UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOTERMOBAROMETRIA E EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DO
SEGMENTO CENTRAL DO GRUPO DOM SILVÉRIO, MG**

THATYANA BENEVIDES

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Caetano Juliani

Examinadores: Profa. Dra. Hanna Jordt-Evangelista

Prof. Dr. Renato de Moraes

Three handwritten signatures in blue ink, each written over a horizontal line. The first signature is 'Caetano Juliani', the second is 'Hanna Jordt-Evangelista', and the third is 'Renato de Moraes'.

SÃO PAULO
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900012031

**GEOTERMOBAROMETRIA E EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DO
SEGMENTO CENTRAL DO GRUPO DOM SILVÉRIO, MG**

Thatyana Benevides

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2003

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Certamente existem muitas pessoas a quem gostaria de agradecer pela ajuda e apoio, seja profissional ou pessoal, na elaboração desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Caetano Juliani pela orientação precisa, pela amizade sólida e pela paciência com aqueles que, como eu, estão apenas começando. Espero ter aprendido um pouquinho de tudo que você tentou me ensinar...

Ao Msc. Rafael Hernandez Corrêa Silva, por tudo, sempre!

À querida amiga e Dra. Lena V. S. Monteiro pelo companheirismo, otimismo e, afinal de contas, pelo socorro na elaboração do mapa, sem você, não teria conseguido.

À FAPESP pela bolsa de mestrado, Processo 00/10843-5.

Aos meus grandes amigos e parceiros de trabalho Dra. Annabel Pérez Aguilar e Msc. Fernando Camargo Freitas por toda a ajuda na geologia e no cotidiano.

Ao Prof. Dr. Gergely Szabó pelas discussões em campo e pela prestatividade na hora em que precisei adquirir imagens no laboratório de microscopia.

Aos colegas de pós-graduação Paulo César, Yuri Garin, Fernando Valladares, Luiz Gustavo Vilela, Alexandre Chiarini, Flávio Carvalho, Heloísa e Nolan Dehler e Andrés Bustamante.

Aos amigos Marta Guerreiro, Diogo Lopes, Ana Rita Guerreiro, Liz e Luiz D'agostino, Marcelo Pedro, Maria Cecília Renó, Fernanda e Claudia Brito.

Ao casal Jorge e Annisabel Sousa e Silva, por tudo o que são para mim.

Ao Marcos Monsueto, técnico do Laboratório de Microsonda Eletrônica do IGUSP, pela competência e orientação no decorrer dos trabalhos analíticos.

À Angélica, Laboratório de Óptica, por sempre estar disposta a ajudar.

Aos funcionários da laminação: Luiz Nogueira, Paulo Morgato, Claudio Hoop e Paulo Molinaro.

À Ana Paula e Magali pela agilidade na resolução de pequenos e grandes problemas, e pela dedicação aos pós-graduandos.

Ao Tadeu por toda a força de vontade e competência para lidar com os mais diversos contratempos.

Aos funcionários da Gráfica do IGUSP: Sr. Dalton, Edemir, Henrique, Claudionor, por todas as inúmeras vezes que precisei de vocês, e é claro, fui sempre muito bem atendida!

Àqueles que devo ter me esquecido de alguma forma... Muito Obrigado!

RESUMO

O Grupo Dom Silvério é constituído predominantemente por metassedimentos, representados por xistos, paragnaisses, rochas calciossilicáticas e quartzitos, além de metabasitos e rochas metavulcanossedimentares muito subordinadas. Todo o conjunto foi afetado por uma forte transposição tectônica de regime dúctil relacionada ao desenvolvimento de uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, com transporte de massa para oeste. A este evento associa-se a colocação de corpos de metagranito porfirítico sin-tardi cisalhamento e diques de rochas básicas pós-tectônicos, fracamente metamorfisados. Ainda, afloram na região, ortognaisses e migmatitos pertencentes ao Complexo Mantiqueira, que constituem o embasamento do Grupo Dom Silvério na região.

Os dados petrográficos e os cálculos geotermobarométricos indicam que dois eventos metamórficos foram responsáveis pelos equilíbrios texturais e químicos encontrados nas associações de minerais. O primeiro evento (M1) tem caráter regional, ao qual vincula-se o desenvolvimento de dobras intrafoliais redobradas similarmente e crenuladas, mas estas estruturas são observadas apenas em porções mais poupadas pela intensa foliação milonítica (S_{n+1}) associada à zona de cavalgamento, que, devido à sua grande intensidade oblitera quase que totalmente os registros dos eventos tectono-metamórficos prévios. As paragêneses deste evento estão registradas nos núcleos dos minerais, especialmente na granada de xistos grossos. As condições metamórficas deste evento são da fácies anfibolito inferior, de pressão intermediária (Barrowiano).

O segundo evento metamórfico (M2) relaciona-se com o desenvolvimento da zona de cavalgamento, que afetou generalizadamente as rochas da área. Este evento alcançou a fácies anfibolito superior e foi também de condições báricas Barrowianas. Os cálculos geotermobarométricos indicam que o pico térmico ocorreu por volta de 750 °C, em pressões variando entre 9 e 12 kbar. As trajetórias deste evento são tipicamente anti-horárias, com os picos térmicos e báricos atingidos em períodos tardios ou posteriores ao desenvolvimento da foliação milonítica. Segue-se a este evento progressivo uma redução da pressão e da temperatura, evidenciada por substituição da biotita por clorita, cujos cálculos geotermobarométricos indicam estágio retrometamórfico ainda em fácies anfibolito. Uma amostra situada nas proximidades do contato com *sills* de metagranitos porfiríticos resultou em temperatura de cristalização ainda mais alta (~ 800 °C) para os minerais metamórficos desta fase, interpretada como decorrente do aquecimento causado pelas intrusões tabulares tardi-a

pós-cisalhamento. Os corpos do granito porfirítico foram também metamorfisados, mas em temperaturas mais baixas, associadas com o retrometamorfismo relacionado à M2.

As trajetórias metamórficas anti-horárias são interpretadas como decorrentes do cavalgamento e embricamento de placas quentes, leste para oeste, o que propiciou a manutenção e até mesmo alçamento das isothermas nos blocos cavalgados. A manutenção das isothermas é interpretada como devida à colocação de corpos tabulares de granito concomitantemente ao evento de cisalhamento.

O reequilíbrio metamórfico final em baixo grau associa-se à percolação de fluidos hidrotermais nas zonas de cisalhamento, em níveis crustais mais rasos.

No Complexo Mantiqueira observam-se relíquias de estruturas migmatíticas gnaissificadas anteriormente ao desenvolvimento da zona de cisalhamento de baixo ângulo que afetou ambos os conjuntos, o que sugere que esta unidade constitui o embasamento do Grupo Dom Silvério. Entretanto, caso as duas unidades geológicas sejam contemporâneas, a ausência de indícios de fusão parcial nas rochas do Grupo Dom Silvério quando em contato com o Complexo Mantiqueira, seria indicativa da existência de descontinuidades tectônicas crustais maiores e da justaposição de blocos de diferentes graus metamórficos, devida ao desenvolvimento do cisalhamento neoproterozóico.

ABSTRACT

The Dom Silvério Group is constituted predominantly by metasediments, represented by schists, paragneisses, calcsilicatic rocks and quartzites, besides metabasites and subordinated metavolcanosedimentary rocks. The whole group was affected by a strong tectonic deformation in ductile regime related to the development of a low angle shear zone, with mass transport to west. Associated to this event occurs the emplacement of sin-tardi tectonic porphyritic granite bodies and post-tectonic dikes of basic rocks, weakly metamorphosed. Still, outcrop in the area, ortogneisses and migmatites of the Mantiqueira Complex that constitute the basement of the Dom Silvério Group in the area.

The petrographic data and geothermobarometric calculations indicate that two metamorphic events were responsible for the textural and chemical equilibria found in the mineral associations. The first event (M1) has regional character, to which it is linked the development of folds, which are refolded and crenulated. These structures are just observed in more preserved portions of the intense milonitic foliation (Sn+1) associated to the shear zone, that, due to its great intensity almost obliterates evidences of the previous tectono-metamorphic events. The paragenesis of this event are registered in the nuclei of the minerals, especially in the gamets of coarsed-grained schists. The metamorphic conditions of this event are compatible with the inferior amphibolite facies, of intermediary pressure (Barrowian).

The second metamorphic event (M2) is related to the development of the shear zone, that affected all the rocks of the area. This event reached the superior amphibolite facies and it was also of Barrovian baric conditions. The geothermobarometric calculations indicate that the thermal pick occurred around 750 °C, in pressures varying between 9 and 12 kbar. The metamorphic paths of this event are typically anti-clockwise, with the thermal and baric picks reached in late to post tectonic periods. This progressive event is followed by a reduction of pressure and temperature, evidenced by substitution of biotite by clorite, which geothermobarometric calculations indicate retrometamorphic stage still in the amphibolite facies. Calculations for a sample placed in the proximities of the contact with sills of porphyritic metagranite resulted in crystallization temperature still higher (~ 800 °C) for the metamorphic minerals of this phase, interpreted as due to the heating caused by the tabular, tardi- to post-tectonic granite intrusions. The porphyritic granite bodies were also metamorfosed, but in lower temperatures, associated to the retrometamorphism related to M2.

The anti-clockwise metamorphic paths are interpreted as due to imbricated hot plates, from east to west, what propitiated the maintenance and even rise of the isotherms of the juxtaposed blocks. Locally, the maintenance of the isotherms is also related to the emplacement of tabular porphyritic granite bodies during the event.

The final metamorphic reequilibrium in low grade is associated to the percolation of hydrothermal fluids in the shear zones, in more shallow crustal levels.

In the Mantiqueira Complex, relicts of migmatitic structures gneissified previously to the development of the low angle shear zone that affected both groups, are observed. This suggests that this unit could constitute the basement of the Dom Silvério Group. However, in case of the two geological units be contemporary, the absence of indications of partial melting in rocks of the Dom Silvério Group when in contact with Mantiqueira Complex, would be indicative of the existence of larger crustal tectonic discontinuities and juxtaposition of blocks of different metamorphic grades, due to the development of the neoproterozoic shear zone.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 OBJETIVOS.....	2
2 MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1 Levantamentos Bibliográficos	3
2.2 Levantamentos de campo e amostragem	3
2.3 Petrografia.....	5
2.4 Química Mineral	5
2.5 Geotermobarometria.....	5
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
4 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL.....	7
4.1 Contexto Geológico Regional.....	7
4.1.1 Supergrupo Rio das Velhas	9
4.1.2 Supergrupo Minas.....	11
4.1.3 Complexo Mantiqueira.....	12
4.1.4 Complexo Juiz de Fora.....	13
4.1.5 Complexo Paraíba do Sul.....	14
4.1.6 Grupo Dom Silvério	14
5 GEOLOGIA LOCAL.....	16
5.1 Complexo Mantiqueira	16
5.1.1 Unidade dos Ortognaisses	16
5.2 Grupo Dom Silvério	18
5.2.1 Unidade dos Biotita Xistos com granada, cianita e estaurolita	18
5.2.2 Unidade dos Muscovita Xistos Grafitosos	20
5.2.3 Unidade dos Paragnaisses	20
5.2.4 Unidade das Rochas Calciossilicáticas	21
5.2.5 Unidade dos Metabasitos.....	22
5.2.6 Metagranitos Porfíricos	22
6 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	24
6.1 Contexto Estrutural	24
6.1.1 Complexo Mantiqueira.....	24
6.1.2 Grupo Dom Silvério	27
6.1.3 Falhas e fraturamentos tardios	35
7 PETROGRAFIA.....	37
7.1 Complexo Mantiqueira	37
7.1.1 Ortognaisses e migmatitos gnaissificados	37
7.2 Grupo Dom Silvério	38
7.2.1 Metapelitos	38

7.2.2 Paragneisses	51
7.2.3 Rochas Calciossilicáticas	53
7.2.4 Quartzitos	55
7.2.5 Metabasitos	55
7.3 Metabásicas de baixo grau	57
7.4 Metagranito porfirítico	59
8 GEOTERMOBAROMETRIA	60
8.1 Geotermobarometria: conceituação termodinâmica e aplicação	60
8.2 Calibrações utilizadas para Geotermobarometria Clássica	63
8.3 Termobarômetros Internamente Consistentes	64
9. CÁLCULOS GEOTERMOBAROMÉTRICOS	64
9.1 Amostra TDS-05b	64
9.2 Amostra TDS-14d	70
9.3 Amostra TDS-14e	73
9.4 Amostra TDS-14j.....	79
9.5 Amostra TDS-15.....	82
9.6 Amostra TDS-46a.....	84
9.7 Amostra TDS-58a.....	92
9.8 Amostra TDS-59a.....	97
10 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	102
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	116
Mapa geológico	
Tabelas de análises químicas	

INTRODUÇÃO

A determinação da temperatura e da pressão de recristalização de minerais metamórficos através de análises comparativas ou geotermobarométricas tem se mostrado de fundamental importância no estudo de terrenos afetados por eventos metamórficos regionais, de contato e dinâmico.

Visando contribuir para o estabelecimento da evolução tectônica e metamórfica P-T do Grupo Dom Silvério, bem como de suas relações com seu embasamento e com as demais seqüências metavulcanossedimentares da região, foram feitos estudos geotermobarométricos de diversos litotipos.

A aplicação destes métodos, entretanto, deve ser sempre precedida pela determinação das variações do grau metamórfico em campo e petrograficamente, com identificação dos minerais índices e das séries faciais de metamorfismo, bem como de suas relações com as estruturas tectônicas macro- e microscópicas, notadamente as foliações metamórficas. Deve-se também levar em consideração o sistema químico envolvido, incluindo a composição geral da rocha e das fases fluidas, pois sem estas definições, o estudo do metamorfismo pode tornar-se mais impreciso, devido à ausência de minerais-índices, meta-estabilidade de determinados minerais, metassomatismo (especialmente de H^+) e variação das frações molares de H_2O , CO_2 e O_2 .

A caracterização destas mudanças nas recristalizações dos minerais metamórficos, as análises microquímicas das assembléias minerais em diferentes litotipos e domínios macro- e microestruturais permitiram cálculos geotermobarométricos mais precisos e um melhor estabelecimento das trajetórias no campo P-T, bem como a vinculação com a seqüência dos eventos deformacionais registrados pelas foliações metamórficas e, conseqüentemente, da cronologia relativa entre as diversas paragêneses.

I OBJETIVOS

O principal objetivo da pesquisa foi o estudo da evolução metamórfico-deformacional (P-T-d) de litotipos do Grupo Dom Silvério (Lima *et al.*, 1973), através da análise comparativa das paragéneses minerais com diagramas de fases, experimentais ou definidos em áreas semelhantes, e por geotermobarometria de pares ou associações de minerais.

Uma vez que não há mapas geológicos em escala apropriada aos estudos propostos na área, foi também elaborado um mapa geológico-estrutural, através de levantamentos de perfis geológicos detalhados e da compilação de dados.

Estes resultados foram analisados comparativamente à evolução metamórfico-deformacional dos litotipos do Supergrupo Rio das Velhas e Minas e do embasamento gnáissico-migmatítico, referente ao Complexo Mantiqueira, com o intuito de estabelecer-se os padrões evolutivos regionais e as possíveis diferenças entre as seqüências de rochas supracrustais e seus embasamentos, contribuindo, desta forma, com o estabelecimento da litoestratigrafia da região.

O posicionamento litoestratigráfico do Grupo Dom Silvério ainda não está bem estabelecido, havendo autores que correlacionam seus litotipos com os dos supergrupos Rio das Velhas e Minas, e outros que o consideram como geneticamente vinculado à evolução do Cinturão Ribeira. Isto é devido à intensa transposição e imbricamento de várias fatias e lascas tectônicas, causado por extensas zonas de cavalgamento associadas à deformação que afetou a borda leste do Cráton do São Francisco. Este contexto tectônico aliado à insuficiência de dados geocronológicos, notadamente em amostras de rochas supracrustais, torna muito difícil o reconhecimento das relações litoestratigráficas, tanto internamente ao Grupo Dom Silvério, quanto com as demais seqüências metavulcanossedimentares que afloram a oeste da área.

O estudo dos tipos e padrões dos eventos tectono-metamórficos fornece, muitas vezes, importantes subsídios para melhor compreensão da litoestratigrafia, uma vez que diferentes tipos báricos, trajetórias e padrões de zonamentos metamórficos podem indicar o ambiente geotectônico de formação das bacias sedimentares, posicionamento crustal em relação às zonas de subducção, inversões litoestratigráficas e os tipos de subducção.

Uma vez que o conhecimento da atuação dos processos tectono-metamórficos na região, especialmente daqueles associados ao evento pré-cavalgamento é muito escasso, a pesquisa objetivou contribuir para o reconhecimento da evolução geológica e dos processos metamórficos que afetaram os litotipos do Grupo Dom Silvério e suas encaixantes gnáissico-migmatíticas do Complexo Mantiqueira, através do estabelecimento de trajetórias P-T-t-d

(pressão-temperatura-tempo relativo-deformação).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de que os objetivos desta dissertação fossem alcançados, diferentes materiais e métodos foram empregados nas diversas etapas de trabalho, os quais são descritos a seguir:

2.1 Levantamentos Bibliográficos

Durante toda a elaboração da dissertação a pesquisa bibliográfica foi realizada, utilizando-se do acervo da Biblioteca do IGUSP e através de consultas aos sistemas de buscas de base de dados, fornecidos pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBi/USP). As bases de dados consultadas foram o DEDALUS, SciELO, ERL, ProBE e Web of Science.

A primeira etapa de levantamentos bibliográficos compreendeu a coleta de informações sobre o contexto geológico em que o Grupo Dom Silvério está inserido, bem como informações geológicas de maior detalhe notadamente quanto a seus aspectos litológicos e estruturais.

Em uma segunda etapa, a pesquisa bibliográfica concentrou-se na aquisição de dados sobre os litotipos mais comuns na área detalhada, seus sistemas químicos e suas características petrográficas.

Finalmente, a última fase dos destes levantamentos foi caracterizada pela pesquisa sobre geotermobarometria, onde foram estudados as reações e equilíbrios de rochas semelhantes às estudadas, bem como para seleção dos melhores geobarômetros e geotermômetros para cada um dos litotipos e de seus critérios de aplicabilidade.

2.2 Levantamentos de campo e amostragem

As etapas de campo foram realizadas com auxílio de folhas topográficas 1:50.000, IBGE (1979), para orientação geral no campo e escolha de seções regionais e locais. Foram utilizadas as folhas Ponte Nova (SF-23-X-B-II-3), Barra Longa (SF-23-X-B-I-4), Teixeira (SF-23-X-B-V-I) e Dom Silvério (SF-23-X-B-II-I).

O trabalho de campo foi iniciado com o reconhecimento regional e, em seguida, foi realizado um trabalho de maior detalhe, através de levantamentos sistemáticos em perfis de orientações E-W por toda a área de estudo. Foram realizadas duas etapas de campo, durante as quais foram descritos e amostrados cerca de 89 afloramentos.

Foram coletadas de maneira convencional amostras de todos os litotipos que afloram na região e em afloramentos onde a aquisição de amostras sãs se tornou difícil, foi necessária a utilização de um amostrador *Pomeroy E-Z Core Drill* modelo D-2801 (**FOTO 1**), cujos testemunhos podem alcançar até 15 cm de comprimento (**FOTO 2**).

Foto 1: Imagem do processo de amostragem utilizando-se o amostrador *Pomeroy E-Z Core Drill* modelo D-2801.

Foto 2: Imagem dos testemunhos obtidos através da amostragem realizada com amostrador *Pomeroy E-Z Core Drill* modelo D-2801.

2.3 Petrografia

As amostras selecionadas foram preparadas na Seção de Laminação do IGUSP em secções delgadas de 30 μm de espessura, com cobertura, e descritas em microscópio petrográfico Zeiss modelo Axioplan. Foram confeccionadas e descritas 116 lâminas petrográficas.

As fotomicrografias foram obtidas com os microscópios Zeiss Axioplan e Olympus, modelo BX-50, este acoplado ao equipamento de aquisição de imagens digitais Olympus Oly-750, que se utiliza do *software* ImagePro.

Esta etapa de trabalho foi acompanhada pela constante consulta às obras de Deer *et al.* (1992), Tröger (1979), Klein & Hurlbut (1993), Spear (1993), e Yardley (1994).

2.4 Química Mineral

As análises da composição química dos minerais em microsonda eletrônica foram realizadas após petrografia detalhada, com a finalidade de caracterizar as fases minerais presentes nos litotipos selecionados, para posterior utilização em cálculos geotermobarométricos.

As secções delgadas polidas foram metalizadas com película de carbono de aproximadamente 25 nm em evaporador Auto 206 da Edwards e as análises foram feitas com uma Microsonda Eletrônica JEOL, modelo JXA-8600 SuperProbe do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGUSP, com cinco espectrômetros com cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF, automatizada com o sistema Voyager 3.61 da Noran Instruments.

As análises de plagioclásio foram feitas com feixe de elétron com diâmetro de 10 μm , corrente de $\sim 20,10$ nA e voltagem de 15 kV. Para análises de micas, anfibólios, granada, clorita, epidoto e carbonato utilizou-se feixe de 5 μm de diâmetro.

Foram selecionadas e analisadas 9 lâminas, incluindo 5 de xistos, 2 de paragneisses e 2 de anfibolitos. Duas amostras de rochas calciossilicáticas não puderam ser analisadas em função de sucessivos adiamentos, redescalonamentos da sessão analítica e re-estabelecimentos de prioridades de uso por parte dos responsáveis pelo Laboratório.

2.5 Geotermobarometria

As condições de pressão e temperatura dos litotipos neste trabalho foram estimadas através do *software* TWEEQU (*Thermobarometry With Estimation of EQUilibrium state*) versões 1.02 e 2.02 (Berman, 1991).

Os cálculos termobarométricos foram efetuados em amostras selecionadas com base na petrografia detalhada das seções delgadas, e dentre este conjunto foram separadas amostras de cada um dos litotipos para análises mais detalhadas dos seus equilíbrios metamórficos.

Foram analisadas as assembléias minerais texturalmente em equilíbrio, separando-se as assembléias correspondentes a cada uma das foliações metamórficas e as assembléias cristalizadas durante o retrometamorfismo.

Após esta etapa foram avaliadas as melhores análises com base em sua qualidade e precisão, para os cálculos geotermobarométricos. Estes cálculos foram efetuados com análises representativas dos melhores equilíbrios de cada uma das assembléias.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Grupo Dom Silvério aflora na região sudeste do Estado de Minas Gerais e distribui-se aproximadamente entre as cidades de Ipatinga e Ubá (MG). A área de estudo localiza-se entre as cidades de Dom Silvério e Guaraciaba (**FIGURA 1**). O acesso pode ser feito, a partir de São Paulo, através da Rodovia Presidente Dutra até Volta Redonda e depois por Juiz de Fora, até a cidade de Ponte Nova.

Figura 1: Localização da área de estudo, entre os municípios de Dom Silvério e Guaraciaba.

Os estudos foram concentrados no aqui denominado segmento central do Grupo, situado a oeste da cidade de Ponte Nova (**FIGURA 2**).

FIGURA 2: Contexto geológico do Grupo Dom Silvério, com a delimitação do seu Segmento Central, onde (1) Grupo São João Del Rey Indiviso (PCAsj) e Grupo Dom Silvério (identificado anteriormente como parte do Grupo Andreândia) (PCAa,Xq,q); (2) Grupo Itacolomi (PCBi); (3) Supergrupo Minas Indiviso (PCBCm); (4) Grupo Barbacena Indiviso (PCDb) e Supergrupo Rio das Velhas (PCDrv); (5) Rochas da Associação Charnockítica (PCCch, gn, gf, mg). Segundo SCHOBENHAUS FILHO (1979).

4 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

4.1 Contexto Geológico Regional

Os primeiros esboços tectônicos regionais foram feitos por Ebert (1956, 1957) e Almeida (1977) estabeleceram as grandes divisões geológicas e tectônicas brasileiras, posicionando a região na **Província Mantiqueira Setentrional**, que englobaria o **Cráton do São Francisco** e a **Província Costeira**. A distribuição das principais unidades geotectônicas, segundo Alkmin & Marshak (1998), pode ser vista na **FIGURA 3**.

No sul e leste do Estado de Minas Gerais os primeiros estudos geológicos remontam aos séculos XVIII e XIX, mas o grande interesse econômico dos minérios de ferro, ouro e manganês na região do Quadrilátero Ferrífero na década de 50 foi responsável por uma série de estudos e por grandes avanços no conhecimento geológico da região sudeste de Minas Gerais. No início deste período Rosier (1952) reuniu sob a denominação de **Complexo Paraíba** os gnaisses com plagioclásio, injetados por rochas aplito-pegmatíticas mais jovens, aflorantes no Vale do Rio Paraíba, entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Figura 3: Mapa regional do Cráton do São Francisco, mostrando as principais unidades geotectônicas da área, segundo Alkmin & Marshak (1998).

Barbosa (1954) definiu a **Série Mantiqueira** a sul e a leste da Cordilheira do Espinhaço como sendo predominantemente composta por gnaisses bandados, e a **Série Barbacena** como uma sequência meta-vulcanossedimentar mais nova e depositada sobre a Série anterior. A Série Barbacena foi redefinida e subdividida por Ebert (1955; 1956) na **Série Andrelândia**, constituída por rochas metamórficas de origem predominantemente pelítica, e nas **formações Carandaí e Prados**. A Série Mantiqueira foi redefinida como **Grupo Mantiqueira** por Trow et al. (1986), incluindo gnaisses bandados e migmatitos com intercalações de anfíblio gnaisses e anfibolitos e ocorrências locais de charnockitos. Brandalise (1991), entretanto, retomou a denominação de **Complexo Mantiqueira** e o considerou composto, em essência, por ortognaisses tonalíticos a graníticos predominantemente ortoderivados, com intercalações de anfibolitos e de granulitos, senso este adotado neste estudo.

Ebert (1956; 1968) caracterizou o **Grupo São João Del Rei** como formado por rochas quartzosas com alguma contribuição pelítica e metamorfizado em grau variável. Ainda em 1956, Ebert englobou os gnaisses potássicos descritos por Rosier (1952) como **Complexo Paraíba** no **Grupo Paraíba**, e definiu a **Série Juiz de Fora**, composta, em essência, por gnaisses com granada e sillimanita, além de corpos de charnockito, enderbito, ortognaisses de composição

tonalítica e biotita-anfibólio gnaisses bandados, eventualmente paraderivados. Ebert (1957) reconheceu ainda nas proximidades da cidade de Piedade (MG), um conjunto de gnaisses bandados paraderivados e miloníticos, aos quais atribuiu a denominação de **Gnaiss Piedade**, geralmente inclusos no Complexo Mantiquira.

Fonseca et al. (1979) designaram as rochas que ocorrem junto à costa brasileira como **Complexo Costeiro**. Posteriormente estas rochas foram associadas ao **Domínio Costeiro** (Campos Neto & Figueiredo, 1990) ou a **Microplaca Serra do Mar** (Campos Neto & Figueiredo, 1995). Os principais litotipos deste Complexo constituem-se de gnaisses e migmatitos bandados, freqüentemente com intercalações de rochas calciossilicáticas, mármore, metavulcânicas, quartzitos e formações ferríferas, além de metaultramáficas, xistos e rochas intrusivas de natureza diversa (Hasui et al., 1984).

Mais recentemente a região sudeste de Minas Gerais vem sendo estudada por diversos pesquisadores que buscam um melhor entendimento dos processos geológicos que ocorreram na região, desde o Arqueano até o Neoproterozóico (Cunningham et al., 1996, 1998; Alkmim & Marshak, 1998; Brueckner et al., 1998, 2000, Pedrosa-Soares, 2001).

Segundo estes autores o Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se pela ocorrência das rochas metassedimentares do **Supergrupo Minas** distribuídas em mega-sinclinais sobrepostos às rochas do **Supergrupo Rio das Velhas** e do seu embasamento gnáissico-migmatítico Arqueano. O embasamento aflora em estruturas dômicas, registra deformações transamazônicas e brasileiras, e seus contatos com as supracrustais são tectônicos. Uma síntese da litoestratigrafia da região pode ser vista na **FIGURA 4**.

Estes mesmos autores reconhecem que o **Embasamento Arqueano** está parcialmente integrado à área cratônica, mas há ainda porções significativas inclusas na **Província Mantiqueira**. O embasamento é formado por terrenos granito-gnáissicos TTG que podem ser agrupados em diversos complexos metamórficos, como os de **Bonfim** e **Santa Bárbara**, compostos, em essência, por ortognaisses parcialmente migmatizados, com anfibolitos subordinados, cortados por corpos de granitóides e pegmatitos.

As principais unidades geológicas que ocorrem na borda leste do Cráton do São Francisco são:

4.1.1 Supergrupo Rio das Velhas

As rochas supracrustais do **Supergrupo Rio das Velhas** são representadas por metavulcânicas e metassedimentos arqueanos, subdivididas nos grupos **Nova Lima** e **Maquiné**

(Dorr, 1957), sendo o primeiro de origem meta-vulcanossedimentar e o segundo sedimentar clástico proximal. Schorscher (1979) descreveu pela primeira vez meta-komatiitos na base do **Supergrupo Rio das Velhas** e definiu a unidade que os continha como **Grupo Quebra-Osso**, caracterizando assim a sequência de *greenstone belt*.

Quanto ao metamorfismo, Roeser et al. (1989) identificaram em rochas do **Supergrupo Rio das Velhas** paragéneses da fácies xisto verde, com algumas porções alcançando a fácies anfibolito inferior. Já em litotipos do **Supergrupo Minas**, reconheceram paragéneses indicativas de grau metamórfico variando da fácies xisto verde a anfibolito.

Figura 4: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. A coluna da direita mostra idades radiométricas. A porção direita da coluna apresenta as relações estratigráficas na parte leste do Quadrilátero Ferrífero e a porção esquerda mostra as relações estratigráficas da parte oeste (Alkmin & Marshak, 1998).

4.1.2 Supergrupo Minas

Derby (1906), ao estudar as rochas dos arredores de Ouro Preto, definiu a **Série Minas**, considerada como uma série xistosa da Serra do Espinhaço e áreas adjacentes, que comporia uma grande unidade constituída principalmente por xistos argilosos com massas subordinadas de quartzitos, por vezes ferruginosos, e calcários.

O **Supergrupo Minas** foi dividido por Dorr (1957) em três grupos: **Caraça**, composto por quartzitos, filitos e metaconglomerados subordinados; **Itabira**, compreendendo metassedimentos químicos e itabiritos bandados; e **Piracicaba**, composto por quartzitos e filitos. As unidades basais do **Supergrupo Minas** são formadas por quartzitos e metaconglomerados da **Formação Moeda**, com idade máxima de sedimentação ao redor de 2,65 Ga (U-Pb em zircão detrítico, Machado Filho et al., 1992) e do **Grupo Caraça**. Estes metassedimentos gradam em direção ao topo para metapelitos de origem marinha da **Formação Batatal** que, por sua vez, estão recobertos por formações ferríferas bandadas da **Formação Cauê**. Sobre esta Formação aflora a sequência carbonática da **Formação Gandarela**, com idade de 2,42 Ga (Pb-Pb em carbonato, Babinski et al., 1991), ambas compondo o **Grupo Itabira** (Dorr, 1957; Raposo, 1991).

Sobrepostas às rochas do **Grupo Itabira** ocorrem metapelitos e quartzitos do **Grupo Piracicaba**, subdividido nas formações **Funil**, **Cercadinho**, **Taboões** e **Barreiro**. A esta sequência seguem-se os litotipos da **Formação Sabará**, composto por metatufos, metadiamicritos, metaconglomerados e metaturbiditos, com idade ao redor de 2,1 Ga. (Machado et al., 1992).

Na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero ocorre ainda o **Grupo Itacolomi** sobreposto aos supergrupos **Minas** e **Rio das Velhas**, constituído predominantemente por quartzitos grossos e metaconglomerados, além de raras intercalações de corpos de itabirito. Neste grupo estão também registrados efeitos dos eventos Transamazônico e Brasileiro na estruturação dos metassedimentos.

Os litotipos do **Supergrupo Minas** encontram-se em discordância tectônica com os do **Supergrupo Rio das Velhas** e ambos foram afetados por deformações e metamorfismo relacionados aos eventos tectono-metamórficos transamazônicos e brasileiros. Estudos geocronológicos têm indicado que o **Supergrupo Minas** é Paleoproterozóico (Babinski et al., 1991; Machado et al., 1992; 1996).

Endo (1997) considera que a região foi estruturada no Transamazônico, sofrendo modestos retrabalhamentos no Brasileiro, enquanto Cunningham et al. (1996; 1998)

consideraram que a estruturação seria predominantemente Brasileira, tendo afetado rochas e estruturas paleoproterozóicas e arqueanas.

4.1.3 Complexo Mantiqueira

Esta unidade constitui o embasamento do **Grupo Dom Silvério** nas proximidades de Ponte Nova e Mariana. Entretanto, Baltazar & Raposo (1993) consideraram que o limite oeste do **Complexo Mantiqueira** situa-se nas proximidades de Acaiaca e denominaram o embasamento na borda do **Supergrupo Rio das Velhas** na região como **Complexo Santo Antônio de Pirapetinga**.

Não há consenso na literatura quanto à denominação, limites e posicionamento lito-estratigráfico das diversas unidades geológicas **Barbacena**, **Mantiqueira** e **Piedade** que ocorrem à leste do Cráton do São Francisco (Almeida & Litwinski, 1984; Inda et al., 1984).

Entretanto, estudos mais recentes (Cunningham et al., 1998; Ebert & Hasui, 1998) indicam que o **Complexo Mantiqueira** ocorre desde a borda leste do Quadrilátero Ferrífero até a região onde predominam as rochas dos grupos **São João Del Rei** e **Andrelândia**, a sul. A leste está em contato com as rochas de médio e alto grau metamórfico do **Complexo Juiz de Fora**, através de zonas de cisalhamento de alto e médio ângulo, orientadas preferencialmente segundo NE-SW. Este limite leste situa-se nas proximidades de Abre Campo (Haralyi et al., 1985), onde ocorrem intrusões máficas denominadas por Brandalise (1991) como **Anfibolito Santo Antônio do Grama**.

O **Complexo Mantiqueira** é composto por gnaisses biotíticos e anfibolíticos de composição granítica a tonalítica, geralmente miloníticos, com foliação com baixo ângulo de mergulho e com raras zonas de mais alto ângulo. O substrato do Complexo é essencialmente arqueano (Brueckner et al., 1998; 2000) e pode representar uma extensão do segmento crustal que constitui o Cráton do São Francisco.

Algumas unidades diretamente relacionadas ao **Complexo Mantiqueira** são individualizadas como **Complexo Barbacena**, **Complexo Acaiaca**, **Granulitos Pedra Dourada** e complexos de rochas básicas e alcalinas.

O **Complexo Barbacena**, originalmente definido como **Série Barbacena** por Barbosa (1954), corresponde a uma sequência meta-vulcanossedimentar colocada entre rochas granito-gnáissicas e sua ocorrência restringe-se à porção sul e sudeste do Quadrilátero Ferrífero.

Jordt-Evangelista & Müller (1986) definiram o **Complexo Granulítico de Acaiaca** e Teixeira et al. (1987) o consideraram como uma unidade retrabalhada no Transamazônico,

devido às idades Rb-Sr e Pb-Pb em rocha total ao redor de 2,0 Ga. Este **Complexo** ocorre como um corpo alongado de direção N-S, situado entre as cidades de Mariana e Ponte Nova. Compõem esta unidade plagiogranulito, piribolito, charnockito, enderbite, biotita gnaisses, anfibólio gnaisses, migmatitos e sillimanita-granada quartzito, além de pequenas ocorrências de granitos alcalinos intrusivos (Jordt-Evangelista & Müller, 1986).

Os **Granulitos Pedra Dourada** foram primeiramente descritos por Jordt-Evangelista et al. (1994) e Jordt-Evangelista (1996), ocorrendo associados aos xistos do **Grupo Dom Silvério**. As rochas granulíticas têm composição variando entre charnockito e enderbite, além de piribolito gabróico, e têm associadas intrusões de granitos, granodiorito e tonalito. O charnockito possui texturas magmáticas, diferentemente das demais rochas metamórficas e do piribolito, e foram formados em condições aproximadas de 605 a 716 °C e 7,3 kbar (Jordt-Evangelista, 1996).

As intrusões de **rochas básicas** registram vários eventos distensivos na porção sul do **Cráton do São Francisco** e na porção central da **Província Mantiqueira**, com idades entre 2300 e 570 Ma (Teixeira, 1985). O trabalho de Jordt-Evangelista & Cotta (1995), mostra que os corpos de diabásio da região do Alto Rio Doce possuem afinidade toleítica.

As **rochas alcalinas** constituem corpos de sienitos, normalmente de pequenas dimensões, isolados na porção centro-sul da Província Mantiqueira, destacando-se os corpos **Matola** e **Ubari** (Brandalise et al., 1992), e **Piranga** (Jordt-Evangelista & Peres, 1997). Estes são cortados, por diques de aplitos tardios, mas não há ainda datações destas rochas.

Os **Gnaisses Piedade** foram originalmente descritos como paraderivados (Ebert, 1958), no entanto, segundo Figueiredo & Teixeira (1996), estes gnaisses seriam ortoderivados, mas há grandes dificuldades na observação dos contatos entre as rochas dos complexos **Mantiqueira** (incluindo o **Gnaiss Piedade**) e **Barbacena**, devido à evolução policíclica que conjuntamente experimentaram. Mesmo sem que seus limites possam ser claramente definidos em mapa, o **Complexo Barbacena** é usualmente individualizado na literatura, assim como o **Complexo Acaiaca**, o **Granulito Pedra Dourada** e as intrusivas básicas e alcalinas da região.

4.1.4 Complexo Juiz de Fora

O **Complexo Juiz de Fora** foi originalmente descrito como série **Juiz de Fora** por Rosier (1952) e Ebert (1955) e ocorre ao longo de uma faixa encurvada com orientação predominantemente NE-SW, que se estende desde o leste do estado de São Paulo, passa por Manhuaçu e segue para norte até as imediações de Governador Valadares.

Campos Neto & Figueiredo (1990) subdividiram o **Complexo Juiz de Fora** em duas associações litotípicas maiores, sendo a primeira delas composta por gnaisses graníticos com franca afinidade cálcio-alcálica, e a segunda como uma associação de granitos gnaissificados, geralmente peraluminosos. Segundo Brandalise (1991), o Complexo é composto por associações de enderbito, charnockito, granada-biotita-anfibólio gnaiss bandado, eventualmente paraderivados, e ortognaisses de composição tonalito-tronjemítica.

4.1.5 Complexo Paraíba do Sul

O **Complexo Paraíba** foi originalmente descrito como uma Série por Rosier (1952) e Ebert (1955), mas Ebert (1956) redefiniu-o como Grupo. Posteriormente a denominação de Complexo foi retomada por Campos Neto & Figueiredo (1990), que o renomearam como **Complexo Paraíba do Sul**.

O **Complexo Paraíba do Sul** estende-se desde o leste do Estado de São Paulo, prolongando-se pela divisa de Minas Gerais com o Rio de Janeiro até o Espírito Santo (Costa et al., 1995) e agrupa as rochas do **Grupo Açungui**, segundo Hasui et al. (1984). Campos Neto & Figueiredo (1990) concluíram que os contatos do **Complexo Paraíba do Sul** com as unidades adjacentes são tectônicos e caracterizaram significativas diferenças estruturais e metamórficas entre as unidades justapostas. Este complexo é composto por rochas ortoderivadas e metassedimentares metamorfasadas em fácies anfibolito, incluindo anfibólio-biotita gnaisses de composição tonalítica a granodiorítica com lentes de anfibolito, sillimanita gnaiss, mármore, xistos, quartzito e rochas calciossilicáticas (Machado et al., 1996).

4.1.6 Grupo Dom Silvério

Na década de 70 foi desenvolvido o Projeto Mapeamento Geológico da Geotransversal E-W, setor G (Lima et al., 1973), abrangendo uma faixa que se estende desde a porção leste do Quadrilátero Ferrífero até a cidade de Manhuaçu. Neste trabalho foi definido o **Grupo Dom Silvério**, originalmente descrito como uma unidade meta-vulcanossedimentar posicionada sobre os gnaisses regionais.

Segundo Lima et al. (1974), o Grupo é composto por xistos quartzosos e muscovíticos sobrepostos a quartzitos. Posteriormente, Fontes (1978), Inda et al. (1984) e Almeida & Litwinski (1984) afirmaram que as rochas agrupadas sob a denominação de **Grupo Dom Silvério** fariam parte do **Embasamento Gnáissico-Migmatítico**, de idade proterozóica. Sucederam-se trabalhos de maior detalhe executados por Jordt-Evangelista & Roeser (1988),

Jordt-Evangelista *et al.* (1990), Jordt-Evangelista (1992), Dürkop *et al.* (1997), bem como nos trabalhos de mapeamento da CPRM/DNPM (Baltazar & Raposo, 1993; Brandalise, 1991; Raposo *et al.*, 1991), que permitiram a separação do **Grupo Dom Silvério** do embasamento e a sua caracterização como uma seqüência de rochas metassedimentares de origem marinha associada à meta-ígneas que ocorre numa faixa de cerca de 150 km de comprimento por aproximadamente 10 km de largura, localizada no Vale do Rio Doce. Na porção sul desta faixa, os metassedimentos do **Grupo Dom Silvério** são principalmente micaxistos com raras intercalações de quartzitos e talco-clorita xistos, enquanto na porção norte, passa a predominar quartzitos (Jordt-Evangelista, 1992). Subordinadamente ocorrem mármore, rochas calciossilicáticas e gonditos (Jordt-Evangelista *et al.*, 1990).

Jordt-Evangelista & Roeser (1988) caracterizaram a temperatura do metamorfismo das rochas do Grupo Dom Silvério, através de estudos geotermométricos baseados no par biotita-granada, como ocorrido a $550 \pm 50^\circ\text{C}$, correspondente à fácies anfibolito inferior.

Brandalise (1991) dividiu o **Grupo Dom Silvério** em três unidades litoestratigráficas. Na base ocorre a **Unidade 1**, composta por biotita anfibolito, granada-biotita-muscovita xisto, tremolito e rochas calciossilicáticas. Segue-se a **Unidade 2**, formada por micaxistos granatíferos com cianita, grafita e sillimanita, muscovita quartzito, rochas calciossilicáticas, gondito, mármore, biotita-anfibolito, formações ferríferas e biotita gnaiss laminado, e a **Unidade 3**, constituída por muscovita quartzito e muscovita-quartzo xisto. Os anfibolitos foram quimicamente caracterizados como toleítos e interpretados como gerados em ambiente de ilhas oceânicas.

Endo (1997), ao estudar a região entre Barra Longa e Ponte Nova, identificou estruturas direcionais geradas em fases distintas de deformação, sendo a primeira de regime dextrógiro e a segunda, sinistógiro, ambas de idade proterozóica. Estas estruturas estariam associadas a uma zona de cisalhamento NNE-SSW de grande extensão, denominada de **Zona de Cisalhamento Dom Silvério** que, por sua vez, teria iniciado seu desenvolvimento no Neoarqueano. A influência do Brasileiro é considerada por este autor no trabalho referido como de baixa intensidade.

Por outro lado, Cunningham *et al.* (1996, 1998) consideraram que a região onde se insere o **Grupo Dom Silvério** foi significativamente afetada pelas orogêneses Transamazônica e Brasileira, sendo, porém, estruturada de maneira definitiva no Evento Brasileiro. Estes mesmos autores sugeriram que o **Grupo Dom Silvério** poderia representar ou marcar uma zona de sutura de provável idade transamazônica.

Dados geocronológicos de rochas do **Grupo Dom Silvério** são escassos, restringindo-se a uma única idade isocrônica Sm-Nd de 549 Ma. feita em granada-rocha total (Brueckner et al. (1998, 2000), interpretada como correspondente à época do metamorfismo. A idade modelo (T_{DM}) em rocha total é de 2,2 Ga., indicando que a fonte destes sedimentos seriam terrenos Paleoproterozóicos.

5 GEOLOGIA LOCAL

Os litotipos que se reúnem sob a denominação de **Grupo Dom Silvério** na área de estudo compreendem uma associação metavulcanossedimentar que engloba, basicamente, xistos, gnaisses paraderivados, anfibolitos, rochas calciossilicáticas, gonditos e quartzitos. Estas rochas estão associadas a gnaisses ortoderivados pertencentes ao Complexo Mantiqueira, que constitui o embasamento do Grupo Dom Silvério na região.

Neste trabalho os litotipos foram agrupados em unidades e subunidades descritas a seguir, e representadas no esboço do mapa geológico anexo (**ANEXO I**).

5.1 Complexo Mantiqueira

5.1.1 Unidade dos Ortognaisses

Os gnaisses ortoderivados estão amplamente distribuídos na área de estudo e, freqüentemente, encontram-se milonitizados em intensidade variável. Em partes mais poupadas da milonitização podem ainda ser reconhecidas uma foliação gnássica, estruturas bandadas e laminadas e feições de migmatização anteriores à gnaissificação (Prancha I, Foto A) que, em geral encontram-se quase que totalmente obliteradas pela foliação milonítica. A composição destas rochas varia de granodiorítica a tonalítica, com leucossoma (Prancha I, Foto B) predominantemente granítico. Localmente a composição grada para granítica, aparentemente devido à segregação causada pela migmatização. Estruturalmente podem ser genericamente classificadas como granitóides miloníticos e, mais raramente, protomiloníticos.

A variação mineralógica nestes litotipos é muito pequena, sendo constituídos, em essência, por quartzo, plagioclásio, biotita e anfibólio. Subordinadamente podem ocorrer microclínio, zircão, titanita e minerais opacos.

PRANCHA I

Foto A: Migmatito gnaissificado posteriormente afetado pela foliação milonítica. São observadas bandas formadas pela antiga foliação gnáissica anterior a milonitização.

Foto B: Leucossomas de composição granítica em migmatito gnaissificado e milonitizado do Complexo Mantiqueira.

Foto C: *Boudin* lenticularizado de rocha básica (indicado pela seta) em meio ao hornblenda gnaise do Complexo Mantiqueira.

Foto D: Veios pegmatóides dobrados (indicados pela seta) e orientado segundo a foliação milonítica nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Foto E: Leito de granada porfiroblástica, apresentando granadas com até 3 cm de diâmetro, nos biotita-muscovita xistos do Grupo Dom Silvério.

Foto F: Dobras formadas conforme evolução do cisalhamento nos paragneisses do Grupo Dom Silvério.

Foto G: Foliação (S_{n+2}) (indicada pela seta) formada nos planos axiais da dobras da foliação milonítica, nos paragneisses do Grupo Dom Silvério.

Foto H: *Metachert* associado às rochas calciossilicáticas do Grupo Dom Silvério.

As rochas apresentam foliação milonítica bem desenvolvida, com bandas e lâminas de diferentes composições resultantes de segregação metamórfica, com concentração de micas e de porções quartzo-feldspáticas e, por vezes, são ainda reconhecidos leitos porfiroclásticos mais grossos, nos quais os indicadores cinemáticos são mais evidentes. Nestas bandas, é possível a observação de porfiroclastos subidioblásticos, que podem representar relíquias de megacristais ígneos, principalmente em porções que não exibem fusão parcial pré-gnaissificação muito intensa.

Os leucossomas gnaissificados são compostos por quartzo, plagioclásio e microclínio, além de biotita e anfibólio subordinados. Os melanossomas apresentam composição tonalítica, sendo formados por plagioclásio, biotita e anfibólio, com quantidades subordinadas de quartzo e microclínio.

Nestas rochas são de ocorrência freqüente intercalações ou boudins de rochas básicas (Prancha I, Foto C), comumente achatados, lenticularizados e estirados pela forte transposição tectônica causada pelo intenso cisalhamento que afetou toda a região. São ainda comuns boudins e veios pegmatóides (Prancha I, Foto D), muitas vezes dobrados assimetricamente em estilo aberto ou apertado, e com vergência para oeste, bem como sigmóides e pares S/C indicam o sentido da movimentação e do transporte de massa para oeste. Muitas vezes a assimetria dos sigmóides é pequena, caracterizando forte transposição (Passchier & Trow, 1996).

A foliação milonítica é penetrativa e subparalela ao bandamento gnáissico e nos seus planos observa-se, via de regra, uma lineação de estiramento mineral sub-horizontal com direção N-S.

5.2 Grupo Dom Silvério

O Grupo Dom Silvério é composto, em essência, pelas unidades litotípicas: dos Biotita Xistos, (que podem conter granada, cianita e estaurolita) e dos Muscovita Xistos (por vezes grafitosos), dos Paragnaisses, das Rochas Calciossilicáticas, dos Metabasitos e dos Metagranitos Porfiríticos.

5.2.1 Unidade dos Biotita Xistos com granada, cianita e estaurolita

Os xistos apresentam grande variação textural, composicional e granulométrica, predominando biotita-muscovita xistos grossos que podem possuir granada, com cristais atingindo até 1,4 cm de diâmetro, cianita, estaurolita e grafita. A granulação varia de fina a muito grossa e a foliação observada na quase totalidade dos afloramentos é milonítica (S_{n+1}), que

transpõe uma xistosidade regional (S_n). Frequentemente a S_{n+1} mostra-se crenulada (S_{n+2}), por vezes intensamente, chegando a gerar um bandamento diferenciado.

A estauroлита e a cianita são de cristalização predominantemente posterior à foliação milonítica, constituindo porfiroblastos com até mais de 2 cm de comprimento, desorientados em relação à S_{n+1} . Entretanto, não raramente, observam-se cristais orientados segundo a S_{n+1} e parcialmente rotacionados, indicando que o grau médio já havia sido alcançado anteriormente ao cisalhamento.

A granada também tende a ser predominantemente posterior à S_{n+1} , mas muito frequentemente notam-se cristais com núcleos sin- S_n e bordas euhédricas pós- S_{n+1} .

Em muitos locais afloram biotita xistos feldspáticos, geralmente associados a biotita gnaisses com ou sem granada, que apresentam também uma foliação milonítica evidente. As relações de campo entre estes litotipos indicam gradação do biotita gnaiss para o biotita xisto feldspático, que pode ou não apresentar granada. Esta gradação é evidenciada pela ausência de contatos bruscos e pela correspondência mineralógica entre ambos litotipos. Na medida em que aumenta a distância dos corpos de biotita gnaiss, nota-se o aumento gradativo no conteúdo de muscovita nas rochas até sua substituição pelo biotita xisto, sugerindo que a formação do feldspato potássico no gnaiss deu-se através da reação muscovita + quartzo $\leftrightarrow$ feldspato potássico + Al_2O_3 + H_2O , mas em pressão relativamente alta, impossibilitando o surgimento da sillimanita, uma vez que observa-se apenas cianita nos xistos. Como também não houve fusão parcial, a X_{H_2O} deve ter sido inferior a 1,0 e, provavelmente situou-se pelo menos ao redor de 0,5, onde as paragêneses observadas poderiam ter sido formadas em temperatura ao redor de 680 °C (Spear, 1993). Uma outra característica desta gradação é o aumento da quantidade de grafita à medida que os xistos tornam-se menos feldspáticos e mais muscovíticos, o que sugere controle químico da rocha total e/ou de fO_2 e fCO_2 na formação do feldspato potássico e quebra da muscovita.

Em alguns locais, os xistos apresentam bandas extremamente ricas em porfiroblastos de granada (Prancha I, Foto E), que podem atingir até 3 cm de diâmetro, indicando tratarem-se de leitos sedimentares com teores mais elevados de alumínio e com alta razão Fe/Mg. Alternativamente a concentração do alumínio pode ser explicada pela lixiviação de álcalis e bases solúveis por fluidos metamórficos, em condutos preferenciais (com maior razão fluido/rocha), ao longo da foliação milonítica, resultando em uma maior concentração da granada cristalizada no final e após a deformação.

5.2.2 Unidade dos Muscovita Xistos Grafíticos

Corpos decamétricos de muscovita xisto grafítico, com ou sem cianita, ocorrem frequentemente intercalados nos biotita xistos. Este grupo de xistos apresenta intensa foliação milonítica, além de dobras apertadas e crenulação S_{n+2} . Ao microscópio foi também identificada uma crenulação pós- S_{n+2} no plano axial de microdobras, mais fracamente desenvolvida que, localmente, possui muscovita fina cristalizada segundo aos planos caracterizados como S_{n+3} .

A cianita, quando presente, apresenta-se subidioblástica a idioblástica, formando em duas gerações distintas de cristalização: a primeira é pré- sin-deformacional, à foliação milonítica, geralmente constituindo cristais milimétricos a submilimétricos estirados e orientados segundo a foliação milonítica mas que, muitas vezes preservam a Si de uma xistosidade pré-cisalhamento. A segunda geração é caracterizada por cristais maiores e geralmente idioblásticos, cristalizados em períodos tardi a pós-deformacional, comumente discordantes da foliação milonítica e que muitas vezes englobam cristais da primeira geração.

A intercalação de muscovita xistos grafíticos com e sem cianita na região é notável, e caracteriza-se por intercalações métricas a decamétricas, onde as relações de campo indicam serem contatos gradacionais, possivelmente gerados por diferenças composicionais nos sedimentos que originaram estes litotipos. Apesar da falta de outros minerais índices a presença de cianita nestas rochas indica que este litotipo, assim como as outras unidades litotípicas do Grupo Dom Silvério foram metamorfisadas em pressões compatíveis com o regime barrowiano.

5.2.3 Unidade dos Paragneisses

Esta unidade é constituída principalmente por biotita gnaisses de granulação grossa compostos, em essência, por quartzo, plagioclásio, biotita e microclínio e, subordinadamente, granada, muscovita e, por vezes, carbonatos.

Os gnaisses apresentam uma foliação gnáissica (S_n) transposta pela foliação milonítica S_{n+1} que foi, por sua vez, parcialmente dobrada durante a continuidade do cisalhamento de baixo ângulo (Prancha I, Foto F), gerando dobras assimétricas inclinadas a recumbentes, com vergência para oeste, que tendem a evoluir para dobras em bainha. Nos flancos e nos planos axiais, especialmente nos rompidos destas dobras é, em geral, observado um intenso estiramento mineral. Às vezes é possível observar-se nas regiões apicais destas dobras, que a foliação S_{n+1} foi redobrada (Prancha I, Foto G), cujas dobras possuem uma foliação plano axial S_{n+2} .

Mineralogicamente os biotita gnaisses assemelham-se aos biotita xistos mais feldspáticos e suas relações de campo indicam gradação para os xistos. Estas relações, juntamente com a freqüente presença de muscovita e granada nos gnaisses e intercalações restritas de camadas pouco espessas de gnaisses calciossilicáticos, rochas calciossilicáticas e gnaisses quartzosos, corroboram a interpretação de que estas rochas são paraderivadas e, portanto, pertencentes ao Grupo Dom Silvério, o que permite sua distinção dos gnaisses ortoderivados do Complexo Mantiqueira.

Ocorrem nestes gnaisses agregados de quartzo e feldspato em uma “textura granítica” semelhante à matriz, onde a biotita interna é mais avermelhada, o que sugere que estes fragmentos sejam seixos, recristalizados no metamorfismo sofrido por estas rochas, o que corrobora a hipótese destes gnaisses terem origem sedimentar, possivelmente de sedimentos mais grossos como conglomerados arenosos e arcóseos, associados aos sedimentos mais pelíticos que deram origem aos xistos. Desta forma, este pacote sedimentar seria composto de sedimentos arcoseanos grossos, passando para sedimentos pelíticos-arenosos, até pelíticos com contribuições de matéria orgânica, evidenciada pela presença de grafita nos xistos, ainda com contribuições vulcânicas e vulcanoclásticas periféricas.

5.2.4 Unidade das Rochas Calciossilicáticas

As rochas calciossilicáticas formam intercalações de alguns centímetros até dezenas de metros de espessura nos xistos e paragneisses e, comumente, associam-se a corpos de metabasitos, não raramente com estruturas bandadas a laminadas. Estas rochas apresentam-se mais ou menos milonitizadas, intensamente dobradas e possuem uma grande variação composicional, sendo observados desde tremolititos até gnaisses calciossilicáticos.

Os tremolititos encontram-se geralmente associados às zonas mais miloníticas e sua forma lenticular e contato irregular e gradativo com as demais rochas calciossilicáticas sugere a ação de fluidos hidrotermais na sua formação, uma vez que a alteração hidrotermal geralmente resulta, em condições extremas, em rochas monominerálicas (Korzhinsky, 1959; Yardley, 1994). Aos tremolititos comumente associam-se rochas quartzosas de cor verde-clara, indicando silicificação associada ao hidrotermalismo. Entretanto, em alguns locais ocorrem leitos de rocha quartzosa finamente laminada intercalados nas rochas calciossilicáticas, muitas vezes com leitos ricos em hidróxidos de manganês quando intemperizados, que são interpretados neste trabalho como *metacherts* (Prancha I, Foto H).

As rochas calciossilicáticas são formadas por quantidades variáveis de tremolita, actinolita e cummingtonita, epidoto, quartzo, carbonato e plagioclásio, além de diopsídio subordinado. Quando associadas aos paragnaisses há uma gradação entre os litotipos calciossilicáticos mais comuns, compostos por tremolita-actinolita, piroxênio, epidoto, carbonato, plagioclásio, quartzo para rochas gnáissicas, onde geralmente estão presentes tremolita-actinolita, plagioclásio, quartzo, biotita e subordinadamente feldspato potássico, muscovita, carbonato e epidoto. As relações de contato em campo mostram-se gradacionais e, petrograficamente estes litotipos parecem evoluir um do outro, o que pode indicar que estas rochas foram provavelmente geradas a partir de sedimentos clásticos com contribuição vulcânica intensa, evidenciada pelo complexo sistema química resultante nestes litotipos.

5.2.5 Unidade dos Metabasitos

Os metabasitos associados às rochas calciossilicáticas têm geralmente granulação fina e discreta laminação composicional (Prancha 2, Foto A), o que sugere origem tufácea. São compostos principalmente por anfibólio e plagioclásio e foram intensamente afetados pelo cisalhamento regional de baixo ângulo.

Também ocorrem freqüentemente corpos de espessura métrica a decamétrica de anfibolito que, localmente, apresentam granada em suas paragêneses. Encontram-se milonitizados em intensidades variadas e, por vezes, formam lentes em meio aos gnaisses paraderivados. Estas rochas podem representar antigas rochas vulcânicas ou, até mesmo, intrusões de rochas básicas anteriores ao cisalhamento.

Um terceiro tipo de metabasito é representado por diques métricos a decamétricos tardios com deformação incipiente e paragêneses indicativas de metamorfismo de baixo grau, na fácies xisto verde.

5.2.6 Metagranitos Porfiríticos

Corpos tabulares de espessura métrica a decamétrica de metagranito porfirítico ocorrem intercalados nos biotita gnaisses e biotita xistos. A rocha possui cor cinza, granulação média a grossa, textura blastoporfirítica e encontra-se ora extremamente deformada, com forte estiramento mineral (Prancha 2, Foto B) e com sombras de pressão junto a porfiroclastos de feldspato potássico, ora menos afetado pela milonitização (Prancha 2, Foto C). Também afloram como bolsões ou apófises, geralmente foliados, nos gnaisses paraderivados do Grupo Dom Silvério, por vezes com xenólitos da encaixante. As relações de campo indicam que o

PRANCHA 2

Foto A: Metabasito laminado associado a rochas calciossilicáticas do Grupo Dom Silvério.

Foto B: Metagranito porfirítico intensamente deformado pelo cisalhamento. As relíquias de feldspato potássico mostram-se rotacionadas (indicado pela seta), formando sombras de pressão pouco assimétricas.

Foto C: Metagranito porfirítico parcialmente preservado da deformação milonítica.

Foto D: Fraturas conjugadas em rocha metabásica alterada.

Foto E: Fraturas preenchidas por quartzo e epidoto nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira..

Foto F: Estruturas migmatíticas afetadas pela gnaissificação e posterior milonitização nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Foto G: Bandamento gerado pela foliação milonítica nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Foto H: *Boudin* de rocha básica em gnaisses do Grupo Dom Silvério.

metagranito porfíritico pode ter sido colocado em regime sin-a tardi-cisalhamento de baixo ângulo.

Todas as unidades litóticas encontram-se afetadas por uma deformação tardia, de caráter rúptil, que gerou fraturamento conjugado (Prancha 2, Foto D), e em muitos casos estas fraturas encontram-se preenchidas por quartzo e, por vezes, epidoto (Prancha 2, Foto E).

6 ANÁLISE ESTRUTURAL

As rochas do Grupo Dom Silvério, bem como as do Complexo Mantiqueira exibem, de maneira geral, estruturas tectônicas diversas e complexas, geradas por sucessivos eventos tectono-metamórficos regionais, além de falhamentos tardios superpostos.

Nos trabalhos de campo as estruturas foram descritas quanto à sua geometria e a obtenção dos dados buscou um padrão de distribuição que representasse a deformação regional da área. As dobras foram descritas quanto a seus estilos e dimensões e foram tomadas atitudes de eixos, flancos, lineação mineral e crenulação.

As foliações metamórficas foram caracterizadas quanto a seus estilos, superfície dobrada e suas relações com as dobras existentes, minerais metamórficos associados a planos e lineações e com porfiroblastos. As foliações foram cronologicamente separadas por critérios de superposição, sendo nomeadas como S_n , S_{n+1} e S_{n+2} em campo, e posteriormente foi reconhecida uma foliação S_{n+3} nas descrições petrográficas.

O tratamento estatístico dos dados obtidos em campo foi efetuado com auxílio do programa STERONET 2.46 (Duyster, 2000).

Apesar de terem sido tomadas poucas medidas de algumas estruturas, optou-se pela apresentação de alguns diagramas de contagem, mesmo sem significado estatístico, apenas para melhor visualização das orientações.

6.1 Contexto Estrutural

6.1.1 Complexo Mantiqueira

a) Foliação S_n

Os ortognaisses do Complexo Mantiqueira constituem o embasamento do Grupo Dom Silvério e, desta forma, encontram-se igualmente deformados pelos eventos neoproterozóicos que afetaram a região.

As estruturas mais antigas reconhecidas nas rochas desta unidade são as migmatíticas, parcialmente preservadas em mesolitos da foliação gnáissica e da milonitização superposta (Prancha 2, Foto F). O evento de migmatização permite a inferência da existência de uma foliação gnáissica ainda mais antiga, não observada nos afloramentos estudados, mas presentes em litotipos situados mais à oeste da área de estudo, caracterizando uma evolução policíclica complexa.

Os migmatitos foram afetados por deformações prévias a milonitização, que resultou no desenvolvimento de uma foliação gnáissica (S_n), responsável pelo forte estiramento do neossoma e de veios pegmatóides. As dobras associadas à foliação gnáissica S_n são apertadas a isoclinais, recumbentes para oeste e apresentam rompimento dos flancos e do cisalhamento nos planos axiais. Este evento deformacional pode ser atribuído ao metamorfismo regional que gerou a xistosidade verificada nos xistos, metabasitos e rochas calciossilicáticas.

Diques de rochas básicas diversas, intrusivos nos gnaisses ortoderivados deste complexo, foram também muito transpostos tectonicamente, resultando em leitos máficos e *boudins* paralelizados à foliação gnáissica.

b) Foliação S_{n+1}

A foliação milonítica superposta (S_{n+1}) foi responsável pela paralelização de todas estruturas prévias, redução da granulação e formação de bandamento diferenciado, (Prancha2, Foto G), com leitos mais micáceos alternados com outros quartzo-feldspáticos, nos quais podem, eventualmente, ser reconhecidos nas regiões apicais de resquícios de dobras. Apresenta-se como uma superfície sub-horizontal, com lineação mineral orientada segundo a direção N-S, com movimentação do bloco oeste para norte-noroeste, definida pela assimetria dos porfiroclastos de feldspato, sombras de pressão pouco assimétricas e raros pares S/C. A baixa assimetria dos indicadores cinemáticos e o forte estiramento indica que os litotipos foram afetados por altas taxas de deformação. As dobras relacionadas a este evento são similares, recumbentes e apertadas e são comuns rompimento dos flancos e dobras intrafoliais definidas pela S_{n+1} , com eixos paralelos a lineação de estiramento. Com a evolução do cisalhamento a própria foliação milonítica foi deformada, gerando dobras similares abertas, de perfil assimétrico, ou fechadas, todas com vergência para oeste.

O forte estiramento orientado aproximadamente segundo N-S, permite classificar estas rochas como tectonitos do tipo L.

Poucas medidas foram obtidas nesta unidade, todas da foliação milonítica (**FIGURA 5**), que mostra concentração de planos em N23E/42SE, levemente ondulados por dobras com eixo N10E, com mergulho suave para NE (**FIGURA 6**). As medidas de lineação mineral estão representadas na **FIGURA 7**, onde pode-se notar a predominância de mergulhos suaves para sul, paralelos ao eixo construído para ondulação da foliação milonítica.

Figura 5: Projeção polar da foliação S_{n+1} nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Figura 6: Diagrama de contagem da foliação S_{n+1} nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Figura 7: Estereograma mostrando a projeção das lineações de estiramento nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

Corpos de rocha básica foram posteriormente introduzidos no migmatitos gnaissificados, geralmente nos planos da foliação gnáissica (S_n), mas diques oblíquos a ela, controlados por fraturas mais tardias, também ocorrem (ver mapa geológico anexo I).

6.1.2 Grupo Dom Silvério

a) Foliação S_n

No Grupo Dom Silvério a foliação S_n é dada pela orientação planar de minerais placóides e/ou pelo estiramento do quartzo e, mais raramente, do feldspato. Esta foliação constitui uma xistosidade média a muito grossa nas rochas micáceas e uma foliação gnáissica nas rochas quartzo-feldspáticas paraderivadas e xistos feldspáticos. Nas rochas calciossilicáticas e metabásicas esta foliação não foi observada, devido à completa obliteração desta pela foliação milonítica subsequente e pelas recristalizações associadas ao hidrotermalismo.

A foliação S_n nas rochas do Grupo Dom Silvério está, de modo geral, parcial a completamente obliterada pela S_{n+1} , e é mais evidente nos biotita-muscovita xistos e nos muscovita xistos grafitosos, nos quais é definida principalmente pela orientação da muscovita e, mais raramente, da biotita.

b) Foliação S_{n+1}

As dobras associadas ao desenvolvimento da S_{n+1} nos paragneisses são fechadas a isoclinais, recumbentes, com vergência para oeste e, geralmente tem flancos rompidos, são intrafoliais e, por vezes a S_n desenha dobras com formas de S, com ápices espessados e flancos muito estirados e rompidos. Esta foliação, tal qual a dos ortogneisses do Complexo Mantiqueira, foi deformada pela evolução do cisalhamento, resultando em dobras similares assimétricas empinadas, que evoluem para dobras mais inclinadas, com vergência para oeste, nas quais observa-se um início de rotação dos eixos para NE e SW, indicando evolução para dobras em bainha. Predominantemente nos planos axiais das dobras que afetam a S_{n+1} é também observada uma crenulação, com aproximadamente a mesma orientação dos da foliação milonítica, mas mergulhos mais altos. Localmente esta foliação transpõe quase que totalmente a foliação milonítica e pode também ser observada nos flancos das dobras, onde usualmente é menos intensa.

Nos gnaisses a milonitização é evidenciada pela forte recrystalização dinâmica de seus minerais, principalmente nos leitos de granulação mais grossa, onde é freqüente a presença de porfiroclastos de plagioclásio e feldspato alcalino contornados pela foliação, gerando sombras de pressão assimétricas, sugerindo nestes casos, o sentido do transporte de massa para noroeste ou norte. Esta foliação também foi responsável pela rotação de porfiroclastos interpretados como antigos seixos presentes nos gnaisses paraderivados, nos quais observa-se recrystalização de plagioclásio e quartzo dos fragmentos líticos, além de, por vezes, formarem-se sombras de pressão quase assimétricas.

Ocorrem ainda em meio aos gnaisses *boudins* de rochas básicas (Prancha 2, Foto H) e de pegmatóides estirados e orientados paralelamente ao estiramento dos feldspatos e do quartzo provocado pela milonitização. A formação de *ribbons* de quartzo é bastante evidente nestas rochas, podendo atingir até 5 cm de comprimento.

A foliação S_{n+1} dos paragneisses mostra mergulhos preferenciais para oeste (**FIGURA 8**), com maior concentração de planos ao redor N15E/66SE, dobrados assimetricamente com eixo em N06E com mergulho suave para NE (**FIGURA 9**). Os eixos das dobras e as lineações minerais orientam-se predominantemente em NNE/SSW, com mergulhos predominantes para sudoeste (**FIGURA 10**), paralelamente ao estiramento máximo dos tectonitos L. Entretanto, são ainda observadas lineações minerais e de estiramento orientadas segundo WNW/ESE (**FIGURA 10**), que indicam o transporte de massa inicial para oeste, em direção ao Cráton do São Francisco e, em seguida, para norte.

Figura 8: Projeção dos pólos e planos da foliação S_{n+1} nos paragneisses do Grupo Dom Silvério.

Figura 9: Diagrama de contagem da foliação S_{n+1} nos paragneisses do Grupo Dom Silvério.

Figura 10: Estereograma mostrando a projeção das lineações de estiramento nos paragneisses do Grupo Dom Silvério.

Os xistos mostram padrões de dobramentos idênticos aos dos paragneisses, mas a preservação das dobras associadas com o desenvolvimento da S_n é menor e as dobras e transposições da S_{n+2} são mais generalizadas e intensas.

A foliação S_{n+1} nos xistos é conferida pela orientação dos minerais micáceos e prismáticos. Os minerais gerados nesta fase, que marcam a foliação milonítica, são principalmente biotita, muscovita, grafita e, mais raramente, clorita, esta retrometamórfica, ou seja, apenas substitui os minerais de mais alta temperatura orientados segundo a S_{n+1} . Nas rochas metabásicas, a foliação é dada pela orientação preferencial dos anfibólios e plagioclásio e, em menor volume, da clorita e da biotita. Nos metabasitos, a milonitização provocou intensa cataclase e um discreto estiramento dos grãos, principalmente os de plagioclásio.

A foliação S_{n+1} apresenta um caráter milonítico muito evidente, principalmente nos gnaisses e em xistos feldspáticos. Em seções delgadas, texturas como núcleo-manto, sub-grãos e novos grãos, comprovam este caráter milonítico, com ocorrência em larga escala de recristalização dinâmica de feldspatos, bem como de quartzo. O quartzo além de estar profundamente recristalizado e agrupado em *ribbons* orientados na direção NS, apresenta forte orientação ótica e cristalográfica. Nos xistos, os *ribbons* mostram-se como antigas venulações quartzo-feldspáticas com significativo alongamento no sentido N-S que, frequentemente, atingem razões de 15:1.

Os minerais porfiroblásticos como granada e cianita nos xistos e anfibólios nas rochas calciossilicáticas, ocorrem na maior parte das vezes contornados e levemente orientados pela foliação milonítica.

Já a estaurolita presente em alguns xistos, mostra-se predominantemente cristalizada pós-cinematicamente, evidenciando que o pico térmico do metamorfismo deu-se em período pós-deformacional.

A cianita, em algumas amostras de grau metamórfico um pouco mais alto, mostra-se também cristalizada predominantemente em período pós- S_{n+1} , corroborando a indicação de que o pico bórico também foi pós-deformacional, ocorrendo aproximadamente concomitantemente ao pico térmico, evidenciados pela cristalização da estaurolita.

A foliação S_{n+1} nos xistos tem orientação semelhante à foliação dos paragneisses e apresenta mergulhos predominantes para SE (**FIGURA 11**), mas as maiores concentrações dos pólos dos planos ocorrem em mergulhos relativamente menores e maiores, devido ao redobramento que afetou intensamente estes litotipos, tendo gerado uma crenulação (S_{n+2}) com direção aproximadamente NS e mergulhos próximos de 10SE e 50-70SE (**FIGURA 12**). A distribuição dos pólos sugere ainda uma ondulação superposta, com eixo aproximadamente em N40E, com mergulho baixo para o mesmo quadrante, à qual deve associar-se a segunda crenulação (S_{n+3}) observada ao microscópio. As lineações minerais nos xistos (**FIGURA 13**) têm atitudes semelhantes às descritas nos paragneisses, indicando que, apesar das diferenças no grau metamórfico que afetou ambos conjuntos, não houve significativa variação na direção dos esforços em função do nível crustal, ou de rotação das fatias tectônicas justapostas.

Nos quartzitos, esta foliação foi responsável pela formação de pequenos *ribbons* de quartzo e pela orientação preferencial de muscovita segundo a direção da foliação.

c) Foliação S_{n+2}

A foliação S_{n+2} foi observada preferencialmente nos biotita xistos e nos xistos grafitosos com cianita. Esta foliação é caracterizada por um dobramento que varia de aberto a apertado que ocorre na foliação S_{n+1} , com restrita cristalização plano axial desenvolvida. Este dobramento parece evoluir de um sistema de dobras abertas e suaves para dobras muito apertadas, tendo sido este episódio responsável pelo dobramento de *ribbons* de quartzo formados durante o processo de milonitização, acompanhado por recristalização dinâmica, que promoveu a formação de sub-grãos e a rotação de grãos de plagioclásio, previamente estirados e orientados pela foliação anterior.

Figura 11: Projeção dos pólos e planos da foliação S_{n+1} nos xistos do Grupo Dom Silvério.

Figura 12: Diagrama de contagem da foliação S_{n+1} nos xistos do Grupo Dom Silvério.

Figura 13: Estereograma mostrando a projeção das lineações minerais e de estiramento nos xistos do Grupo Dom Silvério.

Quando presente, a cristalização plano axial é dada pelo crescimento de biotita fina, subidiomórfica e mais raramente muscovita.

A S_{n+2} orienta-se segundo NNE-SSW, com mergulhos médios para SE, muito embora ocorram planos mais verticalizados ou, mais raramente, orientados segundo NW-SE (**FIGURA 14** e **FIGURA 15**), estes podendo associar-se a dobras devidas aos falhamentos mais tardios. Os poucos eixos medidos da crenulação são praticamente horizontais, com mergulhos muito suaves para norte ou para sul e com direção quase N-S (**FIGURA 16**), indicando coaxialidade dos esforços que geraram a foliação milonítica, seu dobramento pela continuidade das deformações e a crenulação associada às dobras da S_{n+1} .

d) Foliação S_{n+3}

A foliação S_{n+3} foi identificada apenas ao microscópio, principalmente nos biotita-muscovita xistos e nos muscovita xistos grafitosos. Esta foliação é caracterizada pela crenulação leve da S_{n+2} , com pouca ou nenhuma cristalização de minerais no plano axial. Nos casos onde a cristalização ocorreu, ela está representada pela formação de muscovita fina e, mais raramente, de biotita.

Figura 14: Projeção dos pólos e planos da foliação S_{n+2} nos xistos do Grupo Dom Silvério.

Figura 15: Diagrama de contagem da foliação S_{n+2} nos xistos do Grupo Dom Silvério.

Figura 16: Estereograma mostrando a projeção dos eixos da crenulação S_{n+2} nos xistos do Grupo Dom Silvério.

A Prancha 3 mostra uma seqüência evolutiva das foliações S_n , S_{n+1} , S_{n+2} e S_{n+3} , observadas ao microscópio.

6.1.3 Falhas e fraturamentos tardios

Um conjugado de falhas com direções N40W e N20W é muito comum em toda área (ver mapa geológico anexo), devendo estar relacionado aos últimos esforços do sistema compressivo, já em regime rúptil. Episódios de reativação Quaternária, com movimentos normais nestas falhas são comuns, deduzidos por vários níveis de paleo-terraços ao longo de algumas drenagens encaixadas nestas estruturas.

É possível observar-se ainda um último conjugado de fraturas, com formação de fendas de tensão preenchidas por quartzo e, por vezes, epidoto, provavelmente relacionadas à percolação de fluidos tardios.

PRANCHA 3

Foto A: Foliação S_n transposta pela foliação milonítica S_{n+1} .

Foto B: Foliação milonítica S_{n+1} .

Foto C: Dobra aberta na foliação S_{n+1} , com fraca cristalização de muscovita e biotita em seus planos axiais conferindo à rocha foliação S_{n+2} .

Foto D: *Ribbon* de quartzo dobrado pela foliação S_{n+2} , em dobras um pouco mais apertadas.

Foto E: Forte cristalização de biotita e muscovita no plano axial da dobra aberta gerada pela S_{n+2} .

Foto F: Forte cristalização de biotita e muscovita no plano axial da dobra apertada gerada pela S_{n+2} .

Foto G: Foliação S_{n+2} bem desenvolvida.

Foto H: Foliação S_{n+2} em dobras apertadas, e transposição desta pela foliação S_{n+3} .

7 PETROGRAFIA

Com base na descrição petrográfica, foi possível a separação dos seguintes conjuntos petrográficos:

7.1 Complexo Mantiqueira

7.1.1 *Ortognaisses e migmatitos gnaissificados*

Biotita-hornblenda gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses e hornblenda gnaisses

Estas rochas são caracterizadas por uma estrutura foliada e textura lepidogranoblástica e, mais raramente apresentam textura nematogranoblástica.

Os ortognaisses têm como mineralogia essencial andesina (30 a 45% em volume), hornblenda (15 a 30%), biotita de pleocroísmo verde-acastanhado a castanho-avermelhado (15 a 25%) e quartzo (15 a 25%). Ocorrem ainda, com frequência, microclínio, titanita e epidoto e, mais raramente, allanita, zircão e minerais opacos. Podem ainda conter 2 a 4% de granada sem zonamento óptico e com poucas inclusões, geralmente de minerais opacos e, mais raramente, de quartzo. Em algumas amostras, é possível a observação de granada envolvendo plagioclásio, em textura que indica o consumo do plagioclásio devido ao aumento da pressão em um período anterior a milonitização.

A foliação milonítica nestas rochas é evidenciada pela orientação preferencial de biotita, acompanhada pela formação de pequenos *ribbons* de quartzo recristalizados em subgrãos e, por vezes, plagioclásio, concordantes com a foliação. A foliação anterior (S_n) à milonitização apresenta-se quase que completamente obliterada e, em algumas porções a rocha contém uma leve crenulação (S_{n+2}) da foliação milonítica (S_{n+1}).

O plagioclásio pode apresentar-se saussuritizado e pode haver formação de epidoto nos contatos entre o plagioclásio e a hornblenda. A epidotização é, no entanto, muito suave, restringe-se a algumas porções da rocha e assim como a saussuritização do plagioclásio, parece ser devida à ação de fluidos hidrotermais associados a zonas de cisalhamento.

As relações de blastese com as foliações metamórficas estão sintetizadas na **FIGURA 17**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+1	Pós-Sn+1	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
ANDESINA								
HORNBLENDA								
QUARTZO								?
BIOTITA								?
MICROCLÍNIO		?						
EPIDOTO								?
TITANITA								?
ALLANITA								?
ZIRCÃO			?					
GRANADA								
OPACOS								

Figura 17: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos ortognaisses do Complexo Mantiqueira.

7.2 Grupo Dom Silvério

7.2.1 Metapelitos

O Grupo Dom Silvério na área de estudo é composto por metapelitos diversos, divididos em cinco subunidades petrográficas, descritas abaixo:

a) *Muscovita xistos grafitosos*

Os muscovita xistos grafitosos possuem granulação fina, textura granolepidoblástica e resquícios da foliação S_n , conferida pela muscovita, geralmente transposta e obliterada pelas foliações associadas ao evento de milonitização. Apresentam-se, na maioria das vezes, dobradas, eventualmente, com dobras isoclinais e disruptas, onde podem ser observadas muscovita e grafita cristalizadas nos seus planos axiais, conferindo à rocha uma foliação S_{n+1} (Prancha 4, Foto A). O plagioclásio e o quartzo associados à S_{n+1} podem mostrar-se estirados ou até mesmo cataclásados, indicando neste caso, baixas temperaturas de formação da foliação, provavelmente relacionadas a movimentações tardias, ou reativação local do cisalhamento. A foliação S_{n+1} mostra-se comumente crenulada, com planos axiais orientados segundo a foliação S_{n+2} (Prancha 4, Foto B), com pouca ou nenhuma cristalização de muscovita e, mais raramente, de quartzo. Estas dobras são também observadas em pequenos *ribbons* de quartzo recristalizados em subgrãos, gerados pela milonitização (S_{n+1}).

PRANCHA 4

Foto A: Foliação S_n transposta pela foliação milonítica S_{n+1} nos muscovita xistos grafitosos do Grupo Dom Silvério, (polarizadores descruzados).

Foto B: Foliação milonítica dobrada. Cristalização incipiente de muscovita no plano axial destas dobras formando S_{n+2} , (polarizadores descruzados).

Foto C: Cianita sueuhédrica, com textura porfiroblástica presente nos muscovita xistos grafitosos, mostrando texturas em mosaico, (polarizadores descruzados).

Foto D: Foliação milonítica dobrada nos muscovita-biotita xistos. Observa-se *ribbons* de quartzo que foram formados na milonitização também dobrados, (polarizadores cruzados).

Foto E: Foliação S_{n+2} plano axial no muscovita-biotita xisto, (polarizadores cruzados).

Foto F: Foliação S_{n+3} incipiente no muscovita-biotita xisto, (polarizadores cruzados).

Foto G: *Ribbons* de quartzo dobrados pela foliação S_{n+2} , (polarizadores cruzados).

Foto H: Corona em granada, composta por plagioclásio, quartzo, biotita e muscovita, (polarizadores cruzados).

Sua composição é dada principalmente por muscovita (até 60%), quartzo (10 a 20%), oligoclásio-andesina (10 a 20%), grafita (25 a 35%) e, por vezes, cianita (até 10%). Turmalina detrítica, ortoclásio e microclínio podem ocorrer em algumas amostras, além de rutilo e minerais opacos.

O quartzo possui forte extinção ondulante, principalmente quando a foliação milonítica é mais intensa.

O plagioclásio mostra-se cristalizado de maneira quase que uniforme pela matriz, com cristais maiores recrystalizados em pequenos grãos, usualmente sem geminação e, muitas vezes, contêm grande número de finíssimas inclusões de grafita e, ocasionalmente, de muscovita.

A cianita geralmente cristalizou-se concomitantemente ao desenvolvimento da foliação milonítica S_{n+1} e, comumente mostra-se envolvida por bordas de cristalização tardi- a pós- S_{n+1} . Podem ainda apresentar arranjos em mosaico de porfiroblastos tardios, indicando equilíbrio textural com os minerais em paragênese (Prancha 4, Foto C). Entretanto, não são raras as relíquias de cianita pré- S_n onduladas ou dobradas inclusas em cristais mais grossos de cianita posterior, definidas pelas trilhas de inclusões de grafita. As S_i (foliações internas) indicam, nestes casos, que a cristalização da cianita deu-se em períodos tardi - a pós- S_n quando do aparecimento destes tipos de inclusões.

As relações entre as foliações metamórficas e a cristalização dos minerais deste grupo de xistos pode ser observada na síntese da **FIGURA 18**.

MINERAL	Pré- S_n	S_n	Pós- S_n	S_{n+1}	Pós- S_{n+1}	S_{n+2}	Pós- S_{n+2}	Retrometamorfismo
MUSCOVITA								
QUARTZO								?
ANDESINA								
GRAFITA								
CIANITA						?		
TURMALINA			?					
ORTOCLÁSIO								
MICROCLÍNIO					?			
RUTILO			?					
OPACOS								

Figura 18: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos muscovita xistos grafitosos do Grupo Dom Silvério.

b) Biotita-muscovita xistos ou muscovita-biotita xistos, por vezes grafitosos e feldspáticos

Os xistos deste grupo possuem textura granolepidoblástica, com a foliação S_n conferida pelas micas, quase ou totalmente transposta pela foliação milonítica S_{n+1} , onde estão presentes muscovita e biotita. A foliação S_{n+1} ocorre freqüentemente dobrada (Prancha 4, Foto D) em estilo similar e perfis assimétricos e variam de abertas até apertadas, com foliação plano axial S_{n+2} bem desenvolvida (Prancha 4, Foto E). A superfície S_{n+2} , mostra-se ainda levemente crenulada, (Prancha 4, Foto F), com incipiente desenvolvimento e transposição de uma foliação plano axial S_{n+3} .

Estes xistos são compostos, em essência, por quartzo, andesina, muscovita, biotita, grafita e, subordinadamente, turmalina detrítica, ortoclásio, microclínio, zircão detrítico, ilmenita e outros minerais opacos.

Apresentam granulação variando de fina a muito grossa e há aumento da granulação com o aumento do conteúdo de feldspato e, localmente, clorita retrometamórfica em pequena quantidade substitui a biotita. A semelhança destes litotipos com rochas que ainda possuem estauroлита, sua granulação relativamente mais grossa e a presença de feldspato potássico, sugere que estes xistos podem ter sido metamorforizados em grau um pouco mais alto que a maioria dos xistos da área, tendo alcançando, possivelmente, a zona do feldspato potássico. O retrometamorfismo deu-se até a fácies xisto verde, na zona da clorita. A ausência da estauroлита, entretanto, poderia ser também devida à composição química da rocha, e não somente a um aumento no grau metamórfico até temperaturas superiores ao limite da estabilidade da estauroлита.

O quartzo apresenta-se em algumas amostras intensamente cataclasado e recrystalizado, formando muitas vezes *ribbons* que, por sua vez, foram dobrados e recrystalizados em grãos menores quando do desenvolvimento da foliação S_{n+2} (Prancha 4, Foto G).

O plagioclásio ocorre quase sempre parcialmente saussuritizado e é rico em inclusões de grafita. Apresenta-se por vezes intensamente deformado pela milonitização, geralmente com evidências de deformação dúctil, mas pode ter sido também afetado por deformações rúpteis nos estágios finais da milonitização, ou em zonas de reativação das falhas. Na **FIGURA 19** podem ser observadas as relações de cristalização dos minerais dos xistos deste grupo com as foliações identificadas.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+1	Pós-Sn+1	Sn+2	Pós-Sn+2	Sn+3	Pós-Sn+3	Retrometamorfismo
QUARTZO										?
ANDESINA										
MUSCOVITA										
BIOTITA										
GRAFITA										
TURMALINA			?							
ORTOCLÁSIO					?					
MICROCLÍNIO							?			
ZIRCÃO			?							
ILMENITA										?
OPACOS										?
CLORITA										?

Figura 19: Síntese das relações de blastese dos minerais relativamente às foliações metamórficas dos muscovita-biotita xistos, por vezes grafitosos e feldspáticos, do Grupo Dom Silvério.

c) Biotita-muscovita xistos com granada, muscovita-biotita xistos com granada ou granada-muscovita-biotita xistos

Estas rochas geralmente apresentam uma foliação milonítica bem desenvolvida, podendo ser observada uma xistosidade anterior mais ou menos preservada. A granada é, na maioria das vezes, porfiroblástica e possui coronas constituídas por quartzo, plagioclásio, biotita e muscovita (Prancha 4, Foto H). Podem ocorrer ainda, sulfetos e grafita em quantidades variadas e clorita substituiu a biotita, em evento metamórfico retrógrado.

Os muscovita-biotita e os biotita-muscovita xistos com granada apresentam textura porfiroblástica com matriz granolepidoblástica de granulação média, e uma foliação S_n definida pelas micas que, em quase todas as amostras, encontra-se transposta pela foliação milonítica S_{n+1} , segundo a qual cristalizaram-se a muscovita e a biotita, preferencialmente.

Estes xistos são compostos principalmente por quartzo, andesina, muscovita, biotita, granada e clorita, além de turmalina, zircão e apatita detríticos, minerais opacos, grafita e ortoclásio subordinados.

A granada é geralmente zonada e poiquiloblástica (com inclusões de quartzo, biotita, muscovita e grafita e, mais raramente, de clorita) e, por vezes foi afetada pela S_{n+1} , que se amoldou ao seu redor e os rotacionou (Prancha 5, Foto A), gerando sombras de pressão. A granada pode também estar estirada e transposta pela S_{n+1} (Prancha 5, Foto B). O zonamento da granada é definido por um núcleo homogêneo quase ou totalmente livre de inclusões de minerais, geralmente de grafita e quartzo, mas, em muitos cristais, pode-se notar ainda relíquias de cristais menores aglutinados para formação dos núcleos (Prancha 5, Foto C). Ao redor destes

PRANCHA 5

Foto A: Granada rotacionada pela foliação milonítica (S_{n+1}), polarizadores cruzados.

Foto B: Granada transposta e parcialmente destruída pela foliação S_{n+1} , polarizadores cruzados.

Foto C: Granada zonada. Dobras indicando a antiga foliação estão presentes nas bordas da granada, conforme indica a seta, polarizadores cruzados.

Foto D: Granada zonada, indicando até cinco fases de cristalização definidas pelas trilhas de inclusões de grafita, polarizadores cruzados.

Foto E: Borda de reação em granada, formando auréolas ou orlas de pressão, compostas por plagioclásio, muscovita, biotita e quartzo, polarizadores cruzados.

Foto F: Pseudomorfo de estauroлита (indicado pela seta) formado por granada, contendo relíquias da foliação anterior evidenciadas pelas trilhas de inclusões de grafita, polarizadores descruzados.

Foto G: Cianita cristalizada segundo a orientação da foliação milonítica no muscovita-biotita xisto com granada e cianita, polarizadores descruzados.

Foto H: Porfiroblasto de cianita pós- S_{n+1} , preservando foliação interna conferida pelas trilhas de inclusões de grafita, polarizadores cruzados.

Os núcleos houve cristalização acretiva de uma segunda geração de granada, que manteve a anterior. Esta segunda geração, que é rica em inclusões de grafita e, por vezes, é poiquiloblástica, foi cristalizada posteriormente à crenulação S_{n+2} (Prancha 5, Foto C) e pode estar levemente deformada pela foliação que a circunda. Este zonamento indica pelo menos duas fases de cristalização, que podem ser associadas a dois eventos metamórficos distintos, contínuos ou não. Neste caso, para simplificar o tratamento destes dois tipos de granada neste trabalho, adotaremos que a granada de núcleo livre de inclusões de grafita, de aspecto mais homogêneo, correspondente à primeira fase de cristalização observada, será chamada de Grt_1 e o outro tipo, mais rico em inclusões, sobrecrecida sobre a outra e correspondente às cristalizações subsequentes será denominada Grt_2.

Apesar de nem todos cristais mostrarem-se opticamente zonados é possível que a maioria deles sejam quimicamente zonados, mas isto poderá ser definido apenas através de estudos detalhados dos padrões de zonamento em minerais metamórficos, principalmente a partir da análise do zonamento de elementos traços neste mineral.

O padrão de zonamento, em muitas amostras, pode repetir-se em várias fases de cristalização da granada, onde o núcleo permanece pobre em inclusões de grafita e as fases geradas pela cristalização acretiva são marcadas pelo grande número de inclusões de grafita que, em alguns casos, formam auréolas, indicando até cinco fases de cristalização (Prancha 5, Foto D). Na maior parte das vezes, a última fase de cristalização apresenta-se deformada pela foliação milonítica (S_{n+1}), enquanto que as inclusões mostram freqüentemente uma foliação interna prévia, que foi interpretada como uma relíquia da xistosidade (S_n), preservada na granada. Este padrão de cristalização é indicativo da participação de várias reações químicas seqüenciais de formação da granada, ou de isolamento do cristal com o reagente da matriz, mas pode também ser devida a oscilações na temperatura e na pressão, causadas por cavalgamento de placas mais ou menos aquecidas e intrusões de corpos tabulares de granito, quando do desenvolvimento da milonitização.

Observa-se também que, em alguns casos, as inclusões de grafita definem pequenas dobras dentro da granada, indicando redobramento da xistosidade anterior ao evento regional de cisalhamento, cuja gênese relaciona-se ao desenvolvimento das zonas de empurrão com deslocamento de massa para oeste e nor-noroeste. Dois tipos ópticos de biotita são observados nos xistos, um que apresenta pleocroísmo variando de castanho muito claro a castanho-escuro e outro, de granulação levemente mais grossa, variando de castanho a marrom-avermelhado. Esta última por vezes forma cristais idioblásticos a subidioblásticos pouco ou nada afetados pela

foliação milonítica, o que indica períodos de cristalização predominantemente pós-cinemático. A cor vermelha nesta biotita deve ser indicativa do aumento do teor de Ti, que é diretamente proporcional ao aumento de temperatura (Ferry & Spear, 1978), que, neste caso, também indica que o pico térmico ocorreu em um momento tardi-a pós-cisalhamento.

O plagioclásio mostra-se levemente deformado, de granulação fina a média, com poucas inclusões de grafita, e está homogeneamente distribuído pela matriz.

A clorita geralmente é produto da substituição da biotita e da granada, mas também ocorre como finos cristais na matriz ou inclusa na granada.

Estes xistos estão intercalados em corpos de xistos com estauroлита, o que indica metamorfismo na fácies anfibolito, indicando que a presença da clorita na matriz represente um reagente em excesso, e que as inclusões são resíduos de reagentes isolados pela cristalização da granada, ou reagente em excesso. O retrometamorfismo alcançou a fácies xisto verde, zona da clorita, como indicado pela clorita que substitui os minerais ferro-magnesianos.

Os biotita-muscovita xistos com granada assemelham-se texturalmente aos muscovita-biotita xistos com granada, assim como a granada, que é zonada e apresenta os mesmos padrões e coronas descritas anteriormente.

Os muscovita-biotita xistos feldspáticos são compostos por quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita e, subordinadamente, microclínio, turmalina detrítica e minerais opacos. Não foi encontrada granada nestes xistos, apesar das relações de campo indicarem que estes corpos gradacionam para os corpos de paragneisses e os biotita-muscovita xistos, ambos com granada.

As relações de cristalização dos minerais com as foliações metamórficas podem ser observadas no quadro da **FIGURA 20**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+1	Pós-Sn+1	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
QUARTZO	—	—	—	—	—	—	—	?
ANDESINA	—	—	—	—	—	—	—	
MUSCOVITA	—	—	—	—	—	—	—	
BIOTITA	—	—	—	—	—	—	—	
GRANADA		—	—	—	—	—	—	
CLORITA		—?						—?
ORTOCLÁSIO	—	—	—	—	—?			
TURMALINA	—	—?						
ZIRCÃO	—	—?						
GRAFITA		—	—	—	—	—	—	
OPACOS		—	—	—	—	—	—	—?
APATITA	—	—?						

Figura 20: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos muscovita-biotita xistos com granada do Grupo Dom Silvério.

d) Biotita-muscovita xistos e muscovita-biotita xistos com teores variados de granada e cianita

Este grupo de xistos possui granulação média a grossa, textura porfiroblástica e matriz granolepidoblástica. São compostos por quartzo, oligoclásio-andesina, biotita, muscovita, granada e cianita. Subordinadamente ocorrem turmalina detrítica, grafita, minerais opacos e feldspato potássico.

A foliação mais evidente presente nestas rochas é a milonítica, que é responsável pela quase total transposição da xistosidade original (S_n). Associado à foliação milonítica ocorre recristalização de quartzo formando pequenos *ribbons*, acompanhados de intensa cataclase e estiramento mineral. Neste caso, o quartzo apresenta-se com extinção ondulante e o plagioclásio, por vezes, pode estar levemente deformado, orientando-se segundo a S_{n+1} (milonítica).

A granada mostra intenso zonamento composicional, evidenciado, como nos outros casos já descritos, pelas inclusões de grafita, que muitas vezes preservam o registro da foliação anterior (S_n). Constitui porfiroblastos e, mais raramente, poiquiloblastos com inclusões de grafita, quartzo, biotita e muscovita. A cristalização da granada deu-se principalmente no final do desenvolvimento da S_{n+1} , mas muitos cristais registram ainda evento de formação associado à S_n , pós- S_{n+1} e uma última fase afetada pela milonitização, que provocou rotação, cataclase das suas bordas e a geração de coronas e de orlas de pressão, mal definidas e estiradas, com plagioclásio granular não geminado e quartzo (Prancha 5, Foto E).

Nestas amostras foi observada granada com hábito da estauroлита, rica em inclusões orientadas de grafita que sugerem ser resquícios da foliação anterior, em contato retilíneo com granada com hábito dodecaédrico (Prancha 5, Foto F). Nos contatos onde a granada de hábito incomum está cristalizada, é possível observar-se a cristalização de biotita e cianita, além de pequenos grãos de quartzo, o que sugere uma substituição pseudomórfica completa da estauroлита por granada, segundo a reação abaixo (Spear, 1993):

Os pseudomorfos de estauroлита formados por granada a partir da reação supracitada, podem evidenciar o desaparecimento da estauroлита devido ao aumento de temperatura, uma vez que, segundo o diagrama KFLASH de Spear & Cheney (1989), o campo de estabilidade da estauroлита está compreendido entre temperaturas que variam de 450 e 670 °C (**FIGURA 21**).

Complementarmente, as rochas com estaurolita estável, devem ter suas condições P-T definidas nas proximidades da reação definida acima, pois, com pequeno aumento da temperatura, poderia formar as paragêneses com cianita substituindo a estaurolita. Por outro lado, para uma dada temperatura, a quebra da estaurolita poderia se dar pelo aumento da pressão, em função da inclinação da curva no campo P-T. Assim, pode-se também sugerir que, durante o cavalgamento, fatias tectônicas cavalgadas que estavam em temperaturas altas, mas ainda dentro do campo de estabilidade da estaurolita (próximas ao seu limite), podem ter tido sua pressão aumentada pelo empilhamento tectônico, resultando na instabilização da estaurolita.

Em sistemas naturais, entretanto, as temperaturas de formação dos minerais deve ser um pouco mais alta, devido à presença de magnésio no sistema químico, sendo, portanto, mais adequada a representação no sistema KFMASH. Por outro lado, se a P_{H_2O} foi inferior a 1,0, as reações devem se processar em temperaturas menores que as indicadas no diagrama KFMASH. Devido à falta de informações sobre a P_{H_2O} , optou-se pela definição dos campos de estabilidade dos minerais no diagrama KFMASH apenas pelo menor número de reações químicas e, portanto, maior clareza da ilustração da estimativa do campo P-T baseada nos estudos petrográficos.

Os estudos geotermométricos mostram que estas rochas foram metamorfisadas em temperaturas próximas a 680 °C e até superiores para o que pode indicar que a estaurolita está estável em algumas destas rochas, porém, quando temperaturas um pouco mais elevadas foram atingidas a reação de formação de granada + cianita a partir da quebra da estaurolita pode ter ocorrido, levando ao desaparecimento deste mineral em certas porções da área.

A cianita foi formada em quatro gerações distintas:

A primeira delas é indicada pela S_1 (inclusões de grafita) ondulada e dobrada presente em diversos cristais, que indica cristalização sin- S_n , ou seja, durante o evento metamórfico regional barrowiano pré-cisalhamento, que gerou a xistosidade.

A segunda geração é dada pelos cristais orientados segundo a foliação S_{n+1} (Prancha 5, Foto G). Estes possuem granulação fina e contêm inclusões de grafita, por vezes orientadas, evidenciando cristalização sin- a tardi-milonitização (S_{n+1}).

A terceira geração é pós-cinemática em relação a milonitização e forma porfiroblastos contendo inclusões de grafita que, por vezes, podem definir uma foliação interna (S_i) paralela à S_{n+1} e núcleos da cianita sin- S_n (Prancha 5, Foto H) ou sin- S_{n+1} . Esta geração de cianita, assim como a anterior, indica que o pico bórico deu-se em função do cavalgamento, tendo havido ao seu final, quando alcançada a proximidade do pico térmico, a cristalização predominantemente estática da cianita.

A quarta geração de cianita é indicada pela substituição pseudomórfica da estauroлита por granada e é representada por pequenos cristais pós- S_{n+1} (Prancha 6, Foto A). Esta caracteriza, muito provavelmente, o maior grau metamórfico alcançado, podendo ser do pico térmico, se P não variou significativamente, ou do pico bórico, caso T tenha permanecido aproximadamente estável.

Figura 21: Diagrama KFASH de P-T para rochas metapelíticas, modificado de Spear & Cheney (1989). O diagrama mostra o campo de estabilidade da estauroлита, e seu desaparecimento, com formação de granada + cianita dado pelo incremento de temperatura.

A estabilidade da paragênese estauroлита + cianita em várias das amostras permite inferir que as condições de P e T devem ter se situado nas proximidades da reação estauroлита = cianita + granada, situação esta semelhante ao descrito por Wenk *et al.* (1974) nos Bergell Alpes e Bianchi Potenza *et al.* (1978) no Valle Grosina (Itália). Entretanto, não pode ser descartada a hipótese de que as texturas de estabilidade e instabilidade da estauroлита possam ser devidas predominantemente a flutuações na fO_2 , conforme discussões de Ganguly (1971) e Hoschek (1971).

Nestes xistos, também são observados dobramentos da foliação milonítica, por vezes com rompimentos dos flancos e transposição nos planos axiais, com cristalização de biotita e muscovita. Desta forma, este grupo também apresenta uma foliação S_{n+2} , associada a uma fase deformacional posterior a milonitização, podendo ou não ser contínua.

As seqüências de cristalização dos minerais em relação às foliações metamórficas para este grupo de xistos pode ser observada na **FIGURA 22**.

PRANCHA 6

Foto A: Cianita cristalizada em momento pós- S_{n+1} , proveniente da reação de substituição pseudomórfica de estaurolita por granada, polarizadores descruzados.

Foto B: Porfiroblasto de estaurolita no muscovita-biotita xisto com granada, cianita e estaurolita, polarizadores descruzados.

Foto C: Paragneisse com granada do Grupo Dom Silvério, polarizadores descruzados.

Foto D: Fragmento lítico (indicado pela seta) preservado e recristalizado na foliação milonítica no paragneisse do Grupo Dom Silvério, polarizadores cruzados.

Foto E: *Ribbon* de quartzo (indicado pela seta) no paragneisse do Grupo Dom Silvério, polarizadores cruzados.

Foto F: Actinolita presente nas rochas calciossilicáticas do Grupo Dom Silvério, polarizadores descruzados.

Foto G: Cummingtonita geminada presente nas rochas calciossilicáticas do Grupo Dom Silvério, polarizadores cruzados.

Foto H: Anfibolito com granada, polarizadores descruzados.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+I	Pós-Sn+I	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
QUARTZO								
ANDESINA								
MUSCOVITA								
BIOTITA								
GRANADA						?		
CIANITA							?	
ORTOCLÁSIO						?		
TURMALINA			?					
ZIRCÃO			?					
GRAFITA						?		
OPACOS								?

Figura 22: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos muscovita-biotita xistos com granada e cianita do Grupo Dom Silvério.

e) Biotita-muscovita xistos ou muscovita-biotita xistos com granada, cianita e estauroлита em quantidades variadas

Estes xistos possuem características estruturais e texturais muito semelhantes às do grupo anterior, dos quais diferenciam-se por apresentarem sempre estauroлита estável, evidenciando metamorfismo na fácies anfibolito em grau possivelmente um pouco mais baixo que o grupo anterior.

A rocha contém alguns cristais alongados e, por vezes, prismáticos nas amostras de mão, que assemelham-se com sillimanita, entretanto, são na realidade cianita, com hábito muito semelhante ao da sillimanita. Isto pode ser resultado de uma inversão de sillimanita para cianita quando do reaquecimento destas rochas durante o segundo metamorfismo de fácies anfibolito ocorrido na região, em pressões mais elevadas, o que provocaria o desaparecimento da sillimanita.

A estauroлита é porfiroblástica (Prancha 6, Foto B) e os cristais são idioblásticos ou subidioblásticos, indicando cristalização e pico térmico pós-milonitização.

As relações de blastese dos minerais metamórficos com as foliações deste grupo de xistos estão representadas na **FIGURA 23**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+I	Pós-Sn+I	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
QUARTZO								?
ANDESINA								
MUSCOVITA								
BIOTITA								
GRANADA					?			
CIANITA						?		
ESTAUFOLITA					?			
ORTOCLÁSIO								
TURMALINA			?					
ZIRCÃO						?		
GRAFITA								
OPACOS								

Figura 23: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos muscovita-biotita xistos com granada, cianita e estaufolita do Grupo Dom Silvério.

7.2.2 Paragneisses

Biotita paragneisses com granada e muscovita

Estes gnaisses são compostos predominantemente por microclínio, quartzo, andesina, biotita, granada e por vezes cianita (Prancha 6, Foto C). Subordinadamente podem ocorrer clorita retrometamórfica formada a partir da biotita, além de apatita, turmalina, muscovita, zircão e opacos. A foliação milonítica é predominante nestes gnaisses, no entanto, em algumas amostras, é possível reconhecer ainda a foliação anterior (Sn), interpretada como a foliação gnáissica associada ao primeiro metamorfismo regional. Estas relíquias da foliação Sn são caracterizadas por porções lavemente bandadas e foliadas, transpostas pela foliação Sn+I, onde nestas porções podem ocorrer cristais de granada totalmente rotacionados pela foliação milonítica.

Mineralogicamente, estes gnaisses assemelham-se aos xistos mais feldspáticos e apresentam um bandamento sutil, definido pela maior ou menor concentração de minerais máficos e félsicos, e uma intensa recristalização dos feldspatos e do quartzo.

Estes gnaisses gradam para os xistos feldspáticos grossos, dos quais diferencia-se pela tendência de aglutinação dos feldspatos em bandas, pelas texturas que indicam maior equilíbrio metamórficos nas porções mais ricas em quartzo e feldspatos e pelo conteúdo muito subordinado de muscovita.

O plagioclásio tem composição oligoclásio-andesina e mostra-se recristalizado em grão mais finos, geralmente é desprovido de geminação e, nos casos em que a milonitização é intensa, apresenta-se fortemente estirado, indicando que as deformações se deram em temperaturas

superiores a 500 °C. Pode ainda constituir agregados com quartzo, definindo formas interpretadas como relíquias de grânulos sedimentares estirados e recrystalizados pela foliação milonítica (Prancha 6, Foto D). A presença de possíveis fragmentos líticos nestes gnaisses, de muscovita e granada, o conspícuo bandamento e laminação composicional e os relacionamentos com os xistos e demais rochas sedimentares do Grupo Dom Silvério, são indicativos da origem sedimentar destas rochas, proposta por Jordt-Evangelista (1992). Outra evidência para a origem paraderivada destes gnaisses é a presença comum de turmalina e zircão detríticos, como a que ocorre em muitos dos xistos descritos. A presença abundantes de plagioclásio relativamente mais cálcico que os de granitos e a presença das relíquias de texturas de minerais detríticos de origem siálica neste contexto, indicam que a área fonte dos metassedimentos do Grupo Dom Silvério foram terrenos relativamente mais cálcicos, semelhantes aos TTG do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga (embasamento do *Greenstone Belt* Rio das Velhas) ou os tonalitos e granodioritos do Complexo Mantiqueira.

Nestes gnaisses são também observados *ribbons* de quartzo, por vezes dobrados e com a foliação S_{n+2} associada, e recrystalizados em subgrãos por recrystalização dinâmica (Prancha 6, Foto E).

A granada é zonada, tem granulação fina e não apresenta os padrões texturais de aglutinação encontrados na granada dos xistos. Também não apresenta nítidas coronas, e sim apenas algumas auréolas de substituição mineral compostas por biotita e muscovita, e mais raramente plagioclásio. Em algumas amostras, foi possível a identificação de carbonato intersticial, associado principalmente ao plagioclásio, e, mais raramente, em grãos subidioblásticos. A formação de carbonato nestes gnaisses parece estar associada à ação de fluidos hidrotermais durante o cisalhamento, ou mesmo, às composições de seus protólitos, semelhantemente aos observados nos gnaisses calciossilicáticos. As seqüências de cristalização dos minerais deste litotipo estão sintetizadas na FIGURA 24.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+I	Pós-Sn+I	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
QUARTZO								?
ANDESINA								
MICROCLÍNIO						?		
BIOTITA								
GRANADA						?		
CLORITA								?
MUSCOVITA								
TURMALINA			?					
APATITA			?					
OPACOS								

Figura 24: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas dos paragneisses com granada e muscovita do Grupo Dom Silvério.

7.2.3 Rochas Calciossilicáticas

Estes litotipos podem ser maciços ou foliados e apresentam até duas foliações metamórficas, a primeira incipiente, possivelmente relacionada ao metamorfismo regional, e a segunda, mais pronunciada e de caráter milonítico. Mineralogicamente estas rochas são constituídas por quartzo, oligoclásio-andesina, carbonato, epidoto, anfibólios, diopsídio e microclínio. A textura varia de granoblástica a granonematoblástica e, no caso de rochas compostas, em essência, por anfibólio, a textura torna-se nematoblástica.

O quartzo tem granulação fina, é intersticial, possui leve extinção ondulante e, muitas vezes, ocorre incluso em anfibólios, conferindo-lhes textura poiquiloblástica.

O plagioclásio apresenta forte variação composicional entre os diversos tipos de rochas calciossilicáticas, mas, na maioria deles, apresenta teores de anortita em torno de 10 e 25%, com algumas rochas alcançando 32%.

Três tipos de anfibólio estão presentes. O primeiro tipo, mais comum, é uma actinolita (Prancha 6, Foto F) com pleocroísmo verde-claro, que constitui cristais subidioblásticos a idioblásticos em paragênese com plagioclásio, carbonato e epidoto e, mais raramente, diopsídio.

O segundo anfibólio mais comum é a tremolita, que forma cristais idioblásticos a subidioblásticos, geralmente presentes em rochas com pouca quantidade de epidoto e carbonato. Usualmente está em paragênese com tremolita, plagioclásio, quartzo e carbonato, com ou sem epidoto associado. Nestas rochas o epidoto é, mais freqüentemente, produto da substituição tardia da tremolita, e forma cristais intersticiais e idioblásticos, distintos texturalmente daqueles em paragêneses de equilíbrio metamórfico, descritos no conjunto

anterior. As rochas com tremolita podem constituir, por vezes, tremolita xistos ou, mais raramente, tremolititos, ambos com mais de 85% de tremolita. Nos tremolititos podem estar presentes arranjos de cristais de anfibólio tendendo a radiados. As rochas calciossilicáticas que apresentam tremolita, não contém clinopiroxênio, sugerindo cristalização em grau metamórfico relativamente mais baixo, provavelmente durante o retrometamorfismo, ou fortes variações no X_{CO_2} , devidas ao hidrotermalismo associado às zonas de cisalhamento de baixo ângulo.

O terceiro tipo é representado pela cummingtonita, que ocorre somente em alguns poucos afloramentos. A cummingtonita constitui cristais subidioblásticos, por vezes geminados, geralmente associados ao plagioclásio, diopsídio e carbonato (Prancha 6, Foto G).

Como minerais acessórios em todos os tipos das rochas calciossilicáticas estão presentes titanita, zircão, clorita e minerais opacos e são comuns exsoluções de quartzo nos contatos entre plagioclásio e microclínio, gerando mirmequitas.

Em muitos casos, as rochas calciossilicáticas apresentam intensa epidotização relacionada ao metamorfismo retrógrado e, comumente, estão também levemente cloritizadas.

O grau metamórfico destas rochas não pode ser bem definido com base nas paragêneses, mas certamente foram equilibradas metamorficamente nas mesmas condições que os xistos associados, o que indica condições do metamorfismo progressivo na fácies anfibolito e retrometamorfismo na fácies xisto verde.

As relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas podem ser observadas na **FIGURA 25**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn+1	Pós-Sn+1	Sn+2	Pós-Sn+2	Retrometamorfismo
QUARTZO	—	—	—	—	—	—	—	—
ANDESINA	—	—	—	—	—	—	—	—
CARBONATO	—	—	—	—	—	—?	—	—
EPIDOTO	—	—	—	—	—	—?	—	—?
ANFIBÓLIOS	—	—	—	—	—	—?	—	—
DIOPSÍDIO	—	—	—	—	—?	—	—	—
MICROCLÍNIO	—	—	—	—	—?	—	—	—
ZIRCÃO	—	—	—	—	—	—	—	—
OPACOS	—	—	—	—	—	—	—	—
CLORITA	—	—	—	—	—	—	—	—

Figura 25: Síntese das relações de blastese dos minerais com as foliações metamórficas das rochas calciossilicáticas do Grupo Dom Silvério.

7.2.4 Quartzitos

Os quartzitos formam corpos com espessuras variando de poucos decímetros até algumas dezenas de metros, intercalados nos xistos e nos paragnaisses e, mais raramente, nas rochas calciossilicáticas. Estas rochas são, em geral, levemente foliadas, mas raramente observa-se recristalização dos grãos pela foliação milonítica, razão pela qual a sua foliação foi interpretada como relacionada ao metamorfismo regional, ou seja, corresponde à xistosidade ou às foliações pretéritas preservadas nos gnaisses.

Este litotipo é composto, em essência, por quartzo, tendo plagioclásio e ortoclásio comumente subordinados. A muscovita ocorre em todas as amostras, conferindo à rocha textura lepidogranoblástica em alguns casos.

Algumas amostras possuem tremolita e carbonato, em pequenas quantidades, atingindo até 10% em volume na rocha. O enriquecimento em cálcio nestas rochas pode ser atribuído à mistura de sedimentos carbonáticos com *cherts* ou sedimentos arenosos puros. Alternativamente a introdução de carbonatos pode ter ocorrido durante o metamorfismo. A presença de leitos quartzoso nas rochas calciossilicáticas, de gnaisses calciossilicáticos e de quartzitos calciossilicáticos (situados mais a norte e no extremo oeste do Grupo Dom Silvério) favorecem uma predominância de controle sedimentar na formação destas rochas.

Os quartzitos exibem porções intensamente epidotizadas, conferindo à rocha uma coloração macroscópica verde-clara. Este processo pode estar diretamente relacionado ao evento retrometamórfico regional, registrado principalmente nas rochas calciossilicáticas e metabásicas.

7.2.5 Metabasitos

Metabásicas com actinolita/hornblenda e anfíbolitos

As rochas metabásicas pertencentes ao Grupo Dom Silvério são em parte originadas de derrames e tufo básicos associados à atividade vulcânica que acompanhou em alguns períodos a deposição dos sedimentos deste grupo. Posteriormente, ocorreu ainda a intrusão de diques básicos que compreendem outra origem para as metabásicas que afloram na região.

Os metabasitos ocorrem intercalados em todas unidades litótípicas e, geralmente, apresentam estrutura foliada e textura variando de granonematoblástica a nematoblástica. A foliação é milonítica e provoca a orientação de anfíbólios e biotita acompanhada, por vezes, por estiramento ou discreta cataclase do plagioclásio. São compostas por andesina e actinolita-hornblenda predominantes, com clinozoisita e epidoto subordinados. Como minerais acessórios

observam-se titanita associada aos anfibólios, biotita, zircão, rutilo, quartzo e, eventualmente, granada. Restos instáveis de clinopiroxênio provavelmente ígneos foram raramente observados no núcleo de cristais de anfibólio.

A preseça da biotita geralmente está relacionada a zonas de maior percolação de fluidos ao longo de zonas de cisalhamento, o que sugere introdução metassomática do potássio derivado da decomposição de feldspatos e micas das rochas gnáissicas e xistos cisalhadas.

Dois tipos texturais de epidoto podem ser distinguidos, um do metamorfismo progressivo e outro do retrometamorfismo. O primeiro diferencia-se por ser subidioblástico e ocorrer disperso na matriz, enquanto o retrometamórfico é intersticial, distribui-se nas bordas de cristais de hornblenda em contato com plagioclásio e possui hábito xenoblástico. Algumas destas rochas mostram-se fortemente epidotizadas, devido à percolação de fluidos na zona de cisalhamento, visto que nestes casos, as rochas encontram-se muito deformadas.

A presença de actinolita/hornblenda, identificada apenas opticamente, sugere que o metamorfismo progressivo deu-se na transição entre a fácies xisto verde e anfibolito. Entretanto, o teor de anortita do plagioclásio e as relações de contato com os xistos, gnaisses e rochas calciossilicáticas, todos metamorfisados na fácies anfibolito, são indicativos de estas rochas foram também metamorfisadas na mesma fácies, o que sugere que o pleocroísmo mais claro do anfibólio pode estar indicando composições de hornblenda magnesianas, e não de actinolita transicional para hornblenda. O retrometamorfismo é típico da fácies xisto verde, evidenciado pelas substituições de biotita por clorita e dos anfibólios por epidoto. A ausência de diopsídio-salita nas rochas de mais alto grau pode ser explicada pela composição relativamente menos cálcica e mais aluminica e ferro-magnésifera, que favorece a cristalização da granada em detrimento ao clinopiroxênio.

Os anfibolitos são formados por hornblenda fortemente pleocróica (60 a 70%), andesina-labradorita, biotita e, algumas vezes, granada (Prancha 6, Foto H). Clorita e epidoto substituem biotita e hornblenda, respectivamente, indicando retrometamorfismo na fácies xisto verde. Estas rochas apresentam-se quase ou totalmente preservadas da foliação milonítica, com arranjo granoblástico dos cristais de plagioclásio e anfibólio.

O conjunto dos metabasitos podem ter sido então, tal qual os xistos, metamorfisado em diferentes graus, pois os anfibolitos não possuem epidoto em paragênese com o anfibólio e o plagioclásio, o que sugere que o metamorfismo ocorreu na fácies anfibolito médio a superior, ao passo que as rochas com actinolita (ou hornblenda magnesiana)-hornblenda, por terem clinozoisita em equilíbrio, devem ser de um grau um pouco mais baixo, mas ainda da fácies

anfibolito. As relações de cristalização dos minerais metamórficos destas rochas com as foliações podem ser observadas na síntese da **FIGURA 26**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn	Pós-Sn	Sn + I	Pós-Sn + I	Retrometamorfismo
ANDESINA		—	—	—		
HORNBLENDA		—	—	—		
EPIDOTO		—	—	—	—	?
CLINOZOISITA	—	—	—	—	?	
TITANITA		—	—	—		
BIOTITA		—	—	—	—	?
QUARTZO		—	—	—	—	
GRANADA		—	—	—	?	
ZIRCÃO	—	—	?			
OPACOS	—	—	—	—	—	
CLORITA						—

Figura 26: Síntese das relações de blastese e foliações presentes nos metabasitos e anfibolitos do Grupo Dom Silvério.

7.3 Metabásicas de baixo grau

Nos metabasitos intrusivos nos milonitos observam-se relíquias de textura subofítica e de augita e pigeonita ígneos (Prancha 7, Foto A), com substituições pouco intensas, ora de actinolita ora de hornblenda nas bordas e nas clivagens. Subordinadamente podem ocorrer ainda epidoto, titanita e quartzo.

O plagioclásio apresenta hábito comumente ripiforme (Prancha 7, Foto B) tipicamente ígneos, e composição de andesina-labradorita, com raras variações para plagioclásio sódico oligoclásio-albita em porções recrystalizadas que mostram a preservação das texturas ígneas.

Estes diques sofreram metamorfismo de baixo grau, atingindo a fácies xisto verde, com baixa razão fluido/rocha e baixa taxa de deformação, indicadas pela pequena taxa substituição dos minerais e pela preservação das texturas subofítica, características deste conjunto e bastante distinto das metabásicas e anfibolitos do grupo anterior. Suas relações de campo os caracterizam como diques que cortam o Grupo Dom Silvério e seu embasamento, indicando idade mais nova para este conjunto, posterior ao evento tectono-metamórfico e de cisalhamento que afetou a área.

PRANCHA 7

Foto A: Pigeonita ígnea preservada nos metabasitos de baixo grau, polarizadores descruzados.

Foto B: Plagioclásio em cristais ripiformes mostrando preservação da textura ígnea nos metabasitos de baixo grau, polarizadores cruzados.

Foto C: Metagranito porfirítico com microclínio, andesina, biotita e quartzo, polarizadores cruzados.

Foto D: Mirmequitas (indicadas pela seta) formadas em metagranito porfirítico, polarizadores cruzados.

Em algumas amostras é possível a observação de uma foliação incipiente S_n , que é mais evidente em amostras de mão, e mais raramente esta foliação é reconhecida ao microscópio, o que dificulta a caracterização precisa desta foliação. Também estão presentes pequenas fraturas, por vezes preenchidas por quartzo e epidoto, e mais raramente clorita.

As relações de blastese dos minerais deste grupo estão mostrados na **FIGURA 27**.

MINERAL	Pré-Sn	Sn
OLIGOCLÁSIO		—
ACTINOLITA		—
PIGEONITA	—	
EPIDOTO		— ?
TITANITA	—	—
QUARTZO	—	— ?
ZIRCÃO	—	— ?
OPACOS	—	— ?

Figura 27: Síntese das relações de blastese e foliações presentes nas rochas metabásicas de baixo grau metamórfico que ocorrem na região de estudo.

7.4 Metagranito porfirítico

O metagranito porfirítico é constituído por microclínio, quartzo, andesina e biotita (Prancha 7, Foto C). Subordinadamente podem ocorrer clorita, zircão, allanita e minerais opacos.

A biotita tem pleocroísmo castanho-avermelhado e, quando orientada, confere à rocha textura lepidogranoblástica. Esta biotita encontra-se substituída por biotita de pleocroísmo verde a castanho-claro e a clorita substitui biotita, tanto a de cor verde quanto a mais avermelhada, indicando que as recristalizações retrometamórficas ocorreram na fácies xisto verde.

O plagioclásio mostra-se totalmente recristalizado e raramente apresenta-se geminado.

Os porfiroclastos são na maior parte das vezes de microclínio, onde é possível observar-se rotação dos grãos, desenvolvendo sombras de pressão pouco assimétricas, indicando elevadas taxas de deformação. Não há mais nestas rochas evidência de ortoclásio ou de pertita, indicando forte recristalização para microclina e plagioclásio, devido à deformação e metamorfismo provocado pela milonitização. Nos contatos entre microclínio e plagioclásio ocorrem exsoluções de quartzo, mirmequitas (Prancha 7, Foto D), que podem ser observadas em quase todas as amostras descritas deste litotipo.

8 GEOTERMOBAROMETRIA

8.1 Geotermobarometria: conceituação termodinâmica e aplicação

A geotermometria e a geobarometria consistem em cálculos de pressões e temperaturas metamórficas de equilíbrios termodinâmicos entre minerais, utilizando-se da dependência de temperatura e pressão das constantes de equilíbrio de reações entre minerais formadores de rocha. As reações utilizadas como geotermômetros são usualmente reações de trocas químicas entre minerais ferro-magnesianos (*exchange reactions*) aquelas que mostram considerável sensibilidade com relação à temperatura e pouca sensibilidade com relação à pressão. Já as reações utilizadas como geobarômetros apresentam sensibilidade relativamente alta às variações de pressão e baixa sensibilidade às variações de temperaturas e são definidas pelo equilíbrio entre vários minerais (*net transfer reactions*).

Os estudos de equilíbrios minerais oferecem excelentes condições para avaliações quantitativas do metamorfismo, mas o modelo termodinâmico é, muitas vezes, uma idealização do sistema químico das rochas, impondo assim, algumas dificuldades no uso e extrapolação dos resultados (Dyda, 1996).

Além disto, a quase totalidade de reações químicas utilizadas na petrologia metamórfica pressupõe um sistema químico em estado de equilíbrio, o que raramente ocorre na natureza, pois se assim o fosse, não ocorreriam as reações químicas tão freqüentemente identificadas nas rochas.

Tradicionalmente, a geotermobarometria tem sido utilizada para descrever reações sólido-sólido, de forma que os resultados sejam independentes das pressões parciais dos fluidos envolvidos.

O método básico para a geotermobarometria é de certa forma pouco complexo, desde que os valores da variação entropia (ΔS), da entalpia (ΔH), da capacidade calorífica (ΔC_p) e do volume molar (ΔV) dos minerais sejam conhecidos e que haja calibrações experimentais. O valor da constante de equilíbrio é medido para uma amostra pela determinação das composições das fases minerais coexistentes utilizando métodos analíticos instrumentais, como por exemplo, a microsonda eletrônica. Com estes dados, uma linha de equilíbrio constante pode ser definida em um diagrama P-T e é inferido que a amostra deve ter sofrido equilíbrio em algum ponto desta linha. Se dois equilíbrios diferentes podem ser avaliados, então duas linhas poderão ser obtidas e a intersecção destas duas linhas pode definir mais precisamente a temperatura e pressão de reequilíbrio para amostra.

Muitos geotermômetros são baseados em reações de troca conhecidas. Uma reação de troca é uma reação heterogênea que pode ser reduzida de forma que pode ser escrita em termos apenas dos componentes que sofrem troca. Por exemplo, um dos geotermômetros mais utilizado, é baseado na contínua reação de troca catiônica de Fe e Mg entre o par biotita-granada:

Subtraindo-se os componentes iguais, esta reação pode ser escrita em termos apenas dos componentes de troca FeMg_{I} :

sendo esta uma reação de troca.

A reação supracitada apresenta alta variação de entalpia, isto implica que sua constante de equilíbrio é fortemente controlada pela variação da temperatura, caracterizando-se como um bom geotermômetro, uma vez que os erros nas calibrações são pequenos, pois a reação é pouco influenciada pela variação da pressão, ocasionada pela pequena variação na entropia.

Muitos geobarômetros são baseados em reações de transferência de rede; ou seja, reações que causam a produção e consumo de diversas fases. Isto é devido ao fato que reações de transferência de rede geralmente resultam em significativas variações de volume, pois o ΔV da reação é alto e a constante de equilíbrio torna-se sensível à pressão.

Uma das reações de transferência de rede mais estudada em sistemas geológicos é o equilíbrio:

que descreve a estabilidade da anortita em pressões elevadas. Esta reação recebeu o nome de GASP (*garnet-aluminosilicate-silica-plagioclase*).

A aplicação do geobarômetro GASP é de certa forma simples: A composição da granada e plagioclásio coexistentes são medidas e estas composições utilizadas para inferir a atividade de cada uma das fases. A solução iônica simples prevê a relação da atividade com a composição:

$$a^{\text{Grt}}_{\text{grs}} = (X^{\text{Grt}}_{\text{grs}})^3 \quad \text{e} \quad a^{\text{Pl}}_{\text{an}} = X^{\text{Pl}}_{\text{an}}$$

No entanto, tanto a granada como o plagioclásio, são soluções não-ideais e, desta forma, certas correções quanto as atividades são necessárias, para que seja possível uma estimativa mais segura da pressão. Inúmeros modelos de atividade para cada fase foram apresentados na literatura, e tipicamente estes modelos são utilizados nos cálculos geotermobarométricos como diferentes calibrações, que refinam geobarômetro. Algumas destas calibrações são mais eficientes que outras, mas em cada caso é necessário que o modelo de solução usado seja aquele originalmente proposto para a calibração. Grandes variações nas estimativas de pressão podem ser resultado do uso de diferentes modelos de atividade, de maneira que pressões equivocadas serão calculadas se um modelo de atividade incorreto for aplicado.

Um grande número de calibrações de geotermômetros e geobarômetros tem sido apresentados na literatura. Para uma dada assembléia mineral, possivelmente existem diversos equilíbrios que podem ser utilizados para geotermometria e geobarometria e cada um destes equilíbrios pode possuir diversas calibrações.

A calibração utilizada por Ferry & Spear (1978) para o geotermômetro granada-biotita leva em consideração apenas a mistura de Fe e Mg entre a granada e a biotita e assume que todos os outros componentes são misturas ideais. As calibrações de Hodges & Spear (1982), Ganguly & Saxena (1984) e Perchuk & Lavrent'eva (1981) incluem correções para o componente grossulária na granada, que é sabido que não é uma solução ideal com o componente piropo. Como consequência, estas calibrações produzem temperaturas que são mais elevadas que as dadas pela calibração de Ferry & Spear (1978).

As calibrações empíricas são baseadas na análise de reações em paragêneses naturais, como foi demonstrada por Thompson (1976).

Existem calibrações baseadas em procedimentos experimentais, como mostrado por Ferry & Spear (1978) e Perchuk & Lavrent'eva (1981), que utilizaram materiais naturais em seus experimentos.

Os cálculos geotermobarométricos evoluíram para modelos mais complexos no que se refere às calibrações, quando foram desenvolvidas calibrações baseadas em modelos de atividade química das moléculas de grossulária e espessartita na granada, como apresentado por diversos autores (e.g. Hodges & Spear (1982), Ganguly & Saxena (1984), Perchuk *et al.* (1985). No entanto, estas calibrações possuem limitações em sua aplicabilidade, como, por exemplo, a

de Hodges & