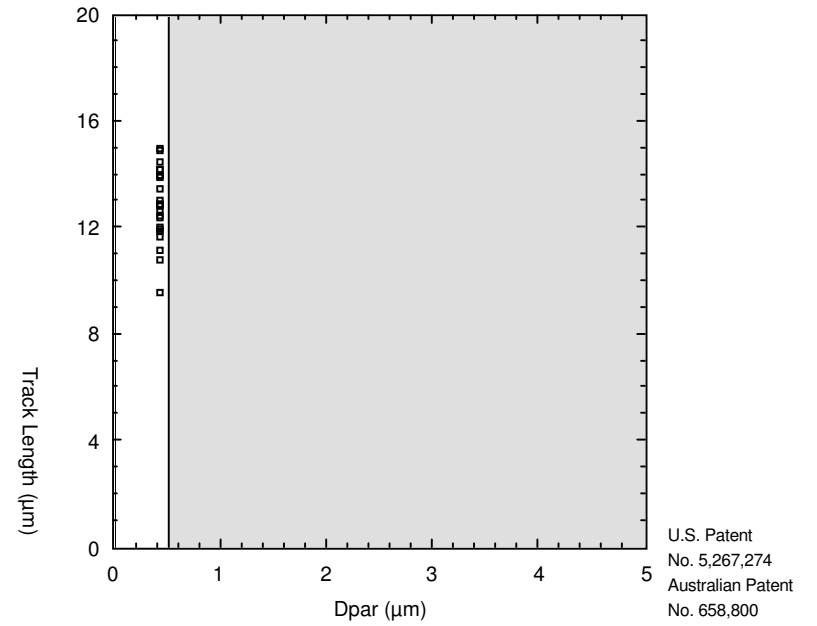
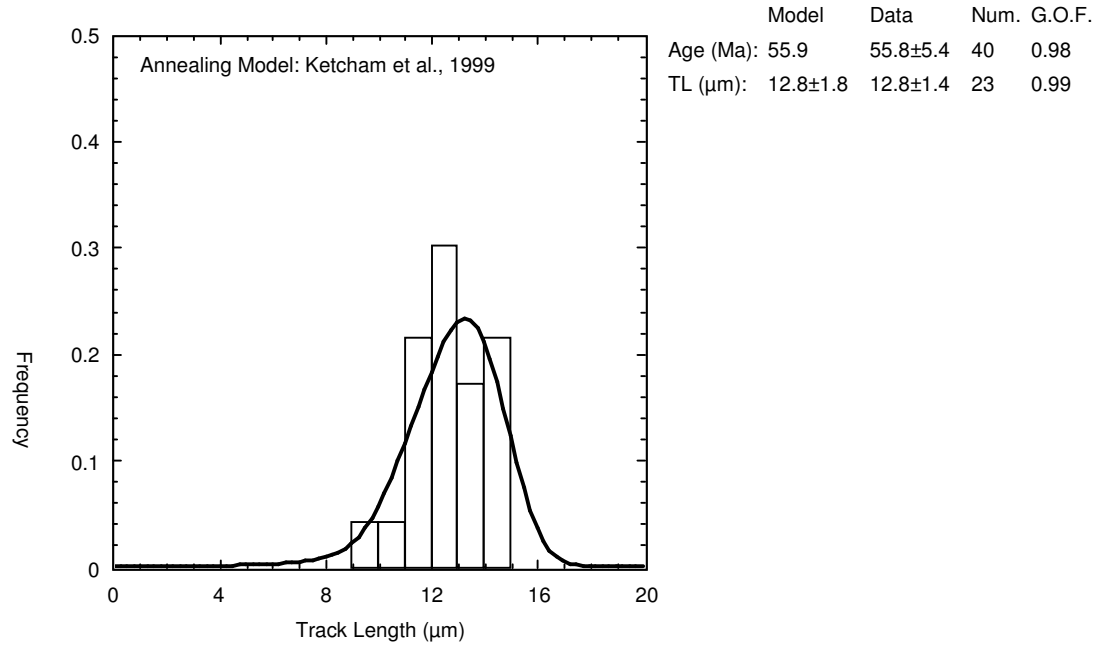
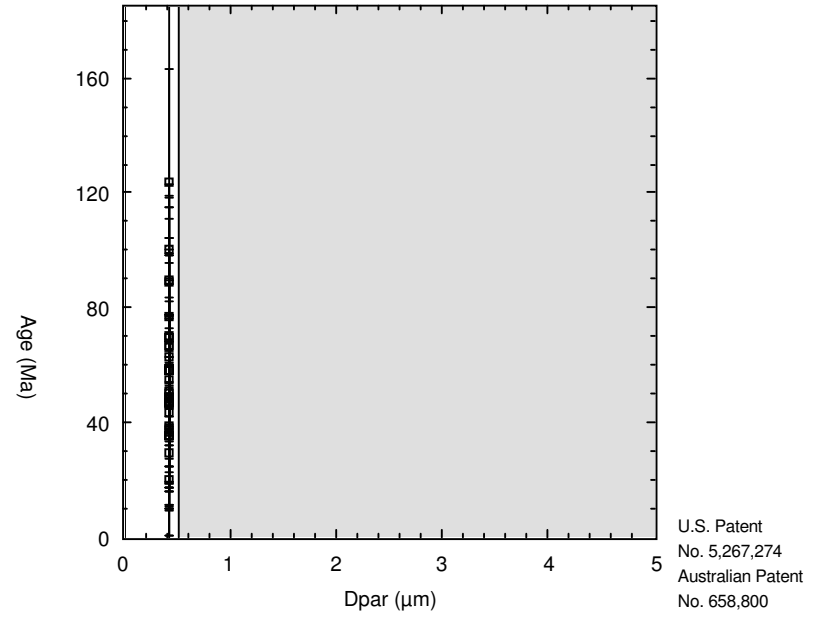
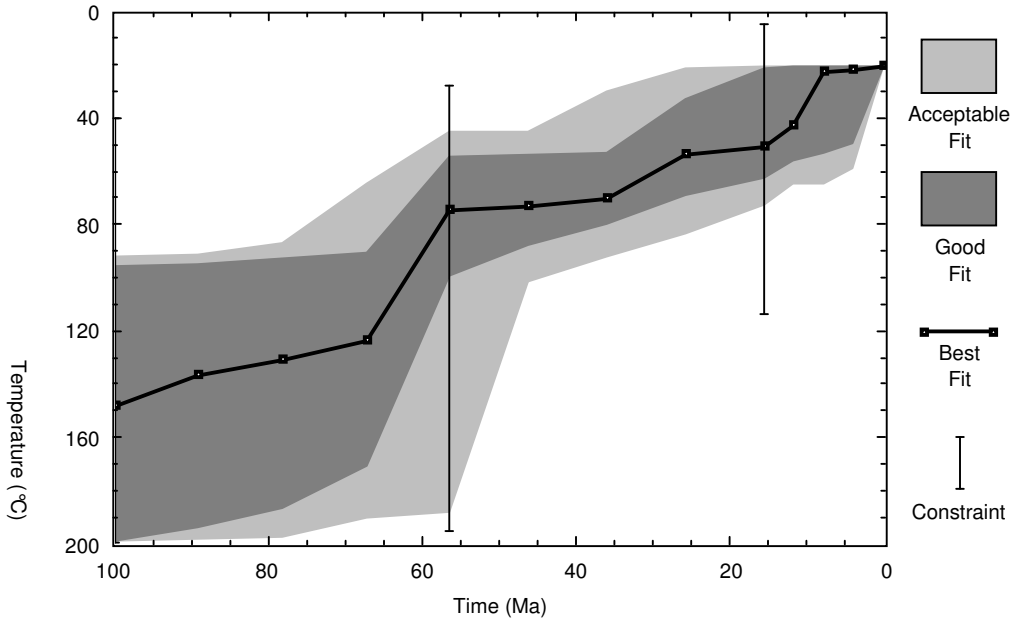
SC-5



