

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDA CAROLINE BORATO XAVIER

ASSINATURA GEOQUÍMICA DE FELDSPATOS ALCALINOS DOS SIENITOS DO
COMPLEXO ALCALINO DE TUNAS - PR: INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS TARDI
E PÓS MAGMÁTICOS NA ASSEMBLEIA MINERAL PRIMÁRIA

CURITIBA

2016

FERNANDA CAROLINE BORATO XAVIER

ASSINATURA GEOQUÍMICA DE FELDSPATOS ALCALINOS DOS SIENITOS DO
COMPLEXO ALCALINO DE TUNAS - PR: INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS TARDI
E PÓS MAGMÁTICOS NA ASSEMBLEIA MINERAL PRIMÁRIA

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau
de Mestre em Geologia, no Curso de Pós-Graduação em
Geologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Cristina Valle Pinto-Coelho
Coorientadora: Profa. Dra. Eleonora Vasconcellos
Coorientador: Prof. Ney Pereira Mattoso Filho

CURITIBA

2016

Xavier, Fernanda Caroline Borato

Assinatura geoquímica de feldspatos alcalinos dos sienitos do complexo alcalino de Tunas – PR: influência dos processos tardi e pós magmáticos na assembleia mineral primária / Fernanda Caroline Borato Xavier. – Curitiba, 2016.

140 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia

Orientadora: Cristina Valle Pinto-Coelho

Coorientadores: Eleonora Vasconcellos, Ney Pereira Mattoso Filho

Bibliografia: p. 110-116

1. Rochas ígneas. 2. Feldspato. 3. Terras raras. I. Pinto-Coelho, Cristina Valle. II. Vasconcellos, Eleonora. III. Mattoso Filho, Ney Pereira. IV. Título.

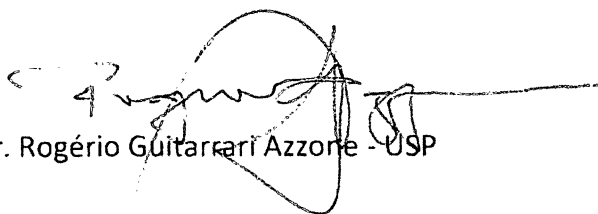
CDD 552.2

TERMO DE APROVAÇÃO

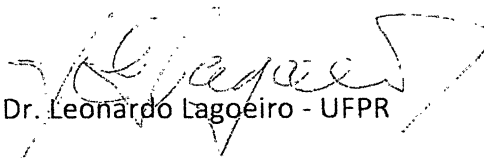
FERNANDA CAROLINE BORATO XAVIER

“Assinatura geoquímica de feldspatos alcalinos dos sienitos do Complexo de Tunas – PR: influência dos processos tardi a pós magmáticos na assembleia mineral primária.”

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:



Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzore - USP



Prof. Dr. Leonardo Lagoeiro - UFPR



Profª. Drª. Cristina Valle Pinto-Coelho – UFPR
Presidente

Curitiba, 31 de março de 2016.

Dedico esse trabalho aos meus amados pais, Loara Borato e Fernando Xavier.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Cristina Valle Pinto-Coelho, pelo acompanhamento, atenção e dedicação ao longo desses dois anos de mestrado e durante os dois anos de iniciação científica na graduação.

Aos meus coorientadores, Profa. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos e Prof. Dr. Ney Pereira Mattoso Filho, pelas conversas e dúvidas sanadas.

Ao Departamento de Geologia e Programa de Pós Graduação em Geologia que me proporcionou estrutura para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Ao Laboratório de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná e em especial para o Geólogo Rodrigo Secchi e o Físico Thiago Gomes, que muito me auxiliaram nas técnicas e discussão dos resultados obtidos.

Ao Centro de Microscopia Eletrônico da Universidade Federal do Paraná e aos técnicos Gustavo Matos e Deonir Augostini, pelo auxílio na aquisição dos dados.

Ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar, em especial ao técnico Daniel Paredes pela ajuda com o separador elétrico magnético.

À Marmoraria Água Verde pela liberação da coleta de amostras na Pedreira Barro Vermelho, onde foram realizados os trabalhos de campo.

Ao Prof. Dr. Nilson Botelho e ao Laboratório de Microsonda Eletrônica da UnB pelas análises de microsonda eletrônica.

Aos alunos de iniciação científica e amigos Alberto Botelho e Rafaella de Carvalho Antunes por toda ajuda na aquisição, tratamento e discussão dos dados.

Aos meus colegas da Pós-graduação em especial Leonardo Barão (Coxinha), Jan Soares e Allan Gomes.

A toda minha família e de forma carinhosa aos meus pais pelas orações e incentivo.

Ao meu melhor amigo e companheiro de vida Rafael Graf por todo suporte, compreensão e amor ao longo desses dois anos.

RESUMO

O Complexo Alcalino de Tunas - PR é um corpo ígneo plutônico mesozoico e constitui-se predominantemente por álcali-feldspato sienito. A assembleia mineral é formada por feldspato alcalino mesopertítico, egrina-augita, riebeckita, biotita e apatita; subordinariamente iddingsita, carbonato secundário, clorita e minerais opacos. Estas rochas são divididas em seis variedades com base em diferenças texturais e granulométricas: variedades acinzentadas divididas em: a) variedade cinza com feldspato alcalino subédrico, pertitzado, granulação média à grossa; b) cinza esverdeada com feldspato alcalino subédrico, pertitzado e geminado Carlsbad, de granulação média à grossa e variedades esverdeadas divididas em: a) verde com feldspato alcalino anédrico a subédrico, pertitzado, médio a grosso; b) verde, representada pelo contato entre diques de traquito; c) verde-acinzentada com feldspato alcalino esverdeado, subédrico, médio, pertitzado; d) verde fina, com feldspato alcalino esverdeado a esbranquiçado, com granulação média, pertitzado. Análises por catodoluminescência acoplada a lupa polarizada revelam intensa luminescência na cor azul em feldspato alcalino das variedades verdes, comumente mais intensa nas porções centrais do cristal com as bordas exibindo cor vermelha; nas variedades cinzas o feldspato exibe intensa luminescência vermelha, associada à maior turbidez apresentada pelo mineral nesta variedade. Cadoluminescência acoplada ao microscópio eletrônico de varredura mostra que essas cores correspondem aos elementos ativadores Er^{3+} , Tb^{3+} , Eu^{3+} , Eu^{2+} , responsáveis pela cor azul em catodoluminescência e Fe^{3+} , ativador da cor vermelha em feldspato alcalino. Análises por ICP-MS e ICP-OES em concentrados de feldspatos alcalinos e posterior análises de diagramas de variação apresentam tendência com enriquecimento em sílica e álcalis totais para feldspatos da variedade cinza em comparação com aqueles da variedade verde, sendo os primeiros caracterizados por valores de SiO_2 (>64,40%), $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (>12,8%) e Al_2O_3 (>18,43%), e de Fe_2O_3 total (<2,19%) e CaO (<1,07%). Para os feldspatos das variedades verdes, os valores de SiO_2 (<62,74%), $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (<11,8%) e Al_2O_3 (<18,35%) são comparativamente menores, ao passo que Fe_2O_3 total (>2,87%) e CaO (>0,85%) são enriquecidos. Diagramas multielementares, revelam que todas as amostras possuem anomalia negativa em Sr e Ti. Os feldspatos alcalinos da variedade cinza tendem a ter valores negativamente anômalos para Ba, e os verdes, em contrapartida, forte anomalia positiva neste elemento. O padrão de distribuição de ETR mostra $\sum\text{ETRL}$ variando de 76,2 a 276,6 ppm e $\sum\text{ETRP} < 20$ ppm. A razão $(\text{La}/\text{Yb})^*$ varia de 4,87 a 18,30 ppm. Sienitos da variedade verde exibem acentuadas anomalias positivas em Eu com razão Eu/Eu^* variando entre 0,28 e 3,66 ppm; o fracionamento é intenso, evidenciado pela razão $(\text{La}/\text{Sm})^*$, da ordem de 5,47 a 7,49 ppm, superior àquela observada para os ETRP, com razão $(\text{Gd}/\text{Yb})^*$ 0,53 a 1,67 ppm. A variedade cinza mostra padrão de distribuição com acentuada anomalia negativa em Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,20$ a 0,46 ppm) e fracionamento intenso, com $(\text{La}/\text{Sm})^* = 6,90$ a 8,06 ppm e $(\text{Gd}/\text{Yb})^* = 0,98$ a 1,60 ppm. Esses resultados apontam para a existência de eventos magmáticos e pós-magmáticos distintos responsáveis pela cristalização dos feldspatos alcalinos, em condições de temperatura e fluidos variáveis. Neste sentido, o sienito verde é mais primitivo e o sienito cinza caracterizaria o estágio tardio na história evolutiva destas rochas.

Palavras-chave: Sienito, Feldspato Alcalino, Elementos Terras Raras.

ABSTRACT

The Tunas Alkaline Complex is a Mesozoic plutonic igneous body that is mainly composed of alkali feldspar syenite. Its mineral assemblage consists of alkali feldspar, aegirine-augite, riebeckite, biotite and apatite, sparse olivine (iddingsite), secondary carbonates, chlorite and opaque minerals. These rocks are divided into six varieties based on textural and granulometric differences: two greyish varieties subdivided into a) a greyish variety with subhedral perthitic alkali feldspars, medium to coarse-grained, and b) a greenish-gray variety with subhedral perthitic alkali feldspars with Carlsbad twinning, medium to coarse-grained; and four greenish varieties subdivided into a) a greenish variety with anhedral to subhedral perthitic alkali feldspars, medium to coarse-grained, b) a greenish variety in the contact between the trachyte dykes and the wall rock, c) a greyish-green variety with green subhedral perthitic alkali feldspars, medium-grained, and d) a greenish fine-grained variety, with green or white perthitic alkali feldspars, fine-grained. Cathodoluminescence analyses revealed that alkali feldspars of the greenish varieties have a blue luminescing core and red luminescent rims, while alkali feldspars of the greyish varieties exhibited an intense red luminescence, which is associated to its turbid appearance. Scanning electron microscopy cathodoluminescence imaging (SEM-CL) indicated that the blue luminescence observed in the alkali feldspars is related to the activator elements Er^{3+} , Tb^{3+} , Eu^{3+} , Eu^{2+} , while the red luminescence in this mineral is associated to the activator element Fe^{3+} . ICP-MS and ICP-OES analyses on alkali feldspar concentrates and further interpretations of the variation diagrams showed a relative enrichment of silica and total alkalis for the alkali feldspars of the greyish varieties, with SiO_2 (>64,40%), $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (>12,8%), Al_2O_3 (>18,43%), Fe_2O_3 total (<2,19%) and CaO (<1,07%). On the other hand, the alkali feldspars of the greenish varieties showed lower concentrations of silica and total alkalis and a relative enrichment of iron and calcium, with SiO_2 (<62,74%), $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (<11,8%), (<18,35%), Fe_2O_3 total (>2,87%) and CaO (>0,85%). Multielement diagrams showed that all the samples present negative anomalies for Sr and Ti and that the alkali feldspars of the greyish varieties usually have negative anomalies of Ba, while alkali feldspars of the greenish varieties have positive anomalies of this element. The REE distribution pattern shows that ΣLREE concentrations range from 76.2 to 276.6 ppm and that ΣHREE are less than 20 ppm. The $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratio varies from 4.87 to 18.30. Syenites of the greenish varieties present strong positive anomalies of Eu (Eu/Eu^* values ranging between 0.28 and 3.66), $(\text{La}/\text{Sm})_N$ ratio values varying from 5.47 to 7.49 and $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ratio values ranging from 0.53 to 1.67, which indicates a strong fractionation of LREE over HREE. On the other hand, the greyish varieties show a strong negative anomaly of Eu (Eu/Eu^* values ranging between 0.20 and 0.46), $(\text{La}/\text{Sm})_N$ ratio values varying from 6.90 to 8.06 and $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ratio values ranging from 0.98 to 1.60. These results point out that the alkali feldspars were likely formed during distinct magmatic and post-magmatic events, under different temperature conditions and probably with the interaction of different fluids. In this way, the syenites of the greenish varieties would be the most primitive rocks while those of the greyish varieties would represent the late-magmatic stages of the evolutionary history of these rocks.

Keywords: Syenite, Alkaline Feldspar, Rare Earth Elements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do Complexo Alcalino de Tunas e a principal estrada de acesso.....	15
Figura 2- Localização das principais pedreiras de sienito Tunas e brechas vulcânicas e seus respectivos nomes comerciais.....	16
Figura 3- Distribuição das rochas alcalinas dos Complexos Jacupiranga, Juquiá, Pariquera-Açu e Cananéia no Lineamento Guapiara.....	21
Figura 4- Mapa Geológico do CAT. As amostras foram coletadas na Pedreira Barro Vermelho localizada na porção norte do mapa.	26
Figura 5- Mapa esquemático evidenciando o posicionamento do CAT em relação às Falhas de Morro Agudo e Lancinha e corpos graníticos associados.....	31
Figura 6- Amostras macroscópicas do sienito Tunas.....	42
Figura 7- Sienito alcalino da variedade cinza ao microscópio óptico convencional ..	44
Figura 8- Sienito alcalino da variedade cinza-esverdeada ao microscópio óptico convencional ..	46
Figura 9- Sienito alcalino da variedade verde ao microscópio óptico convencional ..	48
Figura 10- Sienito alcalino da variedade verde-acinzentada ao microscópio óptico convencional ..	50
Figura 11- Sienito alcalino da variedade verde no contato traquito-sienito ao microscópio óptico convencional.....	52
Figura 12- Fotomicrografias da variedade verde fina em microscópio óptico convencional evidenciando cristais de feldspato alcalino.....	53
Figura 13- Diagramas de variação ..	62
Figura 14- Diagrama CaO vs Sr vs Eu.....	63
Figura 15- Diagrama spider normalizado pelo manto primitivo ..	64
Figura 16- Diagrama Rb, Ba e Sr ..	64
Figura 17- Diagrama spider normalizado pelo manto primitivo ..	65
Figura 18- Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza.....	66
Figura 19- Imagem obtida por ERE em amostras da variedade cinza ..	67
Figura 20- Al e K nas porções da amostra formadas por feldspato alcalino (Afs).....	69
Figura 21- Mapa de elementos químicos sobrepostos de variedade cinza ..	70

Figura 22- Mapeamento químico realizado em amostra da variedade verde.....	71
Figura 23- Mapa de elementos químicos sobrepostos de variedade verde	72
Figura 24- Mapeamento químico de Ce e La da variedade verde acinzentada,	72
Figura 25- Mapeamento químico sobrepostos de variedade esverdeada da amostra CTF 08	73
Figura 26- Mapeamento químico para Ca e P de variedade verde acinzentada, evidenciando as inclusões de apatita (Ap) na egrina-augita (Aeg-aug)...	73
Figura 27- Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza. Dados MEV.	74
Figura 28- Diagrama Quad (Ca+ Mg+ Fe ⁺²) – J(2Na) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas.....	75
Figura 29- Diagrama Wollastonita (Wo) – Enstatita (En) – Ferrossilita (Fs).....	76
Figura 30- Diagrama Ae (Egrina) – Di (Diopsídio) – Hd (Hedenbergita).....	76
Figura 31- Diagrama Si – Mg/Mg + Fe ⁺² de Leake (1978) para anfibólios da variedade cinza do sienito Tunas.	77
Figura 32- Diagrama Al – Mg – Fe ⁺² de Rock (1982) para biotita da variedade cinza do sienito Tunas.	78
Figura 33- Fotomicrografia de sienito da variedade verde.	80
Figura 34- Fotomicrografia em microscópio óptico de transmissão da amostra da...	81
Figura 35- Fotomicrografia de sienito da variedade cinza.....	82
Figura 36- Fotomicrografia de traquito..	83
Figura 37- Espectros em CL-MEV obtidos em amostras da variedade cinza	84
Figura 38- Espectros em CL-MEV obtidos em amostras da variedade cinza- esverdeada mostrando.....	85
Figura 39- Espectro em CL-MEV obtido em amostra da fácies verde-acinzentada mostrando o pico principal.....	86
Figura 40- Espectros obtidos em amostras da fácies verde no contato traquito-sienito	87
Figura 41- Espectro FTIR para feldspatos alcalinos do sienito Tunas.	89
Figura 42- Difrátogramas da variedade cinza.....	92
Figura 43- Difrátogramas das variedades verde	93
Figura 44- Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza.....	94
Figura 45- Diagrama Quad (Ca+ Mg+ Fe ⁺²) – J(2Na).....	96
Figura 46- Diagrama Wollastonita (Wo) – Enstatita (En) – Ferrossilita (Fs).....	96

Figura 47- Diagrama Ae (Egirina) – Di (Diopsídio) – Hd (Hedenbergita) para piroxênios do sienito Tunas, dados Microsonda eletrônica.	97
Figura 48- Diagrama Quad (Wollastonia + Enstatita + Ferrossilita) - Jd (Jadeíta) – Ae (Egirina) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas. Dados Microsonda eletrônica.	97
Figura 49- Comparação dos gráficos de elementos terras raras dos feldspatos alcalinos do sienito Tunas	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Amostras selecionadas para a pesquisa, classificando-as de acordo com a variedade litológica e quais análises foram realizadas.....	35
Tabela 2- Resumo das principais características petrográficas de cada variedade do sienito Tunas.....	54
Tabela 3- Valores de triclinicidade com base na cor dos feldspatos alcalinos.	56
Tabela 4- Óxidos e Elementos Traços presentes no feldspato alcalino do sienito Tunas.	58
Tabela 5- Elementos Terras Raras encontrados em feldspato alcalino do sienito Tunas	60
Tabela 6- Resumo das técnicas utilizadas e os respectivos resultados por variedade do sienito Tunas.	99
Tabela 7- Influência dos processos tardi a pós-magmáticos na alteração e cristalização dos minerais do sienito Tunas.	107

LISTA DE SIGLAS

CAT: Complexo Alcalino de Tunas

ETR: Elementos Terras Raras

MOLT: Microscópio Óptico de Luz Transmitida

DRX: Difractometria de Raios X

ICP-MS: Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente

ICP-OS: Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Indutivamente

MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura

CL: Catodoluminescência

ERE: Elétrons retroespalhados

EDS: *Energy Dispersive Spectroscopy*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo Geral.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos	18
2. GEOLOGIA REGIONAL	18
2.1. MAGMATISMO ALCALINO NA PLATAFORMA SUL-AMERICANA	18
2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO DAS ROCHAS ENCAIXANTES.....	21
2.2.1. Grupo Açungui.....	22
2.2.2. Grupo Setuva.....	23
3. GEOLOGIA LOCAL	27
3.1. TRABALHOS ANTERIORES	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	32
4.3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	33
4.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA AO MICROSCÓPIO ÓPTICO DE LUZ.....	33
TRANSMITIDA (MOLT).....	33
4.5. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX).....	36
4.6. ESPECTROMETRIA	36
4.7. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	37
4.8. CATODOLUMINESCÊNCIA (CL).....	38
4.9. ESPECTROSCOPIA VIBRACIONAL: ABSORÇÃO NO INFRAVELHO .	38
4.10. RIETVELD.....	39
4.11. MICROSSONDA	40
5. RESULTADOS	40
5.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA	40
5.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX).....	55
5.3. LITOGEOQUÍMICA	57
5.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	67
5.5. CATODOLUMINESCÊNCIA	78

5.5.1.	Princípios da técnica.....	78
5.5.2.	Resultados.....	79
5.6.	INFRAVERMELHO	87
5.6.1.	Princípios da técnica.....	87
5.6.2.	Resultados.....	88
5.7.	RIETVELD.....	90
5.7.1.	Princípios da técnica.....	90
5.7.2.	Resultado	91
5.8.	MICROSSONDA ELETRÔNICA	94
6.	DISCUSSÕES	98
7.	CONCLUSÕES.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110
	APENDICES.....	117

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino de Tunas (CAT), localizado no município homônimo, no Estado do Paraná, é representado por um corpo ígneo plutônico de idade mesozoica (85 Ma) intrusivo em rochas metavulcanossedimentares pré-cambrianas dos grupos Açungui e Setuva, pertencendo à província do Arco de Ponta Grossa. O corpo tem aproximadamente 22 km² de área aflorante e possui formato alongado com direção NW. É constituído por cinco estruturas subvulcânicas justapostas, cuja forma se destaca em relação às rochas encaixantes, devido à maior resistência do sienito ao intemperismo (FUCK, 1972; GOMES *et al.*, 1987; VASCONCELLOS, 1991; BAÊTA, 2004, SIGA JÚNIOR *et al.*, 2007).

O corpo ígneo é constituído predominantemente por sienitos e álcali-feldspato sienitos e secundariamente por monzogabros, microssienitos, bostonitos, veios pegmatoides, além de brechas vulcânicas (VASCONCELLOS, 1995).

O álcali-feldspato sienito constitui a principal litologia explorada e explotada com finalidade comercial no complexo, apresentando grande variação cromática e textural. Entre as dificuldades encontradas para a extração de blocos rochosos dos materiais comercialmente estabelecidos, além da grande variação, tanto textural, quanto de coloração, soma-se o insuficiente conhecimento do comportamento estrutural e tectônico das rochas do complexo, acarretando um baixo aproveitamento (de 25 a 40%) do material lavrado e o conseqüente abandono de várias frentes de lavra já abertas. A grande variação de coloração, textura e estrutura apresentada por esses sienitos, numa mesma frente de extração, dificultam a manutenção de um padrão comercial, dando origem a diversos nomes fantasia para materiais semelhantes aos comercialmente aceitos, mas que diferem destes em aspectos ornamentais e composicionais (BAÊTA, 2004).

Dados geocronológicos recentes datam o CAT com cerca de 85 Ma e o colocam no grupo de intrusões alcalinas do Cretáceo Superior associada tectonicamente com o Lineamento São Jerônimo-Curiúva, uma feição estrutural ligada ao Arco de Ponta Grossa (SIGA JÚNIOR *et al.*, 2007).

Nesta pesquisa são abordados aspectos petrográficos e geoquímicos dos sienitos do CAT, com vistas à caracterização químico-mineral da paragênese

primária, bem como análise dos processos de alteração tardi a pós-magmáticos que atuaram nestas rochas, modificando tal associação mineral.

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região leste do Estado do Paraná e a noroeste do município de Tunas do Paraná, pertencente à região do Vale do Ribeira, distando cerca de 80 Km de Curitiba. O principal acesso ao Complexo de Tunas se dá pela BR- 476, conhecida como estrada da Ribeira, em direção à cidade de Adrianópolis (FIGURA 1). Os afloramentos de sienitos encontram-se principalmente ao longo de pedreiras e frentes de lavras, que desde a década de 60 vem sendo explorados (BAÊTA, 2004). A Figura 2 refere-se às principais pedreiras de extração do sienito Tunas e seus respectivos nomes comerciais, além da localização da Pedreira Barro Vermelho onde foram realizados os trabalhos de campo.

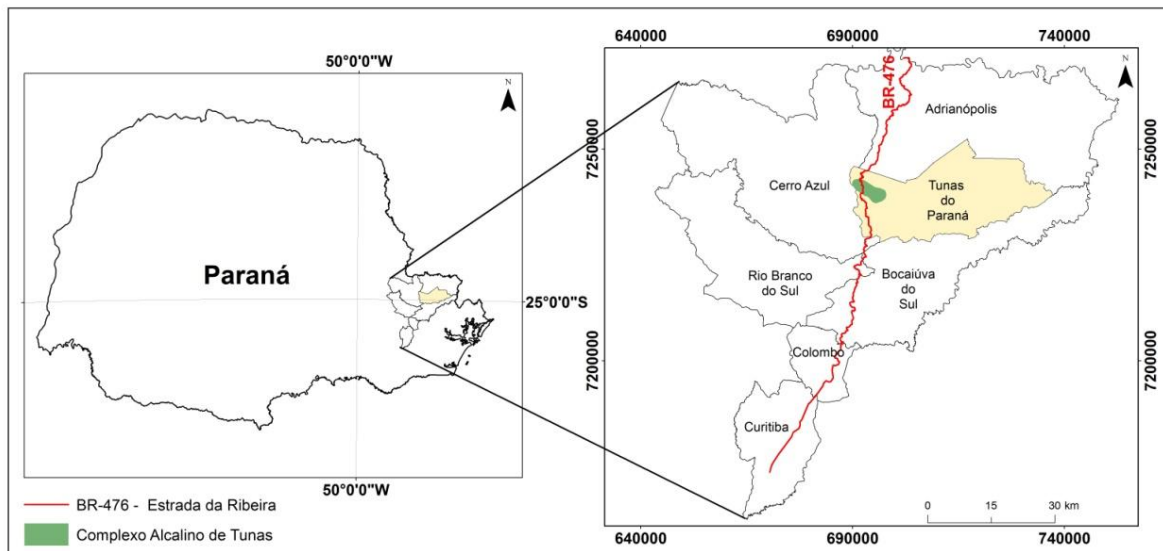


Figura 1 - Localização do Complexo Alcalino de Tunas e a principal estrada de acesso.



Figura 2 - Localização das principais pedreiras de sienito Tunas e brechas vulcânicas e seus respectivos nomes comerciais. Fonte: < <http://www.googleearth.com>>, acessado em 8 de Jun de 2015.

Em 2009, o Projeto Tunas foi criado para investigar a tipologia químico-mineralógica dos feldspatos alcalinos, visando estabelecer os fatores responsáveis pela variação de cor nestes minerais, uma vez que tal variação ocorre em uma mesma frente de lavra e é prejudicial, em alguns casos, ao aproveitamento das rochas ornamentais para fins comerciais (BAÊTA, 2004).

Botelho (2013), por meio de análises em catodoluminescência (CL) acoplada à lupa polarizada, identificou as cores vermelha e azul predominantes nos feldspatos potássicos. A cor vermelha em CL está associada ao aspecto turvo desses minerais e secundariamente ocorre em porções albitizadas; a cor azul em CL está presente em porções límpidas desse mineral e onde não há intercrescimento perítico. Espectros obtidos em CL acoplada ao microscópio eletrônico de varredura confirmam a emissão de luminescência em duas bandas principais, sendo o azul (~405-420 nm) e o vermelho (~730 nm). Os picos de 405-420 nm correspondem aos elementos terras raras Er^{3+} , Tb^{3+} , Eu^{3+} , Eu^{2+} ativadores de luminescência (MACRAE

& WILSON, 2008), já o pico em torno de 730 nm corresponde ao Fe^{2+} e ao Fe^{3+} (MACRAE & WILSON, 2008), podendo ser responsáveis pela variação cromática dos feldspatos alcalinos (BOTELHO, 2013).

A principal hipótese de trabalho para a pesquisa é a de que Elementos Terras Raras foram lixiviados por meio de processos hidrotermais. Além disto, a intensa alteração tardi-pós-magmáticas de fases minerais máficas (piroxênios) gerou subprodutos de desestabilização que serão aqui química e mineralogicamente investigados.

1.2. JUSTIFICATIVA

Devido a evidências geoquímicas de que Elementos Terras Raras encontram-se presentes como traços em feldspatos alcalinos do sienito Tunas gerou-se a necessidade da caracterização dos processos tardi a pós-magmáticos que afetaram a assembleia mineral primária dessas rochas, bem como a definição cronológica desses processos e a determinação de seus subprodutos. A relação entre estes processos de alteração hidrotermal e as variações nas cores do feldspato alcalino será igualmente investigada. Surgiu, também, a necessidade de caracterizar as variedades dos sienitos por cor e granulação, já que os estudos realizados no CAT tratam o sienito como um corpo único, não havendo tratamento diferenciado para variedades verde e cinza.

A partir de informações sobre a química mineral da assembleia mineral primária e dos subprodutos de alteração, será possível estabelecer as condições em que ocorreram estes fenômenos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Constitui-se objetivo geral da pesquisa caracterizar química e mineralogicamente os processos de alteração tardi-pós-magmáticos que afetaram as diversas fácies sieníticas do Complexo Alcalino de Tunas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- i. Caracterizar a assembleia mineral submetida a processos hidrotermais, bem como os subprodutos das alterações;
- ii. Estabelecer a assinatura geoquímica magmática dos sienitos e avaliar o comportamento dos elementos químicos durante os processos hidrotermais;
- iii. Estabelecer o processo evolutivo de formação das litofácies, bem como a cronologia dos processos de alteração tardi a pós-magmáticos;

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. MAGMATISMO ALCALINO NA PLATAFORMA SUL-AMERICANA

O magmatismo alcalino que ocorreu na região sul da Plataforma Sul-Americana, foi resultado do processo de diastrofismo, precursor da divisão do megacontinente Gondwana e ruptura dos continentes sul-americano e africano, a partir do Jurássico Superior até o Cretáceo Inferior Pré-Aptiano designado de reativação waldeniana (ALMEIDA, 1967).

Segundo Almeida (1983) esse processo caracterizou-se pela reativação de antigos falhamentos e surgimento de blocos de falha, soerguimento de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná, bem como os enxames de diques de diabásio expostos às suas bordas. Foi nesse ambiente tectônico que se processou a primeira fase do vulcanismo alcalino, contemporânea aos basaltos, às bordas da Bacia do Paraná e no interior do Cráton Amazônico, na Bolívia Oriental. No Cretáceo Superior, com derradeira pulsação no Eoceno, manifestou-se uma segunda fase desse vulcanismo, caracterizada pelo fim do vulcanismo basáltico-toleítico e pelo surgimento do vulcanismo alcalino. A terceira fase é marcada por calmaria tectônica.

Riccomini *et al.* (2005) dividem as Províncias Alcalinas ao longo da Bacia do Paraná em:

- Província Alto Paraguai, que engloba os centros alcalinos localizados a norte de Porto Murtinho, nos limites entre Paraguai e Mato Grosso do

Sul. São as rochas alcalinas mais antigas reconhecidas na Bacia do Paraná;

- Província do Arco de Ponta Grossa é composta por um lineamento estrutural NW-SE ao longo de enormes diques de diabásio relacionados ao magmatismo toleítico da Formação Serra Geral, incluem ocorrências apenas de rochas alcalinas do Cretáceo Superior;
- Província do Valle Chico ocorre no sul do Uruguai e inclui sienitos e traquitos da Formação Valle Chico;
- Província Misiones inclui as rochas sódicas-alcalinas da região de San Juan Batista, Paraguai;
- Província Central Paraguai é caracterizada por ocorrências de rochas alcalinas relacionadas à evolução das partes central e oriental do Rift Assunción;
- Província Amambay localiza-se a nordeste do Paraguai, a atividade magmática alcalina é caracterizada pelos Complexos Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí;
- Província do Rio Apa não é expressiva e consiste de apenas uma ocorrência de rochas alcalinas, próximas a Puerto Valle, na região leste do Paraguai. Incluem pequenos diques de carbonatito ao longo de falhas.

O magmatismo alcalino na região do CAT está tectonicamente controlado pelo Arco de Ponta Grossa, que é uma grande estrutura soergida durante o processo tectono-magmático da Reativação Waldeniana, com eixo NW, adentra a Bacia do Paraná entre São Paulo e Santa Catarina. Possui embasamento exposto no núcleo da estrutura, no qual se incluem as intrusões alcalinas, constituído por rochas pré-cambrianas, com estruturas orientadas na direção NE, sendo transversais ao eixo do arco e às grandes fraturas e falhas normais mesozoicas. Um grupo de quatro lineamentos: Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonso e Rio Piqueri são reconhecidos na estrutura do Arco de Ponta Grossa (ALMEIDA, 1983).

Os dois setores ao sul do Arco de Ponta Grossa: Guapiara e São Jerônimo-Curiúva (FIGURA 3) são os principais locais de magmatismo alcalino e alcalino-carbonatítico com as várias intrusões situadas nas proximidades ou perto destes

lineamentos. Ocorrências do linramento São Jerônimo-Curiúva são representados por dois grupos distintos. A primeira inclui os Complexos Banhadão e Itapirapuã, enquanto o segundo inclui Barra do Ponta Grossa, Barra do Itapirapuã, Barra do Sete Quedas, Barra do Teixeira, Cerro Azul, Mato Preto, Morro do Chapéu e Sete Quedas - Dr. Ulisses; aflorantes na área como plugs e enxames de diques. A maior intrusão de todo o conjunto são as rochas do Complexo Alcalino de Tunas com 22 Km² de área. Os Complexos Anitápolis, Barra do Itapirapuã, Ipanema, Itanhaém, Jacupiranga, Juquiá, Pariquera-Açu e Piedade datam do Cretáceo Inferior, já os Complexos Barra do Teixeira, Mato Preto e Tunas, associados ao lineamento São Jerônimo-Curiúva, datam do Cretáceo Superior (Gomes *et al.*, 2011).

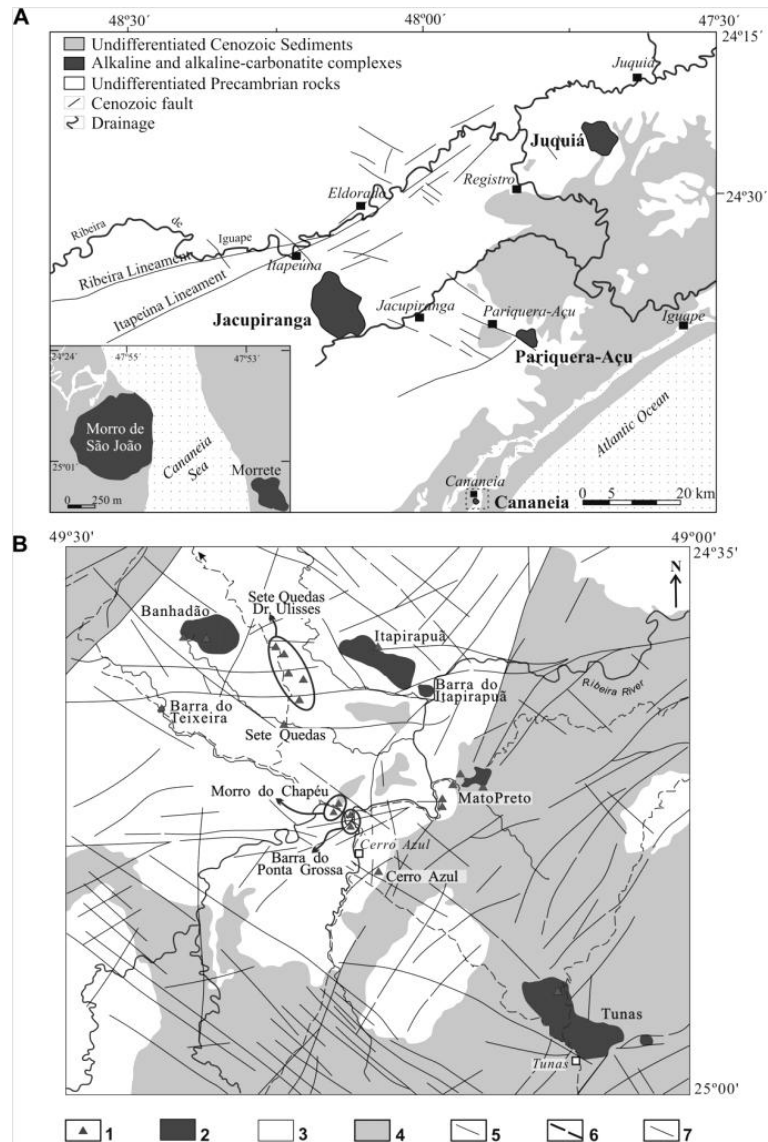


Figura 3 - A) Distribuição das rochas alcalinas dos Complexos Jacupiranga, Juquiá, Pariquera-Açu e Cananéia no Lineamento Guapiara. B) Distribuição de Complexos Alcalinos, plugs, diques e enxames de diques do Lineamento São Jerônimo-Curiúva. Legenda: 1 e 2) Ocorrências alcalinas (stocks, plugs e diques); 3) Rochas Pré-Cambrianas; 4) Rochas Meso a Neoproterozóicas (Grupo Açungui incluído); 5) falhas e diques básicos; 6 e 7) Falhas cobertas e indefinidas, respectivamente. Fonte: Gomes *et al.* (2011).

2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO DAS ROCHAS ENCAIXANTES

O CAT encontra-se intrudido em rochas metaígneas e metassedimentares pré-cambrianas dos Grupos Açungui e Setuva, situados na extremidade sul da Faixa Ribeira de Almeida *et al.* (1973) ou mais especificamente da Faixa de Dobramentos Apiaí de Hasui *et al.* (1975) e Hasui *et al.* (1980).

2.2.1. Grupo Açungui

Originalmente (BIGARELLA e SALAMUNI, 1958) definiram o Grupo Açungui da base para o topo como sendo constituído pelas Formações Setuva, Capiru e Votuverava. Marini *et al.* (1967) individualizaram uma porção litológica da Formação Votuverava e criaram a Formação Água Clara. Esta formação foi posicionada estratigraficamente sobre a Formação Votuverava. Posteriormente as Formações Setuva e Água Clara foram redefinidas em relação ao seu alto grau metamórfico e complexo padrão estrutural, originando o desmembramento da Formação Setuva (gnaisses, xistos e quartzitos) do Grupo Açungui, considerando-a uma unidade mais antiga (FRITZSONS *et al.* 1982).

Segundo Fiori *et al.* (1998) o Grupo Açungui, pertencente ao Proterozoico Superior, é composto pelas formações Capiru e Votuverava e subdivididas em conjuntos litológicos. A Formação Capiru é constituída pelos conjuntos litológicos Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina. O conjunto Juruqui é composto por filitos avermelhados, com raras intercalações de quartzitos. O conjunto Rio Branco engloba mármores e/ou metacalcáreos com intercalações de filitos e quartzitos, posicionado tectonicamente sobre a anterior, por meio das falhas da Colônia Venâncio e das Aranhas. O conjunto litológico Bocaina é composto por xistos, quartzitos, secundariamente filonitos e um pequeno corpo de mármore cinza, posicionado tectonicamente sobre o conjunto Rio Branco por meio da Falha do Setuva. O conjunto Morro Grande caracteriza-se pela intercalação de camadas de quartzito, filito e mármore com espessura métrica. Os filitos e os mármores são geralmente bandados e os quartzitos maciços. Posicionam-se tectonicamente sobre o conjunto Rio Branco por meio das Falhas Tranqueira-Pessegueiro. Estes conjuntos litológicos indicam deposição em regiões de plataforma em margem continentais passivas. A Formação Votuverava é composta por três conjuntos litológicos: Bromado, Coloninha e Saivá. O conjunto Bromado é composto por filitos, quartzitos e metaconglomerados polimíticos de origem glacial. Posiciona-se tectonicamente sobre o conjunto Coloninha por meio da Falha do Bromado; o conjunto Coloninha compreende a gradação de quartzitos a quartzitos conglomeráticos, filitos sílticos a rítmicos, exibindo sequência litológica semelhante à turbidito. Por fim, o conjunto Saivá é composto essencialmente por filitos,

metarritmitos e metamargas, mantendo sua posição original sobre o conjunto Coloninha.

As estruturas primárias do Grupo Açungui apresentam-se bem preservadas em certos locais, enquanto em outros se encontram totalmente destruídas. A estratificação cruzada está presente nas rochas das Formações Capiçu e Antinha e pode ser encontrada em níveis de quartzito ou meta-arenitos, filitos e de mármore e/ou metacalcários. É geralmente de pequeno porte, aparentemente com predomínio da microestratificação cruzada, que tem sua origem ligada a algumas formas de marcas onduladas que, são geralmente, assimétricas e com aspecto anastomosado. Nos metacalcários a estratificação ocorre preferencialmente aos arredores de biohermas estromatólicas. A estratificação gradacional ocorre principalmente nos metarritmitos e quartzitos das Formações Capiçu, Votuverava e Antinha. A estratificação rítmica está presente em grande parte dos conjuntos Coloninha e Morro Grande, constituindo alternância de camadas de granulometria e cores variadas, podendo-se encontrar microestratificação cruzada, *linsen* e laminação convoluta. As principais estruturas pisolíticas foram observadas nos mármore da Sequência Capiçu. A estratificação plano-paralela é a mais abundante das estruturas primárias dos conjuntos litológicos do Grupo Açungui e é reconhecida pela alternância de níveis com composições, cores e espessuras diferentes dentro dos filitos, quartzitos e mármore (FIORI e GASPAR, 1993).

