

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018058

**Caracterização Petrográfica e Geoquímica do  
Enxame de Diques Máficos da Fazenda Cajazeiras,  
Itabaiana - PB**

**Vidyã Vieira de Almeida**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda

Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

Prof. Dr. Ian McReath

São Paulo

2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO  
ENXAME DE DIQUES MÁFICOS DA FAZENDA CAJAZEIRAS,  
ITABAIANA (PB)**

Vidyã Vieira de Almeida *Vidyã V. de Almeida*

Orientadora: Profa. Dra. Maria Helena B.M. de Hollanda



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-035/2005)

São Paulo  
2005

## **Agradecimentos**

A autora expressa seus profundos agradecimentos a todas as pessoas que tiveram participação direta ou indireta na elaboração deste trabalho.

Em primeiro lugar devo agradecer aos meus pais, Mirian e Sidney, que sempre me incentivaram durante todo o curso de graduação.

À Profa. Dra. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda pela orientação e apoio em todas as atividades deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP) e Prof. Dr. Benjamin Bley de Brito Neves (IGc-USP) pelas amostras e lâminas cedidas.

Aos amigos do curso de geologia: Lélia (Costela), Fernanda (Roça), Rosa, Maria (Fuji) e Itamar (Jeitoso) pela convivência e discussão.

Aos funcionários do IGc-USP Marcos (Microsonda Eletrônica), Angélica (Microscopia Óptica), Vasco (CPGeo), Paulo (Laminação) e Paulo (Fluorescência de Raios X).

À Profa. Dra. Gianna Maria Garda pela ajuda na petrografia.

Ao pós-graduando Maurício pela ajuda na petrografia e na interpretação sobre a geoquímica dos diques.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento das análises dentro de projeto de auxílio à pesquisa.

À CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de auxílio financeiro através de bolsa de iniciação científica.

Ao meu companheiro, Frederico, pela total ajuda e paciência durante este trabalho.



## Resumo

O enxame de diques máficos aflorante nas proximidades das cidades de Itabaiana (Fazenda Cajazeiras) e Mulungu (Fazenda Maravilha), ambas no estado da Paraíba, apresenta idade cambriana (ca. 525 Ma), sendo representante da atividade magmática ocorrida no período de transição Proterozóico-Fanerozóico relacionada com a consolidação do Supercontinente Gondwana.

A petrografia dos diques mostrou diferenças quanto à tipologia dos microfenocristais e composição química das fases minerais. No geral a matriz apresenta granulação muito fina a fina com textura intergranular e intersetal. Microfenocristais ocorrem somente na Fazenda Cajazeiras e podem formar aglomerados em textura glomeroporfírica. Texturas de desequilíbrio entre o líquido e a fase residual podem ser encontradas na forma de microfenocristais de plagioclásio com nítido zoneamento e textura tipo peneira.

De forma geral, todas as amostras analisadas mostram padrão composicional semelhante para os cristais da matriz, com núcleos de composição no campo da labradorita ( $An_{47-60}$ ) passando a bordas menos cálcicas, com composições similares a andesina ou ainda oligoclásio ( $An_{24-49}$ ). Microfenocristais de olivina apresentam composição mais magnesiânica na Fazenda Cajazeiras ( $Fe_{82-83}Fa_{17-18}$ ) e mais enriquecida em ferro na Fazenda Maravilha ( $Fe_{72}Fa_{28}$ ). Diferenças relativas aos teores em cálcio são observadas nos cristais de piroxênio onde as análises mostraram diques com piroxênio cálcico (augita-diopsídio) e piroxênio com baixo cálcio (pigeonita-augita subcálcica). Os diagramas de classificação de piroxênio mostraram tendência de enriquecimento em Enstatita (En) na Fazenda Cajazeiras e leve enriquecimento em Ferrossilita (Fs) na Fazenda Maravilha.

As amostras foram classificadas como basaltos, basaltos andesíticos e andesito. No diagrama AFM as análises se localizaram logo abaixo da curva divisória entre as séries toleítica e cálcio-alcálica. No entanto, no diagrama  $SiO_2$  versus  $FeO/MgO$  a maioria das amostras foram plotadas dentro do campo da série toleítica. As análises litoquímicas mostraram variação relativamente ampla nos teores em  $SiO_2$  quando comparado aos outros elementos maiores. No diagrama de Harker fica evidente que a sílica condiciona a individualização dos grupos definindo um *trend* de fracionamento a partir de composições mais pobres em  $SiO_2$  para mais enriquecidas. O decréscimo em CaO combinado com o aumento de  $Na_2O$  pode indicar fracionamento de plagioclásio. A cristalização de piroxênio e olivina pode estar relacionada à correlação negativa de MgO, CaO e  $Fe_2O_3$ .

A hipótese de cristalização fracionada não é observada nos diagramas compatível versus incompatível. Neste caso os teores em incompatível mostraram pouca a nenhuma variação entre as amostras. O padrão de elementos terras-raras mostra significativo enriquecimento de elementos terras-raras leves em relação aos pesados. O enriquecimento é mais pronunciado na amostra CAJ-19, produzindo um padrão fortemente fracionado com razão  $(La/Yb)_N$  de 12,84.



## Abstract

The cambrian dyke swarms studied in this work are related to the transition period between the Proterozoic-Phanerozoic during the consolidation of Gondwana supercontinent. Their outcrops are located near the cities of Itabaiana (Cajazeiras Farm) and Mulungu (Maravilha Farm) both in the state of Paraíba, Brazil.

The petrographic study in thin section shows differences concerning the types of microphenocrystals and the chemistry of the minerals such as pyroxene, olivine and plagioclase. The intergrain and interstitial textures are present in a very fine to fine matrix. Microphenocrystals occur only in Cajazeiras Farm and in some cases form clusters in a porphyritic texture. Zoning plagioclase and sieve texture are found in the phenocrystals and indicate instability between the solid phases and the residual liquid.

Plagioclase crystals display cores and rims of labradorite ( $An_{47-60}$ ) to andesine ( $An_{24-49}$ ) compositions. Oligoclase is observed only in the rims of some crystals in the matrix. Olivine microphenocrystals are magnesium-rich in Cajazeiras Farm ( $Fo_{82-83}Fa_{17-18}$ ) and are depleted in magnesium in Maravilha Farm ( $Fo_{72}Fa_{28}$ ). Differences concerning the calcium proportion are observed in pyroxene crystals. It is possible to separated dykes that contain calcium-rich pyroxenes (augite-diopside) and dykes with calcium-poor pyroxenes (pigeonite and calcium-poor augite). The pyroxene classification diagrams show an enrichment of magnesium in the analyses of the Cajazeiras Farm and a slightly enrichment of iron in Maravilha Farm.

The samples are classified as basalts, andesitic basalts and andesite. In the AFM diagram, the analyses are located under the divisor curve between the tholeiitic and calc-alkaline series. However, in the  $SiO_2 \times FeOt/MgO$  diagram most part of the samples is plotted in the tholeiitic series field. The Harker diagrams show that the  $SiO_2$  proportions define groups in a fractionation trend from the most  $SiO_2$ -poor samples to the most  $SiO_2$ -rich samples. The decrease in CaO combined with the increase in  $Na_2O$  may indicate the fractionation of plagioclase. The pyroxene and olivine crystallization can be related to the decrease of CaO and MgO with the increase in  $SiO_2$ .

The hypothesis of fractional crystallization is not observed in the compatible x incompatible diagrams. In this case the proportions of the incompatible elements show a few or even any variation between the samples. The REE diagram shows an expressive enrichment of light rare-earth elements in relation to the heavy rare-earth elements. This enrichment is more pronounced in the CAJ-19 dyke where the ratio  $(La/Yb)_N$  is about 12,84.

## Índice

<b>1. Introdução</b>	<b>4</b>
1.1. Objetivos e Justificativas	5
1.2. Localização Geográfica da Área	5
1.3. Materiais e Métodos	6
1.4. Cronograma	6
<b>2. A Porção Oriental da Zona Transversal – Síntese do Conhecimento Atual</b>	<b>8</b>
<b>3. O Magmatismo Fissural da região de Itabaiana-Mulungu (PB)</b>	<b>10</b>
<b>4. Petrografia</b>	<b>14</b>
4.1. Fazenda Cajazeiras - Itabaiana	14
4.2. Fazenda Maravilha - Mulungu	17
4.3. Alteração hidrotermal: evidências petrográficas	18
<b>5. Química Mineral</b>	<b>21</b>
Plagioclásio	21
Píroxênio	22
Olivina	23
<b>6. Geoquímica de rocha total</b>	<b>23</b>
6.1. Elementos maiores	24
6.2. Elementos traços e terras raras	29
<b>7. Discussão e conclusão</b>	<b>33</b>
<b>8. Referências Bibliográficas</b>	<b>34</b>



## 1. Introdução

A Província Borborema, definida inicialmente por Almeida *et al.* (1977) é uma entidade geotectônica constituída por sequências de supracrustais meso- e neoproterozóicas, separadas entre si por blocos de embasamento gnáissico-migmatítico paleo- a mesoproterozóicos. Toda a Província foi intensamente retrabalhada durante a orogênese Brasileira (ca. 580 Ma), cuja principal feição geológica constitui um mosaico de zonas de cisalhamento de *trend* E-W e N-NE, associado a volumoso magmatismo bimodal (figura 1).

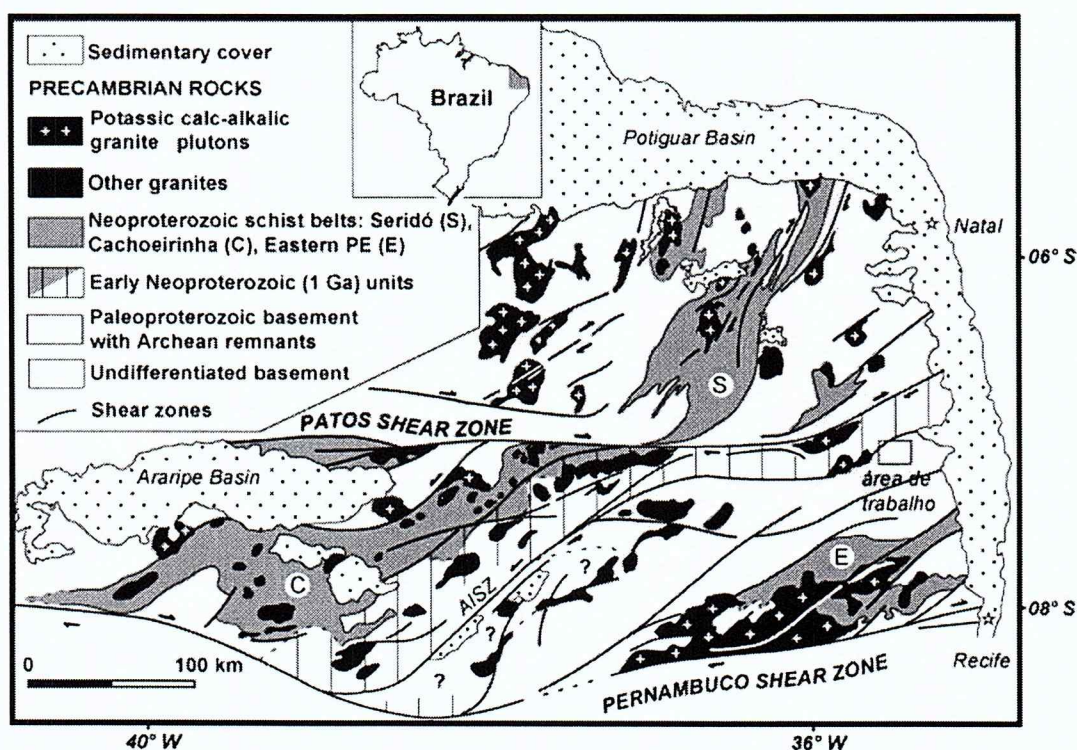


Figura 1. Mapa geológico simplificado do setor oriental da Província Borborema, enfatizando zonas de cisalhamento e magmatismo brasileiros. Modificado de Archanjo & Fetter (2004).

No período de transição entre o Proterozóico e Fanerozóico, a província foi afetada por atividade magmática de escala restrita, representada por derrames de lava, enxames de diques e plútons, ácidos a básicos, geneticamente relacionados ou não ao desenvolvimento de bacias intracratônicas (Brito Neves, 1998). Estudos detalhados, do ponto de vista petrográfico e geoquímico, destas ocorrências magmáticas são ainda escassos na literatura.

A proposta deste projeto é contribuir para ampliar o conhecimento acerca da geologia de algumas dessas ocorrências, em particular do enxame de diques máficos da região de Itabaiana (Paraíba). Essa ocorrência foi recentemente datada pelo método Ar-Ar em ca. 525 Ma (Brito Neves e Vasconcelos, comunicação verbal), o que permite posicioná-la definitivamente como atividade magmática fanerozóica. Apesar da idade bem conhecida,



vários aspectos básicos relacionados a estas rochas ainda permanecem desconhecidos, dentre os quais suas composições mineralógica e geoquímica.

### 1.1. Objetivos e Justificativas

O objetivo principal do projeto consiste na caracterização petrográfica e geoquímica do enxame de diques da região de Itabaiana-Mulungu (PB). Na verdade, esse magmatismo fissural é representado por enxames correlatos de pequenas dimensões, os quais afloram próximo à cidade de Itabaiana propriamente dita – especificamente na Fazenda Cajazeiras, e próximo à cidade de Mulungu – nas imediações da Fazenda Maravilha (ver item 1.2, adiante). A idade cambriana obtida certamente os coloca em posição de destaque com respeito à evolução geodinâmica da Província Borborema durante o Fanerozóico, uma vez que poucos são os casos conhecidos com idades semelhantes. Sua importância no cenário geológico da província, aliado à ausência de outras informações tais como cartografia, composição mineralógica/geoquímica, controle estrutural, e ainda aspectos sobre sua gênese (natureza da fonte e evolução magmática), motivaram a proposição deste projeto.

Obviamente, está fora do escopo desse trabalho de formatura estudar todos esses aspectos. Espera-se, no entanto, contribuir com informações de cunho geológico essencial para embasar futuras abordagens relacionadas a esse evento magmático em particular.

### 1.2. Localização Geográfica da Área

As cidades de Itabaiana e Mulungu localizam-se dentro da zona litorânea do estado da Paraíba. A distância entre as duas cidades é de cerca de 100 (cem) quilômetros (figura 2).

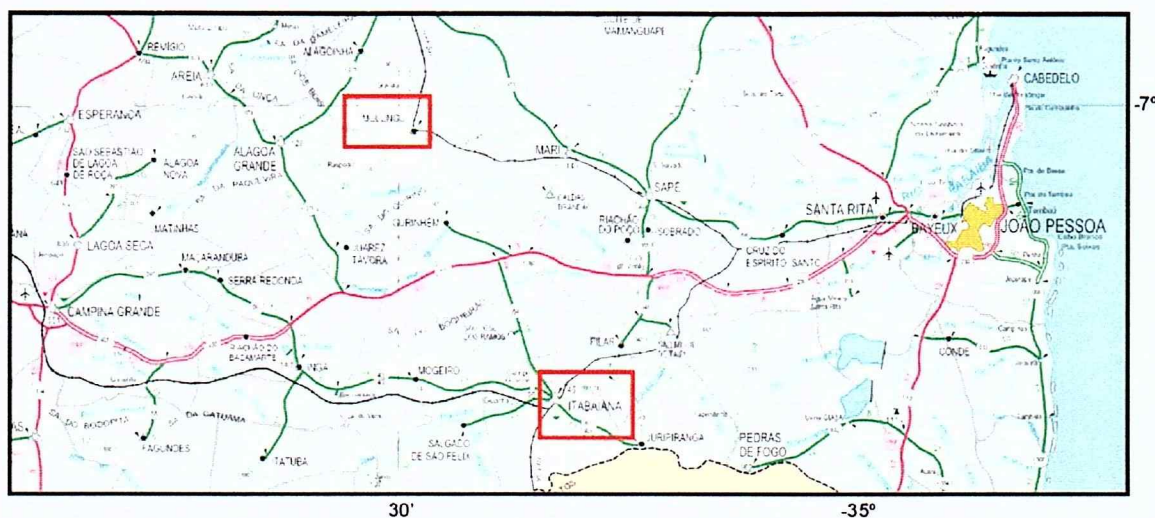


Figura 2. Mapa rodoviário com a localização das cidades de Itabaiana e Mulungu.

### **1.3. Materiais e Métodos**

O material utilizado para o estudo proposto consiste de 23 (vinte e três) amostras de rocha coletadas em diques distintos, sendo 16 (dezesesseis) provenientes do enxame da Fazenda Cajazeiras e 7 (sete) do enxame da Fazenda Maravilha. Todo esse conjunto de amostras foi gentilmente cedido pelo Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP), resultante de um levantamento sistemático para estudo paleomagnético. Em adição a esse conjunto, foram ainda estudadas 4 (quatro) amostras cedidas pelo Prof. Dr. Benjamim Bley de Brito Neves (IGc-USP).

Para desenvolver o tema, foram empregados os seguintes métodos:

- (i) Estudo petrográfico convencional em seções delgadas com espessura padrão (30 $\mu$ m), a fim de se caracterizar as fases minerais constituintes, relações texturais individuais e entre grãos, estruturas e sequência de cristalização. Imagens fotográficas em sistema convencional e digital foram obtidas para ilustrar os aspectos petrográficos mais relevantes.
- (ii) Análises de composição química das fases minerais em microsonda eletrônica (WDS e EDS).
- (iii) Análises litoquímicas em rocha-total para determinação de elementos maiores, traços e terras-raras, com o intuito de obter informações sobre a tipologia e filiação/afinidade geoquímica dos magmas.

A preparação das amostras para as análises litoquímicas de elementos maiores envolveu a fusão de 1 (um) grama de material pulverizado (< 300 mesh) com 5 (cinco) gramas de uma mistura de material fundente de metaborato de lítio:tetraborato de lítio na proporção 4:1, para formar uma pastilha de vidro. As condições analíticas incluíram (i) voltagem de aceleração entre 22 kV (para Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si) e 40 kV (para Mn, Ti), (ii) intensidade do feixe de raio-x de 50 mA, (iii) tempo médio de contagem entre 30 segundos (para Al, Ca, Fe, K, Si) e 60 segundos (para Mg, Na, P), e (iv) correções de matriz Alpha. As concentrações de elementos traços foram dosadas por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

### **1.4. Cronograma**

As atividades propostas para o desenvolvimento deste projeto foram desenvolvidas seguindo o cronograma abaixo (tabela 1), o qual culminará com a apresentação oral dos resultados obtidos.



Tabela 1. Cronograma do trabalho.

Atividades	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Petrografia microscópica	X								
Composição química mineral (análise e tratamento dos dados)	X	X	X						
Geoquímica de rocha-total (análise e tratamento dos dados)		X	X	X					
Confecção do relatório de progresso				X	X				
Integração e Interpretação dos resultados					X	X	X		
Confecção da monografia e resumo						X	X	X	
Apresentação oral									X

Na primeira etapa do estudo (abril a julho) as atividades se concentraram na obtenção dos dados analíticos. Neste período foi concluído o estudo petrográfico das amostras que já se encontrava em andamento desde o segundo semestre de 2004. No total foram descritas 29 (vinte e nove) seções delgadas sob microscópio óptico no Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências (IGc-USP). Fotomicrografias foram obtidas para ilustrar os aspectos mais relevantes observados. Parte das seções foram selecionadas para determinação da proporção modal por contagem de pontos em contador automático.

Após o estudo petrográfico foram selecionadas amostras/seções delgadas para análise das fases minerais em microsonda eletrônica mediante análises pontuais quantitativas (WDS) e semi-quantitativas. Paralelamente também foram selecionadas amostras para análise litogeoquímica. Todo o procedimento para pulverização foi realizado no Laboratório de Preparação de Amostras do CPGeo (Centro de Pesquisas Geocronológicas) do IGc-USP. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Fluorescência de Raios X, também deste instituto para análise de elementos maiores, e ao Laboratório ACME *Analytical Laboratories* (Canadá) para análise de elementos traços e terras raras por ICP-MS.

No início de junho foi realizada seção (quatro dias) no Laboratório de Microsonda Eletrônica do IGc-USP. Entre os meses de julho e início de agosto o trabalho esteve direcionado em levantamentos bibliográficos sobre a região de ocorrência dos diques e na elaboração do relatório de progresso.

A segunda etapa do trabalho (agosto a novembro) envolveu o tratamento e integração dos dados petrográficos, geoquímicos e de química mineral. Uma seção adicional (um dia) na microsonda eletrônica foi necessária para complementar os resultados existentes. Todo o tratamento dos dados analíticos foi conduzido nos *softwares* Excel e Minpet 2.0. Os resultados obtidos foram então interpretados.



## 2. A Porção Oriental da Zona Transversal – Síntese do Conhecimento Atual

Segundo Santos (1996) e Brito Neves (2000), a Província Borborema pode ser subdividida em cinco domínios tectônicos, com base em suas características estruturais e geocronológicas. São eles: Médio Coreau, Central Ceará, Rio Grande do Norte, Meridional e Zona Transversal (fig. 3).

A área geográfica de ocorrência dos diques máficos em estudo está inserida no Domínio da Zona Transversal (doravante abreviada de DZT). Esse domínio é limitado pelos lineamentos Patos, a norte, e Pernambuco, a sul. Geologicamente é constituída por terrenos denominados de leste para oeste: Alto Pajeú (TAP), Alto Moxotó (TAM) e Rio Capibaribe (RC), os quais integram o Sistema de Dobramentos Pajeú-Paraíba (Brito Neves, 1983). Estes terrenos apresentam feições tectônicas geradas durante os ciclos orogênicos Transamazônico (2,2 a 2,0 Ga) e Cariris Velhos (1,0 Ga a 940 Ma), resultantes da interação entre os domínios Rio Grande do Norte e Central Ceará com o setor norte do Cráton São Francisco (Brito Neves, 2000). Evidências de retrabalhamento posterior durante o Ciclo Brasileiro estão presentes em todos os terrenos.

Os diques da Fazenda Cajazeiras estão situados no Terreno Alto Moxotó (TAM) (figura 3), o qual é separado dos terrenos Alto Pajeú (TAP) e Rio Capibaribe (RC) por importantes cisalhamentos regionais de idade neoproterozóica (a norte, Serra Redonda-Mari, e a sul, Congo Cruzeiro do Nordeste) (Brito Neves *et al.*, 2001). Segundo Fernandes (1997), o TAM abrange áreas compostas por associações gnáissico-migmatíticas arqueanas e paleoproterozóicas, supracrustais e ortognaisses de idade mesoproterozóica e plútons granitóides neoproterozóicos. Estas rochas estão agrupadas em duas unidades estratigráficas maiores: uma unidade metaplutônica dominante - Complexo Floresta, e outra supracrustal - Complexo Sertânia (Santos, 1996, 1999). Os granitóides ocorrem indiscriminadamente em ambas as unidades.

O Complexo Sertânia, descrito originalmente por Santos (1971, 1977), é característico do TAM (Santos, 1999) e representa sequências de supracrustais de caráter aluminoso com contribuição vulcânica subordinada (Brito Neves *et al.*, 2000), generalizadamente metamorfizado em fácies anfibolito alto (Santos *et al.*, 2004). Em sua área tipo, Sertânia (PE), é composto por granada-biotita gnaisses com ou sem sillimanita, mármore, quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos. Evidências locais de migmatização são comuns. Datações U-Pb *SHRIMP* em zircões detríticos forneceram idades mínimas de sedimentação relativas ao Paleoproterozóico (ca. 2,0 Ga), com sobrecrecimento metamórfico em zircões de idade neoproterozóica (ca. 580 Ma; Santos *et al.*, 2004). Esses dados sugerem proveniência a partir de rochas do Complexo Floresta, de idade paleoproterozóica.

Além das supracrustais do Complexo Sertânia, as sequências Lagoa das Contendas e Complexo Caroalina são igualmente posicionadas estratigraficamente dentro do TAM (Brito Neves *et al.*, 2000). A primeira sequência ocorre exclusivamente na porção oeste, sendo constituída por depósitos vulcano-sedimentares e exalativos representado por metapelitos, quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e formações ferríferas bandadas (Santos, 1995). Os componentes vulcânicos são compostos por andesitos, traquiandesitos, basaltos alcalinos e dacitos (Brito Neves *et al.*, 2000). Já o Complexo Caroalina aflora na porção sul do TAM, sendo constituído por granada-biotita-muscovita xisto localmente com sillimanita e cianita, com ocorrências de quartzito. Relações de campo sugerem posição estratigráfica mais jovem em relação ao Complexo Sertânia (Brito Neves *et al.*, 2000).

Enquanto o TAM é considerado fragmento de um supercontinente paleoproterozóico, o Terreno Alto Pajeú (TAP) é interpretado como segmento resultante de colagem orogênica no Meso-Neoproterozóico (Brito Neves *et al.*, 2001). Os diques da região de Mulungu (Fazenda Maravilha) estão geologicamente inseridos no TAP (figura 3), o qual é limitado a norte pelo Lineamento Patos, que o separa do domínio Rio Grande do Norte, e a sul, pela zona de cisalhamento Serra Redonda-Mari. Segundo Brito Neves *et al.* (2000), o TAP é caracterizado por rochas ortoderivadas e sequências vulcano-sedimentares relacionadas ao Ciclo Cariris Velhos (ca. 920-950 Ma). Todo o conjunto é intrudido por plútons neoproterozóicos. O Complexo São Caetano é a principal assembléia vulcano-sedimentar presente e consiste de granada-biotita gnaisses e metagrauvacas com ocorrências subordinadas de rochas cálcio-silicáticas, metacalcários, quartzitos, dacitos, metabasaltos e metacherts. O metamorfismo regional nessas rochas é de fácies anfibolito com ocorrências localizadas de migmatização. Ainda constituem o TAP as sequências definidas pelos complexos Poço do Salgueiro, Riacho da Bandeira e Baixa Grande (Brito Neves *et al.*, 2000).



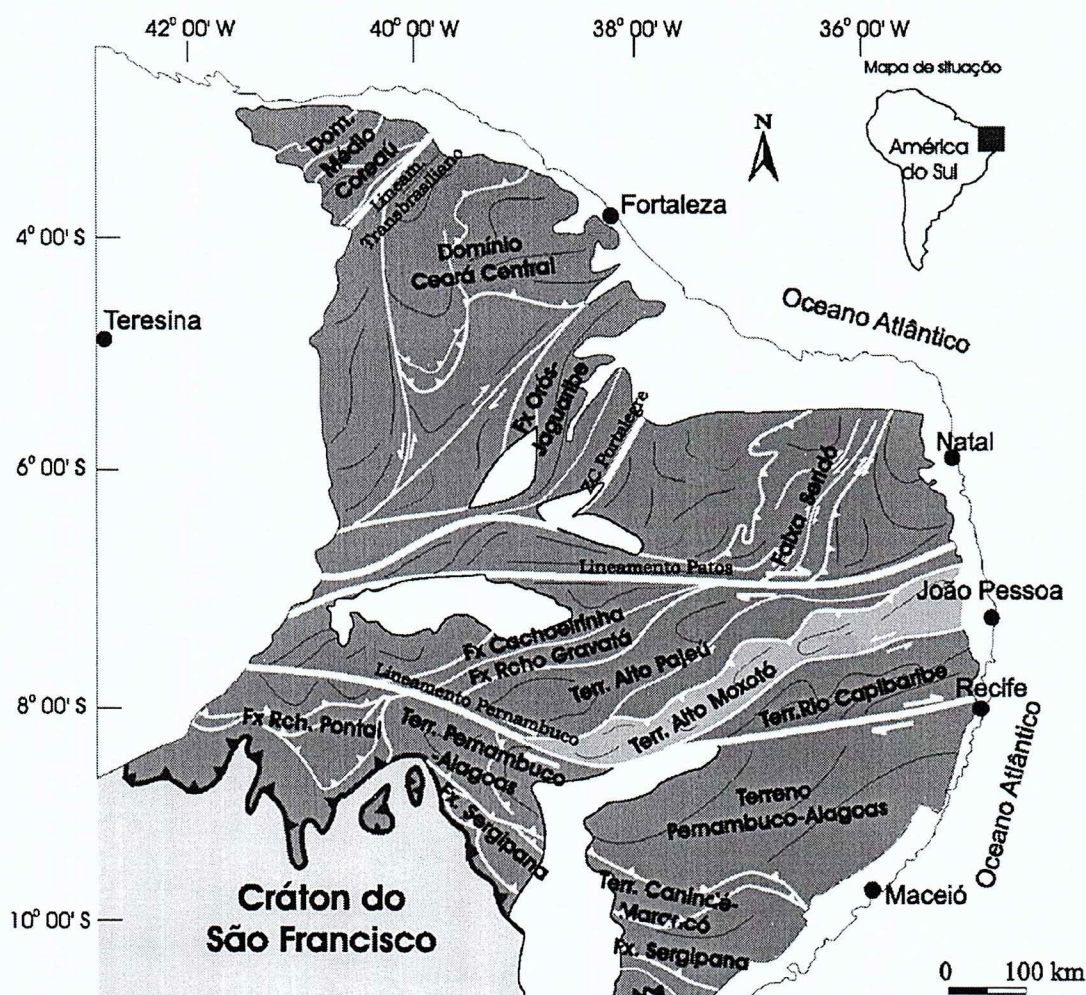


Figura 3: Compartimentação Tectônica da Província Borborema. Modificado de Santos *et al.* (2004).

### 3. O Magmatismo Fissural da região de Itabaiana-Mulungu (PB)

Na Província Borborema, a atividade magmática relacionada ao período compreendido entre o Cambriano Superior e o Ordoviciano Médio é principalmente conhecida por sua associação a bacias intracratônicas. Essas bacias estão distintamente relacionadas (i) à evolução de processos extensionais ao longo de zonas de cisalhamentos, especialmente restritas aos setores meridional e ocidental (domínios Médio Coreau e Central Ceará), e (ii) eventos tardi-orogênicos a anorogênicos vigentes na borda nordeste do cráton São Francisco (Faixa Sergipana) (Brito Neves, 1998). Enxames de diques ácidos a máficos, pegmatitos e plútons granitóides anorogênicos ocorrem adjacente ou mesmo distante das bacias. São exemplos conhecidos e bem estudados os plútons de Mocambo,



com idade U/Pb de ca. 534 Ma (Fetter, 1999), Meruoca, os diques de Coreaú (CE) e pegmatitos mineralizados intrusivos na região central do domínio Rio Grande do Norte.

Os diques máficos da região de Itabaiana-Mulungu também estão relacionados a este período de ampla atividade magmática durante a transição Proterozóico-Fanerozóico. Os diques do enxame localizado na região de Itabaiana foram coletados em afloramentos na Fazenda Cajazeiras e junto a uma antiga via férrea nas margens do Rio Paraíba (figura 4). Na Fazenda Cajazeiras, os diques cortam em alto ângulo a foliação impressa na encaixante, predominantemente representada por paragneisses do Complexo Sertânia, por vezes apresentando xenólitos desta unidade (figuras 5 a e b). Possuem orientação N120° e são subverticais, com exceção do dique CAJ-7 que possui orientação N-S e corta os demais. A espessura dos diques deste local varia de 5 a 15 cm. Já os diques coletados próximo à via férrea estão encaixados nos ortogneisses bandados do Complexo Floresta (biotita gnaisses e hornblenda-biotita gnaisses com intercalações de cálciossilicáticas e anfíbolitos). Neste local, os diques possuem maiores espessuras, entre 58-66 cm. A orientação geral também é predominantemente N120°, porém os contatos com o embasamento são raramente visíveis.

As amostras da região de Mulungu foram coletadas em diques aflorantes na Fazenda Maravilha (figura 4), os quais intrudem um embasamento representado por ortogneisses e xistos (biotita gnaisses, biotita xistos e muscovita-biotita xistos), embora o contato também seja raramente visível. Os diques amostrados variam de 45 cm a 1,3m, apresentando orientação entre N90° e N120°.

Na tabela A1 (anexo) estão listadas as coordenadas geográficas das amostras coletadas.

O número de campo dado a cada ponto de amostragem foi predefinido durante o levantamento paleomagnético realizado pelos pesquisadores do IAG-USP; contudo, neste trabalho, o número de campo foi modificado segundo os exemplos abaixo.

- *para os diques que ocorrem em Itabaiana, o número de campo será precedido das iniciais CAJ, a saber:*  
     dique 1 – CAJ-1  
     dique 10 – CAJ-10
- *para os diques que ocorrem em Mulungu (Fazenda Maravilha), o número de campo será precedido das iniciais MAR, a saber:*  
     dique 1 – MAR-1  
     dique 4 – MAR-4



