



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DATAÇÃO PELO MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO EM
APATITA DA REGIÃO DA ESTRUTURA DÔMICA DE
MONTE ALEGRE, BACIA DO AMAZONAS (PA)**

Dissertação apresentada por:

SÍLVIA CRISTINA BARROSO NEGRÃO

Orientador: Cândido Augusto Veloso de Moura (UFPA)

Coorientadora: Maria Lidia Vignol Lelarge (UFRGS)

**BELÉM
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

N385d Negrão, Sílvia Cristina Barroso

Datação pelo método de traços de fissão em apatita da região da estrutura dômica de Monte Alegre, Bacia do Amazonas (PA) / Sílvia Cristina Barroso Negrão; Orientador: Cândido Augusto Veloso de Moura; Coorientador: Maria Lidia Vignol Lelarge - 2011.

xvi, 84 f.: il.

Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1. Rochas ígneas – Monte Alegre. 2. Geologia isotópica. 3. Geologia estrutural. I. Moura, Cândido Augusto Veloso de, *orient.* II. Lelarge, Maria Lidia Vignol, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22° ed.: 552.1098115



**Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências**

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

SILVIA CRISTINA BARROSO NEGRÃO

**DATAÇÃO PELO MÉTODO DE TRAÇOS DE FISSÃO
EM APATITA DA REGIÃO DA ESTRUTURA DÔMICA DE
MONTE ALEGRE, BACIA DO AMAZONAS (PA)**

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

Data de Aprovação: 05 / 04 / 2011

Banca Examinadora:

**Prof. CANDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA
Orientador (UFPA)**

**Prof. ROBERTO VIZEU LIMA PINHEIRO
Membro (UFPA)**

**Prof. GÉRARD POUPEAU
Membro (Université Joseph Fourier-France)**

*Por batalhas vencidas e algumas lutas perdidas,
dedico este trabalho à minha família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos em minha vida.

Agradeço à ANP – PRH 06 pela concessão da bolsa de mestrado e pelo suporte financeiro utilizados por este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Candido Moura, pela orientação e, sobretudo paciência durante a realização deste trabalho.

À professora Lidia Vignol pela coorientação e oportunidade de grande aprendizado acerca do desenvolvimento desta metodologia, bem como, pela amizade, paciência e tempo a mim cedidos.

Ao Henrique pelas conversas, sugestões e auxílios.

Ao Hozerlan e Anderson, pela amizade e pela ajuda em campo.

Ao grupo do laboratório PARAÍSO por toda a amizade e auxílio nas horas necessárias.

As técnicas Walquiria e Natália, não só pelos auxílios em trabalhos de laboratório, mas também pela amizade.

A Aline, amiga e colega de trabalho, pelos diversos auxílios a mim prestados.

Aos amigos que estiveram sempre presentes ao longo destes anos de vida acadêmica.

Por fim agradeço a minha família, em especial, aos meus pais a quem devo tudo o que sou hoje e ao Marcio pelo companheirismo e auxílio tanto na vida profissional como pessoal.

RESUMO

Na porção norte da Bacia Sedimentar do Amazonas, ao sul do município de Monte Alegre (PA), ocorre uma estrutura semi-elipítica desenhada por um conjunto de serras, conhecida como o Domo de Monte Alegre. Na sua porção central afloram rochas devonianas da Formação Ererê e, em direção a borda da estrutura, estão expostas rochas das formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro e Monte Alegre com idades variando do Neoevoniano ao Mesocarbonífero. Esse conjunto de rochas é cortado por diques de diabásio de aproximadamente 200 Ma (Magmatismo Penatecaua). A formação da estrutura dômica de Monte Alegre tem sido atribuída à colocação dos diques e soleiras de diabásio. No entanto, não se pode descartar, a priori, a contribuição do tectonismo Terciário, presente em toda a Bacia do Amazonas, na formação do domo, uma vez que nas porções leste e sul dessa estrutura as rochas cretáceo/terciárias da Formação Alter do Chão se encontram em contato por falha com as rochas da Formação Ererê. Neste estudo empregou-se a termocronologia por traços de fissão em apatita nos diabásios do Magmatismo Penatecaua com o objetivo de definir a idade da estruturação do Domo de Monte Alegre, de modo a investigar o papel do tectonismo terciário na formação da estrutura. O método de traços de fissão em apatitas (TFA) é aplicado ao estudo da evolução termotectônica de uma região, uma vez que a quantificação dos traços de fissão presentes no mineral permite estimar a idade em que a rocha passou em uma determinada temperatura (temperatura de bloqueio), que pode estar relacionada a um evento tectônico (soerguimento/ subsidência) ocorrido na área. As rochas máficas estudadas na região de Monte Alegre forneceram idades aparentes médias de TFA entre 53,2 e 43,6 Ma. Estas idades representam um importante evento tectônico do Terciário (Eo a Meso Eoceno) que alçou para níveis crustais mais rasos estes diabásios e suas rochas encaixantes. As histórias térmicas obtidas após a modelagem dos dados de TFA permitiram a individualização de quatro eventos de resfriamento para as amostras de diabásio aqui estudadas, ocorridos em 140-110 Ma, 110-100 Ma, 55-45 Ma e 30 Ma-recente. Apenas a amostra TFMA 12, localizada fora do Domo de Monte Alegre, não registrou do evento do Eoceno. A modelagem dos dados possibilitou, ainda, a avaliação de taxas de resfriamento que variam de 0,4 °C/Ma, para eventos mais lentos, até 2,82°C/Ma, para eventos mais rápidos. Essas taxas permitiram estimar de 3 a 3,35 Km para as seções removidas associadas a reativações de falhas em diferentes momentos da história da região, principalmente no Cenozóico. As idades aparentes de traços de fissão em apatitas situadas entre 53,2 Ma e 43,6 Ma, assim como o marcante evento térmico de resfriamento do Eoceno registrado no modelamento sugerem uma

importante participação do tectonismo terciário na formação da estrutura dômica de Monte Alegre. Acredita-se que as idades aparentes de traços de fissão (53,2 Ma e 43,6 Ma) colocariam limites na idade dessa tectônica terciária.

Palavras-chave: Rochas ígneas – Monte Alegre. Geologia isotópica. Geologia estrutural.

ABSTRACT

In the northern portion of the Amazonas Sedimentary Basin, south of the Monte Alegre city (PA), a semi-elliptical structure defined by a group of small hills occurs, which is known as the Monte Alegre Dome. In the central portion of the dome, Devonian rocks of the Ererê Formation crop out, while toward the edge of the structure the Neodevonian to Mesocarboniferous successions, represented by the Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro and Monte Alegre formations, are exposed. Diabase dykes and sills of about 200 Ma (Penatecaua Magmatism) cut this set of rocks. The formation of this dome structure has been related to the emplacement of dykes and sills of diabase. However, the contribution of Tertiary tectonism, present throughout the Amazon Basin, cannot be ruled out for the formation of the dome, since in the eastern and southern portions of this structure the Cretaceous to Tertiary rocks of the Alter do Chão formation are in faulting contact with rocks of the Ererê formation. In this study we applied the apatite fission track thermochronology in the diabase of the Penatecaua Magmatism in order to determine the age of formation of the dome structure, and to investigate the role of the Tertiary tectonics in the development of this structure. The apatite fission track method (AFT) is applied to study the thermotectonic evolution of a region, since the quantification of the fission tracks present in the mineral permits to estimate the age at which the rock passed through a given temperature (blocking temperature), which may be related to a tectonic event (uplift / subsidence) that occurred in the area. The mafic rocks studied in the region of Monte Alegre provided ATF apparent average ages between 53.2 and 43.6 Ma. These ages are interpreted as representing major tectonic events that occurred in the Tertiary (Early to Middle Eocene) that uplifted to shallower crustal levels and the diabbases and the country rocks. The thermal histories obtained after modeling the AFT data allowed the recognition of four events of cooling, which occurred at 140-110 Ma, 110-100 Ma, 55-45 Ma and 30 Ma-recent. Just one sample (TFMA-12), located outside of the dome structure, did not record the Eocene tectonic event. The ATF data modeling also permitted to estimate cooling rates ranging from 0.4°C / Ma for slower events, up to 2.82°C / Ma for faster events. Based on these cooling rates it is suggested that 3 to 3.35 km of rocks section was removed due to the reactivation of faults at different moments during the geologic evolution of the region, mainly along the Cenozoic. The apparent ATF ages between 43.6 and 53.2 Ma, as well as the significant cooling thermal event recorded in the Eocene by the data modeling revealed the important role that the Tertiary (Eocene) tectonic in the formation of dome

structure of Monte Alegre. It is believed that the apparent ages of fission tracks (43.6 and 53.2 Ma) would place limits on the age of this Tertiary tectonics.

Key words: Igneous rocks – Monte Alegre. Isotope geology. Structural geology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	4
Figura 2 – Lineamentos NW-SE, transversais à Bacia do Amazonas.....	5
Figura 3 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas.....	8
Figura 4 - Traços fósseis em cristais de apatitas	12
Figura 5 - Modelo de pontas iônicas, com a formação dos traços de fissão.....	13
Figura 6 - ilustração da disposição dos tipos de traço.....	15
Figura 7 - Procedimentos realizados para datação traços de fissão com a técnica do detector externo.....	19
Figura 8 - Bocas do traço indicando o eixo c do mineral.....	20
Figura 9 - Representação esquemática das zonas de estabilidade e apagamento dos traços de fissão.....	23
Figura 10 - Ilustração de afloramentos da Formação Ererê.....	28
Figura 11 - Ilustração de afloramento da Formação Barreirinha.....	28
Figura 12 - Ilustração de afloramentos da Formação Monte Alegre.....	30
Figura 13 - ilustração de afloramentos de diabásio.....	31
Figura 14 - imagem de radar (srtm) do Domo de Monte Alegre.....	33
Figura 15 - Mapa de domínios estruturais do Domo de Monte Alegre.....	34
Figura 16 - mapa geológico de Monte Alegre com pontos amostrados.....	36
Figura 17 - Ilustração de montagem de cristais de apatitas em resina.....	37
Figura 18 - ilustração do esquema de montagem da pilha de irradiação.....	38
Figura 19 - Diagramas radiais das amostras Db 01 A e B.....	41

Figura 20 - Diagrama radial para a amostra Db 01.....	41
Figura 21 - Diagramas radiais das amostras Db 02 A,B e C.....	42
Figura 22 - Diagrama radial para o conjunto de amostras Db 02.....	43
Figura 23 - Diagramas radiais das amostras Db 04 A e C.....	43
Figura 24 - Diagrama radial para a amostra Db 04.....	44
Figura 25 - Diagramas radiais das amostras MA 208 A e B.....	44
Figura 26 - Diagrama radial para o conjunto de amostras MA 2 08.....	45
Figura 27 - Diagramas radiais das amostras MA 302 A e B.....	45
Figura 28 - Diagrama radial para o conjunto de amostras MA 3 02.....	46
Figura 29 - Diagrama radial da amostra TFMA 12.....	46
Figura 30 - Histograma térmica para as amostras do grupo 1.....	49
Figura 31 - Histograma térmica para as amostras do grupo 2.....	50
Figura 32 - Histograma térmico para a amostra TFMA 12.....	51
Figura 33 - Histograma térmico para todas as amostras analisadas.....	52
Figura 34 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra Db 01	53
Figura 35 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra Db 02.....	54
Figura 36 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra Ma 3 02.....	55
Figura 37 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra Db 04.....	55
Figura 38 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra Ma 2 08.....	56
Figura 39 - Histograma de comprimentos dos traços da amostra TFMA 12.....	56
Figura 40 - Mapa geológico com distribuição das idades traços de fissão obtidas e comprimentos dos traços confinados.....	58

Figura 41 - Esboço tectônico da interação de placas no terciário e sua influência na
estruturação da Bacia do Amazonas.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados analíticos de traços de fissão das amostras datadas em Monte Alegre	40
Tabela 2 - Caixas de Monte Carlo utilizadas para modelagem com seus respectivos intervalos de tempo e temperatura.....	48

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	2
2. CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL	3
2.1 ARCABOUÇO ESTRUTURAL.....	3
2.1.2 Evolução Tectono-Sedimentar da Bacia do Amazonas	5
3. METODOLOGIA	9
3.1. TRABALHOS DE CAMPO.....	9
3.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	10
3.2.1 Análise Petrográfica	10
3.2.2 Tratamento das Amostras	10
3.3. TRAÇOS DE FISSÃO EM APATITAS.....	11
3.3.1 Fundamentos Teóricos de Traços de Fissão	11

3.3.2 Revelação dos Traços.....	14
3.3.3 O Método de Traços de Fissão em Apatitas.....	14
3.3.4 Determinação do Parâmetro “g”.....	16
3.3.5 O Método de Calibração Zeta.....	16
3.3.6 Técnica do Detector Externo.....	18
3.3.7 Influencia Composicional das Apatitas.....	19
3.3.8 Comprimento dos traços confinados.....	20
3.3.9 Idades por Traços de Fissão e seu Significado.....	21
3.3.10 O Programa Monte Trax.....	23
3.3.11 Análises Traços de Fissão em Estudos de Histórias Térmicas de Bacias Sedimentares.....	24
4. GEOLOGIA DA REGIÃO DE MONTE ALEGRE.....	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO DOMO DE MONTE ALEGRE.....	32
5. APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	35
5.1 AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE TRAÇO DE FISSÃO.....	35
5.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA IRRADIAÇÃO.....	37
5.3 IRRADIAÇÃO.....	38
5.4 CONTAGEM DOS TRAÇOS DE FISSÃO.....	39
5.5 OBTENÇÃO DAS IDADES	40
6. MODELAGEM DAS HISTÓRIAS TÉRMICAS.....	47
6.1 OS MODELAMENTOS TÉRMICOS OBTIDOS PELO ALGORITMO GENÉTICO MONTE TRAX E GALLAGHER.....	48
7. ANÁLISE DOS COMPRIMENTOS DOS TRAÇOS DE FISSÃO.....	53

8. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.....	59
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.. ..	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXOS	69
ANEXO A – Idades TFA dos grãos individuais para as amostras datadas.....	70

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

No município de Monte Alegre, localizado na região noroeste do Estado do Pará, aflora uma estrutura semicircular, descrita como a Estrutura Dômica de Monte Alegre. Esta estrutura geológica e suas adjacências representam um lugar excepcional para o estudo das movimentações e/ou soerguimentos da borda norte da Bacia do Amazonas, cuja compreensão é importante para entender a (re)migração de hidrocarbonetos nesta bacia.

A Bacia do Amazonas apresenta fortes indicações da geração de petróleo uma vez que ocorrem, no Siluriano, Devoniano e Carbonífero, rochas geradoras de hidrocarbonetos. Estudos geoquímicos sugerem que houve geração de petróleo desde o final do Paleozóico até a intrusão de rochas ígneas máficas, no Triássico (evento Penatecaua). Movimentações que ocorreram no Cenozóico e ocorrem ainda hoje, podem ter causado o soerguimento/subsidência em vários setores da bacia, o que pode ter afetado o petróleo acumulado em estruturas mais antigas.

A termocronologia por Traços de Fissão em Apatita (TFA) permite efetuar o estudo de eventos térmicos atuantes em vários ambientes geológicos, notadamente em bacias sedimentares, através da determinação das idades TFA e da estimativa das paleo-temperaturas atingidas pelas camadas sedimentares. Além disso, ela permite estimar as condições de maturidades dos hidrocarbonetos e avaliar a evolução térmica das potenciais rochas geradoras. Por isso, esta metodologia tem sido cada vez mais empregada no setor de óleo e gás, visto também que, os traços de fissão em apatitas são sensíveis à mesma faixa de temperatura (60°– 130⁰C) em que são gerados os hidrocarbonetos ao longo do tempo geológico (Gallagher *et al*, 1995).

Este trabalho apresenta um estudo de termocronologia por traço de fissão em apatita, em rochas da região da estrutura dômica de Monte Alegre, visando contribuir para o entendimento da evolução termotectônica deste setor da Bacia do Amazonas. Ademais, este trabalho busca contribuir para a implantação e difusão no âmbito do Instituto de Geociências da UFPA do método do traço de fissão, enfatizando a sua aplicação na análise térmica de bacias sedimentares, ampliando assim o conhecimento de técnicas utilizadas em pesquisa de óleo e gás na UFPA.

1.2 OBJETIVOS

O Objetivo deste trabalho é determinar a idade de formação da Estrutura Dômica de Monte Alegre pelo método dos traços de fissão em apatita.

Os objetivos específicos são:

- ◆ Determinação das idades traços de fissão em apatita em diabásios jurotriássicos da região do Domo Monte Alegre;
- ◆ Determinar a média dos comprimentos confinados dos traços de fissão em apatita e sua distribuição para investigar a história térmica da Bacia do Amazonas;
- ◆ Modelar os dados obtidos pelo programa Montetrax de Gallagher (1991);
- ◆ Integrar os dados geológicos e termocronológicos para um melhor entendimento da geologia da área;
- ◆ Difusão da metodologia de traço de fissão em apatita como ferramenta para modelagens de histórias termotectônicas.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada na parte sul do município de Monte Alegre que, por sua vez, está posicionado na região do Baixo Amazonas, no noroeste do estado do Pará. Está compreendida entre as coordenadas 1°51'00" e 2°03'30" de latitude sul e 54°02'00" e 54°19'30" de longitude oeste, abrangendo uma área de aproximadamente 600km².

O acesso a área de estudo, a partir da cidade de Santarém, pode ser feito por via fluvial ou rodo-fluvial utilizando as rodovias estaduais PA-423 e PA-254 (Figura 1).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Domo de Monte Alegre está localizado na Bacia do Amazonas, que por sua vez está situada entre os escudos das Guianas, ao norte e pelo escudo Brasil central ao sul. A oeste esta bacia é limitada pelo Arco de Purus e a leste pelo Arco de Gurupá.

Com uma área de aproximadamente 500.000 km², a Bacia Sedimentar do Amazonas é preenchida por rochas paleozóicas e cretáceo-terciárias, com um preenchimento sedimentar que pode chegar a 4000 m de espessura.

2.1 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

O registro sedimentar e ígneo da Bacia do Amazonas refletem os eventos tectônicos paleozóicos que ocorreram na porção oeste da pretérita placa gondwânica e da tafrogenia mesozóica do Atlântico Sul (Cunha *et al*, 1994). Estes eventos tectônicos provocaram movimentações epirogênicas intraplaca, resultando na formação de arcos de grande porte e discordâncias regionais, além de controlar as ingressões marinhas que influenciaram os ambientes deposicionais (Cunha *et al*, 1994).

Wanderley Filho (1991) afirma que a Bacia do Amazonas apresenta como principais estruturas as falhas normais de idade paleozóica, falhas de transferência NW-SE, falhas transcorrentes e os arcos de Purús e Gurupá. As falhas normais estão orientadas na direção NE-SW e tendem a unir-se em direção ao Arco Purus, o que pode indicar que a bacia abriu mais para leste do que para oeste. Estas falhas, por vezes, limitam grosseiramente alguns conjuntos de rochas vulcânicas e sedimentares.

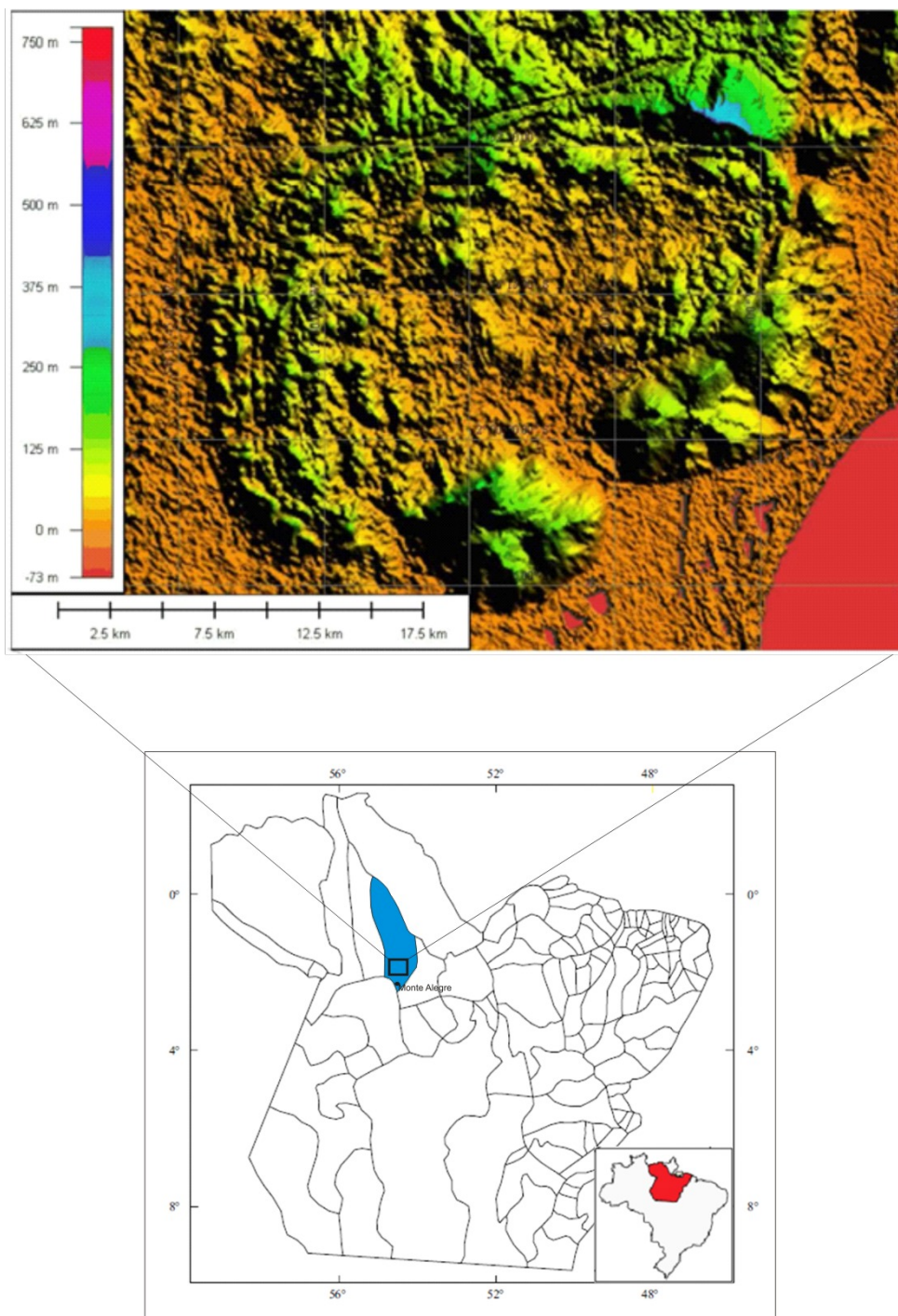


Figura 1- mapa de localização da área de estudo

As falhas de transferência são falhas transversais (Figura 2) à direção geral da bacia, nomeadas como falhas transcorrentes dextrais.

Rezende e Brito (1973) mostraram que tais falhas têm a mesma orientação de lineamentos antigos e concluíram que as estruturas pretéritas exercem forte influência na evolução da bacia. Elas seccionam e deslocam os depocentros de quase todas as unidades

litológicas impondo a forma de *dog leg* à mesma; constatando, portanto, que tais falhas permaneceram ativas até o Terciário.

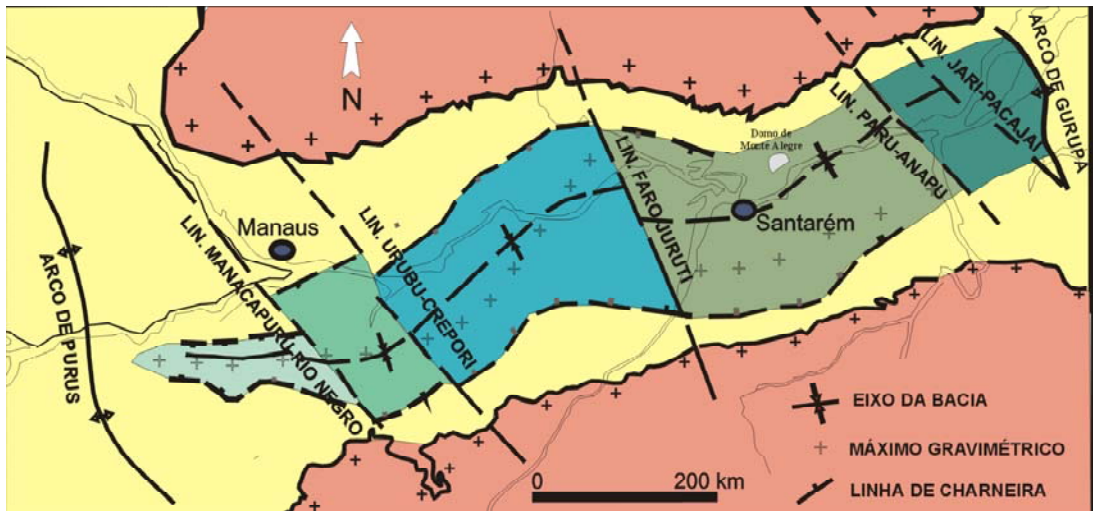


Figura 2 – Lineamentos NW-SE, transversais à bacia, interpretados como falhas de transferências.

Fonte: Wanderley Filho (1991).

O Arco Purus é um elemento estrutural orientado na direção NW-SE, separando as Bacias do Amazonas e Solimões e pode ser caracterizado através de mapas gravimétricos, de isópacas, seções geológicas e sísmicas. Esta estrutura está vinculada ao desenvolvimento de grabens decorrentes da extensão regional NW-SE, no Proterozóico Médio.

O Arco Gurupá também possui direção geral NW-SE, e marca fronteira entre a Bacia do Amazonas e o Gráben do Marajó. É uma feição estrutural identificada a partir de dados sísmicos, gravimétricos e poços. Seu desenvolvimento se deu no final do Permocarbonífero, antecedendo o tectonismo que culminou com a intensa atividade ígnea do Juro-Triássico e ruptura do megacontinente Pangea .

2.1.2 Evolução Tectonossedimentar da Bacia do Amazonas

A Bacia do Amazonas instalou-se sobre compartimentos lito-estruturais, geocronológicos e geotectônicos, que constituem o Cráton Amazônico. O embasamento da Bacia do Amazonas na região estudada pertence à província geocronológica Amazônia Central, de idade > 2,3 Ga que é constituída por rochas graníticas e seqüências metavulcanossedimentares e metassedimentares (Tassinari & Macambira, 2005).

As rochas sedimentares da Bacia do Amazonas podem ser divididas em cinco seqüências deposicionais: 1) pré-cambriana, 2) ordoviciana-siluriana, 3) devoniana-eocarbonífera, 4) neocarbonífera – permiana e 5) cretácea – terciária (Figura 3). Estas seqüências foram assim descritas:

A seqüência pré-cambriana compreende as Formações Prosperança e Acari. Os clásticos fluviais da Formação Prosperança estão preservados em hemi-grábens orientados segundo antigos lineamentos de direção NE-SW e NW-SE que cortam o substrato, os quais resultam da estruturação da bacia durante o Proterozóico, seguida de uma fase transgressiva representada por clastos da Formação Acari. A presença de um mar epicontinental durante o Paleozóico foi uma constante na evolução sedimentar da bacia, em que as seqüências paleozóicas foram geradas pela variação do nível eustático deste mar.

A seqüência ordoviciana-siluriana é tipicamente transgressiva representada pelo Grupo Trombetas, sendo o primeiro registro de uma invasão marinha de leste para oeste, iniciando-se com os clastos da Formação Autás Mirim encobertos pelos sedimentos da Formação Nhamundá, e localmente diamictitos os quais sugerem o início de fase glacial. A fase transgressiva prossegue incrementada pela subsidência generalizada da bacia, sendo o auge desta transgressão marcado pelos pelitos da Formação Pitinga e terminando com os sedimentos da Formação Manacapuru. O abaixamento do nível do mar durante o Siluriano deu-se provavelmente em conseqüência da Orogenia Caledoniana.

Movimentos epirogenéticos posteriores responsáveis pela emersão e conseqüente erosão de parte da seqüência depositada, provocaram uma discordância entre o Neosiluriano e o Eodevoniano, explicada por um abaixamento eustático do nível do mar da ordem de 100m.

Nas partes centrais da bacia é possível que a sedimentação marinha tenha persistido e evoluído para a seqüência devoniana - eocarbonífera, tipicamente transgressiva regressiva, começando como os sedimentos da Formação Maecuru, passando para clastos da Formação Ererê e depois aos folhelhos orgânicos da Formação Barreirinha do Grupo Curuá (auge da transgressão neodevoniana).

Os diamictitos da Formação Curiri, registram um novo evento glacial acompanhando o início da fase regressiva da bacia. A regressão prossegue gradualmente com a Formação Oriximiná e termina no eocarbonífero com os sedimentos da Formação Faro.