2.2.2. Grupo Setuva

Ebert (1971) propõe o desmembramento do Grupo Setuva em “Pré-Setuva” (gnaisses) e “Setuva” para xistos e quartzitos, evidenciando um hiato metamórfico-estrutural entre as duas seqüências. Scholl *et al.* (1980, 1981) atribuíram uma sedimentação contemporânea para as formações Votuverava e Capiçu, denominando-as de fácies, mantendo a Formação Setuva (xistos e quartzitos) como unidade mais antiga que o Grupo Açungui e denominado os gnaisses e migmatitos de Complexo Pré-Setuva.

Segundo Fritzsos *et al.*(1982) o Grupo Setuva pertence ao Proterozoico Médio, compreendendo as Formações Água Clara e Perau.

A Formação Perau aflora a Norte e a Sul da Falha da Lancinha. No bloco Norte ocorre em núcleos isolados denominados Núcleo Alto Açungui, Núcleo Ouro Fino,

Núcleo Betara e Núcleo Tigre. No bloco Sul a Formação Perau ocorre bordejando o antiforme do Setuva, diferindo do bloco Norte pela ausência de metabasitos. Toda a formação encontra-se sobreposta às rochas do Complexo Pré-Setuva e é recoberta ora pela Formação Água Clara, ora pela Formação Votuverava e ora pela Formação Capiru (FRITZSONS *et al.*,1982).

A Sequência Quartzítica ocorre ao Norte da Falha da Lancinha e ocupa a porção basal da Formação. Constitui-se por:

- i. Núcleo Alto Açungui: ocorre alternância de quartzitos grossos impuros com quartzitos de granulação fina, quartzo-xistos e finos níveis meta-pelíticos. O acamamento é preservado e há uma xistosidade de fluxo paralela ao mesmo;
- ii. Núcleo Betara: assim como no núcleo anteriormente descrito, os quartzitos também apresentam acamamento reliquiar paralelo a uma xistosidade, evidenciado pela alteração de quartzitos puros, quartzitos micáceos, quartzo-xistos e meta-pelitos.
- iii. Núcleo Tigre: ocorre em dois níveis estratigráficos: o primeiro forma a Serra São Domingos e o segundo é formado por quartzitos brechados, heterogêneos tanto na composição, quanto na granulometria.

A Sul da Falha da Lancinha a sequência quartzítica forma cristas na porção sudeste da antiforma do Setuva, além de constituir as Serras da Santana, da Bocaina e Branca.

A Sequência Carbonatada ocupa posições basais da Formação Perau, depositada sobre os quartzitos. Apresenta grande variedade composicional.

A Sequência Xistosa Clástica é formada por xistos originados a partir de sedimentos pelíticos. Devido a variações locais de deformação e metamorfismo, os xistos apresentam-se ora mais deformados, com segregações de quartzo e constituintes micáceos bem desenvolvidos, ora como sericita-xistos de aspecto filítico. São evidenciadas pelo menos duas xistosidades, onde, comumente a xistosidade S₂ é bem desenvolvida, resultando em clivagem de crenulação. No bloco Norte da Falha da Lancinha esta sequência está sobreposta à sequência carbonatada, enquanto que no bloco Sul a posição entre ambas não está claramente definida (FRITZSONS *et al.*,1982).

A sequência formada pelas rochas metabásicas ocorre apenas na região Norte da Falha da Lancinha. Trata-se de corpos intrusivos relacionados à atividade magmática que atingiu até a base do Grupo Açungui. Os principais constituintes mineralógicos são

anfíbólios da série tremolita-actinolita, plagioclásios sódicos sericitizados, epidoto, zoisita e clorita. São rochas que possuem granulação média e aspecto maciço.

A sequência formada por rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas afloram restritamente. No Núcleo Alto Açungui foram identificadas apenas duas ocorrências: uma de clorita-xistos e outra de xistos. No Núcleo Betara também foram encontradas duas ocorrências, uma classificada como metavulcânica félsica e outra classificada como metavulcânica ácida. Várias ocorrências de formações ferríferas são observadas.

A Formação Água Clara é constituída por uma sequência heterogênea, tendo como litologias predominantes meta-calcarenitos, metacalcários micríticos, metacalcissiltitos e calco-xistos. Associadas a esta formação, foram identificadas formações ferríferas.

As rochas alcalinas do CAT são encaixadas na sua porção oeste por metassedimentos pré-cambrianos da Formação Votuverava do Grupo Açungui, constituídos por filitos, quartzitos, mármore e metabasitos (FIGURA 4). Na sua porção leste quartzitos, mármore e metabásicas da Formação Perau, além de gnaisses e xistos do Complexo Apiaí-Mirim, ambas pertencentes ao Grupo Setuva. A intrusão de Tunas também corta diques de diabásio, de direção NW, mesozoicos, da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, que ocorrem por toda a área penetrando as rochas da Formação Votuverava e Perau (VASCONCELLOS, 1991).

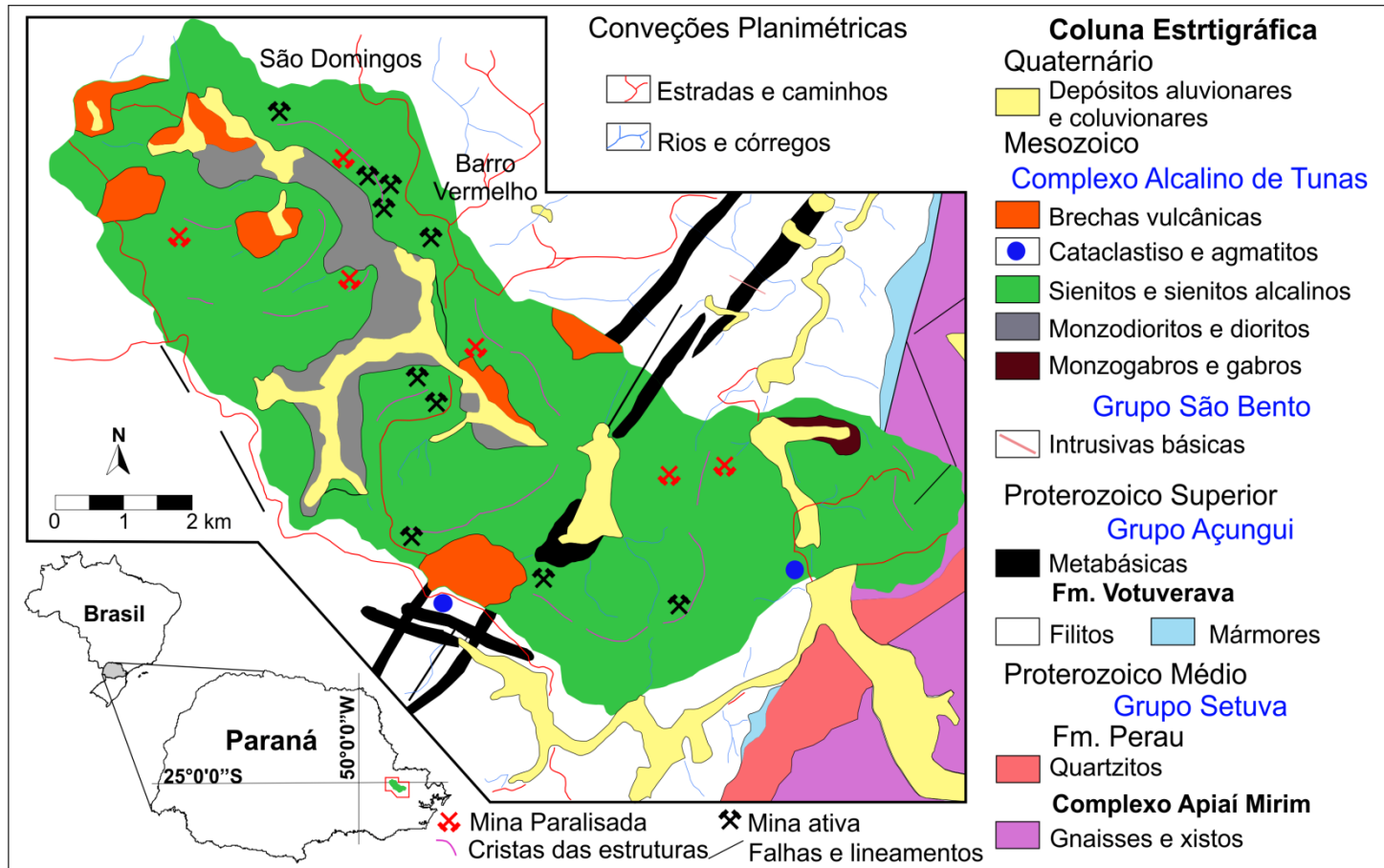


Figura 4 - Mapa Geológico do CAT. As amostras foram coletadas na Pedreira Barro Vermelho localizada na porção norte do mapa. Fonte: Adaptado de Baêta (2004).

3. GEOLOGIA LOCAL

3. 1. TRABALHOS ANTERIORES

Segundo Fuck (1972) a primeira referência sobre a ocorrência de rochas sieníticas na região de Tunas deve-se a Carvalho e Pinto (1937). Esses autores encontraram na região de Tuneiras um sienito cortado por pequenos diques de traquito e consideraram-no como intrusivo nos metassedimentos do Grupo Açungui. Essas rochas foram descritas como sienitos compostos por sanidina, egirina e arfvedsonita. Oliveira e Leonardos (1946, *apud* Fuck 1972) assinalaram uma acidez crescente em direção à periferia do maciço, que consideraram intrusivo no Grupo Açungui. Moraes Rego e Almeida (1946, *apud* Fuck 1972) reconheceram dois tipos de sienitos em Tunas: um hornblenda-sienito de cor esverdeada e granulação média à grossa, constituído por ortoclásio micropertítico, plagioclásio, hornblenda, diopsídio e biotita e um hornblenda-quartzo sienito, de cor cinza e granulação fina à média, formado por ortoclásio, hornblenda, biotita e quartzo, e secundariamente plagioclásio.

Maack (1947 *in* Fuck, 1972) considerou os sienitos de Tunas com idade pós jurássico-cretácea. O mesmo autor, em 1961, referiu-se aos sienitos Tunas como sendo ligados aos granitos da fase final da orogênese assíntica do Neo-Algonquiano, relacionados com tectonismo de dobramentos que afetou o Açungui. Trein *et al.* (1967) reconheceram o maciço como sendo constituído por quatro chaminés justapostas, alinhadas NW-SE. Os autores apontaram como rochas predominantes hornblenda-sienito, augita-sienito, quartzo-sienito e sienodiorito; subordinariamente gabros, brechas vulcânicas e traquitos.

Cordani e Hasui (1968) realizaram um estudo geocronológico das rochas de Tunas, analisando duas amostras de sienito e uma de gabro pelo método K/Ar. Para uma das amostras de sienito e para o gabro obtiveram idades de $115,5 \pm 5,6$ Ma e $108,4 \pm 5,4$ Ma em rocha total; a outra amostra de sienito forneceu idade de $73,8 \pm 3,7$ Ma em feldspato potássico. Com base nesses dados, os autores sugeriram a possibilidade de o maciço ter sido formado em fases magmáticas sucessivas durante o Cretáceo Inferior e o Cretáceo Superior.

Fuck (1972) estudou o corpo alcalino definindo sua extensão e forma, além de afirmar que o mesmo é formado por quatro estruturas circulares justapostas. Petrograficamente o autor acima afirmou que as rochas do complexo são formadas por sienitos, pulasquitos, gabros alcalinos, sienodioritos, dioritos, rochas filonianas e brechas vulcânicas, além de relatar que diques de microssienito, bostonito e traquito são encontrados cortando as rochas do CAT. Relatou, ainda, que as rochas do Tunas se formaram por diferenciação magmática a partir de magma de composição basáltica-alcalina. No entanto, o autor não descarta a possibilidade de contaminação com materiais crustais, devido à elevada predominância de rochas leucocráticas em comparação com as básicas mesocráticas.

Gomes *et al.* (1987), em avaliação petrográfica e geoquímica das rochas do CAT, descreveram-no como constituído por sienitos e álcali-sienitos (incluindo a variedade pulasquítica), álcali-gabros, sienogabros, essexitos e sienodioritos, além de pequenos diques de composição sienítica, bem como brechas vulcânicas. Realizaram datações pelos métodos K/Ar e Rb/Sr para as rochas do complexo, obtendo idades entre 60 e 120 Ma. Características petrográficas, *trends* evolutivos e cálculos de balanço de massa realizados em elementos maiores sugerem uma origem a partir de cristalização fracionada de olivina, opacos, clinopiroxênios e plagioclásios como fases dominantes, bem como de apatita, anfibólio, biotita, titanita e feldspato potássico de magmas progenitores de natureza gabro alcalina a sienito alcalina, com temperaturas iniciais de 1200 °C em gabros a 700°C em sienitos. Valores isotópicos de estrôncio são compatíveis com derivação mantélica de magmas parentais. Significante contaminação crustal pode ser admitida, principalmente de diques. Como sugerido pelo enriquecimento de ETR de gabros, bem como por valores isotópicos de estrôncio, magmas progenitores podem ter sido gerados por fusão parcial de fontes mantélicas enriquecidas na litosfera subcontinental.

Uma sequência evolutiva para a origem das rochas do Complexo Alcalino de Tunas foi proposta por Gomes *et al.* (1987):

- i. geração inicial de gabros e monzogabros;
- ii. diferenciação em dioritos e monzodioritos;
- iii. diferenciação final em sienitos e álcali-feldspato sienitos;
- iv. intrusão de diques alcalinos;

v. duas fases de colocação de brechas vulcânicas.

Vasconcellos (1991) estudou detalhadamente o complexo, descrevendo-o da porção mais antiga para mais nova como constituído por:

- i) Metabasitos: ocorrem como resto de teto no interior do maciço. São rochas muito finas que afloram em vales ou ocorrem em pequenos blocos arredondados. Aparentemente foram afetadas pela colocação do corpo alcalino, mostrando granulações diversas.
- ii) Rochas Alcalinas: constituem a maior parte do maciço, formando cerca de 80% do corpo. Formam elevações que se destacam no relevo em relação às formações pré-cambrianas ao redor. As rochas encaixantes foram afetadas pela intrusão e como consequência nota-se intenso fraturamento e silicificação.

Na porção leste do CAT há ocorrências de monzogabros e gabros delimitadas apenas por fotografia aérea; monzodioritos e dioritos afloram em meia encosta ou próximos a drenagens, não definindo cristais. Essas ocorrências foram caracterizadas pela maior quantidade de máficos e de cristais hipidiomórficos de plagioclásio.

Sienitos e sienitos alcalinos constituem cerca de 60% do maciço, aflorando forma de quatro estruturas anelares truncadas de NW para SE.

Os sienitos e sienitos alcalinos são pouco fraturados e encontram-se cortados por diques de traquito, microssienito, bostonito ou veios pegmatoides. Em geral apresentam variação granulométrica.

iii) Diques Alcalinos: ocorrem cortando as rochas do Complexo, com composição sienítica e ampla variação textural. Dentre eles são encontrados:

- Traquitos: com espessura centimétrica e orientação dos cristais de feldspato alcalino definindo estrutura de fluxo, por vezes com orientação dos minerais máficos
- Microssienitos: menos abundantes do que o traquitos exibem estrutura maciça, espessura centimétrica e contatos nítidos com a encaixante;
- Bostonitos: caracterizados apenas em lâminas delgadas, não sendo possível delimitá-los em afloramentos. Possuem estrutura bostonítica, o que os diferencia dos demais diques alcalinos.

iv) Pegmatoides: incluem rochas com megacristais de feldspato alcalino encontradas cortando as rochas sieníticas, monzodioríticas e dioríticas, apresentando contato gradacional. São constituídas predominantemente por feldspato alcalino que varia de cristais milimétricos a 30-40 cm de comprimento, cor cinza-esbranquiçado e geminação Carlsbad, além de pequena porcentagem de biotita. A espessura dos veios varia de centimétrica até aproximadamente 100 metros.

v) Cataclasitos e agmatitos constituem pequenas ocorrências ao longo do Complexo, junto às bordas das chaminés vulcânicas. São rochas de granulação grossa, constituídas essencialmente por feldspato alcalino, fraturado e alterado. Apresentam limites bruscos com as outras litologias do Complexo. Os agmatitos apresentam como feição principal a presença de clastos angulosos em meio a matriz ígnea.

vi) Brechas Vulcânicas: compõem sete ocorrências definidas por fotografia aérea, sendo classificadas como Lajeado 1, 2, 3 e 4, Arroio Barro Vermelho, Antena e Barro Vermelho. Variam conforme a constituição da matriz, dos clastos e da forma e tamanho dos clastos, sendo comumente os clastos de feldspato alcalino, acessórios formados por sienito e traquito e acidentais por outras rochas do Complexo e/ou de rochas encaixantes.

A autora afirma que as rochas do CAT foram formadas a partir de cristalização fracionada de magmas alcalinos gabróicos e álcali-sieníticos em diversas fases e que as brechas corresponderiam às últimas etapas desse processo, além de reconhecer dois estágios distintos de formação das brechas, sendo o mais antigo menos intenso e o mais recente levando à formação da maior parte dessas rochas.

Segundo Vasconcellos (1991), a porção sul do maciço é afetada pela Falha da Lancinha e a norte pela Falha de Morro Agudo (FIGURA 5). A Falha da Lancinha sofreu reativação sinistral a partir do Mesozoico e essa reativação pode ter afetado também as rochas do Complexo, uma vez que o mesmo é cortado por lineamentos de direção NE-SW que se estendem pelas formações pré-cambrianas adjacentes. Esta hipótese também é confirmada pela ocorrência de cataclasitos nas proximidades dos lineamentos, no interior do CAT.

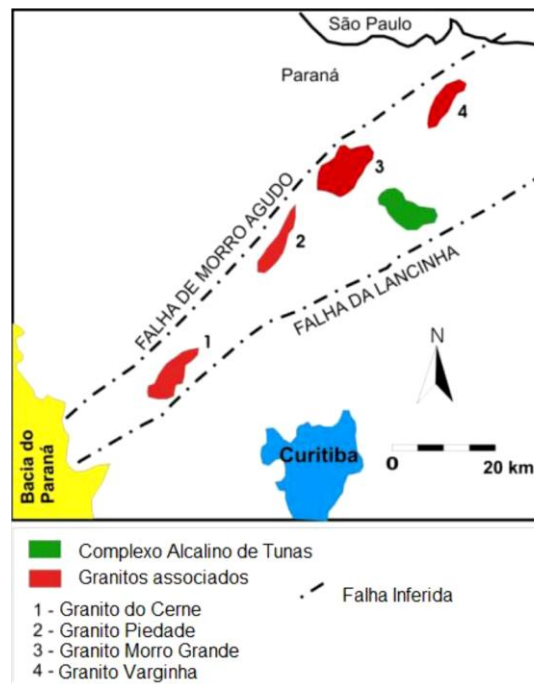


Figura 5 - Mapa esquemático evidenciando o posicionamento do CAT em relação às Falhas de Morro Agudo e Lancinha e corpos graníticos associados. Fonte: Modificado de Baêta (2004).

Vasconcellos e Gomes (1992) analisaram as brechas vulcânicas do CAT e enquadraram-nas em grupos conforme a constituição da matriz, dos clastos e da forma e tamanho dos clastos.

Vasconcellos (1995), estudando os diques e plugs alcalinos do Vale do Ribeira, por meio de petrografia e geoquímica, analisou os diques que cortam o Complexo de Tunas, e concluiu que correspondem a traquitos, distinguidos pela ausência de nefelina modal e presença de olivina, anfibólios e opacos. Nos traquitos, foram descritos feldspatos alcalinos enriquecidos em albita, augita e hedembergita, anfibólios variando de Fe-richterita a kataforita e olivinas.

Di Giorgio (2003), por meio de observações de campo, petrográficas e litogeoquímicas para o estudo de planejamento de lavra de rochas ornamentais, tentou caracterizar a mudança de cor dos feldspatos alcalinos formadores dos sienitos do Complexo. O autor concluiu que há possibilidade de a mudança de cor ter sido ocasionada por alteração deutérica em presença de ferro.

Baêta (2004), por meio da caracterização petrográfica, faciológica, físico-mecânica e gamaespectométrica das rochas sieníticas, brechoides e pegmatoides do CAT, afirma que há diferenças entre as variedades

ornamentais e que determinadas variedades têm seus valores comerciais comprometidos como rocha de revestimento por não atenderem a padrões físicos previamente definidos pelo mercado. No entanto, as análises por gamaespectrometria revelaram que todas as fácies possuem radioatividade emitida dentro dos limites permitidos e possuem condições para uso como material de revestimento.

Siga Jr *et al.* (2007) realizaram datações nos sienitos do CAT em cristais de zircão dos sienitos, pelo método isotópico U-Pb (ID-TIMS, $82,7 \pm 0,7$ Ma; SHRIMP, $84,7 \pm 1,2$ Ma), permitem inserir o Complexo Alcalino de Tunas no grupo das intrusões alcalinas do Cretáceo Superior, associadas ao Lineamento São Jerônimo-Curiúva.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dos objetivos mencionados anteriormente, quais sejam, detalhar petrográfica e geoquimicamente os sienitos do CAT, avaliar a sua evolução, bem como caracterizar os processos de alteração tardi a pós-magmáticos que afetaram a paragênese mineral destas rochas, foram empregados os seguintes materiais e métodos:

4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi feita de forma contínua para o conhecimento geológico da área de estudo, da comparação com dados da literatura relacionados aos temas abordados, bem como do princípio de funcionamento dos métodos utilizados. Esse levantamento permitiu a construção da contextualização geológica local e regional, além de evoluir no conhecimento teórico sobre as técnicas que foram utilizadas. Para tal foram utilizados artigos científicos, dissertações, teses e livros.

4.2. TRABALHOS DE CAMPO

A etapa de trabalhos de campo foi realizada em períodos distintos, visando o reconhecimento geológico do CAT, bem como a amostragem de rochas sieníticas do Complexo. A coleta ocorreu principalmente na Pedreira Barro Vermelho (FIGURA 2), onde os afloramentos encontram-se melhor preservados e há presença de todas as variedades sieníticas. Foram coletadas, no total, cerca de trinta amostras dos sienitos do CAT, para descrição mesoscópica, confecção de lâminas delgadas e preparação para análises químicas. Os trabalhos de campo foram realizados com veículo e apoio da CENTRAN (Central de Transportes) da Universidade Federal do Paraná.

4.3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras mais representativas de cada variedade foram escolhidas para as análises e aplicação das metodologias descritas abaixo, após descrição macroscópica e descrição petrográfica ao microscópio óptico de luz transmitida.

A Tabela 1 lista as amostras selecionadas para o estudo, classificando de acordo com a variedade litológica e quais análises foram realizadas.

4.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA AO MICROSCÓPIO ÓPTICO DE LUZ TRANSMITIDA (MOLT)

A análise petrográfica das lâminas delgadas ao MOLT e captura de imagens foram realizadas em microscópio Carl Zeiss Ax 10 Image A2M, com câmera acoplada da marca Axio Cam HRC Zeiss do Laboratório de Minerais e Rochas (LAMIR) e no microscópio LEICA DM 2500 P, ambos localizados a Universidade Federal do Paraná.

Foram descritas um total de 70 lâminas delgadas, das quais 53 já pertenciam ao banco de dados do Projeto Tunas e outras 17 foram confeccionadas durante esta pesquisa. As lâminas delgadas foram

confeccionadas no Laboratório de Laminação Petrográfica (LAMIN) e no Laboratório de Minerais e Rochas (LAMIR), pertencentes ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.

Com base em critérios texturais como granulação e cor, as rochas sieníticas do CAT foram divididas em seis variedades que serão detalhadamente descritas no próximo capítulo.

Tabela 1 - Amostras selecionadas para a pesquisa, classificando-as de acordo com a variedade litológica e quais análises foram realizadas.

Técnicas Variedades	DRX	ICP – MS ICP - OES	MEV - EDS	CL	FTIR	Rietveld	Microsonda eletrônica
Verde (Incluindo variedades Verde, Verde- acinzentada, Verde no contato traquito-sienito e Verde fina)	V VF V2B V2A CTF 5/3 CTF 5/4 CTF 5/6	AB 04 AB 06 AB 07 FT 01 V2 B CTF 08 B	AB 04 AB 07 AB 07 B CTF 08 C CTF 08 D CTF 08 E	AB 03 FT 01 VC 1 FT 01 VF 1 FT 01 V2 B FT 01 V2 A CTF 08 D	AB 06 AB 07 FT 01 V2 B CTF 08 B	AB 04 AB 06 AB 07 FT 01 V2 B CTF 08 B	FT 01 V1
Cinza (Incluindo variedades Cinza e Cinza- esverdeada)	CTF 2/1, CTF 2/2 CTF 2/3, CTF 2/4 CTF 2/5, CTF 3/1 CTF 3/2, CTF 4/1 CTF 5/2, CTF 5/3, CTF 5/4, CTF 5/5 CTF 6/1, CTF 6/3, CTF 07, CVA, CVB CA, CB	CTF 2/1 CTF 2/2 CTF 5/2 CTF 5/4 A CTF 5/5 AB 09	CTF 2/2 CTF 5/2 CTF 5/4 A CTF 5/5 FT 01 CB	CTF 2/1 CTF 5/1 FT 01 CV 1 FT 01 C1	CTF 2/1 CTF 2/2 CTF 5/5 AB 09	CTF 2/1 CTF 2/2 CTF 5/2 CTF 5/4 A CTF 5/5 AB 09	FT 01 C1

4.5. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Com o objetivo de proceder à avaliação do estado estrutural do feldspato alcalino do sienito do CAT foram analisadas 33 amostras, das variedades encontradas. As amostras analisadas em rocha total foram primeiramente britadas para diminuição da granulometria, posteriormente quarteadas e em seguida pulverizadas para a confecção das pastilhas.

As leituras por DRX utilizaram o difratômetro *Panalytical Empurean*, pertencente ao Laboratório de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná.

A avaliação do estado estrutural do feldspato alcalino é feita por meio do cálculo da triclinicidade, que diz respeito à diferença das distâncias interreticulares das famílias de planos (131) e (1-31), utilizando-se a fórmula $\Delta = 12,5x[d(131)-d(1-31)]$ (NEVES, 1981).

4.6. ESPECTROMETRIA

As técnicas de Espectrometria de Massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) e Espectrometria de Emissão Ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) foram utilizadas em 11 amostras de concentrado de feldspato alcalino. Para que nenhum outro mineral mascarasse a leitura dos feldspatos alcalinos eles foram removidos inicialmente através da diminuição da granulometria, pelo fraturamento com martelo no Laboratório de Análises de Minerais de Rochas (LAMIR) na Universidade Federal do Paraná e então colocadas em um triturador para serem reduzidas a dimensões de grãos de aproximadamente 2 cm. Posteriormente, foi feita separação magnética usando um ímã tabular com auxílio da lupa, a fim de retirar minerais magnéticos, como a magnetita. Apesar da técnica ter sido bem sucedida, foi ainda necessária a separação magnética através do separador eletromagnético Frantz pertencente ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LABeSED) da Universidade Federal do Paraná.

Para que fossem devidamente segregadas no aparelho, as amostras foram pulverizadas no LAMIR e peneiradas no LABeSED visando obter apenas a fração com granulometria de areia fina, excluindo-se assim as frações maiores.

Concluída a separação magnética no Frantz e com as amostras então concentradas essencialmente por feldspato alcalino foram enviadas para laboratório comercial canadense (ACME). Os resultados obtidos foram tratados por meio do *software GCD.kit 3.00*, para construção de diagramas para interpretação litogeoquímica.

4.7. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada em 14 amostras dos sienitos do CAT, com objetivo de imageamento, tanto em elétrons secundários, quanto elétrons retroespalhados, além de microanálise elementar por energia dispersiva, ou seja, análises por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*), esta última para proceder ao mapeamento químico dos principais elementos constituintes das fases minerais presentes nestas rochas, como tentativa de avaliar a migração dos mesmos durante os processos de alteração tardi a pós-magmáticos, além de análises pontuais semi-quantitativas, em quatro amostras (duas da variedade verde e duas da variedade cinza) para classificação dos feldspatos alcalinos e minerais máficos presentes, além do cálculo de fórmula estrutural.

Os equipamentos utilizados na aquisição dos dados foram o Microscópio Eletrônico de Varredura *TESCAN VEGA3 LMU* e Microscópio Eletrônico de Varredura *FEI QUANTA 450 FEG*, pertencentes ao Centro de Microscopia Eletrônica (CME) do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Paraná. Os parâmetros utilizados foram: baixo vácuo em torno de 30 Pa, tensão de 15 Kv, Bi 15, com 5 *frame counts* de 60 segundos. As amostras foram previamente polidas e metalizadas com Au por aproximadamente 30 segundos. Os resultados foram posteriormente tratados em tabelas e gráficos no *software Excel*, para cálculos da fórmula estrutural e gráficos específicos de composição e classificação.

4.8. CATODOLUMINESCÊNCIA (CL)

Análise em CL acoplada à lupa polarizada foi executada em 11 amostras de lâminas delgadas de sienitos, com o intuito de se avaliar padrões de cores e intensidade de CL da assembleia mineral destas rochas. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, com lupa polarizada modelo Zeiss Stereo Discovery V12, com câmera acoplada modelo Axio Cam MRc; o sistema de CL é do tipo *Cathodoluminescence CITL MK5-2*. As condições analíticas empregadas foram: vácuo a 0,003 mbar, feixe de elétrons desfocado a 1.200 mA e voltagem entre 15 e 19 kV.

Análise espectral foi realizada em CL acoplada do tipo JEOL JSM – 6360LV com detector de catodoluminescência da marca Gatan, modelo Mono CL4mPlus. Os espectros foram obtidos no Centro de Microscopia Eletrônica (CME) do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Paraná.

4.9. ESPECTROSCOPIA VIBRACIONAL: ABSORÇÃO NO INFRAVELHO

Com a finalidade de obter informações sobre a estrutura molecular, estequiometria e simetria dos feldspatos alcalinos do sienito Tunas, 7 amostras de concentrado de feldspato alcalino, previamente tratadas em separador eletromagnético Frantz, foram analisadas pelo método de espectroscopia vibracional transmissão/absorção no infravermelho médio em pastilhas de KBr.

Para que nenhum outro mineral mascarasse a leitura dos feldspatos alcalinos eles foram removidos inicialmente através da diminuição da granulometria, pelo fraturamento com martelo no Laboratório de Análises de Minerais de Rochas (LAMIR) na Universidade Federal do Paraná e então colocadas em um triturador para serem reduzidas a dimensões de grãos de aproximadamente 2 cm. Posteriormente, foi feita separação magnética usando um ímã tabular com auxílio da lupa, a fim de retirar minerais magnéticos, como a magnetita. Apesar de a técnica ter sido bem sucedida, foi ainda necessária a separação magnética através do separador eletromagnético Frantz pertencente

ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LABeSED) da Universidade Federal do Paraná.

Para que fossem devidamente segregadas no aparelho, as amostras foram pulverizadas no LAMIR e peneiradas no LABeSED visando obter apenas a fração com granulometria de areia fina, excluindo-se assim as frações maiores.

Concluída a separação magnética no Frantz e com as amostras então concentradas essencialmente por feldspato alcalino cerca de 50 mg, após secagem em estufa por 48 horas a 500°C para impedir absorção de água, foram pesadas juntamente com aproximadamente 200 mg de KBr e submetidas a uma prensa hidráulica de 7 toneladas para formar pequenas pastilhas. A primeira amostra a passar no equipamento é o chamado branco, confeccionada apenas com KBr e cuja finalidade é a redução da linha de base do espectro das amostras. Em seguida, cada pastilha é lida pelo equipamento.

O equipamento utilizado na aquisição de dados foi o *BOMEM Martmann&Braun MB*, com *software Win-Bomena Easy*, pertencente ao Laboratório de Infravermelho do Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná. O *software* utilizado pra interpretação dos dados foi o *Origin Pro 9.0*. As leituras foram realizadas na faixa do infravermelho médio (400 a 4.000 cm^{-1}), com os picos em absorbância.

4.10. RIETVELD

Com o objetivo de calcular a porcentagem das fases potássicas e sódicas pertencentes aos feldspatos alcalinos através dos picos e suas respectivas intensidades obtidas por DRX, usou-se o Método Rietveld. Ao todo foram utilizadas 11 amostras de concentrados de feldspato alcalino.

Para que nenhum outro mineral mascarasse a leitura dos feldspatos alcalinos eles foram removidos inicialmente através da diminuição da granulometria, pelo fraturamento com martelo no Laboratório de Análises de Minerais de Rochas (LAMIR) na Universidade Federal do Paraná e então colocadas em um triturador para serem reduzidas a dimensões de grãos de aproximadamente 2 cm. Posteriormente, foi feita separação magnética usando um ímã tabular com auxílio da lupa, a fim de retirar minerais magnéticos, como a magnetita. Apesar de a técnica ter sido bem sucedida, foi ainda necessária a

separação magnética através do separador eletromagnético Frantz pertencente ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LABeSED) da Universidade Federal do Paraná.

Para que fossem devidamente segregadas no aparelho, as amostras foram pulverizadas no LAMIR e peneiradas no LABeSED visando obter apenas a fração com granulometria de areia fina, excluindo-se assim as frações maiores.

Concluída a separação magnética no Frantz e com as amostras então concentradas essencialmente por feldspato alcalino, foi realizada a difratometria de raios X e em seguida a aplicação do Método Rietveld.

O equipamento usado foi um difratômetro de Raios X, marca PANalytical, modelo EMPYREAN, detector X'Celerator do LAMIR.

4.11. MICROSSONDA

Com objetivo de complementar os dados obtidos no MEV EDS para classificação e cálculo da fórmula estrutural de piroxênios e feldspatos alcalinos, foram realizadas análises de Microsonda no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília utilizando o equipamento Jeol JXA-8230. Foi utilizada a voltagem de 15 Kv e 20nA, com tempo de contagem de 20s para cada elemento.

As análises pontuais foram realizadas em 2 lâminas, sendo uma da variedade verde e uma da variedade cinza, totalizando 92 pontos. Os resultados foram posteriormente tratados em tabelas e gráficos no *software Excel* e *GCD.kit 3.00*, para cálculos da fórmula estrutural e gráficos específicos de composição e classificação.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Com base em critérios texturais e estruturais, as amostras de sienitos do CAT foram classificadas em seis variedades distintas, levando-se em consideração, sobretudo cor e granulometria. Para o estabelecimento da cor foi

empregada a *Rock Color Chart* (Goddard *et al.*, 1984). As variedades definidas são: i) variedade cinza, ii) variedade cinza esverdeada, iii) variedade verde, iv) variedade verde observada no contato traquito-sienito, v) variedade verde-acinzentada e vi) variedade verde fina. Tais variedades foram definidas com base em amostras em critérios de campo e em amostras macroscópicas não tendo sido possível definir as relações de contato entre as mesmas em afloramentos. As variedades acima descritas são mostradas na Figura 6.

- Variedades acinzentadas:

Macroscopicamente a **variedade cinza (N7)** possui granulação fina a grossa, com predomínio de granulação média e granulometria variando de submilimétrica a aproximadamente 0,8 cm, com índice de cor hololeucocrático. A assembleia mineral é composta predominantemente (>95%) por feldspato alcalino em tom acinzentado, em cristais subédricos a euédricos, com clivagem boa. Há intercrescimento perítico em alguns cristais. Os minerais máficos constituem cerca de 5% da rocha. São representados por piroxênio e anfibólio em cristais subédricos a anédricos com predomínio da granulação fina. A rocha apresenta textura fanerítica inequigranular fina a grossa porfírica com intercrescimento perítico e estrutura maciça.

Ao microscópio óptico de luz transmitida a variedade cinza possui cristais de feldspato alcalino em porcentagens modais que variam de 75% a 95% da matriz, com granulação fina à grossa, em cristais subédricos a anédricos, com contatos interdigitados, por vezes retilíneos. Os cristais apresentam aspecto turvo intenso (FIGURA 7 a) além de encontrarem-se albitizados e sericitizados.

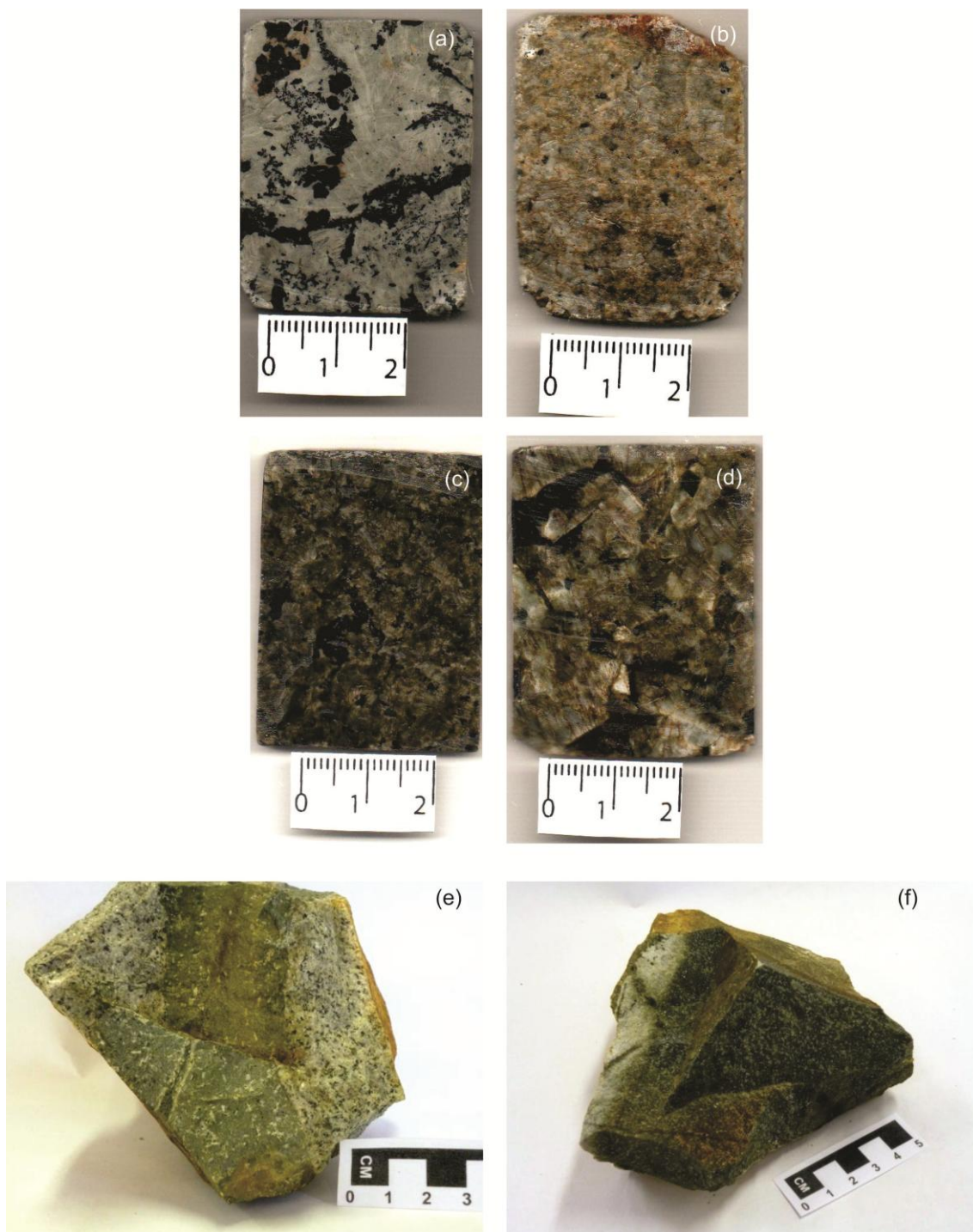


Figura 6 - Amostras macroscópicas do sienito Tunas (a) variedade cinza (N7); (b) cinza-esverdeada (5GY 6/1); (c) variedade verde (5GY 3/2); (d) variedade verde-acinzentada (5Y 5/2); (e) variedade verde (5GY 3/2) no contato traquito-sienito e (f) variedade verde fina (5GY 3/2).