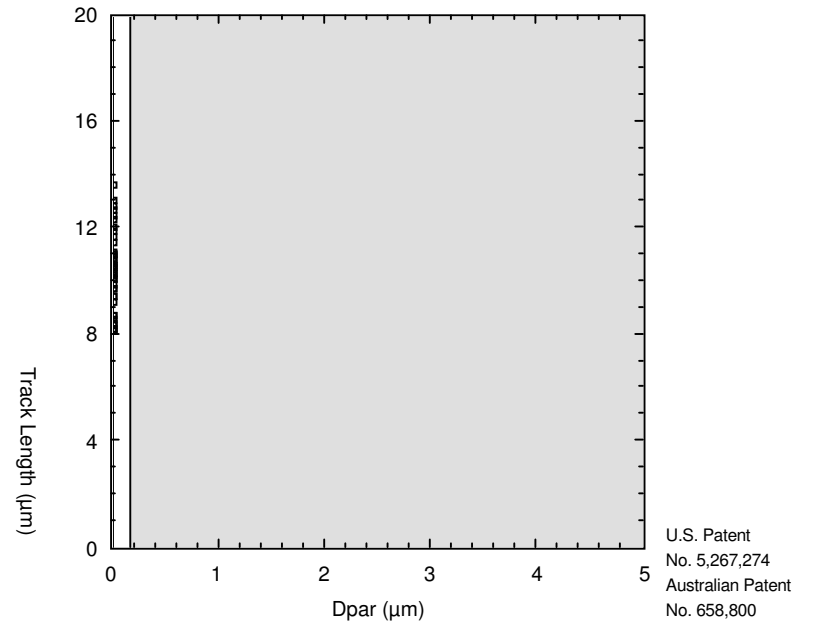
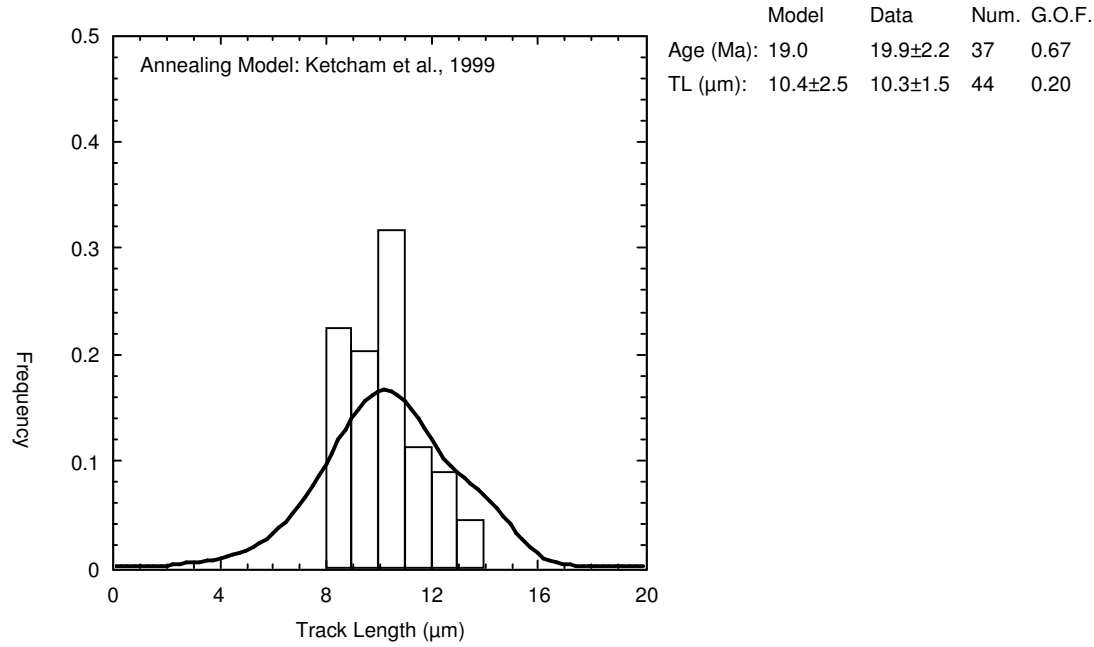
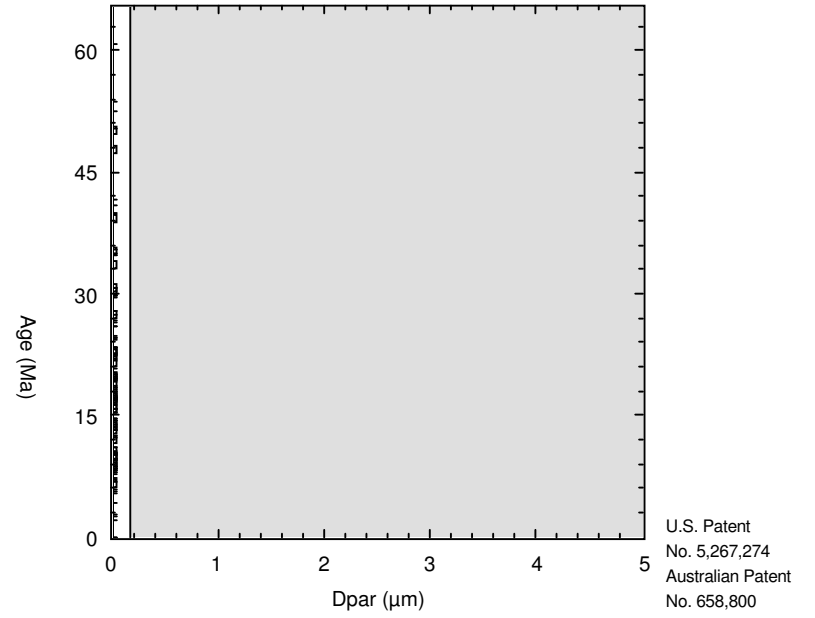
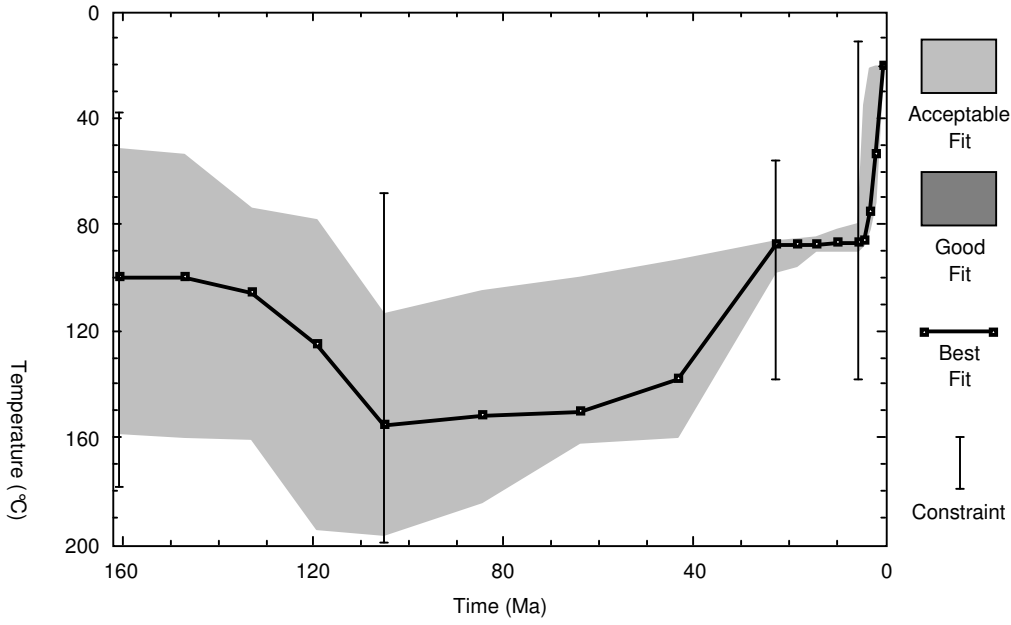
SC-7