Partes da bacia ficaram emersas acarretando uma nova discordância erosiva em suas bordas. Entretanto o recuo do mar pode não ter sido completo e nas partes centrais onde provavelmente persiste a influência marinha sobre a Formação Faro que gradativamente evoluiu para a Formação Monte Alegre.

A seqüência neocarbonífera - permiana apresenta um único ciclo transgressivo - regressivo durante o Paleozóico, o qual se inicia com clastos fluviais, eólicos e marinhos da Formação Monte Alegre, depositados em condições de mar restrito e clima árido, com a progressiva transgressão gradual dos sedimentos carbonáticos e folhelhos que recobriram o topo da formação.

Neste período ocorreu o soerguimento do Arco Gurupá a leste e uma leve inclinação de toda a bacia para oeste (Torres, 1989), propiciando esta transgressão neocarbonífera. Em conseqüência, o Arco Purus foi encoberto pelo mar e a Bacia do Amazonas ligou-se a do Solimões o que poderia ter levado ao retrabalhamento dos sedimentos eólicos no ambiente litorâneo e à deposição marinha.

A Formação Itaituba apresenta o auge da sedimentação marinha sendo que após um rápido rebaixamento do nível do mar foram depositados os evaporitos da Formação Nova Olinda sugerindo a deposição em ambiente confinado. A seqüência termina no Neopermiano com os sedimentos da Formação Andirá, que representa o final da fase regressiva associada a Orogenia Tardiherciniana.

No Juro - Triássico as seqüências paleozóicas foram afetadas por três eventos magmáticos que Aires (1985, apud Torres 1989) denominou de Episódio Cassiporé (210 Ma), Penatecaua (180 Ma) e Apoteri (150 Ma). Sendo os dois primeiros ligados à abertura do Atlântico Norte.

A introdução de espessas soleiras de diabásio cortando todo o pacote sedimentar propiciou um soerguimento regional que deu início a um intenso processo erosivo na bacia.

A seqüência neocretáceo - terciária é composta por sedimentos das formações Alter do Chão e Solimões e finalmente esta seqüência é sobreposta por sedimentos quaternários, principalmente ao longo dos rios da região.

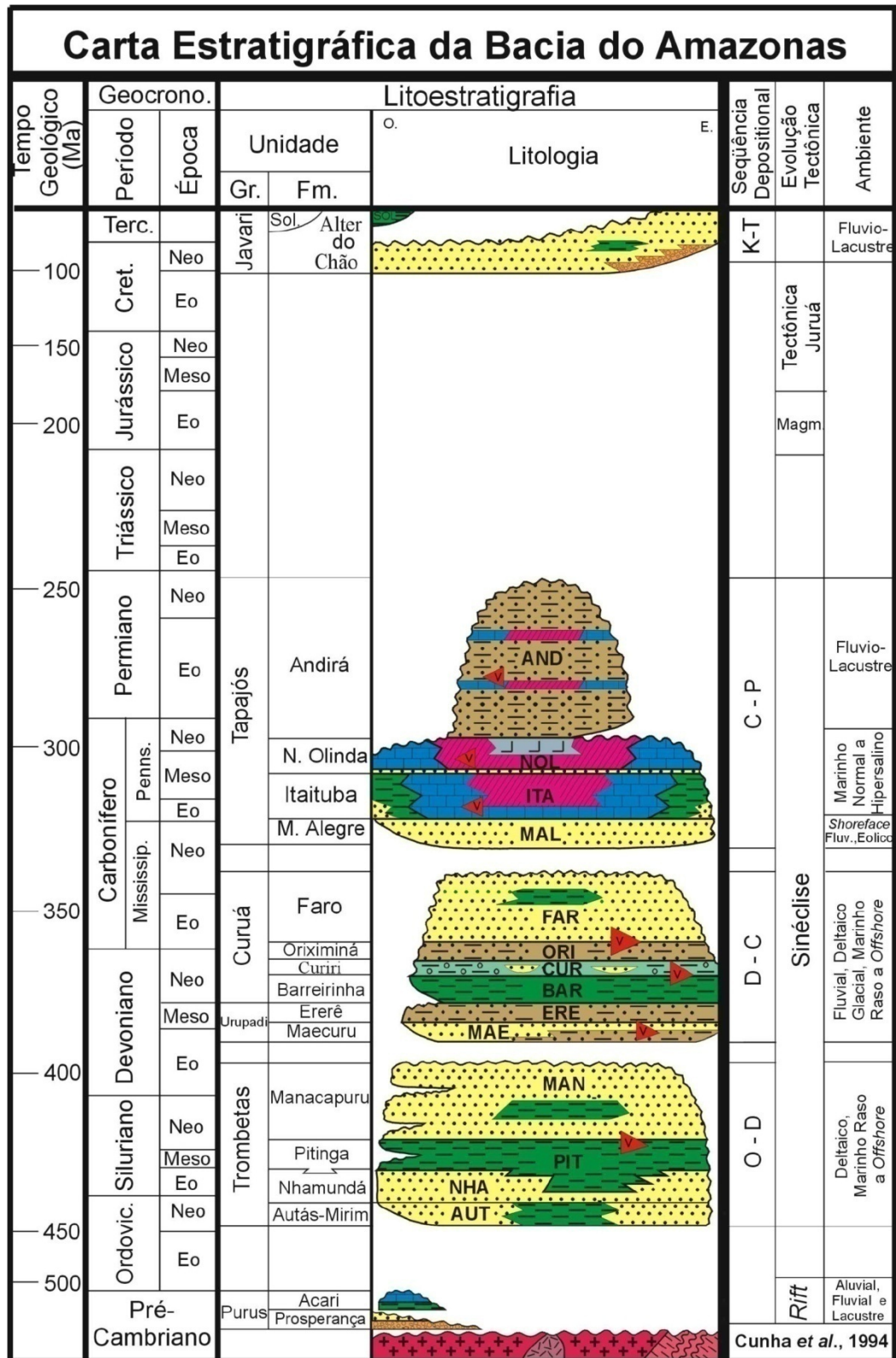


Figura 3 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas.
Fonte: Cunha et al (1994).

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi empregado o método de Traços de Fissão em Apatitas (TFA) nas rochas máficas que ocorrem na região do Domo de Monte Alegre. Dessa forma aqui são apresentados os procedimentos adotados em campo e os métodos aplicados no laboratório da UFPA, e, por fim, as bases teóricas do método de TFA.

Como suporte para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada extensa pesquisa bibliográfica sobre os principais tópicos tratados nesta dissertação incluindo o contexto geológico local e regional da Bacia do Amazonas, e o método de TFA.

Inicialmente pretendia-se a aplicação do método em rochas ígneas e sedimentares aflorantes na região do Domo de Monte Alegre, contudo, com a progressão deste estudo percebeu-se a impossibilidade de tal aplicação, devido à ausência de grãos de apatitas nas amostras sedimentares, provavelmente, relacionado com uma possível dissolução das apatitas sedimentares pela percolação de água de superfície com pH ácido.

Com isso a datação pelo método de traços de fissão foi possível, somente, em amostras de rochas ígneas (diabásios) da região.

3.1 TRABALHOS DE CAMPO

Antes da realização do trabalho de campo, foi efetuada uma escolha de áreas que apresentassem litologias suscetíveis de fornecer apatitas nas granulometrias desejadas (80 – 100 mesh) ao longo de linhas transversais ao Domo de Monte Alegre.

Foram coletados de 10 a 15 kg de material a cada ponto de amostragem, perfazendo um total de 13 amostras de rochas sedimentares e 14 de rochas ígneas. No caso das amostras ígneas procurou-se coletar amostras de diferentes sills da região, assim como, evitar a coleta de amostras de rochas alteradas.

3.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

3.2.1 Análise Petrográfica

Foram confeccionadas lâminas delgadas das amostras de rochas coletadas para estudo petrográfico realizado no Laboratório de Petrografia do Instituto de Geociências da UFPA.

3.2.2 Tratamento das Amostras

As amostras coletadas foram processadas na Oficina de Preparação de Amostra e no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFPA. As amostras foram britadas, pulverizadas, lavadas e em seguida peneiradas para obtenção das frações entre 80 e 100 mesh, que são as frações normalmente utilizadas para a realização da datação devida maior concentração de grãos de apatitas.

Posteriormente, utilizou-se o separador magnético *Frantz* para separar a fração não magnética do material peneirado, pois nela se concentra a apatita. O concentrado não magnético contendo basicamente zircão, apatita e uma fração residual de minerais leves como quartzo e/ou feldspato, seguiu para a separação por líquidos densos, utilizando-se bromofórmio com densidade de 2.889 g/cm^3 . Nesta etapa o restante de minerais leves foi separado do concentrado, permanecendo principalmente apatita e/ou zircão. Na etapa seguinte, os grãos de apatitas foram separados manualmente sob lupa binocular, para posterior montagem em resina epóxi.

Na fase de montagem das pastilhas são utilizados moldes de silicone com forma cilíndrica e cerca de 1 cm de diâmetro, no fundo do qual os grãos de apatita são dispostos em fileiras (100 a 300 grãos). Ao redor das fileiras são colocados propositalmente alguns grãos de zircão, a fim de facilitar o posterior mapeamento da amostra na análise microscópica, já que os zircões liberam uma quantidade extremamente maior de traços induzidos na mica/kapton. Finalmente o molde é preenchido com resina epóxi.

Após a secagem das pastilhas em estufa, na temperatura de 40°C , elas são encaminhadas para o polimento. Inicialmente, o lado com os grãos é lixado (entre 5 e 10 minutos), com uma lixa N° 1200, para expor os grãos. Em seguida, prossegue-se o polimento da pastilha utilizando pó de óxido de alumínio umedecido com água destilada colocado sobre tapete de $3 \mu\text{m}$. Este polimento é feito durante 5 minutos aproximadamente. Repete-se este procedimento, agora utilizando o tapete de $1 \mu\text{m}$. Para retirar imperfeições da pastilha, esta

deve ser polida, no lado oposto ao dos grãos, com lixa grossa até a pastilha atingir uma espessura de cerca de 2 a 3 mm.

Após o polimento, a pastilha segue então para o ataque químico para revelação dos traços fósseis das apatitas. Este ataque é feito com uma solução HNO_3 , de concentração 5M, sob temperatura controlada de 20° C. A amostra é atacada durante 30 segundos e, imediatamente colocada em uma solução saturada de bicarbonato de sódio para a interrupção do ataque.

Paralelamente a este processo, as lâminas de mica/kapton são cortadas na dimensão da pastilha. Estas micas são montadas sobre as pastilhas já atacadas, com auxílio de filme de PVC para que as micas fiquem totalmente em contato com a resina.

Finalmente as amostras estão prontas para a montagem com os vidros dosímetros para serem enviadas ao reator nuclear a fim de induzir a fissão do ^{235}U contido na amostra através do bombardeamento por nêutrons térmicos.

Ao retornar do reator, as montagens são desfeitas e os kaptons são submetidos a um ataque químico para revelação dos traços induzidos. As folhas de kaptons são colocadas em HF 40% sob temperatura de 15° C durante 2 horas e neutralizadas em solução saturada de bicarbonato de sódio.

As amostras assim preparadas estão prontas para serem analisadas microscopicamente, para contagem dos traços e interpretação de dados obtidos.

3.3 TRAÇOS DE FISSÃO EM APATITAS

3.3.1 Fundamentos teóricos dos traços de fissão

O método dos traços de fissão fundamenta-se no fenômeno de fissão nuclear dos átomos de ^{238}U , cuja fissão ocorre naturalmente, e ^{235}U , que sofre fissão induzida por nêutrons termiais. O fenômeno de fissão nuclear desses isótopos produz fragmentos de fissão e gera uma desordem localizada na estrutura do mineral identificada como um traço na superfície ou no interior da estrutura cristalina, chamados, também, de traços fósseis (Figura 4).



Figura 4- A) traços fósseis revelados na superfície do cristal. B) traços fósseis revelados no interior do cristal.

Segundo Fleischer *et al* (1975), os traços de fissão se formam quando partículas com alta energia cinética, liberadas pela fissão nuclear dos isótopos, se repelem e se deslocam através da estrutura de materiais sólidos gerando trajetórias lineares de instabilidade entre os átomos, as quais são identificadas como grandes danos na estrutura atômica do sólido, conforme explicito no modelo de pontas iônicas (Figura 5).

A reação de fissão nuclear é um dos tipos de desintegração nuclear que ocorre com núclídeos pesados e instáveis na natureza, que tanto pode acontecer de uma forma espontânea, como de uma forma induzida. Quando um átomo de urânio (isótopo pai) fissiona formam-se dois produtos principais: (1) os fragmentos de fissão (isótopos filhos) e (2) os traços de fissão. Nesta reação, uma grande energia (210 MeV) é liberada e dissipada na forma de energia cinética, através do lançamento dos dois átomos filhos em direções opostas. Esses átomos acabam interagindo eletricamente com os átomos do retículo cristalino do mineral ao longo da trajetória, ionizando-os.

Estes átomos ionizados passam a se repelir e se afastam, mas em seguida eles retornam elasticamente para um local diferente do original, se posicionando de uma forma desalinhada da geometria normal do cristal, formando então os traços de fissão. Este modelo de formação de traços de fissão foi proposto por Fleischer *et al* (1975) sendo denominado de *ion explosion spike*.

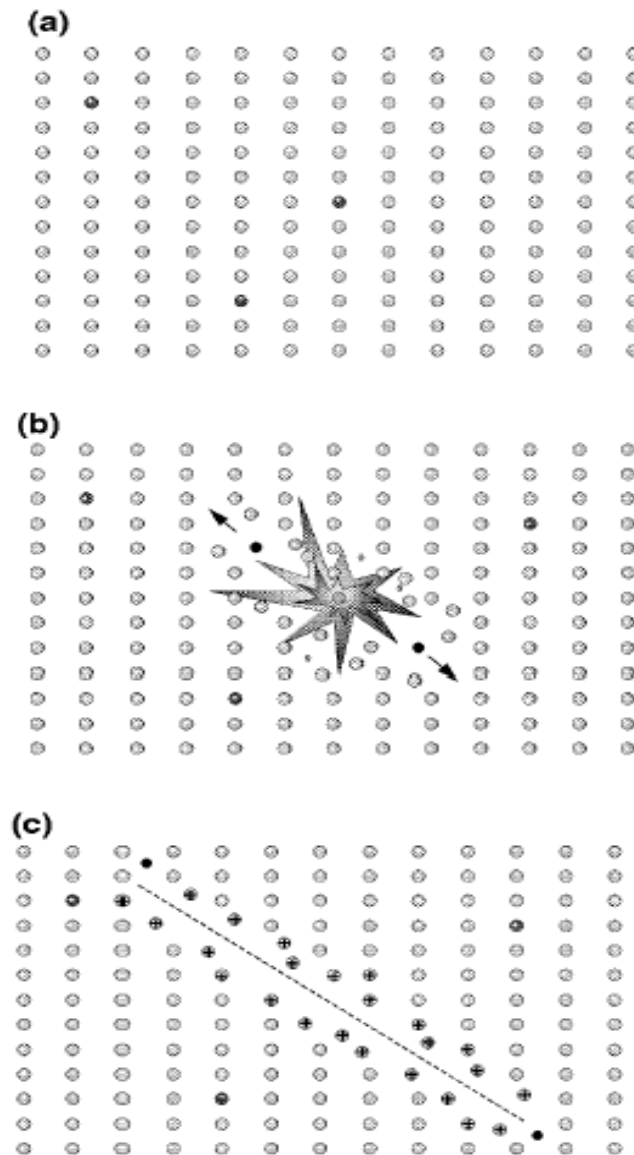


Figura 5 – Modelo de pontas iônicas, com a formação dos traços de fissão.
 Fonte: Fleischer et al (1975).

Ainda segundo Fleischer *et al* (1975) apenas os parâmetros temperatura e composição química podem influenciar na estabilidade dos traços de fissão. Eles concluíram que os traços de fissão são sensíveis ao calor, e permanece no mineral desde que este não seja submetido a temperaturas que permitam o rearranjo dos átomos perturbados, o que leva a eliminação dos defeitos cristalinos gerando o apagamento do traço. Esta temperatura é denominada de temperatura de bloqueio e é diferente para diferentes minerais. A temperatura de bloqueio da apatita é de 120°C em média, enquanto que para o zircão ela é de 300°C a 350 °C.

Outra observação importante de Fleischer e colaboradores foi a de que cada traço de fissão é o registro de um decaimento por fissão que, por sua vez, representa um evento de formação de átomos-filho.

3.3.2 Revelação dos traços

Devido às dimensões extremamente pequenas do traço de fissão (alguns nm), sua observação direta só é possível através de um microscópio de transmissão eletrônica (Wagner & Van Den Haute, 1992). Assim, para que esta observação seja possível, é necessário utilizar uma técnica para a revelação dos traços. No caso da utilização dos traços de fissão para datação, é feito um ataque químico, que consiste em imergir o mineral em uma solução (no caso da apatita utiliza-se uma solução de HNO_3) com temperatura e tempo controlados. A reação gera uma corrosão da superfície do mineral, que se desenvolve preferencialmente ao longo dos traços. Os traços revelados pela solução ácida são aqueles que cruzam a secção de polimento do mineral ou aqueles que estão totalmente contidos no interior do mineral e são cortados por outro traço ou por uma fratura que permitam o acesso da solução ácida ao traço (Figura 6). Estes traços que não interceptam a seção de polimento do mineral são chamados de traços confinados. Aqueles traços confinados que estão paralelos a seção de polimento, e com um ângulo inferior a 5° , são os traços utilizados para a medição do comprimento.

É necessário que esta reação seja cuidadosamente controlada através do monitoramento da concentração e temperatura da solução utilizada, e o tempo de imersão da pastilha na solução.

3.3.3 Método dos Traços de Fissão em Apatita

A datação traços de fissão está fundamentada na mesma equação geral de qualquer esquema de decaimento radioativo em que é feita uma estimativa da abundância relativa do isótopo pai e do isótopo filho. No entanto, nesse método o isótopo pai é o ^{238}U e o produto são os traços de fissão. Dessa forma, é necessária para a datação, a estimativa da quantidade de ^{238}U inicial e a quantidade de traços por unidade de área gerados a partir da fissão do ^{238}U . Os traços de fissão são produzidos majoritariamente pela fissão do isótopo ^{238}U , tendo em vista o fato de que as meias-vidas dos isótopos de ^{235}U e ^{232}Th são muito longas e não produzem um número significativo de traços. Estes traços de fissão são denominados de traços fósseis pois se formaram naturalmente no mineral.

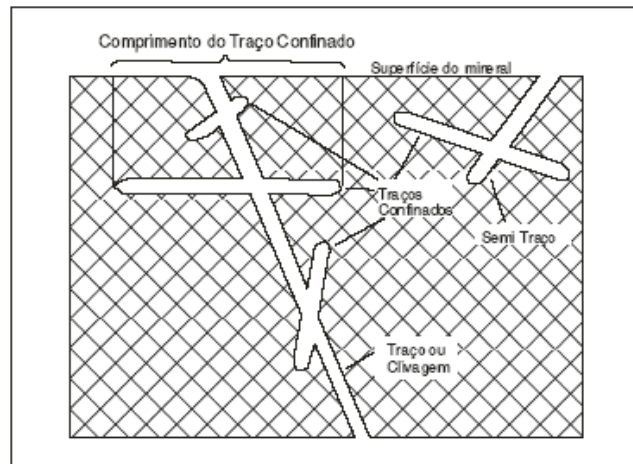


Figura 6 - Disposição dos tipos de traço.
 Fonte: Modificado de Wagner & Van den Haute (1992).

Para determinar a abundância do ^{238}U , é realizado o mesmo procedimento utilizado para a estimativa da quantidade de traços. A amostra é irradiada por nêutrons termais de baixa energia para que seja induzida a fissão do ^{235}U , gerando os traços de fissão induzidos.

Para se ter o conhecimento do fluxo dos nêutrons termais de uma irradiação este fluxo é monitorado através de padrões artificiais com teor de U conhecido. Se a fissão induzida é realizada corretamente, o número de traços induzidos indica o teor do ^{235}U . Como a razão $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ é constante na natureza (137,88), se pode estimar o teor total de U da amostra.

A idade pelo método de traços de fissão é obtida através da seguinte equação:

$$t = \frac{1}{\lambda_d} \text{Ln} \left(\lambda_d \frac{\rho_s}{\rho_i} \rho_d \zeta g + 1 \right) \quad (1)$$

onde t é a idade, ρ_s e ρ_i são as densidades de traços fósseis e induzidos, respectivamente, λ_d é a constante de decaimento α do ^{238}U , ρ_d é a densidade de traços do dosímetro (padrão com teor de U conhecido), g é o fator de geometria, e é um parâmetro que corrige a razão das densidades fósseis e induzidas na equação da idade e depende da técnica de datação utilizada.

3.3.4 Determinação do Parametro “g”

No caso da técnica do detector externo, esse fator de geometria visa normalizar a diferença entre a geometria dos cristais e do detector externo (kapton).

Para determinar g deve-se comparar a densidade fóssil obtida em uma face interna do cristal, cuja geometria é de 4π com a densidade de traços induzidos no detector externo onde a irradiação apenas provém de um meio espaço (2π).

Cada observador utiliza o seu valor de “ g ” determinado a partir de um fragmento de apatita do tipo Durango.

3.3.5 Método de Calibração Zeta

O método da calibração zeta (ζ) consiste no cálculo de um fator de correção, utilizando-se uma amostra padrão cuja principal característica é a cristalização e resfriamento rápidos (geralmente rochas vulcânicas ou vulcanoclásticas). Sendo assim é possível utilizar-se idades obtidas por outros métodos geocronológicos (sendo eles os isotópicos) como idade padrão, já que independente do método, inclusive para o de traços de fissão, os valores devem ser praticamente iguais.

Na década de 80 Hurford & Green (1983) propuseram um método de calibração para idades de traços de fissão, que mais tarde foi padronizado pelo Grupo de Pesquisa em Traços de Fissão da Subcomissão de Geocronologia da I.U.G.S, conforme Hurford (1990). A principal preocupação neste método de calibração foi corrigir a influência dos valores da constante de fissão λ_f e da fluência (ou fluxo) de nêutrons Φ no reator na idade calculada, devido as incertezas relacionadas à determinação destes números. Naquela ocasião os trabalhos publicados por pesquisadores de diversos laboratórios utilizavam valores diferentes para a constante λ_f .

Em relação à fluência de nêutrons, a sua determinação ainda apresentava problemas, principalmente devido à geração de traços a partir de outros elementos que não fosse o ^{238}U (por exemplo, o Th) caso o fluxo de nêutrons não fosse extremamente controlado a ponto de emitir um fluxo bem termalizado.

O método proposto foi a calibração por um fator calculado através da utilização de uma amostra padrão, ou seja, uma amostra cujo resfriamento fosse rápido o bastante para que a idade não apresentasse incertezas em relação à diminuição da densidade de traços fósseis, provocado pelo período em que a rocha esteve submetida à temperaturas da zona parcial de *annealing*.

Uma das amostras utilizadas, e que é empregada até hoje, é a apatita Durango, a qual é proveniente do corpo de minério de martite de Durango, pertencente ao grupo vulcânico

Carpintero, localizado na região de Cerro de Mercado no México. O resfriamento rápido desta amostra é confirmado através da similaridade entre as idades obtidas por outros métodos isotópicos de datação como $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e Rb-Sr cujo valor situa-se em $31,4 \pm 0,6$. Esta idade é utilizada como a idade padrão da apatita de Durango.

Além da apatita Durango, outro padrão freqüentemente usado é a amostra Fish Canyon Tuff, com idade de 27.8 ± 0.2 Ma datados por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e K/Ar (Hurford & Hammerschmidt, 1985). O procedimento para determinação do fator ζ consiste em irradiar uma amostra de Durango juntamente com um vidro dopado com ^{235}U (os vidros CN, por exemplo), ambos devidamente com um detector externo acoplado (captom ou mica). Os valores de densidade de traços fósseis e induzidos da apatita Durango e do detector externo do vidro, e a idade obtida pelos outros métodos geocronológicos são aplicados na seguinte equação:

$$\zeta = \frac{[\exp(\lambda t_{std}) - 1]}{\lambda (\rho_s / \rho_i)_{std} \rho_d} \quad (2)$$

onde t_{std} é a idade padrão da apatita Durango, conforme Green (1985), $(\rho_s / \rho_i)_{std}$ é a razão entre a densidade dos traços fósseis e induzidos da apatita Durango, e ρ_d é a densidade de traços induzidos contados no detector externo do vidro dosímetro.

Finalmente, a idade de traço de fissão em apatita pode ser determinada através da equação (3), aplicando o fator de calibração ζ calculado:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln [1 + \lambda \zeta (\rho_s / \rho_i) \rho_d] \quad (3)$$

É importante destacar que elementos relacionados com a eficiência de observação na contagem dos traços e as características do reator nuclear utilizado, irão influenciar no valor da constante de calibração ζ . Portanto o ideal é que cada laboratório, e ainda, cada observador tenha o seu próprio valor de constante ζ calculado. Por outro lado, uma maneira de se eliminar este problema, e proporcionar aos resultados uma padronização que torne bastante confiável a comparação interlaboratorial, é irradiar conjuntamente uma amostra de apatita Durango para cada lote de amostras.

O emprego da calibração ζ , irradiando-se conjuntamente uma amostra com cristais de apatita Durango e um detector externo acoplado, elimina a influência de elementos cuja determinação, se não sendo cuidadosa, podem falsear o cálculo da idade.

3.3.6 Técnica do Detector Externo

A técnica do detector externo baseia-se na acoplagem de um detector externo juntamente com as amostras de apatitas a serem irradiadas. Este detector é posteriormente atacado quimicamente para revelação e determinação das densidades dos traços de fissão do ^{235}U .

Essa técnica evita a incerteza da distribuição uniforme do U nas diferentes populações e também elimina dúvidas quanto ao fluxo termal, já que são acoplados às pilhas de irradiação, padrões artificiais e naturais com teor de U conhecido. A maior vantagem dessa técnica é a possibilidade de datação individual dos cristais.

Após a revelação dos traços fósseis é feita a acoplagem de um detector, plástico (kaptan) ou muscovita com teor de U conhecido e preferencialmente muito baixo. O detector é colocado diretamente sobre a montagem dos grãos de apatita, e esse pacote é então enviado para irradiação em reator nuclear (Figura 7).

A amostra é irradiada com nêutrons termiais de baixa energia, que induzem a fissão do ^{235}U . Durante o processo de irradiação, algumas partículas pesadas atravessam a interface entre as apatitas e o detector, produzindo uma imagem espelhada dos grãos originais. Quando a amostra retorna ao laboratório, somente o detector é atacado para revelação dos traços induzidos. Pela contagem dos traços induzidos (^{235}U) é estimado o teor de ^{238}U dos grãos de apatita, ou seja, o isótopo pai, enquanto que a contagem dos traços fósseis nos próprios grãos de apatita fornece a concentração do “elemento” filho.

3.3.7 Influência Composicional das Apatitas

A composição química das apatitas é um parâmetro fundamental para os modelamentos das histórias térmicas a partir de dados de traços de fissão. Apatitas são fosfatos de Ca ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), que podem conter flúor, cloro e hidroxila ocupando o mesmo sítio cristalográfico. O íon PO_4 pode ser substituído por CO_3 e OH , enquanto o Ca pode ser

substituído parcialmente por Mn, Ce e Sr, preferencialmente em flúor-apatitas. A diferença composicional entre os grãos provoca variações nas temperaturas

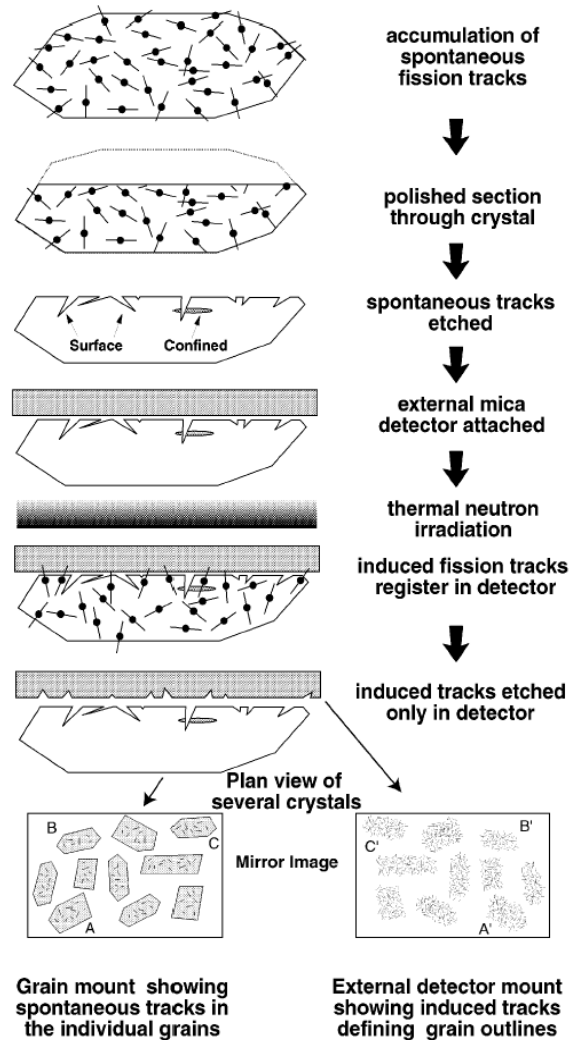


Figura 7- Procedimentos realizados para datação traços de fissão com a técnica do detector externo.

Fonte: Gallagher et al (1998).

de apagamento dos traços modificando os intervalos das zonas de estabilidade (Green, 1986). A principal influência ocorre sobre a zona de estabilidade parcial dos traços, cujo intervalo é de, aproximadamente, 60 a 110°C para flúor-apatitas e de 70 a 130°C para cloro-apatitas. São consideradas fluorapatitas àquelas que apresentam teor em cloro inferior à 0,5% Cl.

3.3.8 Comprimento dos Traços Confinados

Existem dois tipos de traços de fissão fósseis. Aqueles que cortam a superfície de polimento do cristal, chamados de traços superficiais são utilizados na contagem da densidade de traços para a datação das amostras. Outro tipo é chamado de traços confinados, que são aqueles localizados no interior do cristal.

Os traços confinados podem ser horizontais, à superfície do cristal, isso ocorre quando o mineral apresenta-se euédrico, facilitando o reconhecimento dos eixos cristalográficos, possibilitando assim, o reconhecimento dos traços paralelos ao eixo cristalográfico C, isso permite uma leitura real do comprimento dos traços (L_c) (Figura 8). Quando estes não são paralelos à superfície do mineral, o se pode ver o comprimento real dos traços menos ainda medi-lo.

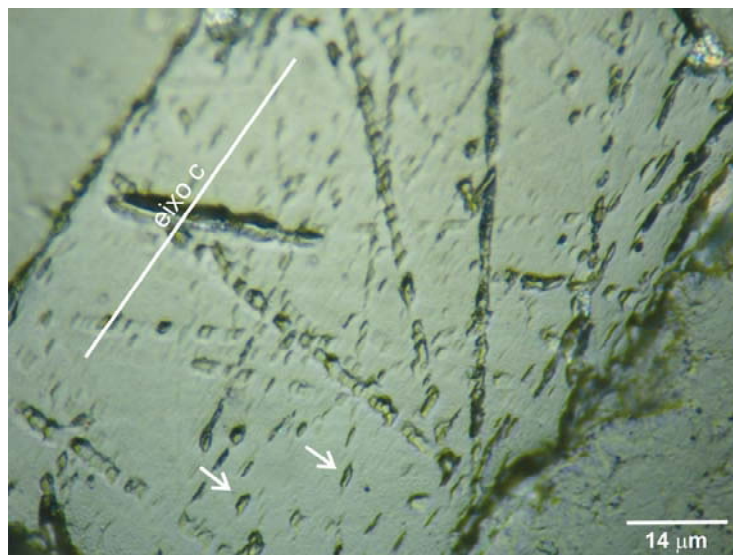


Figura 8 - Setas indicam a boca do traço e a linha branca indica o eixo do mineral.

Os traços de fissão são metaestáveis, ou seja, o aumento da temperatura altera os comprimentos dos mesmos, podendo até mesmo provocar o seu apagamento total (Laslett *et al*, 1982). As alterações provocadas nos traços são um parâmetro importante na análise dos dados, pois é necessário conhecer a distribuição dos comprimentos para se entender o significado das idades de traços de fissão.

Microscopicamente os traços confinados úteis à medição dos comprimentos são facilmente identificáveis pela utilização do foco micrométrico, refletindo a luz ao longo do comprimento total do traço, comprimento este a ser medido.

Neste trabalho os traços foram mensurados através de um micrometro acoplado às oculares do microscópio e são apresentados em histogramas radiais mais adiante.

3.3.9 Idades por Traços de Fissão e seu Significado

As idades de traços de fissão são obtidas pela contagem dos traços fósseis e induzidos existentes no cristal de apatita e no detector externo, por unidade de área. Para essa contagem foi utilizado o microscópio Axioskop 40 Zeiss com objetiva de 100 x a seco e oculares de 10x, em malha de 10x10mm.

Cada cristal fornece uma idade que é calculada, com erro de ± 1 sigma, baseado no número total de traços contados e na densidade correspondente. A precisão de uma idade depende basicamente da densidade de traços fósseis e induzidos.

Green (1981) afirma que datações podem ser consideradas boas quando são datados mais de 20 cristais e ruins quando se tem menos que 5 cristais por amostra. Para Green, a precisão da idade obtida esta relacionada ao número de cristais individuais datados. Essa classificação não considera a densidade de traços dos grãos individualmente; ou seja, se uma determinada amostra possui cristais com baixa densidade de traços (baixo teor de urânio), do ponto de vista estatístico, necessita de um número maior de grãos que uma amostra com alta densidade. Esta variação é bastante marcada quando se compara resultados obtidos em diferentes bacias.

Garver & Brandon (1994) utilizaram de 50 a 100 grãos por amostra para a determinação de idade, Kowallis *et al* (1986) acham 5-10 grãos suficientes para datações confiáveis em algumas situações. Disto conclui-se que não existe um número ideal para as datações e este será baseado no tipo de problema que se quer analisar e da quantidade de material disponível.

A medida do comprimento dos traços um parâmetro fundamental na análise traços de fissão. Os traços de fissão são registros metaestáveis que podem ser parcialmente ou completamente apagados. O apagamento parcial leva a um encurtamento dos traços. Esse encurtamento varia de acordo com parâmetros como composição química dos minerais, radiação de ionização e, principalmente, com a temperatura e com o tempo durante o qual as apatitas permanecem sob esta ultima.

Inúmeros trabalhos permitiram mostrar que a temperatura é o fator mais importante na estabilidade dos traços de fissão. A estimativa da temperatura em que os traços foram estabilizados é feita através da medida do comprimento dos traços confinados na estrutura

cristalina do mineral, ou seja, aqueles traços cujos comprimentos não foram afetados pelos ataques químicos de revelação (Carlson *et al*, 1999).

A reconstituição dos eventos termais registrados na estrutura cristalina das apatitas está fundamentada no conceito das zonas de estabilidade e apagamento dos traços (Figura 9). Essas zonas compreendem intervalos de temperatura nos quais os traços de fissão gerados são completamente apagados, parcialmente apagados ou completamente preservados. Para a apatita, a zona de apagamento total dos traços compreende temperaturas superiores à 110°-130°C. A zona de estabilidade parcial dos traços situa-se, aproximadamente, no intervalo de 60 a 110°C para fluorapatitas e 70 a 130°C para cloroapatitas. Por sua vez, a zona de estabilidade total dos traços corresponde ao intervalo de temperatura inferior a 60°C (Gleadow & Duddy, 1981). Os comprimentos dos traços de fissão gerados nas apatitas, ao realizarem trajetórias de resfriamento ou aquecimento ao longo desses intervalos de temperatura, mantêm registrado as temperaturas pelas quais as rochas passaram. Por outro lado, a densidade dos traços fósseis mantêm o registro do tempo que as rochas permaneceram em cada zona de estabilidade.

Dessa forma, é possível estimar taxas de denudação e soerguimento de bacias com base nos comprimentos dos traços fósseis preservados. Adicionalmente, por meio da densidade de traços fósseis (^{238}U) e induzidos (^{235}U) obtém-se a idade Traço de Fissão dos eventos térmicos relacionados a essas taxas.

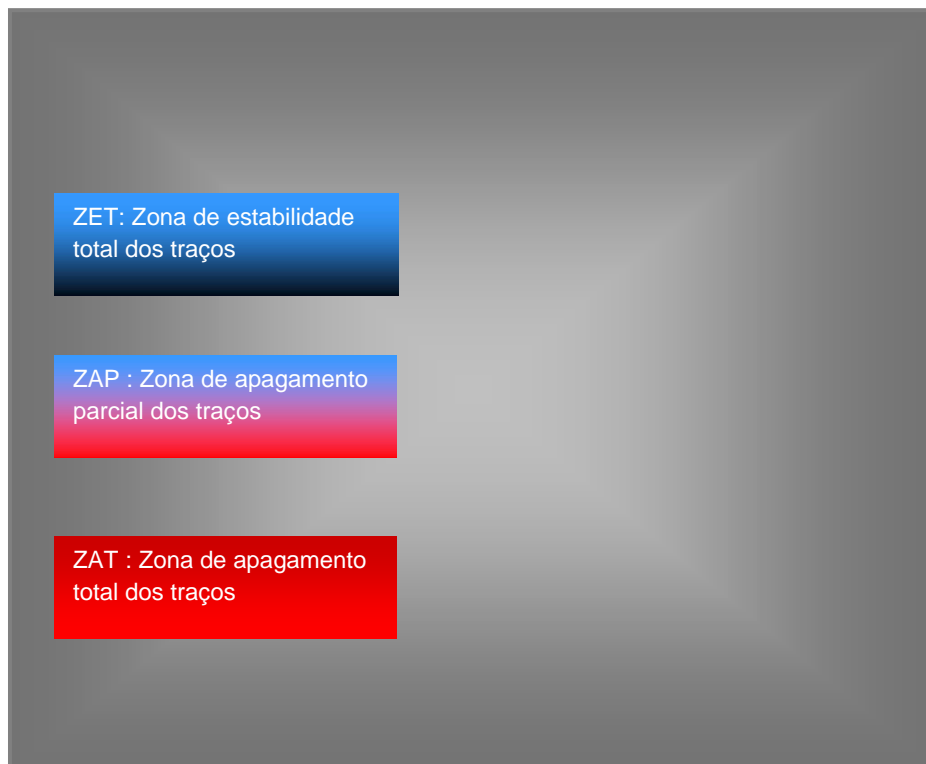


Figura 9 – Representação esquemática das zonas de estabilidade e apagamento dos traços de fissão.

Fonte: Naeser (1989).

A maior parte dos dados utilizados para a construção de histórias térmicas de bacias sedimentares representa somente o registro das paleotemperaturas máximas dos sedimentos. No entanto, a análise traços de fissão gera informação da paleotemperatura e também do tempo. Esses dados se tornam bastante úteis quando uma bacia foi submetida a um período de soerguimento durante o qual parte de seu arcabouço foi removido pela erosão e ocorreu o resfriamento do estrato sotoposto.

3.3.10 O Programa “Monte Trax”

Este programa mede a capacidade de uma determinada história térmica em explicar um conjunto de dados obtidos pela técnica de traços de fissão. O programa utiliza aproximação probabilística baseada na correlação aleatória (simulações Monte Carlo e Algoritmo Genérico, Gallagher *et al*, 1991) entre valores calculados e aqueles observados pelos usuários. O resultado fornece pares tempo/temperatura, informações sobre o comprimento dos traços e a idade central esperada para cada amostra e o grau de

concordância entre elas. É importante citar que a melhor correlação não é necessariamente única ou verdadeira, e poderão ocorrer outras soluções em função do conhecimento geológico.

Ao utilizar o processo Monte Carlo, o usuário pode obter até 120 simulações possíveis de evolução térmica da amostra no tempo geológico, todas independentes entre si. Esta é a vantagem deste método, pois se necessita de poucas caixas tempo/temperatura para o cálculo da história térmica, podendo estabelecer limites amplos para a análise das informações.

3.3.11 Análises Traços de Fissão em Estudos de Histórias Térmicas de Bacias Sedimentares

O método de traços de fissão tem grande importância como ferramenta complementar para o estudo geológico, sobretudo em bacias sedimentares. Isso se deve a grande relação entre o intervalo das temperaturas em que ocorre a geração de hidrocarbonetos nos sítios deposicionais e aquele característico do desenvolvimento dos traços de fissão em apatitas.

Dentre as diversas contribuições do método TF destacam-se estudos de proveniência (Rohrmann *et al*, 1996), análise de história termal em bacias sedimentares (Zhao *et al*, 1996), estudo e evolução de margens passivas (Gallagher *et al*, 1995), entre outros.

No estudo de proveniência, grãos de zircão e apatitas podem conter traços de fissão que se acumularam na rocha fonte original, onde processos físicos e químicos não afetam a retenção e estabilidade dos traços, mas a preservação depende, sim, da história de temperatura pela qual a área fonte e, conseqüentemente, os sedimentos passaram. A estabilidade da apatita em baixas temperaturas faz com que este mineral tenha uma aplicação limitada.

A estabilidade em temperatura mais elevada e maior resistência ao transporte físico do zircão o tornam mais eficaz e conseqüentemente mais utilizado em estudos de proveniência (Gallagher *et al*, 1998).

Na análise de história termal de bacias sedimentares o método é reconhecido como um sensível indicador de temperatura e tempo. A grande maioria dos estudos é feito em apatitas devido a escala de temperatura a que o mineral é sensível à retenção dos traços (50° a 130° C), escala na qual são gerados os hidrocarbonetos no tempo geológico (Gallagher *et al*, 1998), como citado anteriormente, tornando-se, assim, um método corriqueiro na exploração de hidrocarboneto e modelamento de maturação.

O primeiro grande estudo em bacias ocorreu na bacia de Otway, no sudeste da Austrália, fornecendo uma demonstração convincente da eficácia do método, se tornando um

estudo de referência. A principal vantagem dessa bacia consiste nos seus sedimentos serem derivados de rochas vulcânicas. Dessa forma a idade zero dos traços de fissão, correspondente ao apagamento total dos traços, é a idade estratigráfica dos sedimentos, ou seja, todos os traços registrados correspondem a eventos posteriores à deposição dos sedimentos. Aliado a isso, a história de soterramento é relativamente simples, de forma que a história termal dos sedimentos pode ser reconstruída com segurança. Nesse caso, a idade estratigráfica é de aproximadamente 120 Ma, sendo que as idades e os comprimentos dos traços decrescem à medida que aumenta a profundidade da bacia, ou seja, à medida que as rochas atingem as zonas de apagamento parcial e total dos traços. As amostras, cujos registros dos traços estão situados dentro desses intervalos de temperatura apresentam também distribuição mais ampla dos comprimentos dos traços.

4. GEOLOGIA DA REGIÃO DE MONTE ALEGRE

Produtos de sensoriamento remoto associado às informações bibliográficas disponíveis permitiram que Pastana (1999) sintetizasse a geologia do município de Monte Alegre em um substrato Pré-cambriano e uma sucessão sedimentar paleozóica, uma meso-cenozóica, além de aluviões recentes. Uma intensa atividade ígnea está registrada na região, sendo caracterizada por diques e soleiras de diabásio de idade mesozóica, alojados na seqüência sedimentar paleozóica.

No substrato pré-cambriano Pastana (1999) reconheceu as seguintes unidades: o Complexo Guianense, o Granito Mapuera e Intrusivas Alcalinas. O Complexo Guianense está localizado ao norte do município de Monte Alegre e é o conjunto litológico mais antigo da região (2,6 Ga). Ele é representado por um terreno gnáissico-migmatítico de idade arqueana constituído por gnaisses de composição predominantemente granodiorítica a granítica; subordinadamente ocorrem kinzigitos, anfíbolitos, trondhjemitos, migmatitos e granulitos. Este conjunto de rochas está afetado por macroestruturas de direções predominantes NW-SE; NE-SW e, mais raramente, NNE-SSW.

O Granito Mapuera é constituído por corpos de dimensões batolíticas estão intrudidos nas rochas do Complexo Guianense. Estes corpos teriam se alojado nas rochas do Complexo Guianense durante um regime tectônico distensivo no Paleoproterozóico (1,81 Ga).

A presença de rocha Intrusiva Alcalina está relacionada à fase final do regime distensivo no Proterozóico e é representada por um corpo intrusivo com cerca de 8 km de diâmetro, localizado na porção norte-nordeste do município.

Os registros sedimentares e ígneos da região de Monte Alegre estão inseridos regionalmente na Bacia do Amazonas e nada mais é que um reflexo tanto das variações eustáticas do nível do mar quanto dos eventos tectônicos ocorridos na borda oeste da pretérita placa Gondwânica, além da influência da tafrogenia mesozóica do Atlântico Sul. Estes eventos provocaram grandes embaciamentos ao longo do Farerozóico.

Em Monte Alegre as rochas sedimentares ocupam a porção meridional do município, e ocorrem como faixas aproximadamente subparalelas, de direções preferenciais E-W e NE-SW, mais raramente NW-SE. Na porção centro-sul da cidade, estas unidades acham-se dispostas segundo estreitas faixas semi-circulares, desenhando uma estrutura conhecida como Domo de Monte Alegre.

As unidades litoestratigráficas da Bacia do Amazonas aflorantes no município de Monte Alegre são as formações Trombretas, Maecuru, Ererê, Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro, Monte Alegre, Itaituba, Alter do Chão e aluviões quaternários.

A Formação Trombretas foi identificada através dos trabalhos fotointerpretativos e está caracterizada por um relevo pronunciado, na forma de “cuestas” e platôs, onde se destaca uma rede de drenagem bem encaixada e espaçada, com vales profundos e de perfil em V. As rochas desta formação ocorrem ao norte do município de Monte Alegre, segundo uma faixa NE-SW com aproximadamente 100 km de extensão e 15 km de largura. O contato desta formação com o Complexo Guianense, ao norte, foi estabelecido com base em marcantes contrastes topográficos e texturais (notadamente nas imagens LANDSAT), enquanto que o contato com a Formação Maecuru, ao sul, é bastante impreciso, face às similaridades morfológicas e litológicas entre essas duas formações (Pastana, 1999).

A Formação Maecuru ocorre na porção centro-sul do município, cobrindo toda a extensão leste-oeste do mesmo; está disposta segundo uma faixa com cerca de 110 km de extensão e largura média de 6 km, com direções E-W e, principalmente, NE-SW. Ela é constituída, na porção basal, por arenitos brancos a cinza claros, micáceos, granulometria fina a média, bem estratificados; na porção superior, ocorrem arenitos finos, fossilíferos (braquiópodos, pelecípodos e tubos de Vermes), com intercalações de folhelhos cinza escuros.

As rochas da Formação Ererê têm duas grandes áreas de ocorrência. Ao norte do município de Monte Alegre, distribui-se segundo uma faixa aproximadamente paralela à Formação Maecuru, possuindo uma extensão de 105 km e largura média estimada em 3,5 km. A outra área de ocorrência da Formação Ererê está situada na porção central do Domo de Monte Alegre. A leste e a sul do domo estas rochas estão em contato por falha com as rochas terciárias (Formação Alter do Chão); as camadas mantêm direções ENE-WSW, com mergulhos entre 20° e 30°/S, chegando até 70° próximo aos traços das falhas (Almeida e Pinheiro, 2007).

Litologicamente predominam intercalações de siltitos, arenitos e folhelhos; os siltitos são cinza esverdeados, sílicificados, fossilíferos, às vezes piritosos; os arenitos são brancos a avermelhados, micáceos, com granulometria média, enquanto os folhelhos, mais raros, têm coloração cinza-escuro, ocorrendo em camadas bastante delgadas. Na porção central do domo estas rochas fraturadas em prismas regulares (Figura 10).



Figura 10 - Afloramentos de siltito da Formação Ererê.

Segundo Pastana (1999), as rochas da Formação Barreirinha ocorrem de duas formas. Ao norte do município ocorre segundo uma faixa com cerca de 105 km de comprimento e largura média de 5 km, cobrindo toda a extensão leste-oeste do espaço municipal, em disposição aproximadamente paralela à Formação Ererê. A outra área de ocorrência da desta formação está situada na porção central do Domo de Monte Alegre. Litologicamente esta formação é composta por folhelhos negros, laminados, carbonosos, micáceos e piritosos; por vezes, ocorre folhelho cinza, fissil, micáceo, com lâminas de arenito fino. Na porção superior, ocorre folhelho creme, bem laminado, micáceo (Figura 11).



Figura 11 - Afloramento de folhelho da Barreirinha.

A Formação Curiri tem exposição tanto na parte norte do município de Monte Alegre como nas bordas da estrutura dômica, ao sul do município. Ao norte esta formação apresenta-se segundo uma faixa de direções E-W e, principalmente, NE-SW, com cerca de 100 km de comprimento e largura média em torno de 6 km, posicionada entre as formações Barreirinha e Oriximiná.

Na área da estrutura dômica, a ocorrência da Formação Curiri apresenta-se numa forma semi-circular, com cerca de $\pm 2,5$ km no flanco oeste e mais estreita no flanco norte, $\pm 0,7$ km, estando ausente no restante da estrutura, devido a truncamentos estruturais. Litologicamente é composta por folhelhos e siltitos, com subordinados níveis de arenitos. Os folhelhos são de coloração negra a cinza ou esverdeada, às vezes creme, micáceos, fossilíferos, bem laminados. Os siltitos são maciços ou finamente laminados, em geral cinza ou esverdeados, micáceos.

A Formação Oriximiná ocorre em exposições, também, ao norte do município de Monte Alegre, distribuída segundo uma faixa com direções principais E-W e ENE-SW, com extensão aproximada de 90 km e largura média de 4 km, subparalela à Formação Curiri.

Na área do domo, a Formação Oriximiná está representada por um conjunto de serras situadas na porção mais externa da estrutura, em disposição semicircular e aproximadamente paralela à Formação Curiri. Litologicamente a Formação Oriximiná é composta, na porção inferior, por arenitos finos a médios, brancos a avermelhados, maciços, micáceos, às vezes com intercalações de siltitos e folhelhos. Na parte superior, ocorre certa predominância das rochas de granulação mais fina, sendo freqüentes as intercalações de folhelhos e siltitos.

A Formação Faro aflora tanto ao norte do município como na parte mais externa da estrutura dômica. A área de ocorrência, ao norte, distribui-se como uma faixa com cerca de 85 km de comprimento e largura média de 3,5 a 4 km. Na periferia do domo, a maior porção aflorante situa-se na parte nordeste da estrutura, desenhando a serra de Itauajuri (o ponto mais alto do município), tornando-se mais estreita no flanco oeste da estrutura dômica. Litologicamente esta formação, em sua porção inferior, é essencialmente arenosa, predominando arenitos quartzosos de granulometria fina, cinza a esverdeados, micáceos e, subordinadamente, arenitos grossos, ferruginosos, além de arenitos avermelhados, micáceos, finos, friáveis. Na porção superior, predominam rochas de granulometria mais fina, representadas por siltitos bem laminados, contendo intercalações de folhelho cinza escuro a negro, além de folhelhos sílticos com estrutura “flaser”.

Microscopicamente os arenitos têm granulação fina a média, os contatos entre os grãos são tangenciais, retilíneos, e côncavo-convexos sendo raros os suturados. Entretanto, muitos

contatos retilíneos representam na realidade contatos de compromisso (contatos entre cimento/cimento ou cimento/grão). A seleção dos arenitos varia de moderada a boa. O arredondamento dos grãos abrange as classes “bem arredondadas” a “subanguloso”.

A Formação Monte Alegre tem uma ampla área de exposição, ocorrendo segundo uma faixa E-W a NE-SW, com cerca de 70 km de comprimento e largura bastante variável, estendendo-se continuamente para sul, até contornar grande parte da estrutura dômica. Esta formação é composta por arenitos médios a grossos, esbranquiçados, friáveis, com estratificação cruzada, estratificação plano paralela, e presença de lentes de argila, localmente. Rochas desta unidade estão bem expostas nas margens do rio Maecuru e ao longo da PA-255.

Microscopicamente os arenitos apresentam granulometria fina a média, em geral são de arcabouço fechado, o contato entre os grãos são retilíneos, côncavo-convexos e suturados (Figura 12).



Figura 12 - Afloramento de arenitos da Formação Monte Alegre.

A Formação Itaituba tem uma ampla área de exposição, ocorrendo segundo uma faixa NE-SW, com cerca de 60 km de comprimento e largura bastante variável, estendendo-se continuamente para sul, até contornar parte do Domo de Monte Alegre. Litologicamente esta formação apresenta pacotes de arenitos contendo intercalações de folhelhos e siltitos. Os calcários, por sua vez, são freqüentes e ocorrem na forma de grandes pacotes/lentes, de coloração cinza escura, compactos, fóssilíferos, contendo intercalações de folhelhos e siltitos.

O magmatismo mesozóico no município de Monte Alegre está bem representado na forma de extensos diques, com direções preferenciais N-S, N30E e N30W, além de soleiras, truncando toda a seqüência paleozóica. Os diques de diabásio apresentam-se como corpos

retilíneos com extensões quilométricas, geralmente formando relevo positivo, em forma de cristas; todavia, às vezes constituem relevo negativo, como pode ser bem observado na área do domo. Suas principais ocorrências estão localizadas ao norte do município e na estrutura dômica.

Os diabásios da região de Monte Alegre ocorrem em grandes blocos, diques e lajedos intrudidos nas rochas sedimentares da região. Os grandes blocos ocorrem na porção central do município, ao norte do Domo de Monte Alegre. Já os diques e soleiras ocorrem no interior do domo. São rochas de coloração cinza escura, exibindo textura fanerítica e, localmente, porfírica (bloco mais ao norte do município), granulação média, compostos por cristais de plagioclásio e piroxênio. Microscopicamente é possível observar a presença, em menores proporções, de cristais de anfíbólio, biotita, olivina, minerais opacos, sericita, carbonato, clorita e apatita (Figura 13).



Figura 13 – Blocos e lajedos de diabásio.

A Formação Alter do Chão apresenta boas exposições nas regiões sudeste e sudoeste do município de Monte Alegre tendo suas melhores exposições na própria cidade de Monte Alegre, na rodovia PA-255 e, principalmente, ao longo da PA-423, entre a sede municipal e a colônia da Mulata.

Localmente as rochas desta formação encontram-se, localmente, basculadas por falhas N-S, apresentando mergulhos em torno de 05° a 20° nas serras do Ererê e Paituna.

Ao sul e leste do Domo de Monte Alegre observa-se a presença de falhas de direções NE-SW e NNE-SSW. Tais falhas põem em contato rochas da formação Alter do Chão com rochas paleozóicas evidenciando desta forma uma tectônica cenozóica na região. Estas falhas

teriam gerado o basculamento das rochas sedimentares com mergulhos entre 20° e 30°, podendo a chegar até 70° no plano destas falhas que podem apresentar um rejeito de aproximadamente 2000m, se levado em consideração o preenchimento sedimentar da Bacia do Amazonas.

Esta formação é composta por pacotes de arenitos quartzosos, mal selecionados, por vezes conglomeráticos e com níveis de argilas subordinados, assim como horizontes de grânulos e seixos de quartzo. São friáveis, de coloração avermelhada e às vezes apresentam-se com marcantes estruturas sedimentares, representadas por estratificações cruzadas.

Os aluviões quaternários constituem as planícies de inundação dos principais cursos d'água que cortam o Município, tais como os rios Amazonas e Maecuru, entre outros.

4.1 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO DOMO DE MONTE ALEGRE

Diversos estudos sugerem que a estrutura dômica de Monte Alegre foi formada no Mesozóico devido à intrusão lacolítica nas rochas paleozóicas da Bacia do Amazonas na região. Tal estrutura é reconhecida em imagens de sensores remotos e modelos SRTM como um conjunto de serras que desenham uma forma semi-elíptica que se destaca na planície amazônica (Figura 14). Esta estrutura apresenta um eixo maior, com aproximadamente 30 km de comprimento, que está orientado na direção ENE-WSW; o eixo menor, com cerca de 20 km de comprimento, posiciona-se na direção NNW-SSE. A forma semi-elipítica dessa estrutura está condicionada por um extenso falhamento terciário (e/ou pós-terciário) na porção sul e sudeste de direções NE-SW e NNE-SSW, respectivamente, que coloca em contato as rochas paleozóicas com sedimentos cretáceo-terciários da Formação Alter do Chão.

Lineamentos estruturais de direções principais NW-SE, NE-SW e, por vezes, N-S e E-W, estão presentes no embasamento aflorante e na cobertura sedimentar, e são nitidamente reconhecidos por imagens Landsat 7ETM+, modelos SRTM, alinhamentos de drenagens e dados aerogeofísicos. Análises morfoestruturais revelaram um cruzamento destes lineamentos, verificado também em profundidade, e ao longo destas anomalias morfoestruturais de drenagem com a associação de padrões anelares e radiais que podem revelar um substrato de composição ígnea que aproveitou a nucleação ou reativações de falhas pra se alojar (Figueira *et al*, 2008).