Exibem intenso intercrescimento mesopertítico. Nota-se, em algumas porções da rocha, uma segunda geração de feldspato alcalino, de granulação fina e aspecto límpido. Possuem intercrescimento pertítico do tipo vênulas, filete, interligados, gotículas, barras, substituição e interpenetradas. São

comuns fraturas e interstícios preenchidos por material ferruginoso e/ou filossilicático, carbonato, quartzo, plagioclásio e fluorita. É comum a ocorrência de geminação Carlsbad. O piroxênio é representado pela egirina-augita, com porcentagem variando entre 5% e 25%, em cristais, geralmente bem preservados (FIGURA 7 c), com poucos cristais alterados. As principais alterações são para anfibólio (uralitização), minerais opacos, e biotita (FIGURA 7 e), além de iddingsita associada. Os acessórios são apatita e zircão. A rocha exhibe estrutura maciça e textura fanerítica equigranular a inequigranular fina à grossa.

Além do anfibólio secundário, anteriormente descrito, observam-se, na variedade cinza, cristais de anfibólio com características de minerais primários. Notam-se, também, cristais de biotita primários.

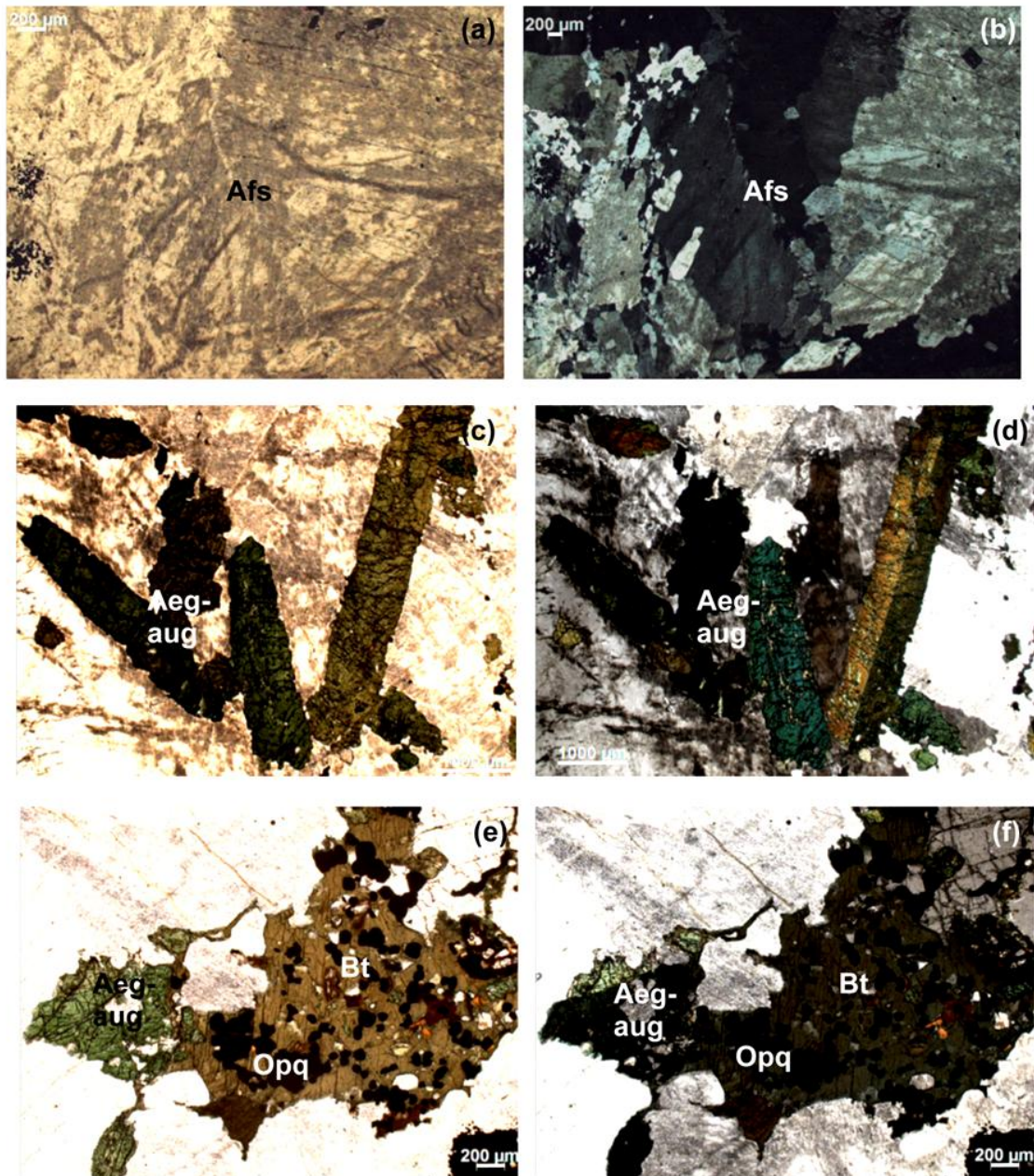


Figura 7 - Sienito alcalino da variedade cinza ao microscópio óptico convencional, (a) mostrando feldspato alcalino (Afs) mesoperfítico com aspecto turvo (c) egrina-augita (Aeg-aug) bem preservada (e) presença de biotita (Bt), opacos (Opq) e egrina-augita (Aeg-aug) (P//); (b) (d) (f) Idem, PX. Fonte abreviaturas: Whitney & Evans (2010).

A **variedade cinza-esverdeada (5 GY 6/1)**, com granulação média à grossa e granulometria variando entre 0,3 cm a aproximadamente 2,0 cm, com índice de cor hololeucocrático. A associação mineral é composta predominantemente por feldspato alcalino (>95%) em tons acinzentados a esverdeados, em cristais subédricos a euédricos, com clivagem boa. Notam-se vários cristais pertitizados. Apresentam poucos máficos inclusos. Estes

constituem menos de 5% da rocha sendo representados por piroxênio, em cristais subédricos, com granulação média. A rocha possui textura fanerítica inequigranular média à grossa, porfirítica com pertitas e estrutura maciça.

Ao microscópio possui cristais de feldspato alcalino perfazendo de 80% a 95% da rocha, subédricos a anédricos, e granulação média à grossa. Localmente nota-se geminação em grade pouco desenvolvida. Os contatos entre os cristais ocorre de forma interdigitada, localmente retilínea. Os cristais apresentam aspecto turvo intenso (FIGURA 8 a) com sericitização e albitização moderada à incipiente. Apresentam fraturas preenchidas por material ferruginoso, filossilicático e/ou carbonático. Possuem intercrescimento pertítico do tipo gotículas, barras, vênulas, filete, em manchas e interligadas, além da presença de uma segunda geração de feldspato alcalino de granulação fina e mais límpida do que a primeira (FIGURA 8 c). O piroxênio é egirina-augita (FIGURA 8 a), estando presente desde porcentagens modais inferiores a 5% até 15%.

O anfibólio representa até 10% dos minerais da rocha, sendo por vezes em maior porcentagem modal que o piroxênio, que se encontra uralitizado, que se segundo o Deer *et al.* (2010), é o nome dado a um anfibólio fibroso de cor verde pálido ou verde-azulado claro, comum em rochas básicas e cuja composição é indeterminada. Também pode ocorrer hornblenda secundária derivada da alteração do piroxênio. A origem de ambas, uralita e hornblenda, é atribuída à ação de soluções hidrotermais que podem estar associadas às fases tardias da cristalização da rocha ígnea, ou pode ser um processo posterior à consolidação, sem relação com a atividade ígnea que deu origem à rocha (FIGURA 8 e). Os minerais acessórios são apatita, zircão e titanita. Ocorrem, de forma subordinada, fluorita, carbonato, quartzo, biotita, plagioclásio, minerais opacos e iddingsita (FIGURA 8 a). A rocha mostra estrutura maciça e textura fanerítica equigranular média à grossa com microclínio mesopertítico. Notam-se, também, cristais de biotita primários.

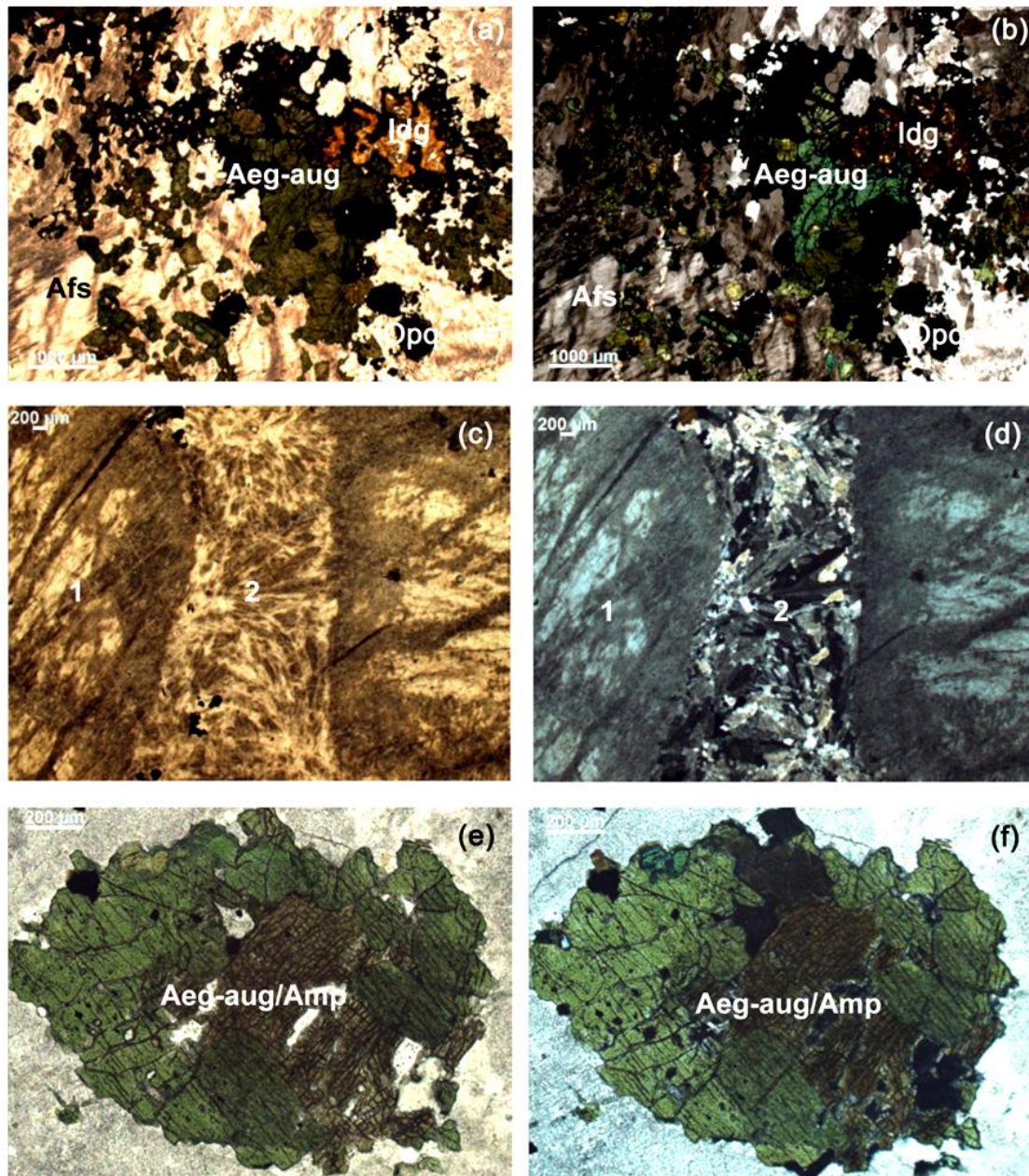


Figura 8 - Sienito alcalino da variedade cinza-esverdeada ao microscópio óptico convencional, (a) mostrando presença de feldspato alcalino (Afs) de aspecto turvo, alteração da egirina-augita (Aeg-aug) para opacos (Opg) e iddingsita (Idg) (c) evidenciando duas gerações de feldspato alcalino (Afs), a primeira (1) turva e com granulação grossa, a segunda (2) geração é límpida e possui granulação fina (e) mostrando o processo de uralitização da egirina-augita (Aeg-aug) para anfibólio (Amp) (P//). (b) (d) (f) Idem, PX. Fonte abreviaturas: Whitney & Evans (2010).

- Variedades esverdeadas:

A **variedade verde (5 GY 3/2)** apresenta granulação fina à grossa e granulometria variando entre 0,2 cm a aproximadamente 1,3 cm, com índice de cor hololeucocrático. A associação mineral é composta predominantemente por

feldspato alcalino (>95%) em tons esverdeados a levemente acinzentados, em cristais subédricos a euédricos, com clivagem boa. Notam-se vários cristais pertitizados. Apresentam poucos máficos inclusos. Estes constituem em torno de < 5% da rocha sendo representados por piroxênio, em cristais subédricos, com granulação fina a média. A rocha possui textura fanerítica inequigranular fina à grossa, porfirítica com pertitas e estrutura maciça.

Ao microscópio, esta variedade é composta por cristais de feldspato alcalino de granulação média à grossa, que perfazem cerca de 90% da moda, com hábito subédrico a anédrico, com contatos ora interdigitados ora retilíneos; contatos suturados e graduais são igualmente encontrados. Há uma segunda geração de cristais de feldspato alcalino de granulação fina. Os cristais apresentam-se límpidos localmente com aspecto turvo incipiente (FIGURA 9 a). O caráter turvo, em geral, associa-se às lamelas de exsolução em intercrescimentos pertíticos. Possuem finas fraturas preenchidas por material ferruginoso e/ou filossilicático (FIGURA 9 b) e intercrescimento pertítico do tipo barras, vênulas, interdigitado, filetes e interpenetradas. Localmente apresentam geminação Carlsbad e geminação em grade. Observa-se uma segunda geração de feldspato alcalino, com granulação fina e mais límpida do que a primeira.

O piroxênio (hedembergita) (FIGURA 9 b) ocorre em porcentagens modais que variam de 15 a 25%. Os cristais encontram-se intensamente alterados, sendo comum presença de anfibólio (riebeckita) como subproduto de alteração (FIGURA 9 e). Notam-se cristais de biotita primários.

Ocorre expressiva quantidade de apatita, mesmo como mineral traço, além de zircão como mineral acessório. Secundariamente ocorrem minerais opacos, biotita (FIGURA 9 b), fluorita, carbonato, iddingsita. A estrutura é maciça e a textura é fanerítica inequigranular média à grossa.

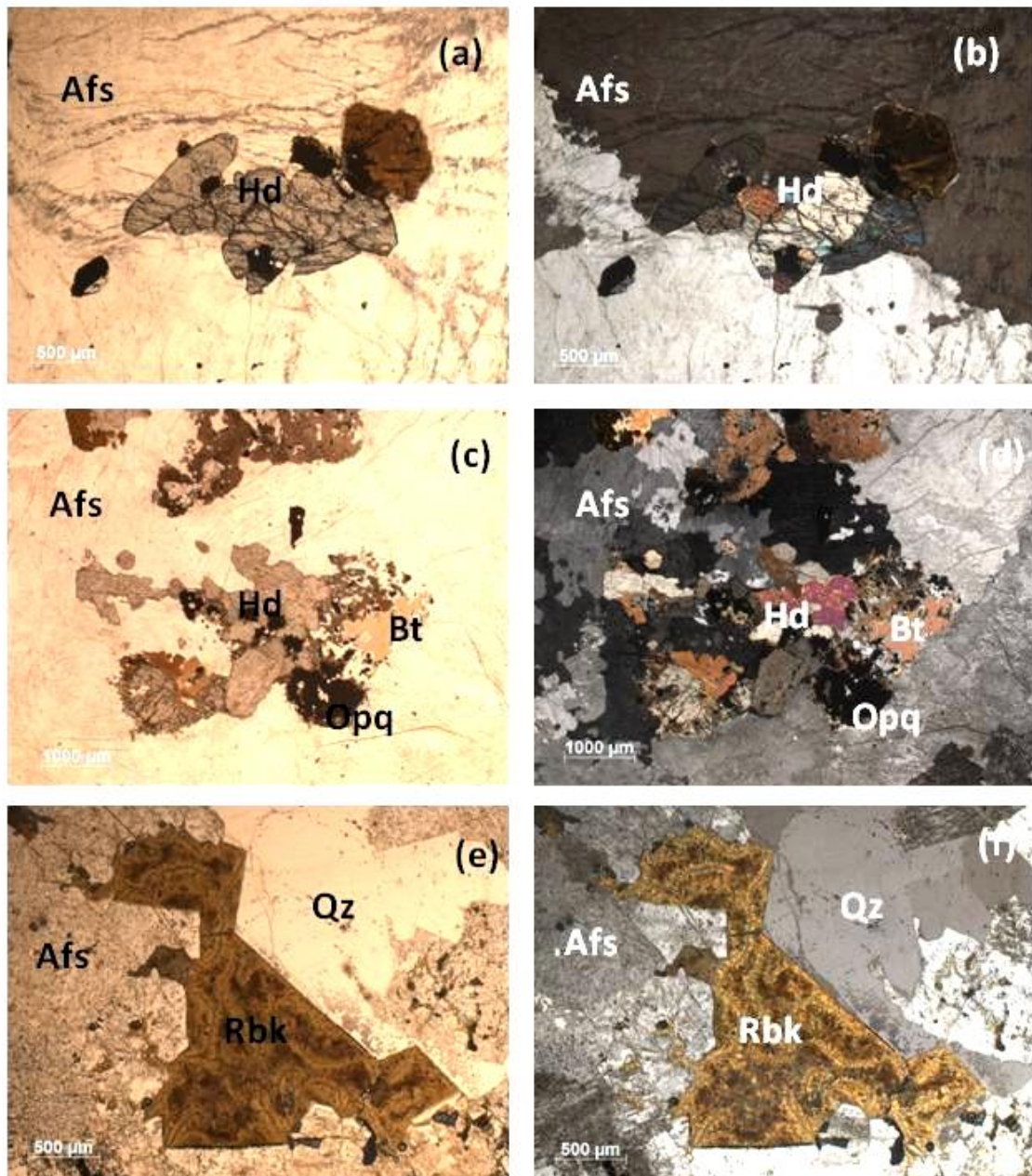


Figura 9 - Sienito alcalino da variedade verde ao microscópio óptico convencional, (a) evidenciando a presença de feldspato alcalino límpido (Afs) e hedembergita (Hd); (c) presença de hedembergita (Hd), biotita (Bt) e opacos (Opq), além de finas fraturas preenchidas por material ferruginoso; (e) processo de alteração da hedembergita (Hd) para riebeckita (Rbk) e quartzo (Qz) associado. (b) (d) e (e) Idem, PX. Fonte abreviaturas: Whitney & Evans (2010).

A **variedade verde-acinzentada (5 Y 5/2)** possui granulação fina à grossa e granulometria variando entre 0,3 cm a aproximadamente 2,5 cm, com índice de cor hololeucocrático. A associação mineral é composta predominantemente por feldspato alcalino (>95%) em tons esverdeados a levemente acinzentados, em cristais subédricos a euédricos, com clivagem boa.

Notam-se vários cristais pertitizados. Apresentam grande parte de máficos inclusos. Estes constituem em torno de < 5% da rocha sendo representados por piroxênio, em cristais subédricos, com granulação fina a média. A rocha possui textura fanerítica inequigranular fina à grossa, porfirítica com pertitas e estrutura maciça.

Microscopicamente, o feldspato alcalino é o mineral predominante, constituindo cerca de 95% da rocha, tendo granulação média, hábito euédrico a anédrico, contatos interdigitados, por vezes retilíneos, entre os cristais e geminação Carlsbad. Os cristais apresentam moderada sericitização e aspecto turvo incipiente (FIGURA 10 a). Possuem intercrescimento pertítico do tipo vênulas, filetes, barras e interdigitado, além de fraturas preenchidas por material ferruginoso e filossilicatos. Há presença de uma segunda geração de feldspato alcalino de granulação fina e com turbidez menos acentuada do que a primeira geração.

O piroxênio, predominantemente hedembergita (FIGURA 10 c) e raramente augita, representa cerca de 5% da moda. Os minerais acessórios são apatita e zircão.

Subordinariamente ocorrem anfibólio (uralitização), biotita, quartzo, iddingsita e opacos. Notam-se, também, cristais de biotita primários.

A estrutura é maciça e a textura é fanerítica equigranular média, com microclínio simplectítico.

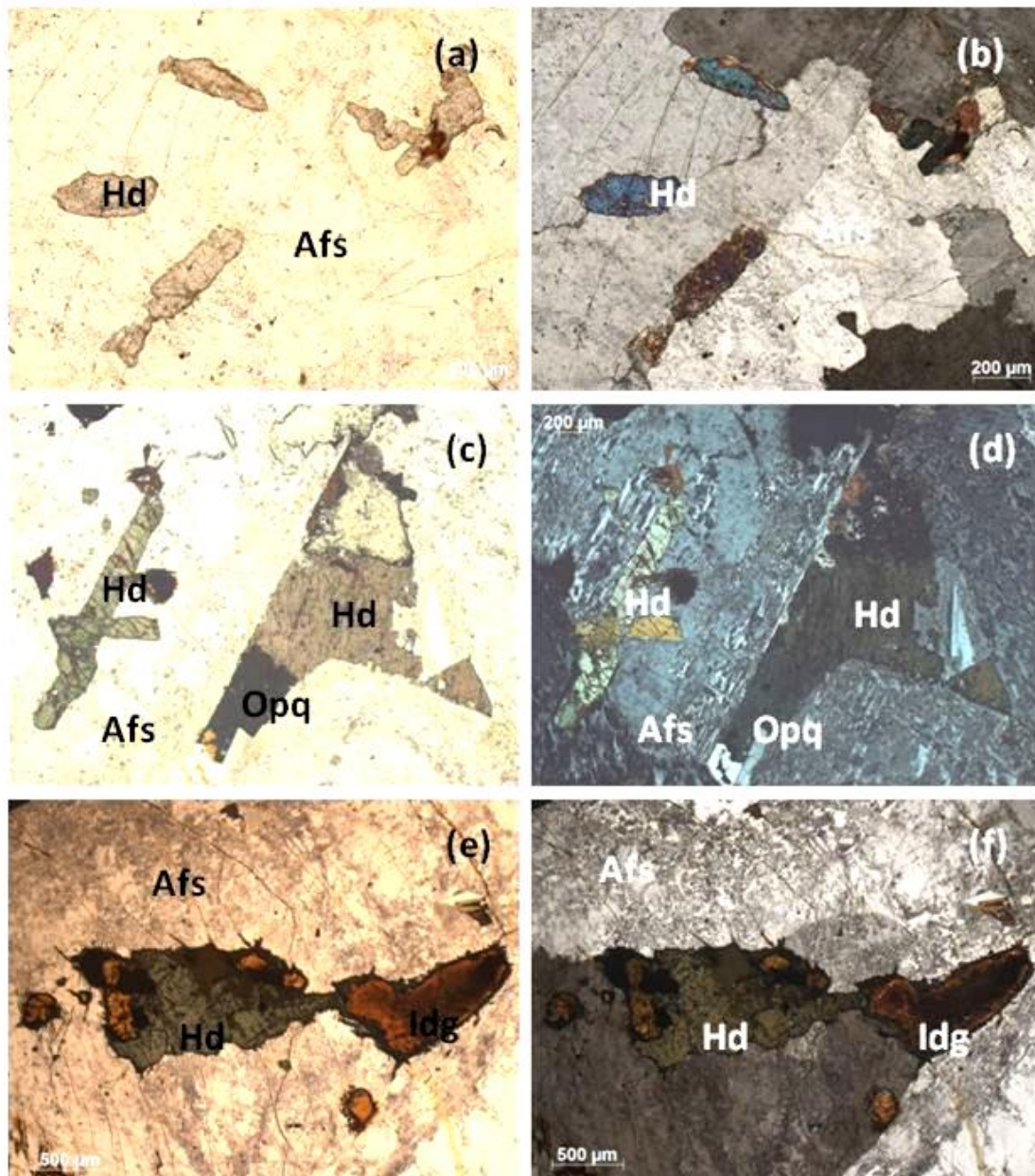


Figura 10 - Sienito alcalino da variedade verde-acinzentada ao microscópio óptico convencional, (a) evidenciando a presença de feldspato alcalino límpido a pouco turvo (Afs) e hedembergita (Hd) (c) presença de hedembergita (Hd) alterada para opacos (Opq), além de hedembergita (Hd) não alterada (e) presença de iddingsita (Idg) associada a hedembergita (Hd) (P//). (b) (d) Idem, (PX).

A **variedade verde (5 GY 3/2)** que ocorre **no contato entre sienito e dique de traquito** dispostos ao longo do CAT apresenta, macroscopicamente granulação fina a afanítica e granulometria variando de cristais submilimétricos a aproximadamente 0,2 cm. A assembleia mineralógica é composta por fenocristais de feldspato alcalino e piroxênio, com hábitos subédricos a eúédricos envolvidos por uma matriz afanítica. Nota-se a presença de xenólitos

arredondados variando de 1 cm até cerca de 2 cm de comprimento, compostos pela mesma assembleia mineralógica descrita acima, porém com granulação média. A rocha apresenta textura fanerítica inequigranular fina a afanítica porfírica, com estrutura traquítica.

Ao microscópio, exhibe cristais de feldspato alcalino com granulação média que perfazem entre 75% e 85% das rochas. Este mineral exhibe hábito euédrico a subédrico, com contatos tanto retilíneos quanto curvilíneos. Possuem aspecto turvo e sericitização moderado a intenso (FIGURA 11 a), além de pertitas do tipo filetes e em barras; finas fraturas são preenchidas por material ferruginoso e/ou filossilicático.

O piroxênio (hedembergita) encontra-se alterado de maneira incipiente, ocorrendo em porcentagens modais que variam de 15% a 25%; observam-se ainda anfibólio (riebeckita), iddingsita e biotita associados, além de fraturas preenchidas por hedembergita (FIGURA 11 c). Notam-se cristais de quartzo intersticial. A estrutura é tanto maciça, quanto localmente traquítica. A textura é fanerítica inequigranular fina, com feldspato alcalino mesopertítico.

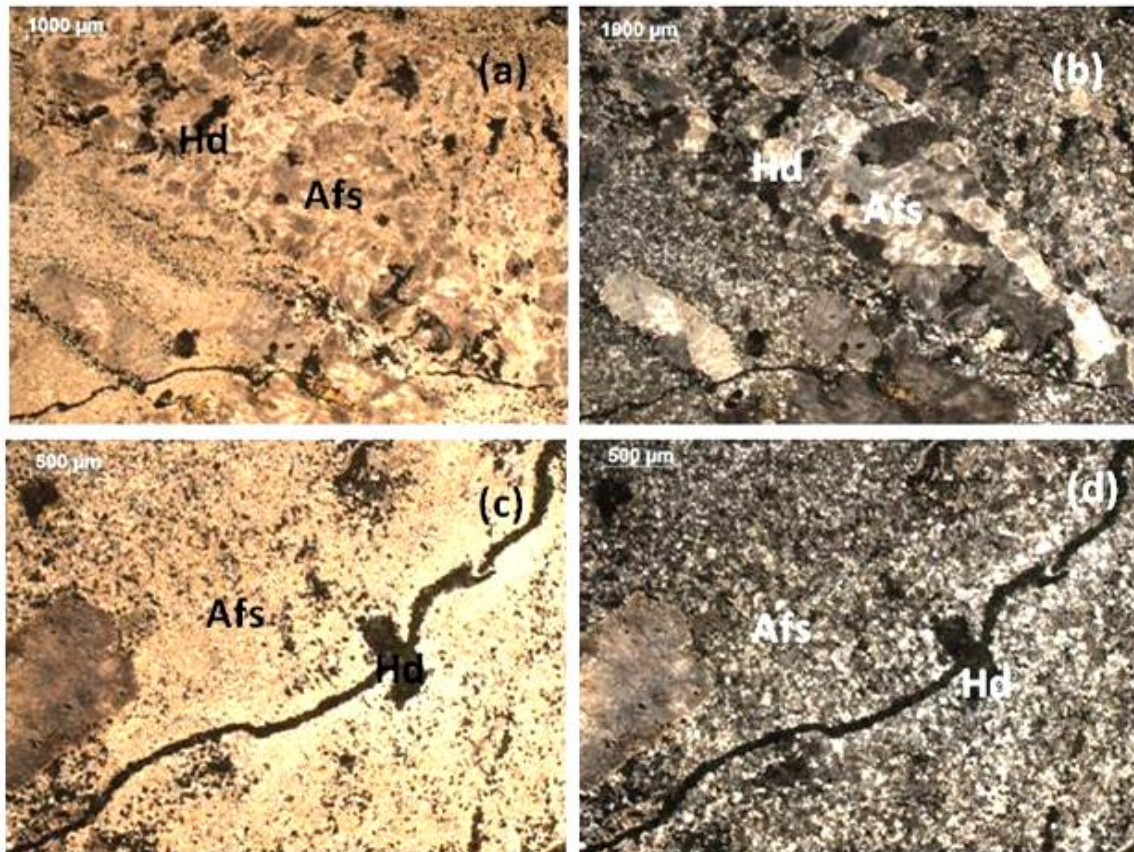


Figura 11 - Sienito alcalino da variedade verde no contato traquito-sienito ao microscópio óptico convencional. (a) mostrando presença de fenocristais feldspato alcalino (Afs) e hedembergita (Hd); (c) Idem (a), com presença de fratura preenchida por hedembergita (Hd) (P//). (b) (d) Idem, PX. Fonte abreviaturas: Whitney & Evans (2010).

A **variedade verde (5 GY 3/2) de granulação muito fina a fina**, designada microssienito apresenta granulação muito fina a fina, com cristais que variam de submilimétricos a aproximadamente 0,2 cm, com índice de cor hololeucocrático. A associação mineral é composta predominantemente por feldspato alcalino (95%) em tons esverdeados de granulação muito fina formando a matriz da rocha. Perfazendo cerca de 5% da rocha há minerais máficos representados pelo piroxênio e biotita em cristais subédricos de granulação fina. A rocha possui textura fanerítica inequigranular muito fina a fina e estrutura maciça.

Ao microscópio óptico de transmissão, o feldspato alcalino possui >95%, com hábito anédrico a subédrico, turbidez incipiente (FIGURA 12 a), com predomínio de cristais límpidos. Intercrescimento perítico pouco desenvolvido, ocorre em padrão textural do tipo vênulas, filetes, interdigitado; os contatos entre os cristais são tanto retilíneos quanto interdigitados. Apresentam

geminção Carlsbad e, localmente, Baveno, com fraturas preenchidas por material ferruginoso e filossilicatos, além de inclusões de minerais opacos, apatita e piroxênio (hedembergita).

Os cristais de piroxênio ocorrem em porcentagens modais inferiores a 5% encontram-se moderadamente alterados para biotita e minerais opacos (FIGURA 12 c). A rocha tem estrutura maciça e textura fanerítica equigranular fina, com feldspato alcalino poiquilítico.

A seguir a Tabela 2 resume os dados petrográficos de cada variedade.

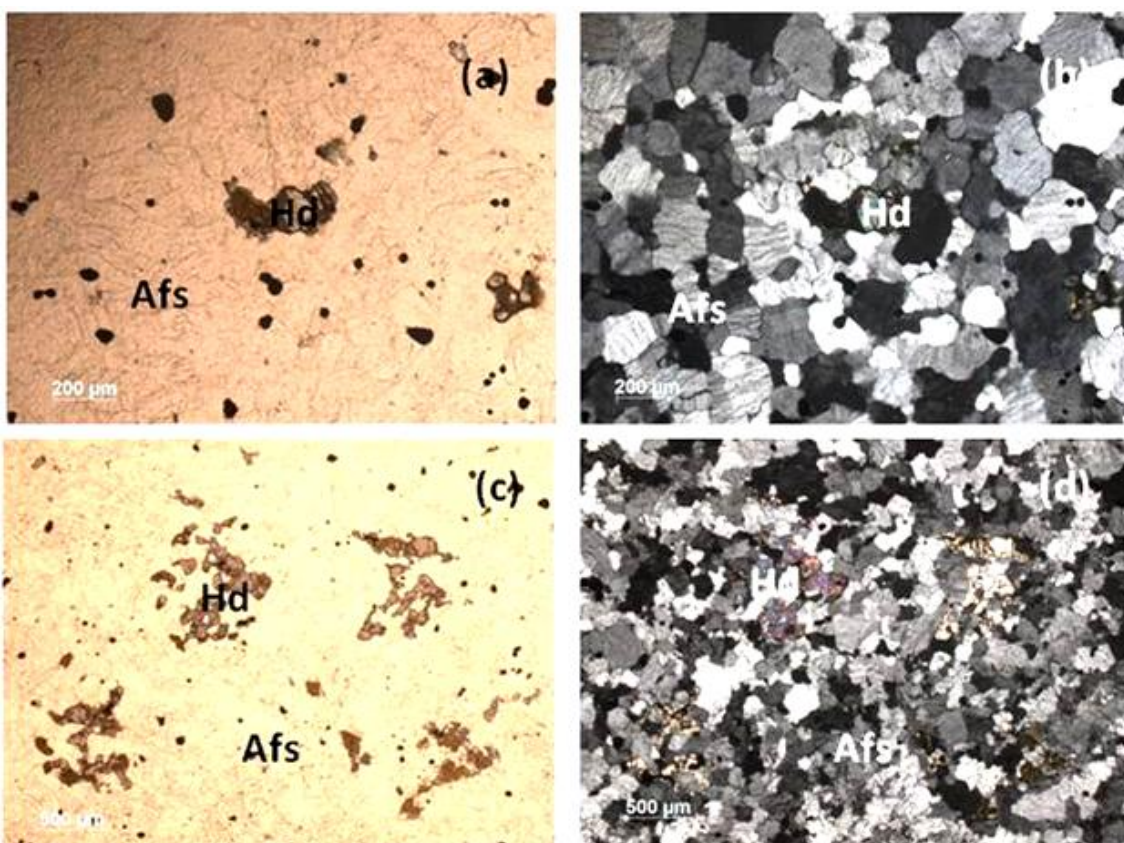


Figura 12 - (a) (c) Fotomicrografias da variedade verde fina em microscópio óptico convencional evidenciando cristais de feldspato alcalino (Afs) de granulação fina e hedembergita (Hd) (P//); (b) (d) Idem, (PX). Fonte abreviatura: Whitney & Evans (2010).

Tabela 2 - Resumo das principais características petrográficas de cada variedade do sienito Tunas.

Variedades	Cinza (N7)	Cinza-esverdeada (5 GY 6/1)	Verde (5 GY 3/2)	Verde-acinzentada (5 Y 5/2)	Verde Fina a muito fina (5 GY 3/2)	Verde contato Traquito/Sienito (5 GY 3/2)
Granulação	Fina à grossa	Fina à grossa	Média à grossa	Média	Fina a muito fina	Fina a afanítica
Textura	Fanerítica equigranular a inequigranular fina à grossa.	Fanerítica inequigranular porfírica fina à grossa	Fanerítica inequigranular média à grossa	Fanerítica equigranular média	Fanerítica equigranular fina	Fanerítica equigranular fina
Estrutura	Maciça	Maciça	Maciça	Maciça	Maciça	Maciça/Traquítica
Índice de cor	Hololeucocrática	Hololeucocrática	Hololeucocrática	Hololeucocrática	Hololeucocrática	Hololeucocrática
Minerais Primários	Feldspato alcalino, piroxênio (egirina-augita),anfibólio, biotita,minerais opacos	Feldspato alcalino, piroxênio (egirina-augita),anfibólio, biotita, minerais opacos	Feldspato alcalino, piroxênio (hedembergita), minerais opacos, biotita	Feldspato alcalino, piroxênio (hedembergita), biotita, minerais opacos	Feldspato alcalino, piroxênio (hedembergita), minerais opacos	Feldspato alcalino, piroxênio (hedembergita), minerais opacos
Presença de 2ª geração de Feldspato alcalino	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Minerais Acessórios	Apatita, zircão	Apatita, zircão	Apatita, zircão	Apatita, zircão	Apatita	Apatita
Minerais Hidrotermais	Carbonato, quartzo, anfibólio (uralitização), biotita, fluorita, minerais opacos, iddingsita, plagioclásio (andesina)	Carbonato, quartzo, anfibólio (uralitização), biotita, iddingsita, fluorita, minerais opacos, plagioclásio (andesina)	Carbonato, quartzo, anfibólio (uralitização) e riebeckita, biotita, iddingsita, fluorita e minerais opacos	Quartzo, biotita, anfibólio (uralitização), riebeckita, iddingsita, minerais opacos	Minerais opacos, biotita	Minerais opacos, Biotita, quartzo, iddingsita, anfibólio (uralitização)
Alterações	Albitização, sericitização, aspecto turvo intenso	Albitização, sericitização, aspecto turvo intenso	Aspecto turvo incipiente	Aspecto turvo incipiente, sericitização moderada	Aspecto turvo incipiente	Aspecto turvo intenso, sericitização moderada

5.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Foram analisadas trinta e três amostras de feldspatos das diversas variedades do sienito Tunas.

Minerais cristalizados no sistema monoclinico apresentam valor de Δ próximo a 0, indicando cristalização em temperatura elevada, possuindo maior simetria; minerais cristalizados no sistema triclinico exibem valores de Δ próximos a 1, correspondendo a cristalização temperatura mais baixa e menor simetria (NEVES, 1981). Após análises de difração de raios (DRX) e cálculo da triclinicidade para os feldspatos alcalinos, têm-se os dados a seguir.

Os valores de triclinicidade calculados para os feldspatos, com base na diferença entre as distâncias interplanares das famílias de planos (131) e (1-31), utilizando-se a fórmula $\Delta = 12,5[d(131) - d(1-31)]$ (NEVES, 1981) são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de triclinicidade com base na cor dos feldspatos alcalinos.

AMOSTRA	COR	TRICLINICIDADE
V	Verde	0,36375
VF		0,39375
V2B		0,43625
VC	Verde acinzentado	0,4097
CTF 2/3	Cinza claro a cinza esverdeado	0,48125
CTF 6/2		0,53870
CTF 6/1		0,54750
CTF 3/1 (G. Grossa)	Cinza- claro esverdeado	0,36750
CTF 3/1 (G. Fina)		0,38375
CVA (Fenocristal)	Cinza esverdeado	0,37620
CVB (Matriz)		0,40000
CTF 2/1		0,40000
CTF 2/2		0,41750
CTF 2/5		0,41750
CTF 2/4 (G. Grossa)		0,45000
CTF 6/3		0,50250
CTF 2/4 (G. Fina)		0,51750
CTF 3/2	Cinza esverdeado a cinza -claro esverdeado	0,46750
CTF 6/4		0,48125
CTF 4/1		0,48625
CTF 5/3 (G. Fina)	Cinza claro	0,34625
CTF 5/5		0,34625
CA (Dentro da borda)		0,37500
CC (Mais fino)		0,40000
CB (Fenocristal)		0,40610
CTF 5/4 (G. Fina)		0,47375
CTF 5/2		0,48750
CTF 07		0,50125*
CTF 6/1		0,52250**
V2A	Traquito	0,28750
CTF 5/3		0,40375
CTF 5/6		0,4275
CTF 5/4		0,43125

*Leitura realizada em 5s 29-32° 2th

**Leitura realizada em 1s 25-35° 2th

Em todas as variedades o feldspato alcalino mostra triclinicidade intermediária, sendo que na variedade verde os valores variam entre 0,36 a

0,43, com média situada em 0,400863. Globalmente, as variedades cinza exibem valores de Δ variando entre 0,34 e 0,54, com média de 0,424690.

A variação entre estes valores de Δ indicam uma possível cristalização inicial de feldspatos nas variedades verdes, em temperatura mais elevada, seguidos pela cristalização destes minerais nas variedades cinza, mais evoluídas.

A discussão sobre a sequência evolutiva destas variedades de sienitos será retomada no item relativo à Litogeoquímica, discutido a seguir.

5.3. LITOGEOQUÍMICA

Análises químicas foram realizadas com concentrados de feldspatos alcalinos para quantificação de óxidos e elementos traço, incluindo-se elementos terras raras. Os resultados encontram-se na Tabela 4 e 5. As amostras são tratadas globalmente como verdes (incluindo as variedades verde, verde no contato traquito/sienito e verde-acinzentada) e cinza (incluindo as variedades cinza e cinza-esverdeada). Não foram realizadas análises na variedade verde de granulação fina.

Tabela 4 - Óxidos e Elementos Traços presentes no feldspato alcalino do sienito Tunas.