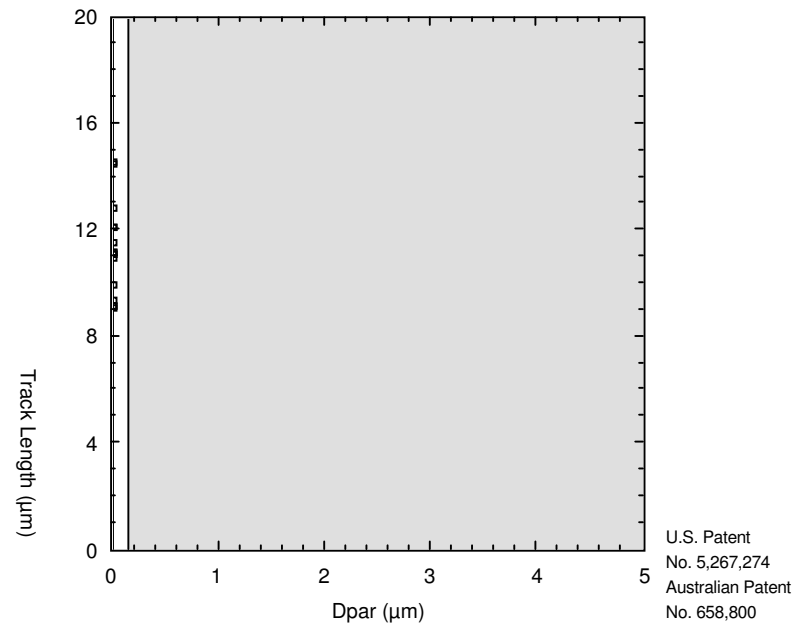
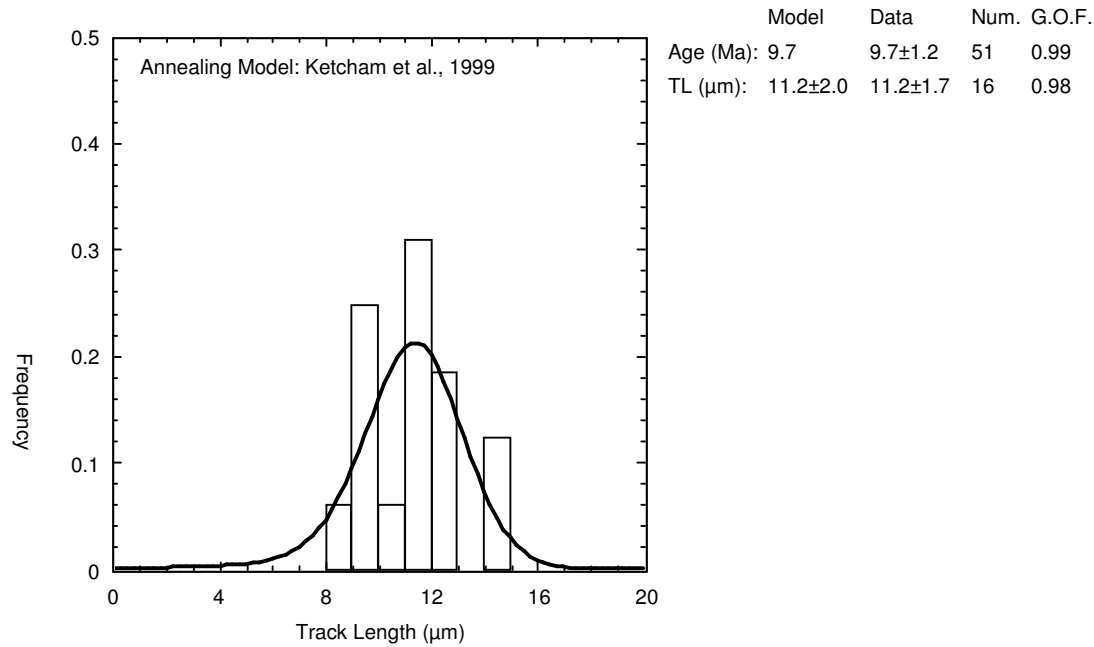
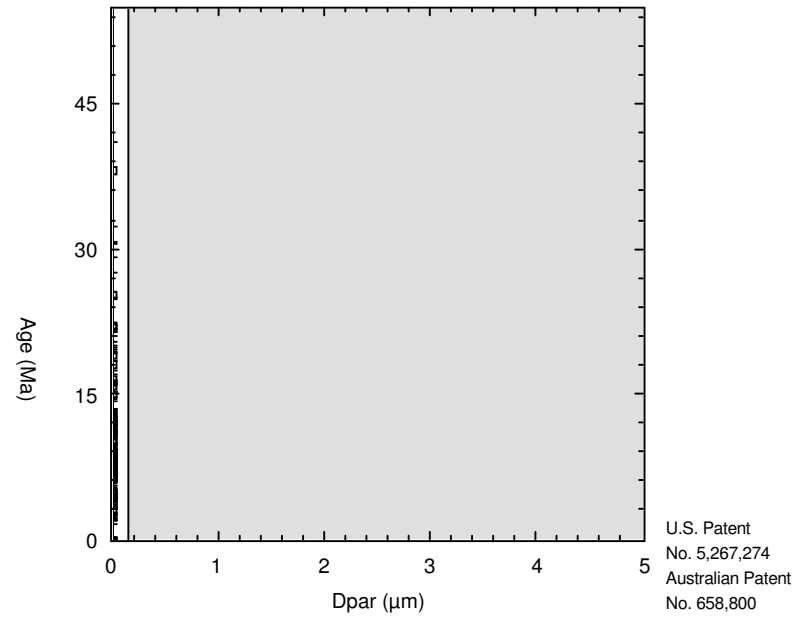
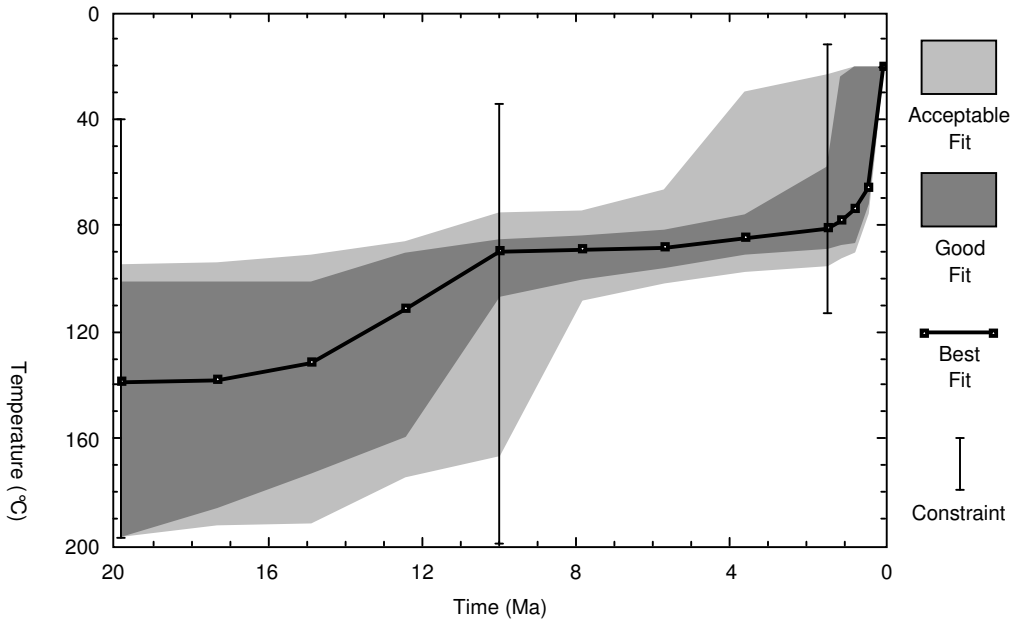
SC-8



SC-9

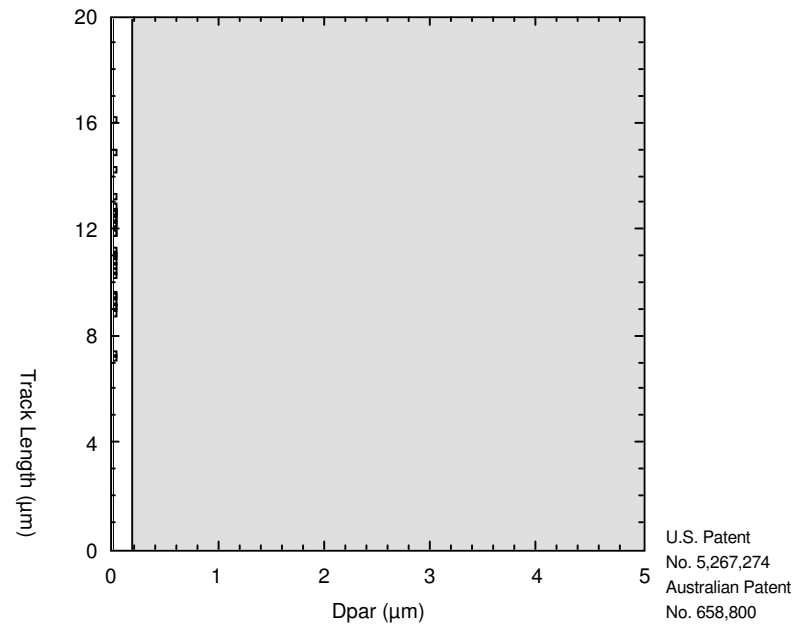