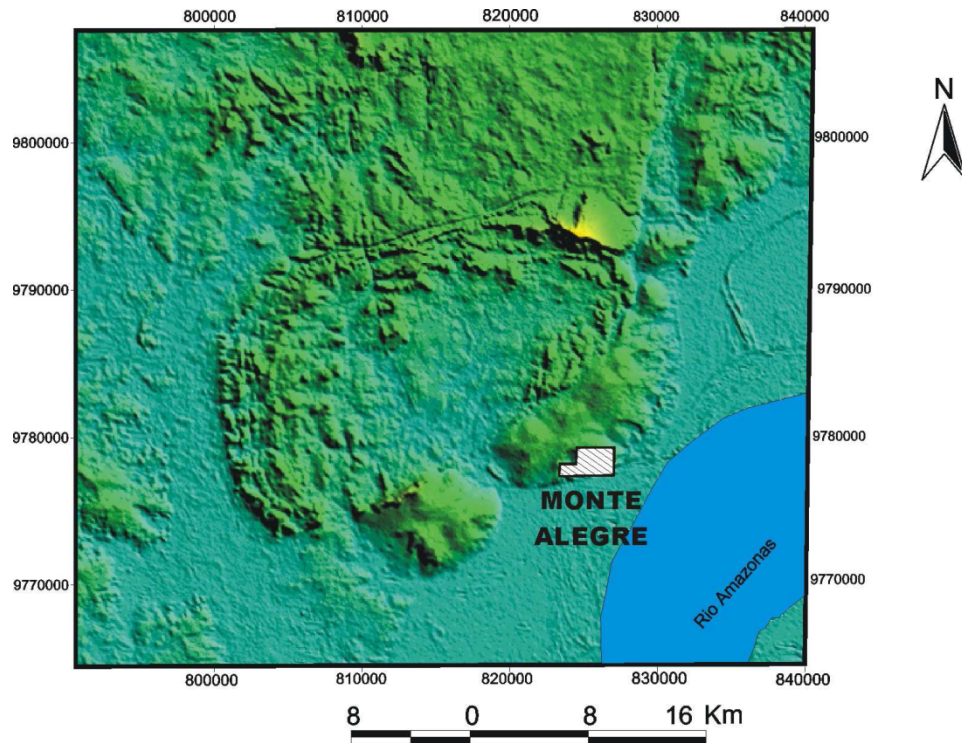


Figura 14 - Imagem de radar (SRTM) do Domo de Monte Alegre (PA).

Fonte: Almeida & Pinheiro (2007).

A estrutura dômica de Monte Alegre foi dividida por Almeida e Pinheiro (2007) em cinco domínios estruturais, balizados por estes lineamentos (Figura 15). Os dados estruturais mostraram que as camadas sedimentares possuem diferentes ângulos de mergulho, variando desde 5° até 70° nos planos de falhas. Com base nestes dados Almeida e Pinheiro (2007) sugeriram que o Domo de Monte Alegre representa uma estrutura geometricamente assimétrica, dividida em setores, onde o acamamento, responsável pela arquitetura da estrutura, têm posições espaciais diferentemente definidas.

Segundo Almeida e Pinheiro (2007), as falhas e fraturas N-S que cortam a estrutura dômica estão relacionadas a cisalhamento trativo tardio em relação ao momento de basculamento das camadas, e podem ser observadas de forma importante, cortando as rochas terciárias da Formação Alter do Chão. Desta forma, são provavelmente posteriores às falhas Ererê e Itauajurí, na seqüência deformacional. Estas falhas N-S provocam *kink bands* suaves nos pacotes terciários, observados principalmente na Serra do Ererê. Com isso, elas segmentam o domo em setores tardios tendo um importante papel na formação desta estrutura.

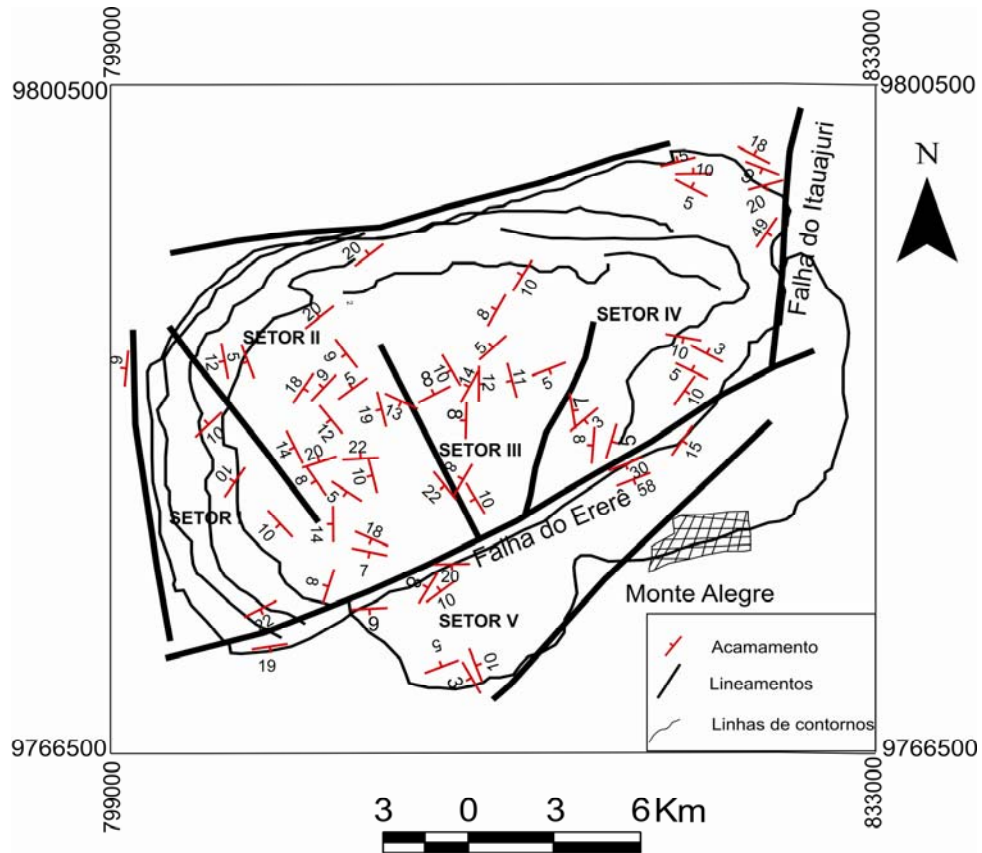


Figura 15 - Mapa de domínios estruturais do Domo de Monte Alegre.
 Fonte: Almeida & Pinheiro (2007).

5. APRESENTAÇÃO DE DADOS OBTIDOS

5.1 AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE TRAÇO DE FISSÃO

As amostras utilizadas para a datação contemplaram rochas intrusivas presentes no Domo de Monte Alegre e regiões adjacentes (Figura 16).

Foram coletadas 14 amostras de rocha das quais 11 apresentaram grande quantidade de apatita, mostrando-se, assim, de boa qualidade para a realização deste estudo. As amostras foram agrupadas devido comparações de idade e proximidade de localização conforme pode ser visto na Tabela 1.

As apatitas encontradas são fraturadas, sendo comum a presença de inclusões e defeitos estruturais, necessitando, assim, de cuidado criterioso na escolha dos cristais para a datação.

Para este trabalho a montagem das pastilhas foi feita com quantidade de cristais entre 100 e 150 grãos (Figura 17).

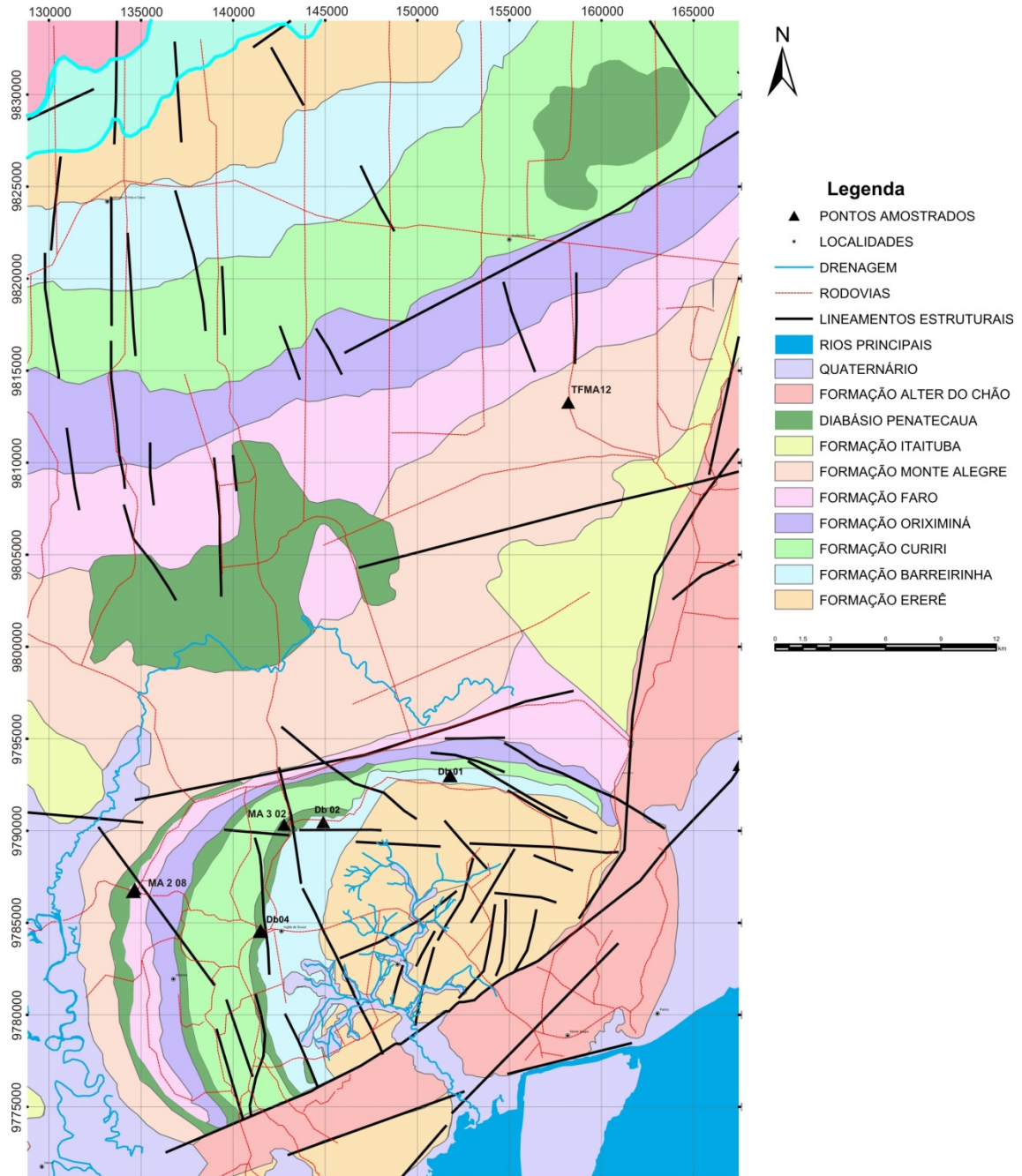


Figura 16 - Mapa geológico de Monte Alegre com pontos amostrados.
Fonte: Modificado de Pastana (1999).

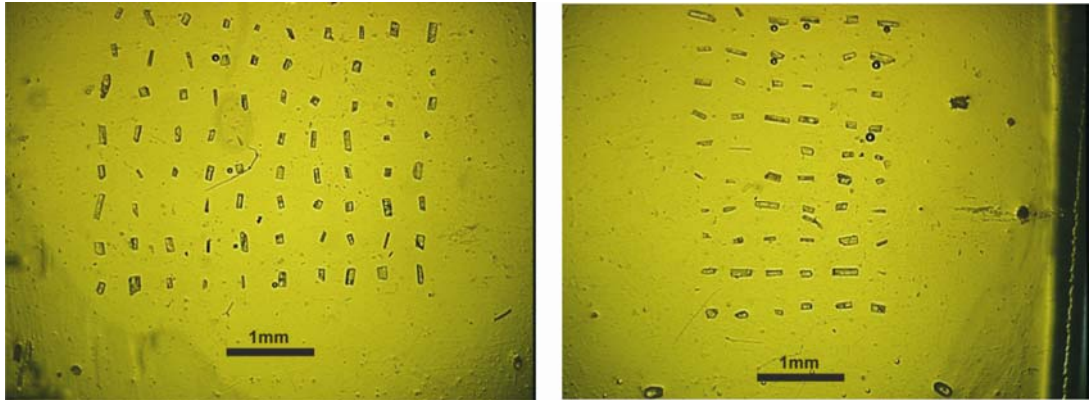


Figura 17- Montagem dos cristais de apatita em resina epóxi.

5.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA IRRADIAÇÃO

Os procedimentos técnicos para preparação das amostras obedeceram às normas indicadas à utilização do método do detector externo (ver capítulo 3.3.2). A separação dos grãos de apatita foi realizada nos laboratórios de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Após esta preparação foi montada a pilha de irradiação, onde as amostras foram acopladas aos vidros dosímetros (Figura 18). Em seguida, este conjunto foi colocado em recipientes apropriados de alumínio para irradiação e enviadas para o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) sob a supervisão da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), onde foram irradiadas.

5.3 IRRADIAÇÃO

Para a irradiação utilizada na análise traços de fissão, deve-se levar em consideração as seguintes características para o reator nuclear:

- ❖ Fluência de nêutrons térmicos da ordem de $10^{14}n/cm^2$ à $10^{16}n/cm^2$;
- ❖ Posições de irradiação com uma taxa de pelo menos $10^{12}n/cm^2/s$;
- ❖ Posições de irradiação bem termalizadas;
- ❖ Variações espaciais do fluxo de nêutrons mínimas (coluna térmica).

Na análise traços de fissão a verificação da irradiação é feita por meio da acoplagem de dosímetros, padrões artificiais e naturais com teor de U conhecido, ao longo da pilha de irradiação. Assim, com a contagem dos traços fósseis e induzidos nos dosímetros, da mesma forma como é feita para as apatitas, é possível determinar se há variação no fluxo termal na posição de irradiação. Se houver variação, haverá uma diferente densidade de traços induzidos nos detectores externos acoplados aos dosímetros e o teor de U não corresponderá ao padrão.

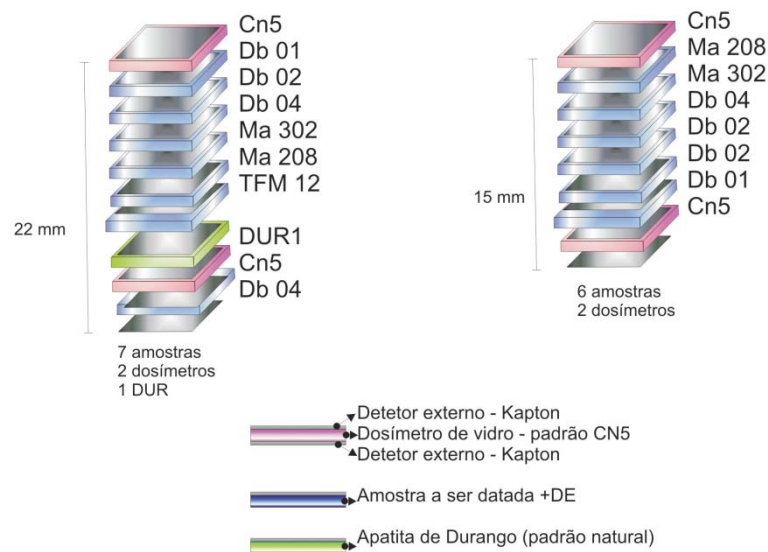


Figura 18 - Esquema da pilha de irradiação montada para a irradiação pelo método do detector externo.

5.4 CONTAGEM DOS TRAÇOS DE FISSÃO

Após o retorno das amostras, a contagem dos traços de fissão foi feita no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA, utilizando um Microscópio Axiosplan 40, com oculares com aumento de 10x e objetiva de 100x, a seco. Às lentes oculares é acoplado um retículo de $10.000\mu\text{m}^2$ para estimativa das densidades dos traços. A medição dos comprimentos dos traços confinados, assim como as dosimetrias, foi realizada nas dependências do Laboratório de Palinologia da UFRGS, sendo utilizado para isto o microscópio BX 51 Olympus.

5.5 OBTENÇÃO DAS IDADES

Os resultados analíticos obtidos pela aplicação do método traços de fissão estão apresentados na Tabela 1. As idades individuais TF foram determinadas segundo a equação de Hurford e Green (1983), com um erro de $\pm 2 \sigma$, calculando a idade média do grão a partir do número total de traços (N_f e N_i). Todas as amostras tiveram a idade calculada, utilizando o programa TRACKY de István Dunkl (2001). A distribuição das idades individuais em relação ao valor central constitui a dispersão (D), fornecida pelo programa, que permite avaliar a consistência estatística de que todas as idades individuais obtidas em uma determinada amostra pertencem a uma só população. Outra forma de avaliação da consistência dos dados é o teste do χ^2 onde se pode estimar a existência de várias populações de idades em uma mesma amostra.

Das 14 amostras coletadas, 11 mostraram quantidade suficiente de apatitas para a confecção de pastilhas. Para essas amostras, as idades de traços de fissão encontradas variaram entre 53,2 Ma e 43,6 Ma, ou seja, de idade terciária (Eoceno). A idade mínima dos grãos analisados obtida para esse grupo de amostras foi de 8,8 Ma e a máxima foi de 157,4 Ma.

Todas as amostras aqui estudadas passaram no teste de χ^2 , a dispersão das idades foi igual a zero, com exceção de uma amostra (TFMA 12), com um valor de 24%. Isso indica que, estatisticamente, as idades pertencem a uma única população de grãos, o que era esperado visto que as amostras são rochas ígneas.

Nos diagramas radiais encontram-se representadas a idade de cada grão individualmente. Neste diagrama o eixo vertical representa o erro normalizado, o eixo horizontal representa o erro experimental, expresso em porcentagem, e a idade é dada pela projeção de uma reta na escala circular passando pela origem do diagrama e pelo ponto da idade do grão.

Tabela 1 – Dados analíticos traços de fissão das amostras de Monte Alegre

n =número de cristais de apatita; ρ_e =densidade de traços fósseis na amostra; N_e = número de traços espontâneos contados na amostra; ρ_i =traços induzidos na amostra; N_i = número de traços induzidos determinados na amostra; Densidade traços induzidos no dosímetro CN5 ($\rho_{CN5} = (3,62 \pm 0,05) 10E+5$ tr/cm²; total de traços induzidos determinados no dosímetro CN5 $N_d = 3793$; valor de zeta= $354 \pm 8,5$ para M. Lidia Vignol; em itálico as idades mínima e máxima obtidas para cada amostra; L_c = média dos comprimentos dos traços confinados; s =erro associado; N_t = número de traços confinados medidos para cada amostra. Área de contagem do dosímetro = $9503,32 \mu m^2$, área de contagem elementar das amostras = $100 \mu m^2$.

<i>Amostra</i>	<i>n</i>	$\rho_e(x10E+5)$ (<i>N_e</i>)	$\rho_i(x10E+5)$ (<i>N_i</i>)	<i>Teor U</i> (%)	<i>Disp.Idade (LP(χ^2))</i> (%)	<i>Idade TF\pmsd</i> (<i>Ma</i>)	<i>L_c \pm σ (μm)</i> [<i>N_t</i>]	<i>Desvio-padrão</i> (μm)	
Db 01 A	32	5,13 (34)	1,90 (59)	1.90	0	100	47,7 \pm 3,6 [16-64]	13,3 \pm 0,38 [15]	1,50
Db 01 B	61	2,03 (79)	2,62 (102)	1.27	0	100	48,8 \pm 3,2 [10-157]	13,6 \pm 0,75 [12]	1,71
Db 01 (média)	93	2,24 (113)	3,19 (161)	1,62	00	100	45,6 \pm 2,4 [10-158]	13,3 \pm 0,38 [15]	1,5
Db 02 A	26	2,66 (29)	3,48 (38)	1.40	0	100	47,5 \pm 4,2 [17-106]	14,33 \pm 0,66 [3]	1,15
Db 02 B	10	5,66 (10)	1,80 (17)	1.80	0	99.96	43,6 \pm 5,6 [21-64]	12,2 \pm 0,98 [5]	2,19
Db 02 C	55	2,43 (59)	2,89 (70)	1.20	0	100	51,2 \pm 2,6 [13-106]	12,27 \pm 0,54 [11]	1,79
Db 02 (média)	91	2,57 (98)	3,28 (125)	1,41	00	100	48,5 \pm 2,1 [13-106]	12,57 \pm 0,43 [19]	1,9
Db 04 A	42	2,05 (55)	2,28 (88)	1.11	0	100	49,3 \pm 3,1 [11-95]	13,5 \pm 1,5 [2]	2,12
Db 04 C	119	1,75 (177)	2,35 (237)	1.00	0	100	45,5 \pm 2,0 [10-123]	13 \pm 0,44 [6]	1,09
Db 04 (média)	161	1,81 (231)	2,54 (325)	1,12	00	100	44,1 \pm 1,6 [9-123]	13,12 \pm 0,44 [8]	1,24
MA 2 08 A	15	4,00 (16)	1,56 (22)	1.56	0	100	53,2 \pm 4,1 [21-64]	14,57 \pm 0,45 [14]	1,68
MA 2 08 B	51	2,24 (65)	2,82 (82)	1.10	0	100	50,2 \pm 3,1 [10-106]	12,27 \pm 0,5 [11]	1,67
MA 2 08 (média)	66	2,34 (81)	3,01 (104)	1,28	00	100	48,9 \pm 2,6 [10-106]	13,56 \pm 0,40 [25]	2,01
MA 3 02 A	38	4,65 (50)	1,79 (80)	1.79	0	100	47,2 \pm 3,4 [16-127]	13,9 \pm 1,43 [5]	3,20
MA 3 02 B	100	1,90 (120)	2,68 (169)	1.10	0	100	45,9 \pm 2,4 [8-158]	13,33 \pm 0,88 [3]	1,52
TFMA 12	9	8,00 (22)	3,76 (64)	3.76	24	39.05	34,7 \pm 9,1 [11-95]	12,66 \pm 1,48 [3]	2,56

As amostras Db 01 A e B apresentaram boa quantidade de cristais de apatita analisados, com 32 e 61 cristais, respectivamente. A amostra Db 01 A apresentou idade de $47,7 \pm 3,6$ Ma, já a amostra Db 01 B mostrou idade de $48,8 \pm 3,2$ Ma (Figura 19).

As idades obtidas são indistinguíveis, considerando o desvio padrão, assim, foi calculada uma idade central para este conjunto de amostras com um valor de $45,6 \pm 2,4$ Ma (Figura 20). As idades individuais, mínima e máxima, para essas amostras se estabeleceram em 10 e 157 Ma, indicando uma variação das idades individuais.

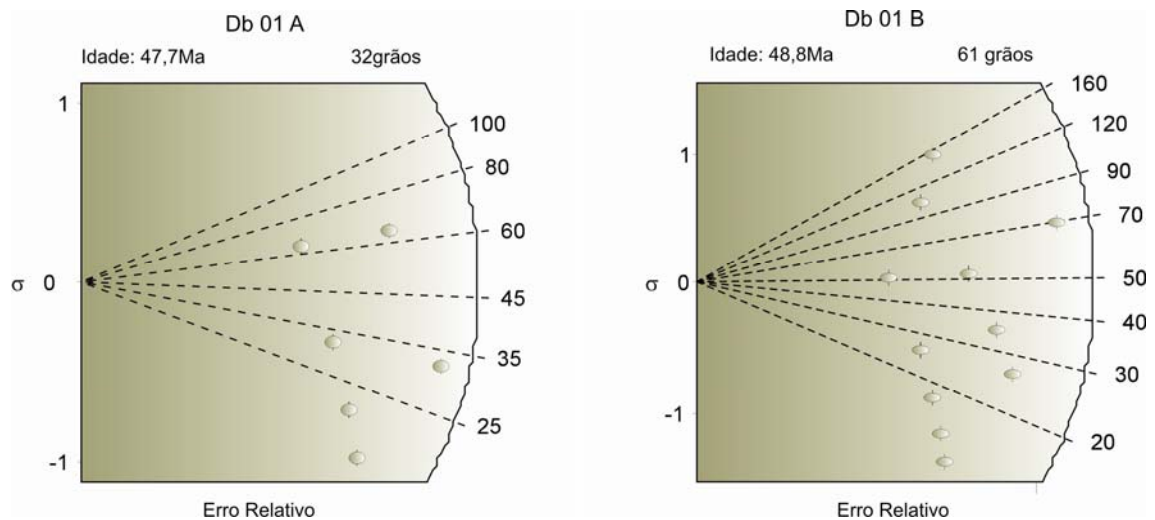


Figura 19 - Diagramas radiais das amostras Db 01 A e B.

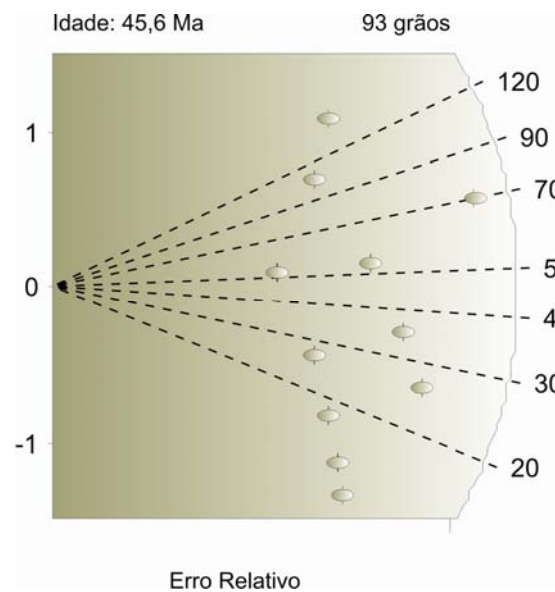


Figura 20 - Diagrama radial para a amostra Db 01.

As amostras Db 02 A, B e C forneceram variadas quantidades de cristais para a datação, com 26, 10 e 55 apatitas respectivamente. As idades calculadas foram respectivamente $47,4 \pm 4,2$ Ma; $43,6 \pm 5,6$ e $51,2 \pm 2,6$ Ma (Figura 21).

A idade central calculada para as três amostras é de $48,5 \pm 2,1$ Ma (Figura 22), e as idades mínimas e máximas dos grãos individuais são de 13 Ma e 105 Ma, respectivamente. Esses resultados são muito similares àqueles obtidos para a amostra Db01.

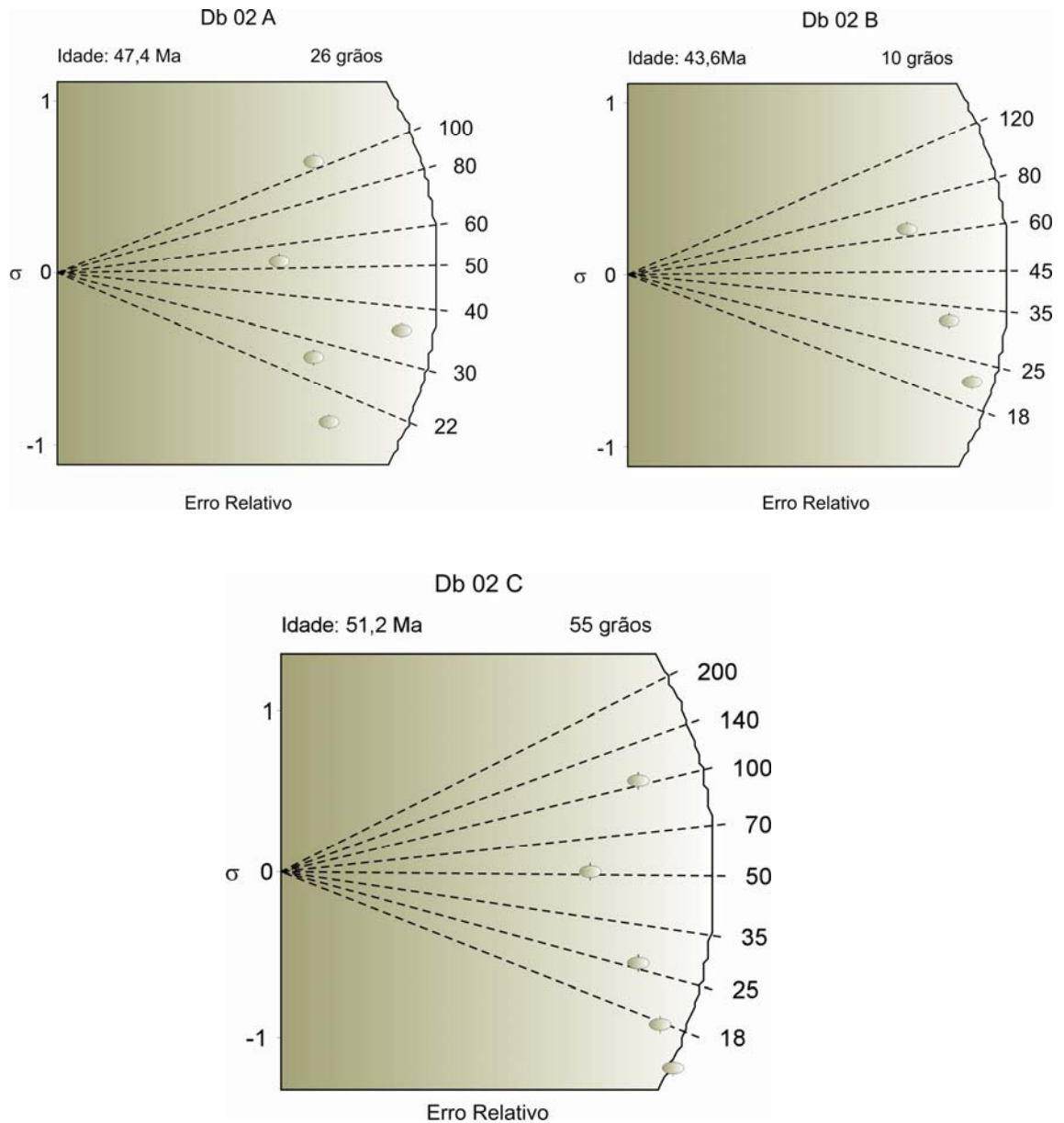


Figura 21- Diagramas radiais das amostras Db 02 A,B e C.

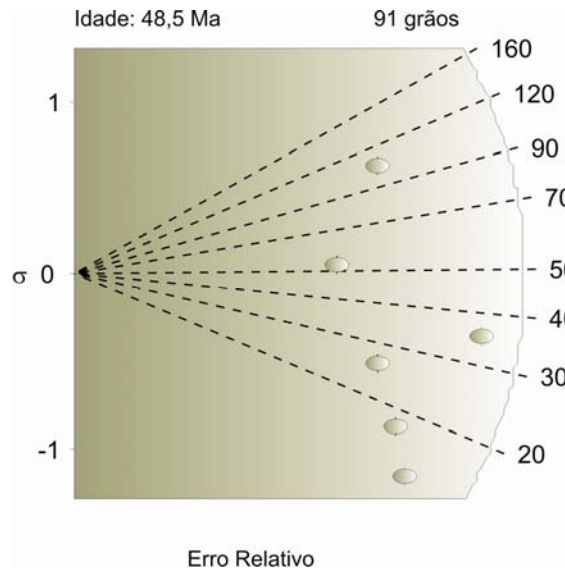


Figura 22 - Diagrama radial para o conjunto de amostras Db 02.

As amostras Db 04 A e C mostraram boa quantidade de cristais analisados perfazendo 42 e 119 cristais respectivamente. A amostra Db 04 A apresentou idade de $49,2 \pm 3,1$ Ma e a amostra Db 04 C idade de $45,5 \pm 2$ Ma (Figura 23). A idade central obtida a partir dessas duas amostras se estabeleceu em $44,1 \pm 1,6$ Ma (Figura 24), com idade mínima de 10 Ma e máxima de 123 Ma.

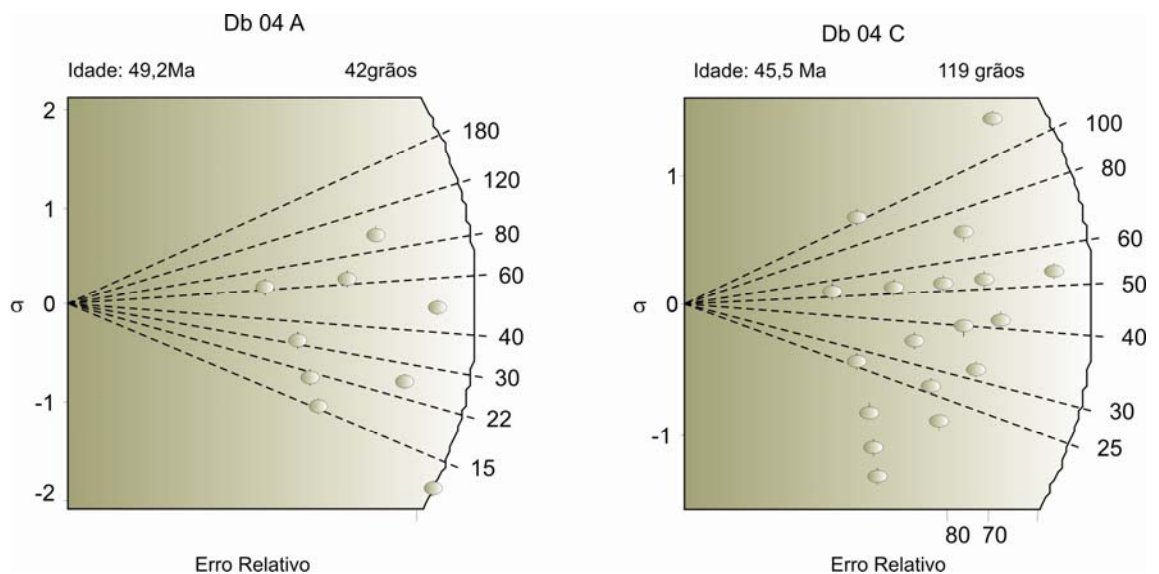


Figura 23 - Diagramas radiais das amostras Db 04 A e C.

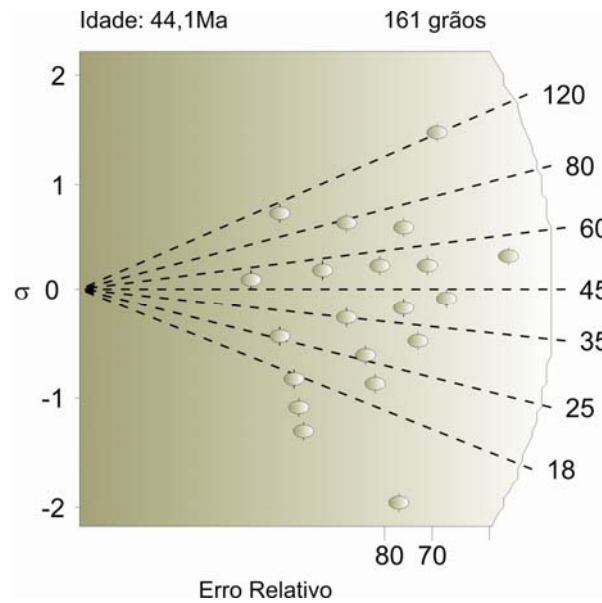


Figura 24 - Diagrama radial com idade média para o conjunto de amostras Db 04.

As amostras MA 208 A e B forneceram, respectivamente, 15 e 51 cristais de apatitas para a datação. As idades fornecidas para estas amostras foram de $53,2 \pm 4,1$ Ma; para a amostra A e $50,2 \pm 3,1$ Ma para a amostra B (Figura 25). A idade central calculada para as duas amostras foi de $48,9 \pm 2,6$ Ma (Figura 26), com idades mínimas de 10 Ma e máxima de 105 Ma.

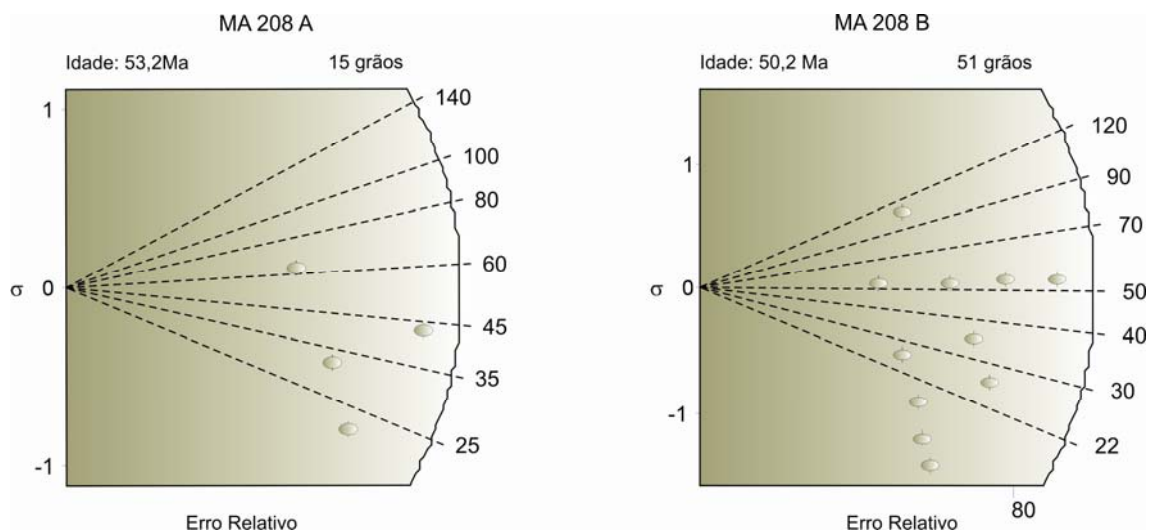


Figura 25 - Diagramas radiais das amostras MA 208 A e B.

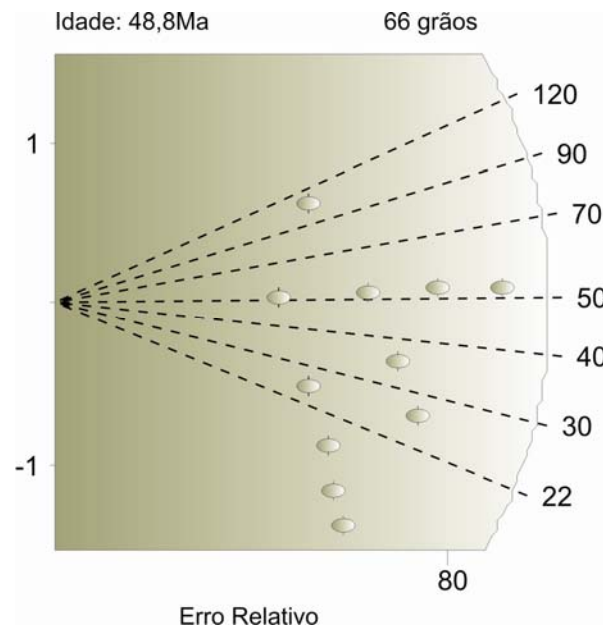


Figura 26 - Diagrama radial para o conjunto de amostras MA 208.

As amostras MA 302 A e B com 38 e 100 cristais, respectivamente, forneceram idades de $47,1 \pm 3,4$ e $45,9 \pm 2,4$ Ma (Figura 27). A média das idades de todos os grãos individuais (idade central) para as duas amostras é de $44,1 \pm 1,9$ (Figura 28), indicando a mesma idade TFA aparente que a amostra Db 04. A idade mínima se estabeleceu em 9 Ma e a idade máxima em 157 Ma. Mais uma vez a idade de maior frequência entre os grãos individuais foi de 53 Ma.

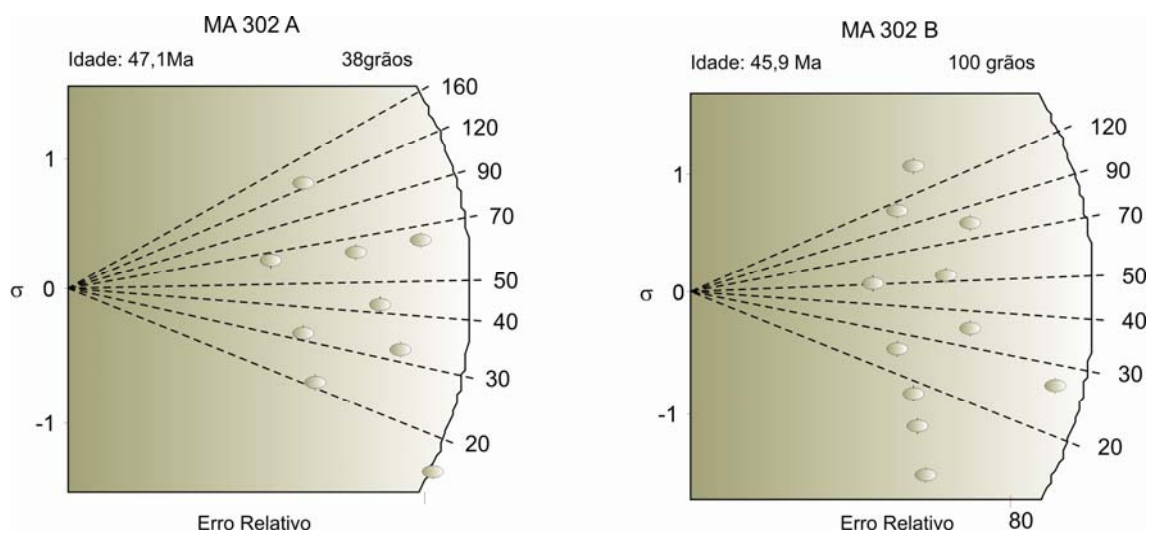


Figura 27 - Diagramas radiais das amostras MA 302 A e B.

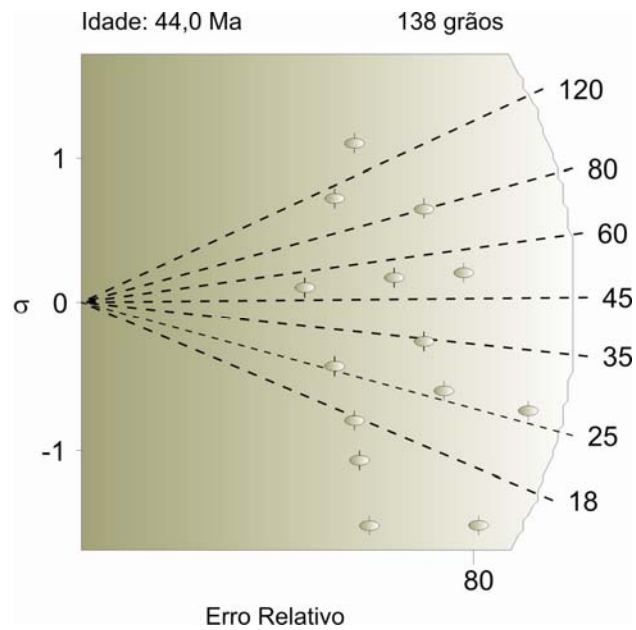


Figura 28 - Diagrama radial para o conjunto de amostras MA 3 02.

A amostra TFMA 12 apresentou apenas nove cristais de apatita, mostrando um comportamento diferenciado em relação às demais amostras. Observa-se que essa amostra não está situada no interior do Domo de Monte Alegre, como as demais. A idade obtida foi de $34,6 \pm 9,1$ Ma, os valores de dispersão e do teste de χ^2 foram respectivamente de 24% e 39.05 % (Figura 29). A idade mais jovem encontrada para essa amostra foi de 11 Ma e a mais antiga de 95 Ma.

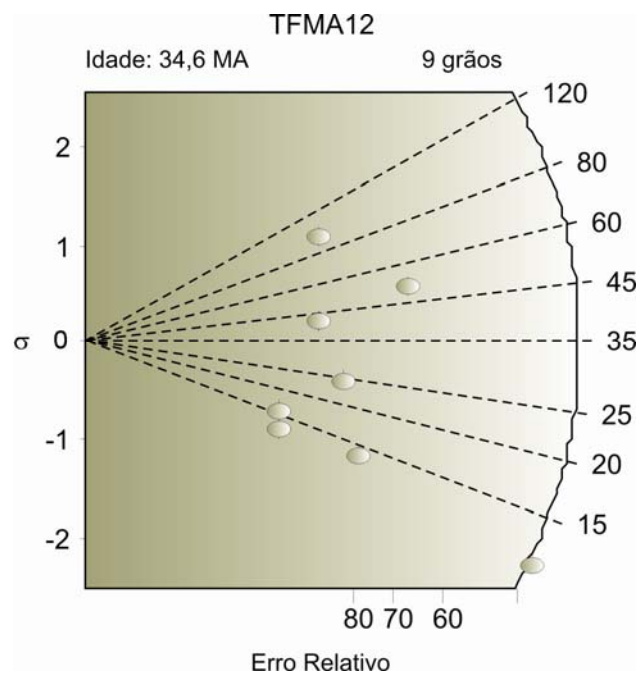


Figura 29 - Diagrama radial da amostra TFMA 12.

6 MODELAGEM DAS HISTÓRIAS TÉRMICAS

Para a modelagem das histórias térmicas foi utilizado o programa Monte Trax que gera de forma randômica histórias térmicas cujas ordenadas estão incluídas em Caixas de $t \times T^{\circ}\text{C}$ em uma simulação Monte Carlo previamente definidas. Para cada história térmica gerada, o programa calcula o histograma de comprimento que é comparado com o histograma experimental e a idade aparente experimental. Se, através do teste de χ^2 , o histograma teórico for compatível com o histograma experimental, a história térmica é guardada, caso contrário é descartada.

Rochas ígneas quando são datadas pelo método de traços de fissão, geralmente apresentam uma só população de idades, que representam, então, o registro dos últimos eventos tectônicos abaixo de 120°C ocorridos na região e também no qual elas passaram pela temperatura de *annealing*. A bacia sedimentar na qual estas rochas estão intrudidas sofreu um aquecimento que atingiu a temperatura de *annealing* que apagou os traços herdados anteriormente formados no momento de formação dessas rochas ou de eventos que a teriam atingido anteriormente a este registrado.

Com isso foram modeladas histórias térmicas para as amostras Db 01, Db 02, Db 04, MA 2 08, MA 3 02 e TFMA 12. As caixas de Monte Carlo foram definidas com base em critérios geológicos da área de estudo, sendo utilizadas 4 caixas.

A primeira caixa foi definida no intervalo de 140-100 Ma, baseando-se na idade do magmatismo penatecaua para a região, em torno de 130 Ma. Verificou-se pelas tentativas, que a história térmica possuía tendência de iniciar-se em temperaturas mais elevadas com isso a temperatura utilizada para a primeira caixa foi de 140-110 $^{\circ}\text{C}$.

A segunda caixa foi definida no intervalo de 100-60 Ma, período de deposição da formação Alter do Chão de idade cretáceo-terciária, provável época em que não houve aquecimento na bacia. A temperatura foi estabelecida entre 110-80 $^{\circ}\text{C}$.

A terceira caixa foi definida no intervalo de 60-20 Ma, para verificar a influência de um tectonismo terciário ocorrido na região. A temperatura estabelecida foi de 80-40 $^{\circ}\text{C}$.

A quarta caixa foi centrada em vistas de evidências de processos neotectônicos na bacia.

Na Tabela 2 estão resumidos os intervalos das Caixas de Monte Carlo de cada intervalo de cada amostra.

Tabela 2 – Caixas de Monte Carlo utilizadas para modelagem com seus respectivos intervalos de tempo e temperatura.

<i>Caixas de Monte Carlo</i>	<i>Intervalo de tempo (MA)</i>	<i>Intervalo de Temp. (°C)</i>
1° caixa	140-100	140-110
2° caixa	100-60	110-80
3° caixa	60-20	80-40
4° caixa	20-0	40-30

6.1 MODELAMENTOS TÉRMICOS OBTIDOS PELO ALGORITMO GENÉTICO MONTE TRAX E GALLAGHER

Após a simulação das diferentes histórias térmicas das amostras a partir de dados traços de fissão (idades aparentes e comprimentos de traços confinados) e de dados geológicos da região (geofísicos, geocronológicos, estruturais e estratigráficos), observa-se que para todas as amostras, as histórias térmicas iniciam em 140 Ma.

Devido as semelhanças de comportamento das histórias térmicas os resultados das simulações serão apresentados em 3 grupos: o primeiro grupo constituído pelas amostras ,Db 01, Db 02 e Ma 302, o segundo grupo pelas amostras Db 04 e MA 208 e por fim a amostra TFMA 12.

Grupo 1

Todas as amostras começaram a registrar os traços de fissão em 140 Ma. As amostras Db 02 e MA 3 02 partem de temperaturas em torno de 129 °C - 140°C até atingir 118°C - 126°C em 108-109 Ma. A taxa aparente de resfriamento (TAR) é de 0,42°C/Ma. De 108-109 Ma até 45-52 Ma a temperatura diminui aos 100°C com uma TAR 0,37°C/Ma, quando então há uma aceleração do resfriamento que passa a ser de 1,38°C/Ma.

A amostra Db 01 tem um comportamento levemente diferenciado. Seu resfriamento parte de 135°C há 140 Ma para perdurar até 73 Ma com uma taxa aparente de resfriamento de 0,22°C/Ma quando atinge uma temperatura de 120°C. De 73 Ma até 48 Ma e em seguida até o tempo presente as taxas aparentes de resfriamento são de 0,96°C/Ma e 1,33°C/Ma, respectivamente. Observa-se que as histórias finais de resfriamento das três amostras são semelhantes bem como as taxas de resfriamento (Figura 30).

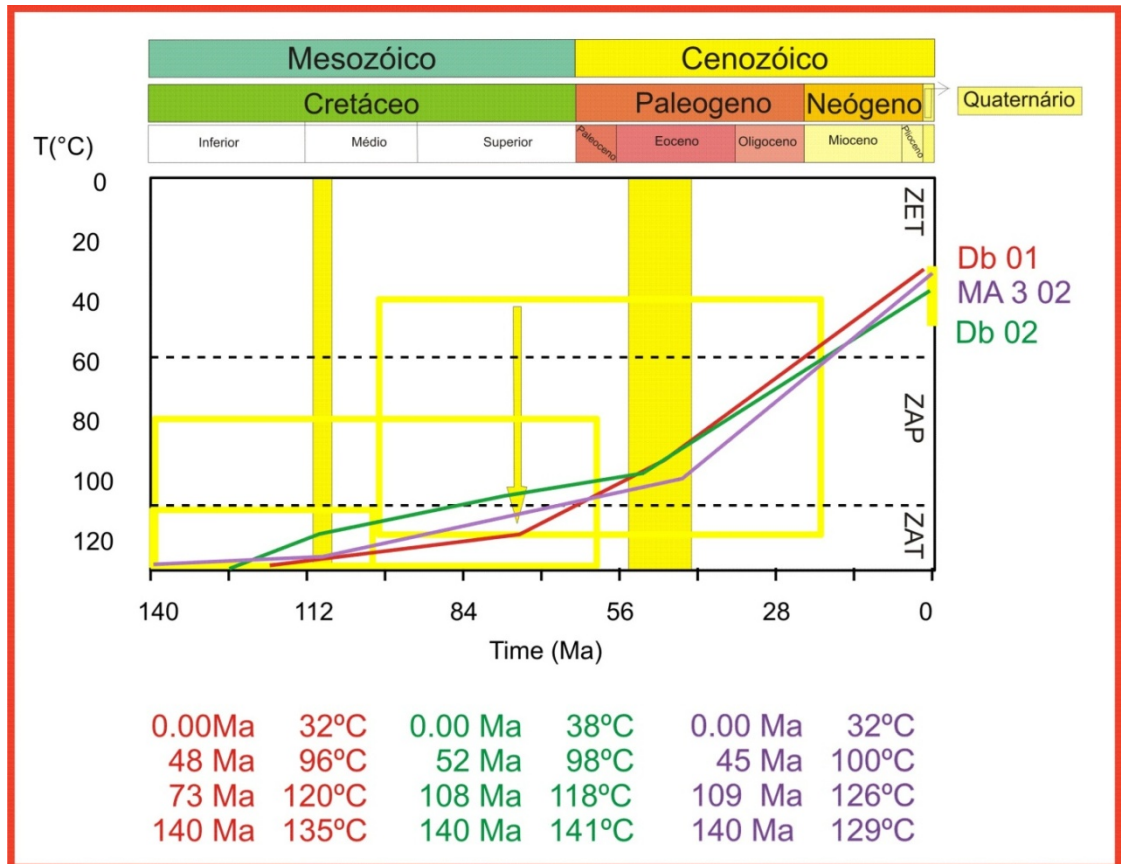


Figura 30 - História térmica para as amostras do grupo 1. O diagrama apresenta em um espaço tempo-temperatura as rotas de resfriamento para as amostras Db 01, 02 e MA 302 situadas ao norte do Domo de Monte Alegre. As zonas rachuradas em amarelo e a seta indicam as mudanças no regime de resfriamento das amostras. Simulação feita para fluorapatitas segundo o modelo de Laslett e tendo como padrão geológico a amostra de Durango.

Grupo 2

Essas amostras iniciaram o registro dos traços de fissão há 140 Ma com uma temperatura em torno de 128-129°C, de forma lenta e linear até atingir uma idade de 63 Ma quando então sofrem um rápido resfriamento passando de 129°C para temperaturas em torno de 82-86°C. Com efeito, a taxa aparente de resfriamento passa de 0,10°C/Ma à um valor de 2,69°C/Ma. Em 47-52 Ma, as amostras sofrem um novo resfriamento, mais lento, em torno de 0,8-1,08°C/Ma(Figura 31) .

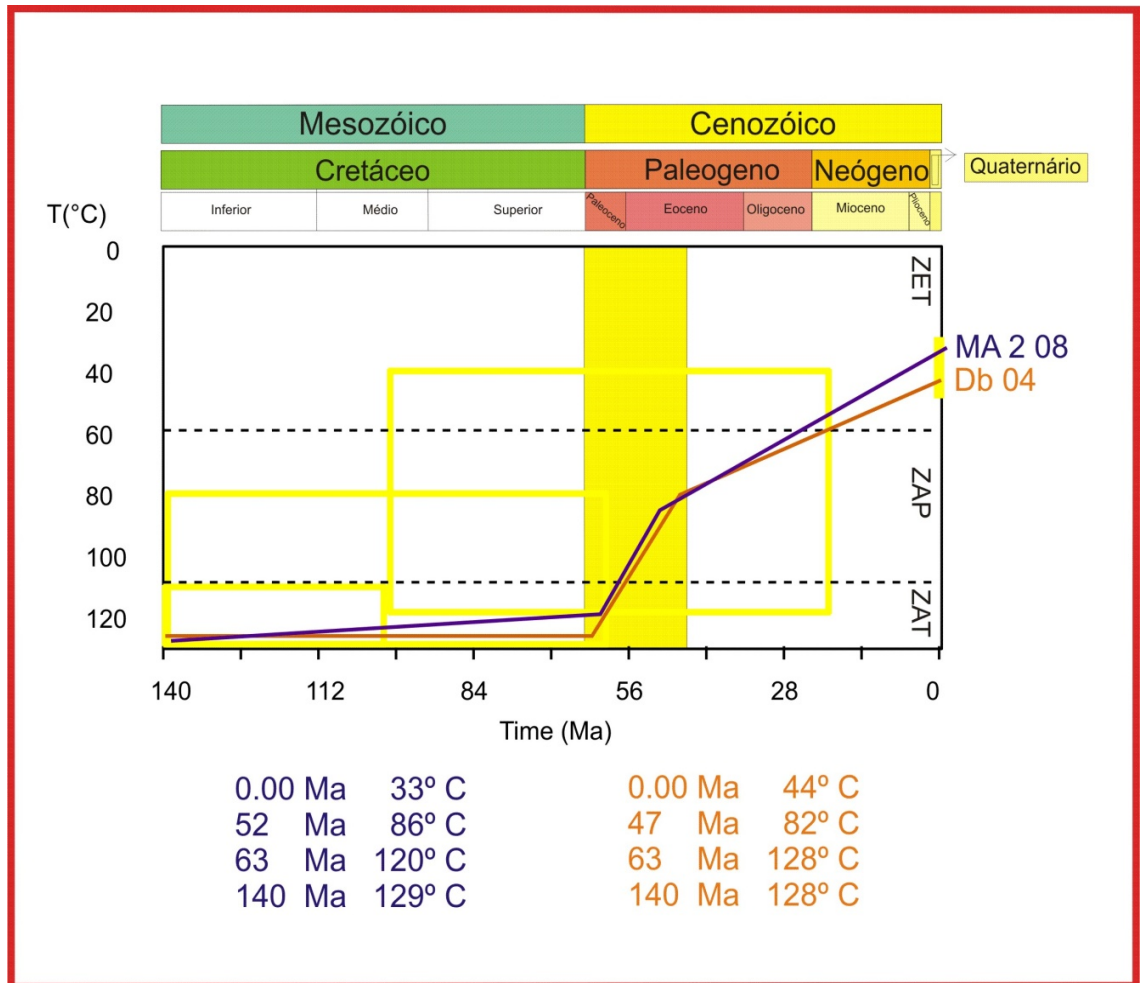


Figura 31 - História térmica para as amostras do grupo 2. O diagrama apresenta em um espaço tempo-temperatura as rotas de resfriamento para as amostras Db 04 e MA 208 situadas a oeste do Domo de Monte Alegre. A zona em amarelo indica a época das mudanças no regime de resfriamento das amostras. Simulação feita para fluorapatitas segundo o modelo de Laslett e tendo como padrão geológico a amostra de Durango.

Amostra TFMA12

O início da história térmica desta amostra se deu há 140 Ma e uma paleotemperatura de 135°C. A amostra sofreu um resfriamento em 104 Ma e passa pela isoterma de 116°C (figura 32). O resfriamento é lento e linear até 23 Ma e 96°C quando então um evento de resfriamento mais intenso expõe as rochas em níveis crustais mais rasos até a superfície, atingindo uma temperatura de 31°C. O primeiro episódio de resfriamento tem uma taxa aparente de 0,52°C/Ma, e, em seguida, passa a ter uma taxa ainda menor de 0,24 C/Ma. O segundo episódio corresponde à uma aceleração do resfriamento com 2,82 C/Ma.

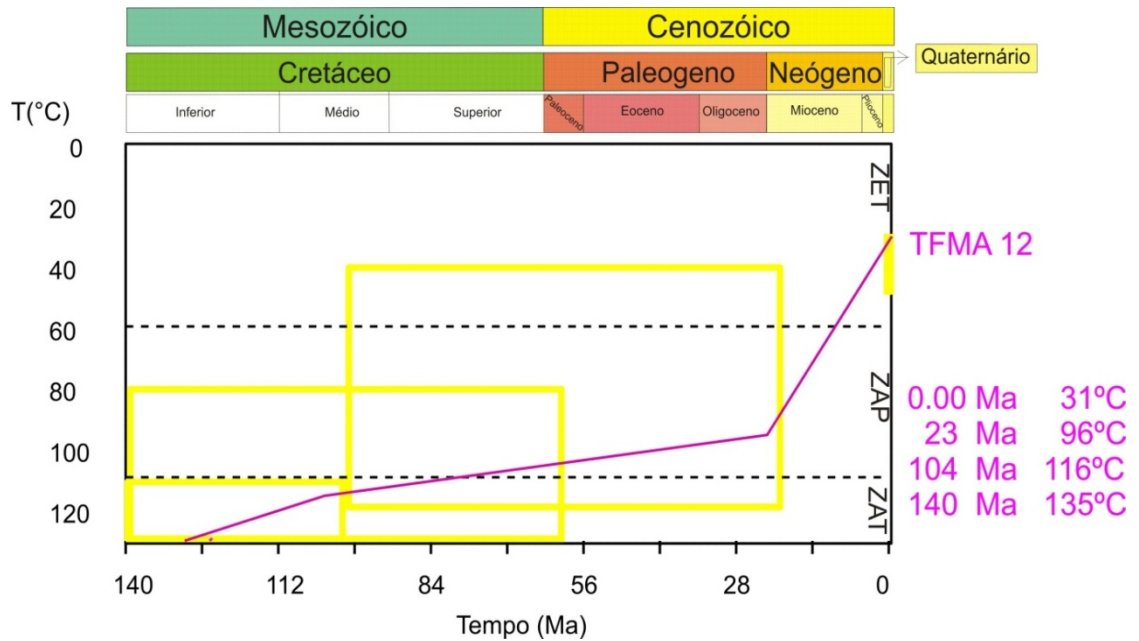


Figura 32 - Histograma térmico para a amostra TFMA 12.

Na Figura 33 os modelamentos foram sobrepostos para comparação da evolução térmica das amostras analisadas. A tabela 3 apresenta as diferentes taxas aparentes de resfriamento para todas as amostras.

O início das histórias térmicas das amostras inicia-se há 140 Ma, com a passagem pela isoterma de $110^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$. Um primeiro evento de resfriamento dos diques de diabásio, provavelmente associado a reajustes tectônicos de falhas na área de estudo ocorrem há 63 Ma para amostras situadas a oeste do domo e há 108-109 Ma para as amostras do setor norte do domo. Um segundo evento de resfriamento situa-se entre 45 Ma e 52 Ma para todas as amostras estudadas. A amostra TFMA situada em uma área distante do Domo de Monte Alegre registra esse evento há 104 Ma e o segundo evento há 23 Ma.

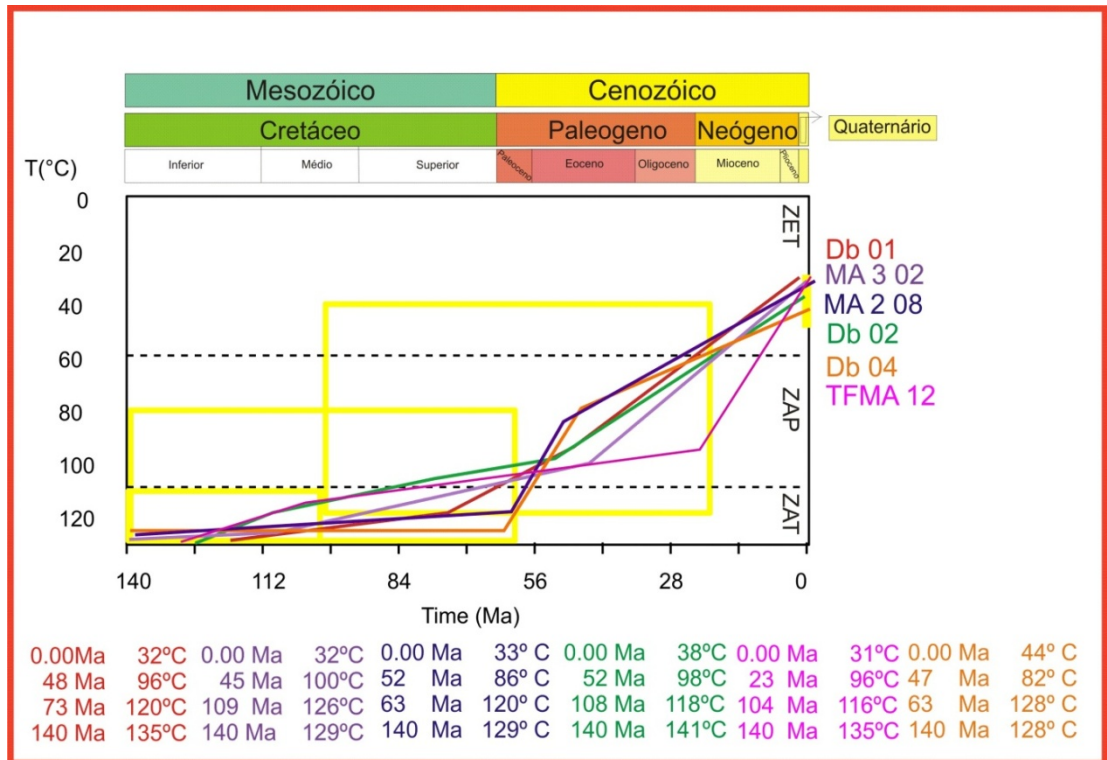


Figura 33 - Histograma térmico para todas as amostras analisadas.

7 ANÁLISE DOS COMPRIMENTOS DOS TRAÇOS DE FISSÃO

Quanto maior o número de traços confinados medidos, mais robusta é a estatística para a análise das histórias térmicas das amostras estudadas. Idealmente, mede-se 100 traços confinados, quando possível. Nesse trabalho foram medidos poucos traços confinados devido ao baixo teor de urânio das amostras, em torno de 1 a 2%. Os traços confinados medidos para as amostras variaram de 3 (amostra TFMA12) a 27 (amostra Db 01). As médias dos comprimentos dos traços confinados (L_c) para todas as amostras são compreendidas entre $12,27 \mu\text{m}$ e $14,57 \mu\text{m}$.

A amostra Db01 apresenta uma média do comprimento de traços confinados (L_c) de $13,3 \mu\text{m}$ e um desvio-padrão de $1,5 \mu\text{m}$ (Figura 34). A distribuição unimodal e assimétrica, com traços confinados inferiores a $10 \mu\text{m}$, indica que a amostra teve um resfriamento lento e linear.

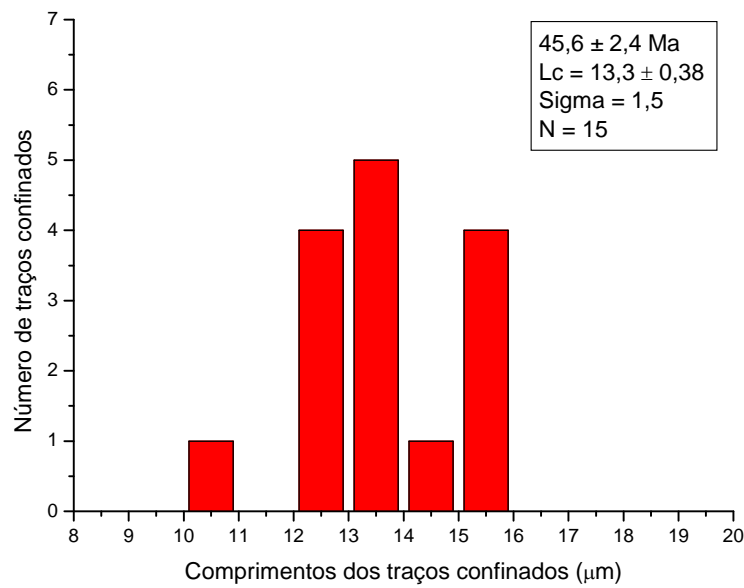


Figura 34 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra Db 01.

A amostra Db 02 apresenta uma distribuição de traços confinados bastante similar à amostra Db 01, assimétrica e unimodal porém com uma média L_c um pouco inferior, $12,57 \mu\text{m}$ e um desvio-padrão de $1,9 \mu\text{m}$ (Figura 35). A amostra também apresenta traços com comprimento inferiores a $10 \mu\text{m}$. Esses valores indicam uma permanência na base da zona de

retenção parcial dos traços (ZAP) durante um período de tempo maior que a amostra precedente.

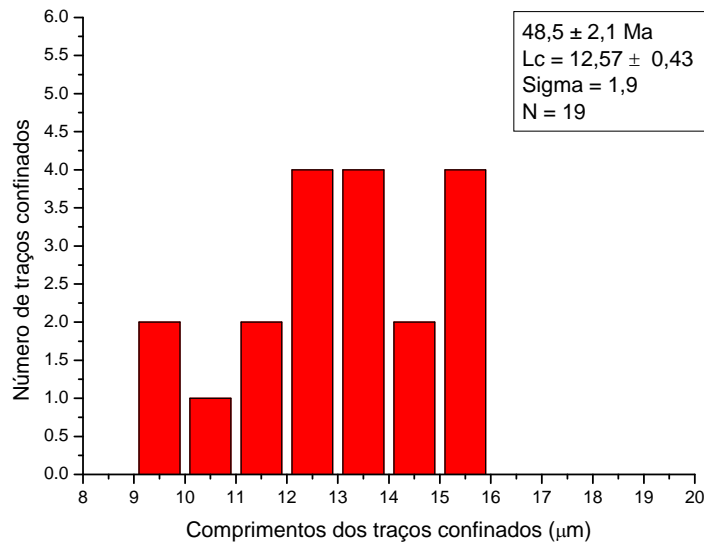


Figura 35 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra Db 02.

Para a amostra MA 302 a média L_c se estabeleceu em $13,68 \mu\text{m}$ e o desvio-padrão em $2,57 \mu\text{m}$ (Figura 36). O número de traços confinados é muito reduzido, todavia observa-se que a distribuição é similar àquelas das amostras precedentes.

Os comprimentos dos traços confinados L_c das amostras Db 04 e MA 208 são de $13,12$ e $13,56 \mu\text{m}$ com desvios-padrão de $1,24$ e $2,00 \mu\text{m}$, respectivamente (Figuras 37 e 38). Apesar do reduzido número de traços confinados medidos, observa-se uma tendência de distribuição bimodal para a amostra MA 208. Essa distribuição indica que a amostra residiu um tempo bastante prolongado próximo a base da zona de estabilidade parcial dos traços (ZAP) para posteriormente sofrer um novo resfriamento mais rápido. Observa-se também o comportamento dessas duas amostras é diferente daquele das amostras Db 01, 02 e MA 302.

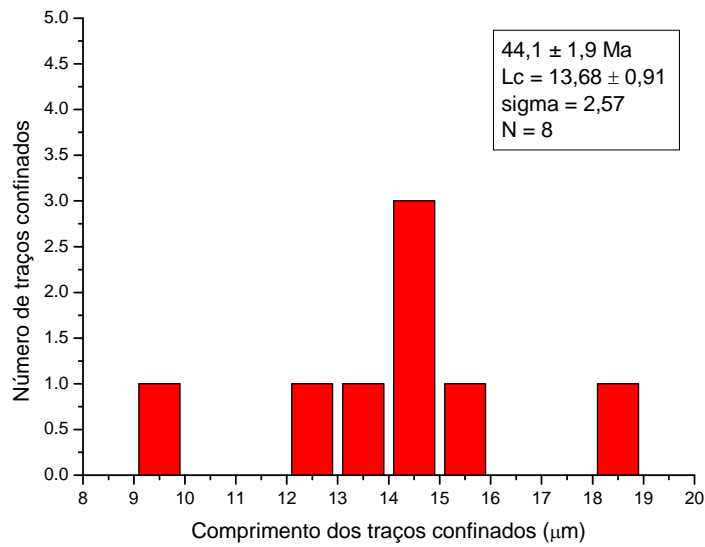


Figura 36 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra Ma 3 02.

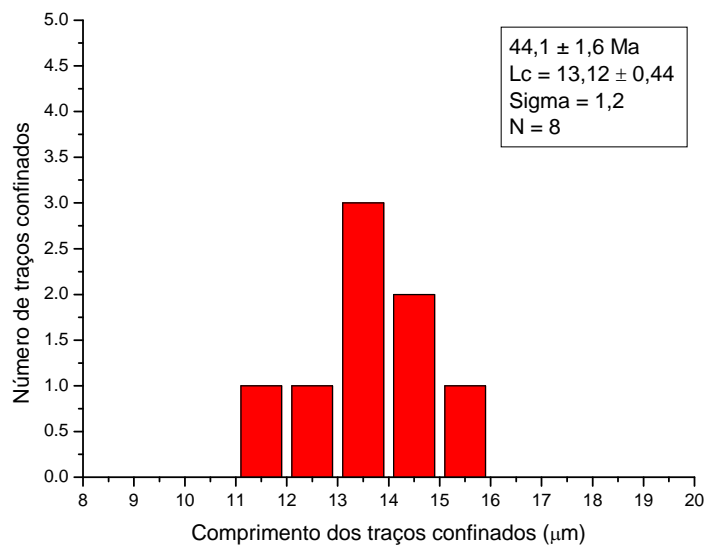


Figura 37 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra Db 04.

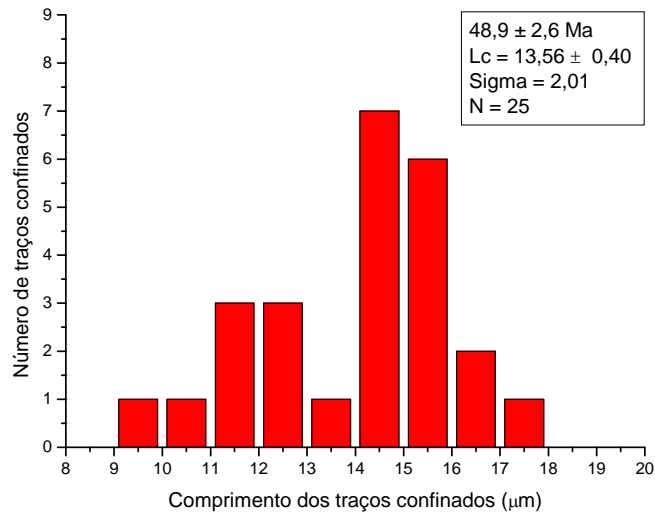


Figura 38 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra Ma 2 08.

A amostra TFMA 12 forneceu uma média dos comprimentos de traços confinados L_c de $12,66 \mu\text{m}$ e um desvio-padrão de $2,56 \mu\text{m}$ (Figura 39). Essa amostra, coletada em uma área externa ao Domo de Monte Alegre, apresentou uma idade TFA aparente, comprimentos de traços mais curtos, e uma história térmica diferente das demais amostras. Como o número de traços é muito reduzido, não se pode fazer uma avaliação da distribuição dos mesmos.

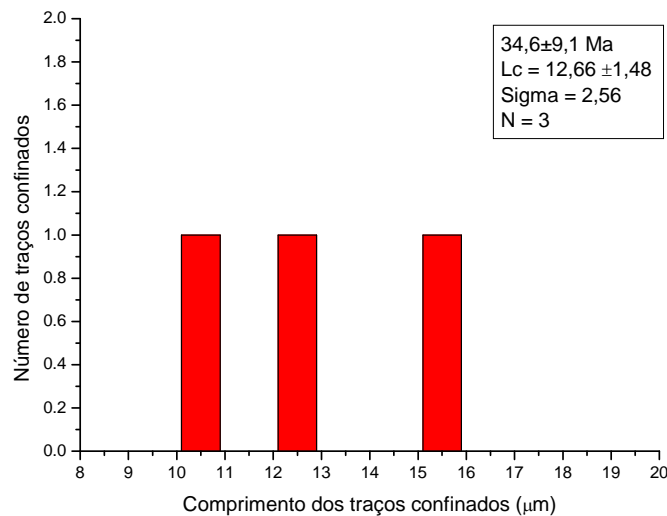


Figura 39 - Histograma de comprimentos dos traços confinados da amostra TFMA 12.

A Figura 40 apresenta os pontos de amostragem com as respectivas idades aparentes TFA e agrupadas, bem como a distribuição do comprimento dos traços confinados para as mesmas.

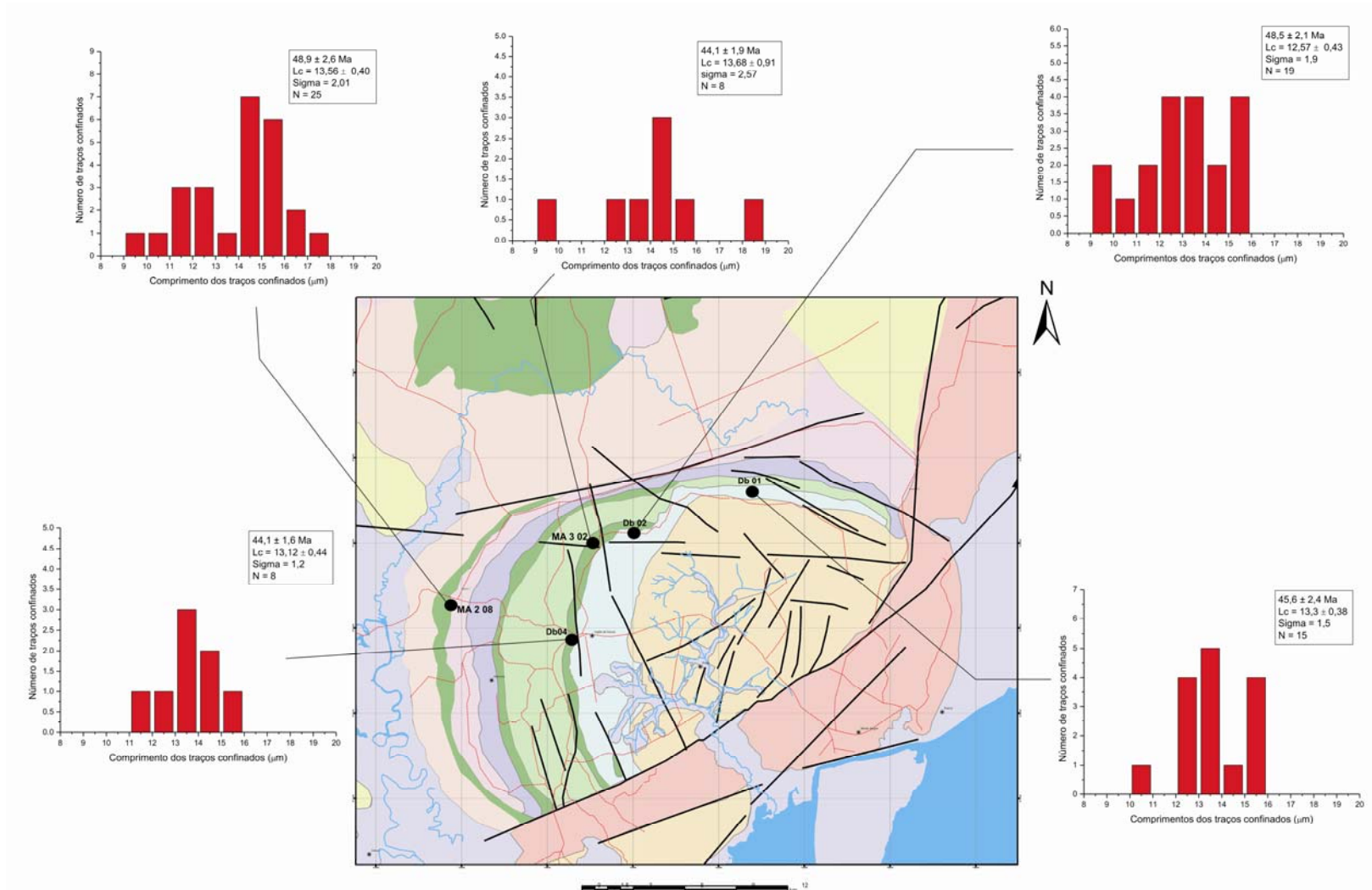


Figura 40 - Mapa geológico com distribuição das idades traços de fissão obtidas e comprimento dos traços confinados.

8 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

São reconhecidos dois eventos de magmatismo máfico mesozóico no Brasil e que estão associados à formação do oceano atlântico como consequência da separação dos continentes americano e africano. O primeiro evento datado de 200 Ma está associado a formação do Oceano Atlântico Norte e, na América do sul está bem registrado nas Guianas (Deckart *et al*, 2005). O segundo evento de aproximadamente 130 Ma está, principalmente, registrado na porção sul da América do Sul representado por rochas basálticas da Bacia do Paraná (Milani *et al*, 2007). Adicionalmente, esses dois eventos são identificados na Bacia do Parnaíba que registra desta forma, tanto a formação do oceano Atlântico Norte quanto o Atlântico Sul (Baksi & Archibald, 1997).

Estudos na Bacia do Amazonas sugerem que o magmatismo da região data do Jurássico (~200 Ma) podendo, portanto, estar associado ao evento de abertura do Atlântico Norte (Cunha *et al*, 2007). Logo, as idades aparentes médias traços de fissão, obtidas nesse trabalho, 53,2 a 43,6 Ma, não representam as idades de colocação dos corpos magmáticos estudados, mas sim a passagem pela isoterma de 110°C, temperatura máxima de registro dos eventos tectônicos em fluorapatitas.

A idade mínima obtida para os grãos analisados foi de 8,8 Ma e a máxima foi de 157,4 Ma. Com efeito, as idades mais antigas aqui determinadas são em torno de 160 Ma registradas nas amostras DB01 e MA302. Considerando que a idade sugerida para o magmatismo máfico responsável pela colocação de diques e soleiras de diabásio nas rochas paleozóicas da Bacia do Amazonas é de, aproximadamente, 200 Ma e que as idades aqui obtidas não representem esse magmatismo; acredita-se que essas idades aparentes médias representem o registro de importantes eventos tectônicos do Terciário (Eoceno), que alçaram para níveis crustais mais rasos estes diabásios e suas rochas encaixantes.

Embora as médias dos comprimentos de traços confinados das amostras sejam relativamente grandes (12,3-14,6 μm), foi verificado que há uma ampla dispersão nas distribuições desses comprimentos de traços apresentando valores de desvio-padrão variando de 1,2-2,6 μm . A presença de distribuição de traços confinados bimodais ou multimodais em algumas apatitas estudadas indica a existência de diversos eventos de resfriamento ao longo de sua história.

As histórias térmicas obtidas após a modelagem dos dados traços de fissão em apatita permitiram a individualização de quatro eventos térmicos para as amostras de diabásio aqui estudadas.

Um primeiro evento de resfriamento foi registrado para todas as amostras a partir de 140 Ma. O fato de haver dispersão na distribuição dos comprimentos dos traços confinados significa que o evento de 140 Ma não corresponde à idade do magmatismo, caso representasse haveria uma distribuição com desvio-padrão muito reduzido, em torno de 0,5-1 μm , a distribuição seria unimodal e os comprimentos de traços confinados entre 15-16 μm .

O segundo evento térmico de resfriamento é observado há 110-100 Ma nas amostras MA 3 02, Db02 e TFMA12, quando elas atingem uma temperatura em torno de 110°C. Este evento estaria associado a esforços regionais relacionados ao processo de abertura do Atlântico Equatorial, evento bem documentado na placa sulamericana e posicionado numa idade média de 110 Ma (Campos e Teixeira, 1988).

O terceiro evento térmico está presente em todas as amostras modeladas, exceto na TFMA12, e inicia em torno de 55-45 Ma. Este evento associa-se ao tectonismo terciário (Eoceno) registrado em toda região da Bacia do Amazonas (Andrade e Cunha, 1971; Cunha, 1982; Miranda, 1984; Carneiro e Jucá, 1985; Teixeira, 1988; Wanderley Filho *et al*, 1988; Travassos e Barbosa Filho, 1990; Wanderley Filho, 1991).

Um quarto evento foi identificado igualmente em todas as amostras e registra os movimentos tectônicos ocorridos após 30 Ma, estando, portanto, associados a eventos neotectônicos (Andrade e Cunha, 1971; Cunha, 1982; Miranda, 1984; Carneiro e Jucá, 1985; Teixeira, 1988 entre outros).

O modelamento dos dados de traços de fissão permitiu identificar três comportamentos de resfriamento distintos para as amostras. Um primeiro tipo de comportamento representado pelas amostras DB01, DB02 e MA302, apresenta média das taxas de resfriamento aparentes em torno de 0,34°C/Ma, entre os eventos de 140 Ma e o evento de 110-100 Ma. Posteriormente elas apresentam uma taxa de 0,57°C/Ma entre os eventos de 100 -55 Ma, passando a uma taxa de 1,33° C/Ma a partir de 55-45Ma.

O segundo comportamento está representado pelas amostras DB04 e MA208 que exibem um resfriamento entre 140-60 Ma com uma taxa aparente de 0,10°C/Ma. Após 60 Ma a taxa cresce para 2,69°C/Ma, registrando uma aceleração no processo de resfriamento. A partir de 52-47 Ma, as amostras sofrem um novo resfriamento, porém mais lento, em torno de 0,8-1,08°C/Ma.

A análise da distribuição dos traços confinados da amostra MA 208 ilustra esse comportamento diferenciado nas taxas de resfriamento. O histograma da distribuição de traços confinados é bimodal, indicando uma população de traços confinados com L_c médio em torno de 11 μm , e outra população com L_c de 14 μm . Os traços mais curtos estão

associados ao primeiro episódio de resfriamento, lento e regular, já os mais longos estão associados ao terceiro e mais rápido episódio de resfriamento.

Finalmente um terceiro tipo de comportamento é apresentado pela amostra TFMA 12, situada fora do Domo de Monte Alegre. A história térmica dessa amostra inicia, igualmente, há 140 Ma com uma paleotemperatura de 135°C, quando então passa por um primeiro episódio de resfriamento com uma taxa aparente de 0,52°C/Ma até 104 Ma. No intervalo entre 104 e 23 Ma a taxa aparente de resfriamento é ainda menor com valor de 0,24°C/Ma. De 23 Ma até o presente há um aumento do resfriamento, (taxa aparente de 2,82°C/Ma) expondo as rochas de níveis crustais mais rasos até a superfície.

Considerando as taxas aparentes de resfriamento acima descritas e um paleogradiante geotérmico médio de 30°C/km, pode-se estimar que as seções aparentes removidas foram de 3,35km, 3km e 3,20km respectivamente para os três diferentes tipos de comportamentos de resfriamento acima descritos. As diferenças nas histórias térmicas obtidas para as amostras aqui analisadas, ilustradas pelas taxas de resfriamento e estimativas de seções removidas, podem estar associadas a reativações de falhas em diferentes momentos da história da região, que afetaram as rochas da estrutura dômica de Monte Alegre e suas adjacências.

A formação da estrutura dômica de Monte Alegre tem sido atribuída à intrusão lacolítica de diabásios, que promoveu soerguimentos das rochas paleozóicas sobrepostas (Caputo *et al*, 1972).

Travassos e Barbosa Filho (1990) reconheceram a feição do Domo de Monte Alegre como uma estrutura local multifásica estabelecida na Plataforma de Alenquer, que posteriormente a sua formação, sofreu perturbação em função da tectônica terciária que atingiu a Bacia do Amazonas em toda sua extensão.

Esta tectônica terciária, também chamada de Diastrofismo Xingu (Cunha, 1982), está presente em toda a Bacia do Amazonas e tem sido mencionada por diversos autores que estudaram esta bacia nas últimas três décadas (Andrade e Cunha, 1971; Cunha, 1982; Miranda, 1984; Carneiro e Jucá, 1985; Teixeira, 1988; Wanderley Filho *et al*, 1988; Travassos e Barbosa Filho, 1990; Wanderley Filho, 1991). Cunha (1982) sugeriu como evidencia dessa tectônica a existência de um padrão retangular de drenagem em rochas terciárias. Por sua vez, Rezende e Brito (1973) atribuíram um controle da drenagem por estruturas do embasamento reativadas no terciário.

