



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

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DO PLÚTON
ALCALINO BREJINHO – NORDESTE DO PIAUÍ/NOROESTE DO
CEARÁ.**

TESE APRESENTADA POR

RITA DE CÁSSIA DE OLIVEIRA BARBOSA

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

Data de Aprovação: **25 / 06 / 2001**

Comitê de Tese:

PAULO SERGIO DE SOUSA GORAYEB (Orientador)

CANDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA

JOSÉ CARLOS GASPAR

Belém

A Deus, presente e onipresente;
aos meus amores, próximos e distantes;
aos meus amigos, ternos e eternos;
aos meus pais e familiares, sempre presentes,
próximos e eternos.

Reob

Agradecimentos

Agradeço a Deus sobretudo por alcançar-me mais esta vitória.

Ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, pelo apoio na realização desta dissertação.

À CAPES, por financiar, parcialmente, a bolsa para desenvolver este trabalho.

À Universidade Federal do Pará que através do projeto *“Petrologia, geoquímica e geocronologia de rochas granitóides das regiões de Parauapebas e Novo Repartimento, leste do Estado do Pará”* – PROINT 2000 (nº213), financiou parte deste trabalho.

Ao orientador deste trabalho, Professor Dr. Paulo Sergio de Sousa Gorayeb, que sempre procurou mostrar-me as duas faces da moeda do “ser pós-graduando”.

Ao Professor Ronaldo Lima Lemos pela sua edificante participação, tanto na etapa de campo quanto no auxílio aos estudos petrográficos.

Ao Professor Dr. Candido Augusto Veloso Moura que participou e acompanhou o desenvolvimento da parte geocronológica.

Ao Professor Dr. Moacir José Buenano Macambira, ao Professor Dr. Thomas Scheller e aos amigos Cintia Maria Gaia, Elcinice Belúcio, Maria Clarindo, Edney Smith, Evandro Klein e Gérson Estumano, durante a convivência na etapa de obtenção dos dados geocronológicos no Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências.

Aos colegas Davis Carvalho, Eduardo Picanço, Luis Roosevelt, Daniel Bezerra e Firmino Coutinho Jr., pela colaboração acerca dos dados obtidos na área de estudo durante a realização do Estágio de Campo II – Cocal.

Aos funcionários do Centro de Geociências, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, de um modo especial ao Técnico Afonso Quaresma de Lima, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos amigos Cleive Ribeiro, Ana Helena Anaisse, José Anaisse Jr., Cláudio Lamarão e Albano Leite, pela fiel companhia e sincero incentivo.

Aos meus familiares que, apesar de tudo, de todos os problemas e dificuldades, sempre participaram de minhas alegrias e sempre me apoiaram neste “caminho de pedras”.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	4
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	4
1.3. ATIVIDADES E MÉTODOS EMPREGADOS	4
2. O CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.2. UNIDADES GEOTECTÔNICAS	7
2.3. MAGMATISMO DO EOPALEOZOÍCO/NEOPROTEROZOÍCO DO NOROESTE DA PROVÍNCIA BORBOREMA	8
3. O CONTEXTO GEOLÓGICO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO	15
3.1. ASPECTOS GERAIS	15
3.2. COMPLEXO GRANJA	15
3.3. GRANITO CHAVAL	15
3.4. NEFELINA SIENITO BREJINHO	18
3.5. GRUPO SERRA GRANDE	19
3.6. SEDIMENTOS COSTEIROS	19
4. PETROGRAFIA DO NEFELINA SIENITO BREJINHO	27
4.1. INTRODUÇÃO	27
4.2. DESCRIÇÃO DE FÁCIES	28
4.2.1. Clinopiroxênio Microclina Sienito	28
4.2.2. Clinopiroxênio Nefelina Sienito	34
4.2.3. Leucosienito	36
4.3. ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO	47

5. GEOCROLOGIA Rb-Sr EM ROCHA TOTAL	58
5.1. INTRODUÇÃO	58
5.2. DATAÇÃO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO	58
5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
5.4. GEOLOGIA ISOTÓPICA	66
6. DISCUSSÃO SOBRE O ESTABELECIMENTO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO	69
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	82
ANEXO A- Procedimentos analíticos para preparação de amostras	83
ANEXO B- Procedimentos químicos para a metodologia Rb-Sr	85

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

1.1.	Mapa de localização da área de ocorrência do NSB	6
2.1.	Mapa geológico da porção oeste da Província Borborema	10
2.2.	Mapa geológico da região noroeste do Ceará	11
2.3.	Compartimentação tectônica do noroeste da Província Borborema	12
2.4.	Modelo evolutivo para o Graben Ubajara-Jaibaras	13
3.1.	Mapa geológico da região de ocorrência do NSB	16
3.2.	Gnaisses e corpos graníticos milonitizados	17
3.3.	Feições de relevo do Granito Chaval	21
3.4.	Aspecto textural do Granito Chaval	21
3.5.	Feição morfológica do Nefelina Sienito Brejinho	22
3.6.	Gnaisses do Complexo Granja	22
3.7.	Hornfels derivados de gnaisses no contato com o corpo sienítico	23
3.8.	Enclave de piroxenito no CpxNS	23
3.9.	Piroxenito com laminação e bandamento rítmico	24
3.10.	Enclave microsienítico em rocha sienítica (mistura de magma)	24
3.11.	Veio de leucosienito em Nefelina Sienito	25
3.12.	Veio pegmatítico em Nefelina Sienito	25
3.13.	Massas irregulares de leucosienito em sienito laminado	26
3.14.	Laminação magmática ressaltada pela orientação de piroxênios	26
4.1.	Mapa de amostragem da área de ocorrência do NSB	29
4.2.	Mapa geológico simplificado com destaque às fácies petrográficas do NSB	30
4.3.	Diagramas de classificação de rochas alcalinas	32
4.4.	Textura traquitóide, cristais tabulares de álcali-feldspato e clinopiroxênio orientados	37
4.5.	Textura traquitóide com orientação de cristais de microclina perítica	37
4.6.	Aspecto da textura granular hipidiomórfica do CpxMS	38
4.7.	Clinopiroxênio (aegirina-augita) manteado por Na-anfibólio	38
4.8.	Aegirina-augita manteada por Na-anfibólio (riebeckita)	39
4.9.	Na-anfibólio (arfvedsonita) em equilíbrio com biotita, aegirina e álcalifeldspato	39
4.10.	Cristais de álcali-feldspato e clinopiroxênio definindo textura traquitóide	40

4.11. Cristais de clinopiroxênio com intercrescimentos (Ne-álcali-feldspato) nos interstícios	40
4.12. Intercrescimento entre álcali-feldspato e nefelina	41
4.13. Intercrescimento Ne-álcali-feldspato-cpx (borda dos álcali-feldspatos e interstícios)	41
4.14. Intercrescimento (Ne-álcali-feldspato) tipo impressão digital (<i>fingerprint</i>)	42
4.15. Intercrescimento Nefelina-Microclina semelhante ao tipo gráfico	42
4.16. Fenocristal de álcali-feldspato zonado (limite marcado por inclusões de clinopiroxênio)	43
4.17. Detalhe de inclusões de pequenos cristais de clinopiroxênio aciculares	43
4.18. Cristal anédrico de nefelina definindo textura orientada	44
4.19. Simplectito álcali-feldspato-nefelina intersticial	44
4.20. Textura cumulativa com agregados de minerais máficos (Cpx, Bt, Tit e Op)	45
4.21. Textura cumulativa desenvolvida por minerais máficos (Cpx, Bt, Tit e Op)	45
4.22. Cristal de Na-piroxênio com destacado zoneamento e inclusões de apatita e titanita	46
4.23. Cristais prismáticos e losangulares de titanita orientados	46
4.24. Diagrama esquemático da ordem de cristalização do NSB	52
4.25. Lamelas de exsolução de hematita (?) em clinopiroxênio	53
4.26. Lamelas de exsolução de hematita (?) orientadas nas clivagens de microclina	53
4.27. Cristais fibrosos de tremolita-actinolita substituindo clinopiroxênio	54
4.28. Cristais aciculares de (aegirina) inclusos em álcali-feldspato	54
4.29. Cristal de apatita crescido paralelamente ao clinopiroxênio	55
4.30. Inclusões de cristais de clinopiroxênio euédrico, opacos e apatita em microclina	55
4.31. Cristal de nefelina envolvida em simplectitos (Ne-álcali-feldspato-cpx)	56
4.32. Inclusões aciculares de aegirina em cristal maior de nefelina	56
4.33. Inclusões de aegirina no limite de zonas composicionais de cristais de álcali-feldspato	57
4.34. Intercrescimento nefelina-álcali-feldspato tipo impressão digital	57
5.1. Distribuição linear da razão Rb/Sr das amostras selecionadas para geocronologia	60
5.2. Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, metodologia Rb/Sr (RT) (12 amostras)	62
5.3. Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, metodologia Rb/Sr (RT) (10 amostras)	64
5.4. Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, metodologia Rb/Sr (RT) (8 amostras)	65
5.5. Curva de evolução da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com o tempo	68

TABELAS

2.1.	Dados geocronológicos das rochas magmáticas do NW do Ceará	14
4.1.	Análises modais das rochas do Nefelina Sienito Brejinho	31
5.1.	Concentrações de Rb e Sr obtidas através de fluorescência de Raio-X	59
5.2.	Resultados analíticos obtidos pelo método Rb-Sr (RT) para rochas do NSB	61
5.3.	Valores calculados da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para amostras analisadas do NSB	67

RESUMO

O presente trabalho relata dados geológicos, petrográficos e geocronológicos do pluton alcalino Nefelina Sienito Brejinho.

O Nefelina Sienito Brejinho está inserido na porção noroeste da Província Borborema, situando-se geograficamente na fronteira dos estados do Piauí e Ceará, a aproximadamente 60 km a sudeste da cidade de Parnaíba.

O pluton apresenta dimensões aproximadas de 16 km de comprimento por 8 km de largura e tem forma grosseiramente triangular, alongado na direção NNE.

É um corpo tipicamente ígneo, onde foi evidenciado seu caráter intrusivo em gnaisses e anfibolitos do Complexo Granja, com bordas de resfriamento, xenólitos e pequenas zonas de hornfels.

De um modo geral as rochas ao longo do corpo plutônico apresentam estruturas de aleitamento magmático definindo uma orientação preferencial na direção NNE-SSW marcada por cristais de feldspato alcalino tabulares, piroxênios prismáticos, biotitas lamelares e, em alguns casos, esta foliação é também evidenciada por anfibólios e titanita.

Os estudos petrográficos e de campo permitiram individualizar internamente no plúton três fácies petrográficas: Piroxênio Microclina Sienito, Piroxênio Nefelina Sienito e Leucosienitos. As duas primeiras são dominantes, e a outra apresenta ocorrências restritas.

Mineralogicamente o plúton apresenta uma variação, qualitativa e quantitativamente. As rochas em geral constituem-se essencialmente de microclina, nefelina e aegirina-augita como minerais essenciais. Em menores percentuais ocorrem biotita, anfibólio (arfvedsonita e riebeckita) e titanita. Acessoriamente ocorrem apatita, opacos e fluorita.

Com relação aos aspectos texturais, predominantemente no plúton são marcantes as texturas traquitóides, definidas por cristais de feldspato alcalino, piroxênio, biotita, titanita e anfibólio. Subordinadamente estão presentes texturas de intercrescimento simplectítico entre feldspato alcalino e nefelina. Este aspecto textural sugere cristalização *subsolvus* para o Nefelina Sienito Brejinho.

Os estudos geocronológicos, realizados através da metodologia Rb-Sr em oito amostras de rochas, forneceram para o Nefelina Sienito Brejinho idade de 545 ± 11 Ma, com razão inicial de $0,7173 \pm 0,0002$ e MSWD de 1,32. Com base nesta idade, interpretada como idade

mínima de cristalização, sugere-se que o plúton sienítico colocou-se no Cambriano Inferior, quando da tectônica distensiva que ocorreu nesta porção do NE do Brasil. Esta tectônica foi marcada pela implantação do Sistema Ubajara-Jaibaras e por plutonismo e vulcanismo, de tendência alcalina, como os granitos Meruoca, Mucambo, Pajé, Anil, Morrinhos e São Paulo entre outros; e o vulcanismo alcalino da Suíte Parapuí.

ABSTRACT

This work presents geological, petrographic and geochronological studies of the Nepheline Syenite Brejinho alkaline pluton.

The Nepheline Syenite Brejinho is located in the northwestern portion of the Borborema Province, between the Piauí and Ceará states, approximately 60 km from Parnaíba City (Piauí).

The pluton is approximately 16 km long and 8 km wide with a roughly triangular shape elongated toward NNE.

It is a typical igneous body, and intrudes gnaisses and amphibolites from Granja Complex, defining chilled margins, xenolites and hornfels zones.

In general, the rocks of the plutonic body show flow structures defined by tabular crystals oriented in the NNE-SSW direction. The orientation is marked by alkali-feldspars, pyroxenes and biotites, sometimes amphiboles and titanites.

Petrographic studies recognized three petrographic facies: Pyroxene Microcline Syenite, Pyroxene Nepheline Syenite and Leucosyenite. The first and the second ones are the predominant facies, while the third one occurs restrictly.

The mineralogy of the Nepheline Syenite Brejinho is represented by microcline, nepheline and aegirine-augite, essentially, minor biotite, amphibole and titanite; and accessory apatite, opaques and fluorite.

Textural aspects are showed by trauquitic textures defined by alkaline feldspars, pyroxenes, biotite, titanite and amphibole crystals. Simplectic texture is characterized by alkaline feldspar and nepheline intergrowth.

Geochronological studies using Rb-Sr methodology in whole rock, defined the age of the alkaline plutonism. The age obtained for eight rock samples from Nepheline Syenite Brejinho was 545 ± 11 Ma, with a $I_{Sr} = 0,7173 \pm 0,0002$ and $MSWD = 1,32$. This age was interpreted as the minimum age of crystallization of the pluton and suggest that alkaline pluton was emplaced in the Earlier Cambrian, when extensional tectonic events took place in northeastern Brazil. This tectonism led to the installation of Ubajara-Jaibaras Graben, with granitic alkaline magmatism (Meruoca, Mucambo, Pajé, Anil, Morrinhos and São Paulo granites) and a alkaline basaltic volcanism of Suite Parapuí.

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

Rochas alcalinas têm sido descritas raramente no noroeste da Província Borborema, a maioria delas compreendendo plutons graníticos alcalinos ou com afinidades alcalinas, basaltos alcalinos, posicionados no limite Proterozóico-Paleozóico, e vulcânicas alcalinas do Terciário.

O primeiro pluton de nefelina sienito relatado na literatura nesta vasta região foi identificado no nordeste do Estado do Piauí e denominado Nefelina Sienito Brejinho por Gorayeb e Abreu (1997), que o descreveram preliminarmente posicionando-o estratigraficamente entre o Paleoproterozóico e o Eopaleozóico, caracterizando um magmatismo tipicamente alcalino na região.

Este trabalho, na forma de uma dissertação de mestrado, objetivou o estudo do Nefelina Sienito Brejinho envolvendo a cartografia geológica, caracterização petrográfica e datação do corpo. São apresentados mapas de amostragem e geológico em escala de semi-detalhe, descrição das fácies petrográficas e dados analíticos isotópicos de Rb e Sr que levaram a discussões e interpretações sobre o significado deste magmatismo no contexto da Província Borborema.

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O pluton Nefelina Sienito Brejinho localiza-se na região Nordeste do Brasil, mais especificamente no nordeste do Estado do Piauí, na região limite entre este e o Estado do Ceará. Situa-se a aproximadamente 60 km a sudeste da cidade de Parnaíba e 22 km a nordeste da cidade de Cocal (Figura 1.1).

A área estudada está inserida na Folha Chaval (SA-24-Y-C-H) sendo limitada pelos paralelos 3°10'55'' e 3°21'45'' S e os meridianos 41°19'18'' e 41°30'00'' W Gr. O acesso a partir de Belém pode ser feito através das rodovias BR-316, BR-343 e PI-210 até a cidade de Cocal. A partir daí pode-se acessar a área estudada por estradas secundárias, não pavimentadas, em direção aos povoados de Santa Rosa e Brejinho.

1.3. ATIVIDADES E MÉTODOS EMPREGADOS

O Nefelina Sienito Brejinho foi reconhecido primeiramente num treinamento em mapeamento geológico durante a realização da disciplina Estágio de Campo II (Cocal) do Curso

de Graduação em Geologia da UFPA em 1997. O mapa preliminar do Estágio foi o ponto de partida para o desenvolvimento desta dissertação assim como o acervo de amostras deste.

Este trabalho desenvolveu-se em várias etapas. Uma delas consistiu da revisão bibliográfica acerca da geologia da região oeste da Província Borborema, bem como de uma ampla pesquisa bibliográfica sobre rochas alcalinas e rochas associadas.

Na elaboração do mapa-base para o desenvolvimento dos trabalhos de campo foram consultadas cartas planialtimétricas nas escalas 1:100.000 da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército-DSG do ano de 1979 e mapas geológicos, nas escalas de 1:250.000 do Projeto Jaibaras, e 1:25.000, das sub-áreas do Estágio de Campo II (Cocal).

Os trabalhos de campo foram realizados no período de 02 a 15 de dezembro de 1999, onde foram feitos caminhamentos ao longo do corpo utilizando-se a malha de estradas e caminhos existentes. Foram estudados 60 afloramentos de onde foram extraídas as principais informações geológicas, bem como amostras para os estudos petrográficos, químicos e geocronológicos, as quais foram posicionadas com auxílio de GPS. A partir dos dados coletados, foi atualizada a base cartográfica e elaborados mapas de amostragem e geológico.

As principais amostras foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas, que somando-se às existentes do acervo do Estágio de Campo II – Cocal totalizam 56. As amostras selecionadas para os estudos geocronológicos foram pulverizadas e homogeneizadas de acordo com as técnicas de preparação de amostras utilizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Centro de Geociências.

Os estudos petrográficos constaram da análise textural e mineralógica das lâminas delgadas e suas respectivas amostras de mão, seguindo os procedimentos clássicos de petrologia ígnea. Utilizou-se como apoio bibliográfico os trabalhos de Kerr (1959), Smith (1974), Smith e Brown (1974), Deer *et al.* (1981), Mackenzie *et al.* (1982) e Nesse (1986). A análise modal foi realizada em um grupo de 17 lâminas delgadas, utilizando-se o Contador de Pontos SWIFT, do Laboratório de Petrografia da Pós-graduação, que em média foram contados 2.500 pontos em cada lâmina. A classificação das rochas seguiu os princípios de Streckeisen (1976), as propostas de Sarantsina e Shinkarev *apud* Sorensen (1974) e as recomendações de Mitchell (1996). A análise textural foi realizada nas principais amostras e lâminas para dar subsídios à interpretação da evolução de cristalização do corpo.

Para a obtenção dos dados geocronológicos foi utilizada a metodologia Rb-Sr em rocha total cujas técnicas analíticas e procedimentos estão detalhados nos Anexos A e B.

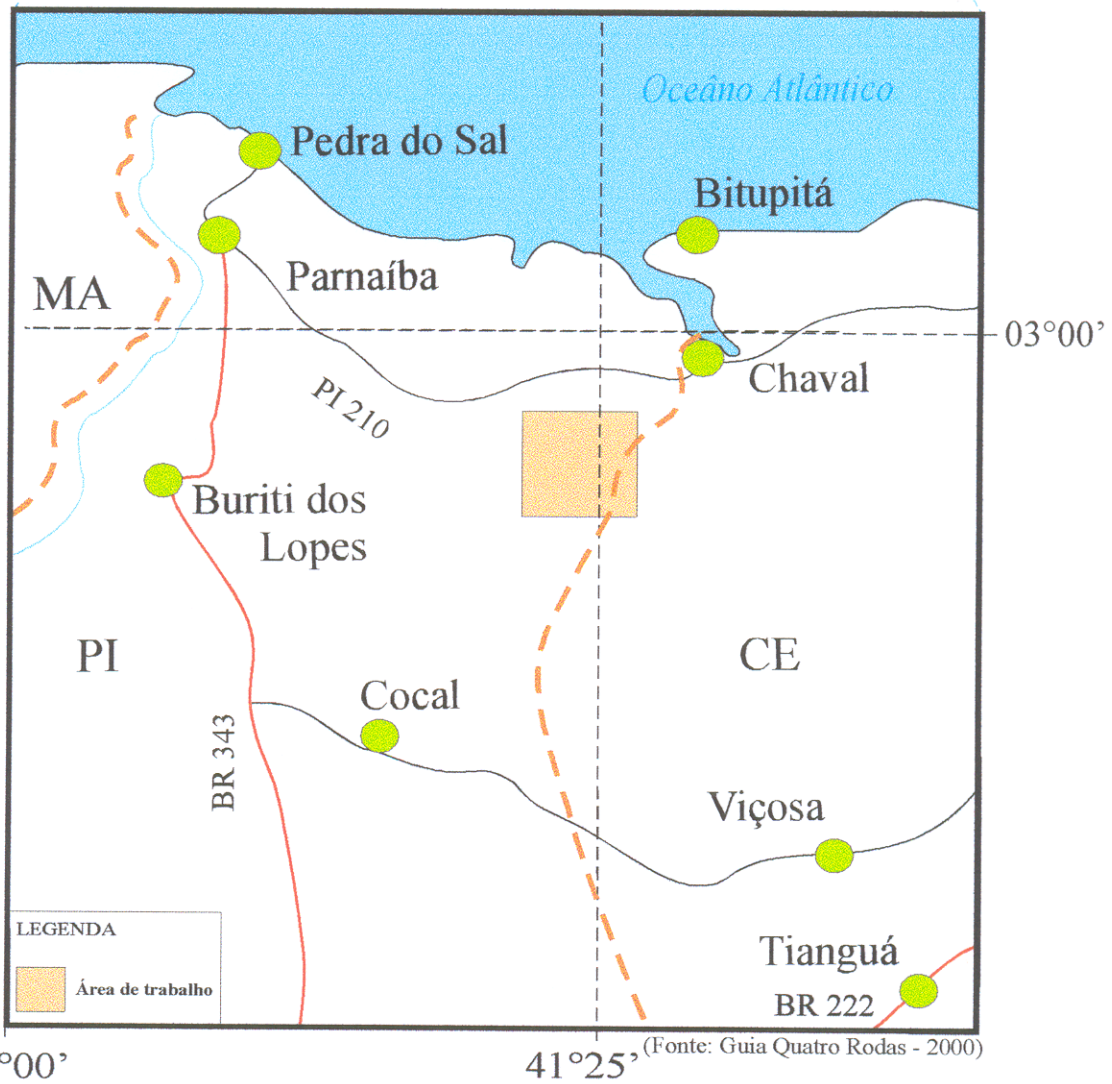
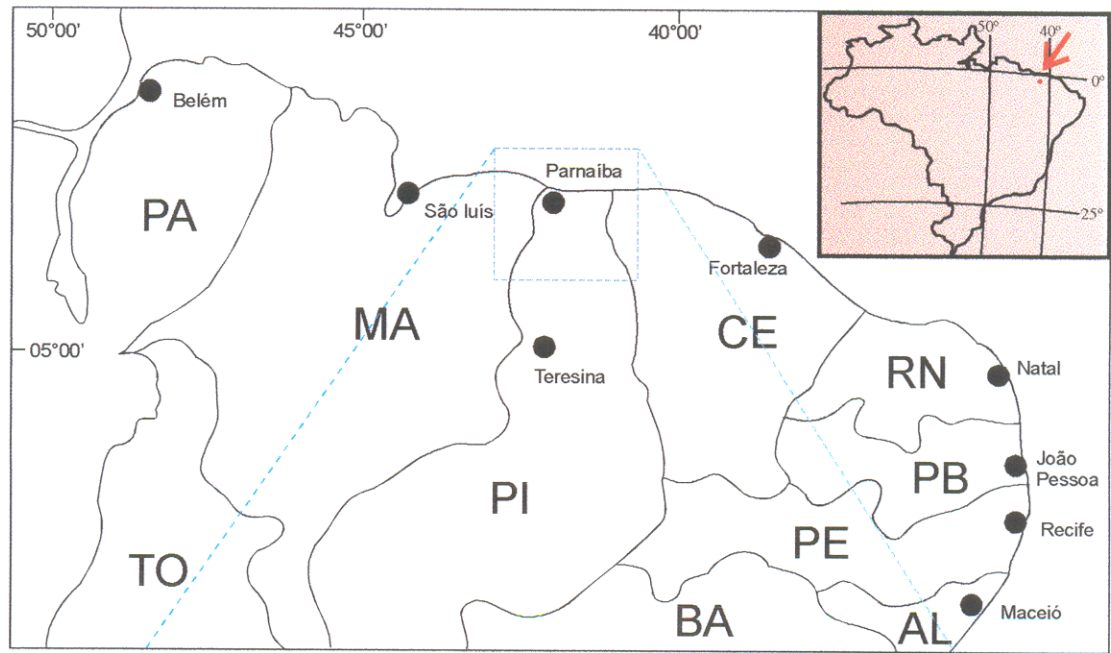


Figura 1.1 - Mapa de localização da área de ocorrência do plúton Nefelina Sienito Brejinho.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. INTRODUÇÃO

A região noroeste do Estado de Ceará e norte do Piauí, compreende a porção noroeste da Província Borborema (Almeida *et al.* 1977). Ela reúne conjuntos rochosos do Paleoproterozóico, Neoproterozóico, Paleozóico e Cenozóico, cujas informações geológicas mais detalhadas podem ser obtidas nos trabalhos de Neves (1975), Costa *et al.* (1979), Nascimento *et al.* (1981), Gorayeb *et al.* (1988) e Abreu *et al.* (1988). As principais unidades geológicas podem ser visualizadas no mapa geológico da Figura 2.1.

2.2. UNIDADES GEOTECTÔNICAS

A unidade geotectônica maior é representada pelo Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará (Abreu *et al.* 1988) (Figura 2.2), que tem como principal período de edificação o Paleoproterozóico (Gaudette *et al.* 1993, Gorayeb *et al.* 1999, Fetter 1999). Ele apresenta estruturação geral NE-SW e reúne um conjunto de gnaisses tonalíticos, granodioríticos e graníticos, mais ou menos migmatizados, que foram reunidos no Complexo Granja e Grupo Martinópolis. Regionalmente foram submetidos às condições metamórficas das fácies anfibolito alto e granulito (Gorayeb e Abreu 1989).

A outra unidade que merece destaque foi denominada por Santos e Neves (1984) de Sistema Médio Coreaú (Figura 2.3). Ele é definido por uma série de grábens e horsts que se sobrepõem à estruturação mais antiga, através de traços marcantes de falhas direcionadas NE-SW. O Gráben Ubajara-Jaibaras representa o mais expressivo deles, aprisionando seqüências de rochas sedimentares e vulcânicas alcalinas do Neoproterozóico, fracamente metamorfisadas, que são seccionadas por granitos eopaleozóicos (Figuras 2.1 e 2.4) (Gorayeb *et al.* 1988, 1993, Gorayeb e Nascimento 1997, Nascimento 2000).

A terceira unidade é representada pela Bacia do Parnaíba, que delinea na região a sua borda nordeste, onde estão expostas suas formações basais do Siluriano e Devoniano.

Finalmente por toda a zona costeira as unidades mais antigas são cobertas por depósitos sedimentares do Cenozóico (Figura 2.3).

2.3. MAGMATISMO DO EO-PALEOZÓICO/NEOPROTEROZÓICO DO NOROESTE DA PROVÍNCIA BORBOREMA

A região Noroeste do Ceará, como parte integrante da Província Borborema, tem tido destaque no cenário geológico nacional pela grande quantidade de corpos magmáticos do final do Neoproterozóico início do Paleozóico, incluindo tanto eventos plutônicos como vulcânicos (Costa *et al.* 1979, Nascimento e Gava 1979, Gorayeb *et al.* 1988, Torquato 1995), constituindo uma verdadeira província magmática.

Os conjuntos vulcânicos principais estão instalados no Graben Jaibaras e são representados essencialmente por basaltos alcalinos e riolitos, acompanhados de rochas vulcanoclásticas e depósitos piroclásticos que foram reunidos por Gorayeb *et al.* (1988) na Suite Parapuí. Segundo Nascimento (2000) os basaltos são os tipos mais abundantes da Suite e ocorrem em sucessões de extensos derrames de lavas maciças e amigdaloidais, e são classificadas como basaltos alcalinos que incluem andesina basaltos, olivina basaltos, ilmenita basaltos e traquibasaltos. A sua natureza alcalina é confirmada pelos dados petrográficos e litoquímicos, representando um magmatismo basáltico alcalino intracontinental com explosões e efusões (Gorayeb e Nascimento 1997, Nascimento e Gorayeb 1999, Nascimento 2000). A idade desse magmatismo ainda não foi confirmada, pois não há datações seguras desse evento. Entretanto, o seu posicionamento estratigráfico tem sido colocado no início do Paleozóico, no Cambriano ou Ordoviciano. Gorayeb *et al.* (1988) entretanto sugerem posicioná-lo no Neoproterozóico. O parâmetro que se tem para o posicionamento desta suite são as datações de granitos intrusivos, como os granitos Meruoca e Mucambo que cortam as rochas da seqüência Jaibaras e da Suite Parapuí, que tem idades de aproximadamente 550 Ma, sendo esta a idade mínima admitida para as rochas da Suite Parapuí.

A granitogênese nesta região e a implantação de grabens tem sido atribuída às manifestações finais do evento termo-tectônico Brasileiro, que na Plataforma Brasileira, foi denominado de Estágio de Transição (Almeida 1967), e teria tido lugar, temporalmente, no limite Proterozóico-Paleozóico (Gorayeb *et al.* 1993). Estes autores consideram que estes fenômenos (grabens e granitogênese) *“estão relacionados a um regime distensivo de caráter regional que teria se implantado durante o Eo-Paleozóico, renunciando a instalação da Bacia do Parnaíba, cujos mais importantes registros seriam marcados por extensas zonas de cisalhamento ... onde hoje limitam apenas restos de uma bacia continental e funcionaram como grandes eixos termais”*.

Os vários corpos graníticos desta região já somam mais de duas dezenas, constituindo uma província magmática, e encerram características de granitos anorogênicos de ambiente intraplaca, típicos de regime distensivo, alojados em níveis rasos da crosta (Gorayeb *et al.* 1993) e se apresentam em três formas principais: a) corpos maiores (batólitos, stocks e pequenos corpos circulares ou sub-circulares) secantes às estruturas regionais; b) corpos menores alongados, subconcordantes às estruturas das encaixantes; e, c) feixes de diques ácidos adjacentes aos plutons (Gorayeb *et al.* 1993).

Em geral são granitos isotrópicos de granulação grossa, com margens resfriadas, zonas xenolíticas com efeitos de metamorfismo de contato nas encaixantes, o que denota alojamento epizonal com fortes gradientes térmicos entre os mesmos e as rochas encaixantes (Danni 1972, Gorayeb *et al.* 1988, Gorayeb e Coimbra 1995). Os tipos composicionais são bastante variados incluindo pertita granitos, quartzo sienitos, aplitos e granófiros (Meruoca), sienogranitos (Pajé, Barriga, Groairas) quartzo monzonitos e monzodioritos (Mucambo, Taparuaba), granodioritos (Anil) dioritos, monzonitos, quartzo dioritos e tonalitos (Tauá, Mandacaru) e granitos alalinos (Morrinhos e São Paulo).

Os dados geoquímicos revelam em geral uma natureza subsaturada alcalina e sub-alcalina para muitos corpos similares a granitos tipo A de ambiente intraplaca (Sial 1987, Lafon *et al.* 1992, Tavares Jr 1993), com proveniência de fontes diversificadas.

Os estudos geocronológicos tem demonstrado existir uma seqüência de pulsos intrusivos entre 482 e 587 Ma (Tabela 2.1).

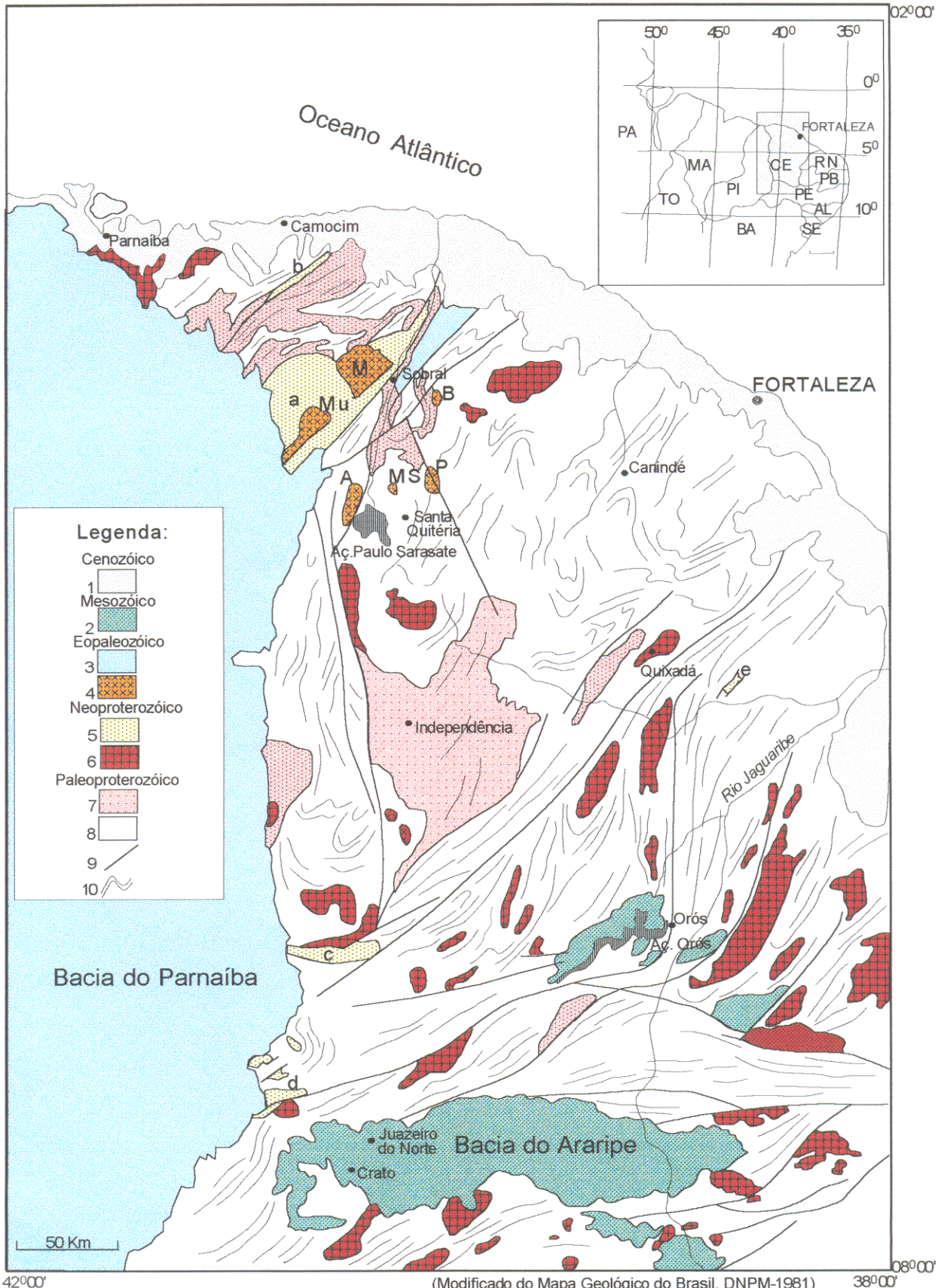


Figura 2.1 – Mapa geológico da porção oeste da Província Borborema extraído de Nascimento (2000): (1) Cobertura Cenozóica; (2) Seqüência Sedimentar da Bacia do Araripe; (3) Seqüência Sedimentar da Bacia do Parnaíba; (4) Plútons Graníticos Cambrianos (M - Meruoca, Mu - Mucambo, A - Anil, P - Pajé, MS - Morrinhos e São Paulo, B - Serra da Barriga); (5) Unidades Vulcano-Sedimentares: (a) Grábens Ubajara-Jaibaras, (b) Jaguaripi, (c) Cococi, (d) São Julião, (e) Banabuiú; (6) Plútons Granitoides Proterozóicos; (7) Seqüência Supracrustal; (8) Complexo Gnáissico-Migmatítico; (9) Lineamentos; (10) traços principais de foliação.

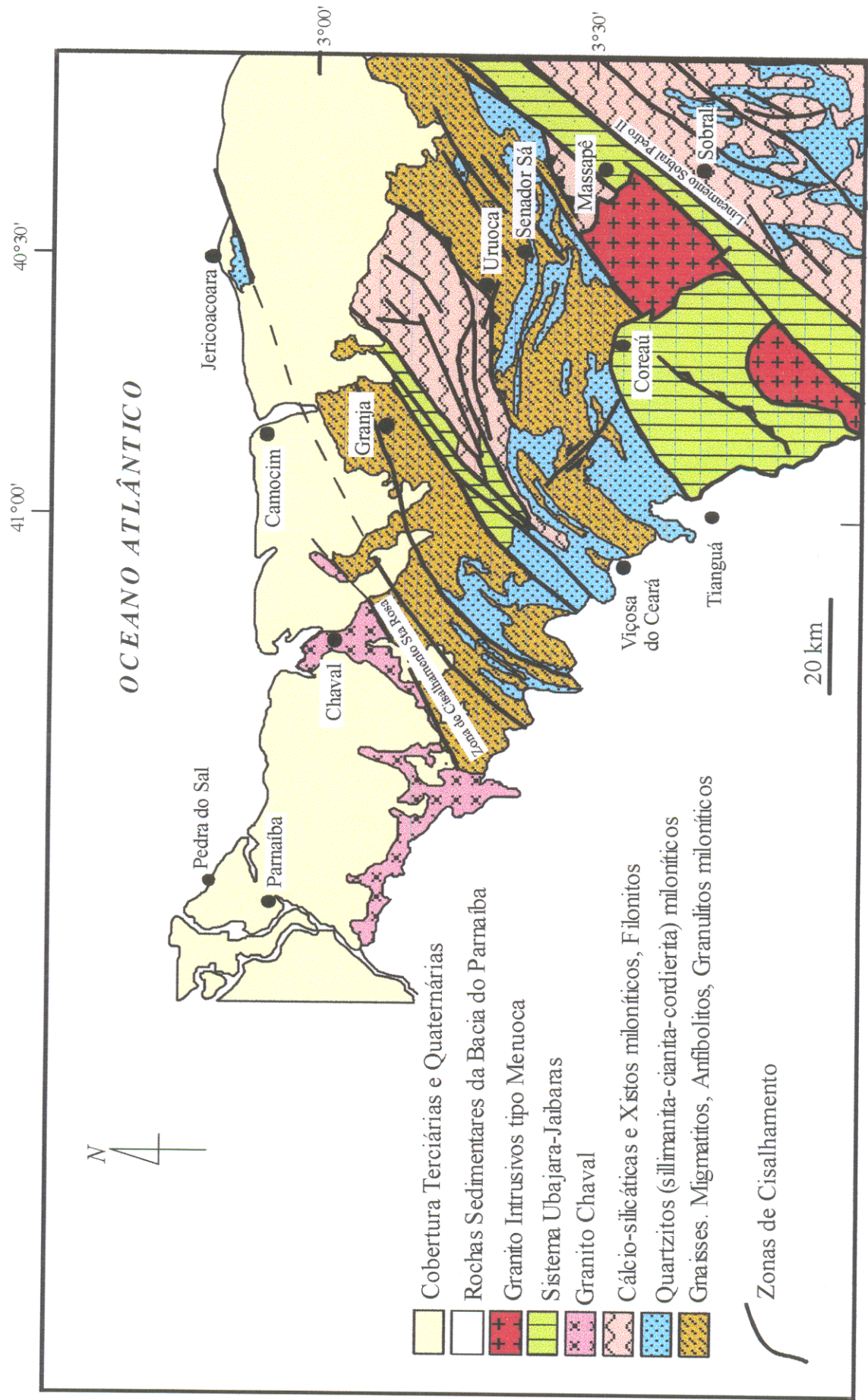


Figura 2.2. Mapa geológico da região noroeste do Estado do Ceará modificado de Abreu *et al.* (1988).

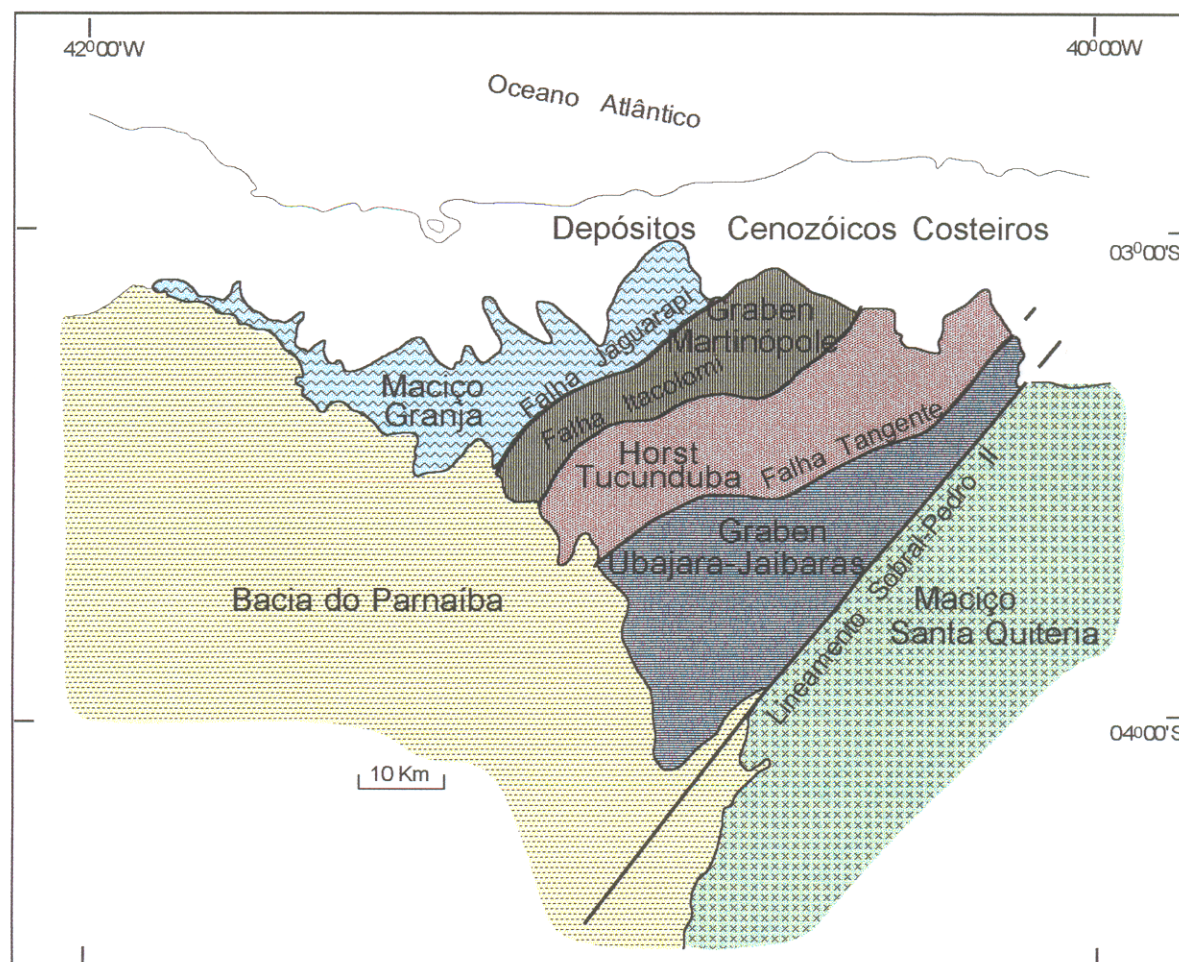


Figura 2.3 – Compartimentação tectônica do noroeste da Província Borborema, destacando o Sistema Médio Coreaú, segundo a proposta de Santo e Neves (1984), extraído de Nascimento (2000).

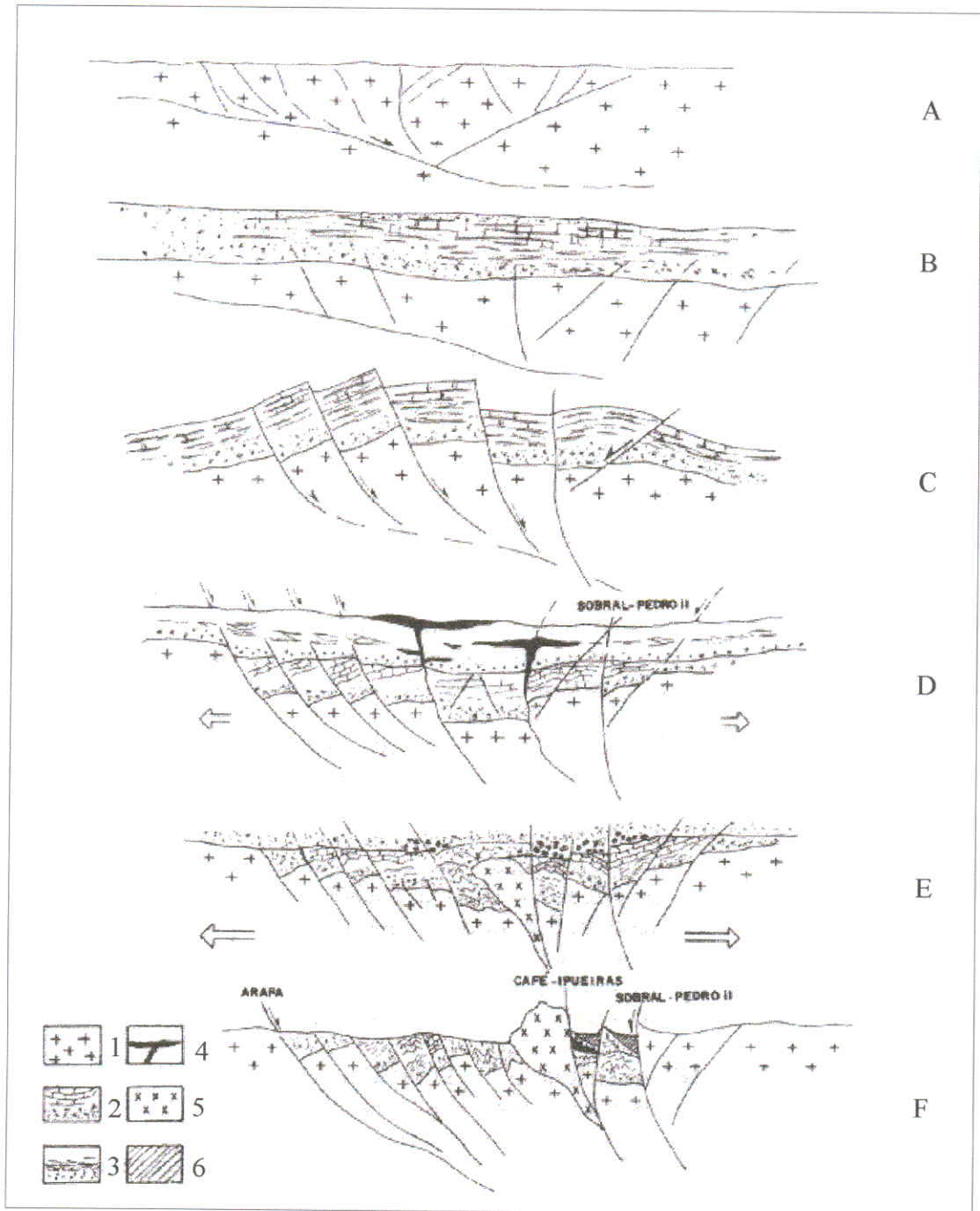


Figura 2.4 - Modelo evolutivo para o Graben Ubajara-Jaibaras segundo Abreu *et al.* (1993): (1) Complexos gnáissico-migmatíticos; (2) Grupo Ubajara ; (3) Grupo Jaibaras ; (4) Suíte Parapuí ; (5) Suíte Meruoca ; (6) Formação Aprazível.

Tabela 2.1. Dados geocronológicos das rochas magmáticas do noroeste do Ceará.

UNIDADE	IDADE (Ma)	METODOOGIA	COMENTÁRIO	REFERÊNCIA
Granito Chaval	512±12	K-Ar (biotita)		Almeida <i>et al.</i> (1967)
	507±27 Ri=0.70557±0.00013	Rb-Sr (RT)		Nogueira Neto <i>et al.</i> (1990)
	1990±18	Pb-Pb (zircão)	Idade de colocação do corpo	Gorayeb <i>et al.</i> (1995)
	591±10	U-Pb (monazita)	Idade de cristalização de monazita magmática	Fetter (1999)
Granito Pedra do Sal	627±19	K-Ar (hornblenda)	Idade mínima	Almeida <i>et al.</i> (1967)
Granito Tucunduba	563±17	U-Pb (zircão)	Idade de colocação do pluton	Fetter (1999)
Granito Mucambo	532±6	U-Pb (zircão)	Idade de colocação do pluton	Fetter (1999)
Granito Mucambo	544±15	Rb-Sr (RT)	Idade mínima de cristalização	Sial (1989)
Diques Arocira	562±10	Rb-Sr (RT)	Idade de colocação	Tavares Jr <i>et al.</i> (1990)
Granito Pajé	537±21	Rb-Sr (RT)	Idade de cristalização do corpo	Gorayeb <i>et al.</i> (1991)
Granodiorito Anil	587±19	Rb-Sr (RT)	Idade de cristalização do corpo	Gorayeb e Lafon (1995)
Granito Serra da Barriga	482±8	Rb-Sr (RT)	Idade de cristalização do corpo	Tavares Jr <i>et al.</i> (1991)
Granitóide de Cariré	475±15	Rb-Sr		Lafon <i>et al.</i> (1992)
Diques a oeste do Granito Meruoca	562±19	Rb-Sr (RT)		Sial (1989)
Granito Meruoca	540±7	Rb-Sr (RT)		Novais <i>et al.</i> (1979)
Granitos Morrinhos e São Paulo	480-510	Rb-Sr (RT)	Idade de cristalização	Lafon <i>et al.</i> (1992)
Nefelina Sienito Brejinho	545±11	Rb-Sr (RT)		Nesta dissertação

3. O CONTEXTO GEOLÓGICO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO

3.1. ASPECTOS GERAIS

Na área de ocorrência do Nefelina Sienito Brejinho são encontrados um conjunto de gnaisses relacionados ao Complexo Granja, Granito Chaval, rochas sedimentares do Grupo Serra Grande e sedimentos inconsolidados relacionados provavelmente à Formação Camocim, os quais podem ser visualizados no mapa da Figura 3.1.

3.2. COMPLEXO GRANJA

O plúton estudado encontra-se alojado em um conjunto de rochas gnáissicas, anfibolíticas e quartzíticas (Figura 3.1). Este conjunto abrange tipos rochosos pertencentes ao Complexo Granja.

As rochas deste complexo ocorrem nas porções SW, S e E do plúton Nefelina Sienito Brejinho, caracterizando-se predominantemente por gnaisses para e ortoderivados, e subordinadamente por anfibolitos e xistos, mais ou menos milonitizados.

Estruturalmente as rochas apresentam fortes feições miloníticas posto que estão situadas ao longo da Zona de Cisalhamento Santa Rosa (Figura 3.2). A foliação tem orientação principal NNE-SSW e altos valores de mergulho. Entretanto, atitudes de foliação diferentes destas são observadas próximas ao contato do plúton, onde as direções tendem a acompanhar a borda do corpo (Figura 3.1). Tal situação está relacionada ao alojamento intrusivo do plúton alcalino.

3.3. GRANITO CHAVAL

O Granito Chaval estende-se na porção oeste da área, aflorando em variadas formas de relevo. Em relevos mais expressivos em rochedos expostos, como na Serra do Chumbo/Serra de São Domingos (Figura 3.3), bem como em blocos rolados e na forma de lajedos.

O Granito Chaval é constituído por rochas porfíricas, com destacados fenocristais de feldspato alcalino centi a decimétricos e matriz quartzo-feldspática e, de um modo geral, apresenta marcantes feições miloníticas, estruturalmente coincidentes com as foliações do Complexo Granja (Figura 3.4), que também estão relacionadas à Zona de Cisalhamento Santa Rosa.

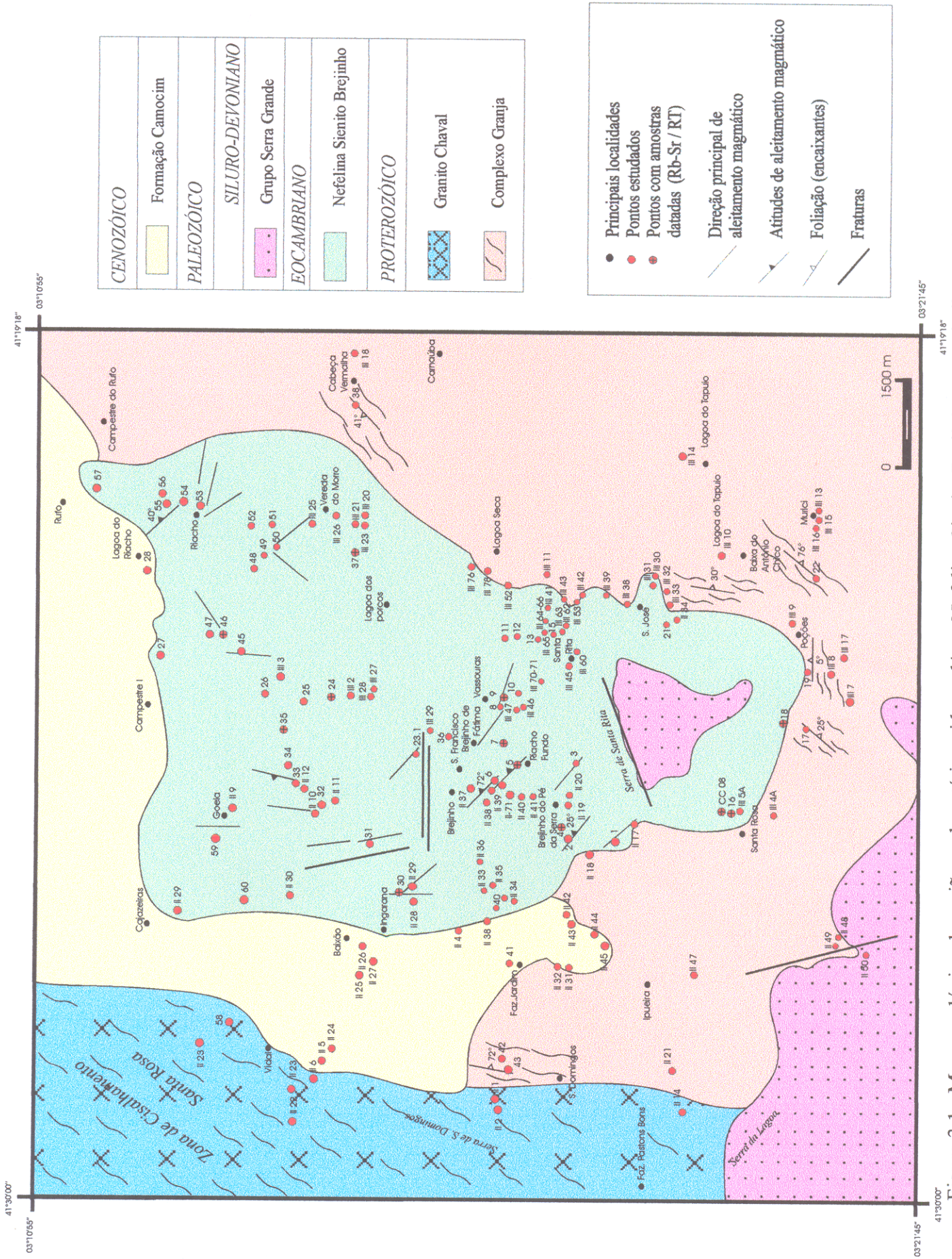


Figura 3.1 - Mapa geológico da região onde está inserido o plúton Nefelina Sienito Brejinho com a indicação dos pontos estudados (Modificado de Gorayeb e Abreu 1997).



Figura 3.2 – Gnaisses e corpos granitóides amendoados (budinados), milonitizados, próximo à localidade de São Domingos, ao longo da Zona de Cisalhamento Santa Rosa.

3.4. NEFELINA SIENITO BREJINHO

O corpo alcalino em estudo apresenta forma grosseiramente triangular, com dimensões de 16 km de comprimento por 8 km de largura perfazendo uma área de aproximadamente 128 km² (Figura 3.1).

O Nefelina Sienito Brejinho tem sua área de maior altitude na Serra de Santa Rita, atingindo cotas de aproximadamente 400 m (Figura 3.5) onde está parcialmente coberto por um morro testemunho de arenitos do Grupo Serra Grande. Nas demais partes do corpo normalmente apresenta relevo rebaixado aflorando na forma de lajedo e também como pequenos morrotes, colinas ou em amontoados de blocos em encostas que são denominados na região de “Mocosal”.

Contatos tipicamente intrusivos com gnaisses são notados nas porções sul e leste do corpo alcalino. Além das margens de resfriamento e presença de xenólitos parcialmente assimilados na borda interna do corpo apresentam zonas métricas de hornfels com neoblastos de granada e biotita orientadas aleatoriamente e recristalização de quartzo e feldspatos (Figuras 3.6 e 3.7).

Nas porções internas do corpo identificou-se, raramente, a ocorrência de enclaves centimétricos de piroxenitos com formas alongadas, geralmente alinhadas acompanhando a orientação magmática (Figura 3.8).

Em outra situação são encontrados níveis métricos de rochas melanocráticas, tipo melasienitos ou piroxenitos alcalinos, com marcante laminação magmática e bandamento rítmico. Estes acham-se intercalados nas outras rochas alcalinas (Figura 3.9).

Outros tipos de enclaves são definidos por microssienitos porfiríticos (xenocristais) com formas ovaladas, envolvidas em rochas alcalinas de granulação mais grossa, o que ressalta uma interação múltipla de magmas alcalinos característicos de mistura de magmas (Figura 3.10).

Outra situação interna do plúton é a presença, muito raramente, de massas pegmatíticas na forma de veios pegmatíticos ou massas irregulares de álcali-feldspato sienitos hololeucocráticos (Figuras 3.11, 3.12 e 3.13).

A estruturação interna do corpo é uma característica marcante em todo o plúton, uma vez que se trata de estruturas de fluxo magmático. A textura/estrutura é tipicamente ígnea sendo definida pela orientação de cristais euédricos de feldspato alcalino, que pela sua forma planar desenha uma verdadeira foliação/bandamento. Esta orientação muitas vezes é ressaltada pelos

minerais máficos, que também pelas suas formas prismáticas e alongadas obedecem a uma mesma orientação preferencial (Figuras 3.8, 3.9, 3.13 e 3.14).

Mais raramente, outro tipo de estrutura encontrada foi um bandamento composicional nas rochas alcalinas, cuja feição é definida por concentrações de minerais félsicos alternados por concentrações de minerais máficos na escala milimétrica e centimétrica (Figuras 3.9, 3.13 e 3.14).

Embora esta laminação magmática seja comum por todo o plúton, sua atitude apresenta variações. A direção predominante é NW-SE normalmente com mergulhos baixos a médios para NE, tais como na porção centro-oeste e nordeste do corpo, apresentando variações para N-S na porção norte.

Outras estruturas presentes no plúton são fraturas e pequenas falhas e, sendo estas as únicas feições deformacionais encontradas. Portanto o corpo não foi afetado por processos tectono-metamórficos como nas encaixantes, sendo geocronologicamente mais novo que os processos de cisalhamento da Zona de Cisalhamento Santa Rosa.

3.5. GRUPO SERRA GRANDE

Esta unidade ocorre predominantemente na porção sudoeste da área, demarcando a borda da Bacia do Parnaíba área que é destacada pelas áreas serranas da Serra da Ibiapaba, onde estão definidas discordâncias erosivas com o Complexo Granja (Figura 3.1).

A Serra de Santa Rita é representada por um morro testemunho do Grupo Serra Grande, assentado em franca discordância erosiva com as rochas alcalinas na porção sul do corpo (Figura 3.1). O Grupo Serra Grande é constituído por arenitos grossos e conglomeráticos, apresentando um certo acamadamento, com porções onde são concentrados níveis arenosos e outras onde concentram-se os níveis conglomeráticos.

3.6. SEDIMENTOS COSTEIROS

Esta unidade ocupa uma faixa distribuída da porção noroeste e ocupando a porção norte da área, cobrindo o contato entre o Granito Chaval e o Nefelina Sienito Brejinho, impedindo assim a definição da continuidade do plúton para norte. Caracteriza-se por uma cobertura de sedimentos arenosos, com variações sílticas e lateríticas. Muitas vezes são depósitos

de areia fina devido a proximidade desta área em relação à região costeira, onde o transporte eólico é de forte atuação.

Estes sedimentos recobrem a porção norte e leste do pluton alcalino justamente onde ocorrem afloramentos mais rebaixados, de baixas cotas topográficas, permitindo assim que estes sedimentos recubram esta porção.



Figura 3.3 – Feições de relevo do Granito Chaval na Serra do Chumbo (Localidade São Domingos).



Figura 3.4 – Aspecto geral do Granito Chaval destacando fenocristais de álcali-feldspato deformados em matriz milonítica, com foliação definida por fitas de quartzo.



Figura 3.5 - Destaque morfológico da Serra de Santa Rita, sustentada por sienitos e nefelina sienitos.



Figura 3.6 – Gnaisses bandados do Complexo Granja, na borda sul do pluton alcalino com efeitos termais de contato. Localidade de Santa Rosa (Ponto ECC-III-4).



Figura 3.7 – Hornfels derivados de gnaisses no contato leste com o corpo sienítico. Notar os agregados de granada e biotita e remobilizações quartzo-feldspáticas.



Figura 3.8 – Enclave de piroxenito orientado paralelamente à laminação magmática do Piroxênio Nefelina Sienito.



Figura 3.9 – Piroxenito destacando marcante laminação magmática e bandamento rítmico (Ponto RC-51).



Figura 3.10 – Enclave ovalado de rocha microsienítica com xenocristais, envolvidos por rocha sienítica, indicando interação de fases líquidas representativas de mistura de magmas (*magma mingling*) (Ponto RC-08).

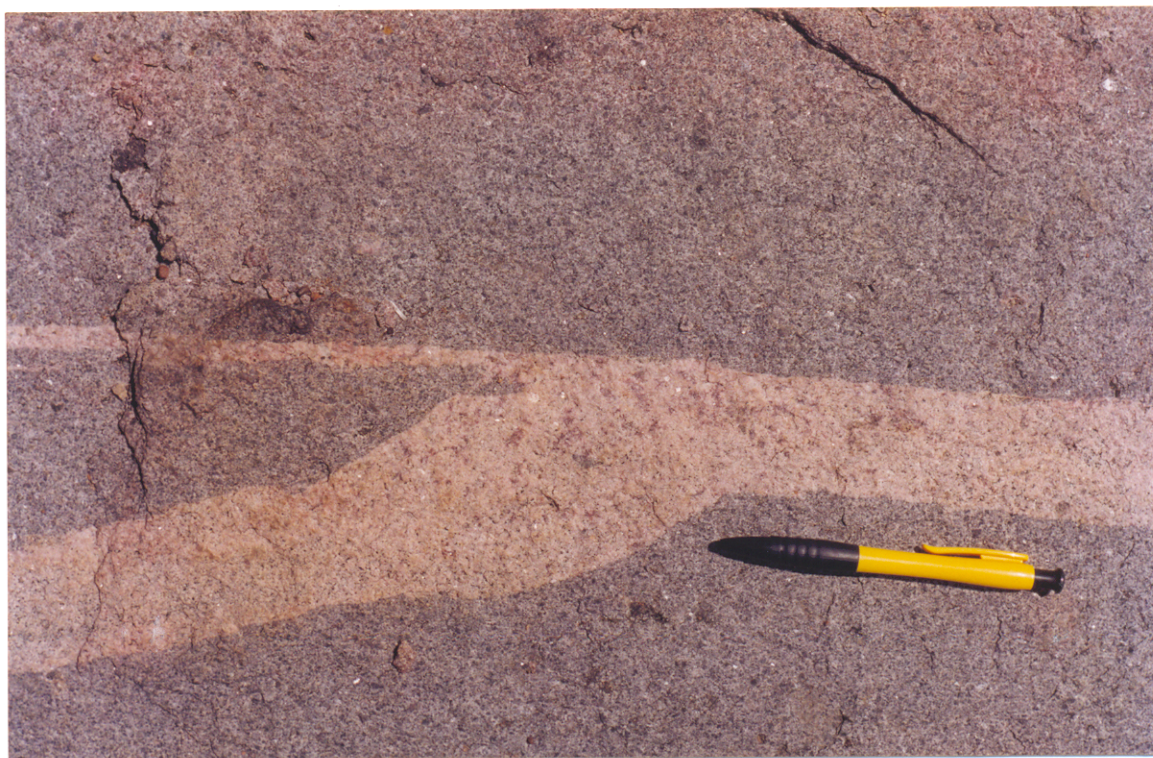


Figura 3.11 – Veios pegmatíticos de leucosienito seccionando a fácies Nefelina Sienito.



Figura 3.12 – Veio pegmatítico de álcali-feldspato sienito com grandes cristais de álcali-feldspatos cortando a fácies Nefelina Sienitos.



Figura 3.13 – Massas irregulares de leucosienito seccionando rochas sieníticas com estrutura laminada magmática, ressaltando concentrações de minerais máficos na zona de contato (Ponto RC-36).



Figura 3.14 – Laminação magmática formada pela orientação de cristais tabulares de álcali-feldspatos e piroxênios alongados. Níveis milimétricos de minerais máficos, alternados com níveis mais félsicos, ressaltam incipiente bandamento (Ponto RC-02).

4. PETROGRAFIA DO NEFELINA SIENITO BREJINHO

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta dados obtidos a partir da análise petrográfica macro e microscópica do plúton alcalino e das rochas encaixantes.

A localização das amostras, tanto as provenientes da coleta realizada neste trabalho quanto aquelas do acervo do Estágio de Campo II - Cocal, são apresentadas na Figura 4.1.

Dos 60 afloramentos estudados durante o desenvolvimento desta dissertação, foram coletadas 47 amostras e em 40 delas foi feito o detalhamento petrográfico em lâminas delgadas.

Usando os parâmetros de cor das rochas, índice de cor, granulação, aspectos estruturais e texturais, associação mineralógica e suas quantificações (análise modal) e relações de campo, foi possível elaborar a cartografia interna do plúton. Individualizou-se no mapa da Figura 4.2 três fácies petrográficas principais além de outras de menor expressão, as quais serão detalhadas adiante.

De um modo geral o Nefelina Sienito Brejinho compõe-se de rochas leucocráticas, geralmente de cor cinza ou marrom, granulação grossa, com variação mais fina em alguns setores da borda externa do corpo e nos limites de fácies. Estruturalmente tem marcantes feições de fluxo magmático definidas pela orientação preferencial de cristais tabulares, euédricos de feldspato alcalino, piroxênio e anfibólio alcalino. Deve-se ressaltar nestas rochas a quase ausência de plagioclásio e quartzo, ou seja ocorrem de forma localizada. Texturas traquitóides são comuns, bem como texturas de intercrescimento entre feldspato alcalino e nefelina.

Utilizando os dados petrográficos, a análise modal e referindo-se às propostas de classificação de Sarantsina e Shinkarev *apud* Sorensen (1974), Streckeisen (1976) e Mitchell (1996) as rochas são classificadas como Clinopiroxênio Nefelina Sienito, Clinopiroxênio Microclina Sienito e Leucosienito.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da análise modal e a Figura 4.3 os diagramas classificatórios de rochas. No diagrama APF (Streckeisen 1976) as rochas ocupam os campos do Feldspatóide Sienito, Álcali-Feldspato Sienito com Feldspatóide e o extremo do campo Álcali-Feldspato Sienito. Uma rocha apresenta quartzo em quantidade inferior a 10%, classificando-se como Microclina Quartzo Sienito.

No diagrama ANeM (Sarantsina e Shinkarev *apud* Sorensen, 1974) as rochas da fácies CpxMS mostram um alinhamento no lado AM do diagrama, sendo que as rochas ocupam

Sienitos Mesocráticos, Melanocráticos até o campo dos Álcali-Gabros, com aumento progressivo do índice de cor. As rochas da fácies CpxNS descrevem um *trend* que mostra uma variação no índice de cor assim como do conteúdo de nefelina, sendo que a maioria situa-se no campo do Nefelina Sienito, e duas no campo dos malignitos.

4.2. DESCRIÇÃO DE FÁCIES

4.2.1. Clinopiroxênio Microclina Sienito (CpxMS)

As rochas que caracterizam esta fácies foram identificadas em um grande número de afloramentos e constitui-se numa das mais abundantes do corpo alcalino, em termos de distribuição cartográfica. Ela aflora na porção centro-sul do corpo, na porção nordeste e também no noroeste do plúton (Figura 4.2).

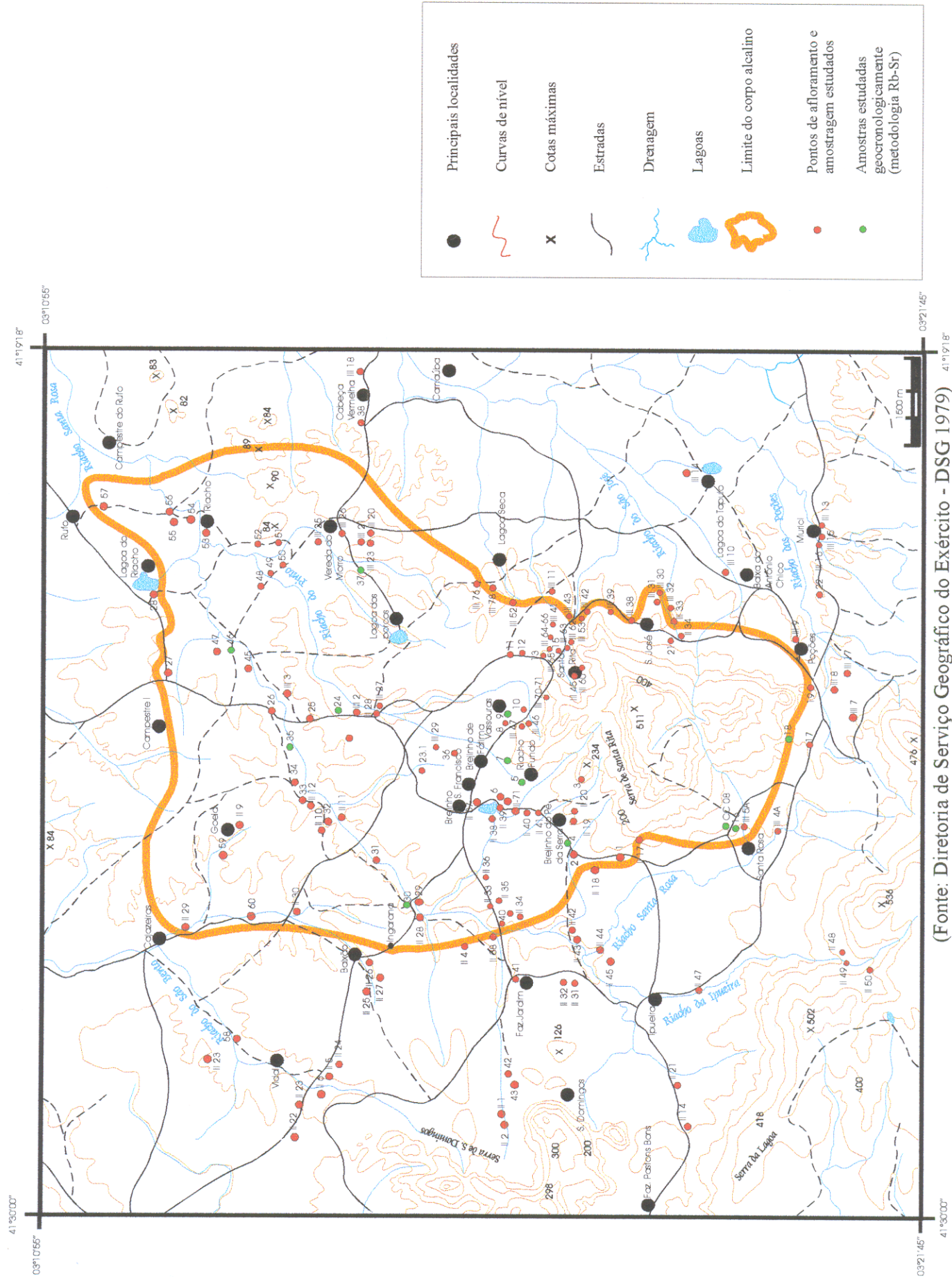
Constituem rochas de cor marrom, com variações de leucocrática até mesocráticas (M de 15 a 40) e granulação grossa (Figura 3.11 e 3.14).

Texturalmente apresenta textura traquitóide, em que o conjunto feldspato alcalino – minerais máficos, por vezes tabulares e prismáticos alinhados subparalelamente definem uma orientação preferencial indicativa de fluxo magmático (Figuras 3.14, 4.4 e 4.5). De modo mais restrito são encontrados níveis milimétricos com acumulações de clinopiroxênio e biotita. Em alguns casos, como nas lâminas RC-02b, RC-07 e RC-30, a textura é granular hipidiomórfica, entretanto ainda tem indícios de orientação dos cristais de clinopiroxênio (Fig. 4.6).

O conteúdo mineralógico é constituído predominantemente por microclina (~52-89%) e aegirina-augita (3 a 40%), e subordinadamente por Na-anfíbólio, biotita e titanita. Os minerais acessórios são apatita e minerais opacos (Tabela 4.1).

A microclina apresenta-se em formas tabulares euédricas com maclamento carlsbad e xadrez, ou como cristais granulares subédricos (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6). Cristais maiores apresentam intercrescimento pertítico com lamelas dispostas ortogonalmente ao comprimento maior dos cristais. Nestes também ocorrem inclusões aciculares de aegirina-augita e apatita, bem como lamelas de biotita (lâmina RC-02b).

Também como minerais félsicos tem-se ocorrência de plagioclásio do tipo albita, apenas como fases nos intercrescimentos pertíticos, como pequenos aglomerados nos limites dos cristais, ou como bordas trocadas desenvolvidas nos limites entre cristais de microclina.



(Fonte: Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG 1979)

Figura 4.1. Mapa de amostragem destacando os afloramentos estudados e os pontos de coleta de amostras.

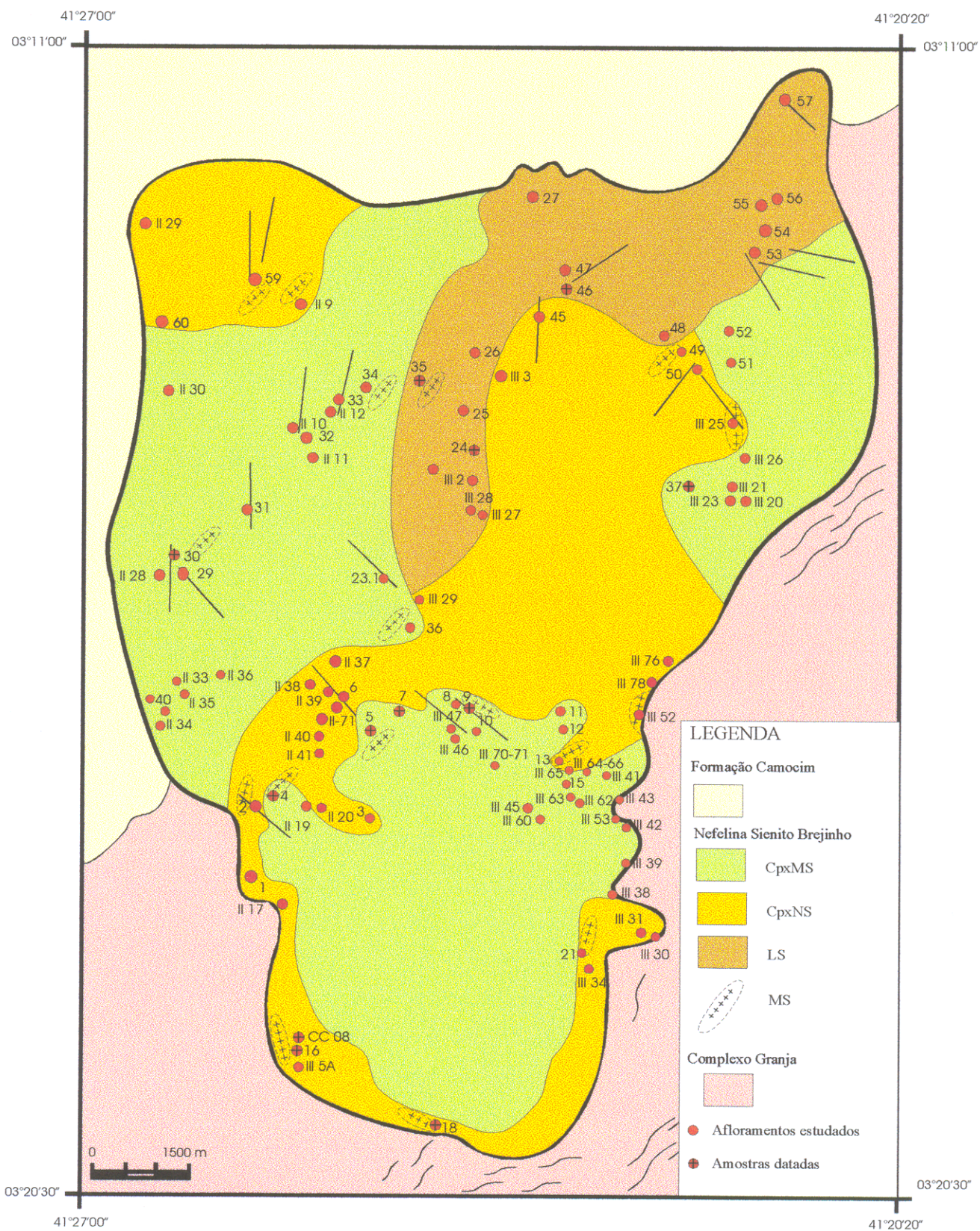


Figura 4.2 - Mapa geológico simplificado com destaque às fácies petrográficas do Nefelina Sienito Brejinho: CpxMS -Clinopiroxênio microclina sienito; CpxNS - Clinoproxênio nefelina sienito; LS - leucosienito e MS - Fácies de borda de resfriamento.

Tabela 4.1 – Análises modais das rochas do Nefelina Sienito Brejinho.

Ordem	Amostras	Mic	Nef	Qtz	Ab	Cpx	Int	Bt	Anf	Ap	Tit	Op	Ac	Total
1	II-20A	39	22.6	----	----	32.4	----	4.2	----	1.1	0.6	----	0.1	100
2	RC-45	32.6	----	----	----	25.5	32.2	6.6	----	0.9	1.0	1.2	----	100
3	RC-02a	17.4	----	----	----	25.4	44.5	9.9	----	1.1	0.5	1.2	0.1	100
4	RC-36b	55.8	11.8	----	----	28.5	----	3.0	----	0.3	0.6	----	----	100
5	RC-49	77.5	----	----	----	7.8	8.1	4.1	----	0.2	1.7	0.4	0.2	100
6	III-25B	74.4	6.0	----	----	18.8	----	0.2	----	0.3	0.3	----	----	100
7	RC-16	63.0	6.0	----	----	26.5	2.4	1.5	----	0.4	0.2	----	----	100
8	RC-09	59.6	----	----	----	21.0	----	16.2	----	1.4	----	0.9	0.9	100
9	RC-33	53.2	----	----	----	21	----	24	----	1.0	----	----	0.8	100
10	RC-36a	54.7	----	----	----	40.4	----	----	1.5	2.4	----	----	1.0	100
11	RC-23.1	71.0	----	----	----	25.0	----	----	2.2	1.0	----	----	0.8	100
12	RC-07	67.7	----	----	----	26.7	----	----	3.6	1.2	0.8	----		100
13	RC-30	65.8	----	----	----	27.7	----	----	3.0	0.8	0.2	----	0.7	100
14	III-71	73.0	----	----	8.0	14.4	----	0.3	2.1	1.7	0.1	----	0.4	100
15	RC-37	77.3	----	----	----	17.3	----	0.8	2.8	1.1	0.6	----	0.1	100
16	RC-04	84.5	----	----	----	6.5	----	3.8	2.3	0.6	----	1.9	0.4	100
17	II-19	89.8	----	----	----	3.1	----	2.0	3.7	0.4	----	1.0	----	100
18	RC-11a	65.0	----	7.0	5.0	9.0	----	2.0	4.0	----	5.0	2.8	0.2	100
19	RC-48	80.4	----	----	2.0	7.0	----	----	----	----	0.9	----	0.7	100
20	RC-57	90.4	7.0	----	----	0.8	----	1.2	----	----	0.4	----	0.2	100
21	RC-54	53.0	----	----	----	----	38.0	6.0	----	----	----	3.0	----	100

Obs: Amostras de 1-7
 Amostras de 8-18
 Amostras de 19-21

Clinopiroxênio Nefelina Sienito
 Clinopiroxênio Microclina Sienito
 Leucosienito

Símbolos:

Mic - Microclina
 Nef - Nefelina
 Qtz - Quartzo
 Ab - Albita
 Cpx - Clinopiroxênio
 Int - Intercrescimento Nefelina-Álcali-feldspato
 Bt - Biotita/Flogopita
 Ap - Apatita
 Tit - Titanita
 Op - Minerais opacos
 Ac - Minerais acessórios (apatita, titanita, minerais opacos)

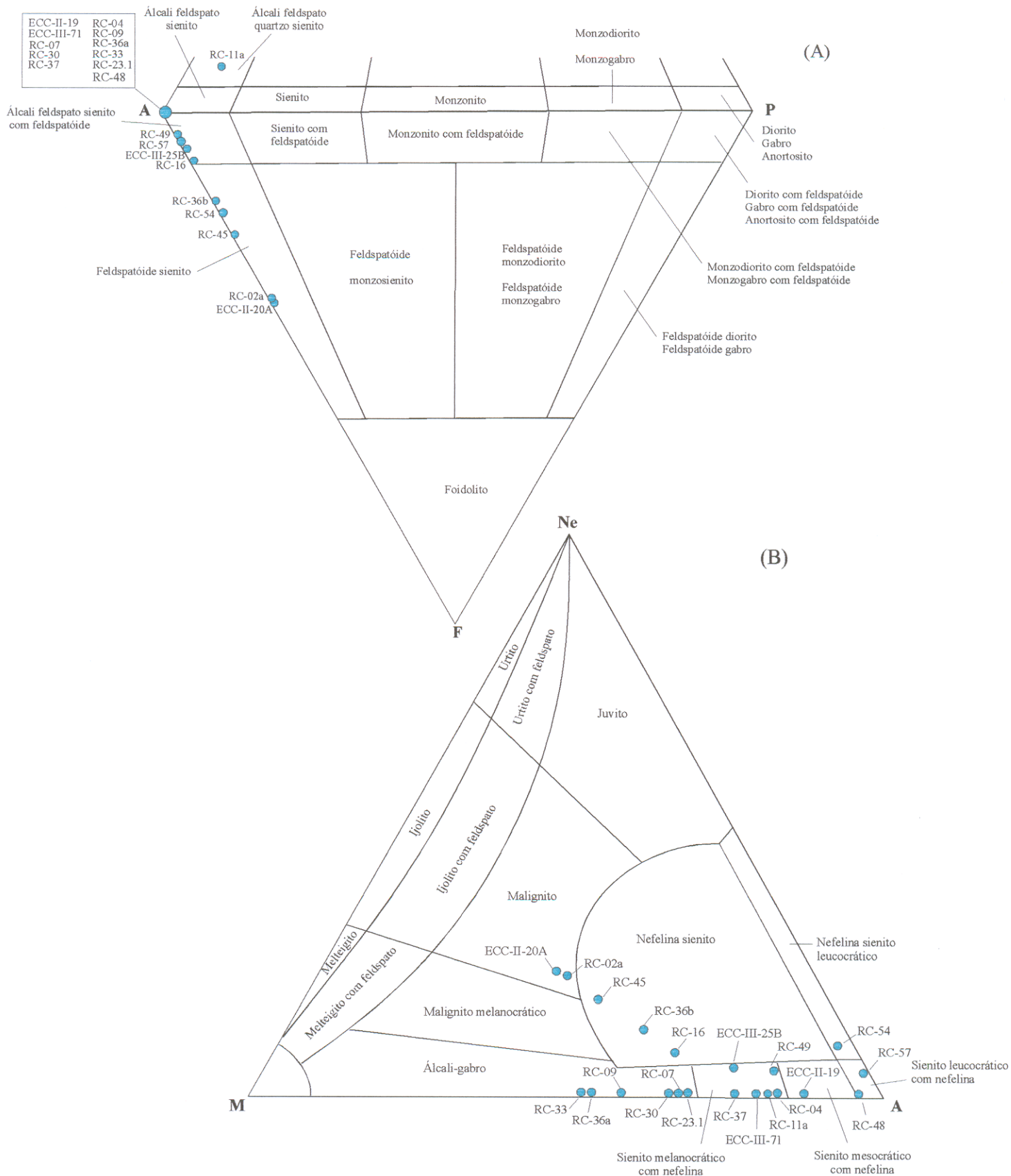


Figura 4.3 - Diagramas de classificação de rochas alcalinas de Streckeisen (1976) (A), e de Sarantsina e Shinkarev *apud* Sorensen (1974) (B), com as rochas do Nefelina Sienito Brejinho da Tabela 4.1.

Nesta fácies, de maneira localizada, tem-se também a ocorrência de quartzo em quantidades inferiores a 10 %.

Os cristais de clinopiroxênio são euédricos ou subédricos, com hábito prismático, ocorrendo geralmente distribuídos homoganeamente na rocha, entretanto podem ocorrer em pequenas acumulações. Suas propriedades óticas indicam pleocroísmo fraco variando de verde oliva (y), verde amarronzado (z) e verde pálido (x), apresenta uma variação quanto ao ângulo de extinção, em algumas rochas $z \wedge c$ 34-57° ou $x \wedge c$ 34-57°, ângulo 2V (+) 70-80°, o que permite classificá-lo como um piroxênio alcalino da série aegirina - aegirina-augita. Esta variação composicional é indicada pelo zoneamento nos cristais, onde nas bordas dos cristais o tom verde é mais intenso (aegirina), suavizando gradativamente para o núcleo dos cristais (aegirina augita) (Figura 4.11).

Em algumas lâminas os clinopiroxênios estão substituídos nas bordas por anfibólios verdes ou azulados (Anf 2) definindo texturas coroníticas (Figuras 4.7 e 4.8). Tratam-se de tipos prismáticos ou fibroso com pleocroísmo moderado com focos azulados, e foram caracterizados como riebeckita e tremolita-actinolita. Nessa mesma situação também encontram-se substituições para biotita e opacos, e em alguns casos clorita.

Outro tipo de anfibólio é encontrado em determinadas lâminas numa outra situação textural e com outras características óticas. Trata-se de anfibólio primário (Anf 1) com pleocroísmo verde amarronzado pálido (z), verde amarronzado (x) e marrom pálido (y), $z \wedge c$ 14°, e que encontra-se em equilíbrio com Na-piroxênio, microclina e biotita (Figura 4.9).

A biotita, de modo semelhante ao anfibólio, apresenta-se de duas formas, como cristais primários (Bt 1) ou participando de reações de hidratação do clinopiroxênio (Bt 2). Ela tem forte pleocroísmo marrom pálido (x) e marrom avermelhado (y, z).

A titanita é um mineral característico desta fácies, variando nas proporções desde traços até 1,2 %. Geralmente apresentam cristais subédricos e euédricos, em formas losangulares ou granulares.

A apatita é o acessório comum em muitas rochas, geralmente ocorrendo como inclusões nos clinopiroxênios.

4.2.2. Clinopiroxênio Nefelina Sienito (CpxNS)

Esta fácies guarda muitos aspectos semelhantes à anterior, sendo entretanto diferenciada pela presença de nefelina, ausência de anfibólio e outras particularidades texturais.

As rochas desta fácies foram definidas em aproximadamente 31 amostras, tendo também uma distribuição abrangente no plúton. Ela ocupa a borda sul e sudeste, a porção centro-leste e noroeste do plúton (Figura 4.2) e juntamente com a fácies CpxS abrange a maior parte da área do corpo. As rochas são leucocráticas (M de 7 a 33), de cores cinza esverdeadas com manchas marrons, granulação variada, algumas vezes média em outras grossa.

Texturalmente dois aspectos são marcantes nas rochas desta fácies: a textura traquitóide e as texturas de intercrescimento entre nefelina e feldspato alcalino.

A textura traquitóide, comum à todas as rochas desta fácies, é definida pela orientação paralela e subparalela de cristais de feldspato alcalino e clinopiroxênio (Figuras 4.10 e 4.11) bem como de outros minerais lamelares ou prismáticos.

As texturas de intercrescimento entre nefelina e feldspato alcalino por vezes tem grande abrangência nas rochas estudadas. Em geral ocupam os interstícios dos cristais de clinopiroxênio e álcali-feldspato (Figuras 4.12 e 4.13) caracterizando fases tardi-magmáticas na evolução cristalina destas rochas. Ao menos três aspectos morfológicos são identificados, um deles assemelha-se a intercrescimentos gráficos (Figuras 4.12 e 4.13), outro define texturas simplectíticas tipo impressão digital (*fingerprint* ou *dactylotypic*) (Figura 4.14) que são encontrados em muitos exemplos de rochas alcalinas (Smith 1974, Gittins *et al.* 1980), e finalmente intercrescimento nefelina-álcali-feldspato tipo pertítico (Figura 4.15). Maiores detalhes dessas texturas e o seu significado serão abordados em itens posteriores.

O conteúdo mineralógico das rochas da fácies CpxNS é composto essencialmente por álcali-feldspato, clinopiroxênio e nefelina. Em quantidades menores estão presentes biotita e titanita e, acessoriamente apatita e opacos. Localmente tem-se presença de melanita.

Os álcali-feldspato são do tipo microclina e definem cristais euédricos, predominantemente com hábito tabular paralelo à face (010) com formas cristalinas “achatadas”, que agrupadas paralelamente chegam a definir uma trama alinhada resultando numa espécie de foliação magmática (textura cumulativa).

Os maclamentos são predominantemente do tipo carlsbad associado ao xadrez e raramente baveno (Figuras 4.10 e 4.16). Em alguns casos (lâminas CC-08 e ECC-III-52b) cristais

maiores de álcali-feldspato, envolvidos pela trama orientada, apresentam um zoneamento que é realçado por trilhas de inclusões de clinopiroxênio (Figuras 4.16 e 4.17). Neste caso as bordas dos cristais são muito irregulares. Estes tipos provavelmente cristalizaram precocemente e foram afetados por corrosões magmáticas posteriormente.

A nefelina, de um modo geral, apresenta-se intercrescida com álcali-feldspato, conforme descrito anteriormente, entretanto também ocorre como cristais individuais, anédricos, o que caracteriza pelo menos duas situações na cristalização deste mineral. Destes cristais individuais, em alguns casos (amostras RC-16, CC-08, III-52b, III-05a), apresenta-se com cristais euédricos e subédricos.

Normalmente a nefelina encontra-se alterada para mica branca e argilominerais (Figuras 4.18 e 4.19). Os cristais individuais de nefelina também contém inclusões de minerais opacos e clinopiroxênio.

Os clinopiroxênios de um modo geral encontram-se orientados, acompanhando a trama foliada da rocha. Em determinadas porções ocorrem em acumulações de cristais definindo textura cumulativa que pode ser acompanhado de biotita, opacos e titanita (Figuras 4.20 e 4.21).

Os clinopiroxênios tem hábitos prismáticos definindo normalmente cristais euédricos e subédricos. Apresentam leve pleocroísmo verde, $\chi \wedge c$ 11° , $2V (+)$ $\sim 75-80^\circ$. Tais características permitem classificá-los como Na-piroxênio do tipo aegirina-augita, e duas feições texturais/cristalográficas são encontradas. A primeira refere-se a cristais relativamente maiores, euédricos, geralmente contendo inclusões de apatita, titanita e biotita (?) (Figura 4.22), que apresentam zoneamento composicional e o núcleo é verde-amarelado, intensificando a cor verde em toda a zona da borda, caracterizando respectivamente aegirina-augita e aegirina. A outra situação diz respeito aos cristais menores que têm tons verdes intenso, homogêneo, semelhantes aos da borda dos cristais maiores (Figura 4.22).

A biotita tende a acompanhar a orientação geral da rocha e, freqüentemente, está associada ao piroxênios, seja em contato normal com eles, seja como inclusões. Elas formam cristais lamelares subédricos com pleocroísmo forte marrom-claro a marrom avermelhado.

A titanita é um mineral comum neste tipo de rocha e varia suas quantidades desde traços até $\sim 2\%$. Ela forma cristais euédricos e subédricos e ocorre tanto na forma de inclusões como também distribuídos na rocha. São comuns nas formas losangulares ou prismáticas

orientadas segundo a trama geral, podendo também formar cristais esqueléticos (Figuras 4.22 e 4.23).

4.2.3. Leucosienito (LS)

Esta fácies foi delimitada como uma faixa na porção nordeste do plúton. Ocorre também restrita a veios ou massas irregulares cortando as demais rochas microgranulares ou pegmatíticas (Figuras 3.11, 3.12 e 3.13).

As rochas desta fácies destacam-se das anteriores por sua extrema pobreza em minerais máficos, geralmente hololeucocráticas, com índices de cor inferior a 5, guardando entretanto algumas características semelhantes às facies descritas anteriormente. Elas englobam tanto nefelina sienitos quanto álcali-feldspatos sienitos.

São rochas de cor rosada e algumas variações cinzas, com índices de cor variando de 0 a 5, e granulação grossa a muito grossa.

O conteúdo mineral principal é formado predominantemente por microclina e mais raramente nefelina. Os minerais máficos são raros, sendo geralmente Na-piroxênios, podendo este estar ausente, biotita, titanita e Na-anfibólio. Acessoriamente ocorrem minerais opacos, podendo os máficos citados anteriormente serem também inseridos neste grupo.

Os aspectos texturais são evidenciados por feições traquitóides e textura granular hipidiomórfica. Texturas de intercrescimento microclina-nefelina tipo gráfico, impressão digital (*fingerprint*) e vermiforme também ocorrem.

Em uma lâmina (RC-24) foi encontrada em pequenas quantidades a presença de granada. Ela forma concentrações de pequenos núcleos granulares geralmente associados com biotita verde, apatita e titanita, sugerindo formação tardia. Ela tem cor marrom, com variações para marrom avermelhada, sugerindo tratar-se de melanita.

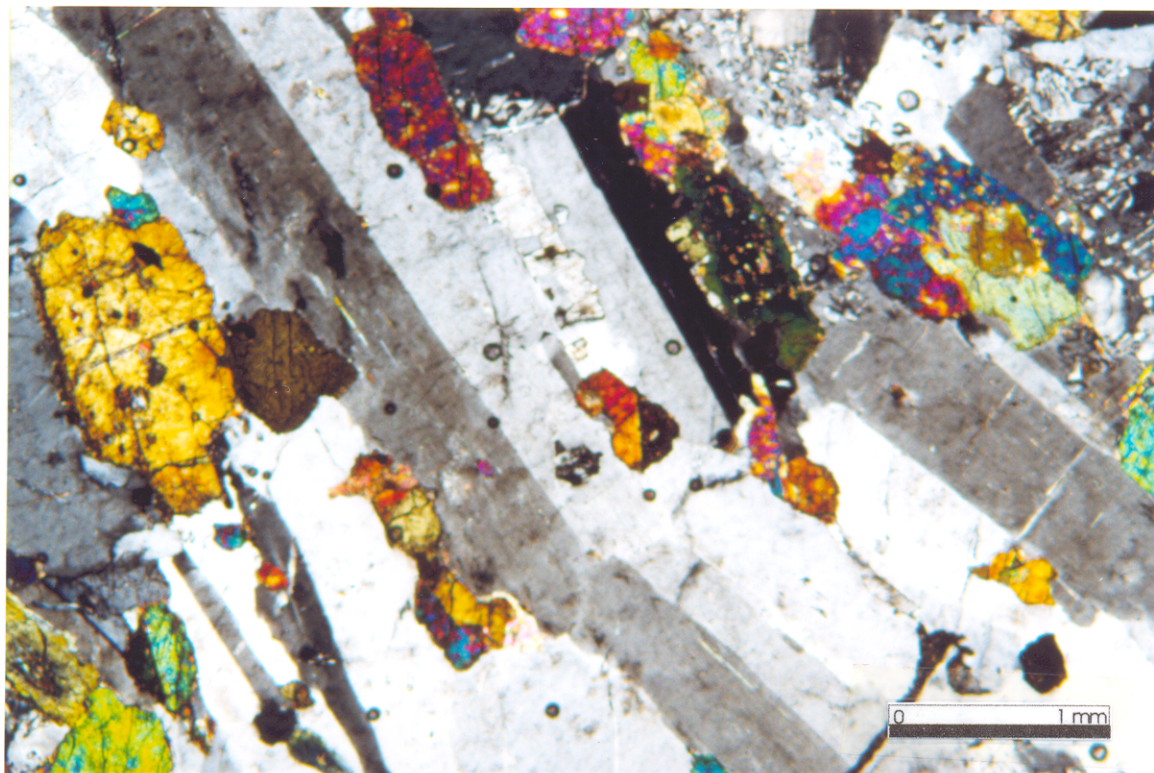


Figura 4.4 – Aspectos da textura traquitóide em CpxMS com cristais tabulares de álcali-feldspato e clinopiroxênio orientados (Lâmina RC-16, NX).

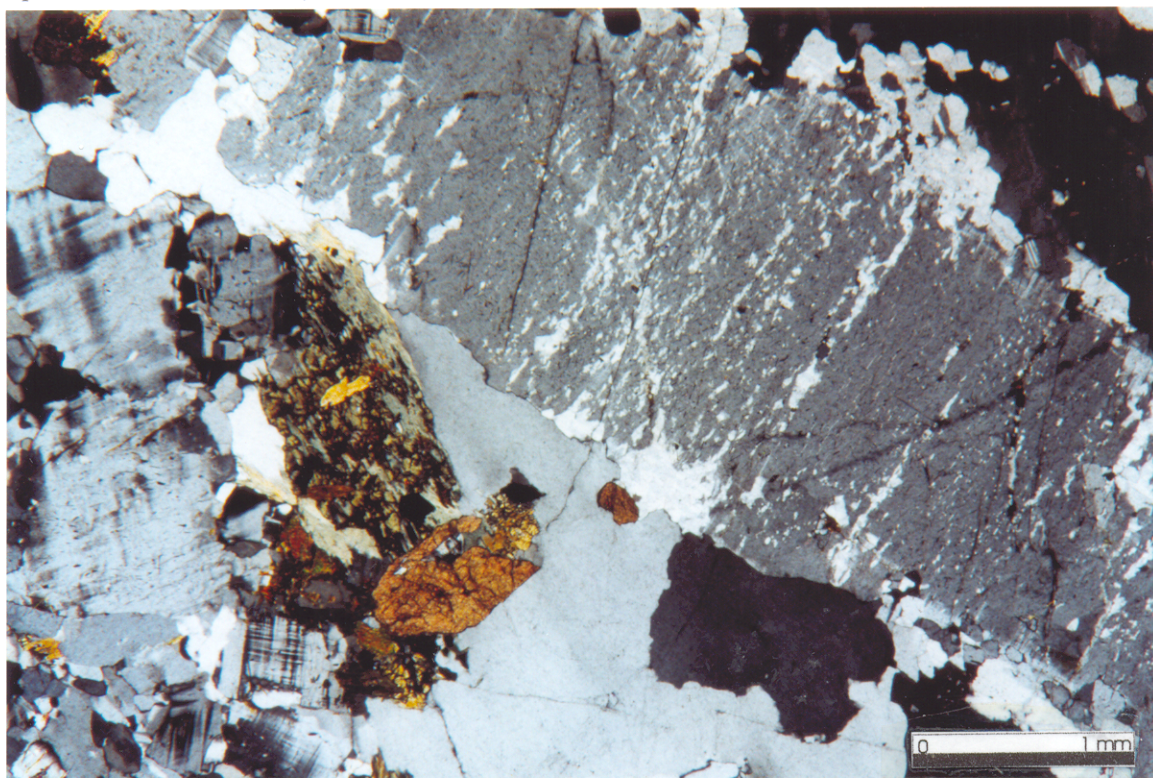


Figura 4.5 – Textura traquitóide em CpxMS com orientação de cristais de microclina pertítica (Lâmina RC-11a, NX).

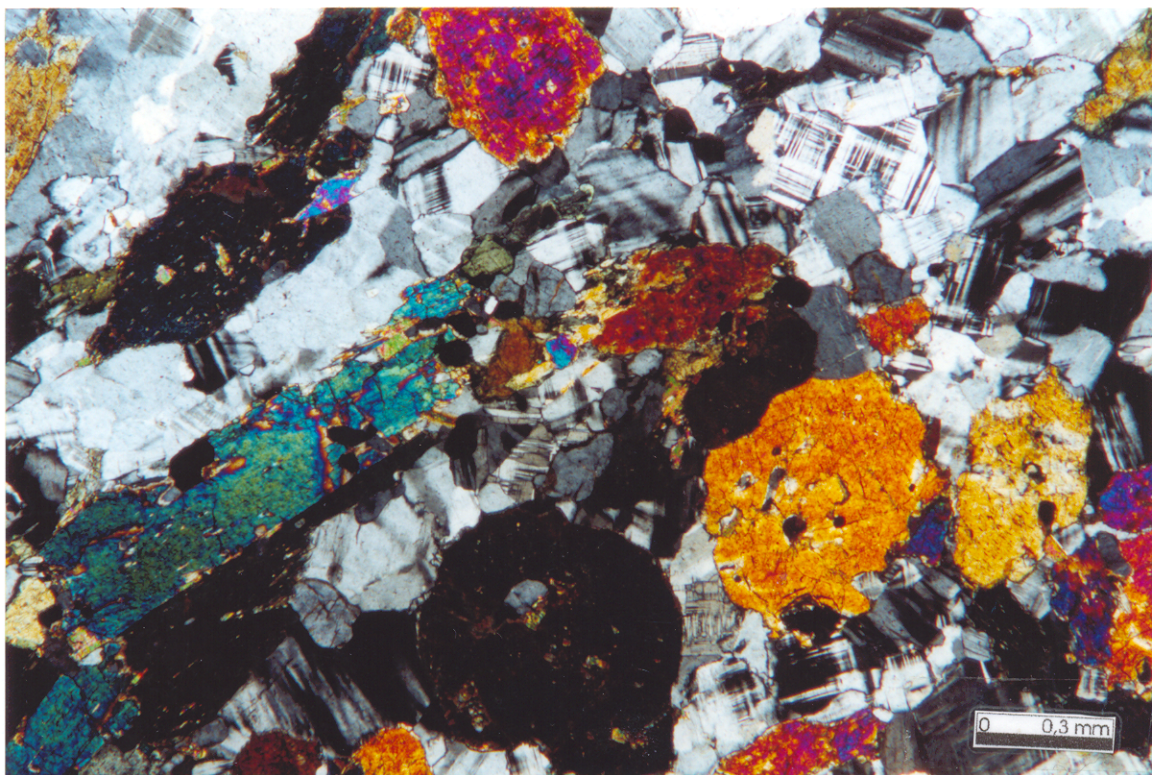


Figura 4.6 – Aspecto da textura granular hipidiomórfica do CpxMS com leve orientação de cristais de clinopiroxênio (Lâmina RC-30, NX).

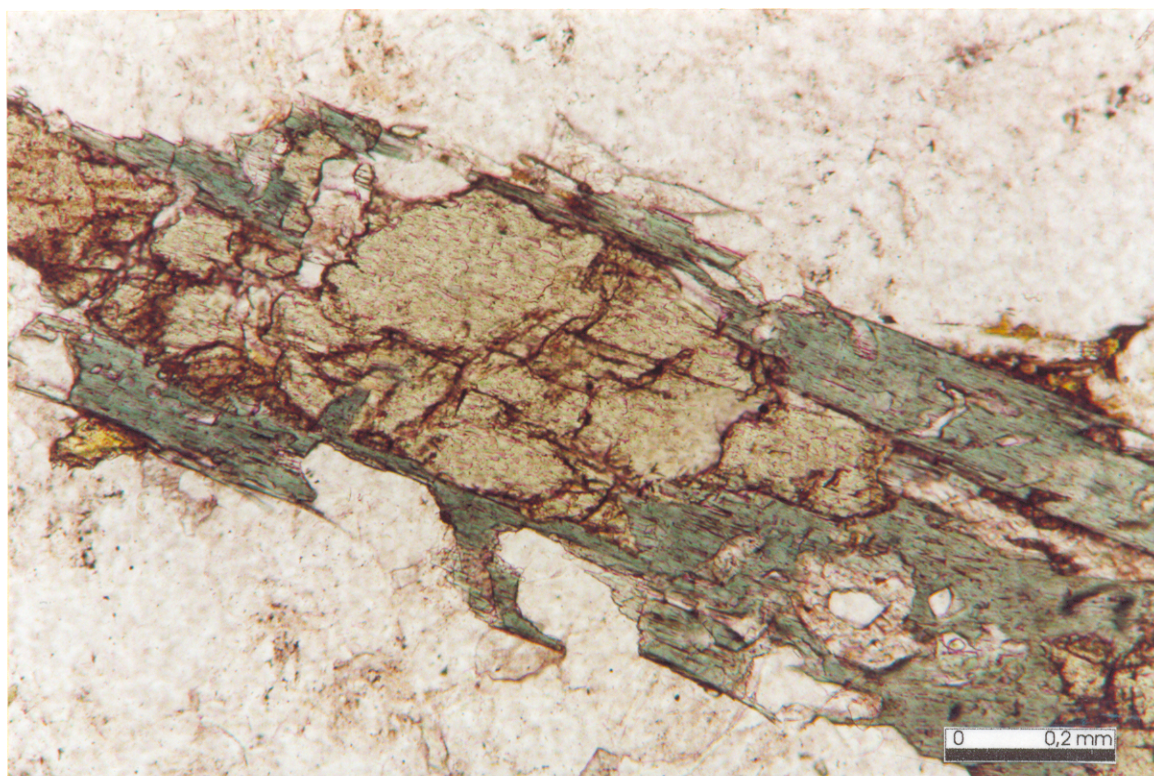


Figura 4.7 – Clinopiroxênio (aegirina-augita) manteado por Na-anfibólio (Lâmina RC-10, NX).

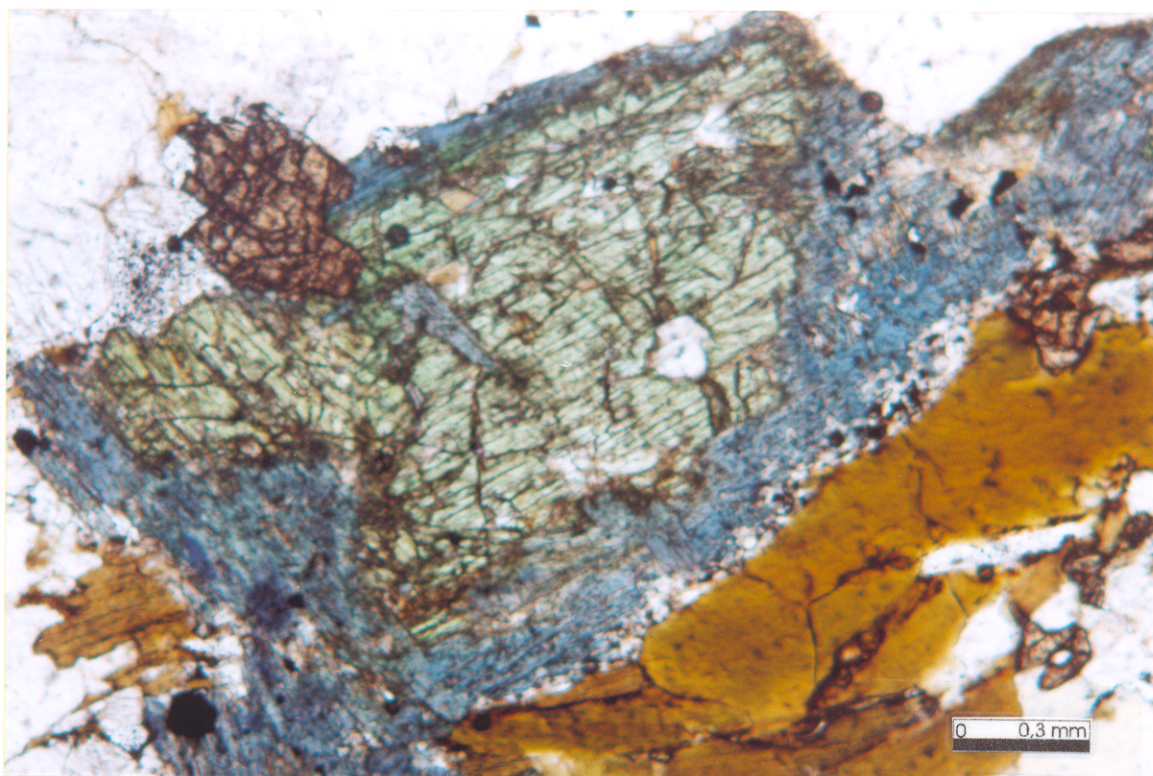


Figura 4.8 – Aegirina-augita mantada por Na-anfíbólio de pleocroísmo azul caracterizando riebeckita (Lâmina RC-05, LN).

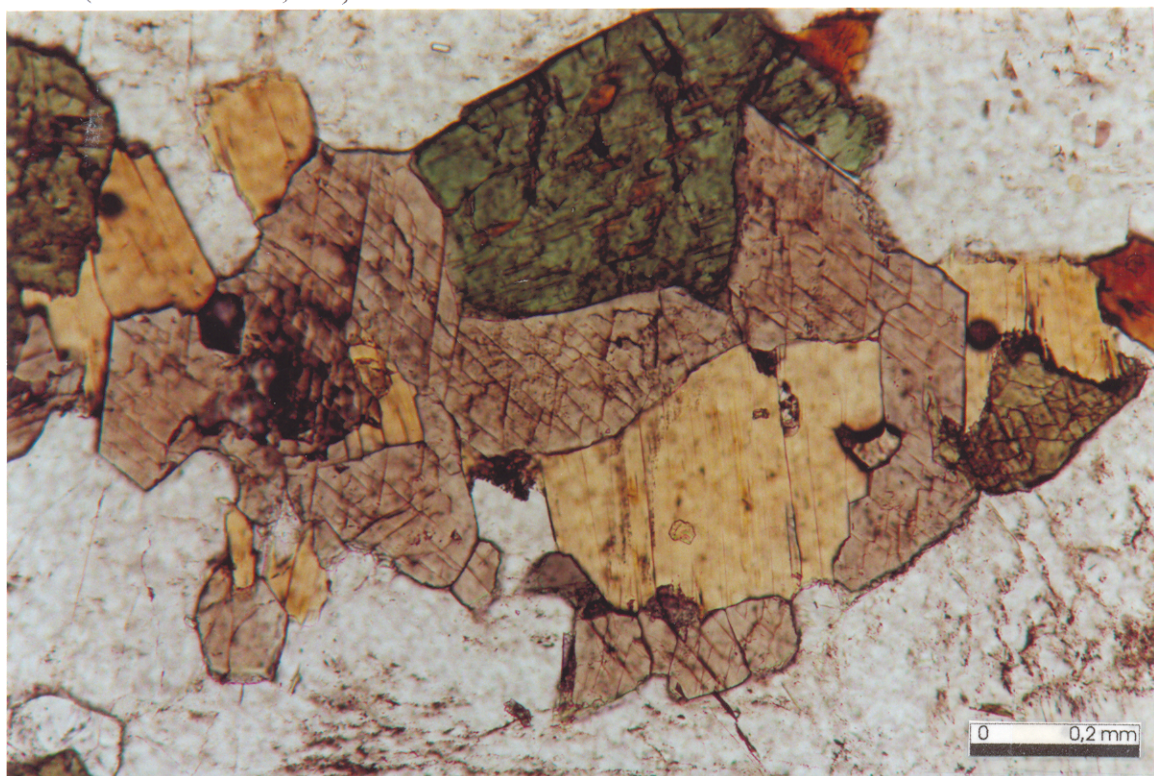


Figura 4.9 – Na-anfíbólio com pleocroísmo marrom (arfvedsonita) em equilíbrio com biotita, aegirina e álcalifeldspato (Lâmina RC-37, LN).

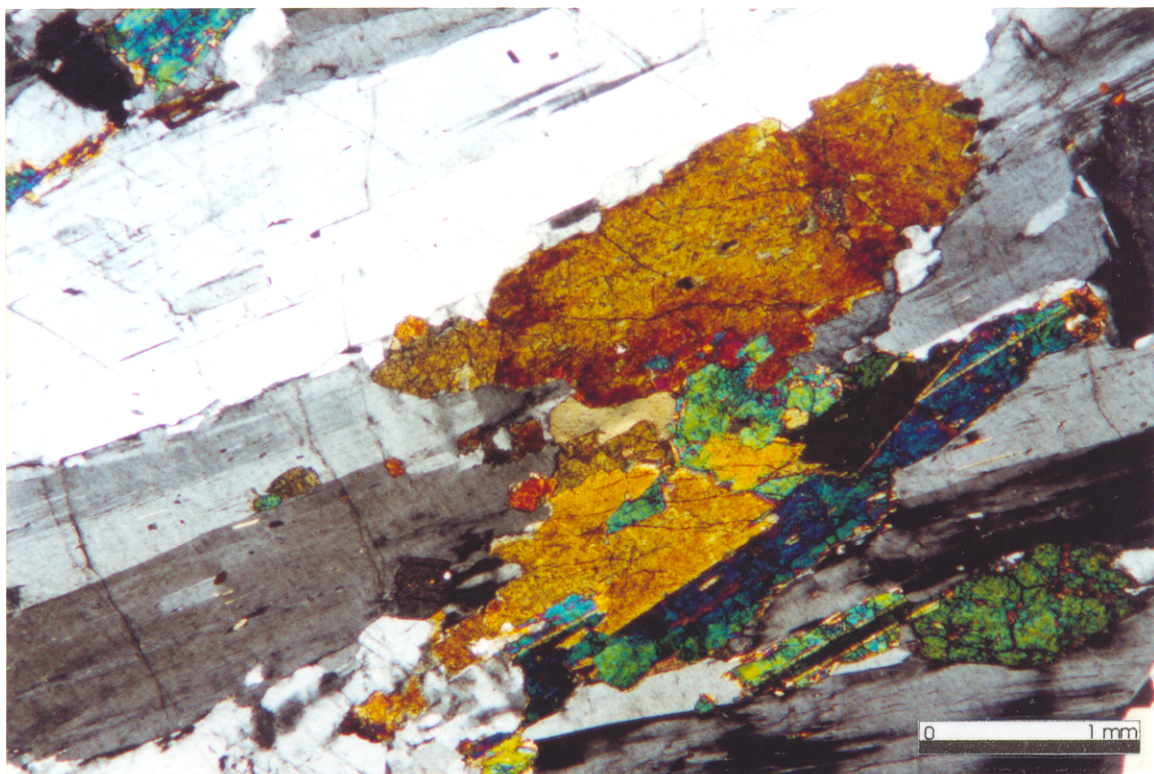


Figura 4.10– Cristais de álcali-feldspato apresentando maclamento carlsbad e, juntamente com clinopiroxênio definem textura traquitóide (Lâmina ECC-III-25B, NX).

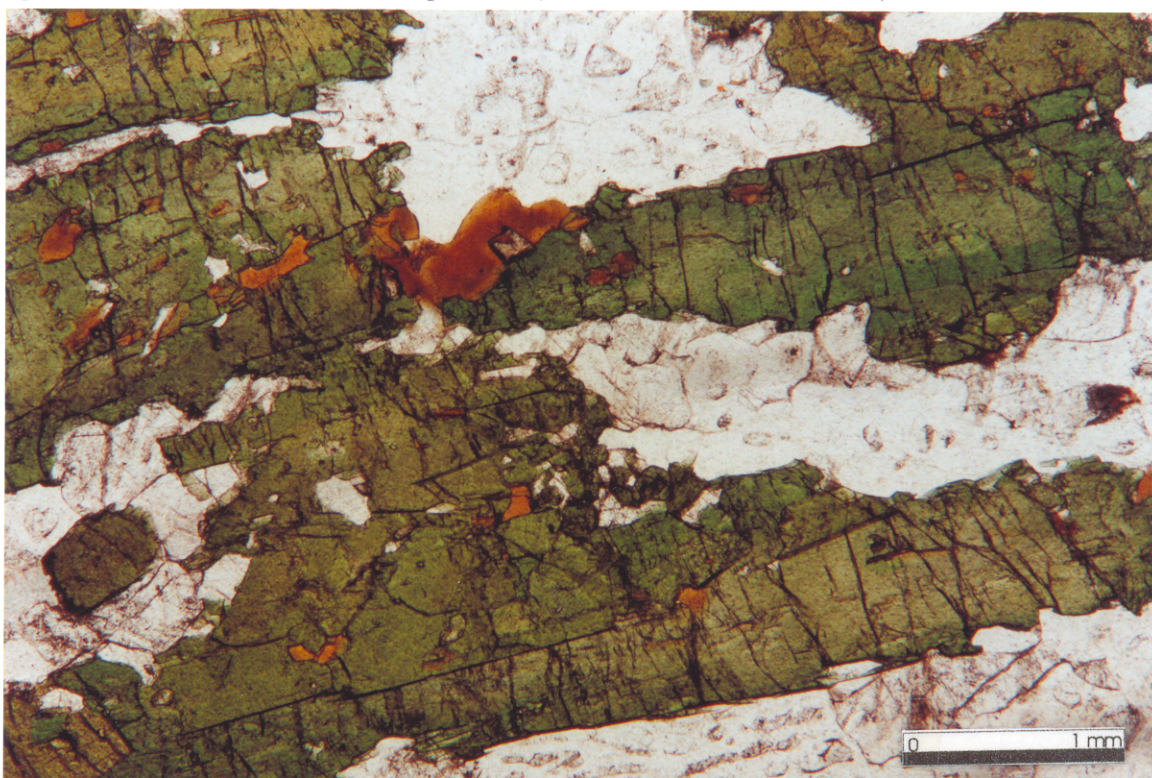


Figura 4.11 – Cristais de clinopiroxênio orientados, com álcali-feldspato e nefelina intertrecidos nos interstícios (Lâmina ECC-III-20a, LN).

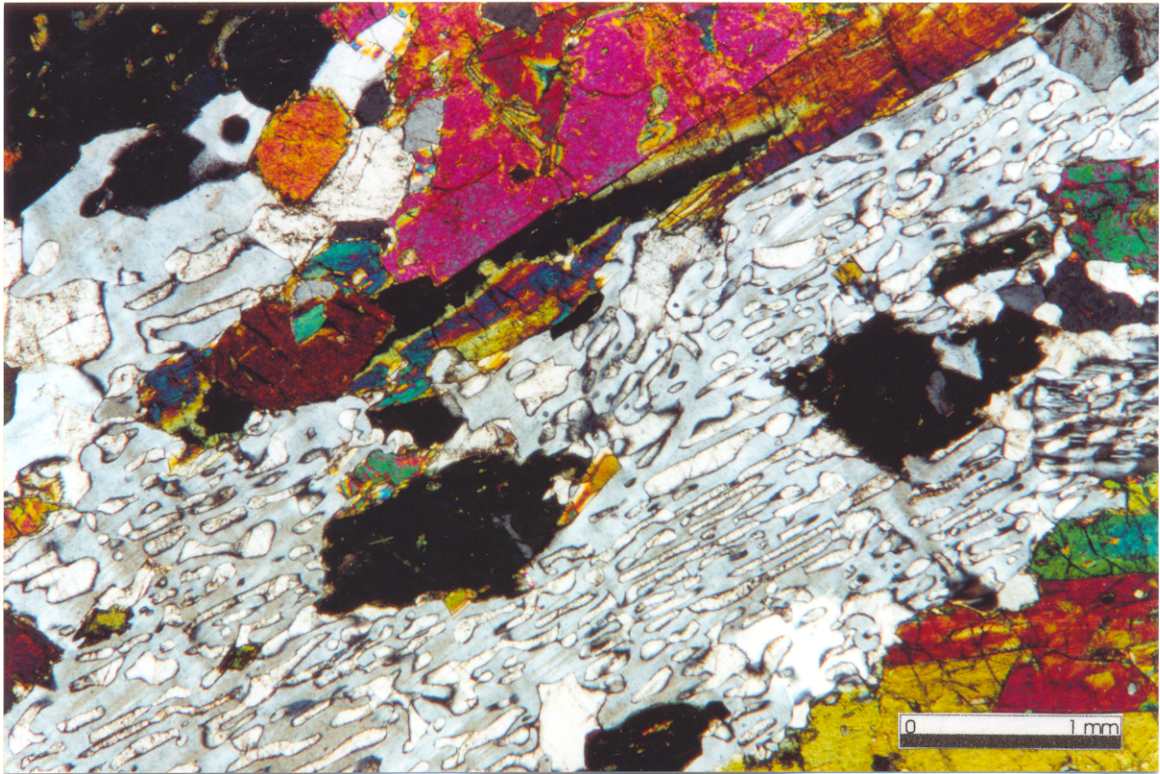


Figura 4.12 – Feição de intercrescimento entre álcali-feldspato e nefelina (Lâmina ECC-III-20a, NX).

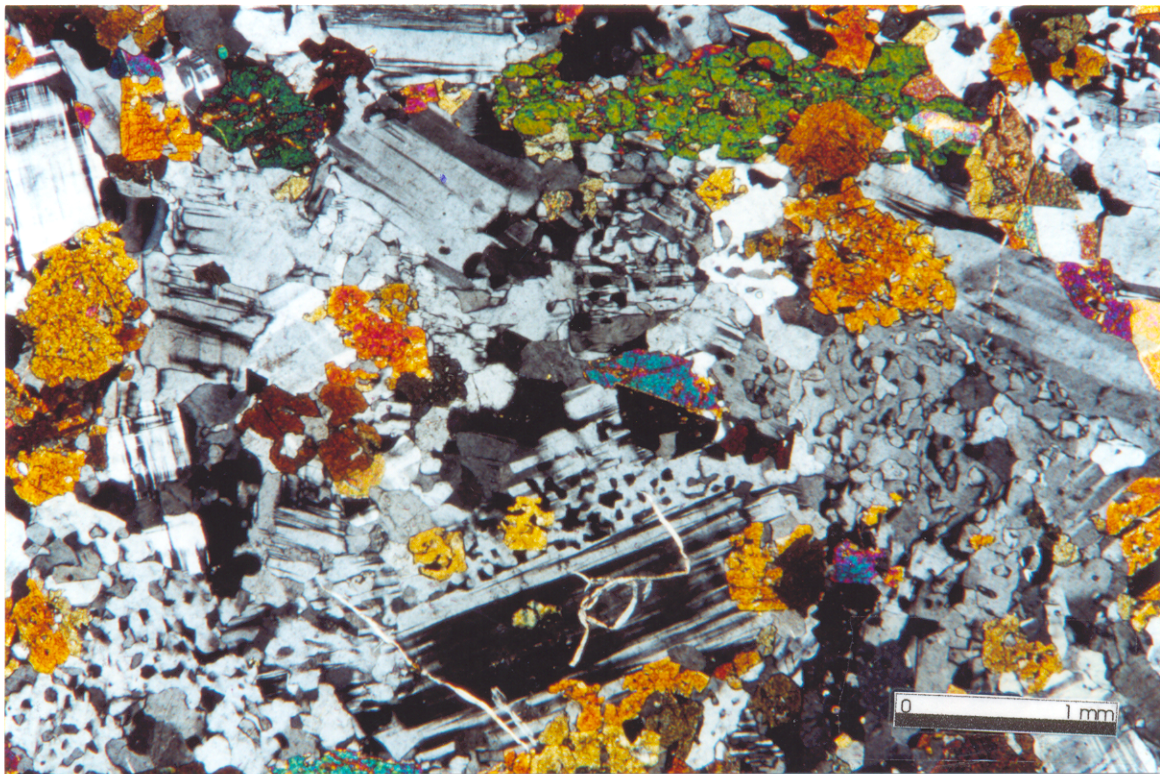


Figura 4.13 – Feição de intercrescimento entre nefelina-álcali-feldspato e raramente clinopiroxênio na borda dos álcali-feldspatos e em porções intersticiais (Lâmina ECC-II-9, NX).



Figura 4.14 – Intercrescimento tipo impressão digital (*fingerprint*) entre álcali-feldspato e nefelina (Lâmina RC-02a, NX).

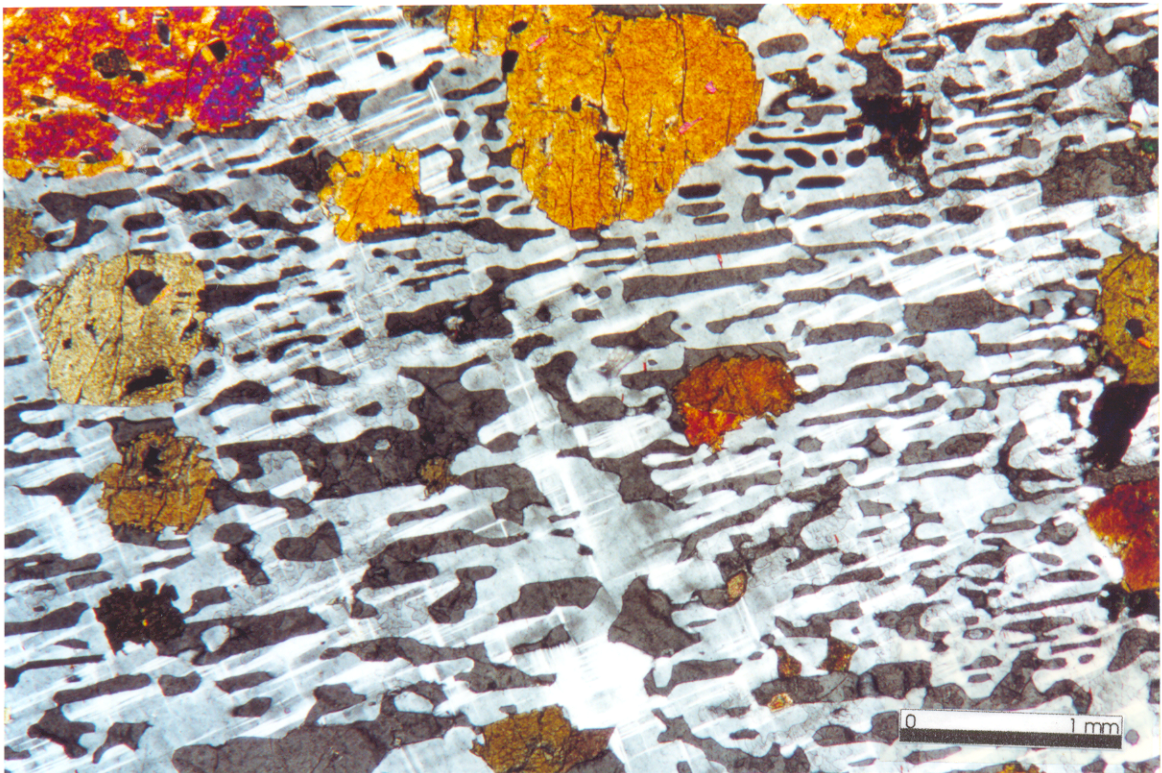


Figura 4.15 – Microclina intercrescida com nefelina orientada, semelhante ao tipo gráfico englobando poiquiliticamente cristais de clinopiroxênio (Lâmina ECC-II-20A, NX).

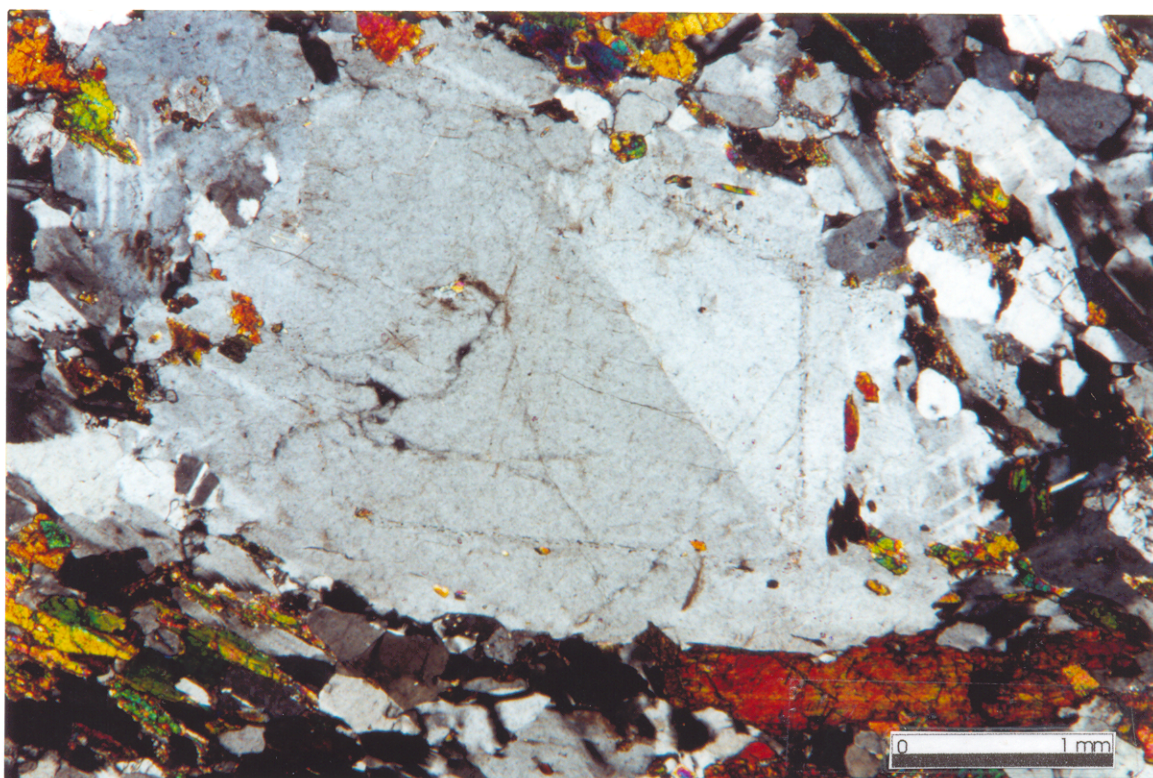


Figura 4.16 – Fenocrystal de álcali-feldspato com maclamento baveno e zoneamento demarcado por trilhas de inclusões de clinopiroxênio (Lâmina ECC-III-52B, NX).

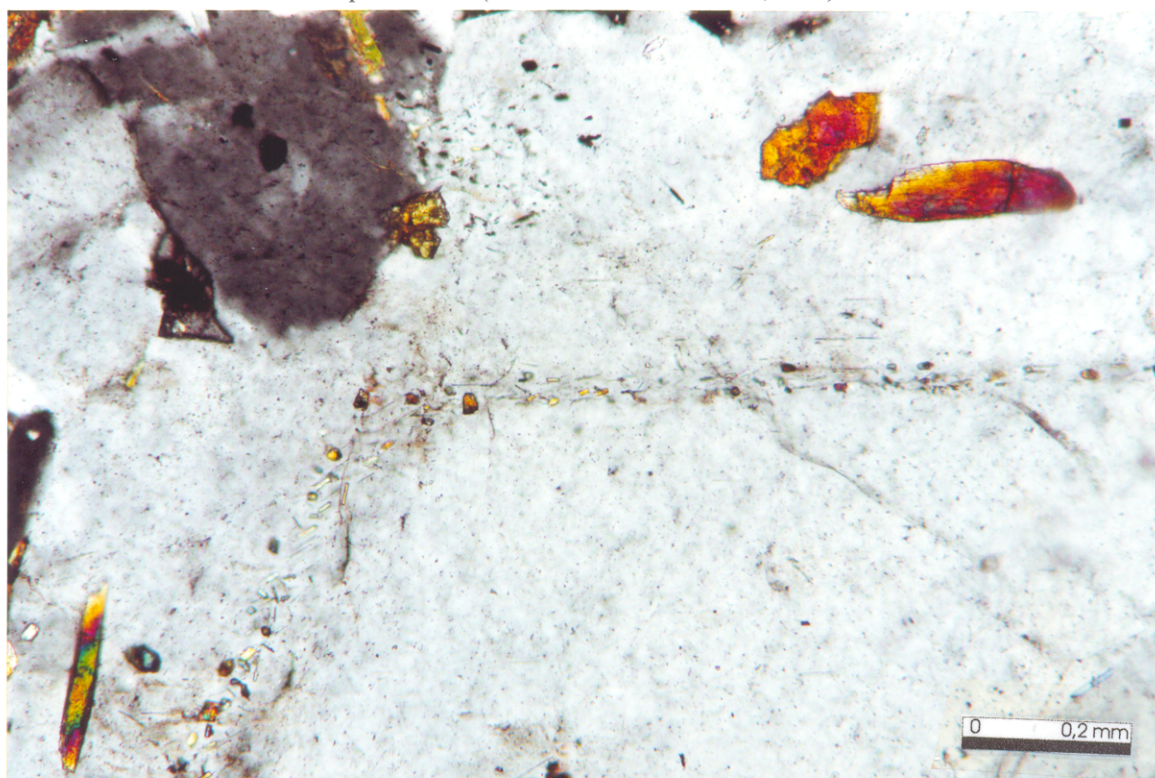


Figura 4.17 – Detalhe da figura anterior destacando pequenos cristais aciculares de clinopiroxênio (Lâmina ECC-III-52B, NX).

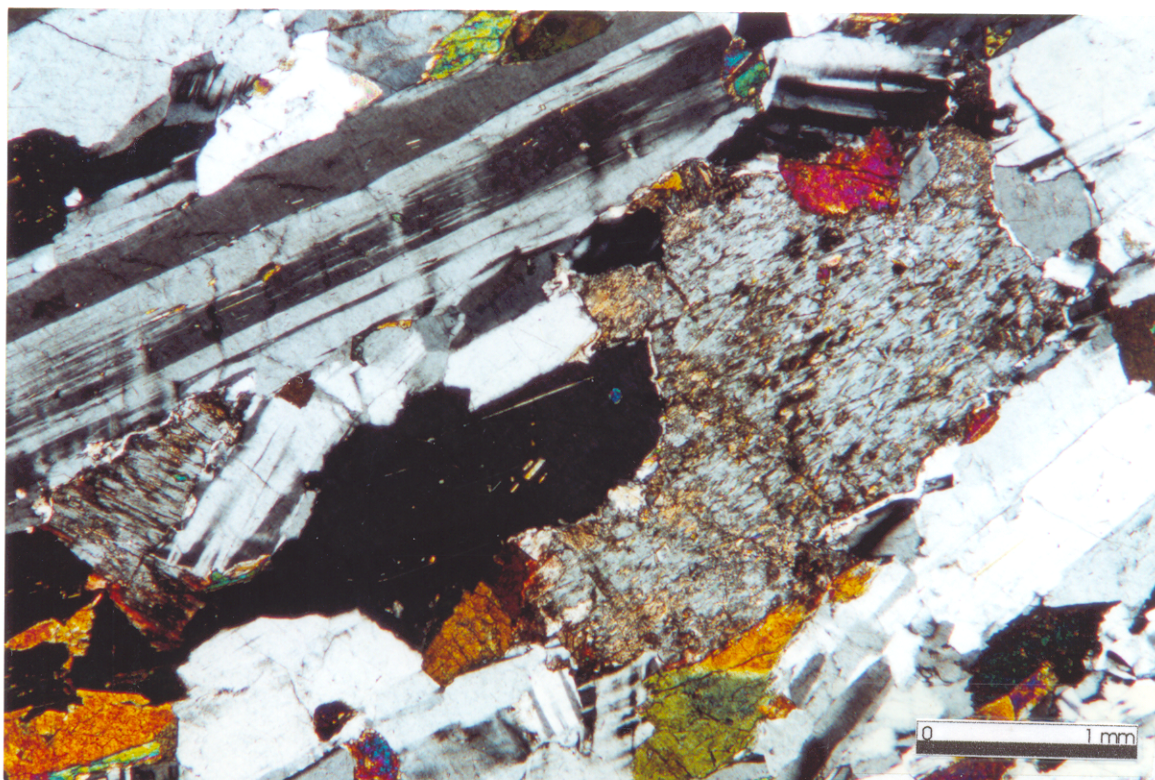


Figura 4.18 – Cristal anédrico de nefelina definindo textura orientada, bastante alterado para mica branca e argilominerais (Lâmina ECC-III-25B, NX).

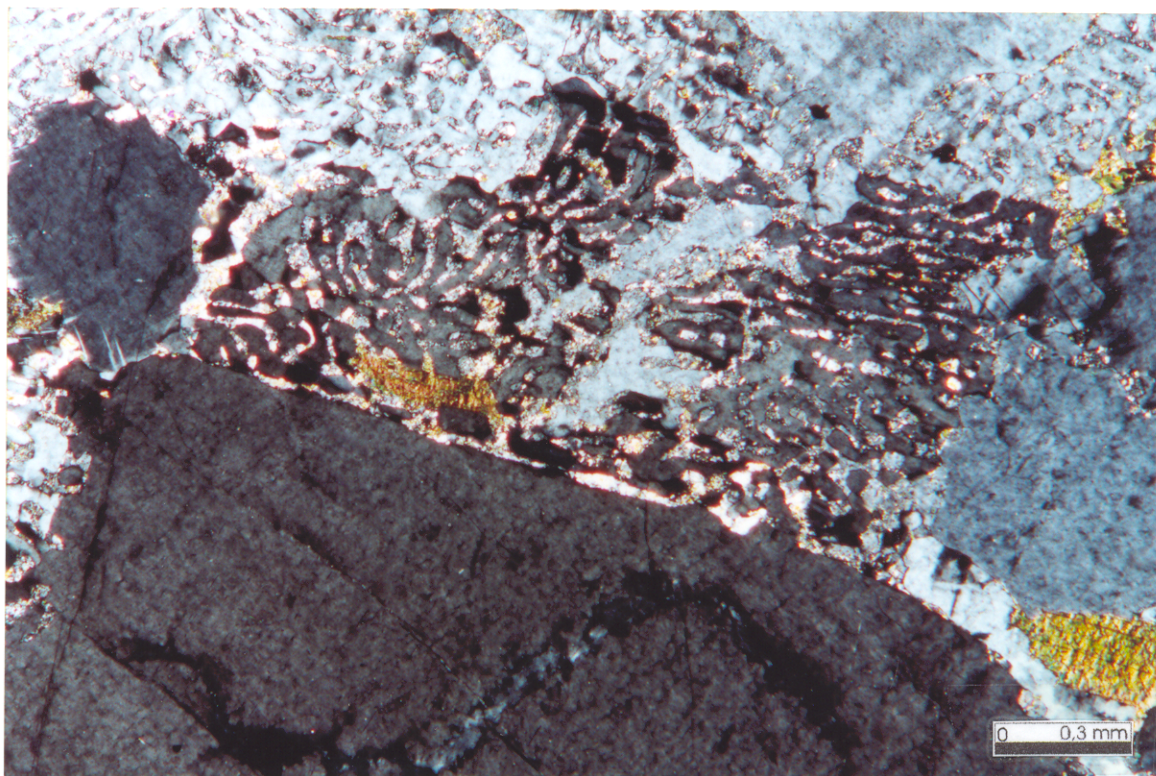


Figura 4.19 – Simplectito álcali-feldspato-nefelina intersticial, com alteração de nefelina para mica branca (Lâmina ECC-III-25A, NX).

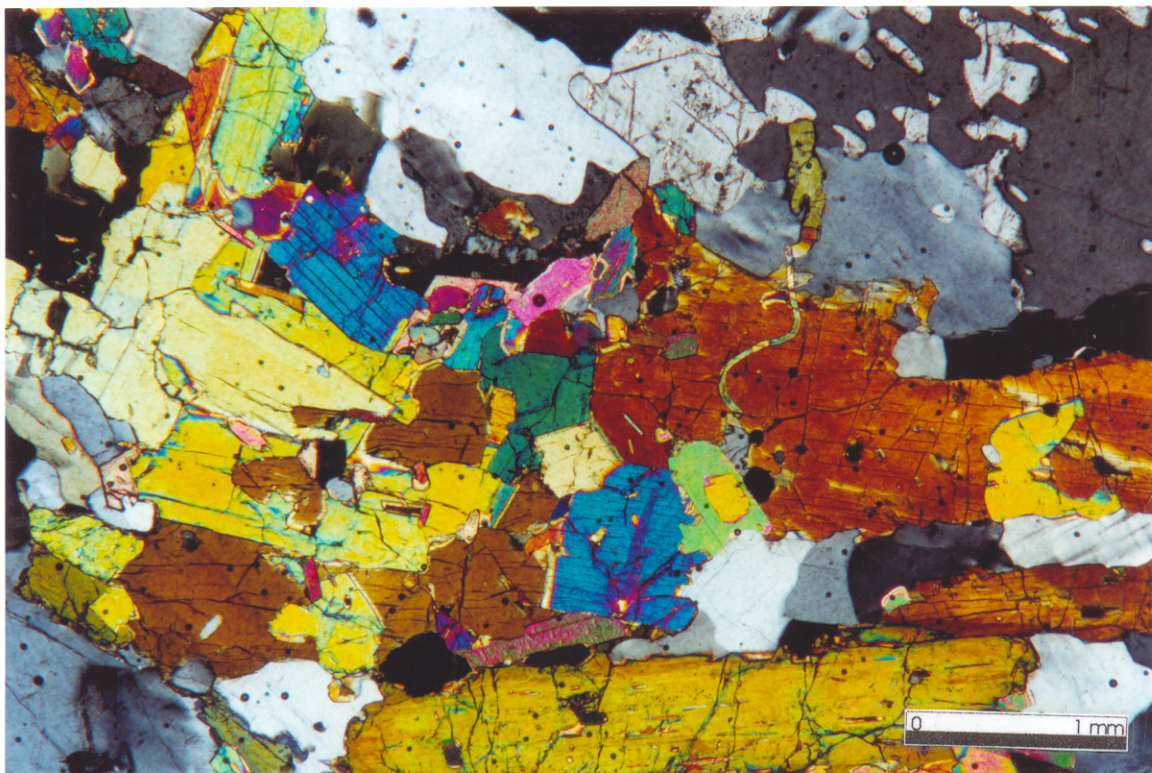


Figura 4.20 – Textura cumulativa com agregados de cristais de clinopiroxênio, biotita, titanita e opacos (Lâmina RC-03a, NX).

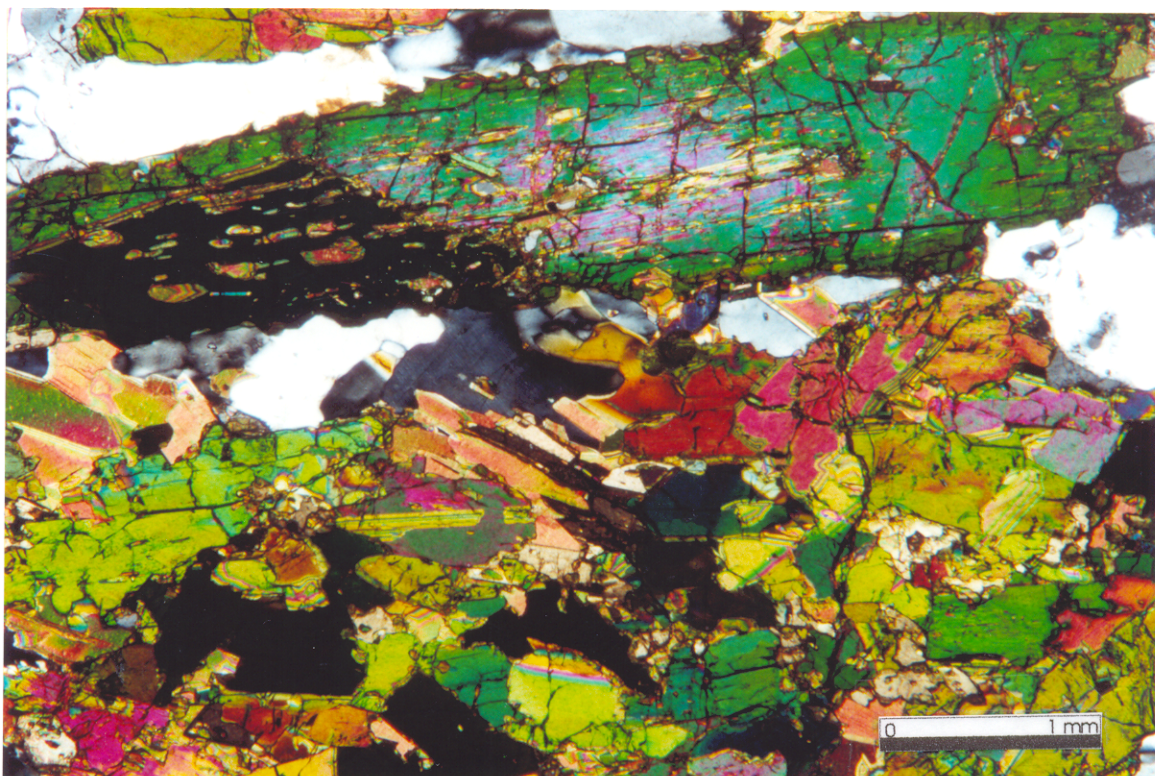


Figura 4.21 – Textura cumulativa desenvolvida por minerais máficos (Cpx, Bt, Tit e Op) que acompanham a orientação do cristal maior de clinopiroxênio (Lâmina 63A, NX).

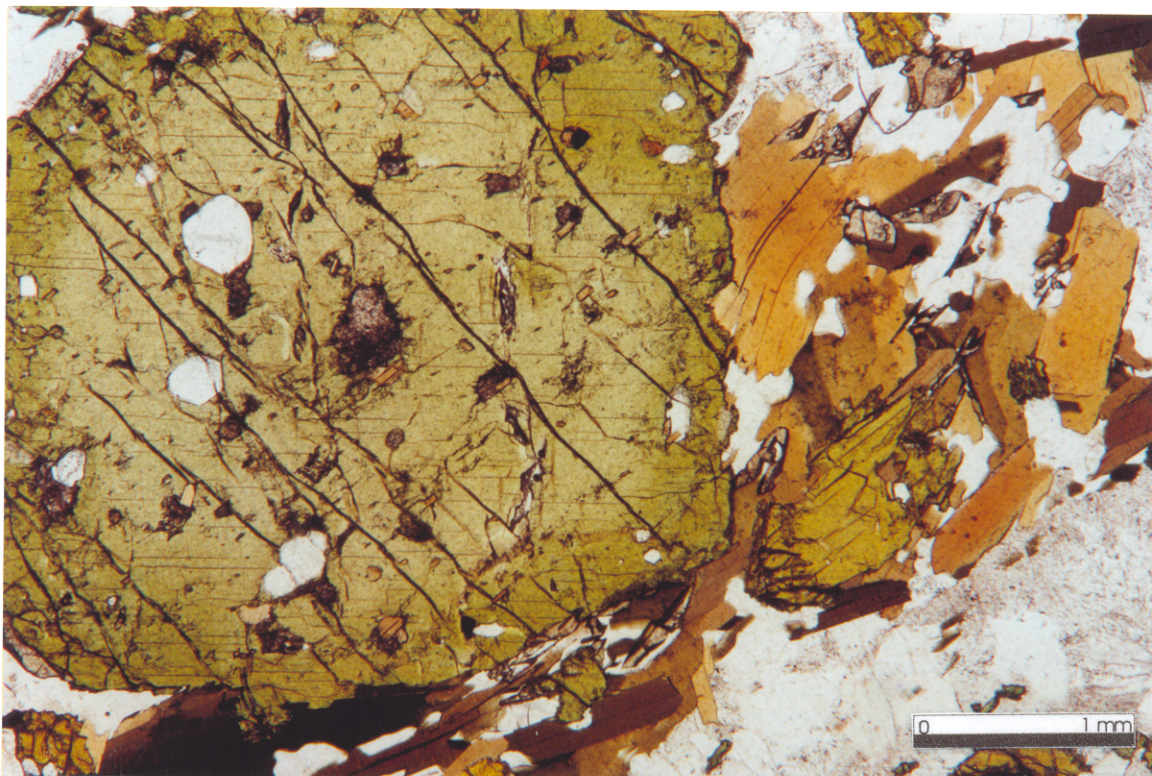


Figura 4.22 – Cristal de Na-piroxênio (aegirina-augita com bordas de aegirina) com destacado zoneamento e inclusões de apatita e titanita, que é envolvido por biotita, titanita, nefelina e aegirina (Lâmina RC-45, LN).

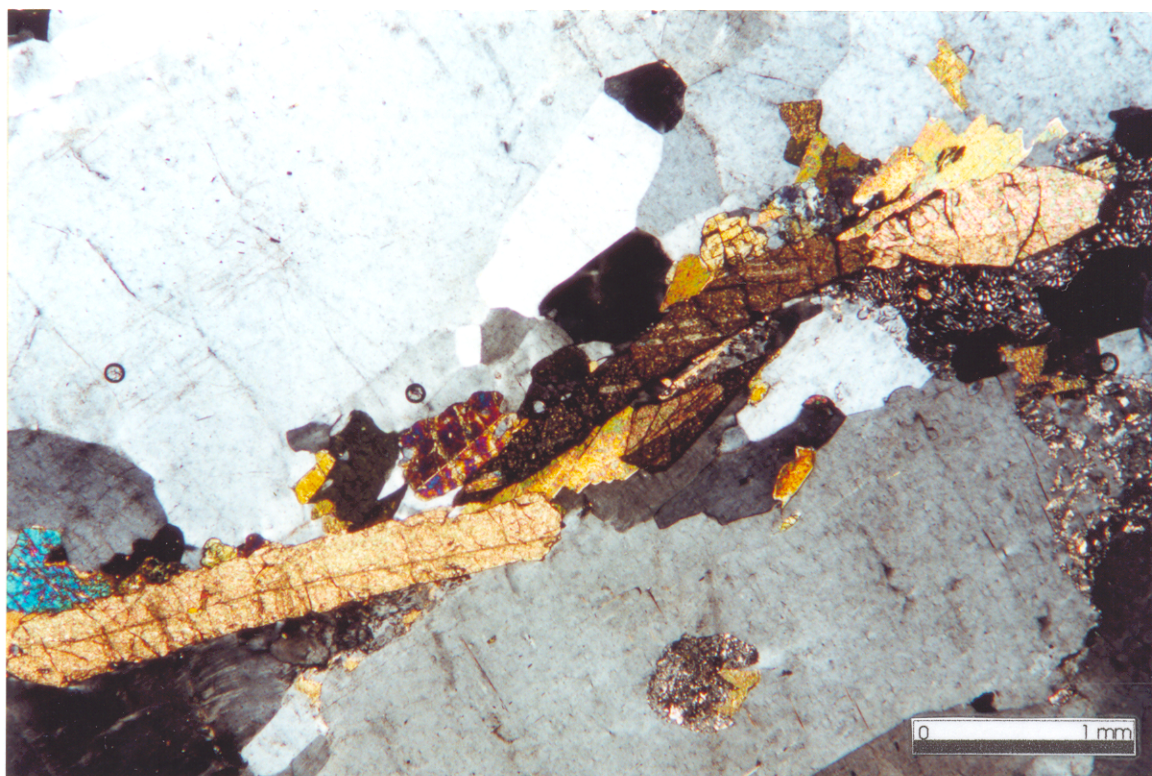


Figura 4.23 – Cristais prismáticos e losangulares de titanita, orientados, destacando maclamentos simples e polissintético (Lâmina RC-49, NX).

4.3. ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO

De acordo com o estudo petrográfico o NSB foi dividido em três fácies petrográficas nomeadas Clinopiroxênio Microclina Sienito (CpxMS), Clinopiroxênio Nefelina Sienito (CpxNS) e Leucosienito (LS). Neste estudo procurou-se definir a evolução da cristalização das rochas do NSB baseando-se na análise textural e relação mútua entre os minerais, principalmente para os dois tipos petrográficos predominantes.

Para uma melhor visualização a ordem estabelecida está esquematizada na Figura 4.24, considerando as duas fácies separadamente (CpxMS e CpxNS).

Avaliando a cristalização da fácies CpxMS os primeiros registros iniciaram com a separação de alguns minerais acessórios, como apatita e titanita. A apatita com frequência encontra-se como inclusões de cristais euédricos, de pequenos tamanhos, em cristais maiores de clinopiroxênio alcalino (aegirina-augita) (Cpx1) e microclina. A apatita ocorre em geral como cristais euédricos prismáticos, alguns aciculares, e a titanita apresenta-se em formas euédricas prismáticas e losangulares.

Em seguida iniciou a nucleação de cristais de clinopiroxênio alcalino (Cpx1) e, quase concomitantemente, a microclina. Esta ordem pôde ser estabelecida pelos registros de inclusões de pequenos cristais de clinopiroxênio na microclina, embora em algumas rochas as feições mostrem uma relação de crescimento simultâneo. De um modo geral a textura destas rochas é seriada, com variação contínua no tamanho dos cristais, tanto de clinopiroxênio quanto de microclina. Os cristais de clinopiroxênio são euédricos e subédricos e da microclina subédricos e anédricos.

Em algumas rochas ocorrem acumulações de clinopiroxênio de tamanhos relativamente grandes (Cpx1) e titanita, sugerindo que em algum momento da cristalização do corpo estes minerais, possivelmente já nucleados, foram-se acumulando, resultando em concentrados de minerais máficos (Figuras 4.20 e 4.21).

Com a continuidade do resfriamento do magma a cristalização teve progresso com a formação de biotita/flogopita seguida da cristalização de anfibólio alcalino (arfvedsonita) (Anf1) que, a partir das relações de contato com cristais de biotita e clinopiroxênio, o anfibólio alcalino forma cristais individuais diretamente do magma (Figura 4.9). Em alguns casos a biotita encontra-se também como inclusões no próprio anfibólio, o que revela alternâncias na

cristalização destes dois minerais. A cristalização do anfibólio neste momento indica uma composição mais sódica do magma com atuação de uma fase fluida hidratada.

Com o enriquecimento composicional em sódio do magma, possivelmente compreendendo um estágio intermediário ou mais tardio da história de cristalização do magma, deu-se início a cristalização de aegirina (Cpx₂). Este mineral mostra uma cristalização gradativa a partir da transformação da aegirina-augita, que encontra-se coroada por aegirina (zoneamento composicional) nos cristais mais desenvolvidos, o que é facilmente caracterizado pelo aumento da tonalidade do verde. A cristalização de aegirina prossegue em cristais individuais de tamanhos menores (Figura 4.11).

Uma outra situação diz respeito à formação de uma segunda fase de anfibólio alcalino (Anf₂), que provavelmente acompanha os momentos finais da cristalização dos piroxênios, podendo prosseguir até os estágios tardi-magmáticos. Eles ocorrem tanto na forma de cristais individuais quanto substituindo parcialmente os cristais de aegirina (Figura 4.8).

De acordo com Deer et al (1981) a riebeckita é formada no estágio subsolidus, através da ação de fluidos oxidantes e a arfvedsonita no estágio magmático. Isto pode explicar a existência de cristais de arfvedsonita bem formados, com faces bem definidas, enquanto que a riebeckita ocorre principalmente como fase de substituição do clinopiroxênio e, em pequenas quantidades, como cristais individuais.

Ainda no estágio tardi-magmático pode-se incluir a formação de cristais de plagioclásio do tipo albita presentes em algumas rochas do NSB e possivelmente no estágio pós-magmático. Os cristais de albita estão presentes em dois aspectos principais: como agregados poligonais nos interstícios da microclina e também em feições de coroas trocadas.

No estágio pós-magmático os processos de exsolução nos clinopiroxênios geram óxidos de Fe e Ti que geralmente formam uma malha de cristais aciculares e lamelares orientados ao longo das clivagens, preferencialmente nas porções centrais dos cristais. Esta feição ocorre também em alguns cristais de microclina (Figuras 4.25 e 4.26).

No estágio pós-magmático um terceiro tipo de anfibólio foi formado (Anf₃). Trata-se provavelmente de tremolita-actinolita, de pleocroísmo verde pálido, de hábito fibroso e acicular que substitui parcialmente os cristais de clinopiroxênio, e a formação esta ligada a processos hidrotermais (Figura 4.27).

Algumas outras particularidades sobre a cristalização são discutidas a seguir. Uma delas refere-se ao arranjo cristalino do feldspato alcalino, que em algumas amostras, de caráter pertítico (RC-09), os fenocristais apresentam características de ortoclásio, enquanto que na maioria das amostras, porém, o álcali-feldspato é a microclina. Isto pode sugerir que inicialmente os álcali-feldspatos cristalizaram com ortoclásio e em determinado momento houve uma reversão no sistema cristalino do ortoclásio, que é do sistema monoclinico, para um sistema cristalino mais estável, o triclinico, que neste caso é o sistema cristalino da microclina mantendo as formas tabulares dos cristais.

Em alguns cristais menores de microclina, ocorrem grande número de inclusões aciculares de clinopiroxênio, possivelmente aegirina (Figura 4.28). Como esta não ocorre na maioria dos cristais de microclina, uma das explicações seria de que os cristais de aegirina teriam um período mais longo de cristalização, assim como os álcali-feldspatos, sendo que no caso destes cristais aciculares houve uma defasagem cristalizando pouco antes.

O que pode sustentar esta idéia é a presença de inclusões fluidas nestes mesmos cristais, ou seja as agulhas de aegirina e as inclusões fluidas foram formadas em um estágio de cristalização mais tardio, numa fase de enriquecimento em voláteis do magma, quando ainda estava cristalizando a microclina, entretanto em tamanhos menores. Neste momento é importante as considerações de Sorensen (1974) de que as rochas peralcalinas têm um intervalo de cristalização muito longo.

A apatita embora tenha iniciado a cristalização precocemente, em determinado momento de cristalização do magma, mostra uma relação de contemporaneidade com os cristais de aegirina-augita e microclina, crescendo adjacientemente a eles (Figura 4.29).

Deve-se ressaltar que a biotita e a titanita, embora esta também tenha cristalizado precocemente, provavelmente cristalizaram nas fases mais tardias, já que em alguns casos também apresentam caráter intersticial entre clinopiroxênio e microclina.

Outra particularidade no NSB, esta relacionada com a amostra RC-11A, onde estão presentes cristais de quartzo em quantidades inferiores a 10%. Como a composição do magma que deu origem ao NSB é incompatível com a presença deste mineral, pode-se sugerir, como uma das possibilidades desta ocorrência, a atuação de processos de contaminação das rochas encaixantes, entretanto, outros processos de diferenciação, em casos mais raros, poderiam ser considerados.

Para os Clinopiroxênio Nefelina Sienitos (CpxNS) a ordem de cristalização proposta é, em linhas gerais, similar àquela feita para CpxMS. Uma das principais diferenças entre a fácies CpxMS e a CpxNS é a presença de nefelina, que nesta fácies apresenta feições marcantes de intercrescimento nefelina-álcali-feldspato.

A cristalização precoce está relacionada à formação de apatita e titanita, apresentando relações semelhantes à fácies CpxMS anteriormente descrita, no que se refere aos cristais de clinopiroxênio (aegirina-augita) e microclina. A apatita freqüentemente ocorre como inclusões, ou como cristais individuais formados contemporaneamente aos cristais de clinopiroxênio e microclina. A titanita também acompanha a evolução da apatita.

O clinopiroxênio (aegirina-augita) iniciou a cristalização em seguida, formando cristais prismáticos (pequenos) e, provavelmente, num intervalo de tempo maior quando comparado à fácies CpxMS. Este é seguido pela microclina que iniciou a formação de cristais maiores, tabulares, que englobaram os cristais menores de clinopiroxênio e que forma acumulados juntos nas porções laterais ou inferiores do corpo (Figura 4.30). Tais processos levaram ao desenvolvimento de forte alinhamento magmático e de texturas traquitóides na grande maioria das rochas do NSB.

Em seguida, tem-se a cristalização da biotita, esta também ocupa os interstícios de piroxênio e álcali-feldspato, indicando para a mesma uma cristalização também nos estágios tardios.

A nefelina é o mineral que cristaliza em seguida, fundamentalmente devido ao enriquecimento de sódio e à deficiência em sílica no líquido residual do magma. Há uma fase anterior em que se formam cristais individuais (Nef1), geralmente euédricos e subédricos e outra tardia (Nef2) onde a nefelina formou-se simultaneamente com o álcali-feldspato, e que algumas vezes também é acompanhado de cristalização de aegirina (Figura 4.31).

Esta situação pode ser corroborada analisando a cristalização de diagrama ternário SiO_2 - Nefelina ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) – Kalsilita (KAlSi_2O_6), considerando a situação da parte deficiente em sílica, nas condições de cristalização em torno do ponto *minimum* (Hydmann 1972). Nestas condições haveria a possibilidade de cristalizar nefelina num primeiro momento e com a mudança composicional do líquido residual a cristalização dirigi-se à linha cotética onde cristalizaria simultaneamente nefelina e álcali-feldspato até o consumo total do líquido residual.

Tanto a microclina quanto a nefelina apresentam inclusões de clinopiroxênio aciculares, em quantidades expressivas, sugerindo portanto que o clinopiroxênio apresenta nucleação múltipla até estágios mais tardios da cristalização do líquido (Figuras 4.28 e 4.32).

Uma feição que caracteriza a nucleação múltipla do clinopiroxênio (aegirina) acompanhando o crescimento de cristais de álcali-feldspato é a presença de cristais zonados de microclina em que no limite das zonas composicionais os cristais aciculares de aegirina estão moldando as faces internas de crescimentos dos cristais de microclina (Figuras 4.16, 4.17 e 4.33). A microclina por sua vez, na continuidade do seu crescimento engloba desta vez cristais maiores de clinopiroxênio.

O estágio tardi-magmático do NSB foi marcado por simultaneidade de cristalização do feldspato alcalino com a nefelina, a partir de líquido residual que no estágio avançado da cristalização preenchia os interstícios cristalinos. Estes intercrescimentos ocorrem de formas variadas, algumas vezes assemelha-se ao tipo gráfico (Figuras 4.12 e 4.13) e em outras como finas lamelas, vermiformes (tipo impressão digital) (Figura 4.14 e 4.32). Esta diferença não é somente quanto à forma mas também quanto a sua distribuição.

Os intercrescimentos do tipo gráfico ocorrem na totalidade dos cristais de microclina como também nas porções de borda do cristal e nos interstícios (Figuras 4.13 e 4.19).

Feições indicativas da cristalização em estágio pós-magmático, são sugeridas principalmente pela substituição de nefelina por zeólitas, sericita e carbonato, e a substituição de piroxênio por anfibólios.


Figura 4.24 - Diagrama esquemático da ordem de cristalização proposta para o Nefelina Sienito Brejinho:
 (a) Clinopiroxênio Microclina Sienito (CpxMS); (b) Clinopiroxênio Nefelina Sienito (NS).

a)

Fases Minerais	Estágio magmático	Estágio pós-magmático
Álcali-feldspato		
Plagioclásio		
Aegirina-augita		
Aegirina		
Biotita		
Arfvedsonita		
Riebeckita		
Tremolita-actinolita		
Apatita		
Titanita		

b)

Fases Minerais	Estágio magmático	Estágio pós-magmático
Álcali-feldspato		
Nefelina		
Aegirina-augita		
Aegirina		
Biotita		
Apatita		
Titanita		
Sericita		
Zeólita		
Carbonato		


 Diminuição da Temperatura

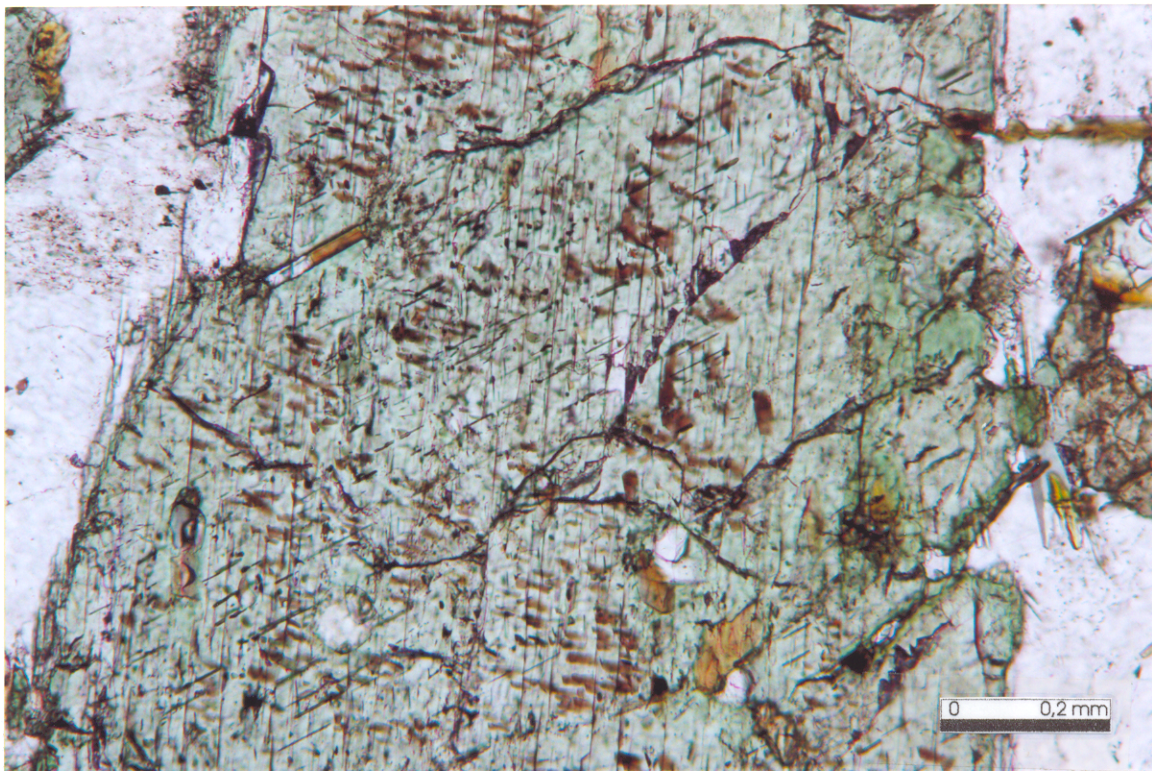


Figura 4.25 – Lamelas de exsolução de hematita (?) em cristal clinopiroxênio (Lâmina RC-30, LN).

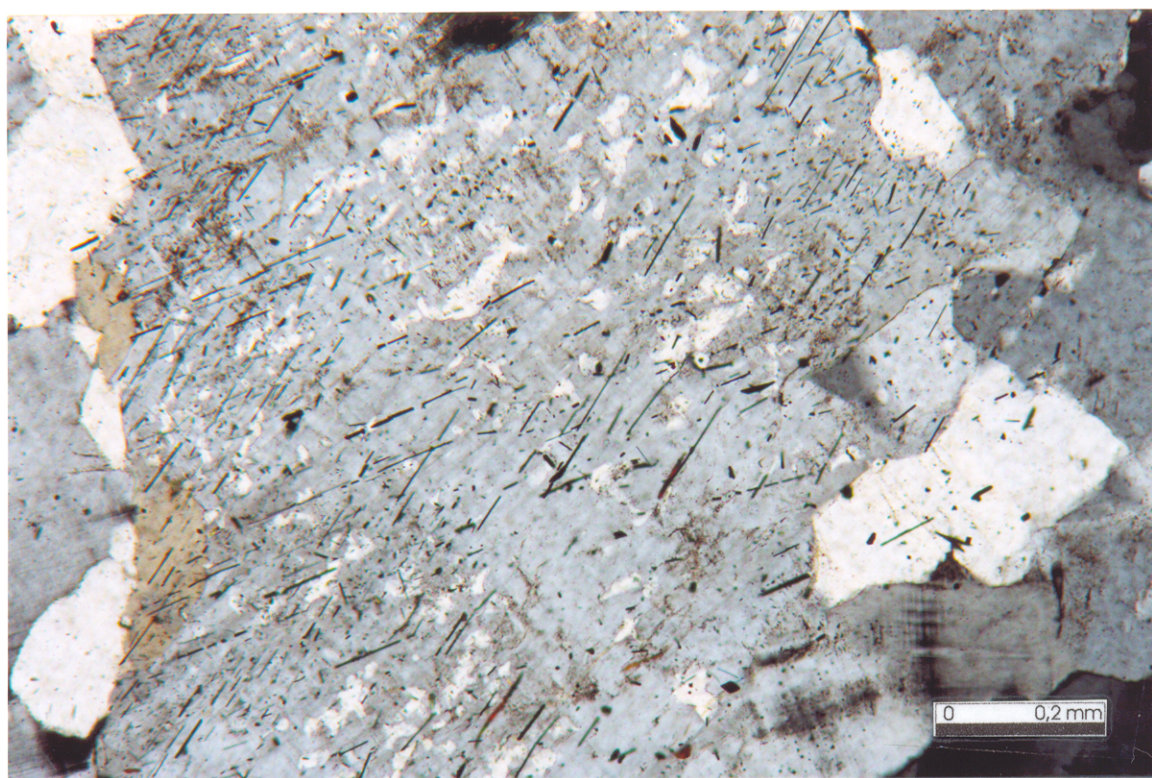


Figura 4.26 – Lamelas de exsolução de cristais hematita (?) orientadas nas clivagens de cristal microclina (Lâmina RC-30, NX).

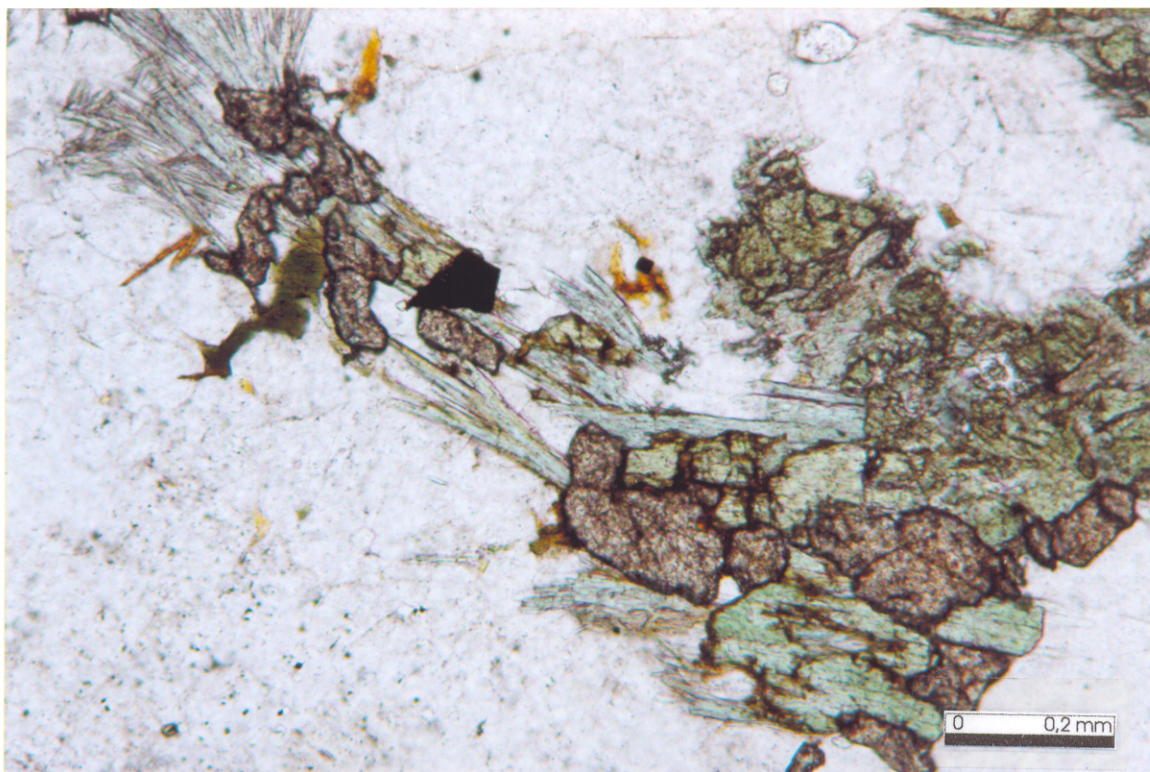


Figura 4.27 – Cristais fibrosos de tremolita-actinolita substituindo clinopiroxênio associada com titanita (Lâmina RC-30, LN).

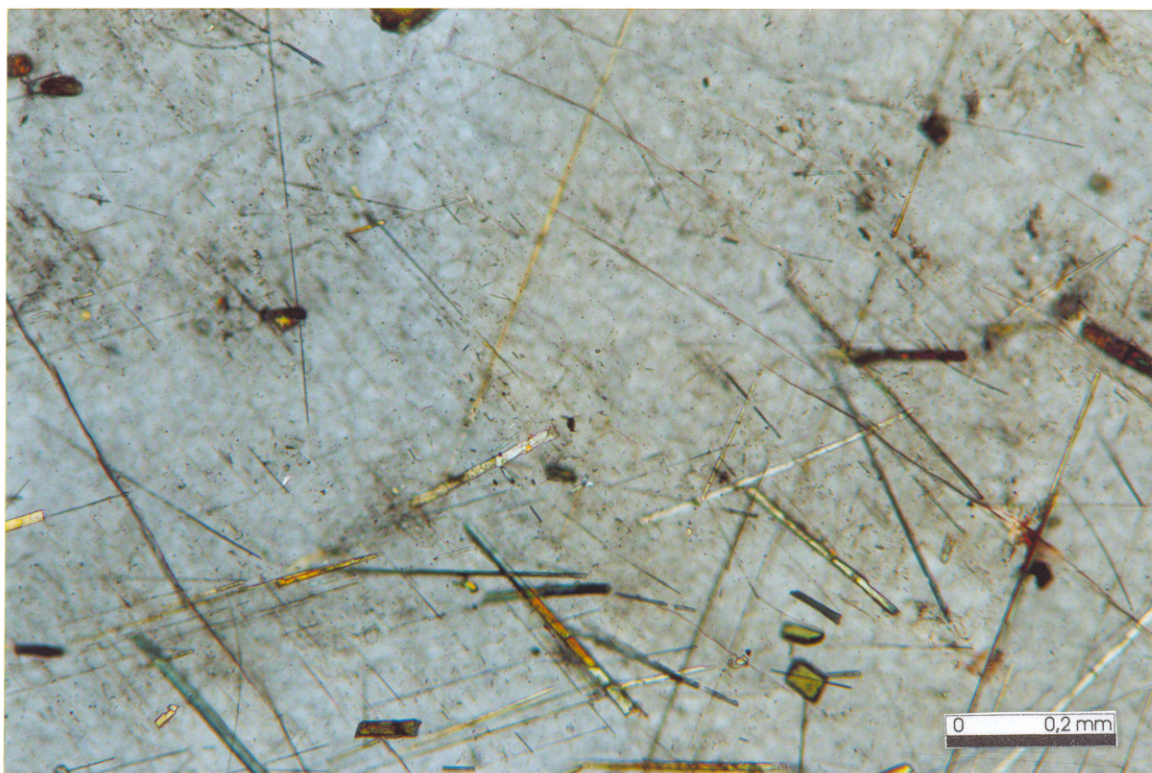


Figura 4.28 – Cristais aciculares de clinopiroxênio (aegirina) inclusos em cristal de álcali-feldspato (Lâmina ECC-05a, NX).

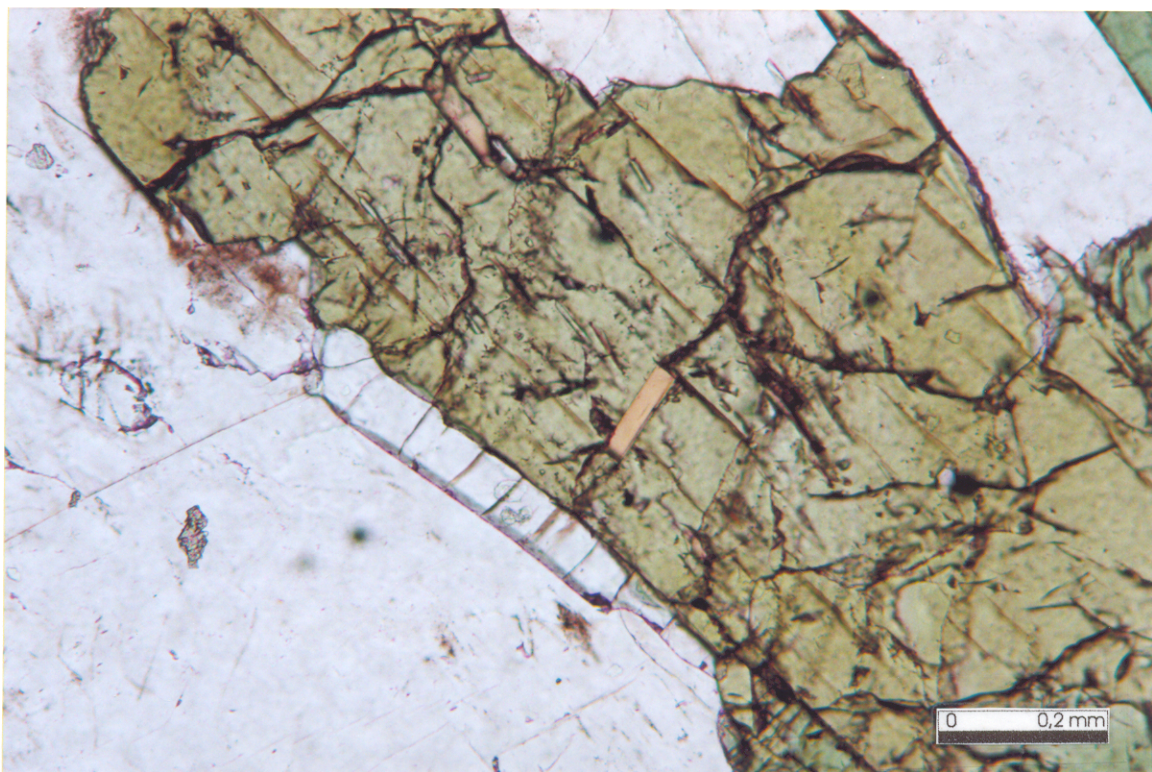


Figura 4.29 – Cristal de apatita crescido paralelamente ao clinopiroxênio (Lâmina RC-03a, LN).

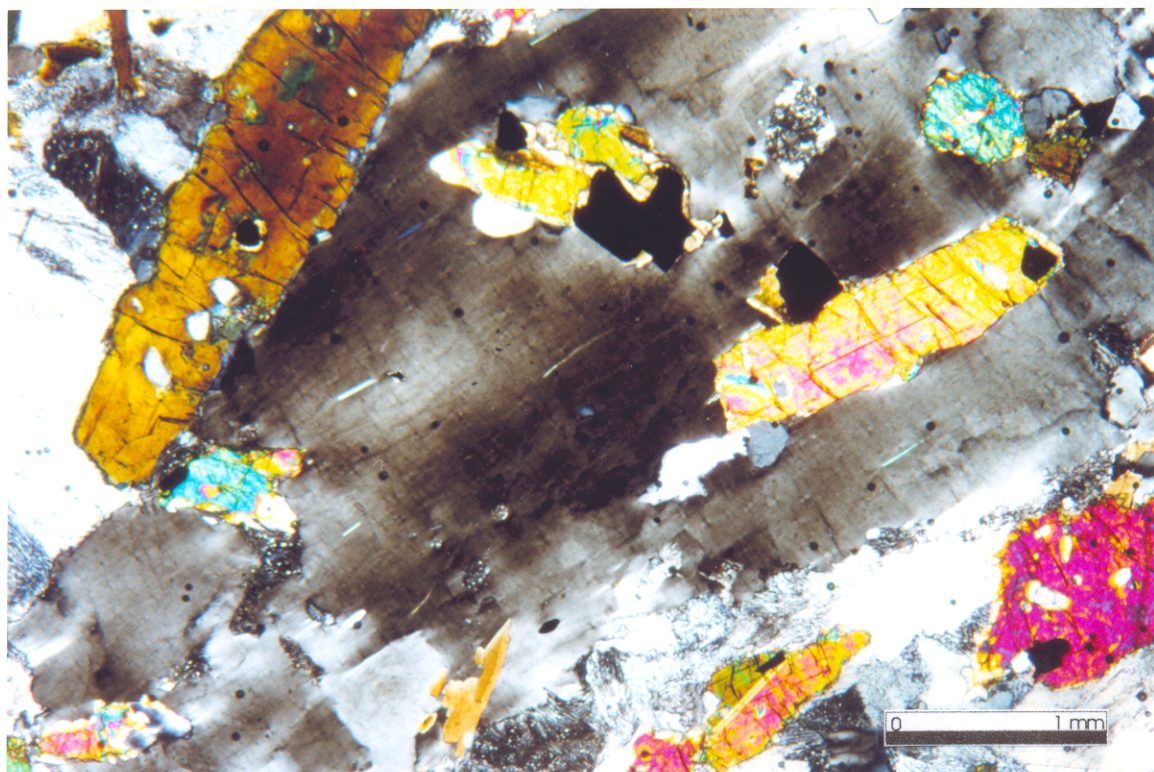


Figura 4.30 – Inclusões de cristais de clinopiroxênio euédricos, opacos e apatita em microclina (Lâmina RC-02c, NX).

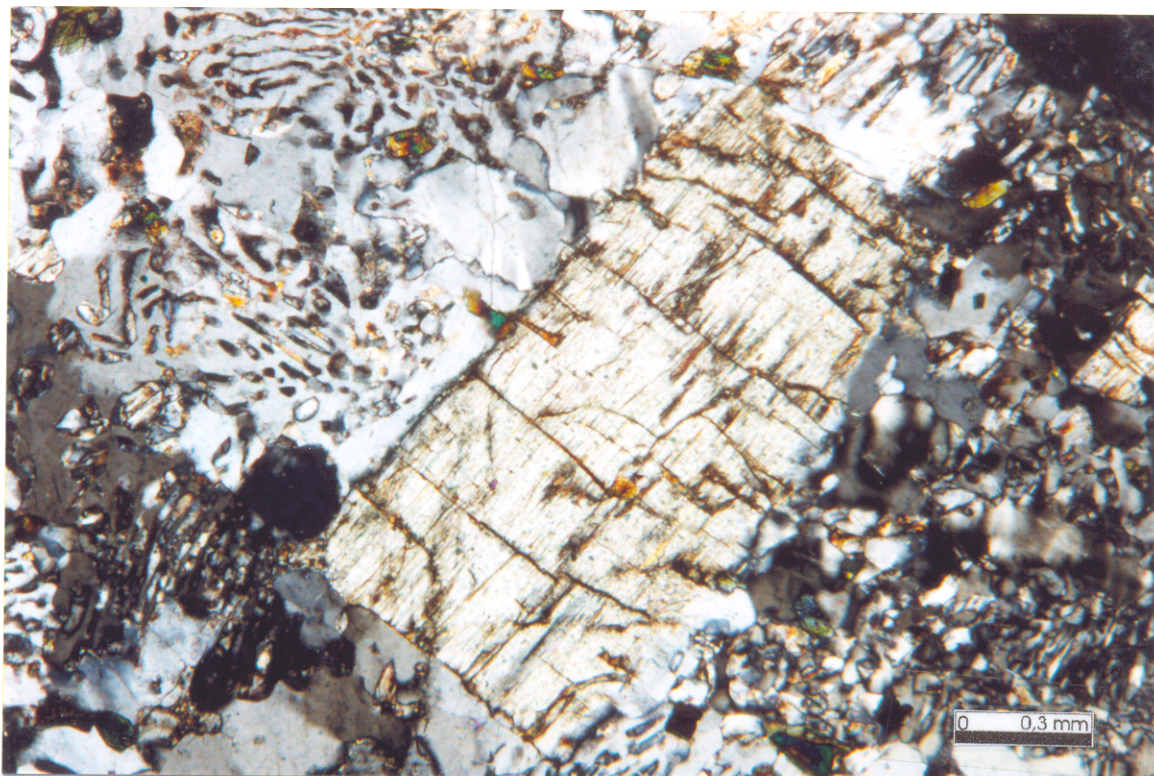


Figura 4.31 – Cristal euédrico de nefelina envolvido em simplectitos nefelina-álcali-feldspato-clinopiroxênio (Lâmina ECC-05a, NX).

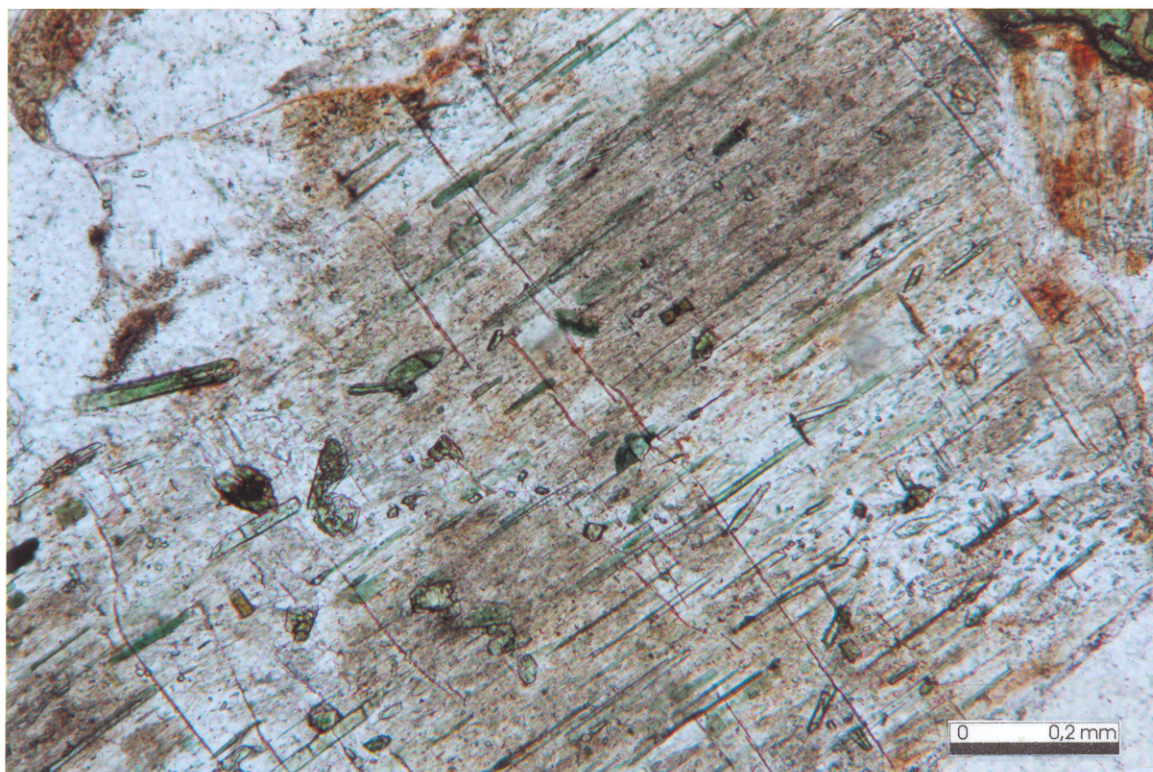


Figura 4.32 – Detalhe das inclusões de aegirina aciculares orientadas ao longo da direção da clivagem de cristal de nefelina. Notar argilização no centro do cristal de nefelina (Lâmina ECC-05a, LN).

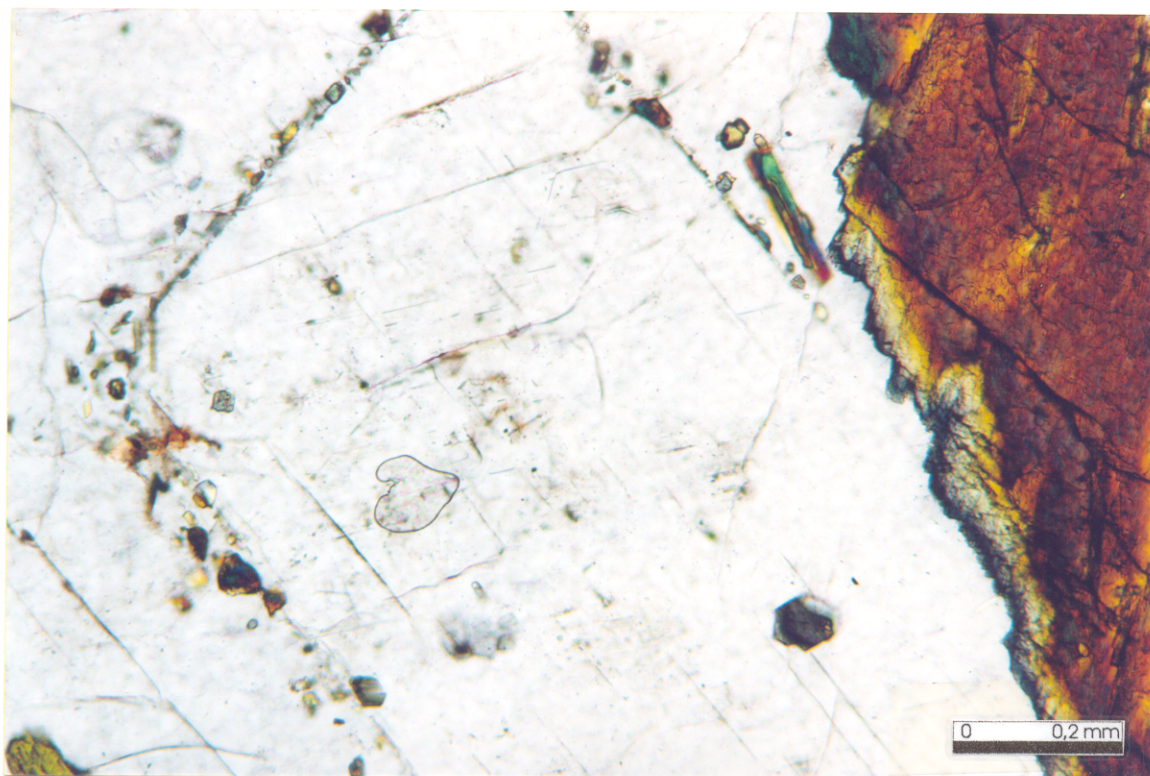


Figura 4.33 – Trilhas de inclusões de aegirina delimitando zonas composicionais de cristais de álcali-feldspato (Lâmina RC-16, NX).



Figura 4.34 – Intercrescimentos nefelina-álcali-feldspato tipo impressão digital agrupados em contato ponto tríplice caracterizando cristalização simultânea tardia (Lâmina RC-02a, NX).

5. GEOCRONOLOGIA Rb-Sr EM ROCHA TOTAL

5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os procedimentos utilizados e os resultados obtidos no estudo geocronológico do Nefelina Sienito Brejinho (NSB). Nesse estudo aplicou-se a metodologia Rb-Sr em rocha total visando definir a idade de cristalização do corpo sienítico. A escolha dessa metodologia se balizou no fato de que o corpo NSB não apresenta qualquer indício de metamorfismo ou tectônica (apenas discretas falhas e fraturas), o que vem de encontro aos princípios teóricos da metodologia (Faure 1986, Rollinson 1993).

Os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento deste estudo geocronológico estão descritos no Anexo A, que detalha a preparação das amostras para análise, e no Anexo B, que reporta os procedimentos analíticos químicos.

As composições isotópicas foram obtidas no Espectrômetro de Massa VG ISOMASS 54 E do Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências (Pará-Iso), equipado com monocoletor e as razões isotópicas do Sr foram normalizadas pela razão $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0,1194$.

Os diagramas isocrônicos foram calculados de acordo com o modelo de York (1969) e os resultados são apresentados com desvio padrão de 1σ . A forma de apresentação dos diagramas foi feita tanto pelo modo clássico quanto pelo diagrama otimizado (BID – *Best Initial Diagram*), proposto por Provost (1990).

5.2. DATAÇÃO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO

Da amostragem obtida nos trabalhos de campo, 18 amostras foram selecionadas inicialmente com base nos dados de campo e nos estudos petrográficos, reunindo nefelina sienitos e sienitos que são os litotipos predominantes no corpo. Tais amostras estão indicadas nos mapas das Figuras 3.1, 4.1 e 4.2.

De posse das dosagens de Rb e Sr (Tabela 5.1), foram excluídas 6 amostras de acordo com a distribuição linear das razões Rb/Sr. As amostras excluídas foram: RC-02a, RC-03a, RC-25, RC-26, RC-31 e RC-45; apresentadas na Figura 5.1. Restaram então 12 amostras (RC-04, RC-05A, RC-07, RC-09, RC-16, RC-18A, RC-24, RC-30, RC-35, RC-37, RC-46 e CC-08) que foram analisadas por espectrometria de massa. Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados analíticos obtidos na análise por espectrometria de massa.

O diagrama isocrônico inicial incluindo todas as 12 amostras resultou numa idade de 572 ± 34 Ma, com razão inicial de Sr (I_{Sr}) de $0,7171 \pm 0,0005$ e um alto valor de MSWD (*Mean Square of Weighted Deviates*) de 25,68 (Figura 5.2).

Tabela 5.1 – Concentrações de Rb e Sr obtidas através de Fluorescência de Raio-X e razão Rb/Sr das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos.

Amostra	Litotipo	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Rb/Sr
RC/02a	Bt-px-nef. Sienito	1220	525	0,430328
RC/03a	Bt-px-nef. Sienito	1324	659	0,497734
RC/04	Anf-px Sienito	368	325	0,883152
RC/05a	Bt-px Sienito	826	418	0,506053
RC/07	Px-nef. Sienito	1376	274	0,199128
RC/09	Px Sienito micropertítico	1135	362	0,318943
RC/16	Nefelina Sienito	1448	393	0,271409
RC/18	Px Sienito	920	684	0,743478
RC/24	Bt-nef. Sienito	953	1016	1,066107
RC/25	Bt-nef. Sienito	4333	1349	0,311332
RC/26	Microclina (pertita) Sienito	594	395	0,664983
RC/30	Aegirina-augita Sienito	1034	185	0,178917
RC/31	Bt-px Sienito	951	370	0,389064
RC/35	Nefelina Sienito	627	411	0,655502
RC/37	Anf-Px Sienito	1215	310	0,255144
RC/45	Bt-nef. Sienito	1039	736	0,708373
RC/46	Nefelina Sienito	184	1721	9,353261
CC-08	Bt-aegir-augita-nef Sienito	1379	580	0,420595

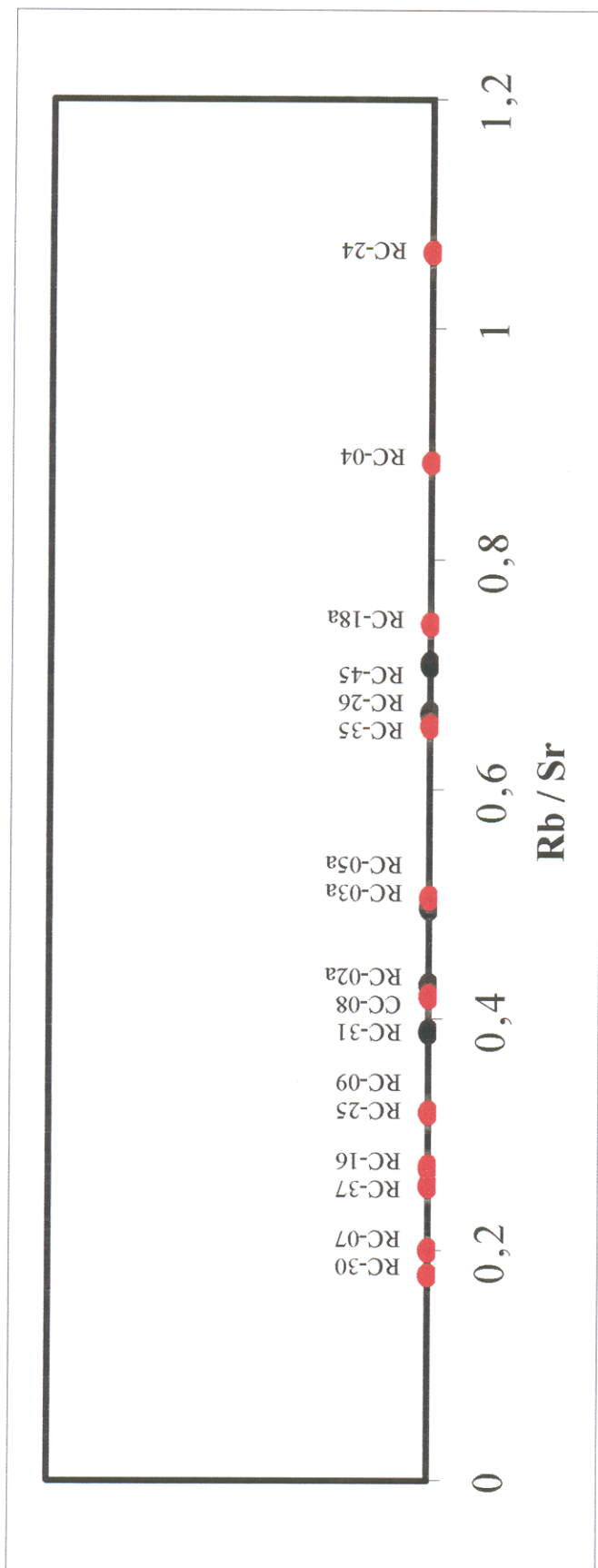


Figura 5.1. Distribuição linear da razão Rb/Sr das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos através da metodologia Rb-Sr (● Amostras analisadas ● Amostras datadas).

Tabela 5.2 - Resultados analíticos obtidos no espectrômetro de massa pelo método Rb-Sr em rocha total do Nefelina Sienito Brejinho.

Amostras	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	sX	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	sY
RC-04	355	361	2,8562	0,05696	0,739436	0,000079
RC-05A	387	683	1,6444	0,03507	0,729841	0,000045
RC-07	278	1274	0,6314	0,01289	0,722371	0,000048
RC-09	367	1030	1,0323	0,01883	0,723859	0,000052
RC-09 (duplicata)	360	1009	1,0349	0,01662	0,723721	0,000075
RC-16	384	1363	0,8153	0,01689	0,723651	0,000045
RC-18A	807	1030	2,2722	0,05925	0,735667	0,000076
RC-24	1099	948	3,3655	0,11803	0,747101	0,000029
RC-24 (duplicata)	1079	957	3,2728	0,06641	0,746854	0,000047
RC-30	216	1067	0,5861	0,00900	0,723075	0,000110
RC-30 (duplicata)	211	1043	0,5862	0,00900	0,722566	0,000049
RC-35	395	554	2,0687	0,04032	0,733293	0,000076
RC-37	294	1065	0,7993	0,01286	0,723342	0,000037
RC-46	1628	156	30,9958	1,53286	0,989661	0,000048
RC-46 (duplicata)	1645	156	31,3937	0,76164	0,987621	0,000131
CC-08	562	1216	1,3409	0,03126	0,727778	0,000137

Obs: Análises realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) em Julho de 2000.

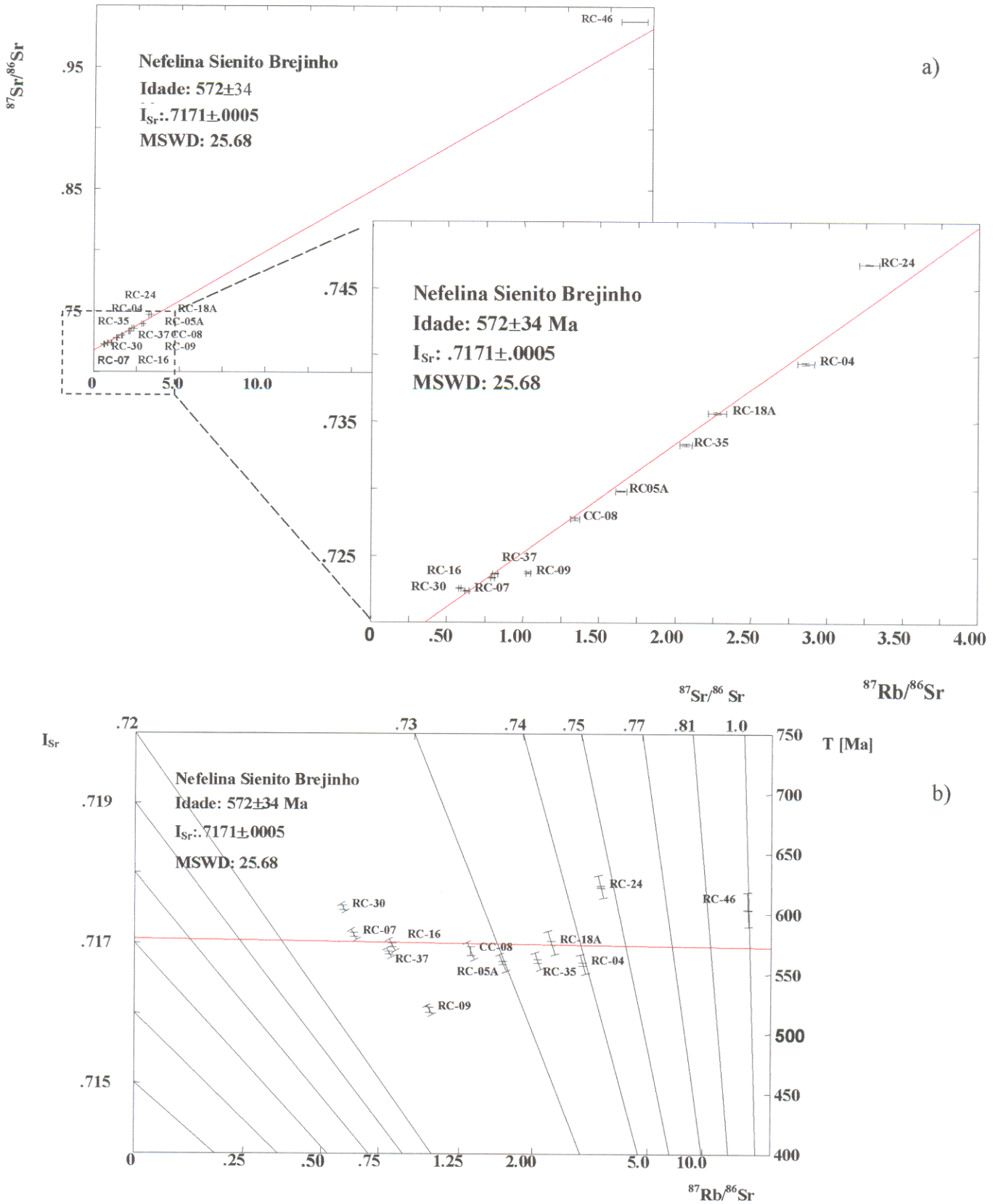


Figura 5.2 – Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, através da metodologia Rb-Sr, utilizando-se 12 amostras para o cálculo da idade. a) Diagrama Isocrônico Convencional; b) Diagrama Otimizado (BID).

A partir da análise da Figura 5.2 verificou-se que a amostra RC-46 ficou isolada na porção superior direita do diagrama isocrônico, causando uma concentração dos pontos referentes às demais amostras, exercendo assim um controle muito grande na inclinação da isócrona. A Figura 5.2a apresenta dois diagramas nos quais todas as amostras foram incluídas no cálculo da idade, porém, no que está em primeiro plano, os intervalos das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ foram ampliadas para dar melhor visualização das amostras localizadas na porção inferior esquerda do diagrama.

Recalculando a idade com a exclusão das amostras RC-46 e RC-24, que também apresentam alta razão Rb/Sr e encontram-se deslocadas da reta que define a idade média do NSB, obteve-se um melhor alinhamento isocrônico, resultando na idade de 524 ± 36 Ma, $I_{\text{Sr}} = 0,7176 \pm 0,0005$ (Figura 5.3). Entretanto, o diagrama ainda mantém um valor relativamente alto de MSWD, igual a 19,59.

Observando o diagrama BID (Figura 5.3b) duas amostras ainda apresentam afastamento da reta isocrônica (RC-09 e RC-30). Analisando-se a situação geológica destas amostras verifica-se que do ponto de vista petrográfico tratam-se de rochas microgranulares que situam-se em porções de borda do corpo (ponto RC-30 localizado na porção leste do NSB), Figura 4.3), e de limite de fácies (ponto RC-09 localizado aproximadamente na porção central do NSB, Figura 4.3). Tal situação pode estar ligada à interferência de componentes externos ao corpo ou veios envolvidos que favorecem a difusão do Rb e Sr.

Finalmente fez-se novo cálculo com 8 amostras excluindo-se as amostras RC-09 e RC-30, cujo diagrama isocrônico (Figura 5.4) apresentou um bom alinhamento, resultando numa idade de 545 ± 11 Ma, $I_{\text{Sr}} = 0,7113 \pm 0,0002$ e MSWD baixo, igual a 1,32.

a)

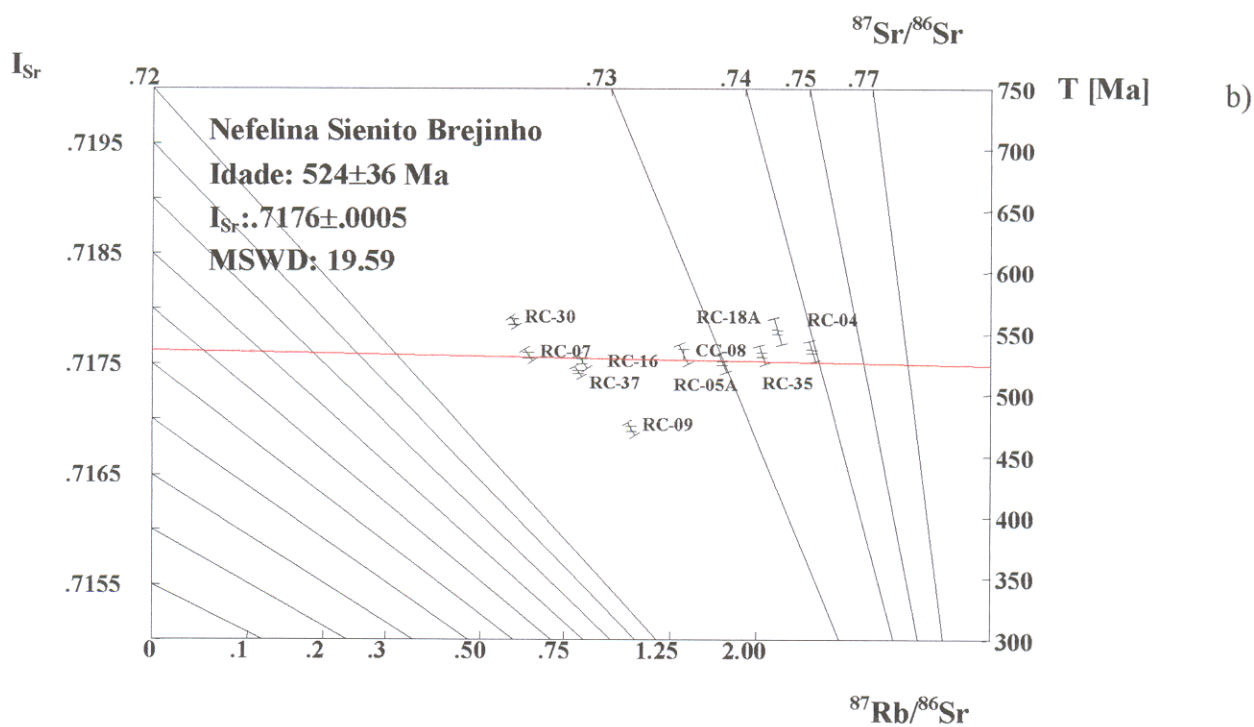
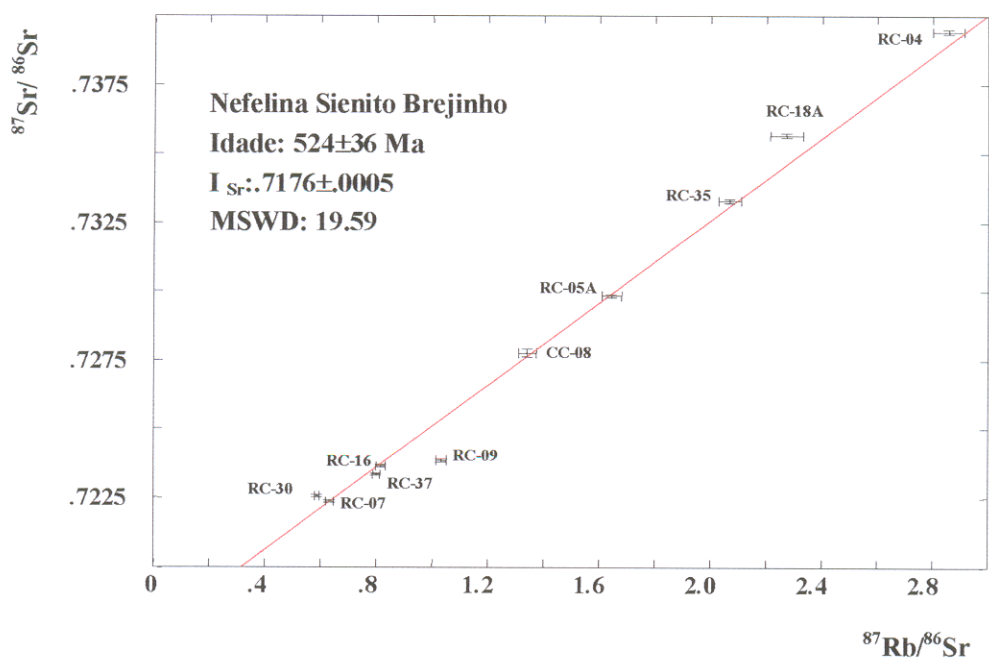


Figura 5.3 – Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, através da metodologia Rb-Sr (RT), utilizando-se 10 amostras para o cálculo da idade. **a)** Diagrama Isocrônico Convencional; **b)** Diagrama Otimizado (BID).

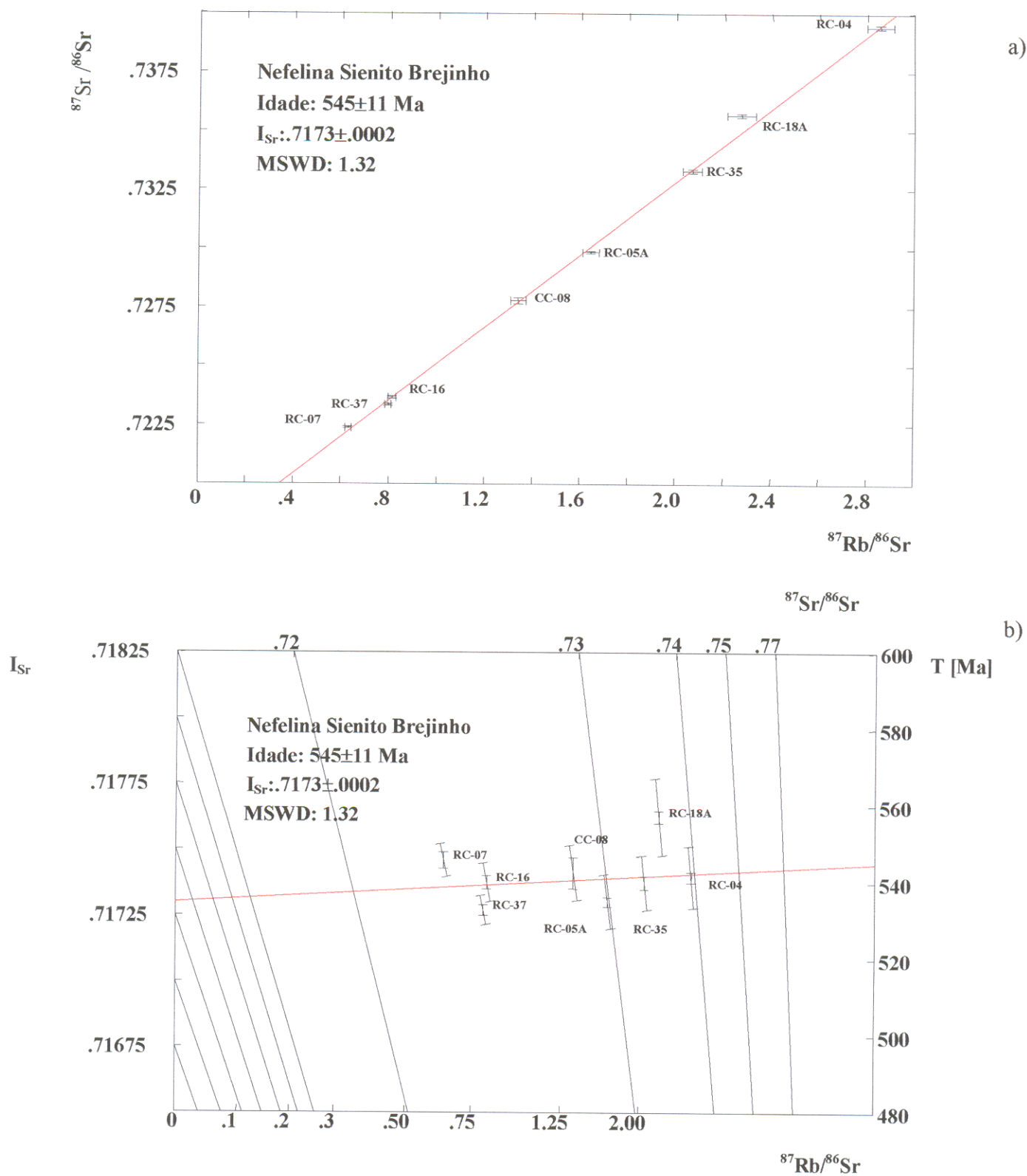


Figura 5.4 – Diagramas isocrônicos obtidos para o NSB, através da metodologia Rb-Sr (RT), utilizando-se 8 amostras para o cálculo da idade. a) Diagrama Isocrônico Convencional; b) Diagrama Otimizado (BID).

5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os estudos geocronológicos Rb-Sr em rocha total do Nefelina Sienito Brejinho indicaram a idade de 545 ± 11 Ma. Considerando o fato do corpo não apresentar deformação ou qualquer indício de metamorfismo e baseando-se nos princípios teóricos do método geocronológico Rb-Sr (Faure 1986, Rollinson 1993), este resultado é interpretado como a idade mínima para a cristalização e *emplacement* do plúton estudado, que o posiciona no Cambriano Inferior.

Analisando os dados geocronológicos de magmatismo, disponíveis para a região Noroeste do Ceará (Tabela 2.1), particularmente ao magmatismo granítico com tendência alcalina, verifica-se a existência de valores de idade semelhantes ao NSB, posicionando-o no limite do Neoproterozóico-Eopaleozóico (Granitos Mucambo - 532 Ma, Meruoca - 540 Ma, Pajé - 537 Ma, Anil - 587 Ma, Tucunduba - 563 Ma, Diques Aroeira - 562 Ma)

5.4. GEOLOGIA ISOTÓPICA

Muitos estudos de geologia isotópica tem sido realizados em isótopos de Sr, Nd e Pb, com o objetivo de interpretar melhor a evolução petrogenética de conjuntos rochosos. Isto é, através das razões de isótopos radiogênicos, com seus respectivos isótopos estáveis, pode-se sugerir, através de cálculos e análise de diagramas específicos, a origem do magma que gerou determinada rocha.

Os isótopos de Sr são utilizados para determinar a proveniência de um magma que gerou determinada rocha, se do manto ou da crosta, ou ainda de porções mantélicas contaminadas por material crustal.

O parâmetro petrogenético utilizado para o estudo isotópico de Sr é a razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} . Para razões inferiores a 0,703 sugere-se fonte mantélica e para razões superiores fonte crustal (Hyndman 1972, Faure 1986, Rollinson 1993).

A razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ obtida para o NSB foi de $0,7173 \pm 0,0002$, e individualmente para cada amostra, as razões calculadas (Tabela 5.3) representam valores elevados para a razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ sugerindo portanto, para o plúton sienítico, fonte de magma gerado na crosta continental ou magma de fonte mantélica com forte contaminação crustal continental.

Na região do noroeste do Ceará ocorrem derrames vulcânicos da Suite Parapuí, caracterizados por Nascimento (2000) como basaltos alcalinos, e neste caso pode-se sugerir uma

relação genética do NSB com este magmatismo basáltico alcalino com proveniência mantélica, e a razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativamente elevada, estaria relacionada a forte contaminação crustal das rochas daquela região.

Tabela 5.3 – Valores das razões iniciais $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ calculados para as amostras do NSB de acordo com a fórmula $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{medido}} = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{inicial}} + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{medido}} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$.

Amostras	$(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{medido}}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{medido}}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{inicial}}$
RC-04	2,8562	0,739436	0,717247
RC-05A	1,6444	0,729841	0,717066
RC-07	0,6314	0,722371	0,717465
RC-16	0,8153	0,723651	0,717316
RC-18A	2,2722	0,735667	0,718014
RC-35	2,0687	0,733293	0,717221
RC-37	0,7993	0,723342	0,717132
CC-08	1,3409	0,727778	0,717336

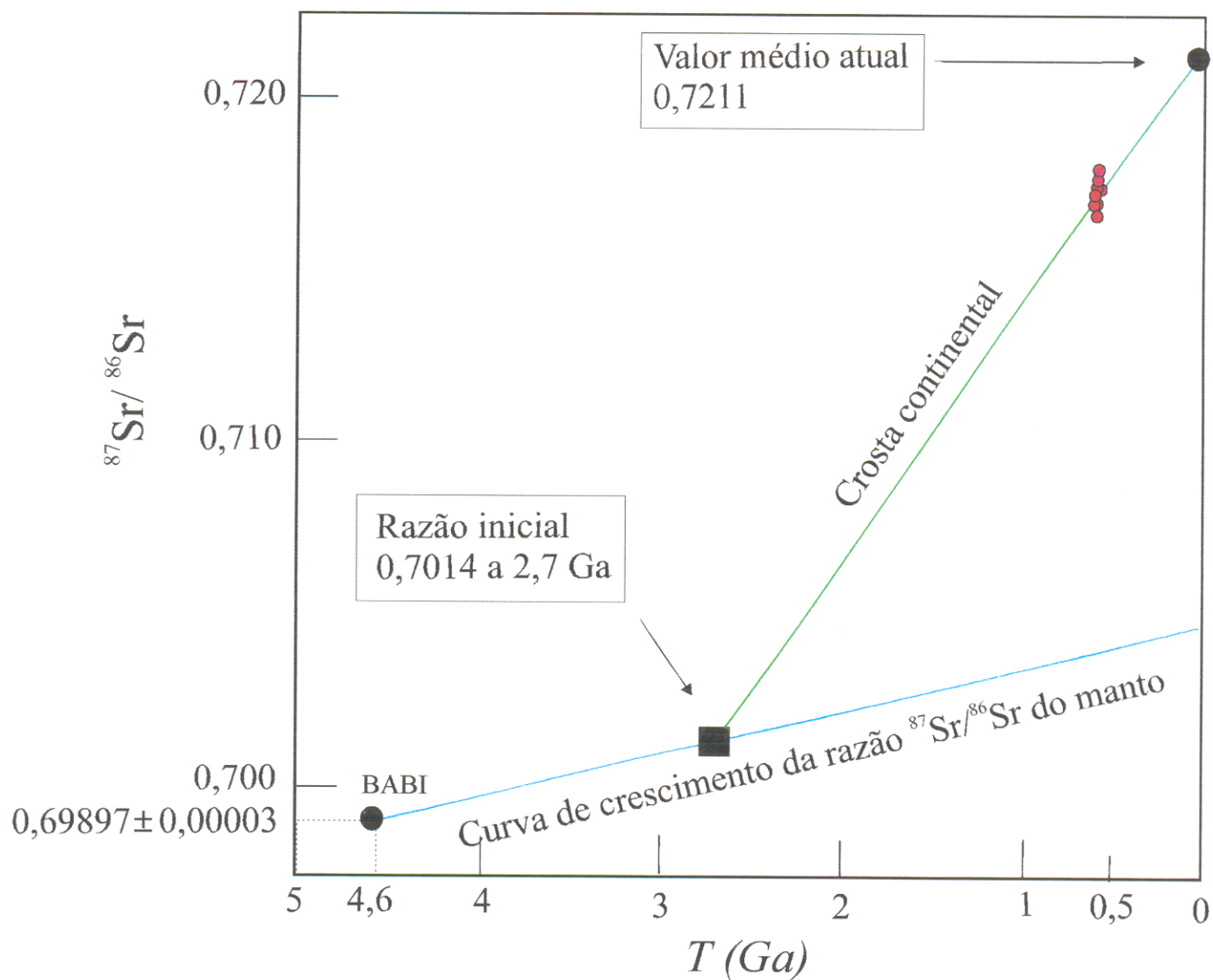


Figura 5.5 - Curva de evolução da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com o tempo na crosta continental e no manto (modificado de Rollinson 1993), com plotagem das amostras analisadas (●).

6. DISCUSSÃO SOBRE O ESTABELECIMENTO DO NEFELINA SIENITO BREJINHO

Com o presente estudo houve um significativo avanço no conhecimento do Nefelina Sienito Brejinho. Entretanto, com os dados obtidos não se pode avançar por discussões petrológicas aprofundadas. Por outro lado as relações de campo e os estudos petrográficos permitiram discutir preliminarmente algumas questões relacionadas à formação e estabelecimento do pluton, que poderão ser aprofundadas através de estudos futuros de química mineral e litoquímica de suas rochas.

Sugere-se que a natureza do magma fundamental foi félsica peralcalina, insaturada em sílica, o que parece razoável em função da total ausência de rochas gabróicas associadas. As raras rochas piroxeníticas encontradas, na forma de enclaves ou pequenos níveis dentro das rochas sieníticas, podem ser indícios da existência de rochas máficas ou ultramáficas que, devido a maior densidade dos magmas, teriam se alojado em níveis mais profundos do pluton. Outra possibilidade seria de representarem porções cumulativas relacionadas a ação da gravidade durante o processo de diferenciação, por cristalização fracionada, a qual o corpo foi submetido no processo de solidificação do pluton. Isto resultou, em escala maior, na formação de clinopiroxênio microclina sienitos, clinopiroxênio nefelina sienitos e leucosienitos e suas variações, em função das quantidades e tipos de minerais máficos e acessórios.

A presença de clinopiroxênio nas principais rochas do corpo, a falta de cristalização inicial de anfibólio, a raridade de fases minerais com elementos voláteis e pegmatitos e, a ausência de fenitização, indicam que a cristalização do corpo se deu sob condições de baixa atividade de água no sistema magmático.

As relações intrusivas do corpo com as rochas encaixantes gnáissicas, formando hornfels em condições metamórficas de fácies hornblenda hornfels (associação granada-biotita-feldspato), o truncamento de estruturas regionais, as deformações nas rochas encaixantes, com arqueamento das foliações adjacentes ao corpo (Figura 3.1), e a ausência de rochas vulcânicas associadas, sugerem que o alojamento do corpo deve ter ocorrido em condições poucas forçadas, a temperaturas acima de 600°C. Tais características aliadas às dimensões do corpo (16 km de comprimento por 8 km de largura), sugerem um alojamento em níveis crustais relativamente rasos.

Analisando a faciologia petrográfica interna do corpo, as relações de campo entre as diferentes rochas das fácies petrográficas e as relações texturais das rochas envolvidas, foi

possível estabelecer uma cronologia relativa para algumas fácies relacionando à evolução de solidificação do corpo.

As rochas da fácies Leucosienítica mostram relações inequívocas de que representam processos de cristalização mais novos em relação as outras fácies, pois as relações de corte indicam representarem fases tardi-magmáticas, mais evoluídas do magma nefelina sienito (vide Cap. 3).

A definição da cronologia relativa entre as duas outras fácies principais do corpo (Clinopiroxênio Nefelina Sienito e Clinopiroxênio Microclina Sienito), não são claras quando se utilizam os dados de campo. As relações de contato mostram, em ambas, bordas de resfriamento. Em determinados locais como no ponto RC-08, no centro do corpo, próximo ao limite destas duas fácies, são encontradas feições indicativas de mistura de magmas (Fig.3.10), o que sugere uma relação de contemporaneidade na cristalização destas duas fácies em algum momento da evolução do corpo.

Interpretando os dados petrográficos, particularmente as relações entre as fases minerais e, analisando as feições texturais desenhadas, é possível verificar que em geral a apatita foi o primeiro mineral a cristalizar, seguido do clinopiroxênio alcalino que representam as fases de cristalização precoce, sendo que o clinopiroxênio prossegue cristalizando. Inicialmente formou-se aegirina-augita e a seguir enriquecendo-se em álcalis passou a cristalizar aegirina.

Os álcali-feldspatos têm uma seqüência de cristalização semelhante a dos clinopiroxênios, os quais formaram inicialmente cristais tabulares euédricos que acumularam-se por ação da gravidade, estabelecendo aleitamentos magmáticos e forte orientação em todos os níveis do corpo, desenhando inclusive, localmente, aleitamentos rítmicos. Nas rochas da fácies CpxNS, a nefelina aparentemente não cristaliza precocemente, parecendo iniciar sua formação mais tardiamente em relação ao clinopiroxênio e álcali-feldspato.

As fases intercumuladas estão marcadas por intercrescimentos nefelina e álcali-feldspato que cristalizaram tardiamente nos interstícios dos cristais de álcali-feldspato e piroxênios. Analisando o sistema ternário SiO_2 -Albita-Feldspato Potássico e sua extensão para os componentes nefelina-kalsilita, pode-se interpretar, com base nele, a cristalização dos nefelina sienitos do corpo estudado, onde está previsto ao longo da linha cotética a cristalização de nefelina e álcali-feldspato simultaneamente, diretamente do líquido residual nos estágios mais avançados, gerando intercrescimentos gráficos de nefelina-feldspato alcalino. Outros

intercrescimentos nefelina-álcali-feldspato tipo impressão digital estão relacionados a outros processos tardi-pós-magmáticos, mais complexos, envolvendo reações entre fases minerais ou processos de exsolução no estado sólido.

Conforme discutido por Sorensen (1974), rochas alcalinas tais como piroxênio sienitos e foyaitos (nefelina sienitos com texturas traquitóides) que apresentam estruturas acamadadas, são interpretadas como o produto de cristalização *in situ*, formados por acumulação de cristais nas paredes da câmara magmática ou por cristalização na forma de uma suspensão de placas de feldspato no magma, quando ambos tiverem densidades aproximadamente iguais.

Sorensen (1974) comenta também que, pelo fato de as rochas peralcalinas apresentarem um intervalo de tempo de cristalização muito longo, são favorecidos os processos de formação de reações tardi-magmáticas e também que em muitas rochas alcalinas as feições de acumulação de cristais são comuns, e que, antes da acumulação, elas cristalizaram num grande volume de magma.

As considerações acima e as comparações com outros plutons, mesmo de idades diferentes, mostram que o Nefelina Sienito Brejinho tem feições semelhantes a muitos exemplos clássicos de corpos desta natureza, relatados na literatura.

O Nefelina Sienito Brejinho representa um corpo isolado no domínio da Província Borborema e caracteriza um episódio de magmatismo félsico peralcalino do limite Proterozóico-Paleozóico. Embora seja ele, até o presente, um exemplo único de corpos peralcalinos insaturados na região, há registros de plutons graníticos de afinidades alcalinas por toda a região noroeste do Ceará, bem como de suites basálticas alcalinas, portanto, não muito distante do local de ocorrência deste pluton que, pela cronologia semelhante, permite interpretá-lo dentro de um grande evento de magmatismo no limite Proterozóico-Paleozóico, relacionadas à tectônica de estabelecimento do Graben Jaibaras.

A geração e o *emplacement* destes granitos do Eopaleozóico fora discutida por Gorayeb *et al.* (1993) que relacionaram este magmatismo à implantação do sistema transtrativo Ubajara-Jaibaras, considerando que a maior expressão dos corpos posiciona-se ao longo da região de maior distensão, e a geração de massas estaria vinculada à incidência de elevadas taxas de estiramento da litosfera, causando ascensão local das isothermas, propiciando a geração de fusões em níveis mais profundos da crosta e colapsos da supracrosta, implantando o sistema de grabens.

O passo seguinte seria a permeação e ascensão de líquidos magmáticos ao longo das principais zonas transtensivas até os níveis epizonais.

A diversidade de tipos composicionais entre os diferentes corpos graníticos desde a natureza saturada sub-alcalina até alcalina, com variadas composições (álcali-feldspato granitos e quartzo sienitos, sienogranitos, quartzo-monzonitos e monzodioritos, granodioritos, quartzodioritos, tonalitos e albita granitos) sugerem fontes diversificadas na geração dos corpos.

As rochas alcalinas subsaturadas são rochas relativamente rasas mas que, apesar disto, têm mundialmente uma distribuição espalhada nos vários continentes, bem como em regiões oceânicas e são o produto de magmatismo em regiões intraplaca relativamente estáveis ou em zonas de rifteamento (Hydman 1972, Sorensen 1974, Best 1982, Mitchell 1996).

Os principais corpos de rochas alcalinas continentais estão associados espacial e temporalmente a regiões de *rift* de crosta relacionado à tectônica extensional ou áreas tectonicamente estáveis.

Um dos mais bem documentados eventos de magmatismo alcalino estão relacionados ao quebraamento da placa Sul-Americana e da Placa Africana, no processo de deriva continental no início do Mesozóico, que foi acompanhado de magmatismo alcalino, bem como derrames basálticos.

Exemplos de plutonismo alcalino relacionados a episódios de tectônica extensional, no território brasileiro podem ser citado pelo menos dois. Um deles do Neoproterozóico, compreende os corpos de Monte Santo e Serra da Estrela no Estado do Tocantins de idade aproximada de 1.0 Ga (Costa *et al.* 1983, Arcanjo *et al.* 2000) que se relaciona à fase *rift* do Cinturão Araguaia (Alvarenga *et al.* 2000), e o outro conjunto o cortejo de plutons alcalinos da borda da Bacia do Paraná, relacionado à tectônica Mesozóica (Carmichael *et al.* 1974, Hertz 1977).

O Nefelina Sienito Brejinho de idade 545 Ma, embora seja um registro de um magmatismo de natureza peralcalina na região, coincide cronologicamente com a intensa atividade ígnea, muito bem documentada no oeste da Província Borborema, do final do Neoproterozóico – início do Paleozóico.

Tal situação permite considerar o NSB como um novo registro de um episódio magmático relacionado à tectônica extensional intracontinental no Eopaleozóico, definido por Abreu *et al.* (1993) e Gorayeb *et al.* (1993) com registros por todo o oeste da Província

sedimentares/vulcano-sedimentares (Ubajara, Jaibaras, Jaguaripi, Cococi, São Julião) e plutonismo granítico.

Este episódio de magmatismo antecede o embaciamento da Bacia do Parnaíba do paleozóico, cujas formações basais do Siluriano assentam-se sobre o NSB na Serra de Santa Rita, estabelecendo um intervalo de tempo relativamente estreito entre o *emplacement* do pluton, em níveis relativamente rasos, os processos de denudação e o início da sedimentação desta bacia.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados no Nefelina Sienito Brejinho (NSB), incluindo a cartografia geológica, as relações de contato, análises de estruturas e texturas, caracterização petrográfica, posicionamento estratigráfico e geocronologia permitiram um avanço significativo no conhecimento deste pluton. Trata-se de um corpo plutônico de natureza félsica alcalina, insaturado, intrusivo em gnaisses do Complexo Granja.

Seu posicionamento estratigráfico fora estabelecido por Gorayeb e Abreu (1997) num intervalo bem amplo (entre 1,9 e 0,5 Ga). O NSB apresenta uma relação intrusiva nas rochas gnáissicas do Complexo Granja, do Paleoproterozóico (2,0- 2,2 Ga) e é recoberto discordantemente pelos arenitos do Grupo Serra Grande (unidade basal da Bacia do Parnaíba) do Siluro-Devoniano, na Serra de Santa Rita, ficando estabelecido um amplo intervalo de idade para o alojamento do NSB, entre o final do Paleoproterozóico e o Eopaleozóico.

Os estudos geocronológicos realizados neste trabalho indicaram a idade de 545 ± 11 Ma, que é interpretada como a idade mínima para a cristalização das rochas e a colocação do pluton, o que vem posicionar o NSB no início do Cambriano, exatamente no limite entre o Neoproterozóico e o Eopaleozóico.

Analisando a situação geológica da área em estudo e considerando:

- 1) a idade de colocação sugerida para o Granito Chaval (591 ± 10 Ma, Fetter 1999);
- 2) a marcante estruturação impressa nas rochas do Complexo Granja e Granito Chaval na área, transformando-as em milonitos ao longo da Zona de Cisalhamento Santa Rosa;
- 3) a inexistência de deformação e metamorfismo no corpo;
- 4) o truncamento e arqueamento das estruturas das rochas encaixantes pela intrusão do NSB; pode-se, indiretamente, definir um intervalo relativamente estreito de idade para processo de cisalhamento da Zona de Cisalhamento Santa Rosa, como anterior ao alojamento de NSB e posterior ou coincidente à idade de colocação do Granito Chaval, isto é entre 591 e 545 Ma.

No que diz respeito ao corpo em si, o detalhamento petrográfico permitiu individualizar 3 importantes faciologias petrográficas (Clinopiroxênio Nefelina Sienito, Clinopiroxênio Microclina Sienito e Leucosienito) as quais caracterizam múltiplas fases do magma na evolução cristalina do corpo, comandadas por processos de diferenciação magmática. Feições texturais/estruturais, relações entre as fases minerais, correlações e interpretações tectônicas nas diferentes faciologias, permitiram preliminarmente compreender a colocação e o

estabelecimento do NSB como um representante raro na Província Borborema de um episódio de magmatismo alcalino subsaturado do final do Proterozóico - início do Paleozóico.

Estudos comparativos aos corpos magmáticos já conhecidos na literatura na região noroeste da Província Borborema, permite correlacioná-lo temporalmente à granitogênese estabelecida no NW do Ceará, em que a grande maioria situa-se num intervalo de idade entre 480 e 600 Ma, cujos principais representantes são os granitos Meruoca, Mucambo, Anil, Pajé, Morrinhos e São Paulo e, em muitos deles, está demonstrada sua tendência alcalina. Por outro lado, não se pode descartar a possibilidade de correlação deste episódio de magmatismo com o vulcanismo alcalino da Suite Parapuí no Graben Jaibaras, cujo posicionamento estratigráfico é sugerido ser do Cambro-Ordoviciano. Estudos recentes realizados na região por Nascimento (2000), identificaram uma suite de natureza alcalina, onde tem o predomínio de basaltos alcalinos, traquibasaltos, rochas vulcanoclásticas, piroclásticas e riolitos subordinados, e que caracteriza um magmatismo basáltico alcalino intracontinental, com efusões e explosões.

De acordo com a literatura, no Brasil e na África Ocidental estão registrados pelo menos três importante episódios de formação de rochas alcalinas. Os mais antigos estão enquadrados no Mesoproterozóico (1.8 a 1.5 Ga), outros no Mesoproterozóico ao Neoproterozóico (1.2 a 0.9 Ga) e no Mesozóico (147 a 100 Ma; 138 a 50 Ma). Episódios mais recentes do Cenozóico são registrados em ilhas oceânicas na costa do Brasil (Carmichael *et al.* 1974, Sorensen 1974, Hertz 1977).

O episódio identificado neste trabalho, de idade 545 ± 11 Ma não tem registros na região oeste da Província Borborema, considerando o magmatismo peralcalino e a sua existência abre um nova perspectiva de pesquisa considerando a importância tectônica e metalogenética que este tipo de magmatismo tem, particularmente em uma região com uma cartografia geológica razoavelmente bem conhecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. & LAFON, J.M. 1991. Granulitos transamazônicos no Cinturão de Cisalhamento noroeste do Ceará. In: SIMP. GEOL. NE, 14. Recife. *Anais...* SBG. p.229-231.
- ABREU, F.A.M.; GORAYEB, P.S.S.; GAMA Jr., T.; HASUI, Y. 1988. O Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. In: CONG. LATINO-AMERICANO GEOL., 7. Belém. *Anais...* SBG. p.20-33.
- ABREU, F.A.M.; GORAYEB, P.S.S.; HASUI, Y. 1993. Grábens Eopaleozóicos do oeste cearense – Considerações sobre as seqüências lito-estratigráficas. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Natal. *Anais...* SBG. p.29-31.
- ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM. Div. Geol. Miner. *Boletim*, 241.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; NEVES, B.B. de B.; FUCK, R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMP. GEOL. NE, 8. Campina Grande. *Atas...* SBG. p.363-391.
- ALVARENGA, C. J. S.; MOURA, C. A. V.; GORAYEB, P. S. S.; ABREU, F. A. M. 2000. Paraguay and Araguaia Belts. In: INTER. GEOL. CONG., 31. Rio de Janeiro. *Tectonic Evolution of South America*. p.183-193.
- ARCANJO, S.H.S.; ABREU, F.A.M.; MOURA, C.A.V. 2000. Magmatismo alcalino Mesoproterozóico na Província Tocantins – Uma evidência de quebraimento do supercontinente Rodínia? In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 7. Belém. *CD-ROM*. SBG.
- BART, T.F.W. 1969. *Feldspars*. Wiley – New York, Interscience. 216p.
- BEST, M.G. 1982. *Igneous and Metamorphic Petrology*. New York, W. H. Freeman and Company. 630p.
- CARMICHAEL, I.S.E.; TURNER, F.J.; VERHOGEN, J. 1974. *Igneous Petrology*. New York, McGraw-Hill. 739p.
- COSTA, J.B.S.; GORAYEB, P.S.S.; BEMERGUY, R.L.; GAMA Jr, T.; KOTSHOUBEY B., LEMOS, R.L. 1983. *Projeto Paraíso do Norte*, CVRD/UFPA. 125p. (Relatório final).
- COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B.; LINS, C.A.C.; BACCIEGA, I.F.; HABEKOST, C.R.; CRUZ, W. B. 1979. *Geologia da Bacia Jaibaras, Ceará-Piauí e Maranhão*. Brasília MME/DNPM. 106p.
- DANNI, J.C.M. 1972. Geologia da porção sul do Grupo Jaibaras. *Revista Brasileira de Geociências*, 2: 87-97.

- DAVIDSON, A. 1970. Nepheline-K-feldspars intergrowth from Kamimak Lake, Northwest Territories. *Canadian Mineralogists*. **10**: 191-206.
- DEER, W.E.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1981. *Minerais constituintes das rochas. Uma Introdução*. (tradução). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 558p.
- DSG. 1979. *Mapa planialtimétrico da Folha Chaval SA-24-Y-C-H*. Escala 1.100.000.
- FAURE, G. 1986. *Principles of isotope geology*. New York, John Willey & Sons. 589p.
- FETTER, A.H. 1999. *U/Pb and Sm/Nd geochronological and geologic history of Ceará States, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of Gondwana*. Kansas. University of North Carolina. Department of Geology. 146p. (Tese de Doutorado).
- FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W.R. 1997. Geocronologia e estruturação do estado do Ceará: NW da Província Borborema, NE Brasil. In: SIMP. GEOL. NE, 17. Fortaleza. *Anais...* SBG. p.32-33.
- FETTER, A. H.; SANTOS T.T.S. dos; NOGUEIRA NETO, J. A.; VAN SCHMUS, W.R. 1995. Geocronologia U/Pb em zircão e Sm/Nd em rocha total do Estado de Ceará – Resultados iniciais. In: SIMP. GEOL. NE, 16. Recife. *Anais...* SBG. p.418-422.
- GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MOURA, C.A.V.; SCHELLER, T. 1993. Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb no Laboratório de Geologia Isotópica - UFPa: Metodologia e primeiros resultados. In: CONG. BRAS. GEOL., 4, Brasília. *Anais...* SBG. p.236-245.
- GITTINS, J.; FAWCETT, J.J.; BROOKS, C.K.; RUCKLIDGE, J.C. 1980. Intergrowths of nepheline-k-feldspar and kalsilitte-k-feldspar: a re-examination of pseudo-leucita problem. *Contrib. Mineral. Petrol.* **73**:119-126.
- GORAYEB, P.S.S. & ABREU, F.A.M. 1989. A faixa de alto grau da Região de Cariré. In: SIMP. GEOL. NE, 13. Fortaleza. *Anais...* SBG - NE. p.182-184.
- GORAYEB, P.S. S. & ABREU, F.A.M. 1997. O Nefelina Sienito Brejinho, nova ocorrência de intrusão alcalina Pré-Cambriana no oeste da Província Borborema. In: SIMP. GEOL. NE, 16. Fortaleza. *Anais...* SBG. p.276-279.
- GORAYEB, P. S. S. & COIMBRA, C. R. 1995. O zoneamento metamórfico termal ao redor do granito Mucambo. In: SIMP. GEO. NE, 15. Recife. *Anais...* SBG – NE. p.337-340.
- GORAYEB, P.S.S. & LAFON, J.M. 1995. Geocronologia Rb-Sr do Granodiorito Anil – CE. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Recife. *Anais...* SBG. p.274-275.

- GORAYEB, P.S.S. & NASCIMENTO, R.S. 1997. Rochas vulcânicas da Suíte Parapuí – Bacia de Jaibaras - CE. Considerações geológicas e petrográficas. In: SIMP. GEOL NE, 16. Fortaleza. *Anais...* SBG. p.273-274.
- GORAYEB, P.S.; ABREU, F.A.M.; CORRÊA, J.A.M.; MOURA, C.A.V. 1988. Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Seqüência Ubajara-Jaibaras. In: CONG. BRAS. GEOL., 35. Belém (PA). *Anais...* SBG. v.6, p.2678-2688.
- GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M.; HASUI, Y. 1993. A tectônica distensiva e a geração de granitóides Eopaleozóicos no oeste do Ceará. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Natal. *Anais...* SBG. p.254-257.
- GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M.; MOURA, C.A.V. 1995. Geração de corpos graníticos batolíticos sintransamazônicos na Província Borborema: o exemplo do Granitóide Chaval. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Natal. *Anais...* SBG. p.414-417.
- GORAYEB, P.S.S.; GAUDETTE, H.E.; MOURA, C.A.V.; ABREU, F.A.M. 1999. Geologia e geocronologia da Suíte Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. *Revista Brasileira de Geologia*, **29**: 571-578.
- GORAYEB, P.S.S.; TAVARES, Jr S.S.; LAFON, J.M. 1991. Novos estudos geocronológicos Rb-Sr na região de Forquilha - Santa Quitéria – CE. In: SIMP. GEOL NE, 14. Recife. *Anais...* SBG. 12:p. 260-263.
- HACKSPACHER, P.C.; SANTOS, T.J.S.; LAFON, J.M. 1991. Evolução geocronológica do complexo gnaissico-migmatítico-NW-Ceará. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Natal. *Anais...* SBG. v.12, p.268-271.
- HERTZ, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic. Information from Brazilian alkaline rocks. *Geological Society of American Bulletin*. **88**: 101 – 112.
- HYNDMAN, D.W. 1972. *Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks*. New York, McGraw-Hill Book Company. 533p.
- KERR, P.F. 1959. *Optical Mineralogy*. New York, McGraw-Hill Book Company. 442p.
- LAFON, J.M.; TAVARES Jr., S.S.; GORAYEB, P.S.S. 1992. Caracterização litoquímica e geocronológica dos granitóides da região de Sobral-Santa Quitéria, Noroeste do Ceará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37. São Paulo. SBG. *Boletim de Resumos Expandidos*. p.371-372.
- MACKENZIE, W.S.; DONALDSON, C.H.; GUILFORD, C. 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. England, Longman Group Limited. 148p.

- MITCHELL, R.M. 1996. *Undersaturated Alkaline Rocks: Mineralogy, Petrogenesis, and Economic Potential: Short Course*. Winnipeg, Manitoba (Canada), J. L. Jambor. 312p. (Mineralogical Association of Canada - Short Course Series, 24)
- MITCHELL, R.M. & PLATT, R.G. 1982. Mineralogy and petrology of Nepheline Syenites from the Coldwell Complex, Ontario, Canada. *Journal of Petrology*. **23**: 186-214.
- NASCIMENTO, D.A. & GAVA, A. 1979. Novas considerações sobre a estratigrafia da Bacia de Jaibaras. In: SIMP. GEOL. NE, 9. Natal. *Atas...* SBG. v.7, p.14-29.
- NASCIMENTO, D.A.; GAVA, A., PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; FRANÇA, F.A.B.; CABRAL, E.M.A.; STANFORD, W.J.P.; RIBEIRO, A.G.; BARROS, M.J.G.; FONSECA, R.A. 1981. *Geologia da folha SA-24, Fortaleza - Projeto RADAMBRASIL*. Rio de Janeiro, DNPM. v.21, p.23-212.
- NASCIMENTO, R.S. 2000. *Caracterização petrográfica, mineralógica e litoquímica das rochas vulcânicas do Gráben Jaibaras – CE*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 109p. (Tese de Mestrado).
- NASCIMENTO, R.S. & GORAYEB, P.S.S. 1999. Caracterização petrográfica e geoquímica dos basaltos alcalinos do Graben Jaibaras – Noroeste do Ceará. In: SIMP. SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1. Gramado. *Anais...* SBG. p.4-5.
- NESSE, W.D. 1986. *Introduction to Optical Mineralogy*. New York, Oxford University Press. 325p.
- NEVES, B.B.B. 1975. *Regionalização do Pré-cambriano nordestino*. São Paulo. Instituto de Geociências. 198p. (Tese de Doutorado).
- NEVES, B.B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; SANTOS, E.J. 1995. Geocronologia da Província Borborema: os fatos e as questões abertas. In: SIMP. GEOL. NE, 16. Recife. *Anais...* SBG. p.410-413.
- NOGUEIRA NETO, J.A.; TORQUATO, J.R.; MACAMBIRA, M.J.B.; ARTHAUD, M.H. 1990. Avaliação dos dados geocronológicos do Complexo Granja (CE). *Revista de Geologia – UFC*, **3**: 5-18.
- NOVAES, F.R.G.; NEVES, B.B.B.; KAWASHITA, K. 1979. Reconhecimento cronoestratigráfico na região noroeste do Ceará. In: SIMP. GEO. NE, 9. Natal. *Atas...* SBG. p.93-111.

- PLATT, R.G. 1996. Nepheline Syenite Complexes - An Overview. In; MITCHELL R.M. (ed) *Undersaturated Alkaline Rocks: Mineralogy, Petrogenesis, and Economic Potential: Short Course*. Winnipeg, J. L. Jambor. p.63-99.
- PLATT, R.G. & MITCHELL, R.H. 1982b. Rb-Sr geocronology of the Coldwell Complex, northwestern Ontario, Canada. *Canadian Journal Earth Science*, **19**: 1796-1801.
- PROVOST, A. 1990. An improved diagram for isochron data. *Chem. Geology (Isotope Geosc. Sect)*, **80**: 85-99.
- ROLLINSON, H. 1993. *Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation*. New York, Longman Group. Ltd. 352p.
- SANTOS, E.J. & NEVES, B.B.B. 1984. Província Borborema. In: ALMEIDA F.F.M., HASUI Y. (eds) *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher. p.123-182.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. 1984. *Geologia do Brasil - Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Escala 1:25.000.000. Brasília, DNPM. 501p.
- SIAL, A.N. 1987. Granitic rocks of Northeast Brazil. In: INTER. SYMP. ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. *Extended Abstracts*. p.61-69.
- SIAL, A.N. 1989. *Petrologia, geoquímica de elementos traços, terras raras e isótopos (Sr, O, H, S) nos batólitos da Meruoca e Mucambo, Ceará*. Recife. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia. Departamento de Geologia. 284p. (Tese apresentada para o concurso de professor titular).
- SMITH, J.V. 1974. *Feldspars Minerals*. Berlin, Springer-Verlag. 690p.
- SMITH, J.V. & BRAWN, W.L. 1974. *Feldspars Minerals. Crystal, Chemical and Microtextural Properties*. Berlin, Springer-Verlag. 690p.
- SORENSEN, H. 1974. *The alkaline rocks*. New York, John Willey & Sons. 622p.
- STRECKEISEN, H.L. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Science Reist.* **12**: 1-33.
- TAVARES Jr., S.S. 1993. *Caracterização litoquímica e geocronologia Rb-Sr de rochas granitóides e ortognaisses da região de Santa Quitéria-Sobral, NW do Ceará*. Belém Universidade Federal Pará. Centro de Geociências. 145p (Tese de Mestrado).

- TAVARES Jr., S.S.; GORAYEB, P.S.S.; LAFON, J.M. 1990. Petrografia e geocronologia Rb-Sr do feixe de diques da borda oeste do Granito Meruoca. In: CONG. BRAS. GEOL., 36. Natal. *Boletim de Resumos*. SBG. p.333.
- TAVARES Jr., S.S.; LAFON, J.M.; GORAYEB, P.S.S. 1991. O Granito Serra da Barriga: características petrológicas, geoquímicas e geocronologia Rb-Sr. In: SIMP. GEOL. NE, 15. Recife. *Atas...* SBG. p.178-181.
- TORQUATO, J.R. 1995. A geologia do noroeste do Ceará (uma visão histórica). *Revista de Geologia*, **8**: 7 – 183.
- YORK, D. 1969. Least-squares fitting of a straight line with correlated errors. *Earth Planet. Science Letters*, **5**: 320-324.

ANEXOS

ANEXO A- Procedimentos analíticos para preparação de amostras

- Foram coletadas no campo aproximadamente 2 a 3 kg de amostras de cada afloramento, já fragmentadas em tamanhos relativamente pequenos para facilitar na trituração do material.
- Antes do procedimento de trituração os fragmentos foram lavados com água deionizada para eliminar possíveis contaminações adquiridas durante a amostragem e estocagem.
- Depois de secas, as amostras foram britadas no Triturador de Mandíbulas, da Oficina de Pulverização de Amostras (OPA) do Centro de Geociências.
- Em seguida foram homogeneizadas e quarteadas, em quarteador mecânico, para obter-se uma porção representativa da amostra.
- A seguir, cada amostra foi pulverizada no aparelho *Shatter Box* da OPA, homogeneizada e quarteada manualmente.
- Em seguida cada amostra foi pulverizada no Moinho de Agata.
- As amostras já em menores frações foram homogeneizadas e quarteadas manualmente (onde fez-se uma pequena malha quadriculada com a amostra pulverizada, em seguida coletou-se pequenas porções alternando as quadriculas). Cada amostra foi finalmente processada no aparelho *Spex Mixer* (carbureto de tungstênio) por aproximadamente 20 minutos com a finalidade de obter uma melhor homogeneização e pulverização das amostras.
- Para determinar a quantidade de amostra em relação a quantidade do traçador a ser utilizado na análise fez-se uma avaliação dos dados da análise química, a partir das dosagens de Rb e Sr obtidas por Fluorescência de Raio-X realizada pelo Laboratório Lakefield-Geosol Ltda.
- Determinou-se a utilização de 50g de amostra e 250g de Traçador nº 7 a partir dos cálculos de diluição isotópica, com exceção das amostras RC-24A e RC-46A que utilizou-se apenas 20g e mesma quantidade de Traçador devido as altas concentrações de Rb (Tabela A).

Tabela A – Relação dos pesos das amostras e traçador utilizados na análise geocronológica de Rb-Sr em rocha total do Nefelina Sienito Brejinho.

AMOSTRAS	PESO DA AMOSTRA (mg)	PESO DO TRAÇADOR (mg)
RC/04	51.6	265.3
RC/05a	58.6	254.2
RC/07	51.3	339.8
RC/09	50.8	263.5
RC/09 (duplicata)	50.34	370.07
RC/16	51.2	242.2
RC/18a	56.5	330.0
RC/24	50.97	268.83
RC/24 (duplicata)	21.0	249.4
RC/30	51.27	261.82
RC/30 (duplicata)	50.15	250.49
RC/35	49.9	259.4
RC/37	50.6	302.7
RC/46	51.5	262.8
RC/46 (duplicata)	20.1	258.0
CC-08	50.3	269.1

ANEXO B : Procedimentos químicos para a metodologia Rb-Sr**PROCEDIMENTOS EMPREGADOS NO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA DO CENTRO DE GEOCIÊNCIAS DA UFPA**❖ Abertura química da amostra:

1. Primeiramente pesar o cadinho de abertura, tarar a balança e adicionar a quantidade desejada de amostra;
2. Deve-se adicionar 1ml de HF** (40%) e colocar o cadinho a 100° C na chapa quente durante 4 horas. O cadinho é então aquecido em placa de grafite (T ~ 100°C) até evaporação da solução (~ 3 horas).
3. Em seguida adiciona-se solução de ácido nítrico e ácido perclórico (0.10 ml) e o cadinho é novamente aquecido sobre placa de grafite a 100°C (até o resíduo ficar totalmente seco (~ 1 dia).
4. Adiciona-se 1,5 ml de HCl ** (2,5N), leva-se os cadinhos para a cuba de ultra-som durante 3 minutos e em seguida coloca-se a solução do cadinho em tubos de ensaio para serem levados ao centrifugador (~ 20 min.).

❖ Para a separação dos cátions de Rb e Sr utiliza-se o método de separação química por resina trocadora de íons (do tipo DOWEX AG 50x8), conforme descrição abaixo:

1. A resina, que está introduzida em colunas específicas, é lavada com água 3 ml de HCl** (2,5 N);
2. Introduce-se em seguida na coluna 1 ml da solução da amostra;
3. Segue-se o processo de eluição adicionando-se 3 ml de HCl** (2,5 N) duas vezes até coleta da porção enriquecida de Rb;

4. Entre a coleta da solução concentrada em Rb e daquela concentrada em Sr é feita uma lavagem das colunas com 7 ml de HCl** (2,5 N).
5. A segunda eluição é feita com 4 ml de HCl** (2,5 N) duas vezes para a coleta da solução concentrada com Sr;
6. Os béqueres contendo as soluções concentradas de Rb e Sr são levados para chapa aquecedora até o resíduo ficar seco (~ 4 horas).

❖ Para os depósitos de Rb e Sr:

1. Emprega-se a técnica de ativação de cloreto de tântalo, utilizando filamento simples de W pré-aquecido.
2. Adiciona-se nos cadinhos, contendo os resíduos das soluções enriquecidas em Rb e Sr, 1 μ l de HNO₃** (~ 6N).
3. Depositam-se os resíduos (1 μ l da solução = amostra + ácido) nos filamentos com o auxílio de uma micro-seringa com um capilar adaptado em sua agulha. Antes do depósito da solução adiciona-se no filamento 1 μ l de ativador de tântalo.

** Ácidos bidestilados