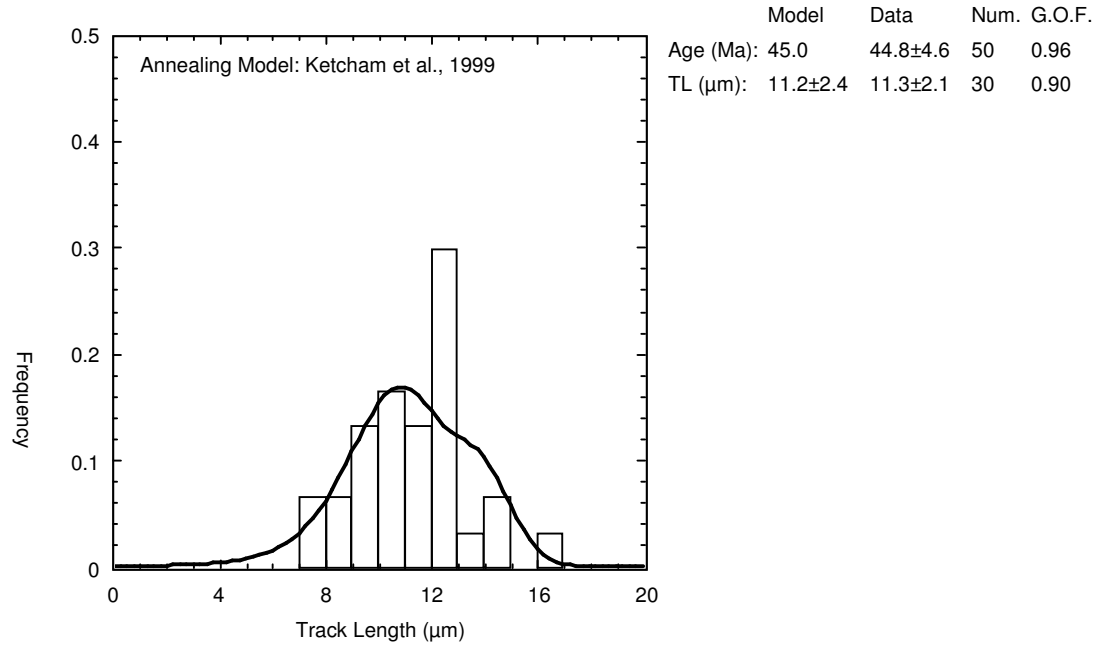
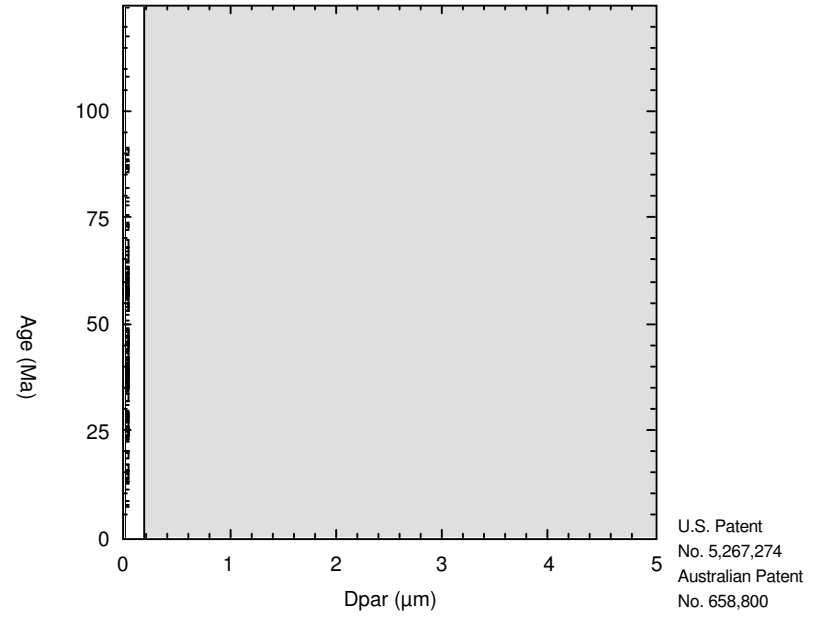
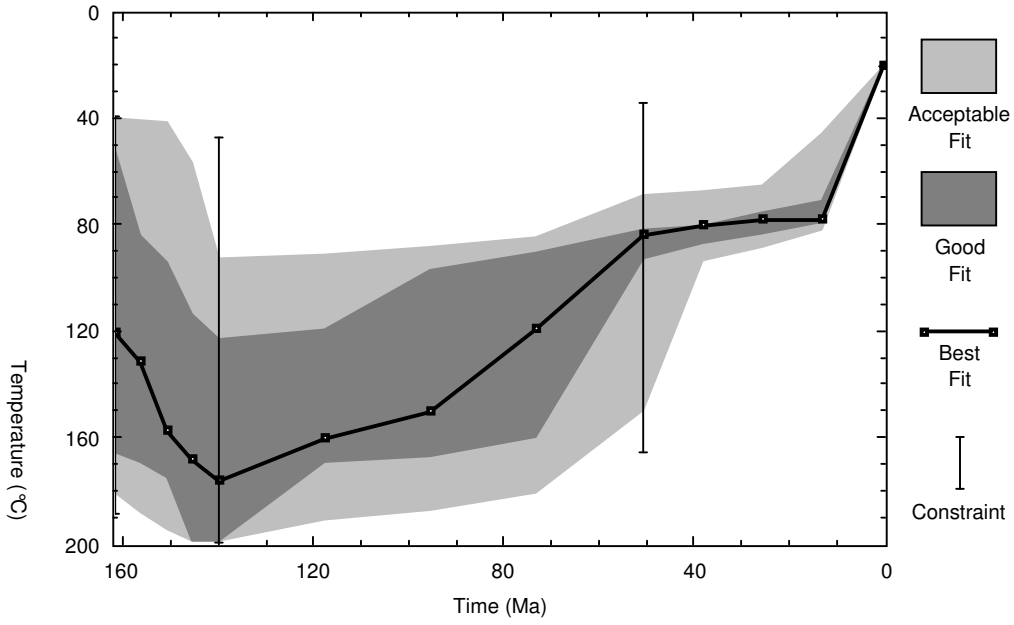


SC-10

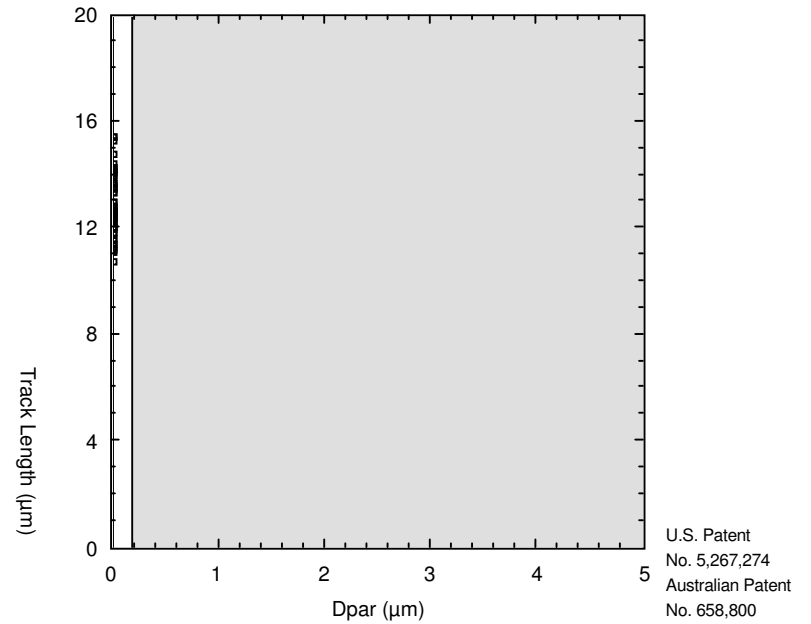