A origem deste tectonismo terciário foi atribuída a uma roto-translação do escudo das Guianas em relação ao escudo Brasileiro (Campos e Teixeira, 1988). Este mecanismo teria ligação com o processo transformante dextral, onde interagiram as placas Sulamericana,

Caribeana e Nazca, reativando antigas zonas de fraturas (Figura 41). A interação entre estas três placas tectônicas teria atingido principalmente os Andes Venezuelano, onde durante a orogenia Caribeana (Cretáceo Superior a Eoceno Inferior) ocorreu a colocação de terrenos alóctones contemporâneos à cordilheira central da Colômbia (Aleman e Ramos, 2000).

Na área do Domo de Monte Alegre esta tectônica tem sido identificada com base, principalmente, na presença de falhas que colocaram sucessões paleozóicas lado a lado com rochas meso-cenozóicas (Torres, 1998). Estas falhas (p. ex. falha do Ererê) truncam a Formação Alter do Chão de idade cretáceo-terciária, além de colocá-la em contato com rochas devonianas da Formação Ererê.

Almeida e Pinheiro (2007) desenvolveram análise estrutural no Domo de Monte Alegre e identificaram diferentes domínios de basculamento limitados por falhas N-S, NW-SE e NE-SW, formando uma estrutura braquiantiforme, que parece representar uma dobra de interferência regional, forçada e posteriormente cortada por falhas terciárias. Segundo estes autores essas falhas terciárias seriam o fator principal na estruturação do Domo de Monte Alegre. Consideram, ainda, que a contribuição das intrusões magmáticas mesozóicas na formação dessa estrutura dômica foi secundária comparada a tectônica terciária.

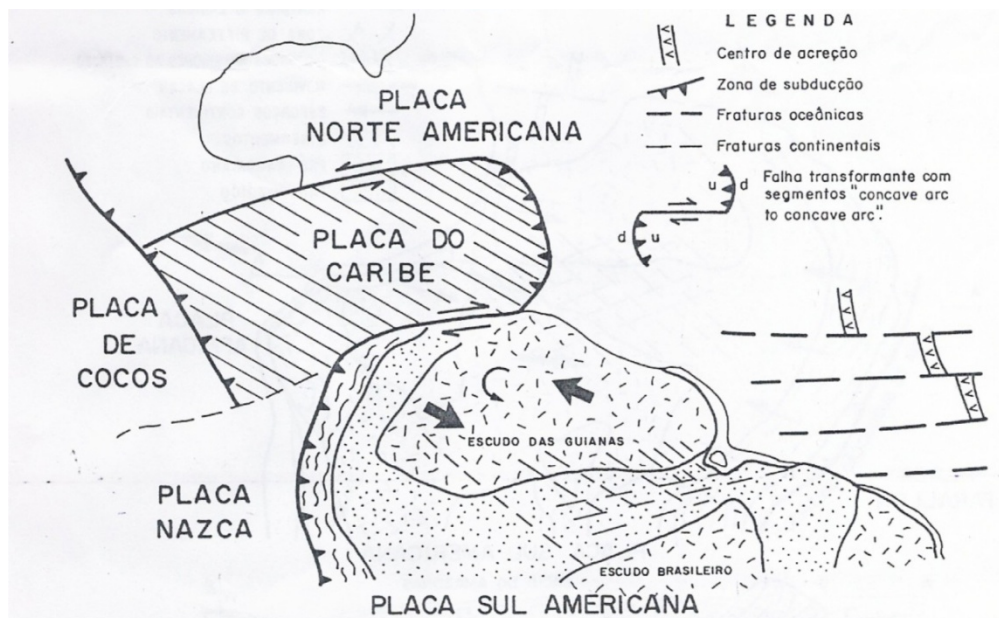


Figura 41 - Esboço tectônico da interação de placas no terciário e sua influência na estruturação da Bacia do Amazonas.

Fonte: Campos & Teixeira (1988).

Desta forma os dados de traços de fissão aqui obtidos sugerem uma importante participação de eventos tectônicos do Terciário na formação da estrutura dômica de Monte Alegre, que estão registrados nas idades aparentes de traços de fissão em apatitas situadas entre 43,6 e 53,2 Ma.

Adicionalmente o modelamento térmico também identificou importante evento térmico de resfriamento situado nesta faixa de idade. Assim, acredita-se que a faixa de idade acima mencionada corresponderia à idade dos principais eventos tectônicos do Terciário que atingiram a Bacia do Amazonas.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os diabásios jurássicos presentes no Domo de Monte Alegre mostraram-se favoráveis à datação por traços de fissão em apatitas fornecendo idades terciárias que variam de 53,2 Ma e 43,6 Ma, coerentes com a tectônica terciária que teria atuado em toda a Bacia do Amazonas. Esta tectônica teria forte influencia na estruturação do domo e estaria representada por falhamentos do Terciário, corroborando estudos estruturais realizados na área do domo que sugerem a participação de falhas na estruturação do Domo de Monte Alegre. O fato de todas as amostras analisadas apresentarem idades terciárias (Eoceno), com exceção da amostra TFMA 12, localizada fora do domo, reforça, ainda mais, a interpretação do papel do tectonismo terciário na formação da estrutura dômica de Monte Alegre.

Logo, as idades aqui apresentadas representam o registro de um importante evento tectônico no Eoceno que alçou para níveis crustais mais rasos estes diabásios e suas rochas encaixantes. A importância deste evento também está representada no modelamento que apesar de mostrar três outros eventos com idades de 140-110 Ma, 110-100 Ma e 30-recente tem como principal idade o evento de 53,2- 43,6 Ma.

Este evento tectônico foi sugerido por diferentes autores ao longo das últimas três décadas de estudos da Bacia do Amazonas e esse estudo contribuiu para determinar o intervalo de tempo de ocorrência desse tectonismo.

Nesse estudo o número de traços confinados presentes nas amostras foram pequenos, desta forma sugere-se que seja feito uso de uma câmara de califórnio com vistas a aumentar o número de traços confinados, visando um melhor resultado nas estimativas da taxa de resfriamento.

Recomenda-se, ainda, para estudos posteriores que seja feita a aplicação desta metodologia em outros compartimentos estruturais da bacia a fim de se investigar e corroborar a ocorrência e abrangência deste tectonismo terciário.

REFERÊNCIAS

- Aires, J.R. 1984. *Tectonic estudo do tectonismo básico da Bacia do Amazonas*. Rio de Janeiro. Petrobras/Cenpes. 64 p.
- Aleman, A. & Ramos, V.A. 2000. *Tectonic evolution of South American*. Rio de Janeiro. p. 453-480.
- Almeida, C. & Pinheiro, R.V.L. 2007. *O Papel das falhas na história tectônica do Domo de Monte Alegre, Bacia do Médio Amazonas, PA*. Campinas, SP. 4o PDPETRO.
- Baksi, A.K. & Archibald, D.A. 1997. *Mesozoic igneous activity in the Maranhão Province, Northern Brazil: 40 Ar/ 39 Ar Evidence for Separate Episodes of Basaltic Magmatism*. Earth and Planetary Science Letters, v.151: 139-153.
- Bray, R. J.; Green P. F. & Duddy, I. R. 1992. Thermal history reconstruction using apatite fission track analysis and vitrinite reflectance: a case study from the UK East Midlands and Southern North Sea. *Geological Society Special Publication*, 67:3-25.
- Campos, J.N.P; Teixeira, L.B. & Wanderley Filho, J.R. 1987. *Movimentos tectônicos rotacionais terciários na Bacia do Baixo Amazonas*. Rio de Janeiro. In: Tectos 1 – 1º Seminário de Tectônica da Petrobras / DEPEX.
- Caputo, M. V., Rodrigues, R., Vasconcelos, D. N. N. 1972. *Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas - Histórico e Atualização*. Belém. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26. *Anais SBG*: v. 3: 35-46.
- Carlson, W. D.; Donelick, R. A.; Ketcham, R. A. 1999. *Variability of apatite fission track annealing kinetics: I. Experimental Results*. In: American Mineralogist. v. 84(9): 1213-1223.
- Campos, J. N. P. & Teixeira, L. B. 1988. Estilo tectônico da Bacia do Baixo Amazonas. Belém. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35.. *Anais... SBG*: v. 5: 2161-2172.
- Costa, A.R.A. 2002. *Tectônica cenozóica e movimentação Salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a Geodinâmica das Placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca*. 2002. - Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências da UFPA, Belém, 257 f.
- Cunha, F. M. B. 1982. Aspectos morfoestruturais do Baixo Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1.. *Anais... Manaus. SBG*: v.1: 75-83.
- Cunha, F. M. B.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C. & Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8: 47-55.
- Dunkl, I. 2001. *The Additional parameters - a short Introduction to the data handling with TRACKKEY 4.1*. OnTrack, v.11: 19-22.
- Eiras, J. F.; Silva, O. B.; Matsuda, N. S. & Hook, S. C. 1998. *Tapajós river - Amazon Basin Field Trip*. Rio de Janeiro. In: Rio'98 AAPG International Conference & Exhibition, ABGP Digital Field Trip. AAPG – ABGP, Virtual field trip to the Amazon Basin. CD-ROM.

- Figueira, I.F.R.; Rostirolla, S.P.; Mancini, F.; Santos, T.B. & Figueira, E.G. 2008. Controle estrutural e magmatismo associado ao Domo de Monte Alegre – Pará. Curitiba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*. p.44.
- Fleischer, R. L.; Price, P. B. & Walker, R. M. 1965. Tracks of charged particles in solids. *Science*, v. **149**: 383-393.
- Fleischer, R. L.; Price, P. B. & Walker, R. M. 1975. 1982. *Nuclear tracks in solids: principles and applications*. Manaus. University of California Press, Berkeley, CA. SBG: v.1:75-83.
- Gallagher, K.; Sambridge, M. & Drijkoningen, G. 1991. Genetic algorithms: an evolution from Monte Carlo Methods for strongly non-linear geophysical optimization problems. *Geophysical Research Letters*. v.18 (**12**):2177-2180.
- Gallagher, K.; Brown, R. & Johnson, C. 1998. Fission track analysis and its applications to geological problems. *Annual Review Earth and Planetary Science*. v. **26**: 519-572.
- Gallagher, K.; Hawkesworth, C. J. & Mantovani, M. S. M. 1995. Denudation, fission track analysis and long-term evolution of passive margin topography: Application to the Southeast Brazilian Margin. *Journal of South American Earth Sciences*. v. 8 (**1**): 65-77.
- Gleadow, A.J.W. & Duddy, I.R. 1981. A Natural long term annealing experiment for apatite. *Nuclear Tracks*. v **5**:169–74.
- Gleadow, A. J. W.; Duddy, I. R. & Lovering, J. F. 1983. *Fission track analysis: a new tool for the evaluation of thermal histories and hydrocarbon potential*. Austral Petrol. Expl. Ass. J. **23**: 93-102.
- Godoy, D.F. 2006. *Termotectônica por traços de fissão em apatitas dos altos estruturais de Pitanga, Pau d'Álho e Jibóia - Centro do Estado de São Paulo*. Rio Claro. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Garver, J.L. & Brandon, M.T. 1994. Erosional denudation of the British Columbia Coast Ranges as determined from fission track ages of the detrital zircon from the Tofino basin. *Geological Society of America Bulletin*, v. **106**: 1398-1412.
- Green, P.F. 1981. A New look at statistics in fission track dating. *Nuclear Tracks*, v.**5**:77-86.
- Green, P. F. 1985. Comparison of zeta calibration baselines for fission track dating of apatite, zircon and sphene. *Chemical Geology, Isotopic Geosciences Sector*. v.**58**: 1-22.
- Green, P. F.; Duddy, I. R.; Gleadow, A. J. W.; Tingate, P. R.; Laslett, G. M. 1986. Thermal annealing of fission tracks in apatite - a qualitative description. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*. **59**: 237-253.
- Green, P.F., Duddy, I.R., Laslett, G.M., Hegarty, K.A., Gleadow, A.J.W. & Lovering J.F., 1989. Thermal annealing of fission tracks in apatite: 4 - quantitative modeling techniques and extension to geological timescales. *Chemical Geology, Isotope Geoscience Section*, **79** :155-182.
- Hurford, A. J. & Green, P. F. 1983. The zeta age calibration of fission track dating. *Chemical Geology, Isotopic Geoscience* v. **1**: 285-317.

- Hurford, A.J. & Hammschmidt, K., 1985. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating of the bishop and fish canyon tuffs: calibration ages for fission-track dating standards. *Chemical Geology, Isotope Geoscience Section*, **58**: 23-32.
- Hurford, A. J. 1990. Standardization of fission track dating calibration: recommendation by the fission track working group of the I. U. G. S. Subcommittee on Geochronology. *Chemical Geology, Isotopic Geosciences Sector*. v. **80**:171-178.
- Jonckheere, R. C. & Wagner, G. A. 2000. On the thermal stability of fossil and neutron-induced fission tracks in natural titanite. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v. 168 (1):78-87.
- Kowallis, B.J.; Heaton, J.S. & Bringham, K. 1986. Fission track dating of volcanically derived sedimentary rocks. *Geology*, v. **14**:19-22.
- Laslett, G.M.; Kendall, W.S. & Gleadow, A.J.W. 1982. Bias in Measurement of Fission Track Length Distributions. *Nuclear Tracks*, v. **6**: 79-85.
- Lopes, E. C. S. 2005. *As Águas da Região da Braquidobra de Monte Alegre, PA: Classificação, Equilíbrio Químico e Interação com Rochas Sedimentares da Bacia do Amazonas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Geociências da UFPA, Belém. 42f.
- Milani, J.E.; Melo, J.H.G; Souza, P.A; Fernandes, L.A & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. Rio de Janeiro. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15 (2): 265-287.
- Nascimento, D.A.; Mauro, C.A. & Garcia, M.L.G. 1976. *Projeto Radam, Folha SA – 21 – Santarém*, v. 10. Rio de Janeiro. DNPM.
- Pastana, J. M. N; Souza, A.M.M.; Vale, A.G; Faria, C.A.S; Santos, M.E.C; Assunção, P.R.S.; Frizzo, S.J & Lobato, T.A. *Projeto Sulfetos de Alenquer – Monte Alegre*. Belém. Relatório Final. MME/DNPM, v. 1 – 2.
- Pastana, S.M.N. (org.). 1976. *Projeto Sulfetos de Alenquer-Monte Alegre*. Belém. DNPM/CPRM (Relatório Técnico Parcial).
- Pastana, S. M. N. 1999. *Síntese Geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do município de Monte Alegre-PA*. Belém, CPRM/PRIMAZ. (Relatório Técnico).34p.
- Rezende, W. M.; Brito, C. G. 1973. *Avaliação geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas*. Aracaju. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27. *Anais...* SBG, v. **3**: 227-245.
- Rohrman, M.; Andriessen, P. & Beek V. D. 1996. The relationship between basin and margin thermal evolution assessed by fission track thermochronology: an application of offshore Southern Norway. *Basin Research*, v. **8**: 45-63.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. **22**:174-182.
- Torres, A.M. 1989. *Litofácies e evolução diagenética dos arenitos da Formação Monte Alegre na Região do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas*. Dissertação de Mestrado, Belém. 147 p.

- Torres, R.B. 1998. *Contribuição ao estudo do arcabouço estrutural da área do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas, através da análise integrada de dados de topografia, geologia, magnetometria, gravimetria e sensoriamento remoto*. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos. 154p.
- Travassos, W.A.S. & Barbosa Filho, C.M. 1990. Tectonismo terciário na área do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 4(3), p.221-340.
- Wagner, G. & Houte, V. D. 1992. *Fission track dating*. Solid Earth Sciences Library. Kluwer Academic Publishers. 285 p.
- Wanderley Filho, J.R. & Costa, J.B.S. 1991. Contribuição a evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. Belém. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*, 3. *Anais. SBG*. v. 3, p. 244-259.
- Zhao, M. W. ; Behr, H. J. ; Ahrendt, H. ; Wemmer, K. ; Ren, Z. L. ; Zhao, Z. Y. 1996. Thermal and tectonic history of the ordos basin, China: evidence from apatite fission track analysis, vitrinite reflectance and K-Ar dating. *AAPG Bulletin*, v. 80 (7): 1110-1134.

ANEXOS

ANEXO A

Idades TFA dos grãos individuais para as amostras datadas

RhoD= densidade de traços induzidos no padrão CN5

Ns= número de traços fósseis da amostra

Ni= númeo de traços induzidos da amostra

Zeta:354±8,0

Microscópio: Olympus

Grid Size: 100 μm^2

Irrad.: ipen08

CN_5 RhoD: $3.62 \times 10^5 \text{tr/cm}^2$

Nd:3793

Amostra: Db 01

93 cristais de Apatita

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	1	5	1	5	10,6	11,6	---	10,6	11,6
2	1	4	2	9	13,3	14,8	88,7	11,8	9,2
3	1	4	3	13	13,3	14,8	98,6	12,2	7,8
4	1	4	4	17	13,3	14,8	99,9	12,5	6,9
5	1	4	5	21	13,3	14,8	100,0	12,6	6,3
6	1	3	6	24	17,7	20,4	100,0	13,3	6,1
7	1	3	7	27	17,7	20,4	100,0	13,8	5,8
8	1	3	8	30	17,7	20,4	100,0	14,1	5,6
9	1	3	9	33	17,7	20,4	100,0	14,5	5,4
10	1	3	10	36	17,7	20,4	100,0	14,7	5,3
11	1	3	11	39	17,7	20,4	100,0	15,0	5,1
12	1	3	12	42	17,7	20,4	100,0	15,2	5,0
13	1	3	13	45	17,7	20,4	100,0	15,3	4,8
14	1	2	14	47	26,5	32,5	100,0	15,8	4,8
15	1	2	15	49	26,5	32,5	100,0	16,2	4,8
16	1	2	16	51	26,5	32,5	100,0	16,6	4,8
17	1	2	17	53	26,5	32,5	100,0	17,0	4,8
18	1	2	18	55	26,5	32,5	100,0	17,4	4,7
19	1	2	19	57	26,5	32,5	100,0	17,7	4,7
20	1	2	20	59	26,5	32,5	100,0	18,0	4,7
21	1	2	21	61	26,5	32,5	100,0	18,3	4,6
22	1	2	22	63	26,5	32,5	100,0	18,5	4,6
23	1	2	23	65	26,5	32,5	100,0	18,8	4,6
24	1	2	24	67	26,5	32,5	100,0	19,0	4,5
25	2	4	26	71	26,5	23,0	100,0	19,4	4,5

26	1	2	27	73	26,5	32,5	100,0	19,6	4,4
27	1	2	28	75	26,5	32,5	100,0	19,8	4,4
28	1	2	29	77	26,5	32,5	100,0	20,0	4,4
29	1	2	30	79	26,5	32,5	100,0	20,1	4,3
30	1	2	31	81	26,5	32,5	100,0	20,3	4,3
31	2	4	33	85	26,5	23,0	100,0	20,6	4,2
32	2	3	35	88	35,3	32,2	100,0	21,1	4,2
33	2	3	37	91	35,3	32,2	100,0	21,6	4,2
34	2	3	39	94	35,3	32,2	100,0	22,0	4,2
35	1	1	40	95	52,9	74,8	100,0	22,3	4,2
36	1	1	41	96	52,9	74,8	100,0	22,6	4,3
37	1	1	42	97	52,9	74,8	100,0	23,0	4,3
38	1	1	43	98	52,9	74,8	100,0	23,3	4,3
39	1	1	44	99	52,9	74,8	100,0	23,6	4,3
40	1	1	45	100	52,9	74,8	100,0	23,9	4,3
41	1	1	46	101	52,9	74,8	100,0	24,1	4,3
42	1	1	47	102	52,9	74,8	100,0	24,4	4,3
43	2	2	49	104	52,9	52,9	100,0	25,0	4,4
44	1	1	50	105	52,9	74,8	100,0	25,2	4,4
45	1	1	51	106	52,9	74,8	100,0	25,5	4,4
46	1	1	52	107	52,9	74,8	100,0	25,8	4,4
47	1	1	53	108	52,9	74,8	100,0	26,0	4,4
48	2	2	55	110	52,9	52,9	100,0	26,5	4,4
49	2	2	57	112	52,9	52,9	100,0	27,0	4,4
50	1	1	58	113	52,9	74,8	100,0	27,2	4,4
51	1	1	59	114	52,9	74,8	100,0	27,4	4,4
52	1	1	60	115	52,9	74,8	100,0	27,6	4,4
53	1	1	61	116	52,9	74,8	100,0	27,9	4,5
54	1	1	62	117	52,9	74,8	100,0	28,1	4,5
55	1	1	63	118	52,9	74,8	100,0	28,3	4,5
56	1	1	64	119	52,9	74,8	100,0	28,5	4,5
57	1	1	65	120	52,9	74,8	100,0	28,7	4,5
58	1	1	66	121	52,9	74,8	100,0	28,9	4,5
59	1	1	67	122	52,9	74,8	100,0	29,1	4,5
60	1	1	68	123	52,9	74,8	100,0	29,3	4,5
61	2	2	70	125	52,9	52,9	100,0	29,7	4,5
62	1	1	71	126	52,9	74,8	100,0	29,9	4,5
63	2	2	73	128	52,9	52,9	100,0	30,2	4,5
64	1	1	74	129	52,9	74,8	100,0	30,4	4,5
65	1	1	75	130	52,9	74,8	100,0	30,6	4,5
66	1	1	76	131	52,9	74,8	100,0	30,7	4,5
67	1	1	77	132	52,9	74,8	100,0	30,9	4,5
68	1	1	78	133	52,9	74,8	100,0	31,1	4,5
69	1	1	79	134	52,9	74,8	100,0	31,2	4,5
70	1	1	80	135	52,9	74,8	100,0	31,4	4,5
71	1	1	81	136	52,9	74,8	100,0	31,5	4,5
72	1	1	82	137	52,9	74,8	100,0	31,7	4,5
73	1	1	83	138	52,9	74,8	100,0	31,9	4,5

74	1	1	84	139	52,9	74,8	100,0	32,0	4,5
75	1	1	85	140	52,9	74,8	100,0	32,2	4,5
76	1	1	86	141	52,9	74,8	100,0	32,3	4,5
77	1	1	87	142	52,9	74,8	100,0	32,5	4,5
78	1	1	88	143	52,9	74,8	100,0	32,6	4,5
79	1	1	89	144	52,9	74,8	100,0	32,7	4,5
80	1	1	90	145	52,9	74,8	100,0	32,9	4,5
81	1	1	91	146	52,9	74,8	100,0	33,0	4,5
82	1	1	92	147	52,9	74,8	100,0	33,1	4,5
83	1	1	93	148	52,9	74,8	100,0	33,3	4,5
84	2	2	95	150	52,9	52,9	100,0	33,5	4,5
85	1	1	96	151	52,9	74,8	100,0	33,7	4,5
86	1	1	97	152	52,9	74,8	100,0	33,8	4,5
87	1	1	98	153	52,9	74,8	100,0	33,9	4,5
88	4	3	102	156	70,4	53,8	100,0	34,6	4,5
89	2	1	104	157	105,3	129,0	100,0	35,1	4,5
90	2	1	106	158	105,3	129,0	100,0	35,5	4,5
91	2	1	108	159	105,3	129,0	100,0	36,0	4,6
92	2	1	110	160	105,3	129,0	100,0	36,4	4,6
93	3	1	113	161	157,4	181,8	100,0	37,2	4,6

Amostra: Db 02

91 cristais de Apatita

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	1	4	1	4	13,3	14,8	---	13,3	14,8
2	1	3	2	7	17,7	20,4	85,8	15,2	12,2
3	1	3	3	10	17,7	20,4	97,9	15,9	10,5
4	1	3	4	13	17,7	20,4	99,7	16,3	9,3
5	1	3	5	16	17,7	20,4	100,0	16,6	8,5
6	1	3	6	19	17,7	20,4	100,0	16,7	7,9
7	1	3	7	22	17,7	20,4	100,0	16,9	7,3
8	1	2	8	24	26,5	32,5	100,0	17,7	7,2
9	1	2	9	26	26,5	32,5	100,0	18,4	7,1
10	1	2	10	28	26,5	32,5	100,0	18,9	7,0
11	1	2	11	30	26,5	32,5	100,0	19,4	6,9
12	1	2	12	32	26,5	32,5	100,0	19,9	6,7
13	1	2	13	34	26,5	32,5	100,0	20,3	6,6
14	1	2	14	36	26,5	32,5	100,0	20,6	6,5
15	1	2	15	38	26,5	32,5	100,0	20,9	6,4
16	1	2	16	40	26,5	32,5	100,0	21,2	6,3
17	1	2	17	42	26,5	32,5	100,0	21,5	6,2
18	1	2	18	44	26,5	32,5	100,0	21,7	6,1
19	1	2	19	46	26,5	32,5	100,0	21,9	6,0

20	1	2	20	48	26,5	32,5	100,0	22,1	5,9
21	1	2	21	50	26,5	32,5	100,0	22,3	5,8
22	1	2	22	52	26,5	32,5	100,0	22,4	5,7
23	1	2	23	54	26,5	32,5	100,0	22,6	5,6
24	1	2	24	56	26,5	32,5	100,0	22,7	5,6
25	2	3	26	59	35,3	32,2	100,0	23,4	5,5
26	1	1	27	60	52,9	74,8	100,0	23,9	5,6
27	1	1	28	61	52,9	74,8	100,0	24,3	5,6
28	1	1	29	62	52,9	74,8	100,0	24,8	5,6
29	1	1	30	63	52,9	74,8	100,0	25,2	5,6
30	1	1	31	64	52,9	74,8	100,0	25,7	5,6
31	1	1	32	65	52,9	74,8	100,0	26,1	5,7
32	1	1	33	66	52,9	74,8	100,0	26,5	5,7
33	1	1	34	67	52,9	74,8	100,0	26,9	5,7
34	1	1	35	68	52,9	74,8	100,0	27,3	5,7
35	1	1	36	69	52,9	74,8	100,0	27,6	5,7
36	1	1	37	70	52,9	74,8	100,0	28,0	5,7
37	1	1	38	71	52,9	74,8	100,0	28,4	5,7
38	1	1	39	72	52,9	74,8	100,0	28,7	5,7
39	1	1	40	73	52,9	74,8	100,0	29,0	5,7
40	1	1	41	74	52,9	74,8	100,0	29,4	5,8
41	1	1	42	75	52,9	74,8	100,0	29,7	5,8
42	1	1	43	76	52,9	74,8	100,0	30,0	5,8
43	1	1	44	77	52,9	74,8	100,0	30,3	5,8
44	1	1	45	78	52,9	74,8	100,0	30,6	5,8
45	1	1	46	79	52,9	74,8	100,0	30,8	5,8
46	1	1	47	80	52,9	74,8	100,0	31,1	5,8
47	1	1	48	81	52,9	74,8	100,0	31,4	5,8
48	1	1	49	82	52,9	74,8	100,0	31,7	5,8
49	1	1	50	83	52,9	74,8	100,0	31,9	5,8
50	1	1	51	84	52,9	74,8	100,0	32,2	5,8
51	1	1	52	85	52,9	74,8	100,0	32,4	5,8
52	1	1	53	86	52,9	74,8	100,0	32,6	5,7
53	1	1	54	87	52,9	74,8	100,0	32,9	5,7
54	1	1	55	88	52,9	74,8	100,0	33,1	5,7
55	1	1	56	89	52,9	74,8	100,0	33,3	5,7
56	1	1	57	90	52,9	74,8	100,0	33,5	5,7
57	1	1	58	91	52,9	74,8	100,0	33,8	5,7
58	1	1	59	92	52,9	74,8	100,0	34,0	5,7
59	1	1	60	93	52,9	74,8	100,0	34,2	5,7
60	1	1	61	94	52,9	74,8	100,0	34,4	5,7
61	1	1	62	95	52,9	74,8	100,0	34,6	5,7
62	1	1	63	96	52,9	74,8	100,0	34,8	5,7
63	1	1	64	97	52,9	74,8	100,0	34,9	5,7
64	1	1	65	98	52,9	74,8	100,0	35,1	5,7
65	1	1	66	99	52,9	74,8	100,0	35,3	5,7