	Variedade Cinza						Variedade Verde				
	CTF 2/1	CTF 2/2	CTF 5/2	CTF 5/4	CTF 5/5	AB 09	CTF 08 B	FT 01 V2B	AB 04	AB 06	AB 07
Óxidos (%)											
SiO ₂	64,40	65,32	65,18	65,11	64,59	65,12	60,28	62,59	62,74	62,58	65,10
TiO ₂	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,02	0,83	0,12	0,34	0,26	0,06
Al ₂ O ₃	18,43	18,85	19,05	18,82	18,74	18,64	16,81	17,23	17,50	18,35	18,10
Fe ₂ O ₃	2,19	1,38	1,24	1,01	1,41	1,64	6,16	5,77	3,62	2,89	2,34
MnO	0,10	0,04	0,04	0,02	0,06	0,05	0,24	0,38	0,16	0,11	0,06
MgO	0,20	0,03	0,05	0,01	0,11	0,06	0,88	0,15	0,60	0,63	0,02
CaO	1,07	0,40	0,42	0,19	0,73	0,57	2,19	0,85	2,36	2,27	0,56
Na ₂ O	7,15	7,44	6,93	6,86	6,94	7,17	5,78	6,66	5,99	6,29	6,90
K ₂ O	5,63	5,96	6,49	6,58	6,17	5,66	5,43	5,12	5,28	5,02	5,98
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,12	0,01	0,09	0,12	0,01
LOI	0,7	0,5	0,5	1,3	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0
Total	99,91	99,95	99,95	99,93	99,91	99,93	99,42	99,58	99,28	99,12	100,13
Elementos Traços (ppm)											
Sn	6	1	3	2	<1	2	2	1	2	<1	3
V	39	33	30	27	17	<8	<8	<8	<8	8	9
Cr	<0.002	0,005	0,005	0,004	0,002	0,003	0,005	0,004	0,002	0,003	<0.002
Co	0,3	<0.2	0,4	<0.2	0,4	0,2	3,1	2,0	2,0	1,1	0,3
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Zn	526	462	248	177	298	334	212	1793	378	165	401

	Variedade Cinza						Variedade Verde				
	CTF 2/1	CTF 2/2	CTF 5/2	CTF 5/4	CTF 5/5	AB 09	CTF 08 B	FT 01 V2B	AB 04	AB 06	AB 07
Ga	25,1	24,5	22,7	30,5	22,0	25,7	18,0	33,8	19,6	15,9	25,8
Rb	149,6	161,3	183,2	197,5	156,6	159,0	116,4	106,0	114,4	78,1	147,4
Sr	14,2	6,7	19,5	10,0	5,6	30,8	112,6	83,7	209,3	222,1	3,0
Y	29,8	18,2	19,6	14,7	23,6	22,4	23,7	21,8	26,3	15,0	28,2
Zr	531,5	470,6	259,5	188,7	306,6	364,5	219,1	1778,5	384,2	168,1	406,7
Nb	75,8	46,2	54,1	38,4	67,8	43,3	73,5	47,4	48,1	21,7	93,7
Ba	79	24	136	66	69	186	4633	1394	6127	6959	57
W	0,9	4,8	7,1	7,6	2,3	5,4	11,9	7,2	8,0	3,4	2,6
Th	16,0	9,9	10,7	8,3	9,6	10,0	5,2	8,6	10,3	6,3	12,6
U	2,3	1,6	2,6	1,2	2,3	2,1	0,9	3,0	2,3	1,4	2,5

Tabela 5 - Elementos Terras Raras encontrados em feldspato alcalino do sienito Tunas

	Variedade Cinza						Variedade Verde				
	CTF 2/1	CTF 2/2	CTF 5/2	CTF 5/4 A	CTF 5/5	AB 09	CTF 08 B	FT 01 V2B	AB 04	AB 06	AB 07
Teores(ppm)											
La	77,9	48,6	57,0	24,6	52,4	45,1	34,4	46,0	41,0	72,2	38,5
Ce	134,2	78,2	97,9	34,3	92,4	77,5	58,9	77,9	66,3	119,0	65,1
Nd	43,8	23,5	30,0	11,3	31,1	29,9	23,5	26,4	23,7	38,6	23,0
Sm	6,84	3,78	4,99	2,13	4,76	5,17	3,40	5,12	3,89	6,04	4,16
Eu	0,41	0,34	0,55	0,31	0,67	3,32	1,56	3,60	4,40	0,55	0,72
Gd	5,78	3,23	4,20	2,12	4,16	4,92	3,17	4,98	3,46	5,77	3,88
Tb	0,89	0,51	0,62	0,36	0,64	0,72	0,50	0,79	0,49	0,85	0,60
Dy	5,53	3,28	3,68	2,40	3,97	4,38	3,38	5,10	2,96	5,54	3,74
Ho	1,15	0,65	0,75	0,51	0,85	0,89	0,99	0,96	0,56	1,11	0,82
Er	3,46	2,18	2,09	1,56	2,71	2,41	2,88	3,13	1,56	3,50	2,50
Tm	0,56	0,34	0,32	0,27	0,40	0,38	0,54	0,48	0,25	0,51	0,40
Yb	3,84	2,11	2,12	1,76	2,73	2,57	4,81	3,41	1,55	3,40	2,71
Lu	0,64	0,34	0,34	0,27	0,41	0,41	0,92	0,52	0,26	0,53	0,41
Parâmetros											
ETR (ppm)	285	167.06	204.56	81.89	197.2	177.67	138.95	178.39	150.38	257.6	146.54
(La/Sm)*	7.14	8.06	7.16	7.24	6.90	5.47	6.34	5.63	6.60	7.49	5.80
(Gd/Yb)*	1.22	1.25	1.60	0.98	1.23	1.55	0.53	1.18	1.67	1.37	1.16
(La/Yb)*	13.81	15.68	18.30	9.51	13.06	11.94	4.87	9.18	18.00	14.45	9.67
Eu/Eu*	0.20	0.30	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45

O exame da Tabela 4 e da Figura 13 mostra que os feldspatos alcalinos das variedades verdes exibem concentrações em CaO (FIGURA 13 a) levemente superiores às das variedades cinza, contrariamente à SiO₂ e Na₂O + K₂O, inferiores nas variedades verdes (FIGURA 13 b).

No diagrama de variação Na₂O + K₂O vs CaO (FIGURA 13 c) observa-se o *trend* característico de cristalização fracionada, com diminuição de Ca, seguido pelo aumento das concentrações de álcalis. À exceção a este comportamento é a amostra FT-01-V2B, da variedade verde, que ocorre no contato entre o sienito e dique de traquito

Já no diagrama de variação Al₂O₃ x SiO₂ (FIGURA 13 d), nota-se enriquecimento de alumina nas variedades cinza, contrariamente ao que se observa nas variedades verdes. Nos diagramas de variação Fe₂O₃ x SiO₂ e MgO x SiO₂ (FIGURAS 13 e; f) as variedades esverdeadas são enriquecidas tanto em ferro quanto em magnésio. Dada a grande quantidade de Fe₂O₃ obtida nos concentrados de feldspato alcalino, acredita-se que por mais que algumas amostras tenham passado cerca de oito vezes pelo *Frantz* a separação não deve ter sido muito efetiva e como consequência apresenta-se elevadas quantidades deste elemento.

Diagramas de variação para MnO, P₂O₅ e TiO₂ x SiO₂ (FIGURAS 13 g, h e i) revelam valores mais elevados, porém dispersos desses elementos para as variedades esverdeadas, ao passo que as variedades acinzentadas encontram-se agrupadas e com valores baixos desses elementos.

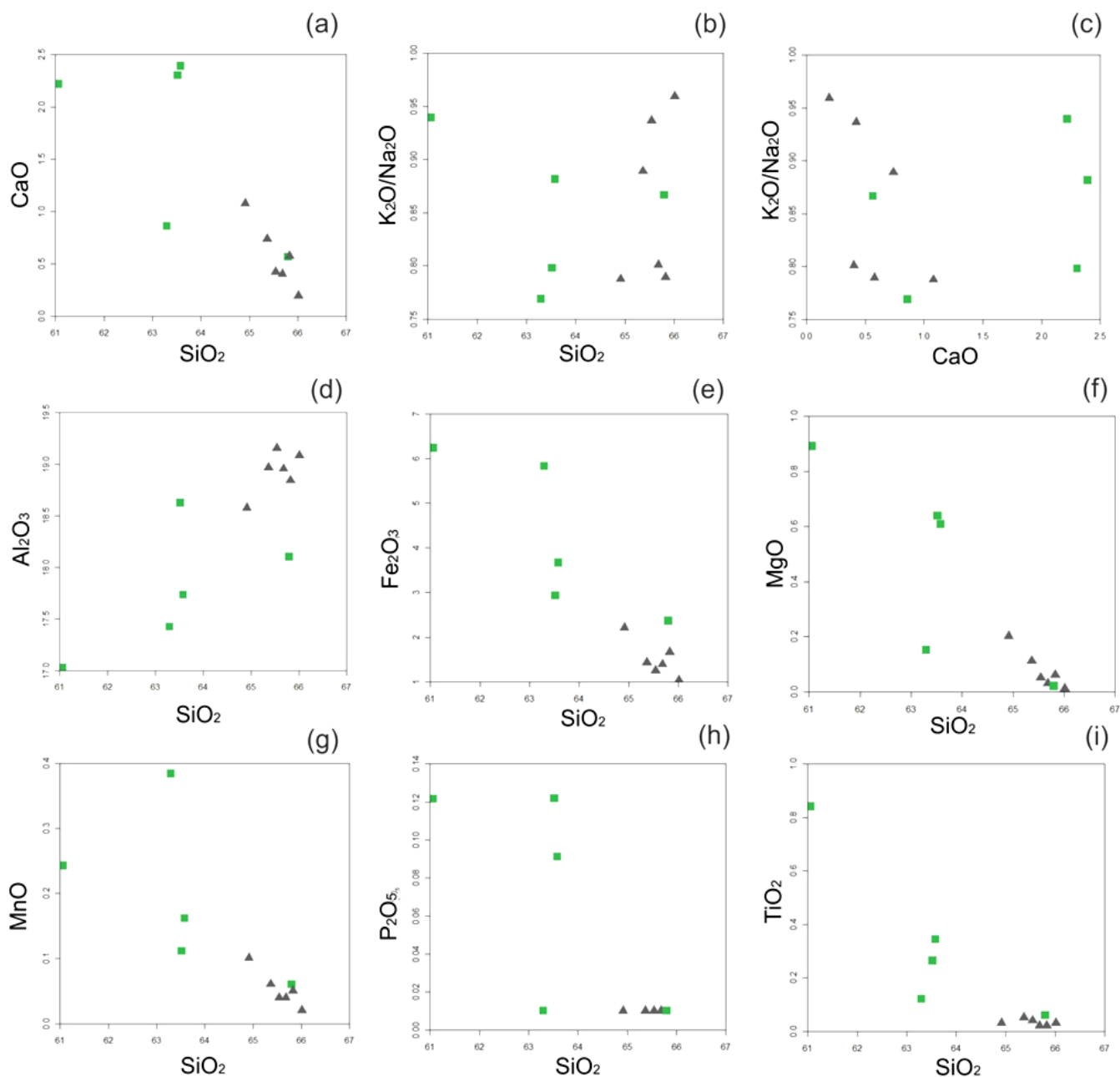


Figura 13 - Diagramas de variação (a) CaO x SiO₂ (b) Na₂O + K₂O x SiO₂ (c) Na₂O + K₂O x CaO (d) Al₂O₃ x SiO₂ (e) Fe₂O₃ x SiO₂ (f) MgO x SiO₂ (g) MnO x SiO₂ (h) P₂O₅ x SiO₂ e (i) TiO₂ x SiO₂. Quadrados = Variedade verde; Triângulos = Variedade cinza.

O diagrama da Figura 14 mostra o comportamento de CaO em oposição a Sr e Eu, onde se nota *trends* de variação paralelos entre si, evidenciando que a variação destes elementos traço deu-se de forma direta com o aumento das concentrações em CaO.

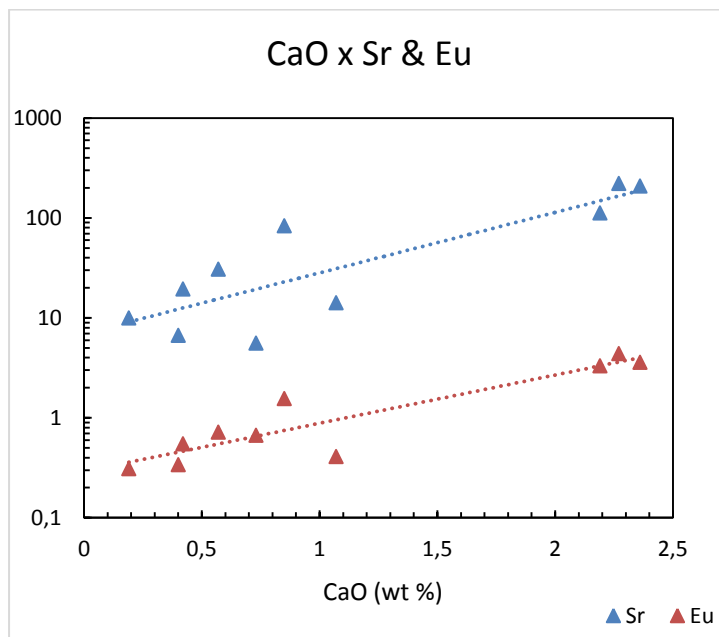


Figura 14 - Diagrama CaO vs Sr vs Eu.

Análises de ETR foram realizadas em feldspatos alcalinos com o objetivo de estabelecer a cronologia evolutiva das fácies e a influência de processos de alteração hidrotermal. O padrão de distribuição de ETR (FIGURA 15) mostra, globalmente, acentuado fracionamento, com $\sum\text{ETRL}$ variando de 76,2 a 276,6 ppm e $\sum\text{ETRP} < 20$ ppm. A razão $(\text{La}/\text{Yb})^*$ varia de 4,87 a 18,30 ppm. Sienitos das variedades verdes exibem acentuadas anomalias positivas em Eu com razão Eu/Eu^* variando entre 0,28 e 3,66 ppm; o fracionamento é intenso, evidenciado pela razão $(\text{La}/\text{Sm})^*$, da ordem de 5,47 a 7,49 ppm, superior àquela observada para os ETRP, com razão $(\text{Gd}/\text{Yb})^*$ 0,53 a 1,67 ppm. As variedades cinzas mostram padrão de distribuição com acentuada anomalia negativa de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,20$ a 0,46 ppm) e fracionamento intenso, com $(\text{La}/\text{Sm})^* = 6,90$ a 8,06 ppm e $(\text{Gd}/\text{Yb})^* = 0,98$ a 1,60 ppm. Tais resultados apontam para o fracionamento inicial do feldspato na variedade verde, mais

primitiva, incorporando este elemento na estrutura cristalina, possivelmente em alta temperatura, conforme evidenciado pelos baixos valores de triclinicidade.

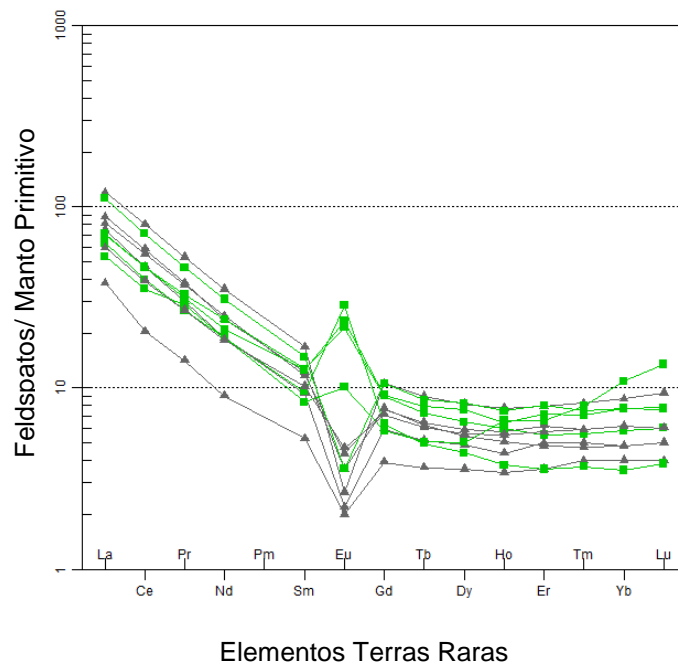


Figura 15 - Diagrama spider normalizado pelo manto primitivo de McDonough & Sun (1995).

Quadrado = Variedade verde, Triângulo = Variedade cinza.

A evolução das variedades cinzas em relação às aquelas de cor verde é igualmente confirmada pelo diagrama da Figura 16, onde se observa o enriquecimento gradativo em Rb nas primeiras, paralelamente às menores concentrações em Ba.

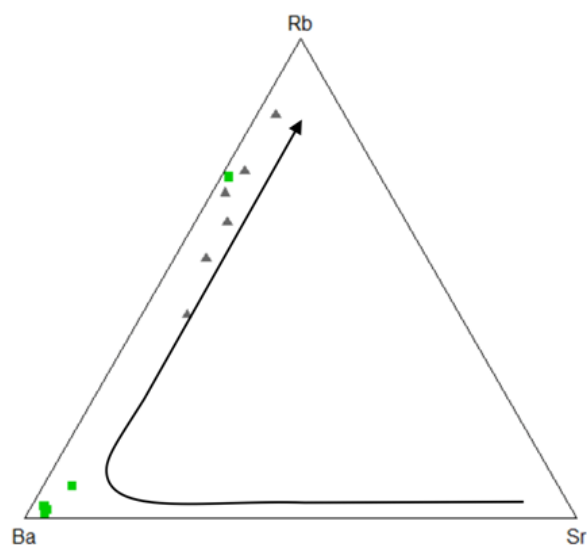


Figura 16 - Diagrama Rb, Ba e Sr de EL BOUSEILY & EL SOKKARY (1975).

O diagrama de variação proposto por Thompson (1982) (FIGURA 17) revela forte variação de bário, com valores elevados para as variedades verdes valores mais baixos para as variedades acinzentadas. Há forte anomalia negativa em estrôncio e titânio para ambas as variedades.

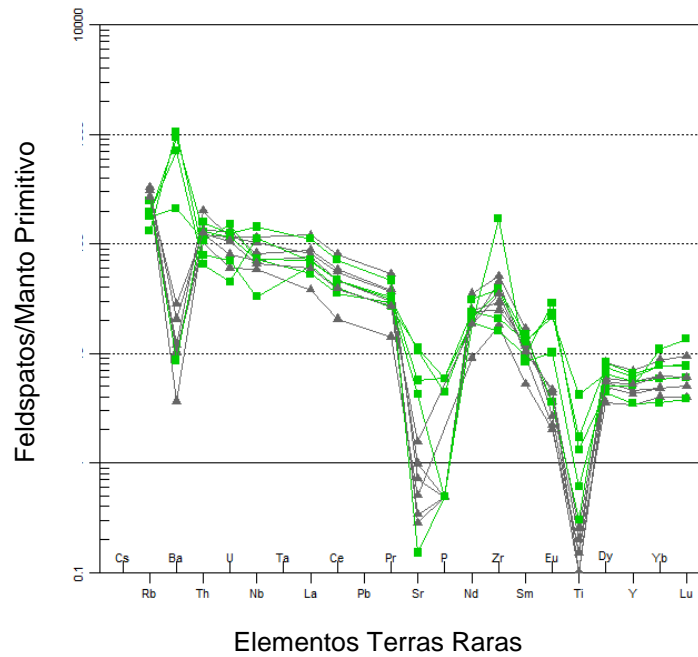


Figura 17 - Diagrama spider normalizado pelo manto primitivo de Thompson (1982).

Diagrama de composição dos feldspatos alcalinos (APÊNDICE 1) expressos em moléculas Or, Ab e An (FIGURA 18) segundo Deer *et al.* (2010), revela feldspatos alcalinos classificados dentro do limite dos campos da sanidina e anortoclásio, indicando uma composição intermediária potássica e sódica nos feldspatos do sienito Tunas.

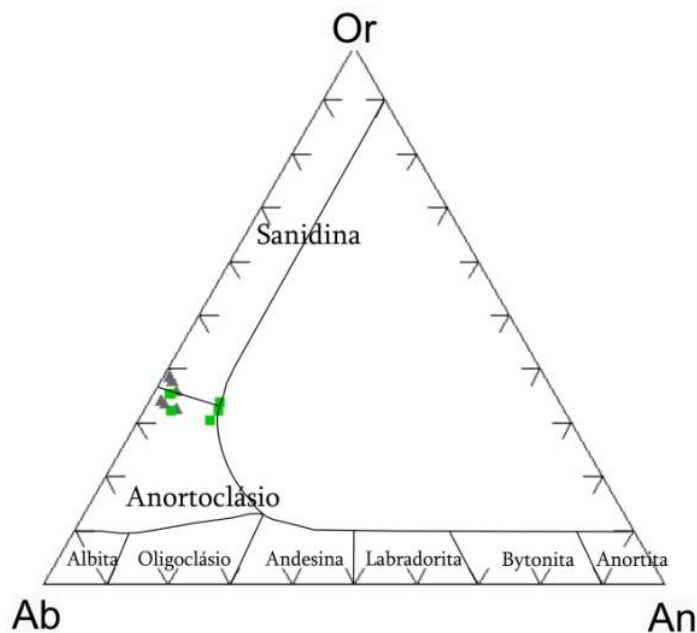


Figura 18 - Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza. Dados ICP. Legenda idem figura 17.

De maneira global e resumida, tem-se que os feldspatos alcalinos das variedades verdes mostram anomalias positivas em Ba e Sr, estas últimas fracamente positivas, elevadas razões Ba/Rb, Sr/Cs e baixa razão Rb/Sr, além de anomalias positivas em Eu, com Eu/Eu^* variando entre 0,28 e 3,6. Concentrações em CaO são ligeiramente superiores às encontradas nas variedades cinza, contrariamente ao observado para a sílica e a soma de álcalis, inferiores nestas variedades com relação às variedades cinzas.

Varieties cinzas exibem anomalia negativa em Eu ($Eu/Eu^* = 0,20 - 0,55$), em Ba, além de menores teores em CaO e maiores concentrações em sílica e total de álcalis.

Duas amostras da variedade verde apresentam comportamento anômalo. São elas: amostra AB-07, com cor verde escuro acinzentado e FT-01-V2B, de cor verde e que ocorre no contato entre o sienito e o dique de traquito. A primeira exhibe elevada soma de ETR, intensa anomalia negativa em Eu (0,28) elevadas concentrações em sílica e total de álcalis, maior razão Rb/Sr e menor razão Ba/Rb, além de concentrações em CaO mais baixas.

A amostra da variedade verde no contato com o dique de traquito exhibe elevadas concentrações em ETRP, sobretudo Yb e Lu, anomalia positiva em Eu (1,45), total de Hf+Y+Th+U elevada (da ordem de 67,30 ppm) elevadas

concentrações em Zr,U e Hf, elevadas razões Sr/Cs, Ba/Rb e Ba/Sr além de baixas concentrações em álcalis, sílica, e baixa razão Rb/Sr inferior às demais exibidas pelos demais feldspatos alcalinos das variedades verdes.

5.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Os sienitos do CAT foram analisados ao microscópio eletrônico de varredura para obtenção de imagens por elétrons retroespalhados (ERE) e realização de microanálise elementar por energia dispersiva, esta última para proceder ao mapeamento químico dos principais elementos constituintes das fases minerais destas rochas, como tentativa preliminar de se avaliar a migração dos mesmos durante os processos de alteração tardi a pós-magmáticos, além de análises pontuais semi-quantitativas para classificação dos feldspatos alcalinos e minerais máficos presentes e cálculo de fórmula estrutural.

Na Figura 19 observam-se imagens obtidas em ERE das variedades cinza e verde, evidenciando a presença de mesopertitas. Tons de cinza mais escuros indicam porções ricas em Na, já os tons em cinza claro indicam porções ricas em K.

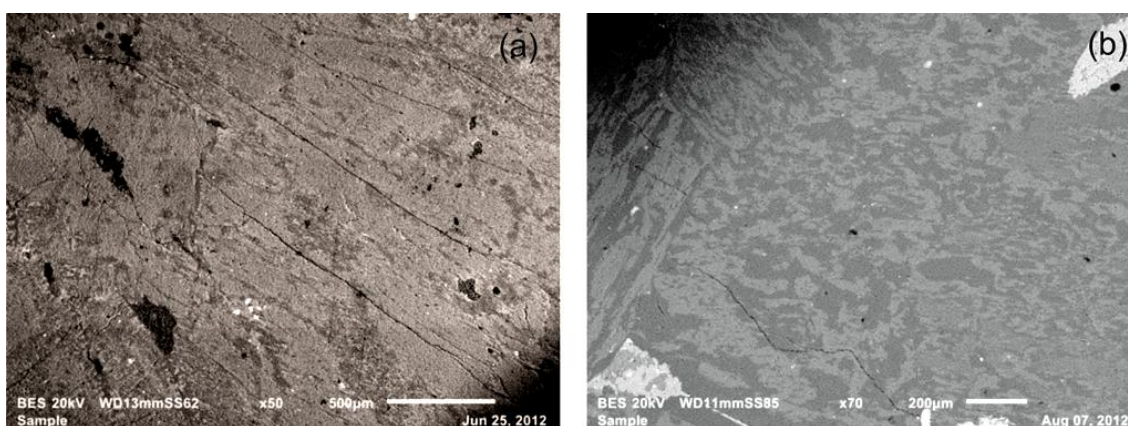


Figura 19 - Imagem obtida por ERE em amostras da variedade cinza (a) e verde (b) indicando a presença de mesopertitas. Tons mais escuros de cinza representam porções mais ricas em Na.

As pertitas estão distribuídas de forma homogênea, porém há locais com maior concentração. Nas amostras da variedade verde as pertitas ocorrem em

menor quantidade, fato corroborado com as observações feitas em lâminas delgadas.

O mapeamento por EDS indicou os principais elementos constituintes dos minerais presentes no sienito Tunas. Teve como objetivo definir fases e suas respectivas concentrações e distribuições, além de confirmar a presença de mesopertitas em todas as variedades identificadas, tratadas globalmente como verde e cinza.

Os mapeamentos por EDS nas variedades acinzentadas mostram altas concentrações de Al^{3+} , K^+ e Na^+ relacionadas ao feldspato alcalino e Ca^{2+} , Fe^{3+} e Ti^{4+} associados à egirina-augita. Há ainda Fe^{3+} e Ti^{4+} em menores concentrações associados à biotita secundária, produto de alteração da egirina-augita. Os mapeamentos da variedade cinza estão representados pelas imagens apresentadas na Figura 20.

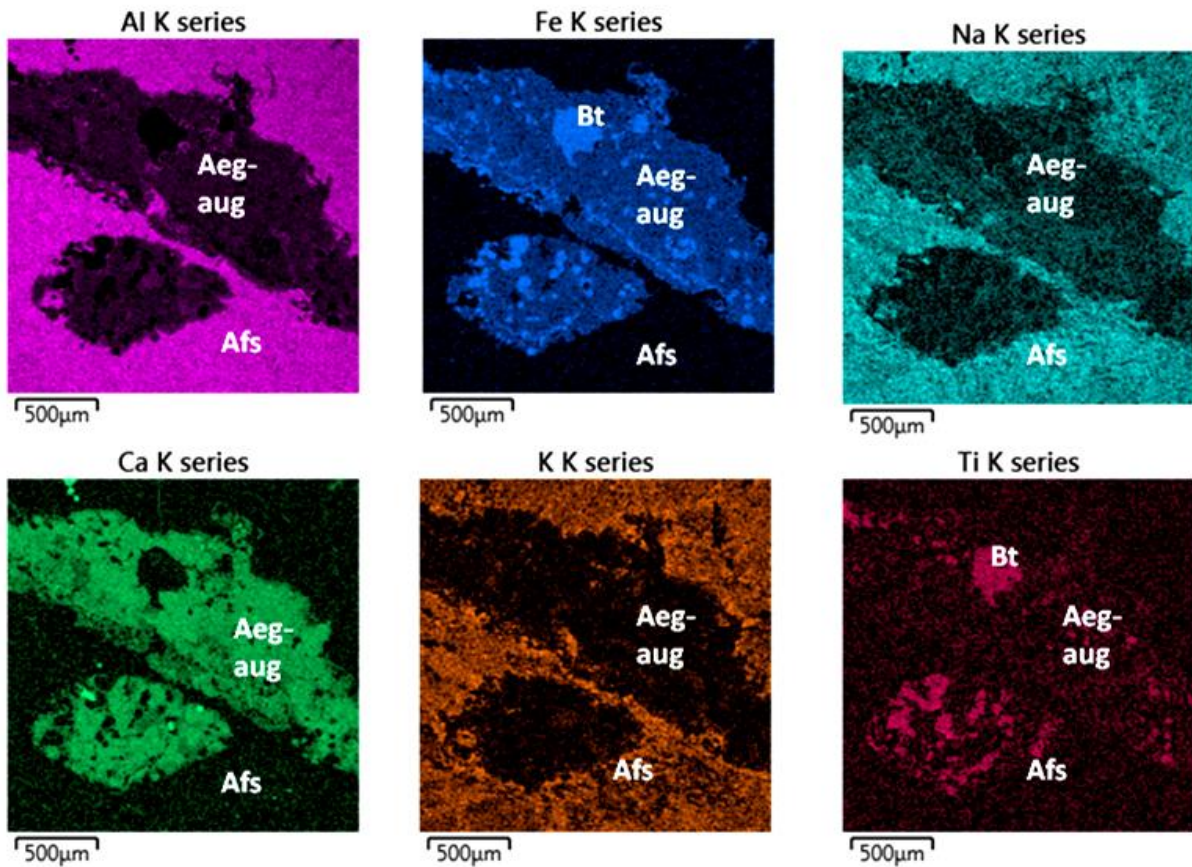


Figura 20 - Al e K nas porções da amostra formadas por feldspato alcalino (Afs). A presença de Ti, Fe, e Ca associa-se à egirina-augita (Aeg-aug). Ti e Fe associam-se igualmente à biotita (Bt) originada por alteração do piroxênio.

A seguir o mapa de elementos químicos sobrepostos de variedade cinza (FIGURA 21).

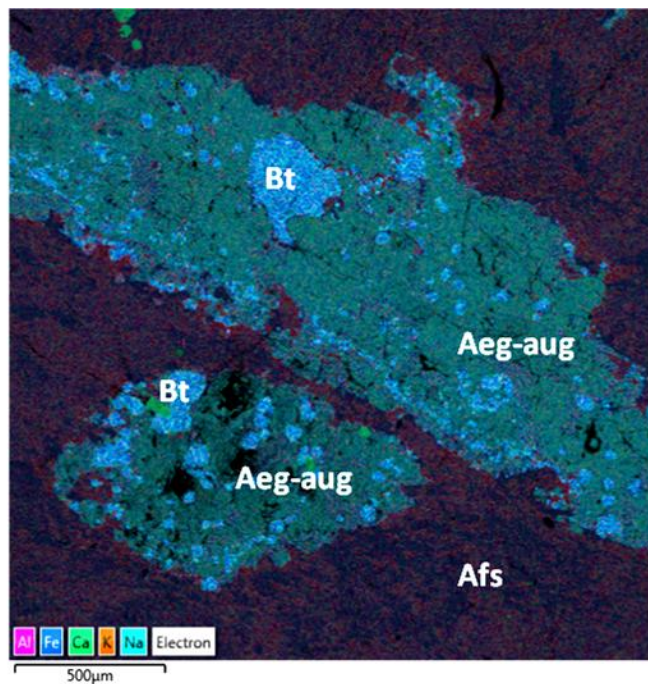


Figura 21 - Mapa de elementos químicos sobrepostos de variedade cinza. Nota-se a presença de Na e K nas porções da amostra formadas por feldspato alcalino (Afs). A presença de Ti, Fe e Ca associa-se à egirina-augita (Aeg-aug). Ti e Fe associa-se igualmente à biotita (Bt) originada por alteração do piroxênio.

Para as variedades esverdeadas, também há altas concentrações de Al^{3+} em associação com o feldspato alcalino e mesopertitas. O Mg^{+2} e secundariamente o Fe^{3+} e Al^{3+} estão associados aos piroxênios e Ti^{+4} e também o Fe^{+3} relacionados à biotita secundária (FIGURA 22).

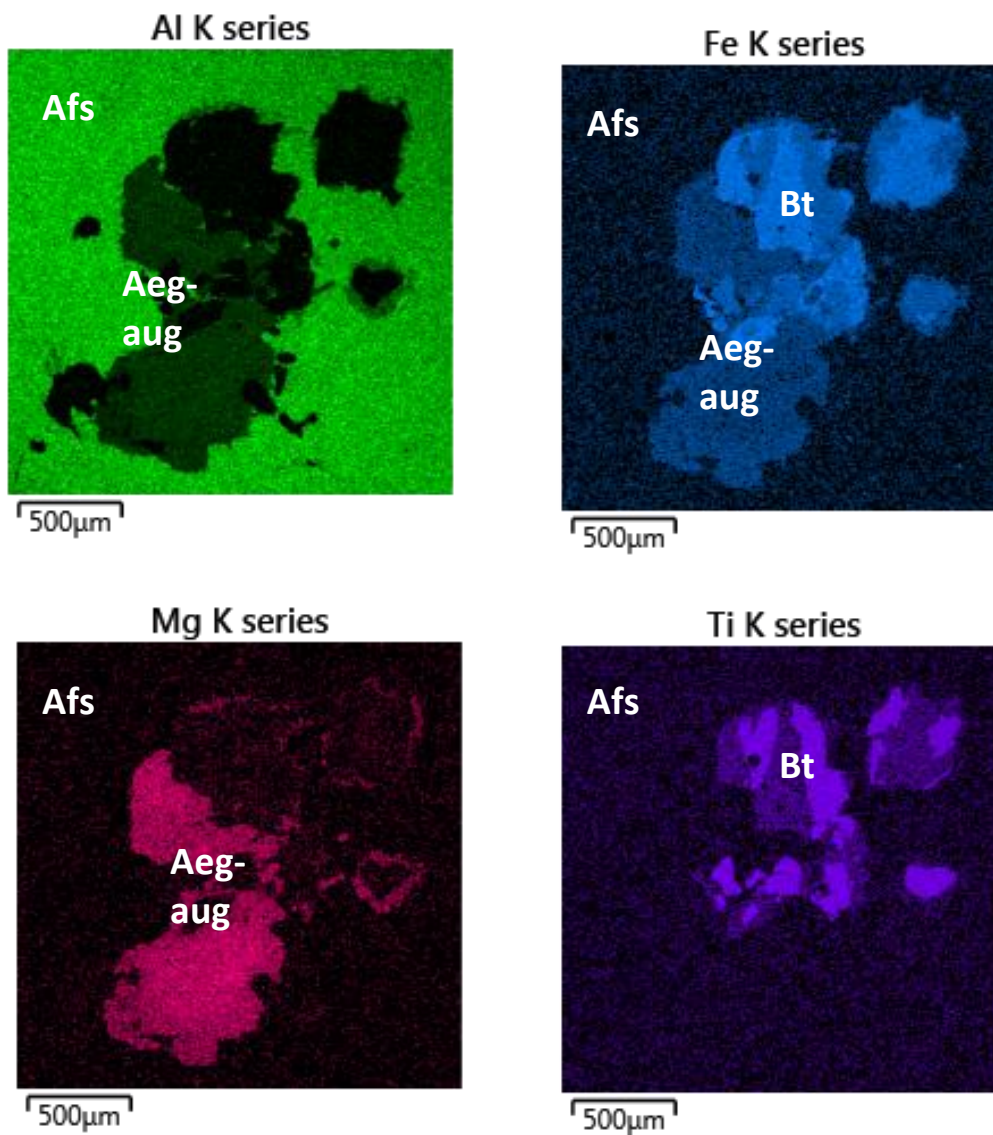


Figura 22 - Mapeamento químico realizado em amostra da variedade verde. Nota-se a presença de Al nas porções da amostra formadas por feldspato alcalino (Afs). A presença de Mg, Fe e Al associa-se à egirina-augita (Aeg-aug). Ti e Fe associam-se igualmente à biotita (Bt) originada por alteração do piroxênio.

No mapeamento de elementos químicos sobrepostos de variedade verde nota-se claramente a relação de inclusão biotita na egirina-augita (FIGURA 23).

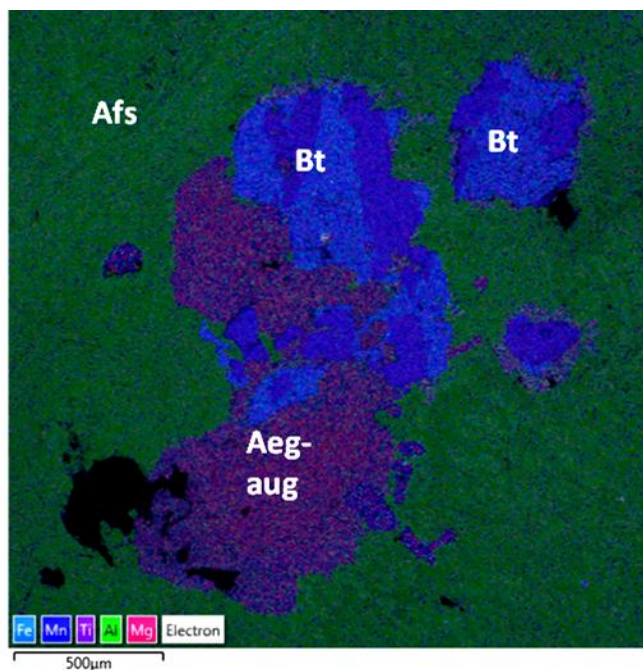


Figura 23 - Mapa de elementos químicos sobrepostos de variedade verde exibindo a relação de inclusão biotita (Bt) na egirina-augita (Aeg-aug).

Nas variedades esverdeadas é possível identificar P, indicando a presença de apatita. Em amostras da variedade verde acinzentada foram identificadas presença de Ce e La (FIGURA 24) associados à egirina-augita. No entanto esses elementos também podem estar relacionados à presença de minerais terras raras ou a apatita.

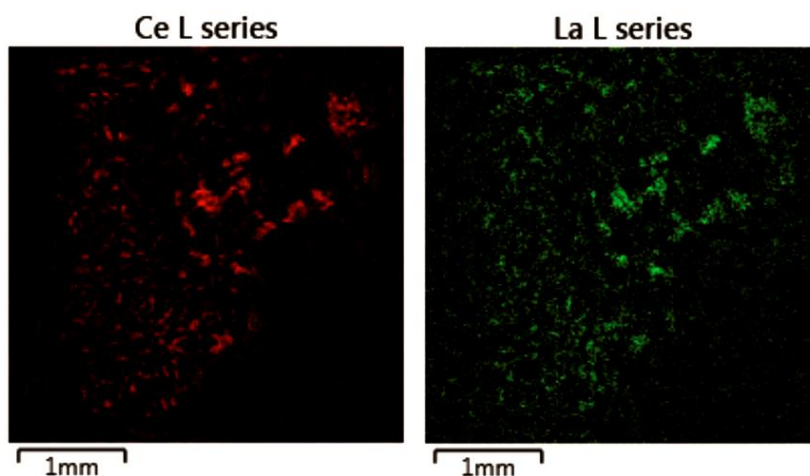


Figura 24 - Mapeamento químico de Ce e La da variedade verde acinzentada, ressaltando a distribuição dos elementos na egirina-augita (Aeg-aug).

Alguns mapas de elementos sobrepostos das variedades esverdeadas mostram relações interessantes de inclusões, principalmente de apatita, como observado nas Figuras 25 e 26.

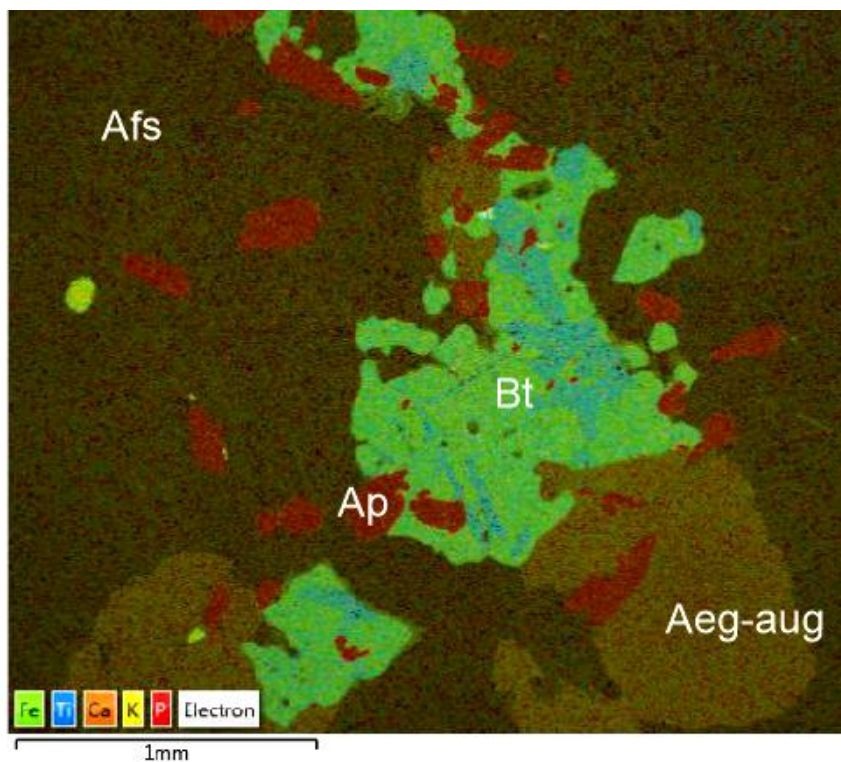


Figura 25 - Mapeamento químico sobrepostos de variedade esverdeada da amostra CTF 08 E exibindo a relação de inclusão da apatita (Ap) na egrina-augita (Aeg-aug).

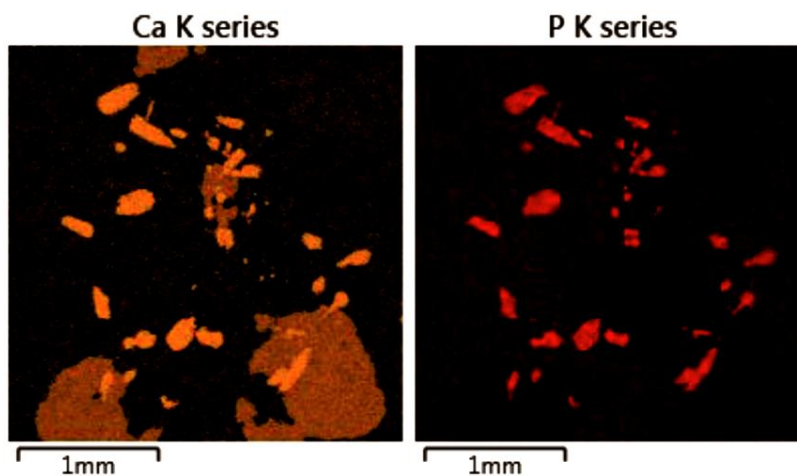


Figura 26 - Mapeamento químico para Ca e P de variedade verde acinzentada, evidenciando as inclusões de apatita (Ap) na egrina-augita (Aeg-aug).

Análises pontuais semi-quantitativas totalizando 82 pontos em feldspatos incluindo mesopertitas, (FIGURA 27) e cálculo da fórmula estrutural com base em 8 oxigênios (APÊNDICE 2) revelam uma grande dispersão entre as variedades verde e cinza, incluindo desde os membros mais potássicos (Or) até os membros mais sódicos (Ab). Nota-se, porém uma concentração de amostras da variedade verde nos campos da albita e oligoclásio, segundo Deer *et al.* (2010), revelando uma concentração mais cálcica da variedade esverdeada.

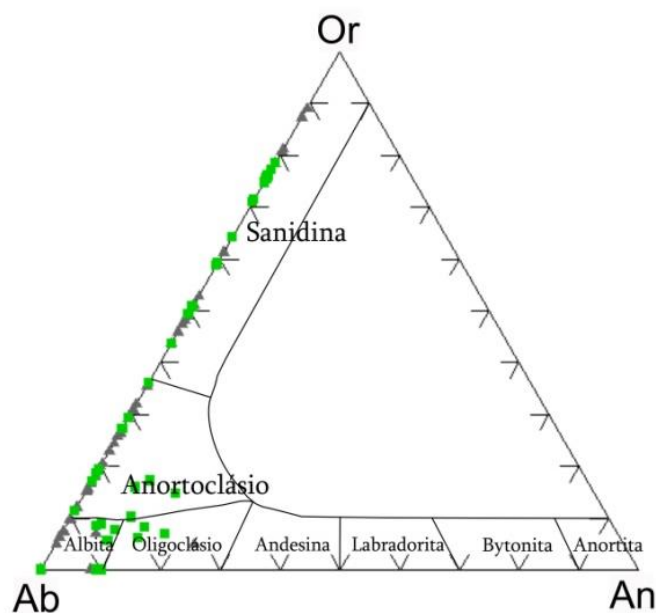


Figura 27 - Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza. Dados MEV.

Análises pontuais semi-quantitativas também foram realizadas para os piroxênios (APÊNDICE 4), onde constam também a fórmula estrutural calculada com base em 6 oxigênios.

Para a classificação do piroxênio foram usados, primeiramente o diagrama de Morimoto (1988), usando-se a soma $Ca + Mg + Fe^{+2}$ contra $2Na$ (FIGURA 28), observa-se que o sienito da variedade verde encontram-se restrito no tipo *Quad* de Morimoto, ricos em $Ca + Mg + Fe^{+2}$, já o sienito da variedade cinza enquadra-se no campo dos piroxênios Ca-Na.

Os piroxênios do campo *Quad* foram projetados no diagrama Wo – En – Fs (FIGURA 29) de Morimoto (1988) e os do campo Ca-Na foram projetados no diagrama Ae – Di – Hd (FIGURA 30), encontrado em Schilling *et al.* (2011).

Com base nesses gráficos, nota-se que os sienitos da variedade verde apresentam composição cálcica, sendo classificados preferencialmente como hedembergita. Algumas amostras encontram-se no limite com a augita e apenas uma no campo do diopsídio, revelando uma composição mais férrica do que magnésiana nesta variedade. Já os piroxênios encontrados na variedade cinza, classificam-se como egrina-augita, apresentando uma composição sódico-cálcica.

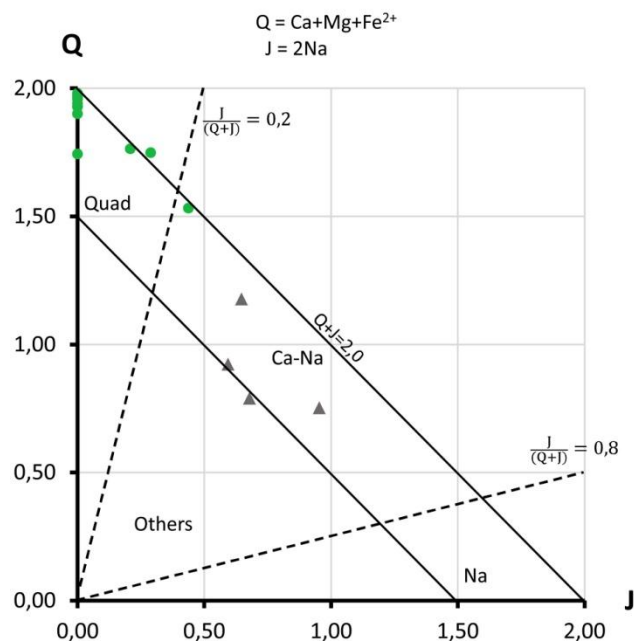


Figura 28 - Diagrama Quad ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$) – J(2Na) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas, dados EDS. Círculos = variedade verde; Triângulos = variedade cinza.

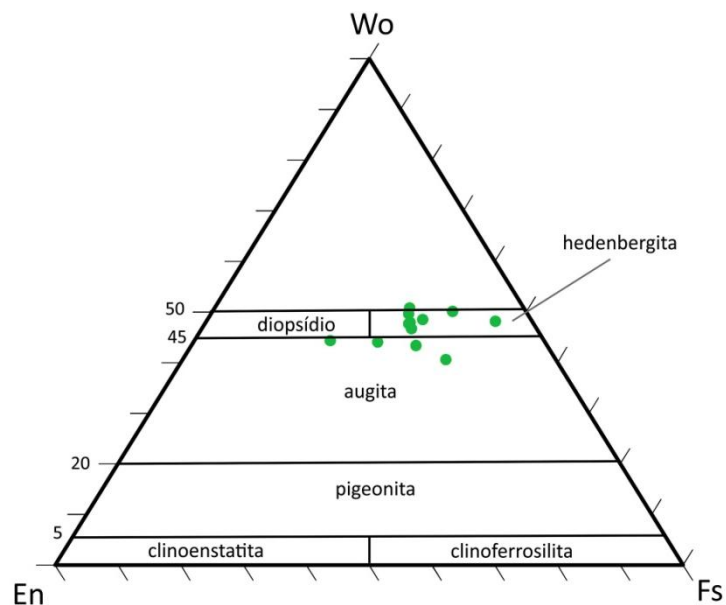


Figura 29 - Diagrama Wollastonita (Wo) – Enstatita (En) – Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas, dados EDS. Legenda idem figura 27.

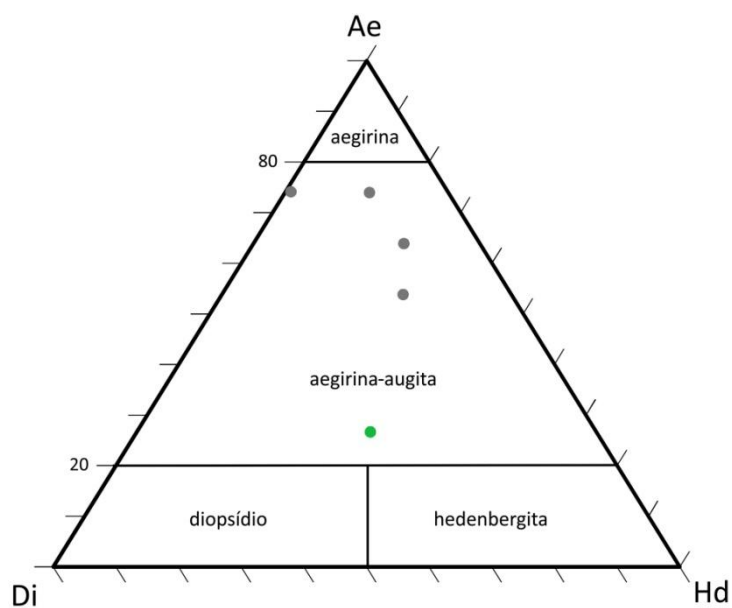


Figura 30 - Diagrama Ae (Egirina) – Di (Diopsídio) – Hd (Hedenbergita) de Schilling et al. (2011) para piroxênios do sienito Tunas, dados EDS. Legenda idem figura 27.

Já as análises pontuais semi-quantitativas para o anfibólio com base em 23 oxigênios, além de valores de $\text{FeO}_{\text{total}}$ expressos em FeO e Fe_2O_3 (APÊNDICE 6), onde constam também a fórmula estrutural, foram realizadas

apenas na variedade cinza, pois se conseguiu limites melhores definidos do que na variedade verde para a realização das análises pontuais.

Com base na classificação de Leake (1978), todos os cristais de anfibólio são definidos como cálcicos com $Ca_B \geq 1,5$ e $(Na + K)_B \geq 0,5$ e $Ti < 0,5$. A projeção dos dados no diagrama $Mg/(Mg + Fe^{+2}) \times Si$ colocam os anfibólios do sienito Tunas como Fe-edenita, Fe-pargasita ($IVAl \geq Fe^{+3}$) e hastingsita ($IVAl < Fe^{+3}$) (FIGURA 31).

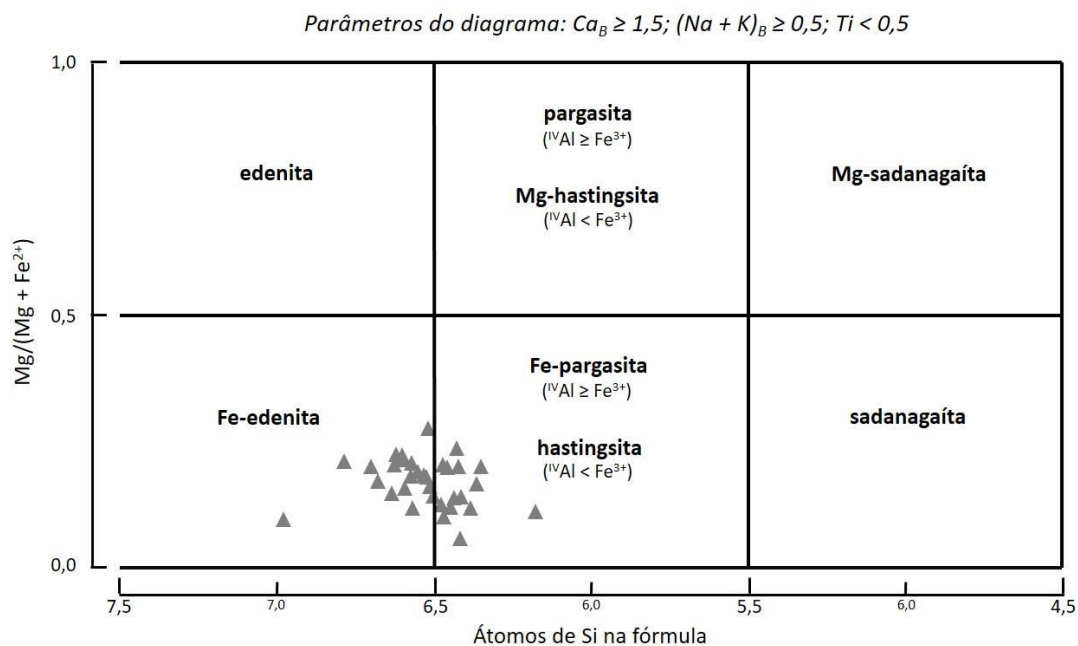


Figura 31 - Diagrama Si – $Mg/Mg + Fe^{+2}$ de Leake (1978) para anfibólios da variedade cinza do sienito Tunas.

As biotitas foram analisadas para 16 óxidos, sendo sua fórmula estrutural calculada com base em 22 átomos de oxigênio, com Al calculado com base em átomos por fórmula unitária e FeO_{total} foi estimado como FeO (APÊNDICE 7).

As análises foram realizadas apenas na variedade cinza, pois assim como nos anfibólios, conseguiu-se limites melhores definidos do que na variedade verde para a realização das análises pontuais.

As biotitas foram analisadas no diagrama Al – $Mg - Fe^{+2}$ de Rock (1982) (FIGURA 32), onde os minerais analisados, exceto um, encaixam-se no campo

da annita, apresentando composição mais férrica do que magnesiana para estes minerais.

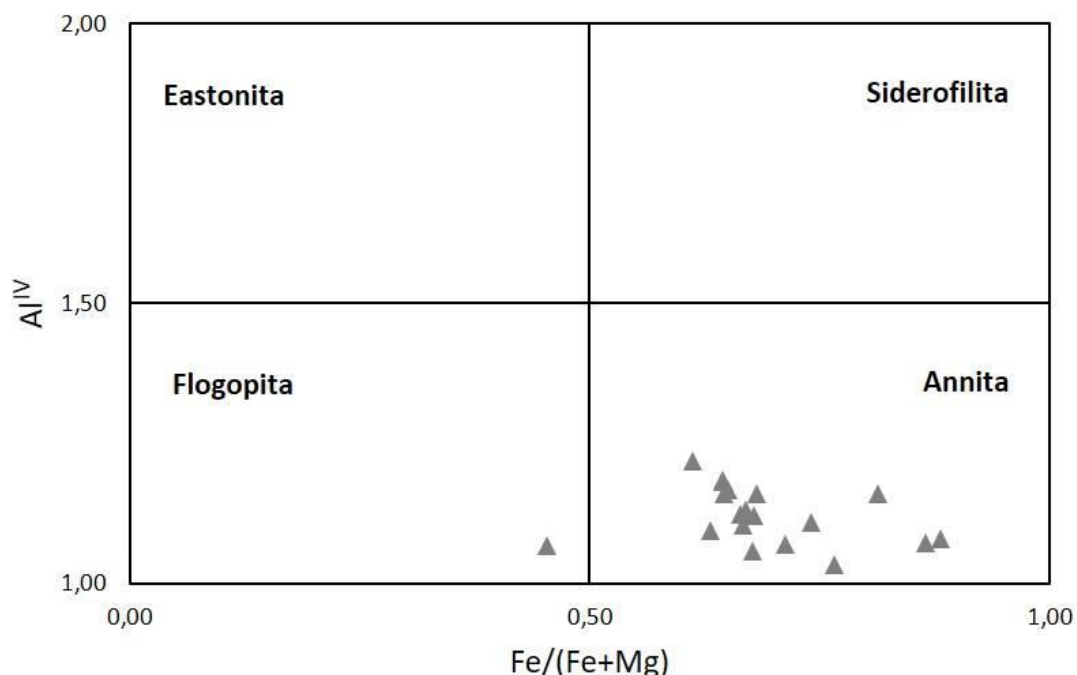


Figura 32 - Diagrama Al – Mg – Fe⁺² de Rock (1982) para biotita da variedade cinza do sienito Tunas.

5.5. CATODOLUMINESCÊNCIA

5.5.1. Princípios da técnica

Luminescência é a transformação de diversos tipos de energia em luz visível e resulta de uma transição de emissão de ânions, moléculas, ou um cristal do estado eletrônico excitado para o estado fundamental, ou estado de menor energia. O processo inclui três etapas fundamentais: absorção de energia de excitação e estimulação do sistema para um estado excitado; transformação e transferência da energia de excitação e emissão de luz de relaxamento do sistema em uma condição de não excitação (Götze, 2012).

Na luminescência de sólidos a CL permite identificar defeitos na estrutura de minerais. Os defeitos que causam CL podem ser relacionados à rede cristalina, incorporação de outros elementos como elementos terras raras

(ETR), Mn^{+2} e Cr^{+3} . Portanto, diferentes fases podem ser contrastadas, assim como defeitos estruturais, zoneamentos e estruturas internas podem ser revelados pelo uso dessa técnica. Além disso, a aplicação da medição espectral da CL e elementos ativadores traço permite que sejam determinados a sua valência e posição estrutural.

A luminescência de um certo íon depende fortemente da sua posição no cristal e do campo cristalino. Se a influência do campo do cristal é fraca, a emissão de luminescência resultante é caracterizada por linhas de emissão estreitas, isso ocorre com a maioria dos íons trivalentes de ETR. Entretanto, se as transições de elétrons se realizam em níveis de energia que são influenciados pelo campo local do cristal, os espectros de emissão de luminescência mostram bandas relativamente largas. Devido à dependência do deslocamento de Stokes na força do campo do cristal local, o comprimento de onda da emissão de luminescência de cada um dos elementos ativadores varia de mineral para mineral. Deslocamentos das bandas de emissão da luminescência também podem ser observados em cristais de composição mista, como por exemplo na emissão de soluções sólidas de feldspatos (GÖETZE, 2012).

Condições de luminescência ocorrem em substâncias cristalinas impuras, onde a substituição iônica na estrutura do cristal atua seja como ativador, seja como inibidor da luminescência. A técnica envolve o bombardeamento por elétrons num sistema de vácuo, com subsequente produção de luz a partir dos átomos em estado excitado (PIERSON, 1981; MARSHALL, 1988; WALKER *et al.*, 1989).

Para o feldspato alcalino, a emissão de catodoluminescência na cor azul está comumente relacionada a defeitos estruturais das ligações dos tetraedros de Al-O-Al, e/ou presença de certos cátions de ETR como Eu^{2+} , Tb^{3+} , Er^{3+} ou Cr^{3+} na sua estrutura cristalina, variando o valor de emissão em CL e, conseqüentemente, o ativador de luminescência (MacRae e Wilson, 2008).

5.5.2. Resultados

As **variedades verdes** mostram feldspato alcalino com intensa luminescência em cor azul, comumente mais intensa nas porções centrais do cristal. Próximo ao contato com cavidades miarulíticas preenchidas por minerais xenomórficos (possivelmente epidoto) e em fraturas exibem cor vermelha com intensa luminescência (FIGURA 36). Na amostra AB-07 verifica-se que as porções turvas do feldspato, identificadas ao microscópio óptico de luz transmitida, fornece CL na cor vermelha com forte luminescência, ocorrendo comportamento semelhante associado a intercrescimentos peritéticos e porções do cristal que exibem geminação polissintética, afetados por processo de albitização. Nesta rocha, fraturas são preenchidas por carbonato, com intensa luminescência em cores vermelha e amarela (FIGURA 33).

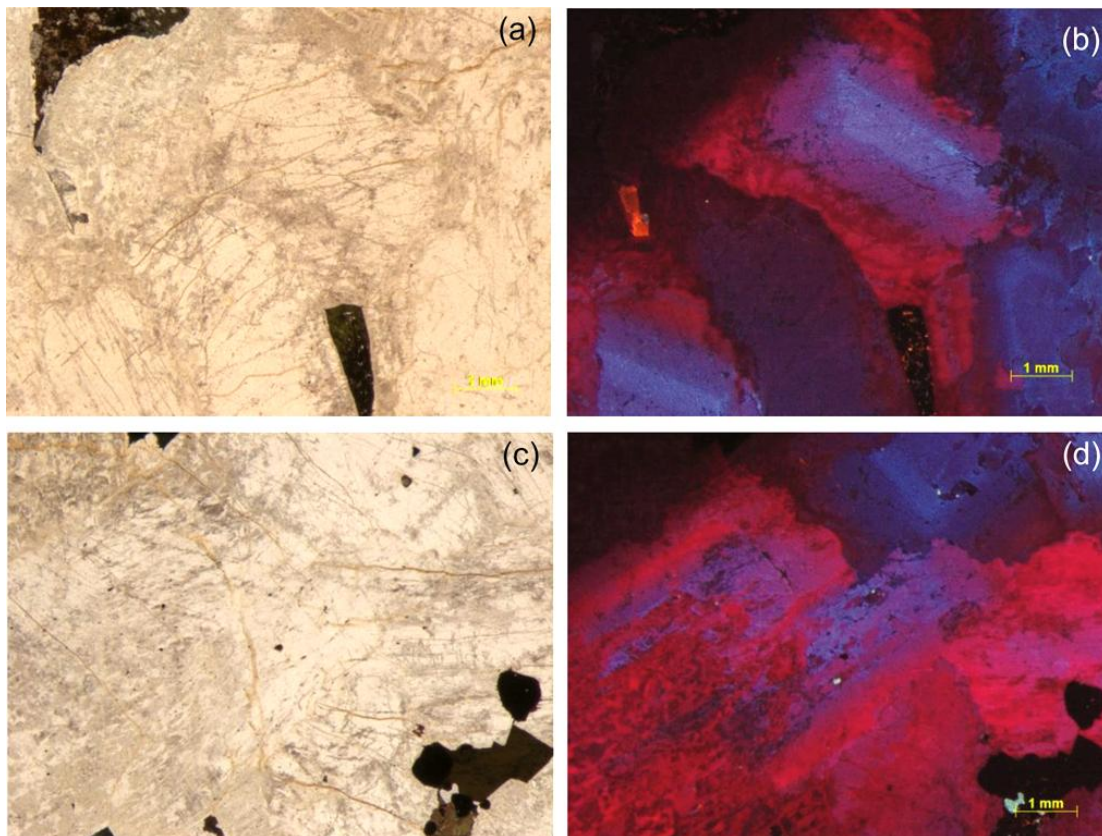


Figura 33 - Figura 33 - (a) (c) Fotomicrografia de sienito da variedade verde. PP. (b) (d) Idem em CL. Observa-se cor vermelha com luminescência intensa nas bordas e porções mais turvas do cristal e cor azul nas porções centrais, mais límpidas. Piroxênio é não luminescente.

Apatita exibe intensa luminescência amarela a amarelo-alaranjada; carbonato tem cor de luminescência laranja intenso e minerais não luminescentes são olivina, piroxênios e seus sub-produtos de alteração (anfíbólio e biotita) (FIGURA 34).

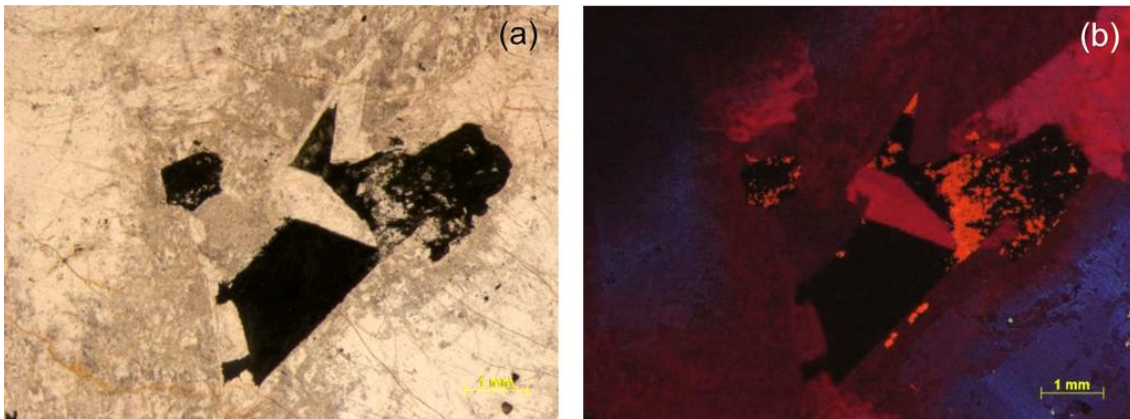


Figura 34 - (a) Fotomicrografia em microscópio óptico de transmissão da amostra da variedade verde do sienito. PP (b) Idem em CL. Feldspato alcalino exibe cor azul nas porções límpidas e vermelha onde a turbidez é mais acentuada. Piroxênio e anfibólio não são luminescentes; carbonato apresenta luminescência laranja.

Nas **variedades cinzas** os feldspatos alcalinos exibem, em CL, intensa luminescência vermelha, associada à maior turbidez apresentada pelo minerais nestas variedades. Por vezes não se observa variação de cor de luminescência da borda para o centro dos cristais, comum nas variedades verdes descritas anteriormente. Foi observado em amostra desta variedade mineral com intensa luminescência amarela a amarelo-esverdeada, com zoneamento de cores, semelhante à baddeleyíta (FIGURA 35).

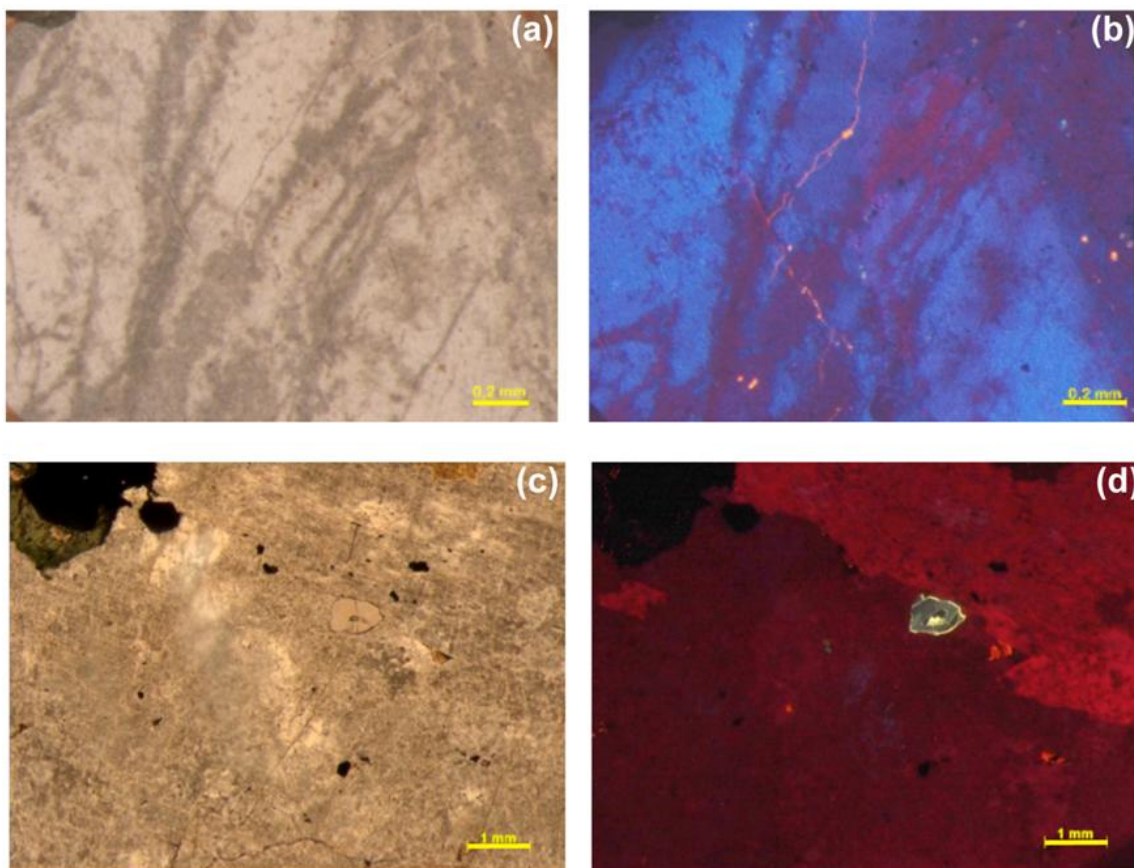


Figura 35 - (a) e (c) Fotomicrografia de sienito da variedade cinza (b) e (d) Idem em CL. A cor vermelha associa-se às porções do cristal com maior turbidez e cor azul restringe-se à porções mais límpidas. Em (d) nota-se mineral com intensa cor amarela a amarelo-esverdeada, com zoneamento.

CL realizada na variedade verde no contato traquito-sienito, mas realizada apenas na variedade vulcânica revelou, diferentemente do que é encontrado nas variedades verdes e acinzentadas, o centro dos cristais com luminescência vermelha, associada à maior turbidez e a borda com luminescência azul, associando-se com as porções mais límpidas do cristal (FIGURA 36).

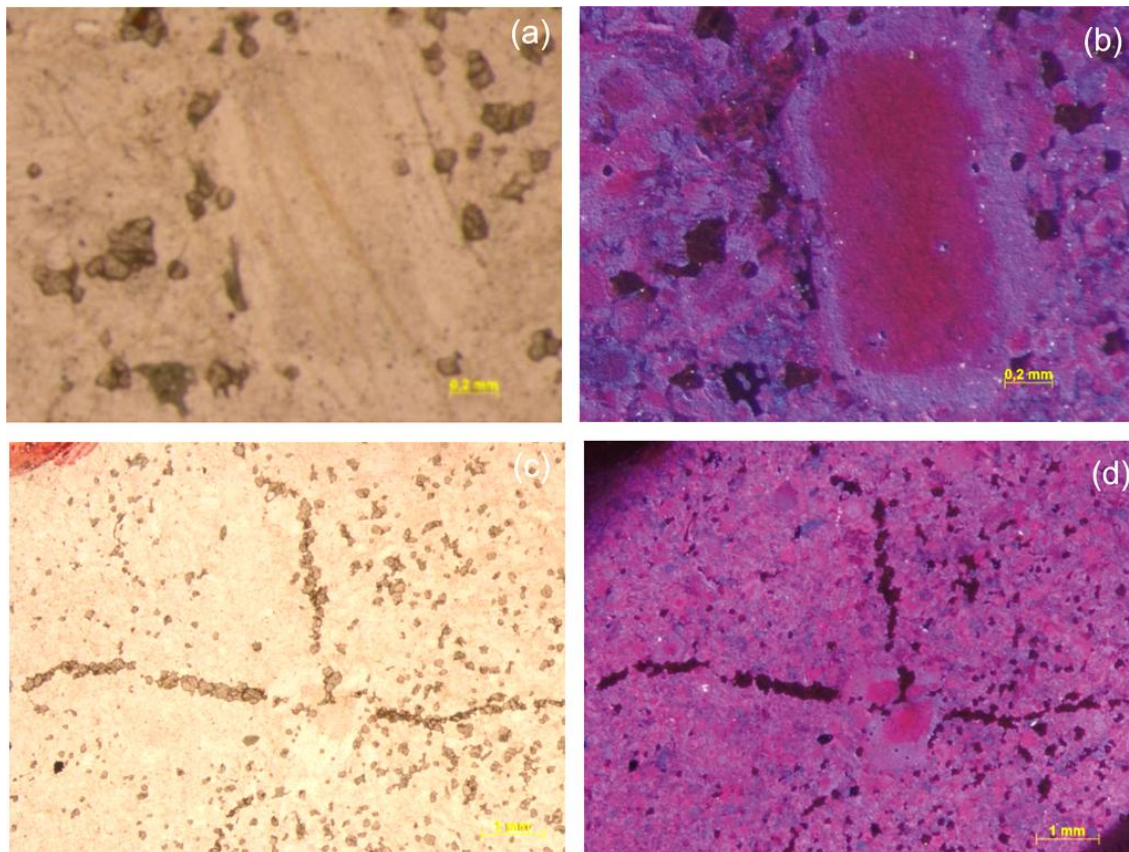


Figura 36 - (a) e (c) Fotomicrografia de traquito. (b) e (d) Idem em CL. A cor vermelha associa-se às porções do cristal com maior turbidez (centro do cristal), já a cor azul restringe-se às porções mais límpidas (bordas do cristal). Piroxênio é não luminescente.

A análise espectral realizada em CL acoplada ao MEV mostra, para a **variedade cinza**, picos com intensidade próxima de 420 nm, correspondendo à cor azul do espectro de luz visível que, de acordo com McRae e Wilson (2008) correspondem a Eu^{2+} como cátion ativador. Uma segunda intensidade, superior à primeira, ocorre próximo de 730 nm, tendo o Fe^{3+} como responsável pela ativação da luminescência (FIGURA 37). Foram realizadas análises em fenocristais de feldspato alcalino e na matriz da rocha. O comportamento espectral é semelhante em ambos os minerais, exceto no caso do feldspato matricial, onde se observa pico em torno de 467 nm, com intensidade de contagem moderada, correspondendo ao Er^{3+} como ativador da luminescência.

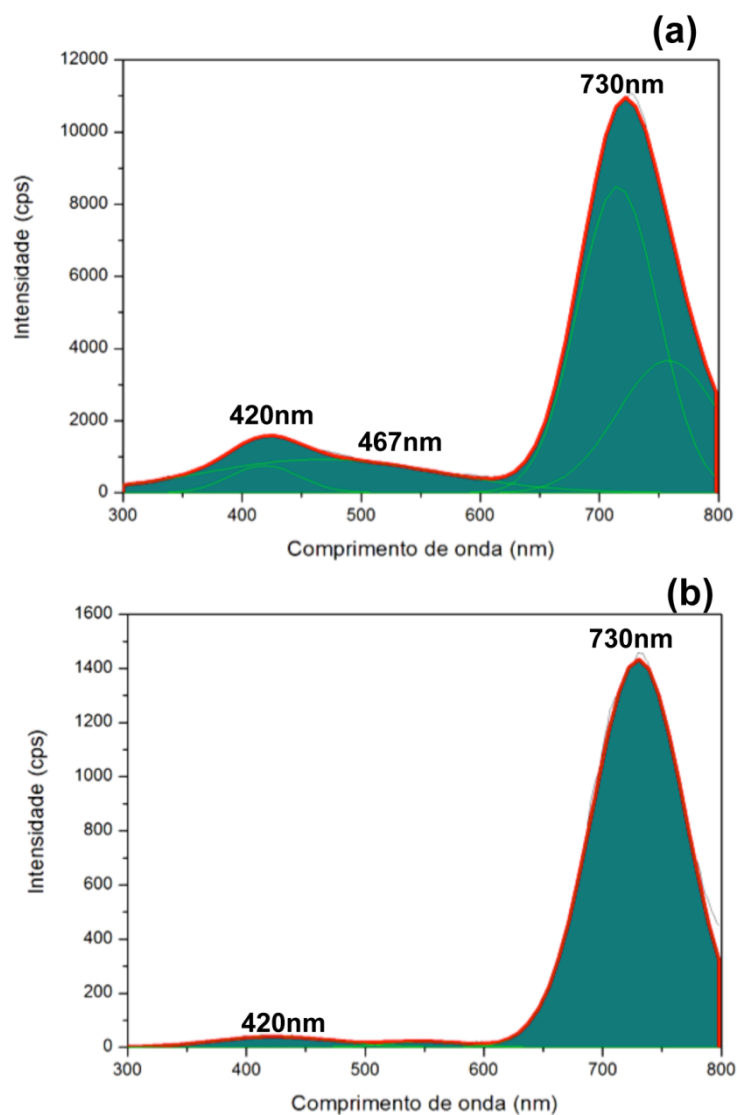


Figura 37 - Espectros em CL-MEV obtidos em amostras da variedade cinza, onde se observam (a) (b) os picos principais ~420 nm com ativador de luminescência Eu^{2+} e o pico de ~730 nm sendo o Fe^{3+} como ativador. Na Análise matricial (a) o pico de ~467nm tem como ativador de luminescência o Er^{3+} .

A variedade **cinza-esverdeada** mostra picos com intensidade próxima a 425 nm, sendo o Eu^{2+} o cátion ativador de luminescência, além de outro pico próximo a 730 nm, onde o Fe^{3+} é o ativador de luminescência. Observam-se picos secundários, identificados na Figura 38.

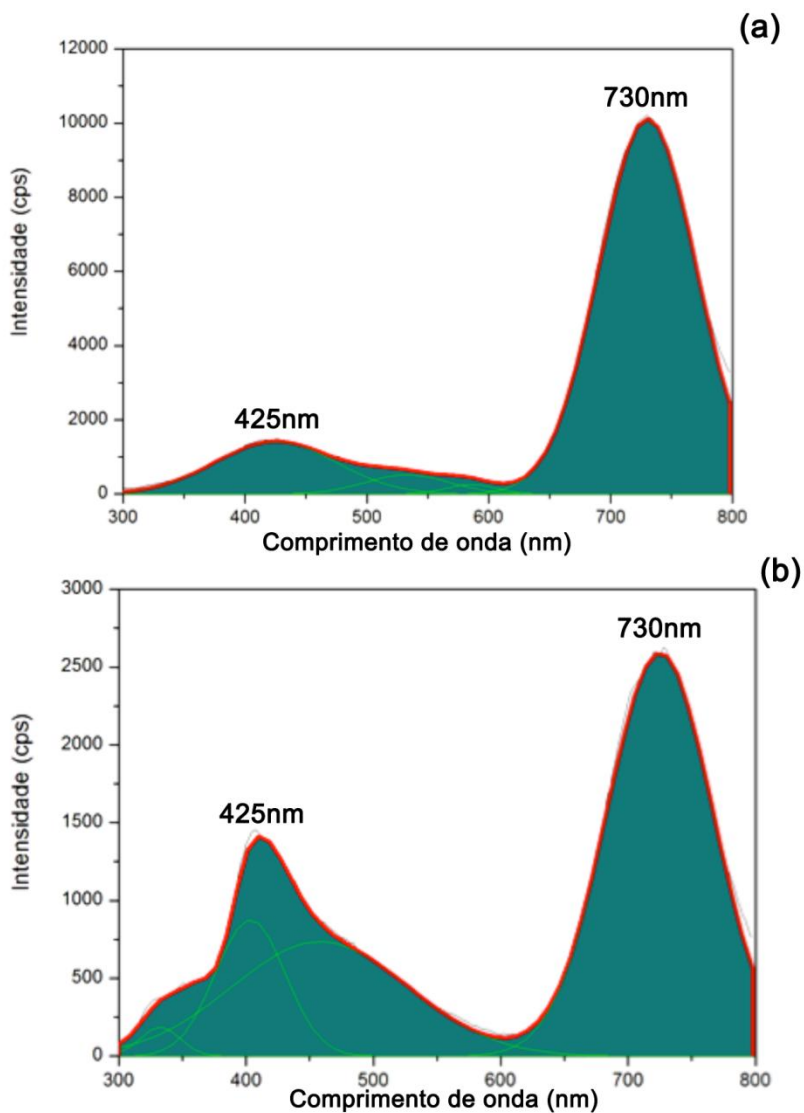


Figura 38 - Espectros em CL-MEV obtidos em amostras da variedade cinza-esverdeada mostrando (a) (b) os picos principais de ~425 nm, com ativador de luminescência o Eu^{2+} e o pico de ~730 nm o Fe^{3+} como ativador.

Na variedade **verde-acinzentada** os picos com intensidade próxima de 412 nm correspondem a Tb^{3+} , além de um defeito estrutural na ligação Al-O-Al, como ativadores de luminescência e o próximo de 731 nm tem o Fe^{3+} como principal ativador (FIGURA 39).

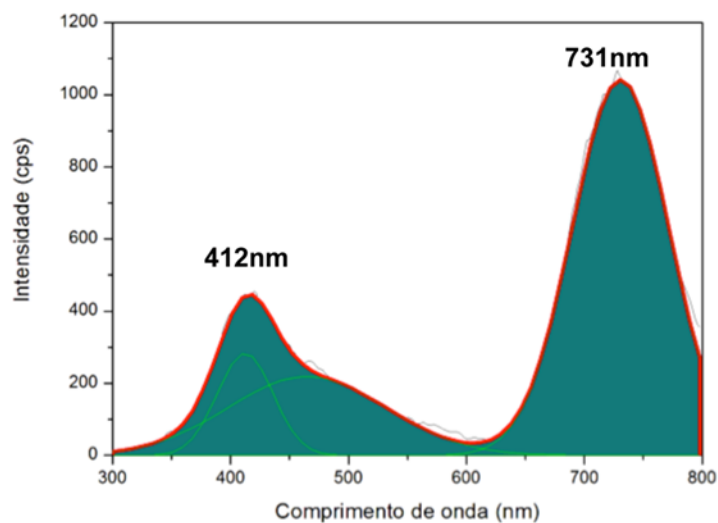


Figura 39 - Espectro em CL-MEV obtido em amostra da fácies verde-acinzentada mostrando o pico principal de ~412 nm com ativador de luminescência sendo o Tb^{3+} , além de um defeito na ligação Al-O-Al e o pico de ~731 nm sendo o Fe^{3+} como ativador.

Na variedade verde no contato traquito-sienito são observados picos principais em torno de 410 nm, sendo o Er^{3+} , Eu^{2+} e/ou Tb^{3+} os cátions ativadores da luminescência; um pico próximo a 727 nm corresponde ao Fe^{3+} como elemento ativador. Observam-se picos intermediários, mostrados na Figura 40.

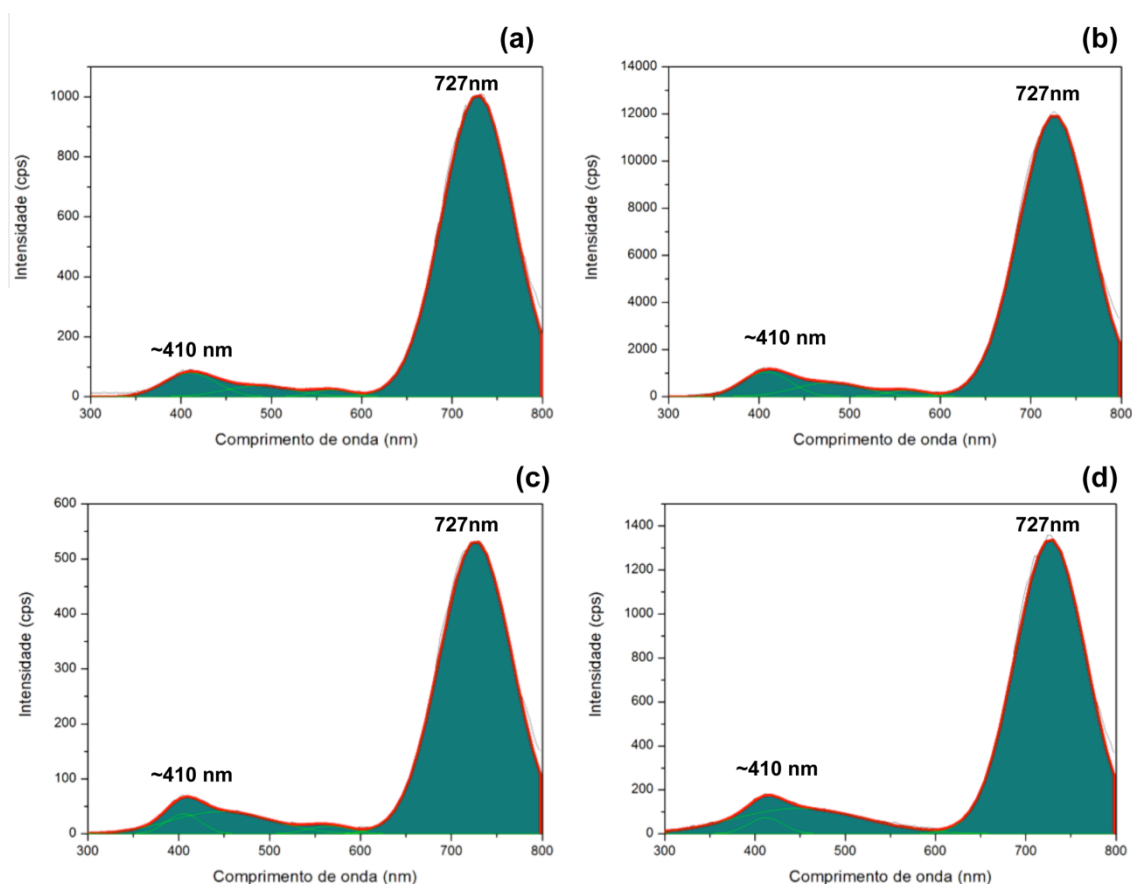


Figura 40 - Espectros obtidos em amostras da fácies verde no contato traquito-sienito, mostrando (a) (b) (c) e (d) os picos principais ~ 410 nm sendo o Er^{3+} , Eu^{2+} e/ou Tb^{3+} os cátions ativadores da luminescência e o pico de ~ 727 nm o Fe^{3+} como ativador.

5.6. INFRAVERMELHO

5.6.1. Princípios da técnica

Segundo Sala (1996) a técnica tem como fundamento a espectroscopia vibracional, estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria, onde o objetivo é a determinação dos níveis de energia vibracionais de átomos ou moléculas. A análise do espectro infravermelho pode dizer quais moléculas estão presentes em uma amostra e em que concentrações (esta segunda, por tratamentos de dados). O espectro do infravermelho (10^{12} a 10^{14} Hz) é comumente obtido pela passagem da radiação infravermelha através de uma amostra e determinação da fração da radiação incidente que é absorvida em cada energia ou comprimento de onda. A frequência ou comprimento de onda

de absorção de uma radiação depende das massas relativas dos átomos, das constantes de forças das ligações e da geometria dos átomos na estrutura do composto (HAACK, 2010).

O espectrômetro mais utilizado para análise de infravermelho é o FTIR (*Fourier Transform Infrared*). É comum na análise de absorção de infravermelho um intervalo espectral de 400 a 4.000 cm^{-1} , que corresponde a energias vibracionais na faixa do infravermelho médio. A escala de energia em cm^{-1} corresponde ao número de ciclos de uma onda por unidade de comprimento (em cm), chamado de número de onda (SMITH, 2011).

O espectro FTIR no eixo Y é representado pelas unidades de absorbância (A), que medem a quantidade de luz absorvida por uma amostra. Os picos se referem a números de onda nos quais quantidades significativas de luz são absorvida pela amostra (SMITH, 2011), que carregam informação da estrutura vibracional da amostra pelos modos normais de vibração (SALA, 1996). Além da absorbância, a intensidade dos picos pode aparecer como transmitância (%T), razão entre a energia radiante transmitida por uma amostra e a energia radiante que nela incide. A absorbância é o logaritmo do inverso da transmitância.

5.6.2. Resultados

A técnica utilizada para interpretação dos espectros de infravermelho deu-se por comparação dos dados mais recentes da literatura utilizada em feldspatos alcalinos de granitos e granodioritos (THEODOSOGLOU *et al.*, 2010).

O autor acima descreve seis picos relacionados a defeitos nas ligações no microclínio são eles: em 536 cm^{-1} ocorre flexão entre O-Si-O e deformação linear na ligação K – O; em 647 cm^{-1} há flexão na ligação O-Si(Al)-O; em 1010 e 1050 cm^{-1} há também a flexão da ligação O-Si(Al) e em 1090 e 1136 cm^{-1} há flexão na ligação Si-O. Desses seis picos propostos por THEODOSOGLOU *et al.* (2010) cinco ocorrem nos feldspatos alcalinos do sienito Tunas (FIGURA 41).

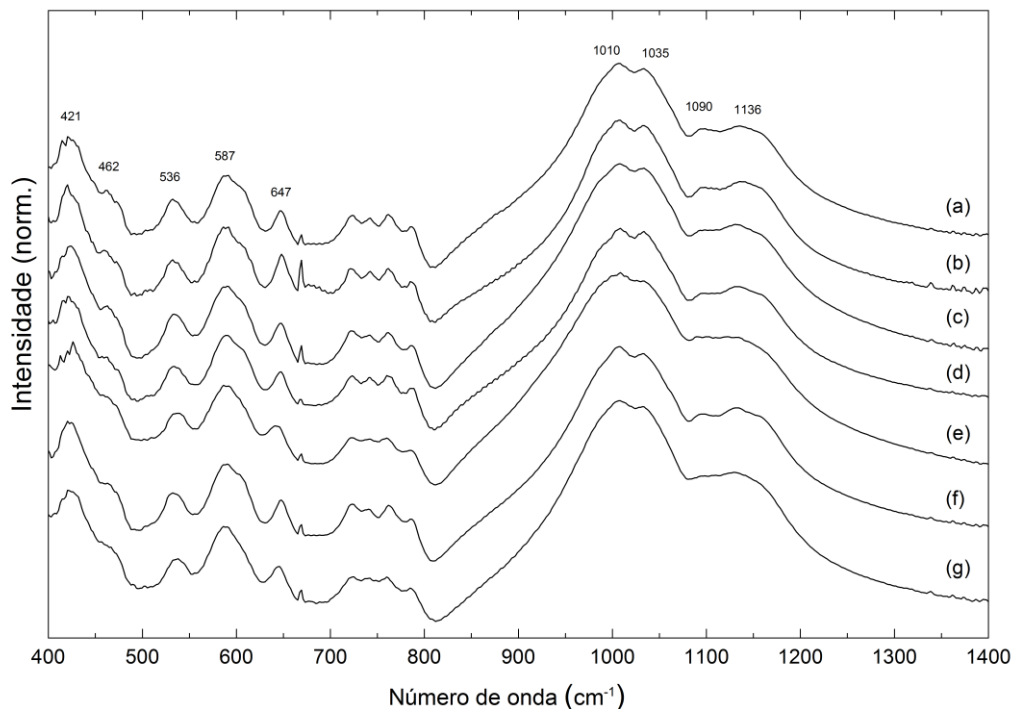


Figura 41 - - Espectro FTIR para feldspatos alcalinos do sienito Tunas. Amostras (a) CTF 2/1; (b) CTF 2/2; (c) CTF 5/5; (d) AB 09 referem-se à variedade cinza do sienito e (e) AB 06; (f) AB 07 e (g) AB 08 a variedade verde.

Os picos em 536 cm^{-1} , 647 cm^{-1} , 1010 cm^{-1} , 1090 cm^{-1} e 1136 cm^{-1} são bem visíveis e com exceção do pico em 1090 cm^{-1} encontram-se exatamente nas mesmas posições propostas por THEODOSOGLU *et al.* (2010). O pico de 1050 cm^{-1} pode estar mascarado ou sobreposto, o que justificaria a sua ausência nos feldspatos alcalinos do Tunas.

Notou-se, também, a presença de um pico em 542 cm^{-1} , que segundo o autor, estaria relacionado à flexão entre O-Si-O e deformação linear na ligação K-O em ortoclásio.

Os picos em 462 cm^{-1} e 587 cm^{-1} são comuns tanto ao microclínio quanto a sanidina e ao ortoclásio e apresentam, respectivamente, a flexão na vibração da ligação O-Si-O, flexão nas ligações K-O e O - Si(Al)-O.

A presença de quatro picos entre $700\text{ a }800\text{ cm}^{-1}$ pode estar relacionada, segundo o banco de dados RRUFF Project, a albita (referência R04006).

Observa-se também, um pequeno pico na região de 671 cm^{-1} que ocorre mais pronunciado nas amostras (b) CTF 2/2 e (c) CTF 5/5 e está, possivelmente, relacionado à absorção do gás carbônico ao longo da análise.

Não se notou diferença estrutural significativa entre as variedades cinzas e verdes. Nota-se, no entanto, uma múltipla contribuição das variedades K-Na do feldspato alcalino, representados pela presença de ortoclásio, microclínio e albita.

5.7. RIETVELD

5.7.1. Princípios da técnica

Segundo Gobbo (2003), o método Rietveld, desenvolvido por Hugo Rietveld, simula não só a integração de picos característicos de fases, mas sim de todo o difratograma de raios x (DRX). O procedimento permite refinar não só os parâmetros geométricos das fases presentes (parâmetros de cela e de perfil), como nos métodos precedentes, mas também considera as características cristalográficas, dando ao método do pó aplicação semelhante à difração de monocristal (câmeras). A maneira encontrada por Rietveld para quantificações é por comparação do espectro real de uma amostra com espectros teóricos simulados a partir de misturas hipotéticas das fases. A comparação é feita ponto a ponto e as diferenças encontradas em cada ponto são ajustadas pelo método dos mínimos quadrados.

Para poder aplicar este método é necessário conhecer a estrutura das fases componentes da mistura com um bom grau de aproximação e possuir dados difratométricos de boa qualidade. O método de mínimos quadrados é utilizado para o refinamento de parâmetros de cela unitária e vários outros processos que envolvem muitas variáveis (GOBBO, 2003).

Segundo Gobbo (2003), apesar de estabelecido desde o final da década de 60, o método de Rietveld passou a ser uma opção viável com a evolução das facilidades computacionais. O difratograma é tratado em forma digital, representado por uma coleção de milhares de pontos (em uma faixa limitada), sendo que cada ponto tem sua intensidade Y_i (medida diretamente do detector) e uma posição angular $2\theta_i$. A variação de um ponto para outro é feita em passos "i", determinados pelo operador. Um espectro de difração de pó de um material cristalino pode ser construído através de uma coleção de picos de reflexões individuais, cada qual com uma altura, uma posição, uma largura, bordas e uma área integrada, que é proporcional à intensidade de Bragg, IK ,

em que K representa os índices de Miller, h , k e λ de um determinado plano cristalino de uma dada fase. IK é proporcional ao quadrado do valor absoluto do fator de estrutura, $|FK|^2$, da referida fase. Muitas reflexões de Bragg contribuem para a intensidade Y_i , que é observada em qualquer ponto arbitrário i no padrão. As intensidades calculadas Y_i são determinadas pelos valores de $|FK|^2$ calculados por um modelo estrutural e constituem a soma das contribuições calculadas das vizinhanças das reflexões de Bragg mais sua linha de base (background).

Há parâmetros de refinamento que podem ser utilizados durante a utilização do método Rietveld. Os parâmetros aplicados na pesquisa segundo Carvalho (1996) foram:

- i. Fator de escala: corresponde à correção de proporcionalidade entre o padrão difratométrico calculado e o observado;
- ii. Parâmetros de cela: os parâmetros de cela podem ser corrigidos pela Lei de Bragg ($n\lambda=2d.\text{sen}\theta$), onde o espaçamento d está relacionado aos índices de Miller e , portanto, aos parâmetros de cela ($a, b, c, \alpha, \beta, \delta$). A indexação dos picos é feita levando-se em conta os parâmetros da cela e a intensidade calculada, o que mostra certa vantagem em relação a técnicas convencionais, pois todos os parâmetros que influenciam na discrepância dos valores de “ d ”, são manipulados conjuntamente com os das intensidades.
- iii. Orientação preferencial: correção de problemas gerados na preparação de amostra.
- iv. Perfil de pico: conjunto de funções analíticas em que se modelam efeitos relacionados ao perfil. Algumas equações analíticas são propostas para corrigir estes efeitos, como o caso da equação Gaussiana, Lorentziana e a equação que corrige a assimetria.

5.7.2. Resultado

Após aplicação do método Rietveld para a variedade cinza, constata-se que as razões albita/feldspato (Ab/Afs) alcalino variam entre 0,93 e 1,11, sendo a média igual a 1,03 (FIGURA 42 a). Já para a variedade cinza-esverdeada as

razões albita/feldspato alcalino variam entre 1,31 e 1,33, com média igual a 1,32 (FIGURA 42 b).

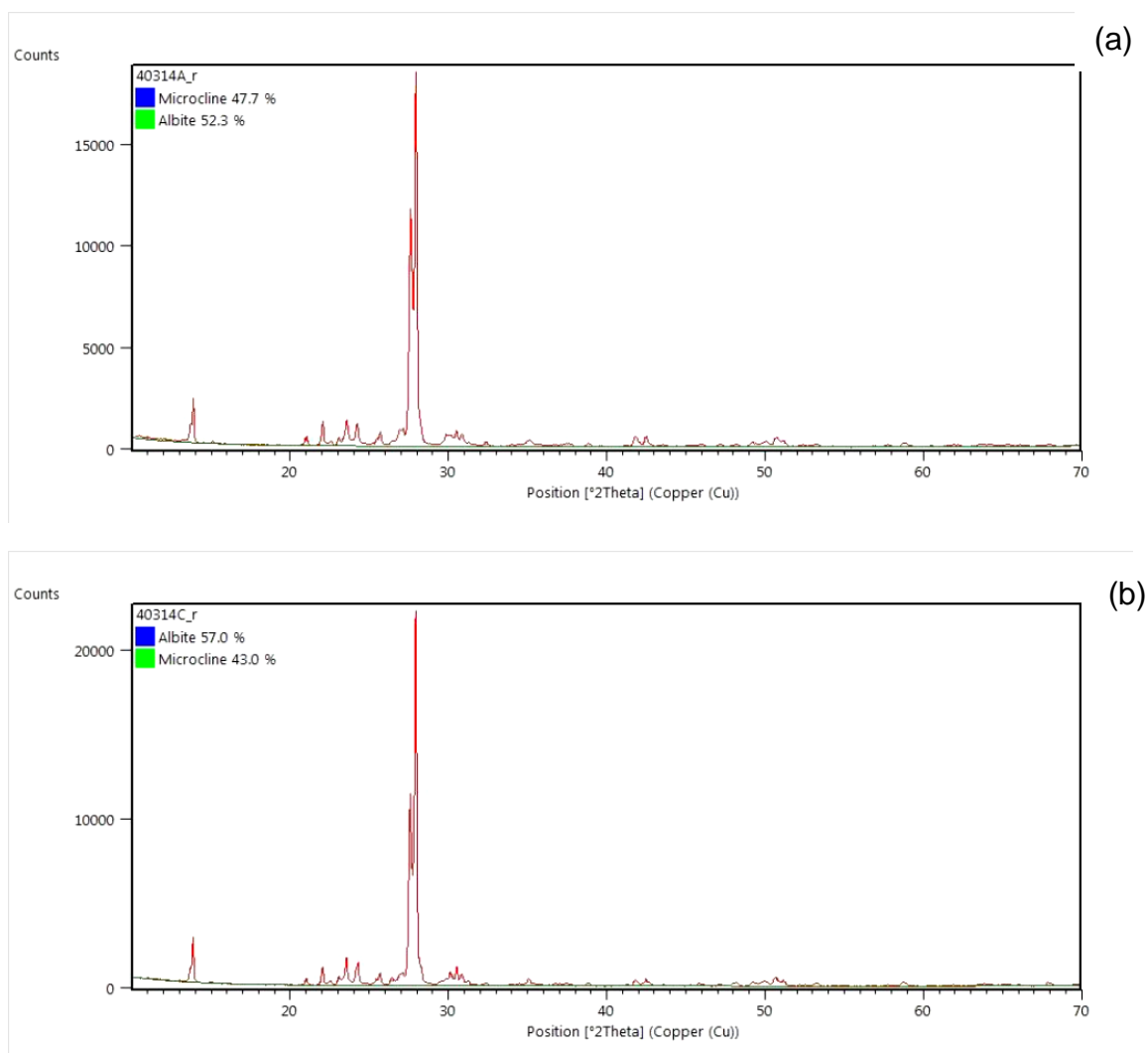
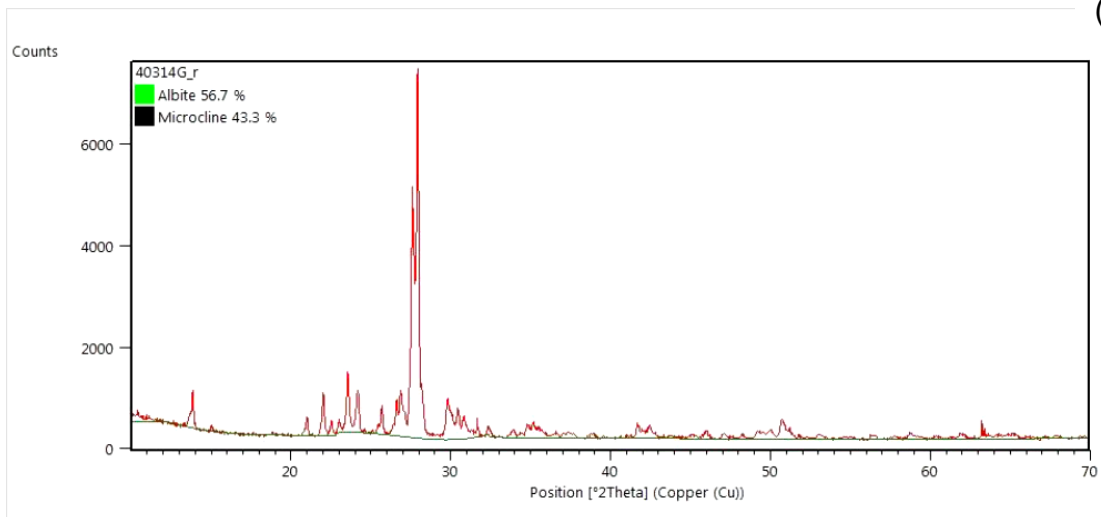


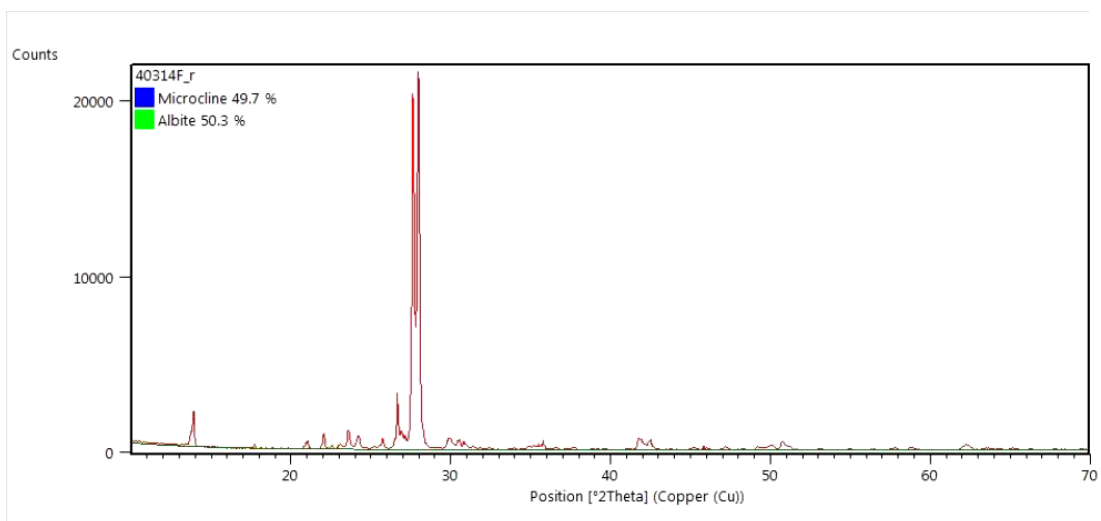
Figura 42 - Difratogramas da variedade cinza (a) e cinza-esverdeada (b) para cálculo das percentagens de albita e feldspato alcalino pelo método de Rietveld.

Para a variedade verde-acinzentada as razões albita/feldspato alcalino variam entre 1,01 e 1,23, sendo a média igual a 1,12 (FIGURA 43 c), já para a variedade esverdeada os valores das razões albita/feldspato alcalino variam entre 1,20 e 1,31, com média igual a 1,2 (FIGURA 43 d). Para variedade verde no contato traquito-sienito a razão albita/feldspato alcalino deu-se em torno de 1,33 (FIGURA 43 e).

(c)



(d)



(e)

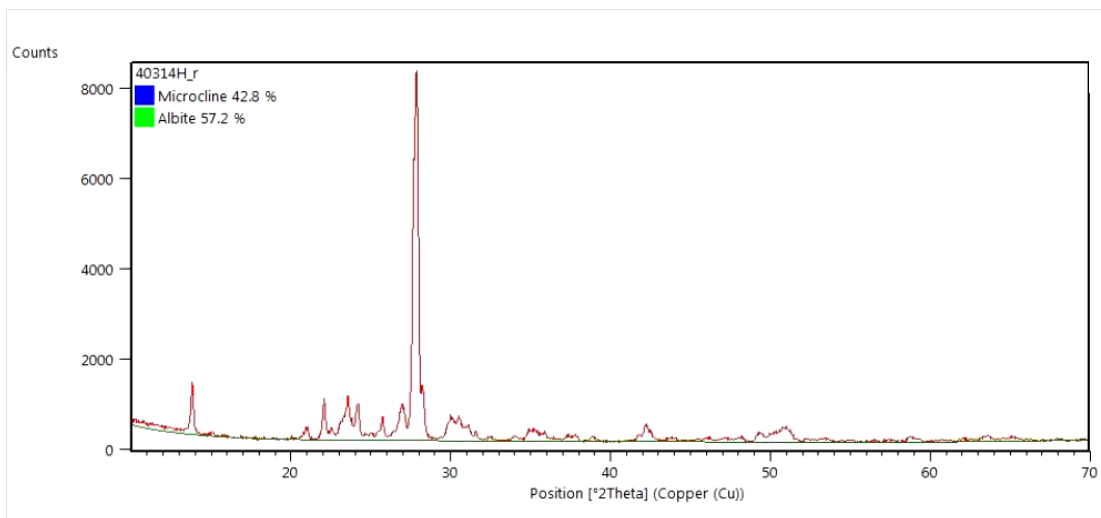


Figura 43 - Difractogramas das variedades verde (a), verde-acinzentada (b) e verde no contato traquito - sienito (c) para cálculo das porcentagens de albita e feldspato alcalino.

Nota-se que em todas as variedades os valores de albita, que ocorre na forma de pertitas, é superior ao valor quantificado de feldspato alcalino. Tratando globalmente as variedades como verde e cinza vê-se que as variedades esverdeadas possuem os valores de albita levemente superiores às variedades acinzentadas.

5.8. MICROSSONDA ELETRÔNICA

Análises pontuais totalizando 69 pontos em feldspatos incluindo mesopertitas, (FIGURA 44) e cálculo da fórmula estrutural com base em 8 oxigênios (APÊNDICE 3), revelam uma grande dispersão entre as variedades verde e cinza, incluindo desde os membros mais potássicos (Or) até os membros mais sódicos (Ab). Ao contrário do que acontece com as análises de MEV em feldspatos, na microsonda eletrônica não ocorrem amostras da variedade esverdeada com teores de cálcio (An).

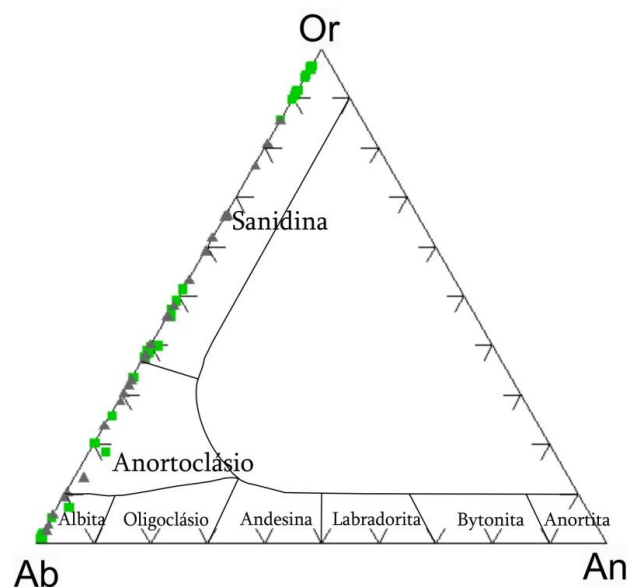


Figura 44 - Composição dos feldspatos das variedades verde e cinza. Dados Microsonda eletrônica. Legenda idem figura 18.

Análises pontuais para os piroxênios (APÊNDICE 5) também foram realizadas, além do cálculo da fórmula estrutural calculada com base em 6 oxigênios.

Para a classificação do piroxênio foram usados, primeiramente o diagrama de Morimoto (1988), usando-se a soma $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{+2}$ contra 2Na (FIGURA 45), observa-se que o sienito da variedade verde encontram-se no tipo *Quad* de Morimoto, ricos em $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{+2}$ e também presente no campo Ca-Na, já o sienito da variedade cinza restringe-se apenas no campo dos piroxênios Ca-Na.

Os piroxênios do campo *Quad* foram projetados no diagrama Wo – En – Fs (FIGURA 46) de Morimoto (1988) e os do campo Ca-Na foram projetados no diagrama Ae – Di – Hd (FIGURA 47), encontrado em Schilling *et al.* (2011) e também no diagrama *Quad* (Wo, En, Fs) – Jd (Jadeíta) – Ae (Egirina) (FIGURA 47) de Morimoto (1988).

Com base nesses gráficos, nota-se que os sienitos da variedade verde que se encontram no campo *Quad* (FIGURA 45), classificam-se como hedembergita no diagrama Wo – En – Fs (FIGURA 46), possuindo composição cálcica. Entretanto as amostras classificadas no campo Ca-Na da classificação de Morimoto (1988), que pertencem tanto a variedade cinza quanto a variedade verde enquadram-se, no diagrama Ae – Di – Hd (FIGURA 47), preferencialmente como egirina-augita (composição sódico-cálcica). Já as amostras da variedade cinza plotadas no diagrama *Quad* – Jd – Ae (FIGURA 48) enquadram-se preferencialmente no campo da egirina-augita e as amostras da variedade verde pertencem tanto ao campo da egirina-augita, tanto ao campo do *Quad*, que é representado pela wollastonita, enstatita e ferrossilita, apresentando composição cálcica.

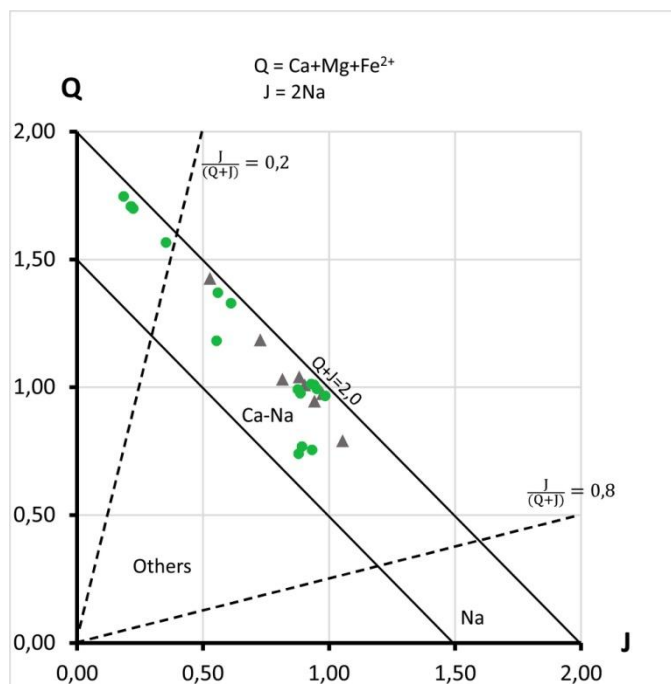


Figura 45 - Diagrama Quad (Ca+ Mg+ Fe²⁺) – J(2Na) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas, dados Microsonda eletrônica. Círculos = variedade verde; Triângulos=variedade cinza.

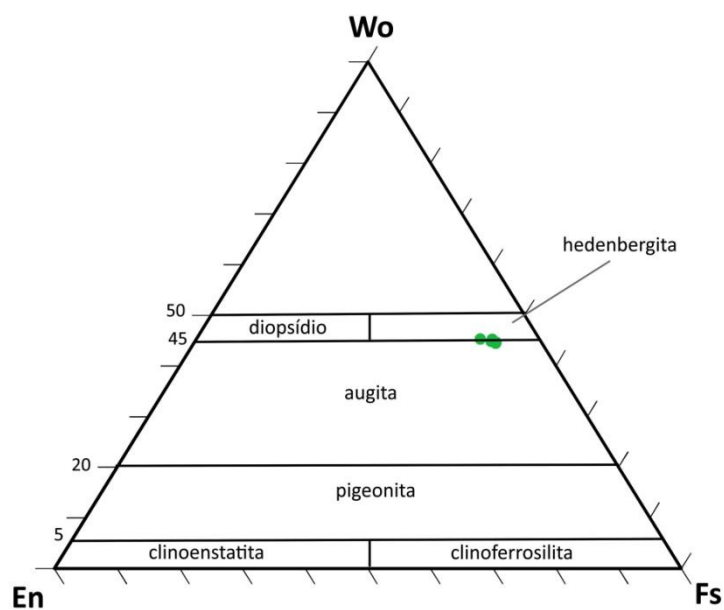


Figura 46 - Diagrama Wollastonita (Wo) – Enstatita (En) – Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas. Dados Microsonda eletrônica. Legenda idem Fig. 30.

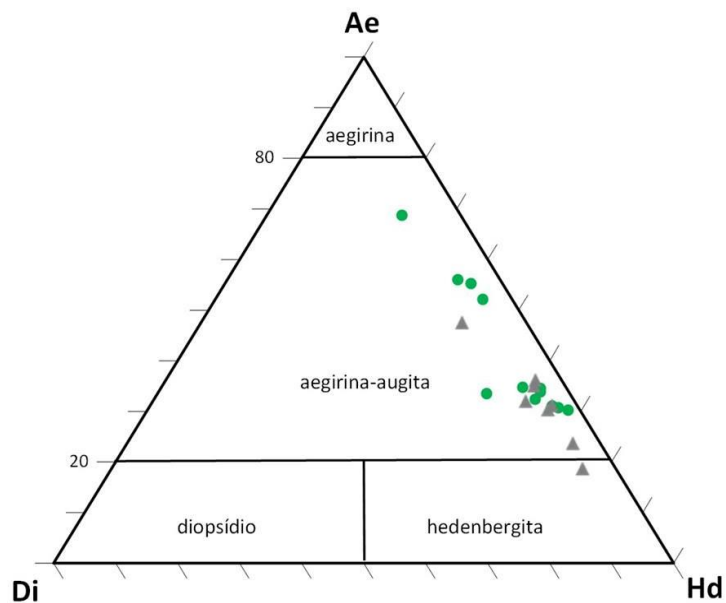


Figura 47 - Diagrama Ae (Egirina) – Di (Diopsídio) – Hd (Hedenbergita) para piroxênios do sienito Tunas, dados Microsonda eletrônica. Legenda Idem Fig. 30.

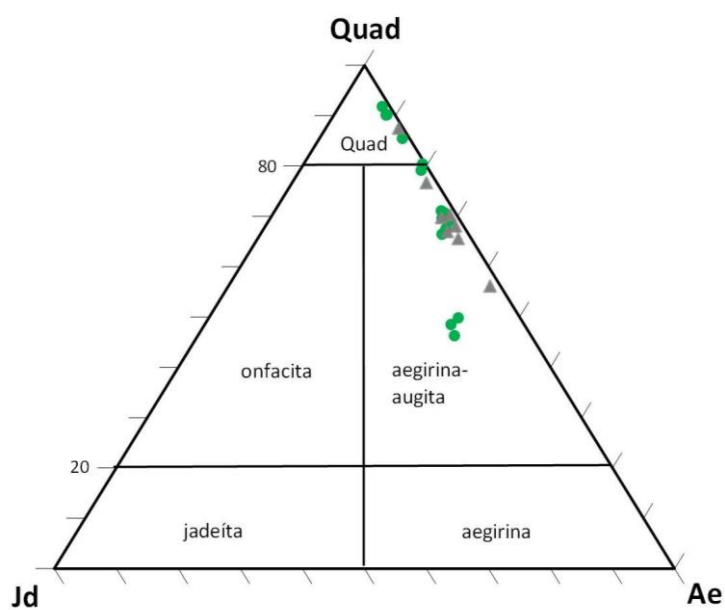


Figura 48 - Diagrama Quad (Wollastonite + Enstatite + Ferrosillite) - Jd (Jadeíta) – Ae (Egirina) de Morimoto (1988) para piroxênios do sienito Tunas. Dados Microsonda eletrônica. Legenda Idem Fig. 30.

6. DISCUSSÕES

A seguir o resumo das técnicas utilizadas e o resultado de cada uma das variedades do sienito Tunas (TABELA 6).

	700 – 800 cm ⁻¹ : albita	700 – 800 cm ⁻¹ : albita	700 – 800 cm ⁻¹ : albita	700 – 800 cm ⁻¹ : albita	700 – 800 cm ⁻¹ : albita	700 – 800 cm ⁻¹ : albita
Variedades	Cinza (N7)	Cinza-esverdeada (5 GY 6/1)	Verde (5 GY 3/2)	Verde-acinzentada (5 Y 5/2)	Verde Fina a muito fina (5 GY 3/2)	Verde contato Traquito/Sienito (5 GY 3/2)
Rietveld	Ab/Afs= 0,93 – 1,11	Ab/Afs=1,31 – 1,33	Ab/Afs= 1,20 – 1,31	Ab/Afs= 1,01 – 1,23	-	Ab/Afs= 1,33
Fórmula estrutural	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: oligoclásio; MEV – EDS Piroxênio: egirina-augita; MEV – EDS Anfibólio: Fe-edenita, Fe – pargasita e hastingsita; MEV – EDS Biotita: Annita; Microsonda Afs: Dispersão; Microsonda Piroxênio: egirina-augita.	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: oligoclásio; MEV – EDS Piroxênio: egirina-augita; MEV – EDS Anfibólio: Fe-edenita, Fe – pargasita e hastingsita; MEV – EDS Biotita: Annita; Microsonda Afs: Dispersão; Microsonda Piroxênio: egirina-augita.	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: albita; MEV – EDS Piroxênio: hedenbergita; Microsonda Afs: Dispersão, não ocorre variedade esverdeada com altos teores de Ca; Microsonda Piroxênio: hedenbergita e egirina-augita (dependendo do gráfico plotado).	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: albita; MEV – EDS Piroxênio: hedenbergita; Microsonda Afs: Dispersão, não ocorre variedade esverdeada com altos teores de Ca; Microsonda Piroxênio: hedenbergita e egirina-augita (dependendo do gráfico plotado).	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: albita; MEV – EDS Piroxênio: hedenbergita; Microsonda Afs: Dispersão, não ocorre variedade esverdeada com altos teores de Ca; Microsonda Piroxênio: hedenbergita e egirina-augita (dependendo do gráfico plotado).	ICP – MS Afs: Limite sanidina – anortoclásio; MEV – EDS Afs: albita; MEV – EDS Piroxênio: hedenbergita; Microsonda Afs: Dispersão, não ocorre variedade esverdeada com altos teores de Ca; Microsonda Piroxênio: hedenbergita e egirina-augita (dependendo do gráfico plotado).

A análise petrográfica dos sienitos do CAT revelou, com base na variação de cor e granulometria, a presença de variedades que, globalmente, gradam do verde ao cinza, com variedades intermediárias entre ambas as cores. A observação macroscópica detalhada das amostras revela que nas **variedades verdes** o feldspato alcalino, apesar da dispersão nos diagramas de classificação apresenta concentração nos campos albita e oligoclásio, não exibe grande quantidade de intercrescimento pertítico e que, quando em contato com minerais máficos xenomórficos como anfibólio e biotita, mostra bordas esbranquiçadas. Tal característica, aliada às observações em lâmina delgada, estaria a indicar a percolação por uma fase fluida e subsequente desestabilização do feldspato, com surgimento de turbidez. Tal aspecto turvo associa-se predominantemente, e de forma mais intensa, a intercrescimentos pertíticos e à geminação polissintética (formação da albita). Tal fato poderia conduzir à inferência de que este fluido teria composição distinta do fluido original ou com temperatura superior àquele responsável pela cristalização destes feldspatos.

Através de diagramas de classificação notou-se que o piroxênio é classificado como hedembergita nas análises pontuais de MEV – EDS. Já nas análises realizadas em microsonda eletrônica, dependendo do gráfico de classificação, o piroxênio classifica-se como hedembergita (diagrama Wo- En – Fs) e egrina-augita nos diagramas Ae-Di-Hd e Quad – Jd – Ae. No entanto, apesar desta variação, nota-se o caráter predominantemente cálcico nesta variedade.

A análise das relações de contatos entre os minerais, presença de olivina, possivelmente failaita, pois é característica de rochas plutônicas alcalinas como sienitos, ocorrendo associada à hedembergita, além da composição aproximada, já que se conseguiu classificar os minerais máficos das variedades esverdeadas apenas por lâmina delgada, conduz à hipótese de cristalização anterior à dos sienitos das variedades cinzas.

Tal afirmação é corroborada por dados de DRX, cuja triclinicidade dos feldspatos das variedades verdes é inferior àquela das variedades cinzas. Dados de padrão de distribuição de ETR e comportamento de elementos traço (e.g. Rb, Ba, Sr) suportam igualmente o caráter mais primitivo dos sienitos verdes.

Feldspatos alcalinos das **variedades cinzas**, apresentam grande dispersão e classificam-se desde sanidina a albita, havendo uma sutil concentração no campo do anortoclásio. Exibem, ao MOLT, intercrescimentos mesopertíticos homogêneos ao longo dos cristais. Observa-se aqui a presença de anfibólios primários e hidrotermais, ambos de composição Na-Ca classificados como Fe-edenita, Fe-pargasita e hastingsita, além de piroxênios também sódico-cálcicos, egirina-augita, e biotitas classificadas predominantemente no campo da annita, indicando termos mais evoluídos durante o processo de cristalização fracionada. Turbidez mais acentuada é igualmente observada nos feldspatos alcalinos das variedades cinzas. Há grande quantidade de iddingsita associada aos minerais máficos das variedades acinzentadas, este fato deve-se a olivina ser muito susceptível à alteração hidrotermal, gerando produtos de alteração variados como iddingsita (esmectita + clorita + goetita/hematita).

Microscopicamente os intercrescimentos pertíticos são mais abundantes nestas variedades cinza, porém análises pelo método Rietveld revelaram um pequeno aumento de albita nas variedades esverdeadas.

Nota-se nos sienitos do CAT a presença de carbonato, quartzo e fluorita dispostos intersticialmente, provavelmente cristalizados sob ação de nova fase fluida, em condições físico-químicas distintas da anteriormente citada, além de uma segunda fase feldspatos alcalinos de granulação mais fina e mais límpida do que a primeira, além de grande quantidade de apatita mesmo como mineral acessório.

Os altos valores de vanádio na variedade cinza, se comparado às variedades esverdeadas, deve-se possivelmente a presença de egirina-augita, que possuem elevado teor deste elemento (Deer *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, os valores de perda ao fogo para as rochas sieníticas devem ser em torno de 0,5, no entanto, as rochas do CAT apresentam valores até 1,3; este fato deve-se possivelmente aos processos hidrotermais pelos quais essas rochas passaram. Os altos valores de Fe_2O_3 (e/ou FeO) em ambas variedades, mas com maior intensidade nas variedades esverdeadas, deve-se possivelmente a impurezas ou material exsolvido durante o arrefecimento.

A análise por catodoluminescência dos sienitos revela cor vermelha com luminescência variando de moderada a intensa nas porções dos feldspatos onde ocorre maior turbidez, ao passo que nas porções límpidas predomina a cor azul em CL. Porções albíticas, intercrescimentos pertíticos e/ou geminação polissintética intercristalina em feldspatos exibem igualmente intensa luminescência vermelha. Tal fato poderia apontar para fluido hidrotermal majoritariamente enriquecido em sódio e ferro, ocasionando, nos sienitos de ambas as variedades, a formação de anfibólio (principalmente riebeckita nas variedades verdes) e albita intersticiais. Nota-se, no entanto, que na variedade verde em contato com traquito o centro dos fenocristais possuem luminescência vermelha, indicando maior turbidez e as bordas com luminescência azul, caracterizando porções límpidas. Esse fato deve-se possivelmente ao centro dos fenocristais do traquito terem sido gerados e afetados por hidrotermalismo e a borda dos mesmos terem sido geradas posteriormente, porém como os traquitos não foram objeto de análises mais aprofundadas sobre esta característica devem ser levados em conta.

Análise espectral realizada nestas rochas mostra a presença de elementos terras-raras ativadores de luminescência nos feldspatos alcalinos dos sienitos do CAT. Entretanto não é possível estabelecer uma relação direta entre os cátions determinados na análise espectral e sua maior ou menor concentração a partir de dados litogeoquímicos. Tal fato pode estar relacionado à contração lantânica, característica do grupo dos lantanídeos em que há uma diminuição uniforme no tamanho atômico e iônico com o aumento do número atômico, a principal causa da contração é o efeito eletrostático associado com o aumento da carga nuclear blindada imperfeitamente pelos elétrons 4f (Martins & Isolani, 2005), e sua influência na distribuição dos picos de luminescência, mascarando o real elemento terra rara ativador de luminescência, e/ou a influência de outros ativadores no espectro, podendo haver vacâncias e defeitos estruturais que interfiram no sinal resultante. Apesar de todas as influências destes fatores no sinal de CL, a luminescência na banda do Fe é bem pronunciada, em maior ou menor intensidade, em todas as variedades de sienito. Tampouco é possível atribuir-se à variação de cor dos feldspatos à maior ou menor concentração em ETR.

O padrão de distribuição de ETR revela, para os feldspatos alcalinos dos **sienitos verdes**, anomalia positiva em Eu, demonstrando que estes minerais fracionaram Eu, incorporando-o em sua estrutura cristalina, em condições de elevada temperatura. Estas variedades mostram teores mais elevados em CaO, com álcalis totais (K_2O+Na_2O) e SiO_2 comparativamente inferiores àqueles encontrados nos feldspatos da variedade cinza. Bário ocorre em valores com anomalia positiva em relação aos da variedade cinza, que mostram anomalia negativa. Teores mais elevados em Ba e Fe_2O_3 (e/ou FeO), assim como valores inferiores para SiO_2 e total de álcalis em feldspatos alcalinos das variedades verdes podem apontar para substituição conjugada entre $(Ba, Ca)^{2+} \Leftrightarrow (K, Na)^+$ e $Si^{4+} \Leftrightarrow (Al, Fe)^{3+}$, ou solução sólida com omissão K^+ (1.33\AA) $\Leftrightarrow Ba^{2+}$ (1.35\AA), resultando em vacância (Deer *et al.*, 2010). Houve notória remobilização Fe^{+3} e Ca^{+2} na variedade esverdeada, outro indício de processo hidrotermal pelo qual passaram essas rochas.

Feldspatos alcalinos das **variedades cinzas** mostram anomalia negativa em Eu, indicando magma original empobrecido neste elemento e fracionamento inicial do mesmo nos primeiros estágios de cristalização (por feldspatos das variedades verdes). Exibem, igualmente, anomalia negativa em Ba bem pronunciada, com teores totais de álcalis e SiO_2 comparativamente mais elevados, além de menores concentrações em CaO. Variedades verdes possuem teores de Ba que variam de 1394 a 6959 ppm, enquanto as variedades cinzas têm Ba variando de 24 a 186 ppm.

Götze *et al.* (1999) estudando conjuntamente CL e análises de ICP - MS e Microsonda eletrônica em albitas de Spruce Pine, EUA, obteve anomalia negativa em Eu para as albitas de origem hidrotermal e anomalia positiva em Eu para as albitas primárias, semelhante ao que ocorre com os feldspatos do sienito Tunas (FIGURA 49). Os autores também notaram valores esgotados de Mn e Fe nas amostras de albita hidrotermal se comparada as albitas primárias. Este fato também ocorre no sienito Tunas, tanto os valores de Fe quanto os de Mn diminuem consideravelmente da variedade primitiva (verde) para a mais evoluída (cinza).

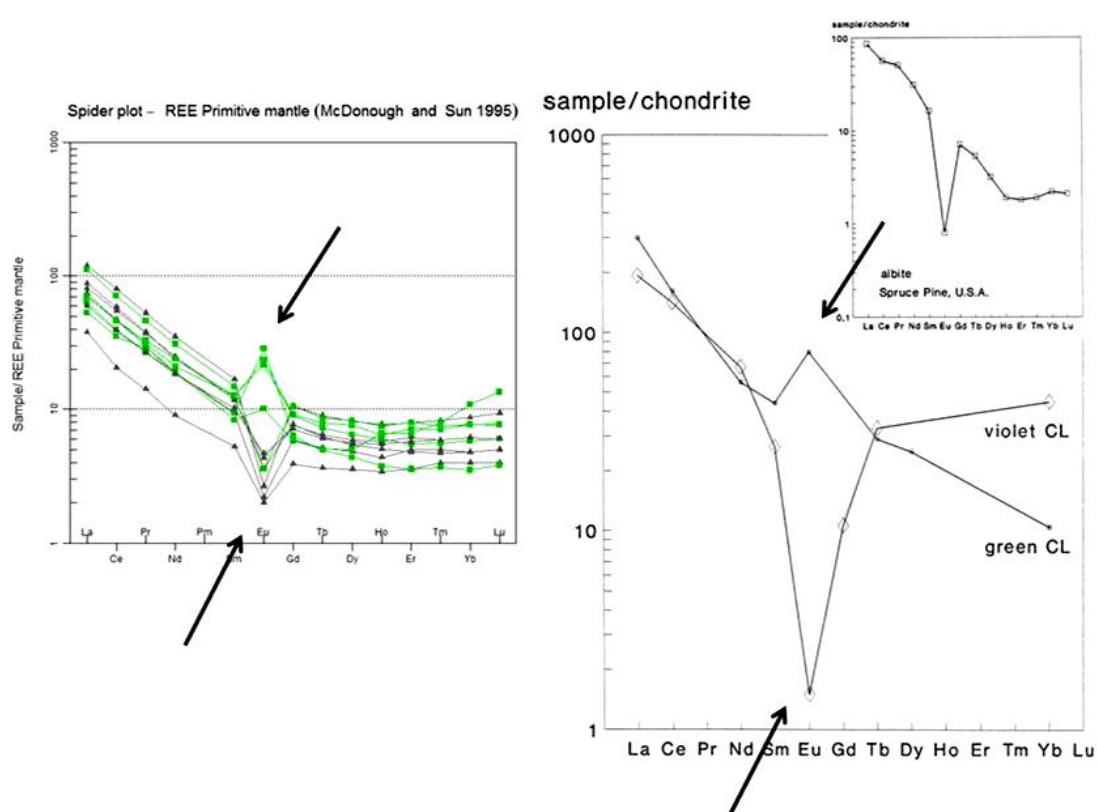


Figura 49 - Comparação dos gráficos de elementos terras raras dos feldspatos alcalinos do sienito Tunas (à esquerda) e os feldspatos analisados por Götze et al. (1999) (à direita) em rochas de Spruce Pine, EUA, revelando forte anomalia negativa nas rochas que passaram por processos hidrotermais.

Dois amostras de feldspato alcalino apresentam comportamento anômalo: a amostra AB-07, variedade verde, possui padrão de ETR distinto dos feldspatos da mesma variedade, com anomalia negativa em Eu, baixas concentrações em CaO, maiores valores de álcalis totais e SiO₂, com comportamento geoquímico da variedade cinza. A amostra FT-01-V2b (variedade verde no contato traquito-sienito), possui anomalia positiva em Eu, com enriquecimento em ETRs pesados. Mostram baixos teores em CaO, baixo teor em álcalis e SiO₂ e razão Rb/Sr, além de total Hf+Y+Th+U mais elevado. Estes feldspatos alcalinos possuem igualmente maiores concentrações em Zr, Hf, U, Be, Yb e Lu, o que estaria a indicar a complexidade de eventos hidrotermais a que esses feldspatos foram submetidos, possivelmente ligados à ocorrência do dique.

A variação dos elementos traço Rb-Ba-Sr aponta igualmente para o caráter mais evoluído das variedades cinzas, comparativamente às verdes.

As análises em FTIR revelam cinco picos em microclínio de acordo com THEODOSOGLOU *et al.* (2010): 536 cm^{-1} , 647 cm^{-1} , 1010 cm^{-1} , 1090 cm^{-1} e 1136 cm^{-1} relacionados a defeitos de flexão e deformação linear, além de um pico em 542 cm^{-1} referente a uma deformação estrutural no ortoclásio. Os picos 462 cm^{-1} e 587 cm^{-1} são comuns tanto ao microclínio quanto ao ortoclásio e a sanidina. Já os quatro picos localizados entre 700 a 800 cm^{-1} são característicos da albita. Não se notou diferença estrutural significativa entre as variedades cinzas e verdes, porém nota-se uma variada contribuição das variedades K-Na do feldspato alcalino, representados pela presença de ortoclásio, microclínio e albita.

A seguir uma tabela (TABELA 7) que tenta elucidar como os processos tardi a pós-magmáticos influenciaram na alteração e cristalização dos minerais da paragênese dos sienitos:

Tabela 7 - Influência dos processos tardi a pós-magmáticos na alteração e cristalização dos minerais do sienito Tunas.

Associação mineral	Estágio tardi-magmático	Estágio pós-magmático				
	Processo 1	Processo 2	Processo 3	Processo 4	Processo 5	Processo 6
Olivina	—————				
Piroxênio 1°		—————				
Anfibólio 1°		—————			
Feldspato alcalino 1°			—————		
Piroxênio 2°					—————	
Anfibólio 2°					—————	
Feldspato alcalino 2°						—————
Plagioclásio						—————
Carbonato						—————
Fluorita						—————
Quartzo						—————

7. CONCLUSÕES

Apesar dos sienitos do CAT serem lavrados desde a década de 60 e muitos trabalhos terem sido realizados, todos tratam os sienitos como um corpo único, homogêneo, não havendo tratamento diferenciado para variedades verdes e cinzas, sendo este o enfoque desenvolvido nesta pesquisa.

Neste trabalho, a realização de descrição macroscópica levou, com base na cor e na granulação, a identificação de seis variedades de sienito que afloram no CAT.

Esta classificação em variedades serviu para que outras técnicas fossem aplicadas. A petrografia auxiliou a caracterização da assembleia mineral de cada variedade, além de identificar os minerais primários e os tardios a pós-magmáticos e como eles estavam associados; as análises de DRX ajudaram a avaliar o estado estrutural dos feldspatos alcalinos, principal mineral que compõe os sienitos, revelando que possivelmente havia uma variedade primitiva (verde) e uma mais evoluída (cinza); essas técnicas incorporadas à geoquímica forneceram a quantificação de cada elemento presente nos feldspatos, além de revelar a distribuição dos ETR's. Houve, através da avaliação de gráficos, a confirmação de que realmente há uma variedade de sienito pretérita e uma mais evoluída. Análises ao MEV e a Microsonda eletrônica revelaram como os elementos estavam distribuídos nos minerais e subsidiaram a classificação dos mesmos, mostrando que as variedades esverdeadas possuem composição Ca e as variedades acinzentadas Na-Ca.

Análises de CL revelaram quais elementos são ativadores de luminescência no feldspato, já as análises de infravermelho mostraram quais os principais defeitos estruturais que ocorrem nos feldspatos do CAT e que eles são classificados como sanidina, ortoclásio e albita. Análises de RIETVELD mostraram que as variedades tanto esverdeadas quanto acinzentadas possuem maiores quantidades de albita do que feldspato potássico.

Sugere-se que, possivelmente, um ou mais processos hidrotermais tentam afetar a cristalização dos sienitos. Acredita-se que a olivina, tenha se alterado para iddingsita em um período tardi-magmático, já os outros minerais primários tenham se alterado em um estágio pós-magmático, porém logo em seguida da

olivina. Os minerais secundários, incluindo plagioclásio, carbonato, fluorita e quartzo tenham sido cristalizados também em um estágio pós-magmático, no entanto em um processo mais tardio, sofrendo maior influência de hidrotermalismo.

Gomes *et al.* (1987) sugerem que processos de diferenciação mais complicados devem ter ocorrido no CAT, este fato é observado nas rochas da pesquisa. A temperatura de cristalização de 700°C sugerida pelos autores, possivelmente está ligada as variedades esverdeadas do sienito, pois são as mais estudadas. As variedades acinzentadas devem ter sido geradas não apenas em temperaturas inferiores, mas também com diferença de idade.

O magma que gerou essas rochas era pouco hidratado, fato corroborado pela baixa quantidade de anfibólio primário, sendo enriquecido por um ou mais processos hidrotermais que afetaram essas rochas.

Sugere-se que mais análises que microsonda eletrônica sejam realizadas para melhor caracterização dos processos tardi a pós-magmáticos, além de novas datações individualizadas para as variedades acinzentadas e esverdeadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; Origem e evolução da plataforma brasileira. **Bol. Div. Geol. Min.**, Rio de Janeiro, v. 241, p. 36, 1967.

ALMEIDA, F. F. M.; AMARAL, G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. The precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon River. In: NAIRN, E, M.; STEHLI, F. G. (eds.) **The ocean basins and margins**. New York, v. 1, p. 411-446, 1973.

ALMEIDA, F.F.M.; Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, v.13, n. 3, p. 139 –158, 1983.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; Estudos preliminares na Série Açungui. VIII – A Formação Votuverava. **Boletim do Instituto de História Natural**, Curitiba, n.2, p. 1-16, 1958.

BAÊTA, R.M. **Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

BOTELHO, A.C. **Tipologia químico-mineralógica de feldspatos alcalinos das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas-PR**. 22 f. Relatório apresentado à Coordenadoria de Iniciação Científica e Integração Acadêmica da Universidade Federal do Paraná por ocasião da conclusão das atividades de Iniciação Científica. Curitiba, 2013.

CARVALHO, F.M.S. **Refinamento da estrutura cristalina de quartzo, córdon e criptomelana utilizando o método de Rietveld**. 73 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CORDANI, U. G.; HASUI, Y. Idades K-Ar de rochas alcalinas do primeiro planalto paranaense do Estado do Paraná. **XXII Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte**, 1968, p. 149-155.

DEER, A.A.W.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN J. **Minerais constituintes das rochas – uma introdução**. 4. Ed. Lisboa: Logmans, Green and Co. Ltd., 727p. 2010.

DI GIORGIO, D. **Fatores Geológicos no Planejamento de Lavra de Rochas ornamentais**. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

EBERT, H. Observações sobre a litologia e subdivisão do Grupo Setuva do Estado do PR, com sugestões a tectônica geral do geossinclínio Açungui. In: XXV Congresso Brasileiro de Geologia, 1971, São Paulo. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**. São Paulo, 1971. p. 131- 165.

EL BOUSEILY, A. M.; EL SOKKARY, A. A. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. **Chemical Geology**, v. 16, p. 207-209, 1975.

FIORI, A.P.; GASPAR, L.A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil. **Boletim do Instituto de Geociências/USP**, São Paulo, v. 24, p.1 – 19,1993.

FIORI, A.P., FASSBINDER, E., RABELO, L. Geologia da região de Tunas-PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 4, p. 141 –150, 1998.

FRITZONS JUNIOR, O.; PIERKARZ, G.F.; FALCADE, D. Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva(PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador: SBG, v. 3, 1982, p. 987-1001.

FUCK, R. A. **Geologia do Maciço Alcalino de Tunas, Paraná, Brasil**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1972.

GODDARD, C.; TRASK, P.; FORD, R.; ROVE, O.; SINGEWALD, J.; OVERBECK, R. Rock Color Chart. Boulder, Co: **Geological Society of America**, 1984.

GOMES, C. B.; BARBIERI, M.; BECCALUCA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; RUBERT, E.; SHEIBE, F.; TAMURA, R. M.; TRAVERSA, G. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. **Geochimica Brasiliensis**. v. 1, p. 201-234, 1987.

GOMES, C. B.; Ruberti, E.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; AZZONE, R. G. Alkaline magmatism in the Ponta Grossa Arch, SE Brazil: A review. **Journal of South American Earth Sciences**. p. 152-168, 2011.

GOOGLE EARTH. Disponível em: < <http://www.googleearth.com>>, acessado em 8 de Jun de 2015.

GÖTZE, J.; HABERMANN, D.; NEUSER, R. D.; RICHTER, D. K. High-resolution spectrometric analysis of rare earth elements-activated cathodoluminescence in feldspar minerals. **Chemical Geology**, v. 153, p. 81-91, 1999.

GÖTZE, J. Application of Cathodoluminescence Microscopy and Spectroscopy in Geosciences. **Microscopy and Microanalysis**, v. 18, p. 1270-1284, 2012.

HAACK, M.S. **Análise de materiais por espectroscopia de infravermelho dentro do sistema da gestão de qualidade conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025**. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 247-266, 1975.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. Estruturas e tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 52, 1980. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. p. 61-76. 1980.

LEAKE, B. E. Nomenclature of amphiboles. **American Mineralogist**, p. 1023 - 1052, 1978.

MACRAE, C.M., WILSON, N.C. Luminescence database I - Minerals and Materials. **Microscopy and Microanalysis**, v. 14, p. 184-204, 2008.

MARINI, O. J.; BIGARELLA, J.J. Rochas calcárias do Grupo Açungui. **Boletim Paranaense de Geociências**. v. 23, n. 25, p. 157-181, 1967.

MARSHALL, D.J. **Cathodoluminescence of geological materials: an introduction**. New York: Allen & Unwin Ltd. Mass. 146 p. 1988.

MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C. Terras Raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova on-line version**, v. 28, n. 1, p. 111 – 117, 2005.

MORIMOTO, N. Nomenclature of pyroxenes. **American Mineralogist**, p. 1123-1133, 1988.

NEVES, J. M. C. **Interesse petrológico dos feldspatos alcalinos**. 70 p. Seminário apresentado no concurso para um lugar de professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1981.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in the central-southeastern Brazilian Platform. In: Comin-Chiaramonti P. & Gomes C.B. (Eds.), **Mesozoic**

to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. Edusp/Fapesp, São Paulo, p. 31-55, 2005.

RITCHER, D.K.; GÖTTE, TH., GÖTZE, J.; NEUSER, R.D. Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology. **Mineralogy and Petrology**, v. 79, p. 127-166, 2003.

ROCK, N. M. S. Chemical mineralogy of Mochique alkaline Complex, Southern Portugal. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 83, p. 64 -78,1982.

RRUFFProject, disponível em: < <http://rruff.info/albite/display=default/R040068>>, acessado em 18 nov. 2015.

SALA, O. **Fundamentos da espectrometria Raman e no Infravermelho.** 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, p. 276. 1996.

SCHILLING, J.; MARKS, A. W.; WENZEL, T.; VENNEMANN, T.; HORVATH, L.; TARASSOFF, P.; JACOB, D. E.; MARKL, G. The magmatic to hydrothermal evolution of the intrusive Mont Saint – Hilaire Complex: insights into the late-stage evolution of peralkaline rocks. **Journal of Petrology**, v. 52, n. 2, p. 2147 – 2185, 2011.

SCHOLL, W.U.; LOPES, O.F.; ANDRADE E SILVA, A.C.G.; DROZZI, C.R. Geologia do Pré-Cambriano da Região do Anticlinal do Setuva. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31,1980, Balneário Camboriú. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia.** Balneário Camboriú, 1980. p. 3003-3013.

SCHOLL, W.U. Geologia do Grupo Açungui na região nordeste de Rio Branco do Sul – PR. In: 3º Simpósio Regional de Geologia, 1981, Curitiba. **Anais do Simpósio Regional de Geologia.** Curitiba: SBG/SP, 1981. p. 170-185.

SIGA JR., O.; GOMES, C. B.; SATO, K.; PASSARELLI, C. R. O maciço alcalino de Tunas, PR: novos dados geocronológicos. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 7, n. 2, p. 71-80, 2007.

SIGA JUNIOR, O.; BASEI, M. A. S.; NUTMAN, A.; SATO, K.; McReath, I.; PASSARELI, C. R.; LIU, D. Extensional and collisional magmatic records in the Apiaí Terrane, south-southeastern Brazil: integration of geochronological U-Pb Zircon ages. **Geologia USP**, v.11, n.3, p. 149-175, 2011.

SMITH, B.C. **Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. 2. ed. New York:Taylor and Francis Group, 2011

THEODOSOGLOU E.; KORONEOS A.; SOLDATOS T.; ZORBA T.; PARASKEUOPOULOS K. M. Comparative Fourier transform infrared and x-ray powder diffraction analysis of naturally occurred K-feldspars. **Bulletin of Geological Society of Greece**, 2010.

TREIN, E.; MARINI, O. J.; FUCK, R. A. Rochas alcalinas no primeiro planalto do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**. v. 23, n. 25, p. 325-347, 1967.

VASCONCELLOS, E.M.G. **Investigações geológicas e petrográficas das brechas vulcânicas do maciço alcalino de Tunas, PR**. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

VASCONCELLOS, E.M.G.; GOMES, E.B. Caracterização petrográfica de brechas vulcânicas no Complexo Alcalino de Tunas, PR. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p.269-274, 1992.

VASCONCELLOS, E.M.G. **Petrologia e geoquímica de diques e “plugs” alcalinos na região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

VORTISCH, W. Application of combined cathodoluminescence and Energy-dispersive X-ray Spectroscopy for Analysis of minerals raw materials. In:

Pecchio et al. (Editors) **Applied Mineralogy**, São Paulo: ICAM - BR, p. 169-172, 2004.

WHITNEY, D. L., EVANS, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 95, 185–187 p. 2010.

APENDICES

APÊNDICE 1 - Composição química de feldspatos alcalinos de sienitos do CAT. Análises realizadas em ICP –MS.

Amostra	CTF-2/1	CTF-2/2	CTF-5/2	CTF-5/4A	CTF-5/5	AB 09	CTF-08B	FT 01 V2B	AB 04	AB 06	AB 07
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	64,91	65,68	65,54	66,01	65,37	65,82	61,06	63,30	63,58	63,52	65,80
TiO ₂	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,02	0,84	0,12	0,34	0,26	0,06
Al ₂ O ₃	18,58	18,95	19,16	19,08	18,97	18,84	17,03	17,43	17,73	18,63	18,10
FeO _{total}	1,99	1,25	1,12	0,92	1,28	1,49	5,61	5,25	3,30	2,64	2,13
MnO	0,10	0,04	0,04	0,02	0,06	0,05	0,24	0,38	0,16	0,11	0,06
MgO	0,20	0,03	0,05	0,01	0,11	0,06	0,89	0,15	0,61	0,64	0,02
CaO	1,08	0,40	0,42	0,19	0,74	0,58	2,22	0,86	2,39	2,30	0,57
Na ₂ O	7,21	7,48	6,97	6,96	7,02	7,25	5,85	6,74	6,07	6,38	6,97
K ₂ O	5,67	5,99	6,53	6,67	6,24	5,72	5,50	5,18	5,35	5,10	6,04
Total	99,77	99,85	99,87	99,90	99,85	99,83	99,25	99,41	99,54	99,58	99,75
Si	2,92	2,94	2,94	2,96	2,93	2,95	2,81	2,89	2,90	2,88	2,97
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00
Al	0,98	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00	0,92	0,94	0,95	1,00	0,96
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,07	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,22	0,20	0,13	0,10	0,08
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Mg	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,01	0,04	0,04	0,00
Ca	0,05	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,11	0,04	0,12	0,11	0,03
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,63	0,65	0,61	0,60	0,61	0,63	0,52	0,60	0,54	0,56	0,61
K	0,33	0,34	0,37	0,38	0,36	0,33	0,32	0,30	0,31	0,29	0,35
An	5,17	1,91	2,03	0,93	3,54	2,81	11,46	4,47	12,11	11,56	2,78
Ab	62,47	64,23	60,62	60,74	60,86	63,97	54,72	63,44	55,63	57,99	61,92
Or	32,37	33,86	37,35	38,33	35,60	33,22	33,82	32,09	32,26	30,45	35,31

APÊNDICE 2 - Composição química de feldspatos alcalinos de sienitos do CAT. Análises realizadas em EDS.

Amostra	CTF 5_4-1	CTF 5_4-2	CTF 5_4-3	CTF 5_4-4	CTF 5_4-5	CTF 5_4-6	CTF 5_4-7	CTF 5_4-8	CTF 5_4-9	FT 01 CB-1	FT 01 CB-2	FT 01 CB-3	FT 01 CB-4
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	64,10	63,85	63,97	64,86	62,40	64,13	63,88	65,17	64,41	66,43	63,86	65,83	67,67
Al ₂ O ₃	19,37	19,47	19,14	19,01	18,73	19,38	19,68	19,67	19,53	19,16	19,87	19,35	19,02
FeO _{total}	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
CaO	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
Na ₂ O	1,25	4,91	5,32	2,14	2,14	1,44	2,52	6,63	1,42	5,98	6,59	5,73	5,40
K ₂ O	15,27	11,77	11,57	13,99	13,48	15,05	13,92	8,53	14,65	8,42	9,68	9,09	7,91
Total	99,99	100,00	100,00	100,00	96,75	100,00	100,00	100,00	100,01	99,99	100,00	100,00	100,00
Si	2,94	2,87	2,87	2,97	2,95	2,94	2,91	2,91	2,96	2,98	2,84	2,96	3,06
Al	1,05	1,03	1,01	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03	1,06	1,01	1,04	1,02	1,01
Fe ²⁺	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
Ca	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
Na	0,11	0,43	0,46	0,19	0,20	0,13	0,22	0,57	0,13	0,52	0,57	0,50	0,47
K	0,89	0,67	0,66	0,82	0,81	0,88	0,81	0,49	0,86	0,48	0,55	0,52	0,46
An	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
Ab	11,06	38,80	41,14	18,86	19,44	12,70	21,58	54,16	12,84	51,91	50,85	48,93	50,92
Or	88,94	61,20	58,86	81,14	80,56	87,30	78,42	45,84	87,16	48,09	49,15	51,07	49,08

(continuação)

Amostra	FT 01 CB-5	FT 01 CB-6	FT 01 CB-7	FT 01 CB-8	CTF 5_4-10	CTF 5_4-11	CTF 5_4-12	CTF 5_4-13	CTF 5_4-14	CTF 5_4-15	CTF 5_4-16	CTF 5_4-17
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	67,39	66,33	63,93	63,87	63,94	66,13	67,97	64,46	64,45	70,61	64,82	69,18
Al ₂ O ₃	18,95	19,59	19,66	19,85	19,44	20,39	19,95	19,55	20,19	20,20	20,51	19,91
FeO _{total}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	5,55	6,47	6,93	6,03	13,10	11,56	10,74	12,41	10,60	14,16	13,09	7,92
K ₂ O	8,11	7,60	9,48	10,25	3,51	1,92	1,33	1,26	4,75	1,14	1,58	2,99
Total	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	99,77	99,99	106,11	100,00	100,00
Si	3,04	2,97	2,84	2,85	2,74	2,87	2,98	2,80	2,81	2,86	2,78	3,09
Al	1,01	1,03	1,03	1,04	0,98	1,04	1,03	1,00	1,04	0,97	1,04	1,05
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,49	0,56	0,60	0,52	1,09	0,97	0,91	1,05	0,89	1,11	1,09	0,69
K	0,47	0,43	0,54	0,58	0,19	0,11	0,07	0,07	0,26	0,06	0,09	0,17
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	50,98	56,40	52,63	47,20	85,01	90,15	92,47	93,74	77,23	94,97	92,64	80,10
Or	49,02	43,60	47,37	52,80	14,99	9,85	7,53	6,26	22,77	5,03	7,36	19,90

(continuação)

Amostra	CTF 5_4-18	FT 01 CB-9	FT 01 CB-10	FT 01 CB-11	FT 01 CB-12	FT 01 CB-13	FT 01 CB-14	FT 01 CB-15	FT 01 CB-16	FT 01 CB-17	FT 01 CB-18	FT 01 CB-19
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	67,31	66,47	69,39	54,87	68,28	63,27	66,19	65,30	63,71	64,29	66,33	63,42
Al ₂ O ₃	18,63	19,31	18,85	31,45	19,36	20,25	19,81	19,86	20,20	21,13	19,88	19,97
FeO _{total}	3,83	0,00	0,00	0,00	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	4,74	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	8,44	8,76	7,23	8,12	6,88	16,48	10,95	9,59	13,33	14,58	12,42	13,01
K ₂ O	1,36	5,45	3,93	0,83	0,00	0,00	3,06	5,26	2,76	0,00	0,00	3,59
Total	99,57	99,99	99,40	100,01	99,55	100,00	100,01	100,01	100,00	100,00	99,86	99,99
Si	3,04	2,94	3,14	2,41	3,13	2,66	2,89	2,86	2,73	2,74	2,89	2,72
Al	0,99	1,01	1,00	1,63	1,05	1,00	1,02	1,03	1,02	1,06	1,02	1,01
Fe ²⁺	0,14	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,74	0,75	0,63	0,69	0,61	1,34	0,93	0,82	1,11	1,20	1,05	1,08
K	0,08	0,31	0,23	0,05	0,00	0,00	0,17	0,29	0,15	0,00	0,00	0,20
An	0,00	0,00	0,00	23,21	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	90,41	70,95	73,66	71,95	91,75	100,00	84,47	73,48	88,01	100,00	100,00	84,63
Or	9,59	29,05	26,34	4,84	0,00	0,00	15,53	26,52	11,99	0,00	0,00	15,37

(continuação)

Amostra	FT 01 CB-20	FT 01 CB-21	FT 01 CB-22	FT 01 CB-23	FT 01 CB-24	FT 01 CB-25	FT 01 CB-26	FT 01 CB-27	FT 01 CB-28	FT 01 CB-29	FT 01 CB-30	CTF 8 D-1
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Verde
SiO ₂	63,41	65,35	66,66	65,82	65,53	69,53	55,52	58,39	64,97	64,00	65,48	65,63
Al ₂ O ₃	19,91	19,77	19,68	19,80	20,07	20,14	28,04	25,63	19,93	19,82	20,69	19,53
FeO _{total}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,57	1,66	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	9,95	9,06	7,47	10,34	8,42	7,91	10,96	14,15	11,33	10,61	9,27	2,27
K ₂ O	6,73	5,82	6,20	4,04	5,99	2,41	1,32	0,00	3,77	5,56	4,56	12,57
Total	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01	99,99	99,71	99,83	100,00	99,99	100,00	100,00
Si	2,76	2,88	2,97	2,88	2,90	3,11	2,41	2,49	2,82	2,78	2,88	3,01
Al	1,02	1,03	1,03	1,02	1,05	1,06	1,44	1,29	1,02	1,02	1,07	1,06
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,84	0,77	0,65	0,88	0,72	0,69	0,92	1,17	0,95	0,89	0,79	0,20
K	0,37	0,33	0,35	0,23	0,34	0,14	0,07	0,00	0,21	0,31	0,26	0,74
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	69,20	70,29	64,68	79,55	68,12	83,30	87,35	100,00	82,04	74,36	75,55	21,54
Or	30,80	29,71	35,32	20,45	31,88	16,70	6,92	0,00	17,96	25,64	24,45	78,46

(continuação)

Amostra	CTF 8 D-2	CTF 8 D-3	CTF 8 D-4	CTF 8 D-5	CTF 8 D-6	CTF 8 D-7	CTF 8 E-1	CTF 8 E-2	CTF 8 E-3	CTF 8 E-4	CTF 8 E-5	CTF 8 E-6	CTF 8 E-7	CTF 8 D-8
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	64,71	66,64	65,11	68,67	65,10	65,81	66,35	61,93	62,03	61,56	64,65	63,90	63,67	65,65
Al ₂ O ₃	19,67	20,02	19,12	19,48	19,29	19,53	19,13	20,45	20,68	20,38	19,62	20,14	19,34	21,02
FeO _{total}	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
CaO	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	2,15
Na ₂ O	3,31	7,20	2,77	5,44	3,25	3,93	5,85	4,14	5,10	2,26	2,55	5,05	2,57	9,36
K ₂ O	12,30	6,15	13,00	6,41	12,36	10,72	8,67	9,16	8,00	10,90	13,18	10,90	11,55	1,82
Total	99,99	100,01	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	95,68	95,81	95,10	100,00	99,99	97,13	100,00
Si	2,94	2,97	2,97	3,11	2,96	2,99	2,98	2,93	2,91	2,96	2,95	2,87	3,00	2,90
Al	1,05	1,05	1,03	1,04	1,03	1,05	1,01	1,14	1,14	1,16	1,06	1,07	1,07	1,09
Fe ²⁺	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
Ca	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	0,10
Na	0,29	0,62	0,25	0,48	0,29	0,35	0,51	0,38	0,46	0,21	0,23	0,44	0,23	0,80
K	0,71	0,35	0,76	0,37	0,72	0,62	0,50	0,55	0,48	0,67	0,77	0,62	0,69	0,10
An	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	10,12
Ab	29,03	64,02	24,46	56,33	28,55	35,78	50,63	40,72	49,21	23,96	22,72	41,32	25,27	79,69
Or	70,97	35,98	75,54	43,67	71,45	64,22	49,37	59,28	50,79	76,04	77,28	58,68	74,73	10,20

(continuação)

Amostra	CTF 8 D-9	CTF 8 D-10	CTF 8 D-11	CTF 8 D-12	CTF 8 D-13	CTF 8 D-14	CTF 8 D-15	CTF 8 D-16	CTF 8 D-17	CTF 8 E-8	CTF 8 E-9	CTF 8 E-10	CTF 8 E-11
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	66,04	65,63	67,55	66,45	64,44	63,67	63,36	66,11	63,95	64,70	71,35	66,13	65,21
Al ₂ O ₃	19,55	20,82	20,94	20,30	21,08	20,08	20,89	21,70	18,77	19,23	20,09	20,20	18,56
FeO _{total}	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	0,00	3,14	2,87	0,00	0,00	5,43
CaO	1,19	0,00	0,00	0,00	1,81	1,80	1,30	1,91	3,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	9,94	10,08	9,63	10,09	9,63	10,28	12,56	10,28	8,06	8,20	8,56	8,37	7,47
K ₂ O	1,57	3,48	1,89	3,15	3,05	1,04	1,89	0,00	2,58	4,68	0,00	5,29	2,71
Total	99,70	100,01	100,01	99,99	100,01	99,69	100,00	100,00	99,65	99,68	100,00	99,99	99,38
Si	2,93	2,87	2,98	2,92	2,83	2,82	2,73	2,91	2,88	2,90	3,20	2,93	2,98
Al	1,02	1,07	1,09	1,05	1,09	1,05	1,06	1,13	1,00	1,02	1,06	1,05	1,00
Fe ²⁺	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,00	0,21
Ca	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,06	0,09	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,85	0,86	0,82	0,86	0,82	0,88	1,05	0,88	0,70	0,71	0,74	0,72	0,66
K	0,09	0,19	0,11	0,18	0,17	0,06	0,10	0,00	0,15	0,27	0,00	0,30	0,16
An	5,65	0,00	0,00	0,00	7,91	8,32	4,95	9,31	15,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	85,46	81,49	88,56	82,96	76,20	85,96	86,49	90,69	70,10	72,70	100,00	70,63	80,73
Or	8,88	18,51	11,44	17,04	15,88	5,72	8,56	0,00	14,76	27,30	0,00	29,37	19,27

(continuação)

Amostra	CTF 8 E-12	CTF 8 E-13	CTF 8 E-14	CTF 8 E-15	CTF 8 E-16	CTF 8 E-17
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	64,96	65,31	64,66	64,23	63,77	65,27
Al ₂ O ₃	21,70	21,57	21,89	20,59	21,64	19,92
FeO _{total}	0,00	0,00	0,00	2,74	0,00	1,51
CaO	2,01	2,75	2,81	2,04	2,03	3,50
Na ₂ O	8,35	8,96	9,51	10,09	11,03	8,47
K ₂ O	2,99	1,41	1,12	0,00	1,53	1,16
Total	100,01	100,00	99,99	99,69	100,00	99,83
Si	2,88	2,89	2,85	2,85	2,78	2,92
Al	1,13	1,13	1,14	1,08	1,11	1,05
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,06
Ca	0,10	0,13	0,13	0,10	0,09	0,17
Na	0,72	0,77	0,81	0,87	0,93	0,74
K	0,17	0,08	0,06	0,00	0,09	0,07
An	9,72	13,32	13,16	10,05	8,53	17,32
Ab	73,07	78,55	80,59	89,95	83,82	75,85
Or	17,22	8,13	6,25	0,00	7,65	6,83

APÊNDICE 3 - Composição química de feldspatos alcalinos de sienitos do CAT. Análises realizadas em Microsonda eletrônica.

Amostra	FT01 C1-1	FT01 C1-2	FT01 C1-3	FT01 C1-4	FT01 C1-5	FT01 C1-6	FT01 C1-7	FT01 C1-8	FT01 C1-9	FT01 C1-10	FT01 C1-11	FT01 C1-12	FT01 C1-13	FT01 C1-14	FT01 C1-15	FT01 C1-16	FT01 C1-17
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	60,84	61,73	64,21	64,98	64,44	64,54	65,00	61,32	65,06	64,46	65,65	64,13	64,74	60,36	66,50	65,49	64,33
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00
Al ₂ O ₃	18,75	19,20	19,62	19,80	19,65	20,14	19,71	19,09	19,68	19,60	19,83	20,09	19,99	18,60	21,08	19,89	19,46
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FeO _{total}	0,03	0,19	0,13	0,18	0,08	0,25	0,18	0,14	0,13	0,30	0,11	0,15	0,19	0,49	0,16	0,29	0,23
MnO	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,09	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04	0,05	0,07	0,02	0,00
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
CaO	0,04	0,03	0,00	0,04	0,02	0,05	0,06	0,04	0,10	0,08	0,04	0,05	0,05	0,03	0,11	0,00	0,03
BaO	0,12	0,00	0,14	0,02	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,08	0,01	0,07	0,14	0,00	0,04	0,00	0,02
Na ₂ O	2,20	4,03	4,52	7,40	6,61	10,92	8,61	5,94	8,72	6,35	8,30	5,01	7,66	1,64	12,17	9,30	5,61
K ₂ O	14,04	11,87	11,01	6,89	8,47	1,66	5,67	8,30	5,31	8,12	5,92	10,96	6,88	14,66	0,46	4,36	9,65
Total	96,03	97,09	99,63	99,34	99,28	97,66	99,28	95,00	99,02	99,03	99,88	100,50	99,73	95,85	100,59	99,40	99,33
Si	2,89	2,87	2,91	2,91	2,89	2,88	2,89	2,89	2,90	2,91	2,91	2,87	2,88	2,88	2,87	2,90	2,91
Ti	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	0,00	0,00
Al	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,06	1,03	1,06	1,03	1,04	1,04	1,06	1,05	1,05	1,07	1,04	1,04
Cr	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	0,00	0,00
Fe ³⁺	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	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Mn	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	0,00	0,00
Mg	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	0,00	0,00
Ca	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	0,00	0,00
Ba	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	0,00	0,00
Na	0,20	0,36	0,40	0,64	0,58	0,95	0,74	0,54	0,75	0,56	0,71	0,43	0,66	0,15	1,02	0,80	0,49
K	0,85	0,70	0,64	0,39	0,49	0,09	0,32	0,50	0,30	0,47	0,33	0,63	0,39	0,89	0,03	0,25	0,56
An	0,17	0,15	0,00	0,20	0,10	0,22	0,27	0,18	0,45	0,38	0,20	0,24	0,21	0,14	0,48	0,00	0,15
Ab	19,23	33,96	38,40	61,89	54,19	90,69	69,59	52,01	71,05	54,11	67,94	40,87	62,73	14,51	97,11	76,42	46,83
Or	80,60	65,88	61,60	37,91	45,71	9,08	30,14	47,81	28,50	45,51	31,86	58,89	37,06	85,35	2,41	23,58	53,02

(continuação)

Amostra	FT01 C1-18	FT01 C1-19	FT01 C1-20	FT01 C1-21	FT01 C1-22	FT01 C1-23	FT01 C1-24	FT01 C1-25	FT01- VF1-1	FT01- VF1-2	FT01- VF1-3	FT01- VF1-4	FT01- VF1-5	FT01- VF1-6	FT01- VF1-7	FT01- VF1-8
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	64,15	61,52	62,12	61,81	64,78	65,23	64,41	63,61	64,49	60,42	62,69	62,56	60,86	62,78	62,44	60,09
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	19,74	19,12	19,07	19,09	20,24	20,30	20,21	20,08	18,91	18,41	18,86	18,54	18,12	18,94	18,98	18,04
Cr ₂ O ₃	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04
FeO _{total}	0,21	0,04	0,45	0,20	0,19	0,44	0,16	0,30	0,12	0,42	0,17	0,11	0,14	0,47	0,80	0,12
MnO	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,07	0,07	0,02
MgO	0,01	0,01	0,38	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02
CaO	0,00	0,06	0,03	0,07	0,04	0,39	0,07	0,07	0,01	0,05	0,00	0,01	0,04	0,10	0,05	0,05
BaO	0,00	0,00	0,09	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,08	0,08	0,08	0,09	0,00	0,00	0,09	0,00
Na ₂ O	7,44	2,76	10,75	3,82	8,34	10,66	11,66	10,66	0,93	0,93	0,62	1,04	0,42	0,44	0,42	0,41
K ₂ O	7,52	13,57	0,97	11,47	6,23	2,48	0,65	1,81	15,27	15,57	16,55	16,37	16,04	16,42	16,24	15,99
Total	99,09	97,11	93,87	96,48	99,89	99,50	97,19	96,54	99,86	95,92	99,00	98,74	95,63	99,22	99,16	94,77
Si	2,87	2,88	2,88	2,90	2,87	2,87	2,88	2,88	2,98	2,90	2,92	2,91	2,94	2,92	2,91	2,92
Ti	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	0,00
Al	1,04	1,05	1,04	1,05	1,06	1,05	1,06	1,07	1,03	1,04	1,03	1,02	1,03	1,04	1,04	1,03
Cr	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	0,00
Fe ³⁺	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	0,00
Fe ²⁺	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00
Mn	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	0,00
Mg	0,00	0,00	0,03	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
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	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	0,00
Na	0,65	0,25	0,97	0,35	0,72	0,91	1,01	0,93	0,08	0,09	0,06	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04
K	0,43	0,81	0,06	0,69	0,35	0,14	0,04	0,10	0,90	0,95	0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	0,99
An	0,00	0,27	0,13	0,36	0,18	1,72	0,31	0,32	0,03	0,24	0,00	0,07	0,19	0,49	0,25	0,25
Ab	60,05	23,55	94,27	33,50	66,94	85,26	96,15	89,66	8,50	8,33	5,38	8,82	3,81	3,89	3,79	3,73
Or	39,95	76,18	5,60	66,14	32,88	13,02	3,55	10,02	91,47	91,43	94,62	91,11	96,00	95,63	95,96	96,02

(continuação)

Amostra	FT01-VF1-9	FT01-VF1-10	FT01-VF1-11	FT01-VF1-12	FT01-VF1-13	FT01-VF1-14	FT01-VF1-15	FT01-VF1-16	FT01-VF1-17	FT01-VF1-18	FT01-VF1-19	FT01-VF1-20	FT01-VF1-21	FT01-VF1-22	FT01-VF1-23
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	66,17	66,65	65,42	60,18	65,16	64,84	66,03	62,82	63,03	63,17	62,95	64,70	56,67	62,97	63,79
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,25	20,36	19,81	18,28	19,64	19,53	20,10	19,37	18,88	19,14	19,32	19,81	17,35	19,22	19,61
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
FeO _{total}	0,67	0,24	0,33	0,44	0,38	0,38	0,35	0,18	0,79	0,01	0,39	0,31	0,10	0,10	0,35
MnO	0,02	0,03	0,02	0,00	0,12	0,00	0,00	0,04	0,06	0,00	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
CaO	0,06	0,04	0,11	0,11	0,00	0,03	0,04	0,02	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,01	0,01
BaO	0,00	0,00	0,04	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00
Na ₂ O	11,80	11,80	8,63	6,58	7,25	6,18	7,08	0,45	0,38	0,67	0,37	5,75	0,38	0,43	7,57
K ₂ O	0,25	0,18	4,57	6,37	7,04	8,44	6,71	16,56	16,26	16,37	16,55	9,22	16,60	16,50	7,37
Total	99,22	99,31	98,97	91,99	99,68	99,40	100,33	99,45	99,46	99,42	99,72	99,92	91,24	99,23	98,71
Si	2,91	2,92	2,93	2,92	2,91	2,92	2,94	2,91	2,93	2,93	2,91	2,91	2,86	2,93	2,87
Ti	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
Al	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03	1,05	1,04
Cr	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
Fe ³⁺	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
Fe ²⁺	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Mn	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
Mg	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
Ca	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	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
Na	1,00	1,00	0,75	0,62	0,63	0,54	0,61	0,04	0,03	0,06	0,03	0,50	0,04	0,04	0,66
K	0,01	0,01	0,26	0,39	0,40	0,49	0,38	0,98	0,96	0,97	0,98	0,53	1,07	0,98	0,42
An	0,28	0,16	0,50	0,56	0,00	0,12	0,18	0,10	0,14	0,00	0,26	0,00	0,23	0,05	0,03
Ab	98,37	98,87	73,79	60,76	61,03	52,61	61,48	3,94	3,46	5,83	3,25	48,67	3,31	3,77	60,94
Or	1,35	0,96	25,71	38,69	38,97	47,27	38,34	95,96	96,40	94,17	96,48	51,33	96,46	96,18	39,03

(continuação)

Amostra	FT01- VF1-24	FT01- VF1-25	FT01- VF1-26	FT01- VF1-27	FT01- VF1-28	FT01- VF1-29	FT01- VF1-30	FT01- VF1-31	FT01- VF1-32	FT01- VF1-33	FT01- VF1-34	FT01- VF1-35	FT01- VF1-36	FT01- VF1-37	FT01- VF1-38
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	66,13	66,08	66,53	64,69	64,60	64,86	64,92	62,83	64,55	64,52	62,27	60,73	64,34	64,27	60,38
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,38	20,50	20,74	19,38	19,52	20,34	19,80	19,38	19,10	21,52	19,99	18,98	18,60	18,84	18,29
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,05	0,01	0,05	0,01
FeO _{total}	0,18	0,30	0,08	0,51	0,52	0,35	0,22	0,33	0,81	0,16	0,14	0,10	0,04	0,09	0,05
MnO	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04
MgO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,03	0,05	0,12	0,04	0,06	0,05	0,11	0,12	0,17	0,69	0,33	0,00	0,00	0,03	0,01
BaO	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,06	0,00	0,16	0,00	0,07	0,12	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	12,23	12,05	12,24	7,55	7,15	10,12	7,39	7,17	6,52	9,90	6,98	1,15	0,44	0,45	1,56
K ₂ O	0,99	0,36	0,19	6,97	7,20	3,89	6,69	6,86	8,48	3,53	7,22	15,22	16,37	16,62	14,01
Total	100,11	99,36	99,91	99,19	99,05	99,69	99,21	96,74	99,83	100,33	97,02	96,35	99,84	100,36	94,35
Si	2,87	2,89	2,89	2,90	2,91	2,85	2,91	2,89	2,90	2,82	2,85	2,89	2,98	2,96	2,93
Ti	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
Al	1,04	1,06	1,06	1,02	1,04	1,05	1,05	1,05	1,01	1,11	1,08	1,07	1,01	1,02	1,05
Cr	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
Fe ³⁺	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
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	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
Mg	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
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	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
Na	1,03	1,02	1,03	0,66	0,62	0,86	0,64	0,64	0,57	0,84	0,62	0,11	0,04	0,04	0,15
K	0,05	0,02	0,01	0,40	0,41	0,22	0,38	0,40	0,48	0,20	0,42	0,92	0,97	0,98	0,87
An	0,12	0,22	0,55	0,17	0,28	0,20	0,52	0,55	0,75	3,03	1,53	0,01	0,00	0,16	0,06
Ab	94,82	97,86	98,43	62,10	59,97	79,65	62,34	61,03	53,48	78,52	58,60	10,33	3,96	3,97	14,43
Or	5,06	1,92	1,02	37,73	39,75	20,15	37,14	38,42	45,77	18,44	39,87	89,65	96,04	95,87	85,51

(continuação)

Amostra	FT01- VF1-39	FT01- VF1-40	FT01- VF1-41	FT01- VF1-42	FT01- VF1-43
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	64,06	62,06	62,92	62,21	65,92
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	18,12	19,17	19,27	19,36	21,09
Cr ₂ O ₃	0,02	0,03	0,01	0,00	0,04
FeO _{total}	0,27	0,23	0,21	0,28	0,06
MnO	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
MgO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
CaO	0,02	0,02	0,01	0,07	0,49
BaO	0,09	0,06	0,05	0,01	0,00
Na ₂ O	0,38	6,14	1,07	7,76	11,46
K ₂ O	16,36	8,96	15,68	5,95	1,39
Total	99,32	96,69	99,22	95,65	100,49
Si	2,98	2,87	2,91	2,88	2,86
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,99	1,04	1,05	1,06	1,08
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,03	0,55	0,10	0,70	0,96
K	0,97	0,53	0,93	0,35	0,08
An	0,10	0,08	0,05	0,33	2,14
Ab	3,38	50,98	9,37	66,25	90,61
Or	96,52	48,94	90,57	33,42	7,25

APÊNDICE 4 - Composição química de piroxênios dos sienitos do CAT.
Análises realizadas em EDS.

Amostra	CTF 5/4-1	CTF 5/4-2	CTF 5/4-3	CTF 5/4-4	CTF 8 D-1	CTF 8 D-2	CTF 8 D-3	CTF 8 D-4	CTF 8 D-5
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	49,16	42,29	43,43	47,63	50,33	50,17	53,67	50,21	53,67
TiO ₂	0,00	1,83	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO _{total}	22,80	33,68	33,37	25,75	20,01	19,46	13,33	19,17	22,37
MnO	2,90	2,65	2,45	2,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	2,67	2,71	2,58	4,94	6,72	6,53	11,73	6,24	5,21
CaO	18,20	10,67	10,79	11,61	22,95	23,84	21,27	24,37	16,85
Na ₂ O	4,27	4,39	3,82	6,46	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90
K ₂ O	0,00	1,80	1,86	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	1,92	1,69	1,74	1,81	1,98	1,97	2,04	1,98	2,11
Total ^{IV}	1,92	1,69	1,74	1,81	1,98	1,97	2,04	1,98	2,11
Fe ³⁺	0,48	0,95	0,81	0,82	0,04	0,05	0,00	0,05	0,00
Fe ²⁺	0,26	0,17	0,31	0,00	0,62	0,59	0,42	0,58	0,73
Mg	0,16	0,16	0,15	0,28	0,39	0,38	0,67	0,37	0,30
Mn	0,10	0,09	0,08	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,76	0,46	0,46	0,47	0,97	1,00	0,87	1,03	0,71
Na	0,32	0,34	0,30	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
K	0,00	0,09	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total ^{VI}	2,08	2,31	2,26	2,19	2,02	2,03	1,96	2,02	1,89
Wo	45,84	26,19	26,68	30,10	47,90	49,54	44,31	50,75	40,55
En	9,34	9,25	8,88	17,81	19,50	18,88	34,01	18,08	17,43
Fs	44,82	64,55	64,44	52,09	32,59	31,57	21,68	31,16	42,02
Ae	53,75	73,92	63,80	74,53	3,77	5,28	0,00	4,88	0,00
Di	17,25	12,54	12,11	25,47	37,44	37,42	61,07	36,72	29,32
Hd	29,00	13,54	24,09	0,00	58,79	57,30	38,93	58,40	70,68
MgO*	0,10	0,07	0,07	0,16	0,25	0,25	0,47	0,25	0,19

$$\text{MgO}^* = \text{MgO}/(\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO})$$

(continuação)

Amostra	CTF 8 D-6	CTF 8 D-7	CTF 8 D-8	CTF 8 D-9	CTF 8 D-10	CTF 8 D-11	CTF 8 D-12	CTF 8 E-1
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	50,68	47,43	42,64	52,39	49,05	51,23	52,65	50,04
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO _{total}	19,80	24,02	30,44	17,79	21,40	19,93	19,06	21,36
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,49
MgO	6,60	4,09	2,13	9,03	6,00	6,54	6,53	6,96
CaO	21,54	24,47	24,79	20,79	23,55	19,36	21,76	20,14
Na ₂ O	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	1,97	1,90	1,74	2,03	1,94	1,97	2,07	1,98
Total ^{IV}	1,97	1,90	1,74	2,03	1,94	1,97	2,07	1,98
Fe ³⁺	0,16	0,20	0,51	0,00	0,12	0,28	0,00	0,04
Fe ²⁺	0,48	0,61	0,53	0,58	0,59	0,36	0,63	0,67
Mg	0,38	0,24	0,13	0,52	0,35	0,37	0,38	0,41
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,90	1,05	1,09	0,87	1,00	0,80	0,92	0,85
Na	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total ^{VI}	2,03	2,10	2,26	1,97	2,06	2,03	1,93	2,02
Wo	46,65	50,03	48,13	44,02	48,46	43,98	47,60	43,31
En	19,89	11,63	5,75	26,58	17,17	20,68	19,86	20,83
Fs	33,46	38,34	46,12	29,40	34,38	35,34	32,54	35,86
Ae	15,68	18,99	43,87	0,00	11,26	27,66	0,00	3,70
Di	37,28	23,27	11,09	47,48	33,31	36,91	37,90	36,75
Hd	47,04	57,74	45,04	52,52	55,43	35,43	62,10	59,56
MgO*	0,25	0,15	0,07	0,34	0,22	0,25	0,26	0,25

APÊNDICE 5 - Composição química de piroxênios dos sienitos do CAT.
Análises realizadas em Microsonda eletrônica.

Amostra	FT01-VF1-1	FT01-VF1-2	FT01-VF1-3	FT01-VF1-4	FT01-VF1-5	FT01-VF1-6	FT01-VF1-7	FT01-VF1-8	FT01-VF1-9
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
SiO ₂	50,12	49,60	50,09	49,05	48,72	44,28	48,54	49,82	49,33
TiO ₂	0,10	0,13	0,12	0,26	0,29	2,53	0,37	0,00	0,23
Al ₂ O ₃	0,60	0,52	0,79	0,96	0,49	3,93	0,43	0,15	0,44
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
FeO	36,55	36,27	36,13	35,40	26,43	32,32	26,10	25,64	27,90
MnO	0,90	0,91	0,60	0,93	1,15	1,21	0,99	1,31	1,13
MgO	0,39	0,67	0,85	0,87	2,47	0,96	2,19	2,23	0,74
CaO	2,85	2,75	2,55	3,83	19,51	5,96	18,87	16,89	15,94
Na ₂ O	5,96	5,85	6,04	5,55	1,38	5,74	2,28	3,64	3,94
K ₂ O	0,60	0,62	0,71	1,01	0,01	1,47	0,01	0,00	0,00
Total	98,08	97,33	97,88	97,86	100,45	98,41	99,82	99,68	99,65
Si	2,04	2,03	2,04	2,00	1,95	1,78	1,94	1,97	1,97
Al ^{IV}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,19	0,02	0,01	0,02
Total ^{IV}	2,04	2,03	2,04	2,00	1,97	1,97	1,96	1,98	1,99
Al ^{VI}	0,03	0,03	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,38	0,39	0,40	0,43	0,16	0,63	0,25	0,33	0,33
Fe ²⁺	0,86	0,85	0,83	0,77	0,72	0,45	0,63	0,52	0,60
Cr ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,04	0,05	0,05	0,15	0,06	0,13	0,13	0,04
Mn	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,01	0,00	0,01
Ca	0,12	0,12	0,11	0,17	0,84	0,26	0,81	0,72	0,68
Na	0,47	0,46	0,48	0,44	0,11	0,45	0,18	0,28	0,31
K	0,03	0,03	0,04	0,05	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Total ^{VI}	1,96	1,97	1,96	2,00	2,03	2,03	2,04	2,02	2,01
Wo	8,92	8,59	7,97	11,72	44,77	18,33	44,62	42,23	41,13
En	1,70	2,93	3,70	3,70	7,89	4,12	7,20	7,74	2,67
Fs	89,38	88,48	88,33	84,59	47,35	77,55	48,18	50,03	56,20
Ae	30,19	30,68	31,01	34,48	15,83	55,20	24,65	33,42	33,78
Di	1,87	3,21	4,02	4,19	14,28	5,04	13,00	13,40	4,53
Hd	67,94	66,11	64,98	61,34	69,89	39,76	62,35	53,18	61,69
Quad	71,04	70,68	69,58	67,40	90,13	48,48	85,40	80,36	79,12
Ae	26,95	27,55	27,78	29,49	8,64	39,79	13,50	19,23	19,64
Jd	2,01	1,77	2,63	3,12	1,23	11,73	1,10	0,41	1,24
MgO*	0,01	0,02	0,02	0,02	0,09	0,03	0,08	0,08	0,03

$$\text{MgO}^* = \text{MgO}/(\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO})$$

(continuação)

Amostra	FT01-VF1-10	FT01-VF1-11	FT01-VF1-12	FT01-VF1-13	FT01-VF1-14	FT01-VF1-15	FT01-VF1-16	FT01-VF1-17	FT01-C1-1
Variedade	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Cinza
SiO ₂	48,67	48,76	48,47	50,21	45,50	48,95	44,75	42,24	48,94
TiO ₂	0,36	0,24	0,36	0,31	1,79	0,50	1,56	0,22	0,26
Al ₂ O ₃	0,54	0,49	0,56	0,54	3,14	1,30	4,18	0,71	0,40
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
FeO	26,87	25,37	26,12	35,02	33,03	34,22	33,12	24,28	36,54
MnO	1,10	1,05	1,13	0,87	1,10	1,12	1,04	1,35	0,93
MgO	2,30	2,94	2,32	1,28	0,92	1,44	1,35	1,41	1,11
CaO	19,33	19,76	19,49	2,52	4,43	3,74	5,06	19,47	2,80
Na ₂ O	1,39	1,19	1,43	6,26	5,95	5,65	5,68	3,37	5,52
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,63	1,65	0,94	1,78	0,13	0,65
Total	100,59	99,80	99,92	97,65	97,53	97,85	98,51	93,18	97,16
Si	1,95	1,96	1,95	2,04	1,84	1,98	1,79	1,79	2,01
Al ^{IV}	0,03	0,02	0,03	0,03	0,15	0,02	0,20	0,04	0,00
Total ^{IV}	1,98	1,98	1,98	2,07	1,99	2,00	1,99	1,83	2,01
Al ^{VI}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02
Fe ³⁺	0,16	0,13	0,16	0,41	0,61	0,43	0,66	0,65	0,41
Fe ²⁺	0,74	0,72	0,72	0,78	0,51	0,73	0,44	0,21	0,85
Cr ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,14	0,18	0,14	0,08	0,06	0,09	0,08	0,09	0,07
Mn	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02	0,05	0,01	0,01
Ca	0,83	0,85	0,84	0,11	0,19	0,16	0,22	0,88	0,12
Na	0,11	0,09	0,11	0,49	0,47	0,44	0,44	0,28	0,44
K	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,05	0,09	0,01	0,03
Total ^{VI}	2,02	2,02	2,02	1,93	2,01	2,00	2,01	2,17	1,99
Wo	44,43	45,27	45,22	7,97	14,07	11,51	15,43	48,21	8,51
En	7,36	9,36	7,50	5,62	4,05	6,17	5,73	4,87	4,71
Fs	48,21	45,37	47,28	86,40	81,89	82,32	78,84	46,93	86,78
Ae	15,49	13,04	15,80	32,30	52,04	34,66	55,95	68,71	30,86
Di	13,25	17,10	13,69	6,11	4,71	6,97	6,77	9,39	5,15
Hd	71,26	69,86	70,51	61,59	43,25	58,37	37,27	21,89	63,99
Quad	90,17	91,74	90,05	68,98	49,81	66,39	46,20	63,20	70,81
Ae	8,49	7,05	8,53	29,17	40,30	29,37	41,50	34,92	27,86
Jd	1,33	1,21	1,41	1,85	9,90	4,23	12,30	1,89	1,32
MgO*	0,08	0,10	0,08	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03

(continuação)

Amostra	FT01-C1- 2	FT01-C1- 3	FT01-C1- 4	FT01-C1- 5	FT01-C1- 6	FT01-C1- 7	FT01-C1- 8
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	49,61	48,46	48,93	48,34	49,61	49,47	48,96
TiO ₂	0,15	0,23	0,19	0,36	0,24	0,21	0,35
Al ₂ O ₃	0,31	0,58	0,62	1,03	0,84	0,43	0,52
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01
FeO	25,76	36,38	34,42	34,88	34,19	34,71	31,79
MnO	1,34	1,03	1,14	0,92	0,87	0,59	0,86
MgO	0,83	0,92	0,86	1,06	0,83	1,65	2,05
CaO	15,14	4,05	3,74	5,09	3,99	2,36	3,93
Na ₂ O	3,30	4,50	5,92	5,16	5,69	6,11	6,72
K ₂ O	0,44	0,73	0,83	1,00	0,90	0,65	1,13
Total	96,86	96,88	96,67	97,84	97,15	96,20	96,32
Si	2,04	2,02	2,01	1,97	2,03	2,03	1,98
Al ^{IV}	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02
Total ^{IV}	2,04	2,02	2,01	2,00	2,03	2,03	2,00
Al ^{VI}	0,01	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,00
Fe ³⁺	0,18	0,32	0,45	0,45	0,39	0,42	0,58
Fe ²⁺	0,71	0,95	0,73	0,74	0,78	0,77	0,50
Cr ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,10	0,12
Mn	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,67	0,18	0,16	0,22	0,17	0,10	0,17
Na	0,26	0,36	0,47	0,41	0,45	0,49	0,53
K	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,06
Total ^{VI}	1,96	1,98	1,99	2,00	1,97	1,97	2,00
Wo	41,59	12,00	11,76	15,05	12,54	7,43	12,44
En	3,17	3,80	3,75	4,35	3,61	7,22	9,04
Fs	55,23	84,20	84,49	80,60	83,85	85,35	78,52
Ae	19,08	24,16	36,69	35,49	31,57	32,60	48,20
Di	5,43	4,32	4,25	5,12	4,13	7,80	10,32
Hd	75,48	71,52	59,07	59,39	64,30	59,60	41,48
Quad	88,04	77,28	66,20	67,59	70,35	68,80	56,78
Ae	11,04	20,87	31,69	29,17	26,83	29,73	41,46
Jd	0,91	1,84	2,11	3,24	2,81	1,47	1,76
MgO*	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,05	0,06

APÊNDICE 6 - Composição química de anfibólios dos sienitos do CAT. Análises realizadas em EDS.

Amostra	CTF 5/4-1	CTF 5/4-2	CTF 5/4-3	CTF 5/4-4	CTF 5/4-5	CTF 5/4-6	CTF 5/4-7	CTF 5/4-8	CTF 5/4-9	CTF 5/4-10	CTF 5/4-11	FT 01 CB-1
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	41,10	40,84	40,14	39,54	40,03	38,78	41,55	43,64	41,73	40,30	51,45	40,06
TiO ₂	0,00	1,17	1,54	1,75	1,69	0,00	0,00	2,74	1,26	1,62	0,00	1,85
Al ₂ O ₃	7,37	8,88	8,90	8,14	9,30	7,44	9,16	4,95	9,18	8,70	2,58	8,99
FeO _{total}	27,72	28,67	28,61	30,10	26,93	34,74	27,27	34,84	25,35	28,34	27,85	26,32
MnO	1,97	2,15	2,10	2,46	2,06	2,55	1,92	0,00	1,92	2,05	1,48	1,66
MgO	4,10	2,69	2,62	2,26	3,04	1,24	3,40	2,09	3,35	2,59	1,53	3,74
CaO	9,99	9,23	9,32	9,61	8,84	10,80	8,91	5,05	8,35	9,60	11,79	9,15
Na ₂ O	6,03	4,81	5,11	4,50	6,45	2,41	6,30	5,26	7,44	5,06	3,32	6,82
K ₂ O	1,71	1,57	1,66	1,64	1,67	2,05	1,49	1,43	1,42	1,73	0,00	1,41
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	6,57	6,50	6,41	6,38	6,37	6,42	6,57	6,98	6,55	6,44	7,88	6,35
Al ^{IV}	1,39	1,50	1,59	1,55	1,63	1,45	1,43	0,93	1,45	1,56	0,12	1,65
Total ^{IV}	7,96	8,00	8,00	7,93	8,00	7,87	8,00	7,91	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	0,00	0,17	0,09	0,00	0,11	0,00	0,28	0,00	0,25	0,07	0,35	0,03
Fe ²⁺	3,71	3,82	3,82	4,06	3,58	4,81	3,61	4,66	3,33	3,79	3,57	3,49
Mg	0,98	0,64	0,62	0,54	0,72	0,30	0,80	0,50	0,78	0,62	0,35	0,88
Mn	0,27	0,29	0,28	0,34	0,28	0,36	0,26	0,00	0,26	0,28	0,19	0,22
Ti	0,00	0,14	0,18	0,21	0,20	0,00	0,00	0,33	0,15	0,19	0,00	0,22
Ca	1,71	1,57	1,60	1,66	1,51	1,92	1,51	0,87	1,40	1,64	1,93	1,55
Na	1,87	1,48	1,58	1,41	1,99	0,77	1,93	1,63	2,27	1,57	0,99	2,10
K	0,35	0,32	0,34	0,34	0,34	0,43	0,30	0,29	0,28	0,35	0,00	0,29
Total ^{VI}	8,88	8,43	8,52	8,57	8,72	8,59	8,69	8,27	8,72	8,51	7,38	8,78
MgO*	0,13	0,09	0,08	0,07	0,10	0,03	0,11	0,06	0,12	0,08	0,05	0,12

(continuação)

Amostra	FT 01 CB-2	FT 01 CB-3	FT 01 CB-4	FT 01 CB-5	FT 01 CB-6	FT 01 CB-7	FT 01 CB-8	FT 01 CB-9	FT 01 CB-10	FT 01 CB-11	FT 01 CB-12
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	40,07	40,70	40,50	40,03	42,29	37,82	41,25	41,08	41,24	41,17	41,64
TiO ₂	1,69	1,72	1,63	1,53	0,00	1,97	1,57	1,18	1,43	1,49	1,11
Al ₂ O ₃	7,90	8,21	8,61	7,29	9,64	8,48	9,42	7,82	9,64	9,06	8,59
FeO _{total}	31,30	27,31	26,95	31,08	26,30	32,74	25,71	28,56	25,85	28,64	24,37
MnO	1,12	1,57	1,48	1,81	0,00	2,04	1,17	1,25	1,21	1,51	1,55
MgO	2,40	3,80	3,79	2,51	4,25	2,32	3,69	3,62	4,53	3,12	5,21
CaO	10,05	9,22	8,86	8,93	8,95	10,03	8,73	9,81	8,86	9,23	7,93
Na ₂ O	4,08	6,00	6,70	5,11	7,11	2,97	7,07	5,28	7,24	4,01	8,17
K ₂ O	1,41	1,47	1,48	1,71	1,44	1,62	1,38	1,39	0,00	1,77	1,44
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	6,45	6,46	6,42	6,48	6,60	6,18	6,47	6,53	6,43	6,51	6,52
Al ^{IV}	1,50	1,54	1,58	1,39	1,40	1,63	1,53	1,47	1,57	1,49	1,48
Total ^{IV}	7,94	7,99	8,00	7,87	8,00	7,81	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	0,00	0,00	0,03	0,00	0,37	0,00	0,21	0,00	0,20	0,20	0,10
Fe ²⁺	4,21	3,62	3,57	4,21	3,43	4,47	3,37	3,80	3,37	3,79	3,19
Mg	0,58	0,90	0,90	0,61	0,99	0,57	0,86	0,86	1,05	0,73	1,22
Mn	0,15	0,21	0,20	0,25	0,00	0,28	0,16	0,17	0,16	0,20	0,21
Ti	0,20	0,21	0,19	0,19	0,00	0,24	0,19	0,14	0,17	0,18	0,13
Ca	1,73	1,57	1,51	1,55	1,50	1,76	1,47	1,67	1,48	1,57	1,33
Na	1,27	1,84	2,06	1,60	2,15	0,94	2,15	1,63	2,19	1,23	2,48
K	0,29	0,30	0,30	0,35	0,29	0,34	0,28	0,28	0,00	0,36	0,29
Total ^{VI}	8,44	8,65	8,76	8,75	8,73	8,60	8,68	8,55	8,61	8,26	8,94
MgO*	0,07	0,12	0,12	0,07	0,14	0,07	0,13	0,11	0,15	0,10	0,18

(continuação)

Amostra	FT 01 CB-13	FT 01 CB-14	FT 01 CB-15	FT 01 CB-16	FT 01 CB-17	FT 01 CB-18	FT 01 CB-19	FT 01 CB-20	FT 01 CB-21	FT 01 CB-22	FT 01 CB-23
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	40,85	42,11	41,73	42,24	43,37	41,47	41,85	42,81	39,69	41,68	40,84
TiO ₂	1,26	0,00	0,00	1,40	0,00	1,25	1,08	0,00	1,33	1,25	1,33
Al ₂ O ₃	7,61	8,70	7,71	7,49	8,20	7,89	8,05	9,01	7,09	7,69	7,51
FeO _{total}	29,60	26,74	28,11	29,56	27,48	29,00	26,89	26,69	33,07	29,02	30,97
MnO	1,45	1,37	1,26	0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	1,76	1,46	1,60
MgO	3,66	4,35	4,05	3,46	4,14	3,06	4,14	3,76	2,10	2,83	2,34
CaO	9,22	8,65	10,49	8,96	8,43	9,41	8,31	7,85	9,17	9,06	8,87
Na ₂ O	4,78	6,71	5,00	5,23	6,71	5,06	6,70	8,32	4,24	5,25	4,88
K ₂ O	1,56	1,37	1,65	1,66	1,67	1,50	1,60	1,57	1,55	1,77	1,66
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	6,52	6,62	6,63	6,68	6,79	6,59	6,60	6,70	6,47	6,64	6,57
Al ^{IV}	1,43	1,38	1,37	1,32	1,21	1,41	1,40	1,30	1,36	1,36	1,42
Total ^{IV}	7,96	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,83	8,00	7,99
Al ^{VI}	0,00	0,23	0,07	0,08	0,30	0,07	0,10	0,36	0,00	0,08	0,00
Fe ²⁺	3,95	3,52	3,73	3,91	3,60	3,86	3,55	3,49	4,51	3,86	4,17
Mg	0,87	1,02	0,96	0,82	0,97	0,72	0,97	0,88	0,51	0,67	0,56
Mn	0,20	0,18	0,17	0,00	0,00	0,18	0,18	0,00	0,24	0,20	0,22
Ti	0,15	0,00	0,00	0,17	0,00	0,15	0,13	0,00	0,16	0,15	0,16
Ca	1,58	1,46	1,78	1,52	1,41	1,60	1,40	1,32	1,60	1,54	1,53
Na	1,48	2,05	1,54	1,60	2,04	1,56	2,05	2,53	1,34	1,62	1,52
K	0,32	0,27	0,33	0,34	0,33	0,30	0,32	0,31	0,32	0,36	0,34
Total ^{VI}	8,55	8,73	8,59	8,42	8,64	8,45	8,71	8,89	8,69	8,48	8,50
MgO*	0,11	0,14	0,13	0,10	0,13	0,10	0,13	0,12	0,06	0,09	0,07

APÊNDICE 7 - Composição química de biotitas dos sienitos do CAT. Análises realizadas em EDS.

Amostra	CTF 5/4-1	CTF 5/4-2	CTF 5/4-3	CTF 5/4-4	CTF 5/4-5	CTF 5/4-6	CTF 5/4-7	CTF 8 D-1	CTF 8 D-2	CTF 8 D-3
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	35,48	37,37	35,71	39,74	38,84	37,10	37,30	40,89	37,92	38,37
TiO ₂	2,64	2,91	3,73	1,85	1,32	1,15	3,19	3,94	5,33	4,66
Al ₂ O ₃	11,40	12,70	11,55	12,46	12,58	11,20	10,48	12,59	13,13	13,21
FeO	36,27	33,74	35,61	29,18	30,85	36,02	35,55	20,18	27,96	27,15
MnO	1,25	0,00	0,00	0,00	1,34	1,32	1,74	0,00	0,00	0,00
MgO	3,03	4,34	2,60	8,17	8,17	6,01	2,97	13,63	7,32	8,37
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	1,72	0,00	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	8,22	8,94	8,63	8,60	6,90	7,19	8,77	8,76	8,34	8,25
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	5,66	5,79	5,66	5,97	5,88	5,81	5,90	5,89	5,69	5,72
Al ^{IV}	2,14	2,21	2,16	2,03	2,12	2,07	1,95	2,11	2,31	2,28
Total ^{IV}	7,80	8,00	7,82	8,00	8,00	7,87	7,85	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	0,00	0,11	0,00	0,18	0,12	0,00	0,00	0,03	0,01	0,04
Fe ³⁺	0,20	0,00	0,18	0,00	0,00	0,13	0,15	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	4,64	4,37	4,55	3,67	3,90	4,59	4,55	2,43	3,51	3,39
Mg	0,72	1,00	0,61	1,83	1,84	1,40	0,70	2,93	1,64	1,86
Mn	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,18	0,23	0,00	0,00	0,00
Ti	0,32	0,34	0,45	0,21	0,15	0,14	0,38	0,43	0,60	0,52
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,53	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	1,67	1,77	1,75	1,65	1,33	1,44	1,77	1,61	1,60	1,57
Total ^{VI}	8,25	7,59	8,20	7,54	7,52	7,87	7,78	7,42	7,35	7,38
MgO*	0,08	0,11	0,07	0,22	0,21	0,14	0,08	0,40	0,21	0,24

$$\text{MgO}^* = \text{MgO}/(\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO})$$

(continuação)

Amostra	CTF 8 D-4	CTF 8 D-5	CTF 8 D-6	CTF 8 D-7	CTF 8 D-8	CTF 8 D-9	CTF 8 D-10	CTF 8 D-11	CTF 8 E-1	CTF 8 E-2
Variedade	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
SiO ₂	37,95	38,47	36,47	37,64	39,18	38,34	37,81	38,08	37,97	37,08
TiO ₂	5,09	5,00	5,39	5,20	4,52	5,16	4,96	4,55	3,05	3,98
Al ₂ O ₃	12,79	14,01	11,82	13,44	12,79	13,51	12,37	13,25	12,31	11,74
FeO	27,99	25,31	31,16	27,07	27,40	26,54	27,73	25,72	30,31	30,33
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	7,68	9,01	6,58	8,38	7,81	8,21	8,76	7,76	5,93	7,66
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	2,41	1,17
K ₂ O	8,50	8,19	8,59	8,27	8,31	8,24	8,37	8,16	8,02	8,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si	5,70	5,68	5,60	5,62	5,84	5,70	5,68	5,69	5,80	5,67
Al ^{IV}	2,26	2,32	2,14	2,37	2,16	2,30	2,19	2,31	2,20	2,11
Total ^{IV}	7,96	8,00	7,74	7,99	8,00	8,00	7,87	8,00	8,00	7,78
Al ^{VI}	0,00	0,12	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,03	0,02	0,00
Fe ³⁺	0,04	0,00	0,26	0,01	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,22
Fe ²⁺	3,48	3,12	3,74	3,37	3,41	3,30	3,35	3,22	3,87	3,66
Mg	1,72	1,98	1,51	1,87	1,73	1,82	1,96	1,73	1,35	1,74
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,58	0,55	0,62	0,58	0,51	0,58	0,56	0,51	0,35	0,46
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,71	0,35
K	1,63	1,54	1,68	1,58	1,58	1,56	1,60	1,56	1,56	1,57
Total ^{VI}	7,44	7,32	7,81	7,41	7,32	7,32	7,61	7,77	7,88	7,99
MgO*	0,22	0,26	0,17	0,24	0,22	0,24	0,24	0,23	0,16	0,20