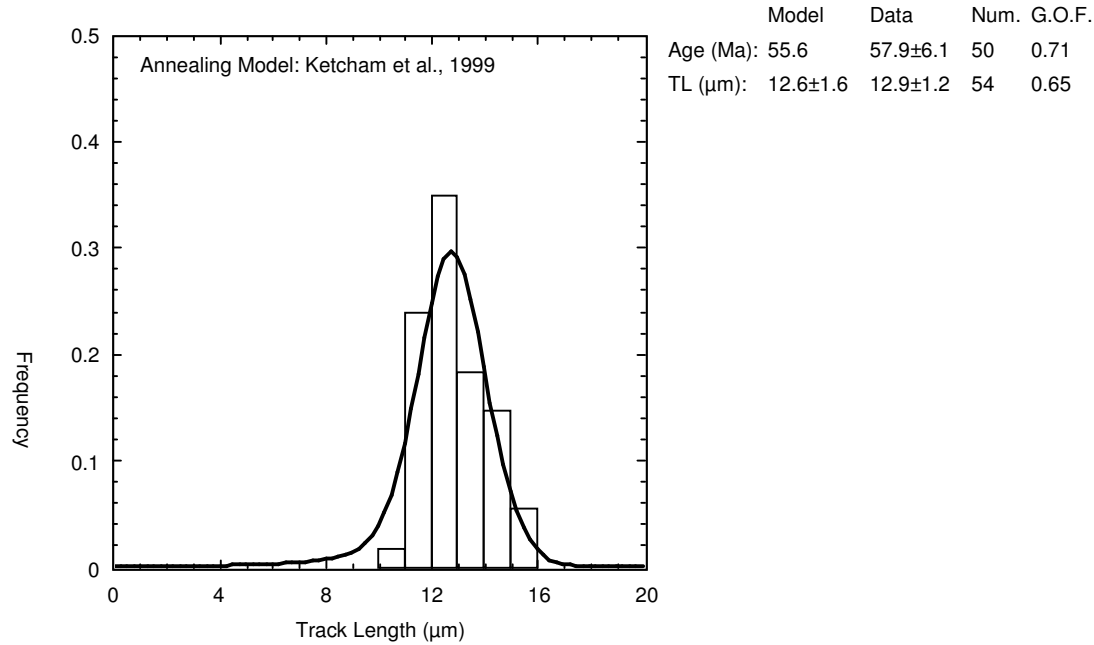
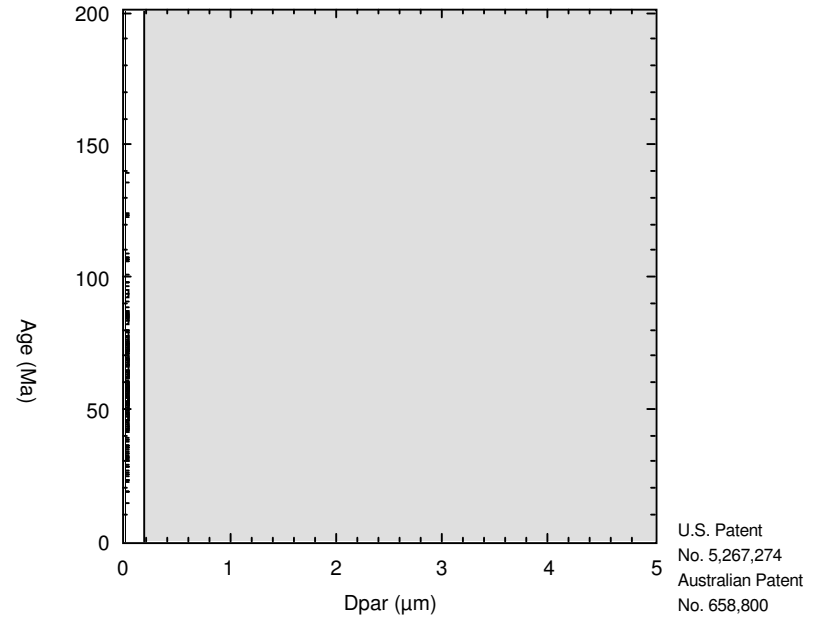
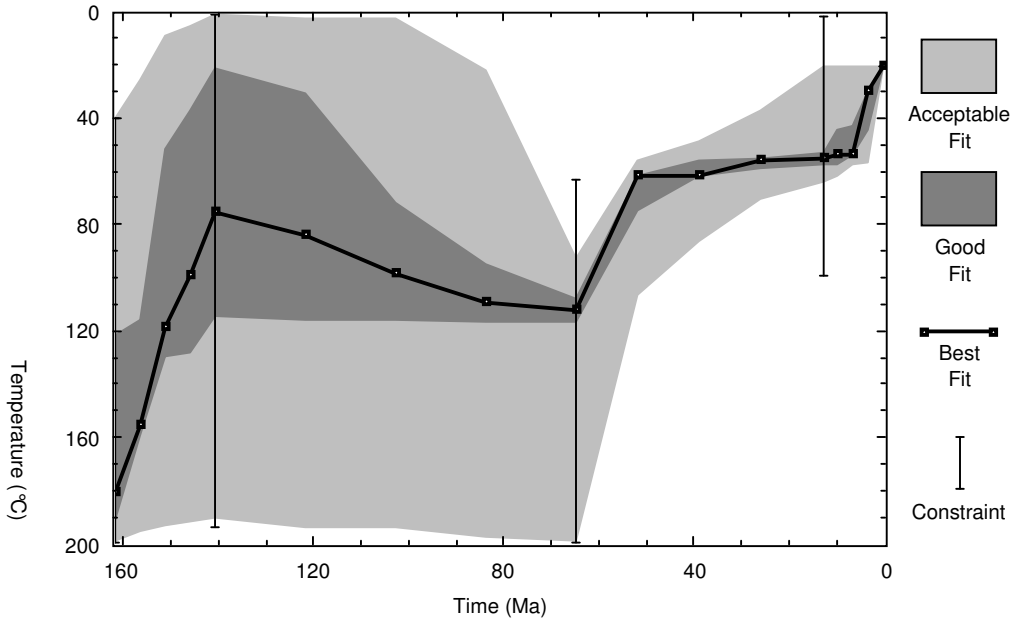


PARANÁ

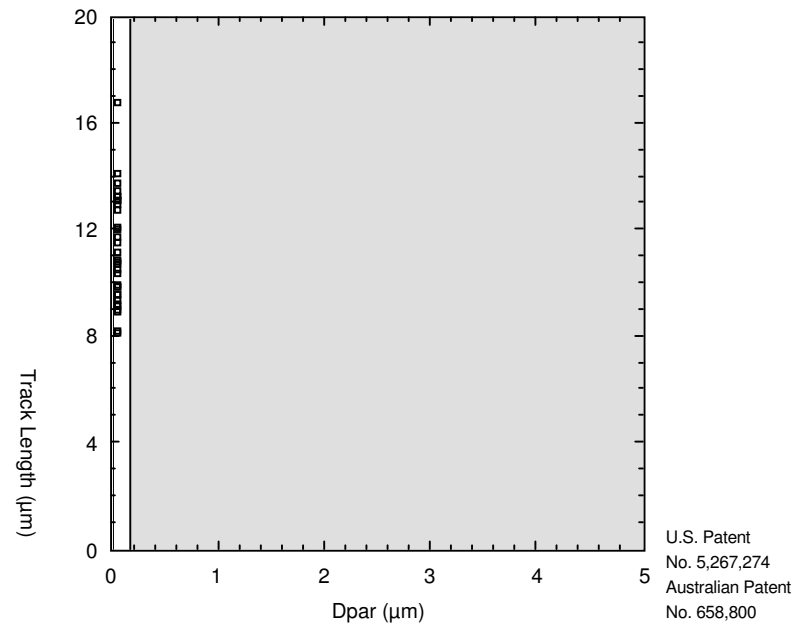
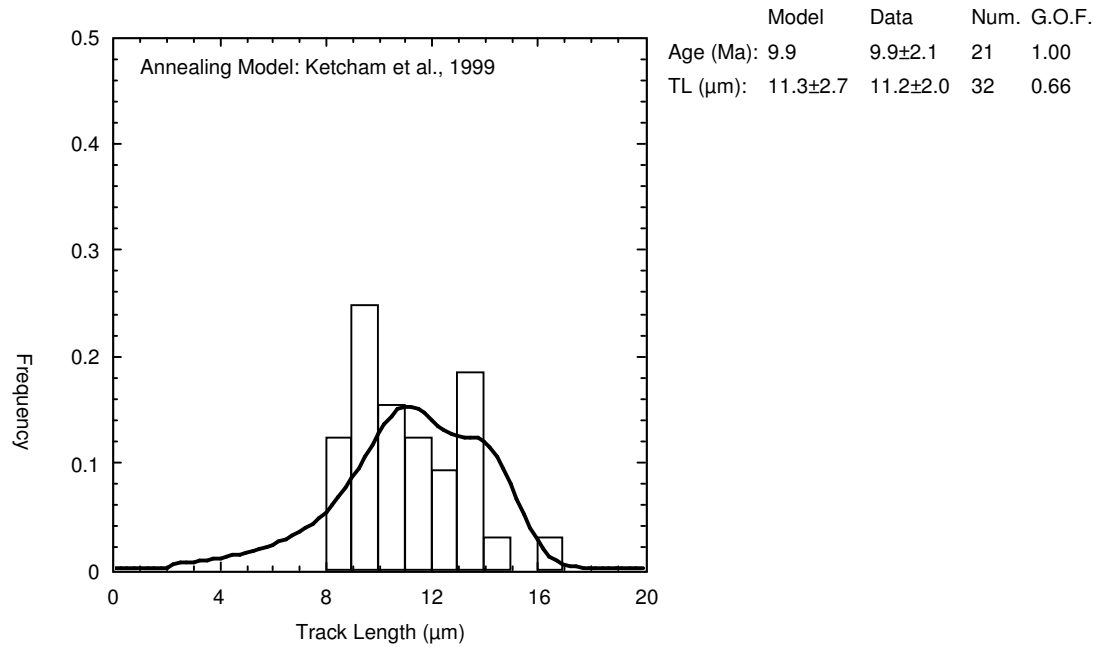
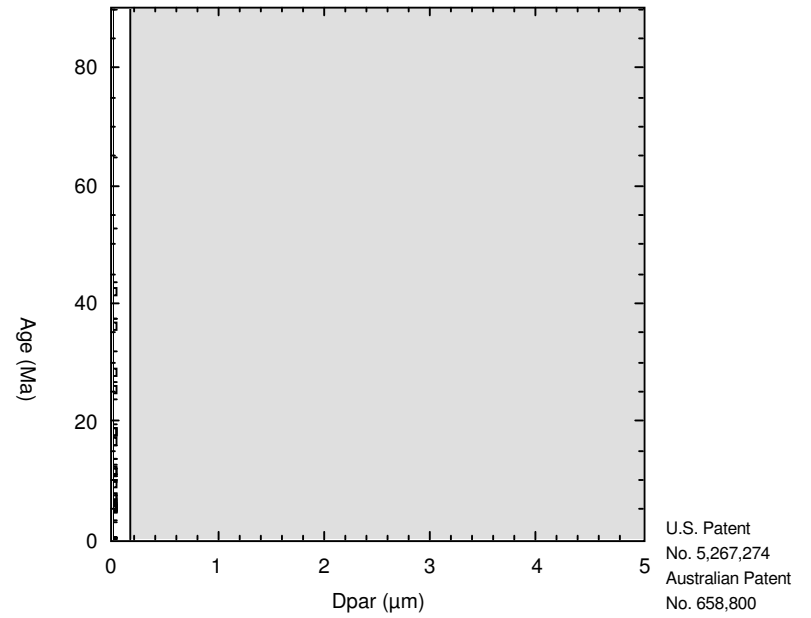
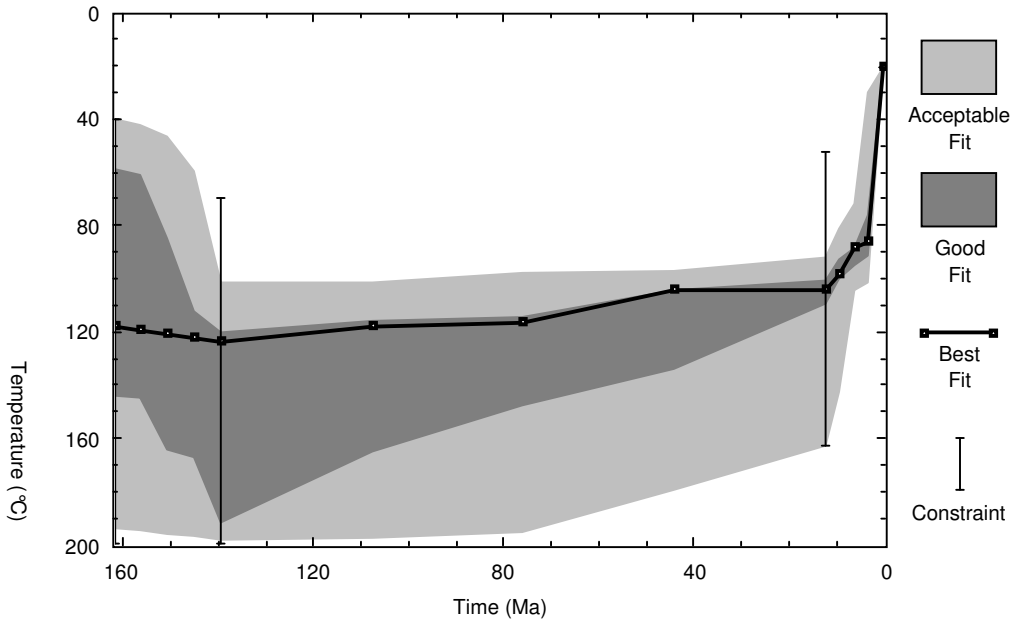
PR-10



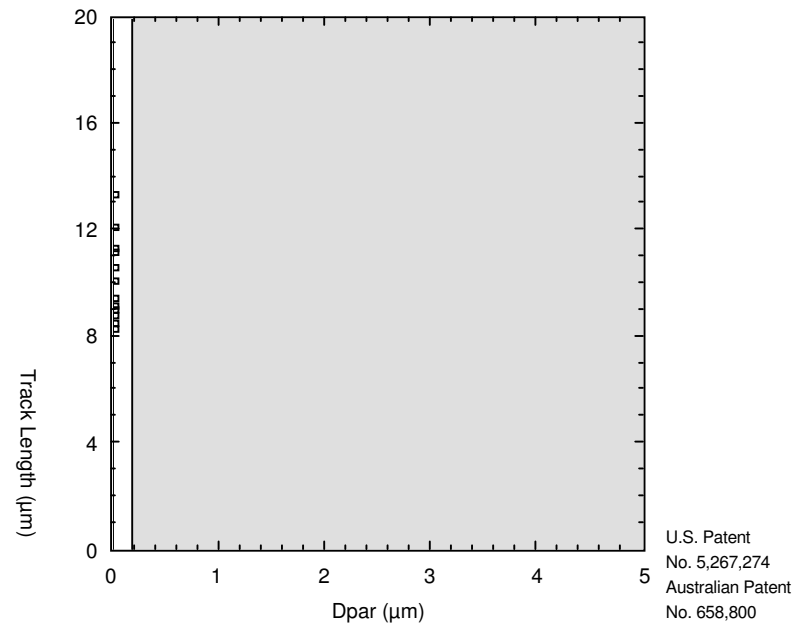
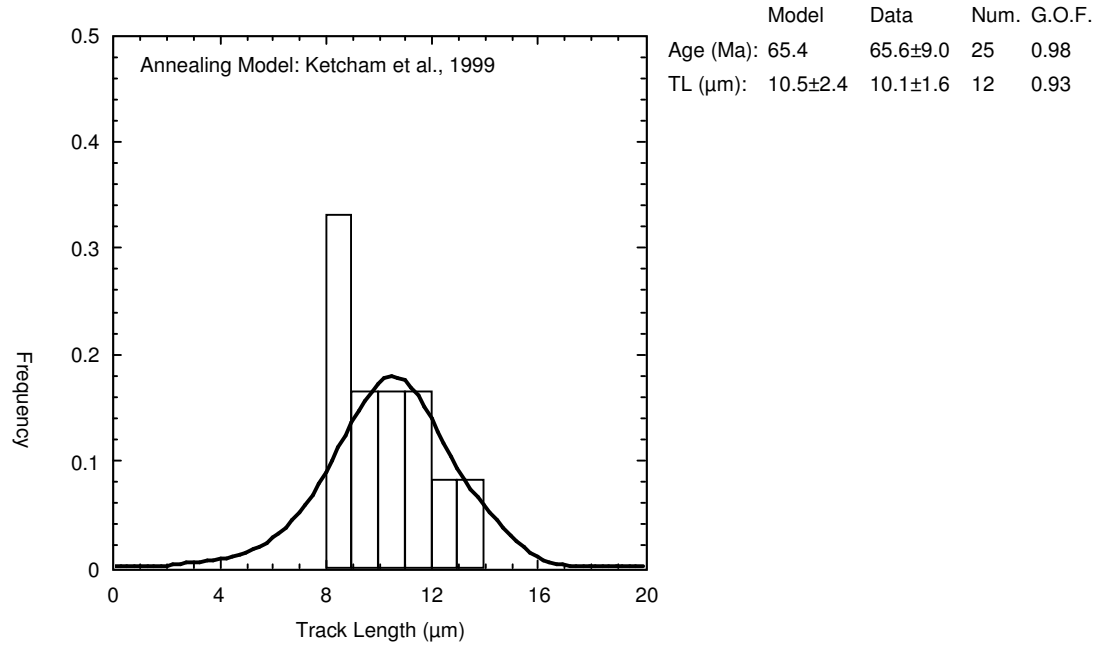
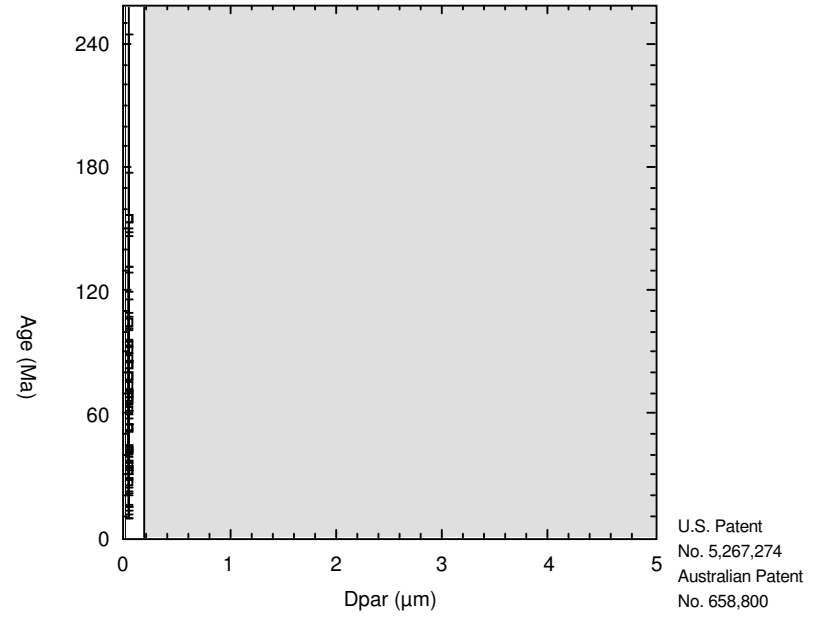
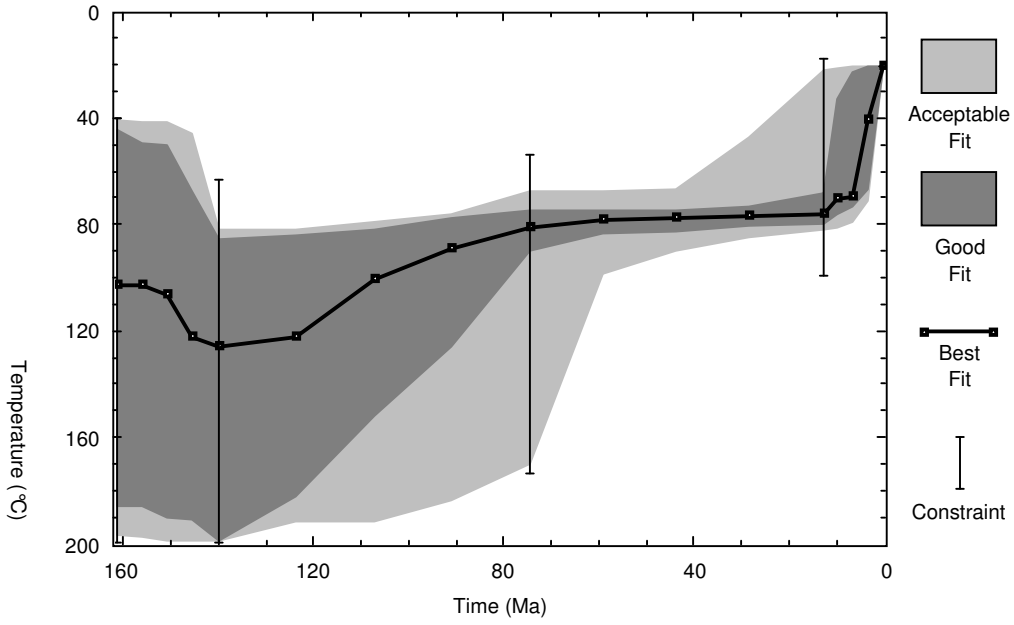
PR-11



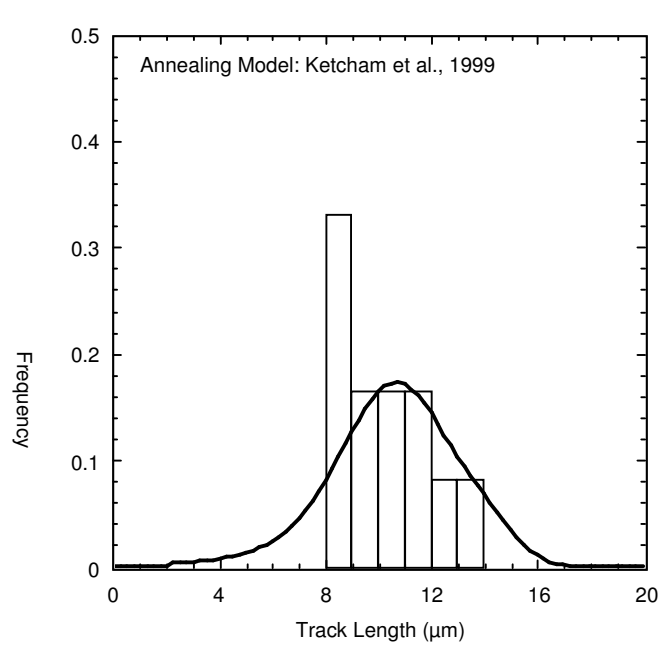
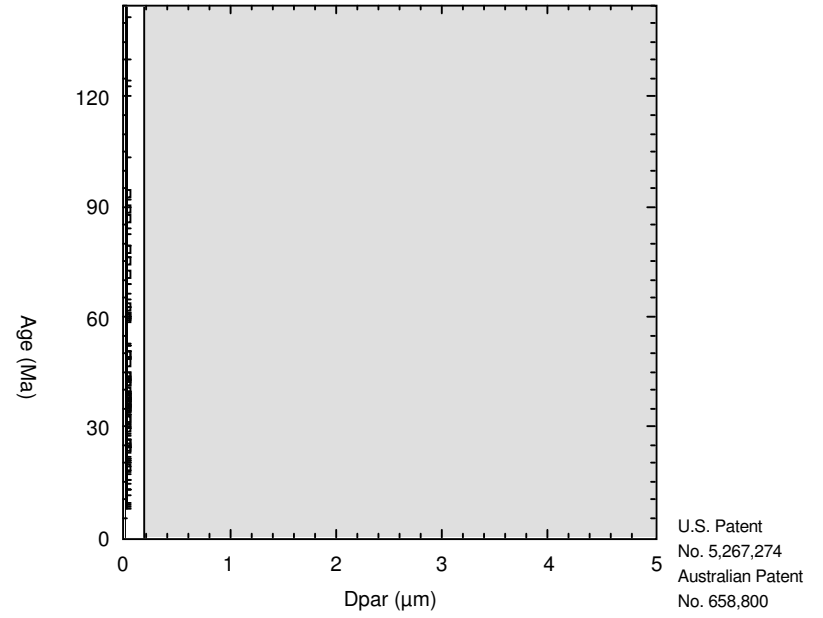
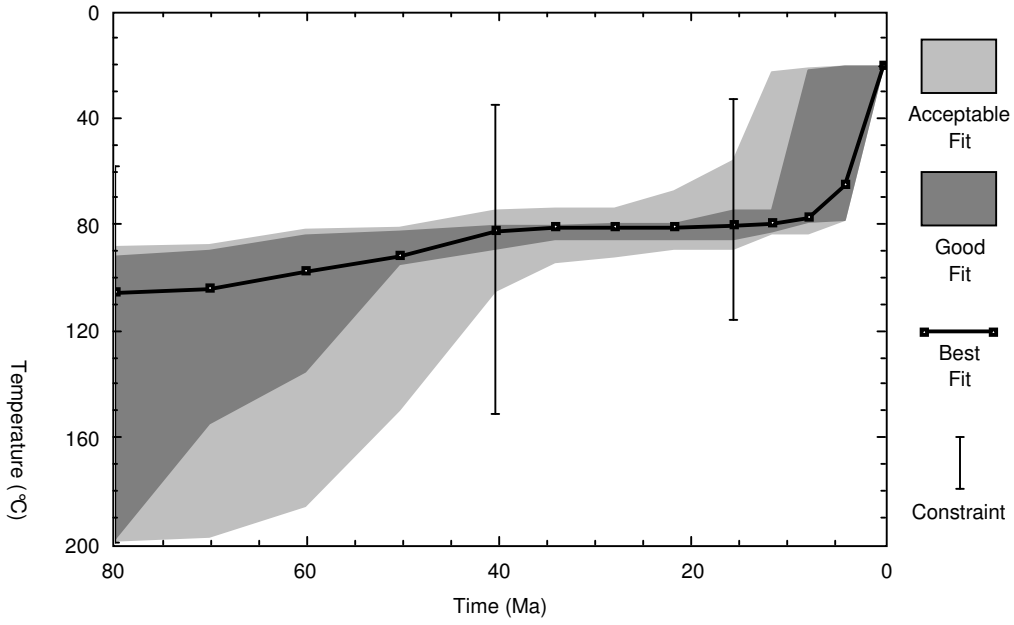
PR-12



PR-13



PR-14



	Model	Data	Num.	G.O.F.
Age (Ma):	39.2	40.2±4.7	35	0.84
TL (μm):	10.6±2.4	10.1±1.6	12	0.80