66	1	1	67	100	52,9	74,8	100,0	35,5	5,7
67	1	1	68	101	52,9	74,8	100,0	35,7	5,7
68	1	1	69	102	52,9	74,8	100,0	35,8	5,6
69	1	1	70	103	52,9	74,8	100,0	36,0	5,6
70	1	1	71	104	52,9	74,8	100,0	36,1	5,6
71	1	1	72	105	52,9	74,8	100,0	36,3	5,6
72	1	1	73	106	52,9	74,8	100,0	36,5	5,6
73	1	1	74	107	52,9	74,8	100,0	36,6	5,6
74	1	1	75	108	52,9	74,8	100,0	36,8	5,6
75	1	1	76	109	52,9	74,8	100,0	36,9	5,6
76	1	1	77	110	52,9	74,8	100,0	37,1	5,6
77	1	1	78	111	52,9	74,8	100,0	37,2	5,6
78	1	1	79	112	52,9	74,8	100,0	37,3	5,6
79	1	1	80	113	52,9	74,8	100,0	37,5	5,5
80	1	1	81	114	52,9	74,8	100,0	37,6	5,5
81	1	1	82	115	52,9	74,8	100,0	37,8	5,5
82	1	1	83	116	52,9	74,8	100,0	37,9	5,5
83	1	1	84	117	52,9	74,8	100,0	38,0	5,5
84	1	1	85	118	52,9	74,8	100,0	38,1	5,5
85	1	1	86	119	52,9	74,8	100,0	38,3	5,5
86	2	1	88	120	105,3	129,0	100,0	38,8	5,5
87	2	1	90	121	105,3	129,0	100,0	39,4	5,6
88	2	1	92	122	105,3	129,0	100,0	39,9	5,6
89	2	1	94	123	105,3	129,0	100,0	40,5	5,6
90	2	1	96	124	105,3	129,0	100,0	41,0	5,6
91	2	1	98	125	105,3	129,0	100,0	41,5	5,7

Amostra: DB 04

161 cristais de Apatita

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	2	11	2	11	9,6	7,4	---	9,6	7,4
2	1	5	3	16	10,6	11,6	94,3	9,9	6,3
3	1	5	4	21	10,6	11,6	99,6	10,1	5,5
4	1	4	5	25	13,3	14,8	99,7	10,6	5,2
5	1	4	6	29	13,3	14,8	99,9	11,0	4,9
6	1	4	7	33	13,3	14,8	100,0	11,3	4,7
7	1	4	8	37	13,3	14,8	100,0	11,5	4,5
8	1	3	9	40	17,7	20,4	100,0	11,9	4,4
9	1	3	10	43	17,7	20,4	100,0	12,3	4,3
10	1	3	11	46	17,7	20,4	100,0	12,7	4,3
11	1	3	12	49	17,7	20,4	100,0	13,0	4,2
12	1	3	13	52	17,7	20,4	100,0	13,3	4,1
13	1	3	14	55	17,7	20,4	100,0	13,5	4,1

14	1	3	15	58	17,7	20,4	100,0	13,7	4,0
15	1	3	16	61	17,7	20,4	100,0	13,9	3,9
16	1	3	17	64	17,7	20,4	100,0	14,1	3,9
17	2	5	19	69	21,2	17,8	100,0	14,6	3,8
18	2	5	21	74	21,2	17,8	100,0	15,1	3,7
19	1	2	22	76	26,5	32,5	100,0	15,4	3,7
20	1	2	23	78	26,5	32,5	100,0	15,6	3,7
21	1	2	24	80	26,5	32,5	100,0	15,9	3,7
22	1	2	25	82	26,5	32,5	100,0	16,2	3,7
23	1	2	26	84	26,5	32,5	100,0	16,4	3,7
24	1	2	27	86	26,5	32,5	100,0	16,6	3,7
25	1	2	28	88	26,5	32,5	100,0	16,9	3,7
26	1	2	29	90	26,5	32,5	100,0	17,1	3,7
27	1	2	30	92	26,5	32,5	100,0	17,3	3,7
28	1	2	31	94	26,5	32,5	100,0	17,5	3,6
29	1	2	32	96	26,5	32,5	100,0	17,7	3,6
30	1	2	33	98	26,5	32,5	100,0	17,9	3,6
31	1	2	34	100	26,5	32,5	100,0	18,0	3,6
32	1	2	35	102	26,5	32,5	100,0	18,2	3,6
33	1	2	36	104	26,5	32,5	100,0	18,4	3,6
34	1	2	37	106	26,5	32,5	100,0	18,5	3,6
35	1	2	38	108	26,5	32,5	100,0	18,7	3,5
36	1	2	39	110	26,5	32,5	100,0	18,8	3,5
37	1	2	40	112	26,5	32,5	100,0	18,9	3,5
38	1	2	41	114	26,5	32,5	100,0	19,1	3,5
39	1	2	42	116	26,5	32,5	100,0	19,2	3,5
40	1	2	43	118	26,5	32,5	100,0	19,3	3,5
41	1	2	44	120	26,5	32,5	100,0	19,4	3,5
42	1	2	45	122	26,5	32,5	100,0	19,6	3,4
43	1	2	46	124	26,5	32,5	100,0	19,7	3,4
44	1	2	47	126	26,5	32,5	100,0	19,8	3,4
45	1	2	48	128	26,5	32,5	100,0	19,9	3,4
46	1	2	49	130	26,5	32,5	100,0	20,0	3,4
47	1	2	50	132	26,5	32,5	100,0	20,1	3,4
48	1	2	51	134	26,5	32,5	100,0	20,2	3,4
49	1	2	52	136	26,5	32,5	100,0	20,3	3,3
50	1	2	53	138	26,5	32,5	100,0	20,4	3,3
51	1	2	54	140	26,5	32,5	100,0	20,4	3,3
52	1	2	55	142	26,5	32,5	100,0	20,5	3,3
53	1	2	56	144	26,5	32,5	100,0	20,6	3,3
54	1	2	57	146	26,5	32,5	100,0	20,7	3,3
55	1	2	58	148	26,5	32,5	100,0	20,8	3,3
56	1	2	59	150	26,5	32,5	100,0	20,9	3,2
57	1	2	60	152	26,5	32,5	100,0	20,9	3,2
58	2	4	62	156	26,5	23,0	100,0	21,1	3,2
59	2	4	64	160	26,5	23,0	100,0	21,2	3,2
60	3	5	67	165	31,8	23,2	100,0	21,5	3,2
61	2	3	69	168	35,3	32,2	100,0	21,8	3,2

62	2	3	71	171	35,3	32,2	100,0	22,0	3,1
63	2	3	73	174	35,3	32,2	100,0	22,2	3,1
64	3	4	76	178	39,7	30,3	100,0	22,6	3,1
65	3	4	79	182	39,7	30,3	100,0	23,0	3,1
66	3	4	82	186	39,7	30,3	100,0	23,4	3,1
67	3	4	85	190	39,7	30,3	100,0	23,7	3,1
68	4	5	89	195	42,3	28,4	100,0	24,2	3,1
69	4	5	93	200	42,3	28,4	100,0	24,6	3,1
70	1	1	94	201	52,9	74,8	100,0	24,8	3,1
71	1	1	95	202	52,9	74,8	100,0	24,9	3,2
72	1	1	96	203	52,9	74,8	100,0	25,1	3,2
73	1	1	97	204	52,9	74,8	100,0	25,2	3,2
74	1	1	98	205	52,9	74,8	100,0	25,3	3,2
75	1	1	99	206	52,9	74,8	100,0	25,5	3,2
76	1	1	100	207	52,9	74,8	100,0	25,6	3,2
77	2	2	102	209	52,9	52,9	100,0	25,9	3,2
78	1	1	103	210	52,9	74,8	100,0	26,0	3,2
79	1	1	104	211	52,9	74,8	100,0	26,1	3,2
80	2	2	106	213	52,9	52,9	100,0	26,4	3,2
81	2	2	108	215	52,9	52,9	100,0	26,6	3,2
82	2	2	110	217	52,9	52,9	100,0	26,9	3,2
83	2	2	112	219	52,9	52,9	100,0	27,1	3,2
84	2	2	114	221	52,9	52,9	100,0	27,3	3,2
85	1	1	115	222	52,9	74,8	100,0	27,4	3,2
86	1	1	116	223	52,9	74,8	100,0	27,6	3,2
87	1	1	117	224	52,9	74,8	100,0	27,7	3,2
88	1	1	118	225	52,9	74,8	100,0	27,8	3,2
89	1	1	119	226	52,9	74,8	100,0	27,9	3,2
90	1	1	120	227	52,9	74,8	100,0	28,0	3,2
91	1	1	121	228	52,9	74,8	100,0	28,1	3,2
92	2	2	123	230	52,9	52,9	100,0	28,3	3,2
93	1	1	124	231	52,9	74,8	100,0	28,4	3,2
94	2	2	126	233	52,9	52,9	100,0	28,7	3,2
95	1	1	127	234	52,9	74,8	100,0	28,8	3,2
96	1	1	128	235	52,9	74,8	100,0	28,9	3,2
97	1	1	129	236	52,9	74,8	100,0	29,0	3,2
98	1	1	130	237	52,9	74,8	100,0	29,1	3,2
99	1	1	131	238	52,9	74,8	100,0	29,2	3,2
100	1	1	132	239	52,9	74,8	100,0	29,3	3,2
101	1	1	133	240	52,9	74,8	100,0	29,4	3,2
102	1	1	134	241	52,9	74,8	100,0	29,5	3,2
103	1	1	135	242	52,9	74,8	100,0	29,6	3,2
104	2	2	137	244	52,9	52,9	100,0	29,7	3,2
105	1	1	138	245	52,9	74,8	100,0	29,8	3,2
106	1	1	139	246	52,9	74,8	100,0	29,9	3,2
107	1	1	140	247	52,9	74,8	100,0	30,0	3,2

108	1	1	141	248	52,9	74,8	100,0	30,1	3,2
109	1	1	142	249	52,9	74,8	100,0	30,2	3,2
110	1	1	143	250	52,9	74,8	100,0	30,3	3,3
111	1	1	144	251	52,9	74,8	100,0	30,4	3,3
112	1	1	145	252	52,9	74,8	100,0	30,5	3,3
113	1	1	146	253	52,9	74,8	100,0	30,6	3,3
114	1	1	147	254	52,9	74,8	100,0	30,7	3,3
115	1	1	148	255	52,9	74,8	100,0	30,7	3,3
116	2	2	150	257	52,9	52,9	100,0	30,9	3,3
117	1	1	151	258	52,9	74,8	100,0	31,0	3,3
118	1	1	152	259	52,9	74,8	100,0	31,1	3,3
119	2	2	154	261	52,9	52,9	100,0	31,3	3,3
120	1	1	155	262	52,9	74,8	100,0	31,3	3,3
121	1	1	156	263	52,9	74,8	100,0	31,4	3,3
122	1	1	157	264	52,9	74,8	100,0	31,5	3,3
123	1	1	158	265	52,9	74,8	100,0	31,6	3,3
124	1	1	159	266	52,9	74,8	100,0	31,7	3,3
125	1	1	160	267	52,9	74,8	100,0	31,7	3,3
126	2	2	162	269	52,9	52,9	100,0	31,9	3,3
127	1	1	163	270	52,9	74,8	100,0	32,0	3,3
128	1	1	164	271	52,9	74,8	100,0	32,1	3,3
129	6	6	170	277	52,9	30,6	100,0	32,5	3,3
130	1	1	171	278	52,9	74,8	100,0	32,6	3,3
131	1	1	172	279	52,9	74,8	100,0	32,7	3,3
132	1	1	173	280	52,9	74,8	100,0	32,7	3,2
133	1	1	174	281	52,9	74,8	100,0	32,8	3,2
134	1	1	175	282	52,9	74,8	100,0	32,9	3,2
135	1	1	176	283	52,9	74,8	100,0	32,9	3,2
136	1	1	177	284	52,9	74,8	100,0	33,0	3,2
137	1	1	178	285	52,9	74,8	100,0	33,1	3,2
138	1	1	179	286	52,9	74,8	100,0	33,1	3,2
139	1	1	180	287	52,9	74,8	100,0	33,2	3,2
140	2	2	182	289	52,9	52,9	100,0	33,4	3,2
141	1	1	183	290	52,9	74,8	100,0	33,4	3,2
142	1	1	184	291	52,9	74,8	100,0	33,5	3,2
143	1	1	185	292	52,9	74,8	100,0	33,6	3,2
144	4	4	189	296	52,9	37,4	100,0	33,8	3,2
145	1	1	190	297	52,9	74,8	100,0	33,9	3,2
146	1	1	191	298	52,9	74,8	100,0	33,9	3,2
147	3	3	194	301	52,9	43,2	100,0	34,1	3,2
148	1	1	195	302	52,9	74,8	100,0	34,2	3,2
149	4	4	199	306	52,9	37,4	100,0	34,4	3,2
150	3	3	202	309	52,9	43,2	100,0	34,6	3,2
151	1	1	203	310	52,9	74,8	100,0	34,7	3,2
152	4	3	207	313	70,4	53,8	100,0	35,0	3,2
153	3	2	210	315	79,2	72,3	100,0	35,3	3,2

154	2	1	212	316	105,3	129,0	100,0	35,5	3,3
155	2	1	214	317	105,3	129,0	100,0	35,7	3,3
156	2	1	216	318	105,3	129,0	100,0	36,0	3,3
157	2	1	218	319	105,3	129,0	100,0	36,2	3,3
158	2	1	220	320	105,3	129,0	100,0	36,4	3,3
159	2	1	222	321	105,3	129,0	100,0	36,6	3,3
160	2	1	224	322	105,3	129,0	100,0	36,8	3,3
161	7	3	231	325	122,7	84,8	100,0	37,6	3,3

Amostra: MA 208

66 cristais de Apatita

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	1	5	1	5	10,6	11,6	---	10,6	11,6
2	1	4	2	9	13,3	14,8	88,7	11,8	9,2
3	1	3	3	12	17,7	20,4	94,9	13,3	8,6
4	1	3	4	15	17,7	20,4	98,6	14,1	8,0
5	1	2	5	17	26,5	32,5	98,5	15,6	7,9
6	1	2	6	19	26,5	32,5	99,2	16,7	7,9
7	1	2	7	21	26,5	32,5	99,6	17,7	7,6
9	2	4	10	27	26,5	23,0	99,9	19,6	7,3
10	1	2	11	29	26,5	32,5	100,0	20,1	7,1
11	1	2	12	31	26,5	32,5	100,0	20,5	7,0
12	1	2	13	33	26,5	32,5	100,0	20,9	6,9
13	1	2	14	35	26,5	32,5	100,0	21,2	6,7
14	2	4	16	39	26,5	23,0	100,0	21,7	6,5
15	1	2	17	41	26,5	32,5	100,0	22,0	6,4
16	1	2	18	43	26,5	32,5	100,0	22,2	6,2
17	1	2	19	45	26,5	32,5	100,0	22,4	6,1
18	2	3	21	48	35,3	32,2	100,0	23,2	6,1
19	2	3	23	51	35,3	32,2	100,0	23,9	6,0
20	1	1	24	52	52,9	74,8	100,0	24,5	6,1
21	1	1	25	53	52,9	74,8	100,0	25,0	6,1
22	1	1	26	54	52,9	74,8	100,0	25,5	6,1
23	1	1	27	55	52,9	74,8	100,0	26,0	6,1
24	1	1	28	56	52,9	74,8	100,0	26,5	6,2
25	1	1	29	57	52,9	74,8	100,0	27,0	6,2
26	1	1	30	58	52,9	74,8	100,0	27,4	6,2
27	1	1	31	59	52,9	74,8	100,0	27,8	6,2
28	1	1	32	60	52,9	74,8	100,0	28,3	6,2
29	1	1	33	61	52,9	74,8	100,0	28,7	6,2
30	1	1	34	62	52,9	74,8	100,0	29,1	6,2
31	1	1	35	63	52,9	74,8	100,0	29,4	6,2

32	1	1	36	64	52,9	74,8	100,0	29,8	6,2
33	1	1	37	65	52,9	74,8	100,0	30,2	6,2
34	1	1	38	66	52,9	74,8	100,0	30,5	6,2
35	1	1	39	67	52,9	74,8	100,0	30,8	6,2
36	1	1	40	68	52,9	74,8	100,0	31,2	6,2
37	1	1	41	69	52,9	74,8	100,0	31,5	6,2
38	1	1	42	70	52,9	74,8	100,0	31,8	6,2
39	1	1	43	71	52,9	74,8	100,0	32,1	6,2
40	1	1	44	72	52,9	74,8	100,0	32,4	6,2
41	1	1	45	73	52,9	74,8	100,0	32,7	6,2
42	1	1	46	74	52,9	74,8	100,0	32,9	6,2
43	1	1	47	75	52,9	74,8	100,0	33,2	6,2
44	1	1	48	76	52,9	74,8	100,0	33,4	6,2
45	1	1	49	77	52,9	74,8	100,0	33,7	6,2
46	1	1	50	78	52,9	74,8	100,0	33,9	6,2
47	1	1	51	79	52,9	74,8	100,0	34,2	6,2
48	4	4	55	83	52,9	37,4	100,0	35,1	6,2
49	1	1	56	84	52,9	74,8	100,0	35,3	6,1
50	1	1	57	85	52,9	74,8	100,0	35,5	6,1
51	1	1	58	86	52,9	74,8	100,0	35,7	6,1
52	1	1	59	87	52,9	74,8	100,0	35,9	6,1
53	1	1	60	88	52,9	74,8	100,0	36,1	6,1
54	1	1	61	89	52,9	74,8	100,0	36,3	6,1
55	1	1	62	90	52,9	74,8	100,0	36,5	6,1
56	3	3	65	93	52,9	43,2	100,0	37,0	6,0
57	1	1	66	94	52,9	74,8	100,0	37,2	6,0
58	1	1	67	95	52,9	74,8	100,0	37,3	6,0
59	2	2	69	97	52,9	52,9	100,0	37,7	6,0
60	1	1	70	98	52,9	74,8	100,0	37,8	6,0
61	1	1	71	99	52,9	74,8	100,0	38,0	6,0
62	2	1	73	100	105,3	129,0	100,0	38,6	6,0
63	2	1	75	101	105,3	129,0	100,0	39,3	6,1
64	2	1	77	102	105,3	129,0	100,0	40,0	6,1
65	2	1	79	103	105,3	129,0	100,0	40,6	6,1
66	2	1	81	104	105,3	129,0	100,0	41,2	6,2

Amostra: MA 3 02**138 cristais de Apatita**

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	1	6	1	6	8,8	9,6	---	8,8	9,6
2	2	8	3	14	13,3	10,5	76,1	11,4	7,2
3	1	4	4	18	13,3	14,8	94,9	11,8	6,5
4	1	4	5	22	13,3	14,8	99,0	12,1	6,0
5	1	4	6	26	13,3	14,8	99,8	12,2	5,6
6	1	4	7	30	13,3	14,8	100,0	12,4	5,2
7	1	3	8	33	17,7	20,4	100,0	12,9	5,1
8	1	3	9	36	17,7	20,4	100,0	13,3	5,0
9	1	3	10	39	17,7	20,4	100,0	13,6	4,8
10	1	3	11	42	17,7	20,4	100,0	13,9	4,7
11	1	3	12	45	17,7	20,4	100,0	14,1	4,6
12	1	3	13	48	17,7	20,4	100,0	14,4	4,5
13	1	3	14	51	17,7	20,4	100,0	14,6	4,4
14	1	3	15	54	17,7	20,4	100,0	14,7	4,3
15	1	3	16	57	17,7	20,4	100,0	14,9	4,2
16	1	3	17	60	17,7	20,4	100,0	15,0	4,1
17	1	2	18	62	26,5	32,5	100,0	15,4	4,1
18	1	2	19	64	26,5	32,5	100,0	15,7	4,1
19	2	4	21	68	26,5	23,0	100,0	16,4	4,1
20	1	2	22	70	26,5	32,5	100,0	16,7	4,1
21	1	2	23	72	26,5	32,5	100,0	16,9	4,1
22	1	2	24	74	26,5	32,5	100,0	17,2	4,1
23	1	2	25	76	26,5	32,5	100,0	17,4	4,0
24	1	2	26	78	26,5	32,5	100,0	17,7	4,0
25	1	2	27	80	26,5	32,5	100,0	17,9	4,0
26	1	2	28	82	26,5	32,5	100,0	18,1	4,0
27	1	2	29	84	26,5	32,5	100,0	18,3	4,0
28	1	2	30	86	26,5	32,5	100,0	18,5	3,9
29	1	2	31	88	26,5	32,5	100,0	18,7	3,9
30	1	2	32	90	26,5	32,5	100,0	18,9	3,9
31	1	2	33	92	26,5	32,5	100,0	19,0	3,9
32	1	2	34	94	26,5	32,5	100,0	19,2	3,9
33	1	2	35	96	26,5	32,5	100,0	19,3	3,8
34	3	6	38	102	26,5	18,7	100,0	19,8	3,8
35	1	2	39	104	26,5	32,5	100,0	19,9	3,8
36	1	2	40	106	26,5	32,5	100,0	20,0	3,7
37	1	2	41	108	26,5	32,5	100,0	20,1	3,7
38	1	2	42	110	26,5	32,5	100,0	20,2	3,7
39	1	2	43	112	26,5	32,5	100,0	20,4	3,7
40	1	2	44	114	26,5	32,5	100,0	20,5	3,7
41	1	2	45	116	26,5	32,5	100,0	20,6	3,6

42	1	2	46	118	26,5	32,5	100,0	20,7	3,6
43	1	2	47	120	26,5	32,5	100,0	20,8	3,6
44	1	2	48	122	26,5	32,5	100,0	20,9	3,6
45	1	2	49	124	26,5	32,5	100,0	20,9	3,6
46	1	2	50	126	26,5	32,5	100,0	21,0	3,5
47	1	2	51	128	26,5	32,5	100,0	21,1	3,5
48	1	2	52	130	26,5	32,5	100,0	21,2	3,5
49	1	2	53	132	26,5	32,5	100,0	21,3	3,5
50	1	2	54	134	26,5	32,5	100,0	21,4	3,5
51	1	2	55	136	26,5	32,5	100,0	21,4	3,5
52	2	3	57	139	35,3	32,2	100,0	21,7	3,5
53	2	3	59	142	35,3	32,2	100,0	22,0	3,4
54	2	3	61	145	35,3	32,2	100,0	22,3	3,4
55	2	3	63	148	35,3	32,2	100,0	22,6	3,4
56	2	3	65	151	35,3	32,2	100,0	22,8	3,4
57	2	3	67	154	35,3	32,2	100,0	23,1	3,4
58	2	3	69	157	35,3	32,2	100,0	23,3	3,4
59	1	1	70	158	52,9	74,8	100,0	23,5	3,4
60	1	1	71	159	52,9	74,8	100,0	23,7	3,4
61	1	1	72	160	52,9	74,8	100,0	23,9	3,4
62	1	1	73	161	52,9	74,8	100,0	24,0	3,4
63	1	1	74	162	52,9	74,8	100,0	24,2	3,4
64	1	1	75	163	52,9	74,8	100,0	24,4	3,4
65	1	1	76	164	52,9	74,8	100,0	24,6	3,5
66	1	1	77	165	52,9	74,8	100,0	24,7	3,5
67	1	1	78	166	52,9	74,8	100,0	24,9	3,5
68	2	2	80	168	52,9	52,9	100,0	25,2	3,5
69	1	1	81	169	52,9	74,8	100,0	25,4	3,5
70	1	1	82	170	52,9	74,8	100,0	25,6	3,5
71	1	1	83	171	52,9	74,8	100,0	25,7	3,5
72	3	3	86	174	52,9	43,2	100,0	26,2	3,5
73	2	2	88	176	52,9	52,9	100,0	26,5	3,5
74	1	1	89	177	52,9	74,8	100,0	26,6	3,5
75	1	1	90	178	52,9	74,8	100,0	26,8	3,5
76	1	1	91	179	52,9	74,8	100,0	26,9	3,5
77	1	1	92	180	52,9	74,8	100,0	27,1	3,5
78	1	1	93	181	52,9	74,8	100,0	27,2	3,5
79	1	1	94	182	52,9	74,8	100,0	27,4	3,5
80	1	1	95	183	52,9	74,8	100,0	27,5	3,5
81	1	1	96	184	52,9	74,8	100,0	27,6	3,5
82	1	1	97	185	52,9	74,8	100,0	27,8	3,5
83	1	1	98	186	52,9	74,8	100,0	27,9	3,5
84	1	1	99	187	52,9	74,8	100,0	28,1	3,5
85	1	1	100	188	52,9	74,8	100,0	28,2	3,5
86	1	1	101	189	52,9	74,8	100,0	28,3	3,5
87	1	1	102	190	52,9	74,8	100,0	28,4	3,6

88	1	1	103	191	52,9	74,8	100,0	28,6	3,6
89	1	1	104	192	52,9	74,8	100,0	28,7	3,6
90	1	1	105	193	52,9	74,8	100,0	28,8	3,6
91	1	1	106	194	52,9	74,8	100,0	28,9	3,6
92	1	1	107	195	52,9	74,8	100,0	29,1	3,6
93	1	1	108	196	52,9	74,8	100,0	29,2	3,6
94	1	1	109	197	52,9	74,8	100,0	29,3	3,6
95	1	1	110	198	52,9	74,8	100,0	29,4	3,6
96	1	1	111	199	52,9	74,8	100,0	29,6	3,6
97	2	2	113	201	52,9	52,9	100,0	29,8	3,6
98	1	1	114	202	52,9	74,8	100,0	29,9	3,6
99	1	1	115	203	52,9	74,8	100,0	30,0	3,6
100	1	1	116	204	52,9	74,8	100,0	30,1	3,6
101	1	1	117	205	52,9	74,8	100,0	30,2	3,6
102	1	1	118	206	52,9	74,8	100,0	30,3	3,6
103	1	1	119	207	52,9	74,8	100,0	30,5	3,6
104	1	1	120	208	52,9	74,8	100,0	30,6	3,6
105	1	1	121	209	52,9	74,8	100,0	30,7	3,6
106	1	1	122	210	52,9	74,8	100,0	30,8	3,6
107	1	1	123	211	52,9	74,8	100,0	30,9	3,6
108	1	1	124	212	52,9	74,8	100,0	31,0	3,6
109	1	1	125	213	52,9	74,8	100,0	31,1	3,6
110	1	1	126	214	52,9	74,8	100,0	31,2	3,6
111	1	1	127	215	52,9	74,8	100,0	31,3	3,6
112	1	1	128	216	52,9	74,8	100,0	31,4	3,6
113	1	1	129	217	52,9	74,8	100,0	31,5	3,6
114	1	1	130	218	52,9	74,8	100,0	31,6	3,6
115	2	2	132	220	52,9	52,9	100,0	31,8	3,6
116	2	2	134	222	52,9	52,9	100,0	32,0	3,6
117	1	1	135	223	52,9	74,8	100,0	32,1	3,6
118	1	1	136	224	52,9	74,8	100,0	32,2	3,6
119	1	1	137	225	52,9	74,8	100,0	32,3	3,6
120	1	1	138	226	52,9	74,8	100,0	32,3	3,6
121	1	1	139	227	52,9	74,8	100,0	32,4	3,6
122	1	1	140	228	52,9	74,8	100,0	32,5	3,6
123	1	1	141	229	52,9	74,8	100,0	32,6	3,6
124	1	1	142	230	52,9	74,8	100,0	32,7	3,6
125	1	1	143	231	52,9	74,8	100,0	32,8	3,6
126	2	2	145	233	52,9	52,9	100,0	33,0	3,6
127	2	2	147	235	52,9	52,9	100,0	33,1	3,6
128	1	1	148	236	52,9	74,8	100,0	33,2	3,6
129	1	1	149	237	52,9	74,8	100,0	33,3	3,6
130	2	2	151	239	52,9	52,9	100,0	33,5	3,6
131	1	1	152	240	52,9	74,8	100,0	33,5	3,6
132	3	2	155	242	79,2	72,3	100,0	33,9	3,6
133	3	2	158	244	79,2	72,3	100,0	34,3	3,6

134	2	1	160	245	105,3	129,0	100,0	34,6	3,6
135	2	1	162	246	105,3	129,0	100,0	34,9	3,6
136	2	1	164	247	105,3	129,0	100,0	35,2	3,6
137	3	1	167	248	157,4	181,8	100,0	35,7	3,7
138	3	1	170	249	157,4	181,8	100,0	36,2	3,7

Amostra: TFMA 12**9 cristais de Apatita**

n	Ns	Ni	Σ Ns	Σ Ni	Idade	$\pm 1s$	P(%)	Sum age	$\pm 1s$
1	5	28	5	28	11,4	5,6	---	11,4	5,6
2	1	5	6	33	12,8	14,0	92,5	11,6	5,2
3	2	9	8	42	14,2	11,1	97,1	12,2	4,7
4	1	4	9	46	16,0	17,9	99,1	12,5	4,6
5	2	5	11	51	25,6	21,4	94,7	13,8	4,6
6	2	3	13	54	42,6	38,9	82,7	15,4	4,8
7	2	3	15	57	42,6	38,9	77,8	16,8	4,9
8	4	5	19	62	51,1	34,3	60,4	19,6	5,2
9	3	2	22	64	95,4	87,1	39,1	22,0	5,5