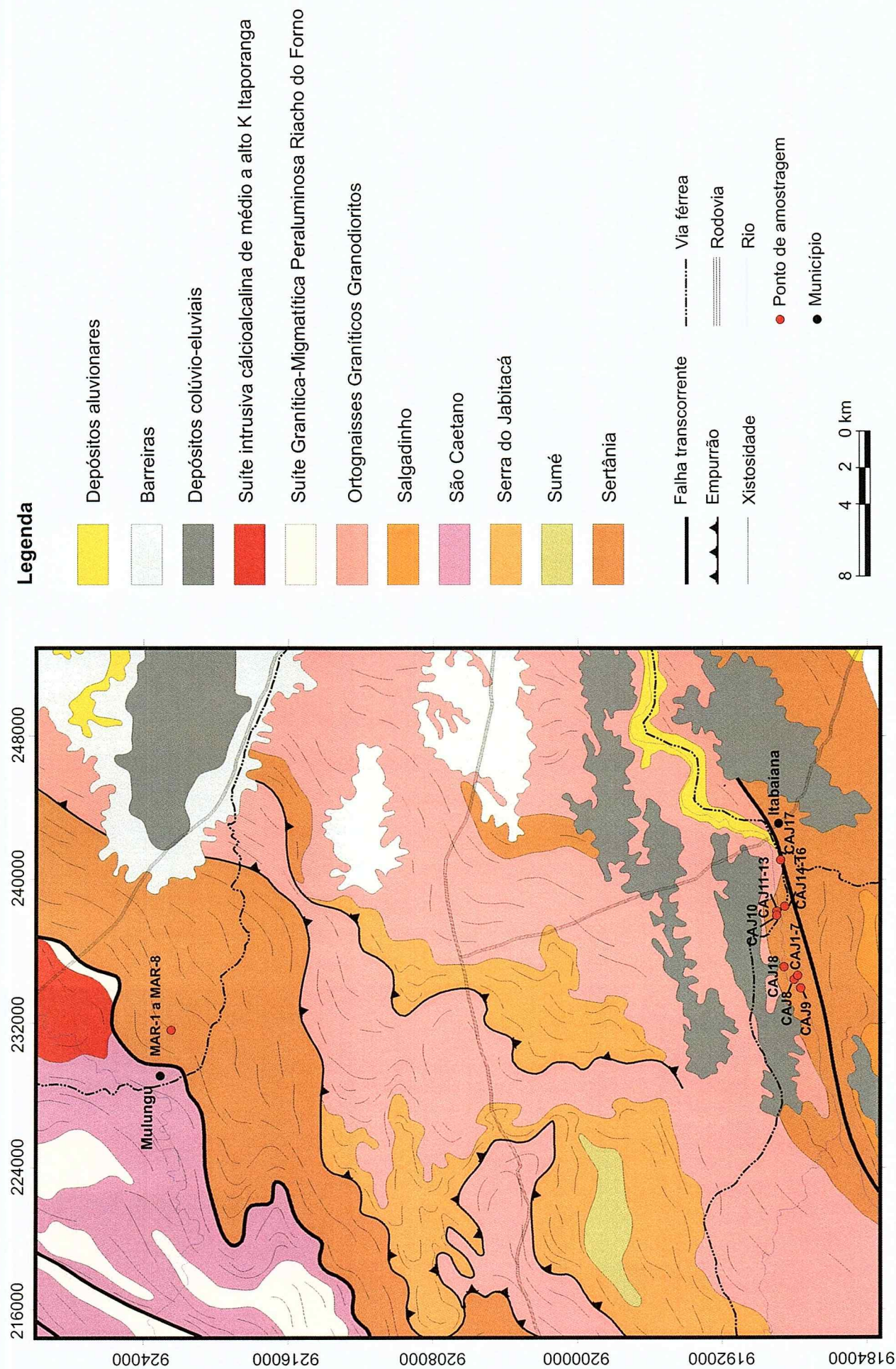
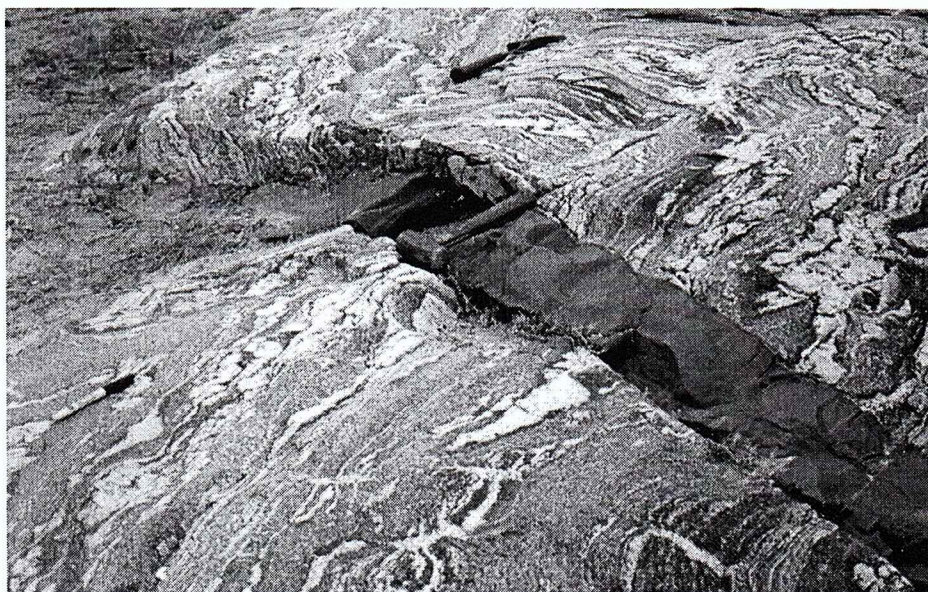


Figura 4. Mapa geológico com localização dos diques. Compilado do Mapa geológico do estado da Paraíba. CPRM, CD-ROM.



(a)



(b)



**Figura 5. (a) Dique encaixado em paragnaisse (b) Dique com xenólitos da rocha encaixante.**  
**Fotografias cedidas por Benjamim Bley de Brito Neves.**



## 4. Petrografia

Macroscopicamente todas as amostras apresentam coloração cinza escuro, textura afanítica a fanerítica fina, pouco a não alteradas, com vênulas de cor esbranquiçada compostas por carbonato e quartzo.

### 4.1. Fazenda Cajazeiras - Itabaiana

As 19 amostras estudadas apresentaram diferenças quanto à tipologia dos microfenocristais e composição química das fases minerais constituintes.

No geral a matriz apresenta predomínio de textura intergranular e intersetal com cristais euédricos a subédricos de olivina e piroxênio, opacos aciculares e tabulares, carbonato, material criptocristalino e de alteração hidrotermal ocupando interstícios entre as ripas de plagioclásio. Particularmente no dique CAJ-4, os cristais da matriz definem textura traquítica com forte orientação das ripas de plagioclásio. A granulação da matriz (muito fina a fina) e a presença da alteração hidrotermal dificultaram a estimativa visual e por contagem da proporção dos minerais. A tabela 2a apresenta a proporção modal das seções.

Diques com microfenocristais de olivina e plagioclásio compreendem as amostras CAJ-1 a CAJ-4, CAJ-6, CAJ-10 e CAJ-19. Nessas amostras a matriz apresenta variados graus de alteração hidrotermal. Possui granulação muito fina (0,2 a 0,3 mm) com plagioclásio com extinção concêntrica, olivina, opacos e cristais de piroxênio de cor amarronzada. Os microfenocristais estão presentes em proporções distintas variando desde 4,5 a 13%. São de granulação fina a média (1,0 a 1,5 mm), subédricos a anédricos (olivina) e por vezes formam textura glomeroporfírica (amostras CAJ-3 e CAJ-6, figura 6a). Os microfenocristais de plagioclásio podem apresentar nítido zoneamento (figura 6b) e textura tipo peneira, *sieve texture*, com reentrâncias preenchidas por material de alteração possivelmente de substituição de vidro (figura 6c e 6d). Análises semi-quantitativas por EDS mostraram que os microfenocristais de olivina apresentam inclusões de cromoespinélio. Na matriz foram identificados cristais de ilmenita.

A amostra do dique CAJ-5 foi a única que apresentou microfenocristais subédricos de olivina, ortopiroxênio amarronzado e clinopiroxênio amarronzado, estes possuem cerca de 1,5 mm. Neste caso a matriz apresenta granulação fina (0,3 a 1mm) com menor proporção de piroxênio em relação às amostras citadas anteriormente. Os microfenocristais (tanto de olivina quanto de piroxênio) possuem cerca de 1,5 mm, em geral mostrando contatos retos entre si, o que sugere equilíbrio entre as duas fases minerais (figura 6e e 6f). Tal feição também foi observada entre os cristais de olivina e piroxênio da matriz. Os microfenocristais de olivina por vezes encontram-se levemente alongados, envoltos por

cristais de minerais opacos de granulação fina com hábito acicular (ilmenita?). Cristais de piroxênio por vezes englobam parcial a totalmente as ripas de plagioclásio (figura 6g).

As amostras CAJ-8 e CAJ-20 apresentaram somente microfenocristais de olivina em baixa proporção (até 3%). Na primeira (CAJ-8) a matriz é muito fina (0,1mm) e podem ser apenas individualizadas ripas de plagioclásio e cristais de minerais opacos.

Diques com baixa proporção de microfenocristais de olivina (até 4%), sem microfenocristais de plagioclásio e com cristais prismáticos a aciculares de piroxênio incolor a levemente amarronzado compreendem as amostras CAJ-11 a CAJ-16 e CAJ-17. Suas características microscópicas incluem matriz inequigranular muito fina a fina (0,05 a 0,8mm) com ripas de plagioclásio e cristais prismáticos (euédricos a subédricos) de piroxênio com relevo alto eventualmente mostrando extinção concêntrica e, por vezes, envolvidos por plagioclásio. Cristais arredondados de olivina são de difícil identificação, no entanto parecem ocorrer em baixa proporção. Minerais opacos, material intersticial criptocristalino e fases secundárias de alteração estão presentes.

Textura glomeroporfirítica foi observada apenas na amostra CAJ-15. É caracterizada por pequenos aglomerados de microfenocristais de ortopiroxênio incolor (em nicóis paralelos) com cerca de 0,7 mm (figura 6h). Muito raramente esses cristais de ortopiroxênio apresentam inclusões de olivina. Ainda nesta amostra foi observado aglomerado com xenocristais de plagioclásio e quartzo, ambos com borda corroída e arredondada. No dique CAJ-11 também ocorrem microfenocristais de ortopiroxênio, semelhantes a CAJ-15, como também microfenocristal de clinopiroxênio incolor a levemente amarronzado (nicóis paralelos) semelhante ao encontrado na matriz.

Apenas o dique CAJ-7 apresenta orientação N-S distinta dos demais e corta em alto ângulo o dique CAJ-4. Sua seção delgada ilustra exatamente a região do contato com o dique CAJ-4 (figura 7a) onde é possível observar uma borda de resfriamento milimétrica na qual destacam-se xenocristais de olivina e plagioclásio imersos em vidro. No restante da mesma seção delgada, a matriz apresenta granulação muito fina ( $< 0,1\text{mm}$ ) onde apenas podem ser individualizadas ripas de plagioclásio, cristais aciculares de minerais opacos e material criptocristalino. Ocorrem fenocristais de olivina e plagioclásio com dimensões de até 1mm.

As relações texturais observadas nas seções indicam como fases precoces os opacos inclusos em microfenocristais de olivina seguido pelos microfenocristais de olivina e plagioclásio, quando presentes (tabelas 3 e 4). Microfenocristais de ortopiroxênio e clinopiroxênio também integram a fase precoce em alguns diques estudados (CAJ-5, CAJ-11 e CAJ-15). Cristais de piroxênio, olivina, plagioclásio e minerais opacos representam a fase principal e tardia de cristalização. Parte do material criptocristalino pode representar a fase de cristalização mais tardia, enquanto que a alteração hidrotermal (amígdalas, veios, alteração de minerais, carbonato) representa a fase pós-magmática.



Tabela 2. Proporção modal.

(a)

	CAJ1	CAJ2	CAJ3*	CAJ4	CAJ5	CAJ6	CAJ8	CAJ10*	CAJ11	CAJ12*	CAJ15*	CAJ25	CAJ27	CAJ28
PI	3	1,5	3,95	1,5	-	3	-	5	-	-	-	-	3,5	-
Fenocrístais	5	3	7,2	6	15	10	3	-	1	1,70	0,3	-	8	1
Px	-	-	-	-	10	-	-	-	1,5	-	1,2	-	-	-
Total	8	4,5	11,2	7,5	25	13	3	5	2,5	1,70	1,5	-	11,5	1
PI	60	56,5	35,7	55	55	52	?	43,6	60	40,15	33,65	70	36	64
Ol	6	4	4,9	4	4	6	?	3,25	4	3,60	2,8	2	3	2
Px	15	14	18,15	12	5	12	?	23,75	22	28,75	41,3	17	18	15
Ops	5	3	12,25	3	4	5	?	13,95	3	13,95	16,65	7	5	5
Alt.	6	18	17,85	18,5	7	12	?	10,45	8,5	11,85	4,1	4	26,5	13
Total	92	86,5	88,8	92,5	75	87	97	95	100	98,3	98,5	100	89,5	99
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b)

	MAR01	MAR03	MAR04*	MAR05	MAR07	MAR08
PI	65	70	60,52	68	74	70
Ol	3	1	9,69	2	4	2
Px	1	3	12,17	5	2	2
Ops	5	5	5,56	4	4	5
Alt.+crip	26	21	12,01	21	16	21
Total	100	100	100	100	100	100

**Tabela 3. Sequência de cristalização. Lâminas com microfenocristais de olivina e plagioclásio.**

Mineral	Precoce	Principal	Tardio	Pós-Magmático
Plagioclásio	— — — — —	————— —	————— — — — — —	
Olivina	— — — — —	————— — — — — —	————— — — — — —	
Piroxênio	—	————— —	————— — — — — —	
Opacos	————— — — — — —	————— — — — — —	————— — — — — —	
Carbonato e cripto			— —	—————
Alteração				————— — — —

**Tabela 4. Sequência de cristalização. Lâminas com microfenocristais de olivina e piroxênio.**

Mineral	Precoce	Principal	Tardio	Pós-Magmático
Plagioclásio	—	————— —	————— — — — — —	
Olivina	— — — — —	————— — — — — —	————— — — — — —	
Piroxênio	— — — — —	————— — — — — —	————— — — — — —	
Opacos	————— — — — — —	————— — — — — —	————— — — — — —	
Carbonato e cripto			— — —	—————
Alteração				————— — — —

#### **4.2. Fazenda Maravilha - Mulungu**

No total foram descritas seis amostras provenientes dos diques desta região: diques MAR-1, MAR-3, MAR-4, MAR-5, MAR-7 e MAR-08. A textura geral é intergranular com cristais de granulação fina a média (0,5 a 1,5mm). Os cristais de plagioclásio com ou sem geminação polissintética possuem extinção concêntrica, dimensões maiores que os outros minerais e por vezes ocorrem envolvendo cristais euédricos a subédricos de olivina em textura poiquilítica (figura 7b). A tabela 2b apresenta a proporção modal das seções.

Em todas as seções estudadas, cristais aciculares de minerais opacos (ilmenita) encontram-se concentrados nos interstícios, associados com material de alteração de olivina e piroxênio e material criptocristalino de cor escura e natureza não identificada (figura 7c).

A relação textural das seções descritas indica que o plagioclásio e parte dos cristais de olivina são as fases precoces (tabela 5). Estes minerais também integram a fase principal de cristalização juntamente com o piroxênio e parte dos minerais opacos. O material criptocristalino e opacos representam as fases mais tardias. As feições de alteração (amígdalas, carbonato) representam a fase pós-magmática.



**Tabela 5. Sequência de cristalização. Fazenda Maravilha.**

Mineral	Precoce	Principal	Tardio	Pós-Magmático
Plagioclásio	--	_____		
Olivina	-----	-----		
Piroxênio	--	-----		
Opacos	-----	-----	---	
Carbonato e cripto			--	-----
Alteração				-----

#### **4.3. Alteração hidrotermal: evidências petrográficas**

Fases minerais secundárias são comuns e ocorrem em proporções variadas em todas as amostras estudadas. Aparecem ora como substituição parcial ou total de olivina e piroxênio (iddingsita com cor amarronzada, intercrescimentos entre clorita e biotita, clorita incolor), ora como preenchimento de microamígdalas e veios (carbonato e quartzo), por vezes com inclusões de pirita. O plagioclásio é o mineral que se encontra menos alterado. Alteração cor ferrugem é facilmente encontrada em interstícios na matriz e na borda de amígdalas e veios (figuras 7d e 7e). Cristais micáceos são por vezes encontrados como inclusões nas amígdalas (figura 7f - amostra CAJ-5).

Análises quantitativas e semiquantitativas foram realizadas em cristais de carbonato intersticiais e inclusos em amígdalas. A maior parte mostrou altos teores em FeO (11 a 22%) e MgO (4 a 14%) indicando retrabalhamento das fases máficas sólidas presentes. Análises semiquantitativas foram realizadas em fases secundárias substituindo olivina, e os resultados mostraram composições ricas em SiO<sub>2</sub> e MgO, provavelmente talco.

A amostra CAJ-19 se destaca pela maior proporção em material de alteração secundária (mais que 20%) sendo que cerca de 7% deste material é representado por amígdalas. Uma massa amorfa cor ferrugem está presente por toda a matriz substituindo cristais como olivina, piroxênio, minerais opacos e até mesmo o plagioclásio. Esta amostra foi submetida a análise litoquímica e os resultados serão discutidos adiante.

Figura 6. Fotomicrografias com texturas encontradas.

<p>(a) Microfenocristais de olivina e plagioclásio em textura glomeroporfírica. Lâmina CAJ-3. Nicóis cruzados. Objetiva 2,5X. Lado maior - 3,50 mm. Lado menor – 5,50 mm.</p>	<p>(b) Fenocristais de plagioclásio zoneados. Lâmina CAJ-10. Nicóis cruzados. Objetiva 2,5X. Lado maior - 3,50 mm. Lado menor – 5,50 mm.</p>
<p>(c) Microfenocristal de plagioclásio com textura tipo peneira, <i>sieve texture</i>. Lâmina CAJ-3. (a) Nicóis paralelos (b) Nicóis cruzados. Objetiva 5X. Lado maior – 1,85 mm. Lado menor – 2,80 mm.</p>	<p>(d) Idem a (c). Nicóis cruzados</p>
<p>(e) Microfenocristal de piroxênio (Px) envolvendo cristal de plagioclásio e em contato reto com olivina (Ol). Lâmina CAJ-5. Nicóis paralelos (a) e cruzados (b). Objetiva 20X. Lado maior – 0,46 mm. Lado menor – 0,70 mm.</p>	<p>(f) Idem a (e). Nicóis cruzados</p>
<p>(g) Cristal de piroxênio envolvendo parcialmente ripas de plagioclásio. Lâmina CAJ-5. Nicóis cruzados. Objetiva 20X Lado maior – 0,46 mm. Lado menor – 0,70 mm.</p>	<p>(h) Aglomerado com microfenocristais de ortopiroxênio, Lâmina CAJ-15. Nicóis cruzados. Objetiva 2,5X. Lado maior - 3,50 mm. Lado menor – 5,50 mm.</p>



Figura 6. Fotomicrografias com texturas encontradas.

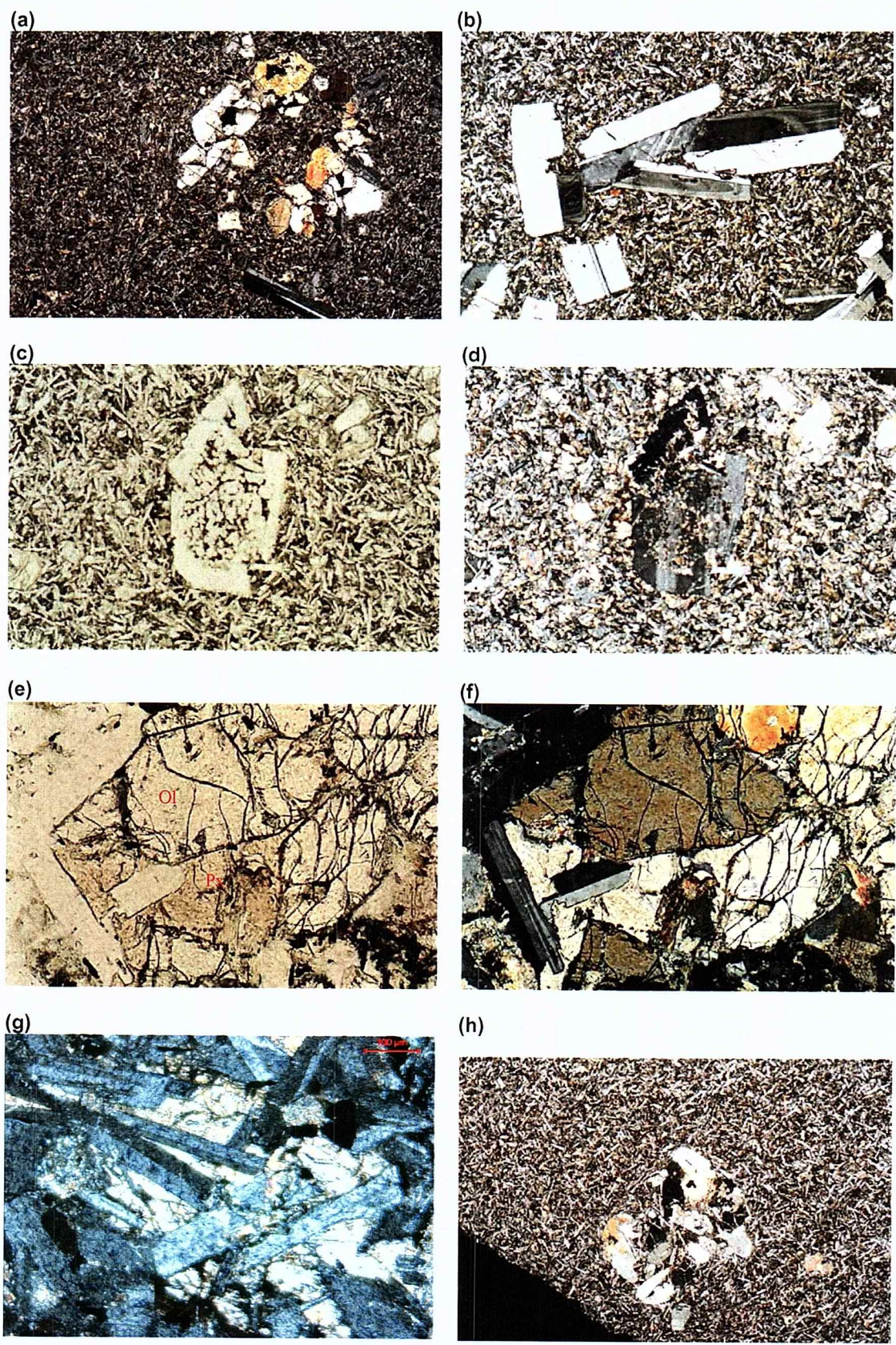
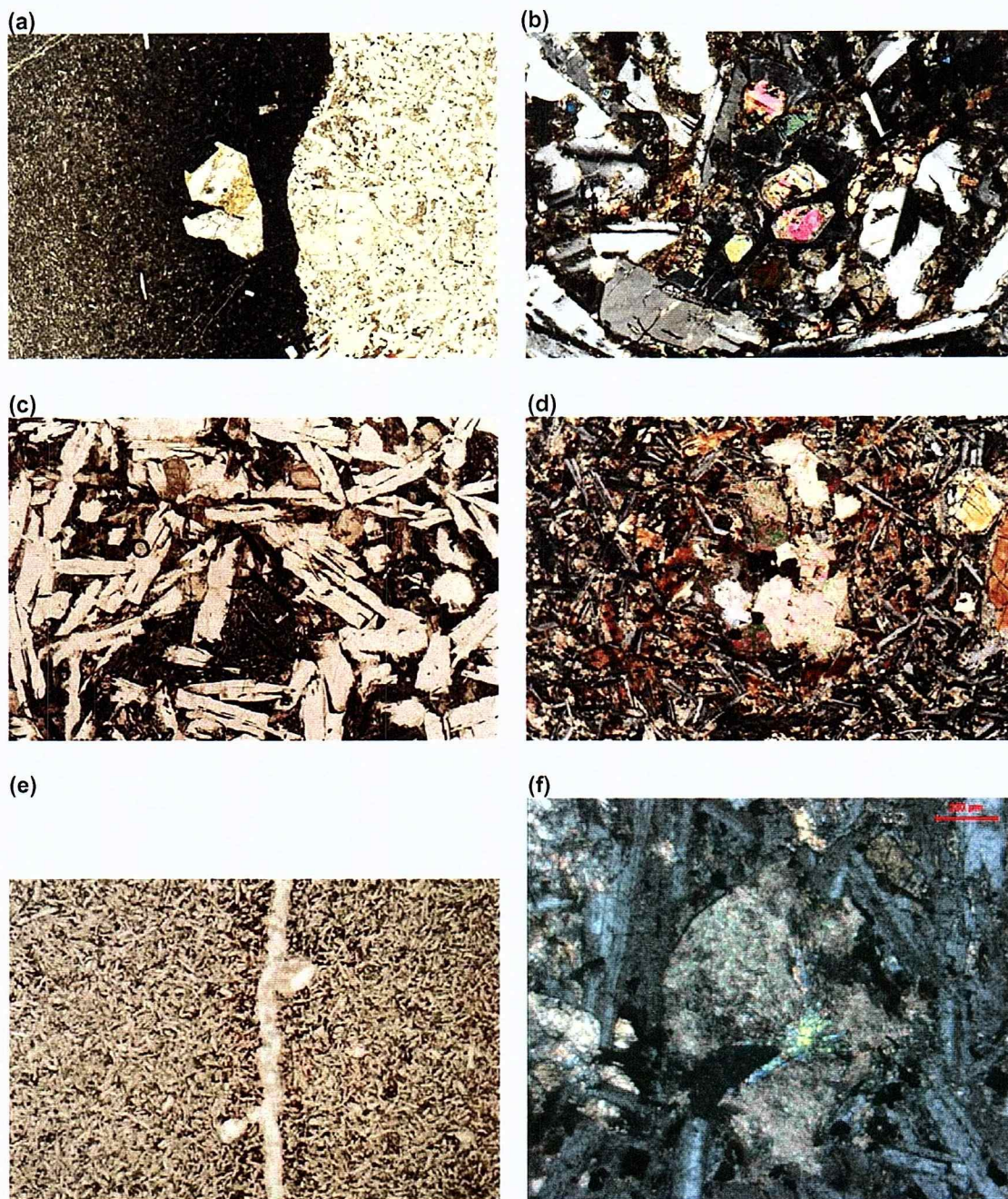




Figura 7. Fotomicrografias com texturas encontradas.





## 5. Química Mineral

Análises químicas pontuais em fases minerais foram realizadas a partir de seções delgadas polidas, metalizadas com película de carbono. As análises foram realizadas em microsonda eletrônica JEOL (modelo JXA-8600 SuperProbe) contendo cinco espectrômetros com cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET e PET/LIF, automatizada com o *software Voyager 3.61* da Noran Instruments. As especificações do feixe de elétrons durante as análises incluíram: diâmetro de 5 a 10 $\mu$ , corrente de aproximadamente 20-10 nA e voltagem de 15kv.

Um conjunto de sete amostras foi selecionado para análises WDS em núcleos e bordas das principais fases minerais constituintes (plagioclásio, piroxênio e olivina) de ambas as fazendas Cajazeiras e Maravilha. As análises foram realizadas tanto em microfenocristais como em cristais da matriz. Análises EDS foram efetuadas para identificação de minerais opacos e fases secundárias indicativas de alteração pós-magmática.

As tabelas A2 a A16 (anexo), trazem os dados analíticos apresentados na forma de porcentagem de óxidos e proporções catiônicas.

### ***Plagioclásio***

Microfenocristais e cristais da matriz e foram analisados em seis amostras, as quais não mostram diferenças significativas entre as composições químicas dos dois tipos.

A amostra CAJ-3 apresentou microfenocristais de plagioclásio com composição similar a labradorita (núcleo: An<sub>60</sub> a An<sub>62</sub> ; borda: An<sub>58</sub> a An<sub>61</sub>). As ripas da matriz também possuem composição semelhante, porém com teores de anortita ligeiramente mais baixo em relação aos microfenocristais. O zoneamento normal observado nos microfenocristais de labradorita da amostra CAJ-10 representa variação entre teores de anortita mais baixos (An<sub>52</sub> a An<sub>55</sub>) e mais altos (An<sub>58</sub> a An<sub>59</sub>).

De forma geral, todas as amostras analisadas de ambas as regiões mostram padrão composicional semelhante para os cristais da matriz, com núcleos de composição no campo da labradorita (An<sub>47-60</sub>) passando a bordas menos cálcicas, com composições similares a andesina ou ainda oligoclásio (An<sub>24-49</sub>).

## Piroxênio

As análises dos cristais de piroxênio mostraram diferenças marcantes entre os diques estudados. As amostras CAJ-3 e CAJ-5 apresentaram piroxênio com composição cálcica. Tanto os microfenocristais como os cristais da matriz variam de augita a diopsídio (matriz:  $Wo_{43}En_{34}Fs_{23}$  a  $Wo_{47}En_{36}Fs_{17}$ ; microfenocristais: núcleo -  $Wo_{46}En_{36}Fs_{19}$ ; borda:  $Wo_{40}En_{42}Fs_{18}$  a  $Wo_{46}En_{37}Fs_{18}$ ). Os teores de  $TiO_2$  variam de 1,5 a 3,28, o que permite classificar a augita como titanaugita.

Piroxênios menos cálcicos e mais magnesianos foram encontrados nas amostras dos diques CAJ-15 e CAJ-12. Análises realizadas nos cristais da matriz apresentaram bordas e núcleos com composição de pigeonita à augita subcálcica (núcleo:  $Wo_6En_{76}Fs_{18}$  a  $Wo_{25}En_{50}Fs_{25}$ ; borda:  $Wo_6En_{74}Fs_{20}$  a  $Wo_{31}En_{47}Fs_{22}$ ). Microfenocristais do aglomerado de ortopiroxênio apresentaram composição no campo da enstatita ( $Wo_3En_{80}Fs_{17}$ ) (figura 8). Microfenocristais de enstatita associados com cristais de pigeonita com bordas de augita na matriz podem indicar localmente uma evolução complexa quanto ao teor de cálcio já que numa evolução normal este teor tende a diminuir.

Os diques da Fazenda Maravilha apresentaram piroxênios com composição intermediária entre as amostras analisadas. A maior parte dos cristais possui núcleos e bordas de augita, por vezes subcálcica (núcleos:  $Wo_{21}En_{45}Fs_{33}$  a  $Wo_{40}En_{38}Fs_{22}$ ; bordas:  $Wo_{25}En_{43}Fs_{28}$  a  $Wo_{36}En_{33}Fs_{31}$ ) com teores de  $TiO_2$  variando de 0,9 a 2,07. Algumas análises apresentaram composição no campo da pigeonita ou no limite entre pigeonita/augita ( $Wo_{17}En_{45}Fs_{39}$  a  $Wo_{20}En_{43}Fs_{37}$ ).

O diagrama de Morimoto contendo as análises de clinopiroxênio das amostras da Fazenda Cajazeiras (figura 9a) indica uma tendência de enriquecimento em Enstatita, enquanto no caso das amostras da Fazenda Maravilha (figura 9b) mostra um leve enriquecimento em ferrossilita.

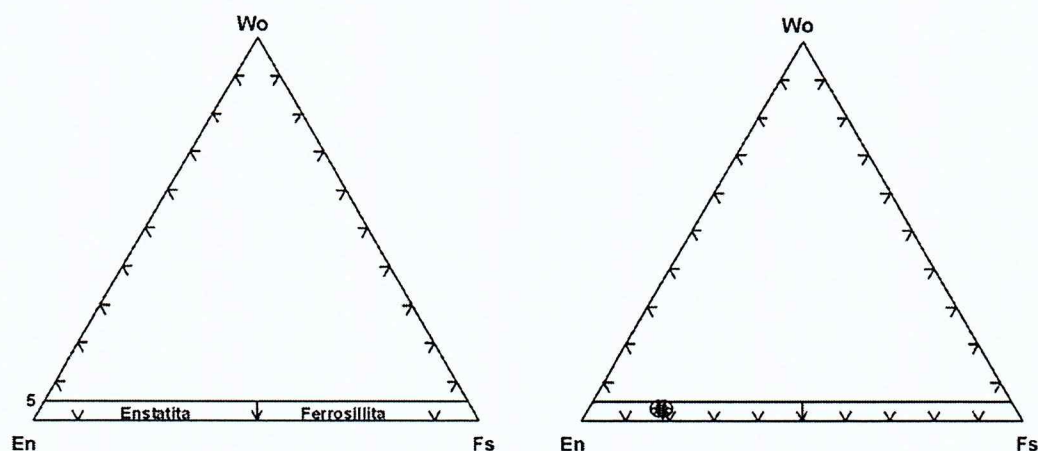


Figura 8. Diagrama de Morimoto (1988) com classificação dos microfenocristais de ortopiroxênio. Núcleos e bordas dos cristais não apresentaram diferenças composicionais.



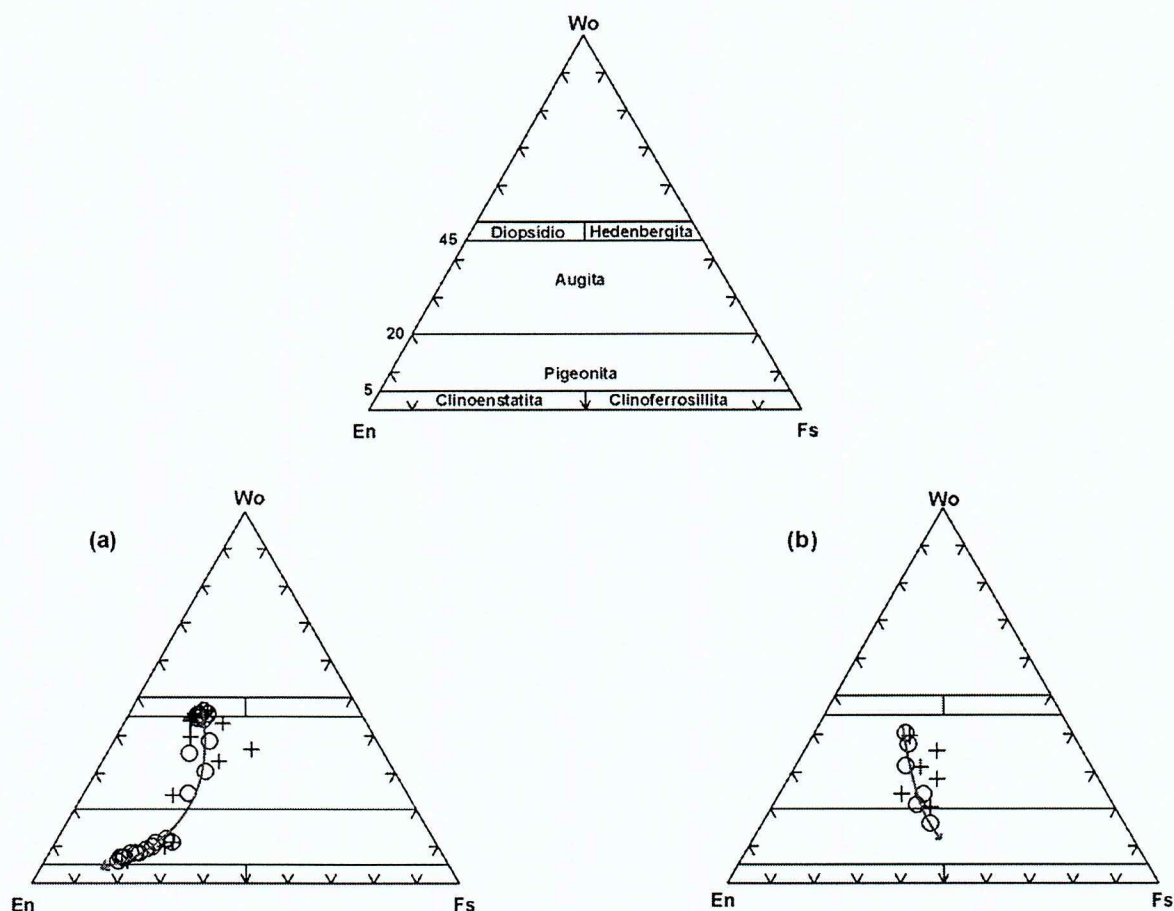


Figura 9. Diagramas de Morimoto (1988) com classificação dos clinopiroxênios analisados e *trend*. (a) Fazenda Cajazeiras (b) Fazenda Maravilha. Círculos: núcleos, cruzes: bordas.

### Olivina

Foram analisados microfenocristais de olivina em cinco amostras. As amostras CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-15 apresentaram microfenocristais de composição magnesiânica ( $\text{Fo}_{82-83}\text{Fa}_{17-18}$ ). Nestas amostras duas análises na borda apresentaram menor teor em forsterita ( $\text{Fo}_{66}\text{Fa}_{34}$  e  $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$ ). Teores em forsterita mais baixos foram observados nas amostras da Fazenda Maravilha (MAR-4 e MAR-8) onde os núcleos apresentaram composição de  $\text{Fo}_{72}\text{Fa}_{28}$  a  $\text{Fo}_{79}\text{Fa}_{21}$  e bordas de  $\text{Fo}_{68}\text{Fa}_{32}$  a  $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$ . Talvez este enriquecimento em ferro esteja relacionado ao leve enriquecimento em ferrossilita observado nas análises dos piroxênios.

## 6. Geoquímica de rocha total

Um conjunto de oito amostras provenientes da Fazenda Cajazeiras e duas amostras da Fazenda Maravilha foram selecionadas para análise litoquímica de elementos maiores por Fluorescência de Raios-X (óxidos de Si, Al, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P e Fe) e elementos traços

e terras raras por ICP-MS. As análises encontram-se nas tabelas 6 (para elementos maiores), 7 (para elementos maiores calculado na base anidra) e 8 (para elementos traços e terras raras).

### **6.1. Elementos maiores**

Os teores em  $\text{SiO}_2$  foram os que apresentaram intervalo relativamente amplo quando comparados aos outros elementos maiores. Esta variação é clara quando os valores são plotados em diagramas de Harker (figura 10) onde fica evidente que o conteúdo em  $\text{SiO}_2$  condiciona a individualização de grupos definindo um possível *trend* de fracionamento a partir de composições menos enriquecidas em  $\text{SiO}_2$  (44,76 a 48,50%) a mais enriquecidas (51,58 a 53,59%) em  $\text{SiO}_2$ . As análises foram recalculadas na base anidra (tabela) devido a alta perda ao fogo (1,5 a 5%) que certamente possui relação com a alteração hidrotermal encontrada nos diques. Por exemplo, a amostra com maior L.o.i (CAJ-19) apresenta maior proporção de fases minerais típicas de alteração em seção delgada (mais que 20%).

Nas amostras da Fazenda Cajazeiras,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  mostram correlação negativa com o aumento na saturação em sílica. Decréscimo em  $\text{CaO}$  combinado com o aumento observado de  $\text{Na}_2\text{O}$  pode indicar fracionamento de plagioclásio. A cristalização de piroxênio e olivina pode estar relacionada à correlação negativa de  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Cristalização de ilmenita pode ser observado pelo decréscimo em  $\text{TiO}_2$ , muito embora o fracionamento parece não ter ocorrido no estágio inicial de cristalização, sendo significativo a partir de concentrações de sílica em torno de 50%. A amostra MAR-4 (Fazenda Maravilha) teve comportamento semelhante as amostras mais enriquecidas em sílica da Fazenda Cajazeiras enquanto a amostra MAR-8 teve comportamento independente das demais.



Tabela 6. Análises de elementos maiores.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	CAJ1	CAJ3	CAJ5	CAJ19	CAJ20	CAJ10	CAJ12	CAJ15	MAR4	MAR8
SiO <sub>2</sub>	48,21	48,46	48,38	44,76	48,50	52,29	52,69	52,72	51,58	53,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,51	14,64	14,58	12,96	14,59	14,92	14,48	14,41	14,86	13,89
MnO	0,144	0,139	0,150	0,167	0,135	0,139	0,137	0,138	0,138	0,108
MgO	6,62	6,48	6,70	8,75	6,54	5,41	6,31	6,41	6,04	4,23
CaO	8,39	8,53	8,53	8,13	8,20	8,15	7,64	7,71	7,14	6,23
Na <sub>2</sub> O	3,16	3,33	3,18	3,10	3,20	3,29	3,36	3,29	3,70	3,41
K <sub>2</sub> O	1,02	0,97	0,78	1,08	0,97	0,70	0,64	0,61	0,30	1,45
TiO <sub>2</sub>	2,082	2,091	1,917	1,996	2,089	1,768	1,593	1,588	1,380	2,093
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,290	0,308	0,259	0,498	0,278	0,219	0,184	0,208	0,115	0,317
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,86	10,82	11,80	13,07	10,77	10,81	10,54	10,62	11,32	10,56
Loi	4,22	3,23	3,30	5,00	3,81	1,64	1,67	1,50	2,80	3,54
Total	99,51	99,00	99,58	99,51	99,08	99,34	99,24	99,20	99,37	99,42

Tabela 7. Análises de elementos maiores recalculadas na base anidra com norma CIPW segundo Irvine &amp; Baragar (1971).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	CAJ1	CAJ3	CAJ5	CAJ19	CAJ20	CAJ10	CAJ12	CAJ15	MAR4	MAR8
SiO <sub>2</sub>	50,60	50,60	50,25	47,36	50,91	53,52	54,00	53,96	53,41	55,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,23	15,29	15,14	13,71	15,31	15,27	14,84	14,75	15,39	14,49
MnO	0,15	0,15	0,16	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11
MgO	6,95	6,77	6,96	9,26	6,86	5,54	6,47	6,56	6,25	4,41
CaO	8,81	8,91	8,86	8,60	8,61	8,34	7,83	7,89	7,39	6,50
Na <sub>2</sub> O	3,32	3,48	3,30	3,28	3,36	3,37	3,44	3,37	3,83	3,56
K <sub>2</sub> O	1,07	1,01	0,81	1,14	1,02	0,72	0,66	0,62	0,31	1,51
TiO <sub>2</sub>	2,19	2,18	1,99	2,11	2,19	1,81	1,63	1,63	1,43	2,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,32	0,27	0,53	0,29	0,22	0,19	0,21	0,12	0,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,40	11,30	12,26	13,83	11,30	11,06	10,80	10,87	11,72	11,01
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Q	-	-	-	-	-	4,2	3,86	4,13	2,12	7,81
Or	6,39	6,04	4,84	6,83	6,07	4,27	3,91	3,72	1,85	9,02
Ab	28,32	29,7	28,23	17,4	28,69	28,76	29,4	28,75	32,74	30,37
An	23,71	23,31	24,33	19,53	23,91	24,65	23,29	23,48	24,09	19,26
Ne	-	-	-	5,78	-	-	-	-	-	-
Di (Wo)	7,66	7,99	7,63	8,41	7,2	6,52	6,11	6,1	5,07	4,63
Di (En)	4,53	4,71	4,32	4,99	4,26	3,53	3,5	3,49	2,73	2,37
Di (Fs)	2,74	2,88	2,98	2,98	2,57	2,76	2,34	2,33	2,17	2,13
Hy (En)	8,34	6,87	8,33	-	9,81	10,33	12,69	12,93	12,94	8,67
Hy (Fs)	5,03	4,2	5,74	-	5,9	8,06	8,49	8,61	10,28	7,81
Ol (Fo)	3,16	3,76	3,35	12,76	2,18	-	-	-	-	-
Ol (Fa)	2,1	2,53	2,55	8,4	1,45	-	-	-	-	-
Mt	3,02	2,99	3,17	3,55	3	2,86	2,76	2,78	2,92	2,92
Ilm	4,19	4,19	3,82	4,06	4,2	3,47	3,13	3,11	2,74	4,18
Ap	0,67	0,71	0,59	1,16	0,64	0,49	0,42	0,47	0,26	0,73
Total	99,86	99,88	99,88	95,85	99,88	99,9	99,9	99,9	99,91	99,9

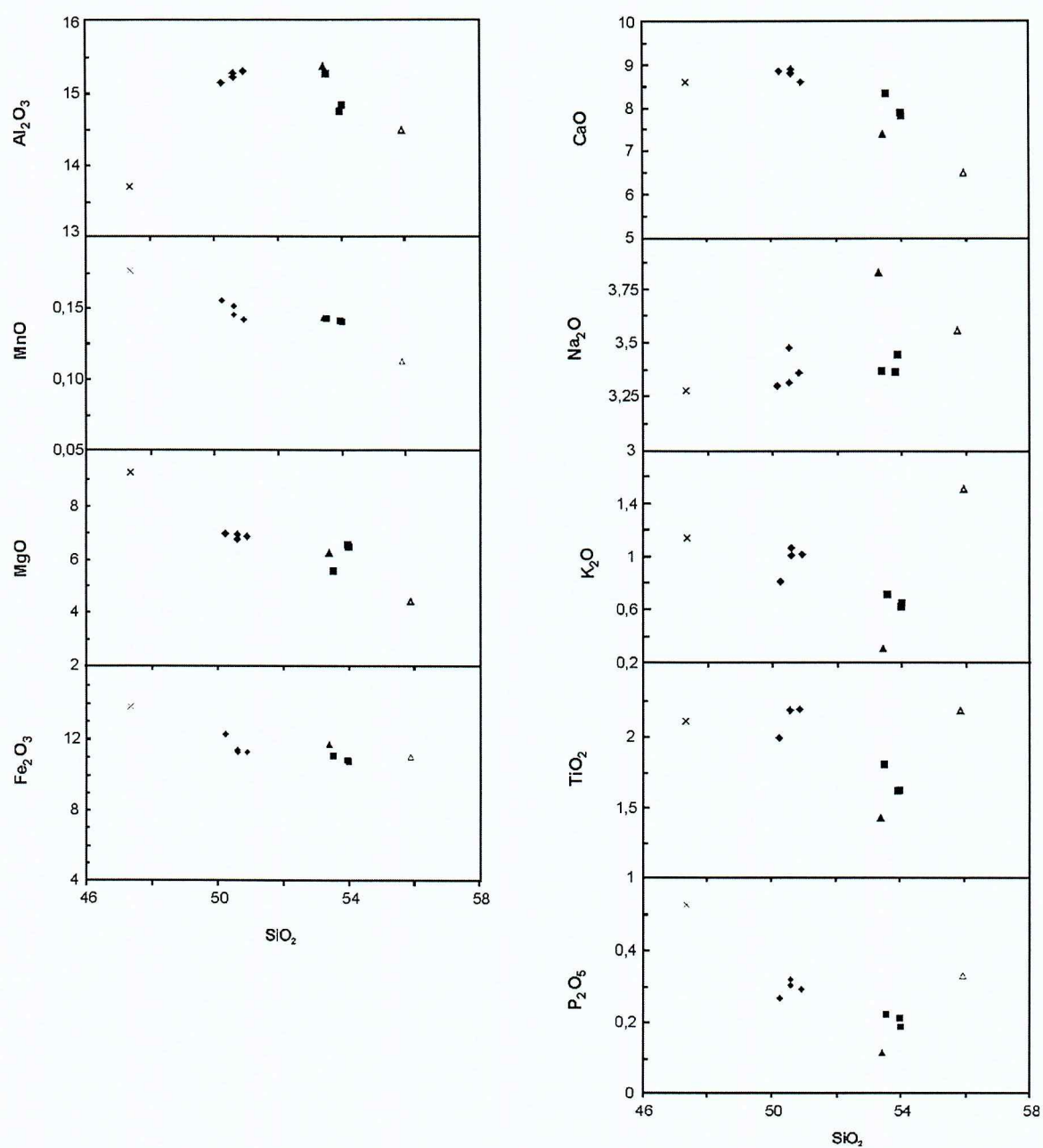


Figura 10. Diagramas de variação de Harker recalculados na base anidra.

losangos – amostras CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-20; quadrados – amostras CAJ-10, CAJ-12 e CAJ-15; X – amostra CAJ-19; triângulo vazio – amostra MAR-4; triângulo cheio – amostra MAR-8.



Apesar da alteração nas amostras analisadas, é possível fazer uma certa correlação entre os grupos definidos pelos diagramas de Harker com os dados petrográficos. Com exceção das amostras CAJ-20 e CAJ-10, diques com maior proporção em microfenocristais de olivina e plagioclásio e presença de piroxênio cálcico (augita-diopsídio) formam o grupo mais enriquecido em CaO e mais empobrecido em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . Amostras com menor proporção em microfenocristais e com cristais de pigeonita a augita subcálcica formam o grupo enriquecido em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ .

A norma CIPW foi calculada segundo Irvine & Baragar (1971) em base anidra. As amostras menos enriquecidas em sílica (CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-19) apresentaram hiperstênio normativo, enquanto as amostras CAJ-10, CAJ-12, CAJ-15, MAR-4 e MAR-8 apresentaram ambos hiperstênio e quartzo (4,2 a 7,8%) normativos. A amostra CAJ-19 tem nefelina normativa.

O diagrama álcalis *versus* sílica de Cox *et al.* (1979) (figura 11) classificou as amostras como basaltos (CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5, CAJ-19 e CAJ-20), basaltos andesíticos (CAJ-10, CAJ-12, CAJ-15 e MAR-4) e andesito (MAR-8). No diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) (figura 12) as análises plotam logo abaixo da curva divisória entre as séries toleítica e cálcio-alcálica. No entanto, no diagrama  $\text{SiO}_2$  *versus*  $\text{FeOt/MgO}$  (figura 13) grande parte das amostras plotam dentro do campo da série toleítica com excessão de duas amostras CAJ-12 e CAJ-15 que caem próximo ao limite das séries.

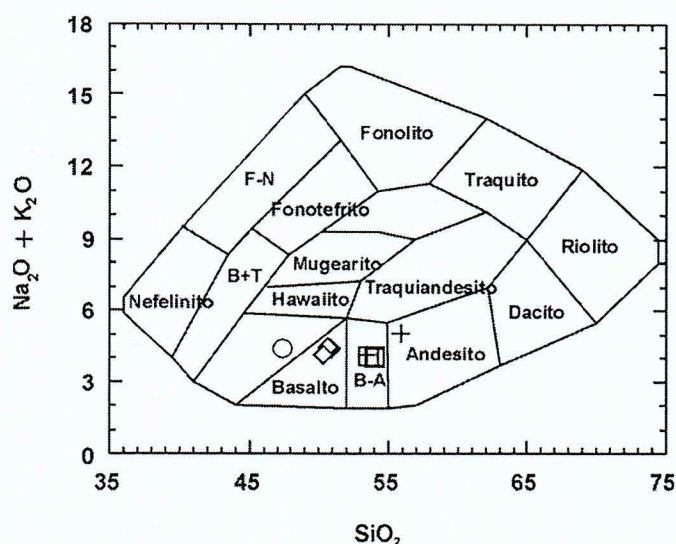


Figura 11: Diagrama de Cox *et al.* (1979) com classificação geoquímica dos basaltos. Recalculado na base anidra.

losangos – amostras CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-20; quadrados – amostras CAJ-10, CAJ-12 e CAJ-15; círculo – amostra CAJ-19; cruzes – amostras MAR-4 e MAR-8.

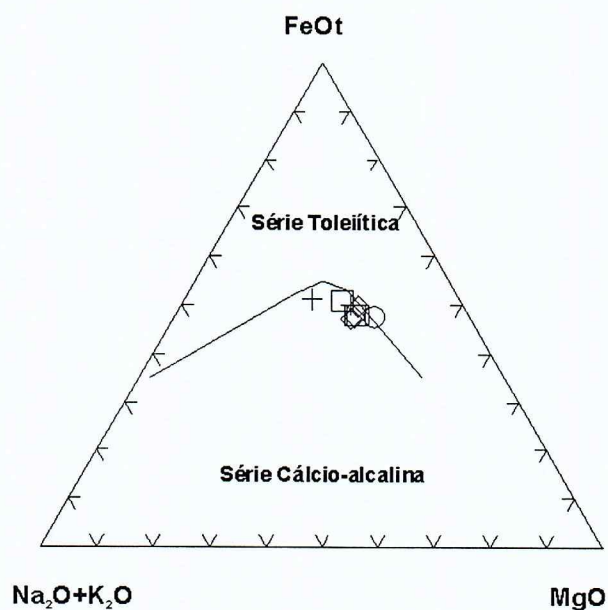


Figura 12: Diagrama AFM com curva divisória entre as séries toleítica e cálcio-alkalina de Irvine & Baragar (1971). Recalculado na base anidra.

losangos – amostras CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-20; quadrados – amostras CAJ-10, CAJ-12 e CAJ-15; círculo – amostra CAJ-19; cruces – amostras MAR-4 e MAR-8.

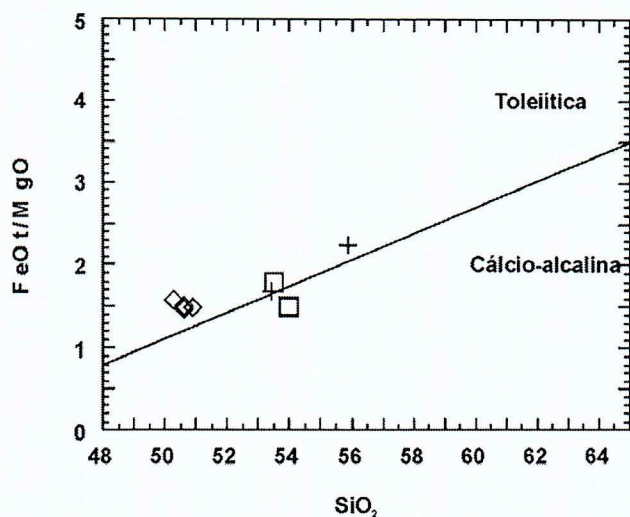


Figura 13. Diagrama com divisão entre as séries toleítica e cálcio-alkalina.

losangos – amostras CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-20; quadrados – amostras CAJ-10, CAJ-12 e CAJ-15; círculo – amostra CAJ-19; cruces – amostras MAR-4 e MAR-8.



## 6.2. Elementos traços e terras raras

A possibilidade de cristalização fracionada como principal mecanismo petrogenético condicionando a gênese dos magmas estudados pode ser testada através de diagramas entre elementos compatíveis e incompatíveis. Todavia, neste estudo, o teste dessa hipótese é limitado em função da mobilidade de certos elementos (tais como Ba, Rb) durante processos de alteração tardi- a pós-magmáticos. Em adição, não foi possível definir um elemento com comportamento claramente compatível. Ni poderia ser usado como referência, mas parece existir certa incoerência quando observadas as análises litoquímicas, tendo em vista que uma das amostras com SiO<sub>2</sub> mais alta (MAR-4) apresenta teores maiores deste elemento em comparação com os basaltos. Valor anômalo é também observado na amostra CAJ-5, provavelmente devido a contaminação durante a preparação mecânica. Mesmo com essas restrições, a figura 14 ilustra o comportamento das amostras em alguns gráficos de correlação. O padrão geral observado mostra quase nenhuma dispersão entre as amostras, dificultando a definição de uma tendência de fracionamento do grupo com um todo e, conseqüentemente, a discussão.

O comportamento de alguns elementos traços foi representado em diagrama multielementos (figura 15), normalizado ao padrão condritico de Thompson (1982). O padrão geral em todas as amostras é de enriquecimento em todos os elementos em relação ao condrito. Maior enriquecimento é observado nos elementos mais incompatíveis. A discreta anomalia positiva em Nb mostra clara contaminação durante a pulverização das amostras em moinho de carbeto de tungstênio (mais pronunciada no caso de Ta)

Anomalia negativa em P está presente em todos os padrões plotados, sendo mais proeminente nas amostras mais evoluídas (basaltos andesíticos e andesito), provavelmente em resposta ao fracionamento de apatita.

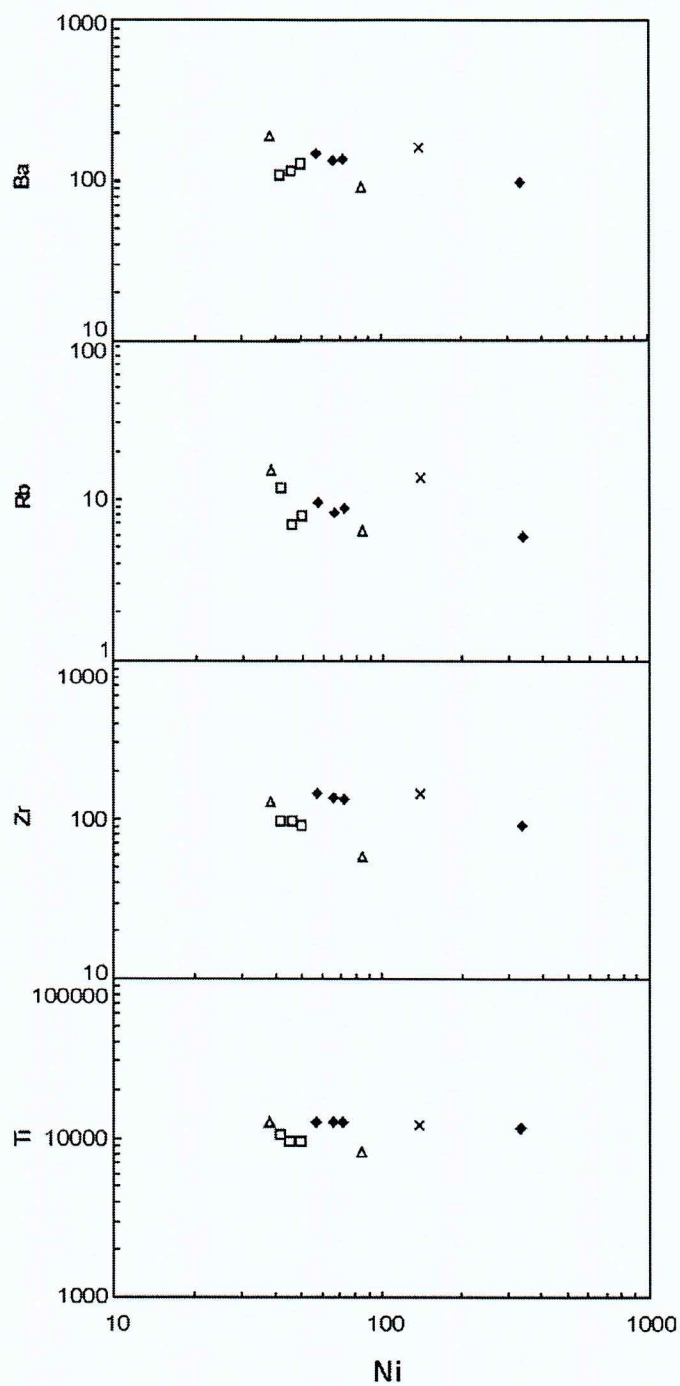
O padrão de elementos terras-raras normalizado ao padrão condritico de Boynton (1984) (figura 16) de todas as amostras mostra significativo enriquecimento de elementos terras-raras leves em relação aos pesados. O enriquecimento é mais pronunciado na amostra CAJ-19, produzindo um padrão fortemente fracionado com razão (La/Yb)<sub>N</sub> de 12,84.

Tabela 8. Análises de elementos traços e terras raras por ICP-MS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	CAJ1	CAJ3	CAJ5	CAJ19	CAJ20	CAJ10	CAJ12	CAJ15	MAR4	MAR8
Ba	138,1	147,3	98,2	161,6	134,8	108,2	115,1	129,8	91,2	192,1
Be	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Co	82,7	83,4	83,7	54,8	75,4	67,5	89,2	93,5	80,4	68
Cs	1,8	3,3	0,9	2,2	1,8	1,2	0,1	0,6	3,4	3
Ga	19,1	19,7	16,6	19,3	18,9	19,9	20,2	19,8	18,9	22,6
Hf	3,5	3,8	2,6	3,7	3,7	3	2,8	2,8	2	3,7
Nb	25,6	26,9	16,1	25,1	20	15,7	15,2	16,8	8	28
Rb	8,8	9,4	5,8	13,7	8,2	11,8	6,9	7,9	6,4	15,1
Sn	1	1	<1	2	1	<1	<1	<1	<1	1
Sr	544,8	573,5	462,6	709,2	557,9	412,4	423	417,8	274,4	564,1
Ta	9,9	8,3	5,4	2,1	4,2	6,6	7	8,9	5	5,9
Th	1	1,3	0,7	1,9	1,2	0,7	0,7	0,8	0,9	1,2
U	0,6	0,6	0,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,6
V	199	204	157	186	200	162	166	163	143	112
W	463,8	405,7	277,8	35,7	247	353,4	431,1	515,9	387,1	298
Zr	131,8	144,8	90,8	145,9	135,8	97,4	96,4	90,9	59	126,2
Y	17,4	18,8	13,6	18	17,4	17,9	18	18,3	14,9	15,1
La	13,4	14,8	9,3	24	12,8	8,6	8,2	8,6	4,1	12,7
Ce	30,3	33,7	21,3	51,6	29,7	19,4	18,6	19,8	10,1	28
Pr	3,69	3,93	2,67	5,97	3,6	2,56	2,41	2,57	1,45	3,56
Nd	17,4	17,9	12,3	25,9	16,9	12,8	12	12,8	8,3	16,9
Sm	4,1	4,7	3,4	5,6	4,1	3,7	3,8	3,7	3,1	4,7
Eu	1,5	1,68	1,27	1,88	1,5	1,46	1,5	1,37	1,19	1,81
Gd	4,49	4,89	3,11	5,37	4,29	4,18	4,21	4,18	3,3	4,7
Tb	0,68	0,79	0,5	0,78	0,65	0,69	0,66	0,67	0,56	0,68
Dy	3,34	3,71	2,55	3,76	3,53	3,5	3,52	3,42	3,01	3,39
Ho	0,67	0,66	0,47	0,66	0,6	0,64	0,66	0,64	0,52	0,53
Er	1,7	1,78	1,35	1,7	1,7	1,66	1,77	1,85	1,51	1,2
Tm	0,24	0,26	0,19	0,23	0,2	0,23	0,23	0,23	0,19	0,15
Yb	1,32	1,43	0,99	1,26	1,35	1,37	1,41	1,47	1,28	0,93
Lu	0,2	0,22	0,17	0,2	0,22	0,21	0,19	0,21	0,18	0,12
Mo	2,2	2,4	1,3	2,7	2	1,4	1,6	1,7	1,2	2,2
Cu	51,9	53,6	57	77,8	52,4	39,8	41	43,9	38,6	26,8
Pb	0,5	0,6	0,3	0,7	0,5	0,8	0,3	0,4	0,6	0,3
Zn	58	78	66	74	51	79	66	72	71	97
Ni	72	57,3	334,8	139,4	66,3	41,6	45,6	49,9	83,9	38,3
As	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5
Cd	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sb	<.1	<.1	<.1	0,1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1
Bi	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1
Ag	<.1	<.1	<.1	0,3	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1
Au*	<.5	0,9	<.5	1,7	<.5	0,5	<.5	0,8	<.5	<.5
Hg	0,02	0,01	0,01	<.01	<.01	<.01	0,02	0,01	0,01	0,01
Tl	0,1	0,1	<.1	0,1	0,1	0,1	<.1	<.1	<.1	0,1
Se	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5

\*ppb





**Figura 14. Diagrama de variação compatível x incompatível.**

losangos – amostras CAJ-1, CAJ-3, CAJ-5 e CAJ-20; quadrados – amostras CAJ-10, CAJ-12 e CAJ-15; X – amostra CAJ-19; triângulos – amostras MAR-4 e MAR-8.

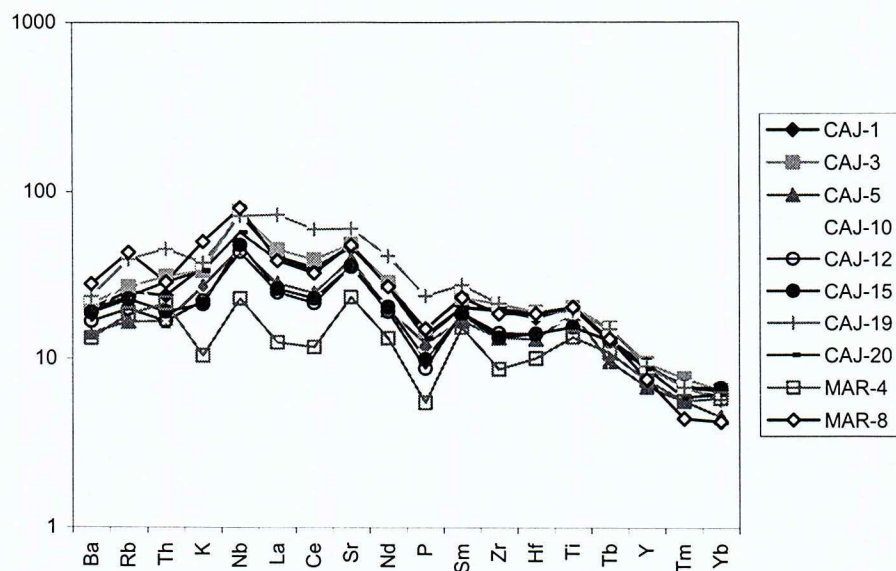


Figura 15. Diagrama de multielementos normalizado ao padrão condritico de Thompson (1982)

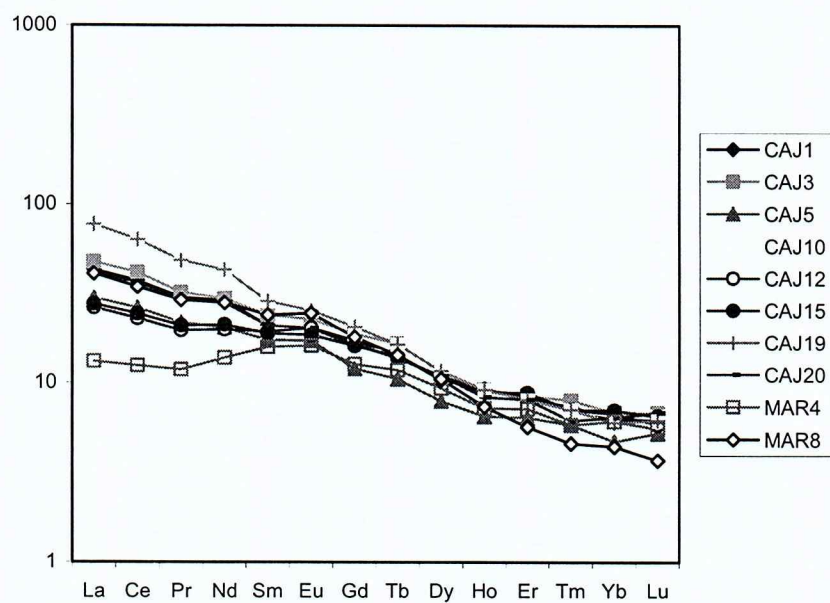


Figura 16. Diagrama de distribuição de elementos terras-raras normalizado ao padrão condritico de Boynton (1984).



## 7. Discussão e conclusão

Os diques estudados são produtos de um episódio magmático de idade cambriana, de escala restrita, na Província Borborema. Os diques concentram-se em duas regiões principais de ocorrência, próximo às cidades de Itabaiana e Mulungu (PB). Ambas as regiões estão encaixadas dentro do Graben de Cariatá, mais precisamente nas suas bordas sul (enxame da Fazenda Cajazeiras – Itabaiana) e norte (enxame da Fazenda Maravilha – Mulungu).

A caracterização petrográfica dos dois enxames mostrou algumas semelhanças composicionais, muito embora destaque-se a presença de tipos de clinopiroxênios (alto Ca, diopsídio/augita, e baixo Ca, augita sub-cálcica/pigeonita) ocorrendo distintamente no grupo das amostras menos e mais saturadas em sílica, respectivamente. Por consequência, esta variação composicional também se reflete na química de rocha-total.

Evidências de alteração (hidrotermal ou tardi-magmática) são comuns em todas as amostras. Os dados disponíveis (principalmente de química mineral) ainda não permitem precisar a origem da alteração. O padrão de substituição de olivina por iddingsita (possivelmente talco), aliado a alteração da matriz criptocristalina (paragonitização), sugere adição externa de fluidos no sistema. Todavia, não são observadas quaisquer evidências de substituição mineralógica/química nas fases minerais (biotita, anfibólio, plagioclásio, K-feldspato) que constituem a encaixante direta dos diques. Uma alternativa para explicar a alteração observada, seria admitir processo de interação das fases minerais precoces com fluidos magmáticos ricos em  $H_2O$  e  $CO_2$ . A presença não rara de amígdalas pode ser uma evidência para atestar a participação significativa de um componente volátil, provavelmente atuando de forma mais expressiva nos estágios tardios da cristalização magmática. Carbonato preenchendo amígdalas e/ou substituindo material intersticial confirma a participação de fluido também rico em  $CO_2$ .

Considerando que o estudo da fases minerais de alteração estava fora do escopo deste trabalho, o qual demandaria razoável tempo para conhecimento mais refinado, as interpretações com respeito a este processo são preliminares. No entanto, os dados apresentados serão essenciais para propor novas abordagens que possam vir a esclarecer as dúvidas levantadas.

Geoquimicamente constituem basaltos, basaltos andesíticos a andesito, com afinidade toleítica. Apesar de mostrarem um *trend* aproximadamente coerente com o processo de cristalização fracionada nos diagramas de correlação entre óxidos, esta hipótese não é confirmada quando consideradas correlações entre elementos compatíveis e incompatíveis. Nesses diagramas, a concentração das amostras em grupos isolados inviabiliza qualquer interpretação mais precisa. Tentativamente, serão analisadas outras amostras do acervo disponível para que seja possível avançar nessa discussão. A princípio,

o padrão terras-raras sugere que a amostra CAJ-19 não teria qualquer correlação com as demais, tendo em vista o pronunciado fracionamento da razão  $(La/Yb)_N$ , indicando presença de granada residual na região-fonte. Esta fase mineral seria responsável por reter terras-raras pesados, consequentemente enriquecendo os magmas em terras-raras leves. Padrão semelhante é observado para olivina basaltos que constituem o magmatismo Macau (Oligoceno-Mioceno), na Província Borborema (M.H. Hollanda, comunicação verbal), e que tem sido interpretados como resultado de menor percentagem de fusão parcial de uma fonte geoquimicamente enriquecida em elementos incompatíveis.

Contrariamente a amostra CAJ-19, observa-se padrão distintamente anômalo dos demais para a amostra MAR-4 (basalto andesítico). Neste caso, o padrão é tipicamente horizontal, sem evidências de enriquecimento em terras-raras leves em relação aos pesados.

## 8. Referências Bibliográficas

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *Atas, VIII Simpósio de Geologia do Nordeste*. Campina Grande, 33-391.
- Boynton, W. V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (ed.). *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, p.63-114.
- Brito Neves, B.B. 1983. O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil, Escala 1/1000.000.
- Brito Neves, B.B. 1998. *The Cambro-Ordovician of the Borborema Province*. Boletim IG-USP, Série Didática, **29**.
- Brito Neves, B.B.; Santos, E.J. & Van Schmus, W.R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.). *Tectonic Evolution of South American*. 31<sup>st</sup> Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro, p. 151-182.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Van Schmus, W. & Santos, E.J. 2001. O "Sistema Pajeú-Paraíba" e o Maciço São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências* **31**(2): 173-184.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Van Schmus, W.; Fernandes, T.M.G. & Souza, S.L. 2001. O Terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba ("Maciço Caldas Brandão"). *Revista Brasileira de Geociências* **31**(2): 185-194.
- Cox, K.G.; Bell, J.D. & Pankhurst, R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. George, Allen and Unwin, London.
- Fernandes, T.M.G. 1997. Estudos Geológicos e Geocronológicos Complementares na parte Sul do Maciço Caldas Brandão-PB. Dissertação de Mestrado. UNESP-Rio Claro.



- Fetter, A.H., 1999. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geological history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil. Doctoral Dissertation, The University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA, 164p.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8:523-548.
- Morimoto, N. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, 73:1123-1133.
- Santos, E.J. 1971. Síntese da Geologia do Pré-Cambriano da Folha Arcoverde-nordeste do Brasil. Recife: SUDENE, 33p.
- Santos, E.J. Síntese da Geologia Pré-Cambriana da Folha Arcoverde, Pernambuco. *In: Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8, 1977. Campina Grande. SBG. Atas, p.225-245.
- Santos, E.J. 1995. O Complexo Granítico Lagoa das Pedras: Acresção e Colisão na Região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 219 p.
- Santos, E.J. 1996. Ensaio Preliminar sobre Terrenos e Tectônica Acrescionária na Província Borborema. *Anais, XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador-BA, 6, 47-50.
- Santos, E.J.; Nutman, A.P.; Brito Neves, B.B 2004. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: Implicações sobre a Evolução Tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. *Geologia USP, Série Científica* v.4, n.1, p. 1-12.
- Santos, E.J. 1999 Bélem do São Francisco, Folha SC.24-X-A: Estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia, Brasília CPRM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 84p.
- Thompson, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scott. J. Geol.*, 18:49-107.

# **Anexos**



**Tabela A1. Coordenadas geográficas dos diques amostrados.**

<b>Dique</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
CAJ-1	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-2	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-3	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-4	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-5	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-6	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-7	-35°24'135"	-7°20'337"
CAJ-8	-35°24'173"	-7°20'310"
CAJ-9	-35°24'173"	-7°20'310"
CAJ-10	-35°22'510"	-7°19'970"
CAJ-13	-35°22'443"	-7°19'969"
CAJ-14	-35°22'311"	-7°20'102"
CAJ-15	-35°22'311"	-7°20'102"
CAJ-16	-35°22'311"	-7°20'102"
CAJ-25	-35°20'902"	-7°19'989"
CAJ-26	-35°24'198"	-7°20'309"
MAR-1	-35°26'564	-7°01'676
MAR-2	-35°26'564	-7°01'676
MAR-3	-35°26'564	-7°01'676
MAR-4	-35°26'564	-7°01'676
MAR-5	-35°26'564	-7°01'676
MAR-6	-35°26'564	-7°01'676
MAR-7	-35°26'564	-7°01'676
MAR-8	-35°26'564	-7°01'676

TABELA A2. ANÁLISES QUÍMICAS DE PLAGIOCLÁSIO CALCULADAS NA BASE DE 32 O

	1		2		3		4		5		6		7		8	
	CAJ-3		CAJ-3		CAJ-3		CAJ-3		CAJ-3		CAJ-5		CAJ-5		CAJ-5	
	fenocrystal		fenocrystal		fenocrystal		matriz		matriz		matriz		matriz		matriz	
	núcleo	borda	núcleo	borda	inter	borda	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO <sub>2</sub>	51,88	52,13	52,49	52,09	52,63	52,52	53,75	53,39	52,99	62,07	52,62	58,33	52,99	58,35	52,99	58,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,76	29,38	29,13	29,27	29,14	28,82	28,00	28,29	29,59	23,63	29,40	24,75	29,60	25,81	29,60	25,81
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,07	0,14	0,10	0,08	0,09	0,10	0,14	0,10	0,04	0,03	0,17	0,11	0,05	0,11	0,05
MgO	0,14	0,14	0,16	0,15	0,16	0,17	0,16	0,28	0,14	0,00	0,45	0,44	0,14	0,06	0,14	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	0,46	0,46	0,45	0,50	0,51	0,66	1,00	0,47	0,41	0,68	1,46	0,49	0,75	0,49	0,75
MnO	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	0,07	0,00	0,07
CaO	12,70	12,30	12,27	12,47	12,23	11,90	11,01	11,66	12,36	5,05	12,14	7,04	12,47	8,08	12,47	8,08
Na <sub>2</sub> O	4,12	4,37	4,45	4,26	4,40	4,61	5,03	4,69	4,55	8,39	4,37	7,09	4,38	7,04	4,38	7,04
K <sub>2</sub> O	0,21	0,24	0,22	0,21	0,22	0,22	0,32	0,26	0,17	0,76	0,19	0,57	0,20	0,46	0,20	0,46
Total	99,27	99,10	99,37	98,99	99,36	98,87	99,04	99,82	100,36	100,37	99,89	99,88	100,36	100,66	100,36	100,66
AN	62,20	60,02	59,62	61,09	59,83	58,01	53,72	56,97	59,44	23,89	59,84	34,27	60,43	37,83	60,43	37,83
AB	36,56	38,60	39,13	37,72	38,90	40,69	44,40	41,50	39,57	71,85	39,02	62,44	38,44	59,63	38,44	59,63
OR	1,24	1,38	1,26	1,20	1,27	1,30	1,88	1,54	1,00	4,27	1,14	3,29	1,13	2,54	1,13	2,54
Si	9,494	9,554	9,594	9,557	9,612	9,641	9,828	9,715	9,584	11,005	9,564	10,499	9,582	10,422	9,582	10,422
Al	6,418	6,345	6,275	6,328	6,272	6,235	6,034	6,068	6,307	4,938	6,297	5,251	6,309	5,433	6,309	5,433
Ti	0,013	0,010	0,019	0,014	0,011	0,013	0,014	0,019	0,014	0,005	0,004	0,023	0,015	0,007	0,015	0,007
Mg	0,037	0,039	0,043	0,040	0,045	0,047	0,042	0,077	0,036	0,000	0,122	0,119	0,037	0,015	0,037	0,015
Fe	0,051	0,063	0,063	0,062	0,069	0,070	0,091	0,137	0,064	0,054	0,092	0,197	0,066	0,101	0,066	0,101
Mn	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,002	0,000	0,015	0,000	0,004	0,001	0,006	0,000	0,010	0,000	0,010
Ca	2,490	2,416	2,403	2,451	2,394	2,340	2,157	2,273	2,395	0,959	2,364	1,357	2,415	1,546	2,415	1,546
Na	1,463	1,553	1,577	1,513	1,557	1,642	1,783	1,656	1,594	2,884	1,541	2,473	1,536	2,438	1,536	2,438
K	0,050	0,055	0,051	0,048	0,051	0,052	0,075	0,061	0,040	0,171	0,045	0,130	0,045	0,104	0,045	0,104
Total	20,016	20,036	20,031	20,015	20,010	20,041	20,025	20,022	20,034	20,021	20,030	20,055	20,006	20,075	20,006	20,075





TABELA A4. ANÁLISES QUÍMICAS DE PLAGIOCLÁSIO CALCULADAS NA BASE DE 32 O

	1		2		3	
	CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15	
	matriz		matriz		matriz	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO <sub>2</sub>	54,41	54,90	56,14	59,54	54,71	58,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,40	26,95	26,58	24,59	27,78	25,66
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,18	0,12	0,00	0,11	0,13
MgO	0,27	0,14	0,15	0,06	0,33	0,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,03	0,67	0,71	0,63	1,16	0,75
MnO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,04
CaO	10,35	10,20	9,78	6,59	10,53	7,88
Na <sub>2</sub> O	5,45	5,81	5,91	7,68	5,48	7,08
K <sub>2</sub> O	0,20	0,20	0,23	0,52	0,17	0,36
Total	99,16	99,05	99,62	99,62	100,25	100,71
AN	50,61	48,67	47,15	31,23	51,02	37,31
AB	48,22	50,21	51,54	65,86	48,03	60,64
OR	1,18	1,11	1,30	2,91	0,96	2,05
Si	9,928	10,018	10,159	10,692	9,881	10,472
Al	5,891	5,795	5,670	5,203	5,913	5,389
Ti	0,007	0,025	0,016	0,000	0,015	0,018
Mg	0,074	0,038	0,040	0,017	0,088	0,012
Fe	0,141	0,092	0,097	0,085	0,157	0,101
Mn	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,006
Ca	2,022	1,994	1,896	1,268	2,037	1,505
Na	1,927	2,057	2,072	2,674	1,917	2,446
K	0,047	0,046	0,052	0,118	0,038	0,083
Total	20,037	20,064	20,003	20,060	20,047	20,030



TABELA A5. ANÁLISES QUÍMICAS DE PLAGIOCLÁSIO CALCULADAS NA BASE DE 32 O

	1		2		3		4		5		6		7	
	MAR-4		MAR-4		MAR-4		MAR-8		MAR-8		MAR-8		MAR-8	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	inter	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	incl.ol
SiO <sub>2</sub>	54,68	54,78	56,02	58,05	54,63	54,92	59,02	58,40	61,43	55,41	58,71	55,90	57,84	56,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,45	28,45	27,77	25,74	28,06	27,91	25,01	26,07	22,43	28,00	25,56	27,73	26,03	26,20
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,00	0,08	0,16	0,13	0,04	0,11	0,09	0,03	0,07	0,09	0,09	0,02	0,26
MgO	0,13	0,18	0,13	0,10	0,14	0,13	0,08	0,10	0,88	0,16	0,16	0,13	0,15	0,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	0,43	0,45	0,70	0,39	0,33	0,58	0,61	1,85	0,44	0,67	0,26	0,68	0,63
MnO	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,02	0,03	0,03	0,00
CaO	11,24	11,51	10,35	8,17	11,13	10,81	7,50	8,51	4,88	10,56	8,20	10,25	8,79	9,06
Na <sub>2</sub> O	5,28	5,19	5,81	6,96	5,36	5,60	7,39	6,59	7,94	5,26	6,71	5,61	6,54	6,23
K <sub>2</sub> O	0,08	0,09	0,13	0,20	0,09	0,10	0,23	0,19	0,42	0,10	0,24	0,10	0,20	0,29
Total	100,24	100,63	100,72	100,09	99,96	99,84	99,93	100,56	99,86	100,04	100,35	100,09	100,27	99,09
AN	53,80	54,77	49,23	38,92	53,17	51,30	35,44	41,18	24,70	52,26	39,77	49,95	42,16	43,80
AB	45,73	44,73	50,05	59,95	46,33	48,12	63,27	57,74	72,79	47,13	58,86	49,47	56,72	54,51
OR	0,47	0,50	0,73	1,13	0,50	0,58	1,28	1,08	2,51	0,61	1,37	0,59	1,12	1,69
Si	9,858	9,846	10,029	10,412	9,881	9,936	10,578	10,412	10,973	9,980	10,485	10,052	10,362	10,227
Al	6,045	6,026	5,859	5,441	5,982	5,951	5,283	5,478	4,721	5,944	5,379	5,876	5,496	5,609
Ti	0,005	0,000	0,011	0,022	0,018	0,005	0,015	0,012	0,004	0,009	0,012	0,012	0,003	0,036
Mg	0,036	0,049	0,034	0,026	0,039	0,035	0,020	0,027	0,235	0,042	0,044	0,035	0,041	0,038
Fe	0,045	0,058	0,060	0,094	0,053	0,045	0,078	0,081	0,249	0,059	0,090	0,036	0,092	0,086
Mn	0,000	0,001	0,000	0,002	0,004	0,000	0,003	0,000	0,001	0,007	0,002	0,004	0,004	0,000
Ca	2,171	2,216	1,985	1,570	2,157	2,095	1,439	1,625	0,934	2,037	1,569	1,975	1,687	1,763
Na	1,845	1,810	2,018	2,419	1,879	1,964	2,569	2,279	2,751	1,837	2,321	1,956	2,270	2,194
K	0,019	0,020	0,029	0,046	0,020	0,024	0,052	0,043	0,095	0,024	0,054	0,023	0,045	0,068
Total	20,024	20,027	20,024	20,032	20,033	20,055	20,037	19,957	19,961	19,939	19,956	19,969	19,999	20,021

TABELA A6. ANÁLISES QUÍMICAS DE PIROXÊNIO CALCULADAS NA BASE DE 6 O

	1		2		3				4				5			
	CAJ-3		CAJ-3		CAJ-5				CAJ-5				CAJ-5			
	matriz	borda	matriz	borda	fenocrystal				fenocrystal				fenocrystal			
					núcleo	inter	borda		núcleo	núcleo	borda	borda	núcleo	borda	borda	
SiO <sub>2</sub>	47,25	46,14			46,55	47,38	46,39		48,38	47,30	46,63	47,38	46,12	47,71	48,53	
TiO <sub>2</sub>	2,58	3,28			3,16	2,53	2,67		1,73	2,48	2,30	2,19	2,91	1,53	2,14	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,38	6,56			5,79	5,38	5,94		5,90	6,08	5,91	5,39	6,17	5,18	4,92	
FeOt	13,16	9,53			10,92	10,19	10,72		9,63	9,27	9,35	9,26	10,54	10,47	9,35	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,17			0,11	0,09	0,13		0,19	0,21	0,14	0,13	0,32	0,05	0,32	
MnO	0,30	0,19			0,17	0,12	0,14		0,07	0,20	0,17	0,17	0,16	0,14	0,20	
MgO	11,14	11,74			12,05	12,00	11,92		13,18	12,75	13,61	13,09	12,20	14,08	13,46	
CaO	19,66	20,93			21,26	21,27	21,41		21,20	20,91	20,54	21,14	20,34	18,42	20,69	
Na <sub>2</sub> O	0,69	0,60			0,59	0,60	0,62		0,49	0,55	0,55	0,60	0,60	0,53	0,54	
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00			0,01	0,01	0,00		0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,94	0,00	
total	99,24	99,15			100,61	99,55	99,95		100,76	99,75	99,19	99,36	99,36	99,03	100,15	
TSi	1,81	1,75			1,74	1,79	1,74		1,79	1,77	1,75	1,78	1,74	1,79	1,81	
TAI	0,20	0,25			0,26	0,21	0,26		0,21	0,23	0,25	0,22	0,26	0,21	0,19	
TFe <sup>3+</sup>	0,00	0,00			0,01	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
M1Al	0,00	0,04			0,00	0,02	0,01		0,05	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	
M1Ti	0,07	0,09			0,09	0,07	0,08		0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,04	0,06	
M1Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,07			0,12	0,09	0,14		0,10	0,09	0,15	0,13	0,11	0,19	0,08	
M1Fe <sup>2+</sup>	0,20	0,13			0,12	0,14	0,11		0,08	0,09	0,01	0,06	0,10	0,00	0,08	
M1Cr	0,00	0,01			0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	
M1Mg	0,64	0,66			0,67	0,67	0,67		0,73	0,71	0,76	0,73	0,69	0,75	0,75	
M2Mg	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	
M2Fe <sup>2+</sup>	0,14	0,10			0,10	0,09	0,09		0,12	0,12	0,13	0,10	0,13	0,13	0,13	
M2Mn	0,01	0,01			0,01	0,00	0,01		0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	
M2Ca	0,81	0,85			0,85	0,86	0,86		0,84	0,84	0,83	0,85	0,82	0,74	0,83	
M2Na	0,05	0,04			0,04	0,04	0,05		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
M2K	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	
total	4,00	4,00			4,00	4,00	4,00		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,96	4,00	
WO	43,05	46,66			45,54	46,23	46,07		45,00	45,42	43,78	45,25	44,55	39,79	44,15	
EN	33,94	36,43			35,91	36,28	35,69		38,94	38,53	40,37	38,99	37,17	42,33	39,96	
FS	23,01	16,92			18,55	17,49	18,24		16,06	16,06	15,85	15,76	18,29	17,88	15,90	



TABELA A7. ANÁLISES QUÍMICAS DE PIROXÊNIO CALCULADAS NA BASE DE 6 O

	1			2			3			4		5		6		7	
	CAJ-15			CAJ-15			CAJ-15			CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15	
	fenocristal			fenocristal			fenocristal			matriz		matriz		matriz		matriz	
	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	borda	núcleo	inter	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo
SiO <sub>2</sub>	55,91	54,92	54,15	54,62	54,20	54,31	54,50	54,30	53,75	54,17	53,72	52,92	50,33	53,50	51,09		
TiO <sub>2</sub>	0,22	0,14	0,26	0,14	0,23	0,26	0,14	0,35	0,34	0,31	0,48	0,54	1,16	0,44	1,13		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,44	2,88	2,76	2,32	2,88	3,37	2,57	2,82	2,96	3,45	2,13	1,66	2,69	2,28	2,52		
FeOt	10,75	11,34	11,10	11,00	10,90	10,59	10,86	10,38	10,53	10,92	12,52	16,62	13,45	12,77	14,86		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,31	0,38	0,34	0,28	0,40	0,34	0,32	0,33	0,28	0,25	0,28	0,03	0,00	0,31	0,05		
MnO	0,17	0,17	0,17	0,21	0,21	0,15	0,19	0,17	0,16	0,17	0,29	0,34	0,26	0,20	0,29		
MgO	28,27	29,62	29,31	29,45	29,38	29,54	29,96	29,68	29,90	29,12	26,35	21,53	16,21	25,50	17,14		
CaO	1,70	1,74	1,71	1,50	1,79	1,61	1,83	1,94	1,75	1,63	4,23	5,79	14,83	4,50	11,81		
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,06	0,05	0,07	0,04	0,06	0,08	0,04	0,06	0,02	0,08	0,10	0,30	0,13	0,30		
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,09	0,04		
Total	99,81	101,24	99,86	99,61	100,04	100,23	100,45	100,01	99,75	100,06	100,09	99,56	99,23	99,72	99,22		
Tsi	1,99	1,92	1,92	1,94	1,92	1,91	1,91	1,92	1,90	1,92	1,93	1,96	1,89	1,93	1,92		
Tal	0,01	0,08	0,08	0,06	0,08	0,09	0,09	0,08	0,10	0,09	0,07	0,04	0,11	0,07	0,08		
TFe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
M1Al	0,09	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,06	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03		
M1Ti	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03		
M1Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,06	0,01	0,03	0,00	0,06	0,02	0,01		
M1Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
M1Cr	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00		
M1Mg	0,89	0,92	0,92	0,94	0,92	0,92	0,91	0,92	0,90	0,92	0,93	0,95	0,90	0,93	0,93		
M2Mg	0,61	0,62	0,63	0,62	0,63	0,64	0,66	0,64	0,67	0,61	0,48	0,24	0,01	0,44	0,03		
M2Fe <sup>2+</sup>	0,32	0,30	0,30	0,31	0,29	0,30	0,26	0,28	0,25	0,32	0,35	0,52	0,37	0,37	0,46		
M2Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
M2Ca	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,16	0,23	0,60	0,17	0,48		
M2Na	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02		
M2K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00		
WO	3,43	3,35	3,33	2,93	3,49	3,16	3,51	3,77	3,39	3,20	8,31	11,82	30,85	8,98	24,88		
EN	79,37	79,35	79,51	79,98	79,61	80,43	79,95	80,23	80,46	79,75	72,04	61,16	46,90	70,80	50,22		
FS	17,20	17,30	17,16	17,09	16,90	16,41	16,54	16,00	16,15	17,04	19,65	27,02	22,25	20,22	24,91		

TABELA A8. ANÁLISES QUÍMICAS DE PIROXÊNIO CALCULADAS NA BASE DE 6 O

	1		2		3		4		5	
	CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15		CAJ-15	
	matriz		matriz		matriz		matriz		matriz	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	inter
SiO <sub>2</sub>	53,35	52,25	53,81	54,45	53,96	51,77	49,71		53,64	
TiO <sub>2</sub>	0,58	0,77	0,41	0,21	0,41	0,90	1,47		0,58	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	1,58	2,12	1,91	2,61	2,41	2,67		2,34	
FeOt	12,13	17,29	13,58	12,83	11,49	13,37	15,40		12,09	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,39	0,01	0,13	0,19	0,54	0,03	0,00		0,31	
MnO	0,23	0,33	0,29	0,18	0,21	0,23	0,33		0,25	
MgO	27,18	21,90	25,69	27,12	27,42	19,37	14,77		26,83	
CaO	3,80	5,78	4,19	3,11	3,64	12,06	14,55		3,77	
Na <sub>2</sub> O	0,09	0,14	0,12	0,10	0,09	0,25	0,38		0,09	
K <sub>2</sub> O	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01		0,00	
Total	100,01	100,07	100,34	100,13	100,37	100,38	99,28		99,90	
Tsi	1,91	1,93	1,93	1,95	1,92	1,90	1,89		1,92	
Tal	0,09	0,07	0,07	0,05	0,08	0,10	0,12		0,08	
TF <sup>3+</sup>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
M1Al	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00		0,02	
M1Ti	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04		0,02	
M1Fe <sup>3+</sup>	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,05		0,02	
M1Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07		0,00	
M1Cr	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00		0,01	
M1Mg	0,92	0,94	0,94	0,95	0,92	0,91	0,84		0,93	
M2Mg	0,53	0,27	0,44	0,50	0,53	0,15	0,00		0,50	
M2Fe <sup>2+</sup>	0,31	0,48	0,38	0,37	0,32	0,35	0,37		0,34	
M2Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	
M2Ca	0,15	0,23	0,16	0,12	0,14	0,47	0,59		0,15	
M2Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03		0,01	
M2K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00		4,00	
WO	7,42	11,56	8,25	6,10	7,15	24,30	30,70		7,43	
EN	73,76	60,93	70,41	73,99	74,93	54,30	43,36		73,59	
FS	18,82	27,51	21,34	19,91	17,92	21,39	25,94		18,99	



**TABELA A9. ANÁLISES QUÍMICAS DE PIROXÊNIO CALCULADAS NA BASE DE 6 O**

	1		2		3		4		5		6		7		8	
	CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12		CAJ-12	
	matriz		matriz		matriz		matriz		matriz		matriz		matriz		matriz	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	inter
SiO <sub>2</sub>	53,27	54,03	52,38		53,53		52,72		53,00		52,55		51,38		52,32	
TiO <sub>2</sub>	0,51	0,33	0,45		0,37		0,39		0,23		0,60		0,54		0,68	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,23	2,25	2,08		1,85		2,08		2,48		2,22		1,96		2,22	
FeOt	12,38	12,09	14,76		11,49		13,47		11,78		14,20		16,11		14,41	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38	0,38	0,06		0,34		0,21		0,46		0,12		0,00		0,06	
MnO	0,18	0,19	0,32		0,23		0,27		0,26		0,32		0,28		0,26	
MgO	27,47	27,16	23,11		28,00		25,68		26,89		24,48		22,04		23,36	
CaO	3,65	3,53	5,77		3,21		4,52		3,70		4,75		6,48		5,39	
Na <sub>2</sub> O	0,11	0,11	0,12		0,08		0,12		0,12		0,10		0,18		0,14	
K <sub>2</sub> O	0,02	0,04	0,02		0,01		0,02		0,01		0,00		0,02		0,03	
Total	100,19	100,10	99,06		99,10		99,47		98,94		99,34		98,98		98,88	
Tsi	1,90	1,93	1,93		1,92		1,91		1,91		1,92		1,90		1,93	
Tal	0,09	0,07	0,07		0,08		0,09		0,09		0,08		0,09		0,07	
TFe <sup>3+</sup>	0,01	0,00	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,01		0,00	
M1Al	0,00	0,02	0,02		0,00		0,00		0,02		0,01		0,00		0,02	
M1Ti	0,01	0,01	0,01		0,01		0,01		0,01		0,02		0,02		0,02	
M1Fe <sup>3+</sup>	0,07	0,03	0,04		0,05		0,07		0,05		0,04		0,08		0,02	
M1Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
M1Cr	0,01	0,01	0,00		0,01		0,01		0,01		0,00		0,00		0,00	
M1Mg	0,91	0,93	0,93		0,93		0,91		0,91		0,93		0,91		0,93	
M2Mg	0,56	0,52	0,34		0,57		0,48		0,54		0,41		0,31		0,35	
M2Fe <sup>2+</sup>	0,29	0,33	0,42		0,29		0,33		0,30		0,39		0,41		0,42	
M2Mn	0,01	0,01	0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01	
M2Ca	0,14	0,14	0,23		0,12		0,18		0,14		0,19		0,26		0,21	
M2Na	0,01	0,01	0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01	
M2K	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Total	4,00	4,00	4,00		4,00		4,00		4,00		4,00		4,00		4,00	
WO	7,07	6,94	11,61		6,25		8,87		7,32		9,47		12,97		10,92	
EN	73,96	74,23	64,70		75,92		70,09		74,07		67,93		61,41		65,86	
FS	18,98	18,83	23,70		17,83		21,05		18,61		22,60		25,63		23,22	

**TABELA A10. ANÁLISES QUÍMICAS DE PIROXÊNIO CALCULADAS NA BASE DE 6 O**

	1		2		3		4		5		6	
	MAR-4		MAR-4		MAR-4		MAR-4		MAR-8		MAR-8	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO <sub>2</sub>	50,74	51,30	51,41	50,17	50,99	49,84	50,48	50,81	48,84	49,73	49,72	49,40
TiO <sub>2</sub>	1,15	1,14	0,91	1,07	1,23	1,21	1,45	1,03	2,07	1,52	0,87	1,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,28	2,09	1,35	1,36	1,35	1,50	2,55	1,74	3,65	2,84	1,68	1,71
FeOt	15,44	16,89	20,28	20,43	19,95	18,33	13,88	17,92	12,50	13,35	23,35	21,85
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	0,33	0,10	0,01	0,08	0,00	0,29	0,05	0,40	0,24	0,12	0,12
MnO	0,29	0,30	0,38	0,43	0,52	0,29	0,29	0,37	0,31	0,23	0,43	0,43
MgO	14,84	16,12	15,79	12,91	14,56	11,29	13,50	13,62	12,67	12,52	15,50	14,43
CaO	15,28	11,84	10,26	13,57	11,47	16,85	17,53	15,13	18,50	18,42	7,94	9,60
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,25	0,19	0,32	0,27	0,35	0,36	0,29	0,50	0,42	0,24	0,24
K <sub>2</sub> O	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,07	0,04
Total	100,71	100,29	100,68	100,29	100,43	99,67	100,34	100,99	99,45	99,28	99,92	99,03
TSi	1,90	1,93	1,94	1,92	1,94	1,92	1,90	1,92	1,85	1,90	1,90	1,91
TAl	0,10	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,10	0,08	0,15	0,11	0,08	0,08
TFe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
MTAl	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
MTi	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03	0,04
M1Fe <sup>3+</sup>	0,05	0,00	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,05	0,04	0,02	0,06	0,03
M1Fe <sup>2+</sup>	0,08	0,04	0,06	0,19	0,13	0,28	0,16	0,16	0,16	0,20	0,02	0,10
M1Cr	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
M1Mg	0,83	0,90	0,89	0,74	0,83	0,65	0,76	0,77	0,72	0,71	0,88	0,83
M2Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M2Fe <sup>2+</sup>	0,35	0,49	0,56	0,41	0,50	0,27	0,26	0,36	0,20	0,21	0,64	0,57
M2Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
M2Ca	0,61	0,48	0,42	0,56	0,47	0,70	0,71	0,61	0,75	0,75	0,33	0,40
M2Na	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02
M2K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
WO	31,70	24,82	21,22	28,38	24,05	35,78	37,00	31,29	40,11	39,66	16,52	20,39
EN	42,83	47,03	45,43	37,56	42,46	33,36	39,65	39,19	38,20	37,51	44,86	42,67
FS	25,48	28,14	33,36	34,07	33,50	30,86	23,35	29,53	21,69	22,83	38,62	36,94



TABELA A11. ANÁLISES QUÍMICAS DE OLIVINA CALCULADAS NA BASE DE 4 O

1		2		3				4		5	
CAJ-3		CAJ-3		CAJ-5				CAJ-5		CAJ-5	
fenocristal		fenocristal		fenocristal				fenocristal		fenocristal	
núcleo	borda	núcleo	borda	borda	inter	núcleo	inter	borda	inter	borda	núcleo
SiO <sub>2</sub>	38,76 39,87	39,18 39,57	39,51 39,62	39,83 39,42	39,30			39,71		39,09 40,16	39,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07 0,04	0,06 0,06	0,04 0,11	0,07 0,02	0,07			0,06		0,04 0,11	0,10
TiO <sub>2</sub>	0,00 0,02	0,01 0,00	0,00 0,01	0,05 0,02	0,00			0,11		0,02 0,06	0,03
MgO	43,29 42,00	43,81 42,68	41,89 44,64	44,47 44,92	42,80			42,87		39,76 43,29	43,35
FeO	16,30 16,57	15,74 16,63	17,84 14,78	14,75 15,28	17,70			17,52		19,96 15,75	17,15
MnO	0,20 0,19	0,21 0,18	0,18 0,24	0,18 0,16	0,16			0,22		0,21 0,17	0,22
CaO	0,22 0,27	0,22 0,25	0,25 0,22	0,23 0,21	0,26			0,25		0,33 0,18	0,29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05 0,04	0,04 0,04	0,03 0,07	0,06 0,05	0,07			0,05		0,04 0,05	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,02 0,02	0,01 0,00	0,03 0,01	0,02 0,02	0,00			0,01		0,03 0,02	0,02
K <sub>2</sub> O	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,02 0,00	0,00			0,00		0,03 0,00	0,02
NiO	0,23 0,17	0,31 0,25	0,21 0,31	0,31 0,28	0,24			0,22		0,15 0,25	0,21
total	99,14 99,18	99,56 99,64	99,98 100,01	99,98 100,38	100,60			101,02		99,66 100,03	100,50
Fe	82,57 81,88	83,23 82,07	80,72 84,33	84,31 83,98	81,17			81,36		78,03 83,06	81,84
Fa	17,43 18,12	16,77 17,93	19,28 15,67	15,69 16,02	18,83			18,64		21,97 16,94	18,16
Si	0,991 1,016	0,994 1,005	1,006 0,996	1,001 0,990	0,995			0,999		1,009 1,011	0,989
Al	0,002 0,001	0,002 0,002	0,001 0,003	0,002 0,001	0,002			0,002		0,001 0,003	0,003
Ti	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,001 0,000	0,000			0,002		0,000 0,001	0,001
Mg	1,650 1,596	1,657 1,617	1,590 1,673	1,665 1,682	1,615			1,608		1,530 1,624	1,635
Fe	0,348 0,353	0,334 0,353	0,380 0,311	0,310 0,321	0,375			0,369		0,431 0,331	0,363
Mn	0,004 0,004	0,004 0,004	0,004 0,005	0,004 0,003	0,003			0,005		0,005 0,004	0,005
Ca	0,006 0,007	0,006 0,007	0,007 0,006	0,006 0,006	0,007			0,007		0,009 0,005	0,008
Cr	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001			0,001		0,001 0,001	0,001
Na	0,001 0,001	0,000 0,000	0,001 0,000	0,001 0,001	0,000			0,001		0,002 0,001	0,001
K	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,001 0,000	0,000			0,000		0,001 0,000	0,001
Ni	0,005 0,003	0,006 0,005	0,004 0,006	0,006 0,006	0,005			0,004		0,003 0,005	0,004
total	3,008 2,983	3,005 2,993	2,994 3,002	2,998 3,010	3,003			2,998		2,991 2,987	3,009

**TABELA A12. ANÁLISES QUÍMICAS DE OLIVINA CALCULADAS NA BASE DE 4 O**

	1		2	
	CAJ-15		CAJ-15	
	fenocristal		fenocristal	
	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO <sub>2</sub>	38,98	39,37	39,23	39,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,03	0,03	0,08
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,05	0,04	0,00
MgO	43,28	43,11	43,00	42,36
FeO	17,30	17,47	17,49	17,52
MnO	0,21	0,28	0,17	0,23
CaO	0,22	0,24	0,25	0,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,05	0,07	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,03	0,02	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,01	0,00
NiO	0,25	0,23	0,24	0,24
total	100,32	100,84	100,53	100,31
Fo	81,69	81,48	81,42	81,17
Fa	18,31	18,52	18,58	18,83
Si	0,989	0,994	0,993	1,005
Al	0,001	0,001	0,001	0,003
Ti	0,000	0,001	0,001	0,000
Mg	1,637	1,622	1,623	1,600
Fe	0,367	0,369	0,370	0,371
Mn	0,004	0,006	0,004	0,005
Ca	0,006	0,006	0,007	0,006
Cr	0,001	0,001	0,001	0,000
Na	0,000	0,001	0,001	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,005	0,005	0,005	0,005
total	3,010	3,005	3,005	2,994





TABELA A14. ANÁLISES QUÍMICAS DE CARBONATO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-15	CAJ-15	MAR-4	MAR-4	MAR-4	MAR-4
	b-amig	n-amig	n-inter	n-inter	b-amig	n-amig	n-inter	b-amig	n-amig	n-amig	b-inter
SiO <sub>2</sub>	0,00	0,02	0,43	0,22	0,01	0,00	0,02	0,04	1,63	0,11	0,14
FeO	20,71	19,72	16,12	21,87	16,60	21,06	3,34	12,21	10,80	14,12	16,19
MnO	0,89	0,44	0,49	1,98	0,79	0,78	0,79	0,34	0,33	0,63	0,55
MgO	6,29	7,53	8,38	3,51	9,93	6,12	0,75	13,82	14,48	11,76	8,61
CaO	25,57	25,72	27,96	25,95	27,26	26,86	49,54	27,57	27,06	27,38	28,69
SrO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
BaO	0,00	0,00	0,04	0,00	0,11	0,00	0,00	0,02	0,02	0,04	0,00
total	53,46	53,43	53,41	53,53	54,70	54,82	54,43	54,00	54,32	54,05	54,18
Si	0,000	0,002	0,045	0,025	0,001	0,000	0,002	0,004	0,155	0,011	0,015
Fe	1,895	1,777	1,414	2,054	1,421	1,881	0,290	1,009	0,858	1,192	1,404
Mn	0,083	0,040	0,044	0,188	0,068	0,070	0,070	0,028	0,027	0,053	0,049
Mg	1,025	1,209	1,310	0,587	1,515	0,975	0,116	2,035	2,050	1,770	1,331
Ca	2,997	2,969	3,142	3,122	2,990	3,073	5,521	2,919	2,754	2,961	3,187
Sr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ba	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000
total	6,000	5,998	5,955	5,975	5,999	6,000	5,998	5,996	5,845	5,989	5,985

Amig – amígdala; inter – intersticial; n – núcleo; b – borda.



**ANÁLISES SEMI-QUANTITATIVAS POR EDS EM OPACOS**  
**TABELA A15**

	1	2	3	4	5
	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-3	CAJ-3	MAR-4
	mtz	Incl-ol	incl-ol	incl-ol	mtz
MgO	2,13	10,65	11,03	9,65	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95	23,45	25,01	21,91	0,68
CaO	1,62	-	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	23,50	2,77	1,64	2,57	22,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	31,58	32,73	33,58	-
FeO	71,79	31,55	29,59	32,29	76,87
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mg	0,187	4,052	4,154	3,717	-
Al	0,066	7,057	7,445	6,674	0,259
Ca	0,102	-	-	-	-
Ti	1,040	0,532	0,312	0,499	5,443
Cr	-	6,375	6,536	6,862	-
Fe	3,532	6,735	6,250	6,980	20,726
Total	4,927	24,752	24,697	24,733	26,428
n° O	6	32	32	32	32

mtz – matriz; incl-ol – incluso em fenocristal de olivina;  
inter – intersticial; b-ol – borda de fenocristal de olivina.

**ANÁLISES SEMI-QUANTITATIVAS EM ALTERAÇÕES**  
**TABELA A16**

	1	2	3
	CAJ-3	CAJ-3	MAR-4
	b-ol	b-ol	inter
MgO	27,203	35,514	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	5,787
SiO <sub>2</sub>	61,088	60,49	87,198
Na <sub>2</sub> O	-	-	1,348
FeO	11,709	3,995	5,667
total	100	100	100
Mg	0,9403	7,1681	-
Al	-	-	1,1446
Si	1,4164	8,1898	14,6342
Na	-	-	0,4386
Fe	0,227	0,4524	0,7954
total	2,5836	15,8102	17,0128
n° O	4	24	32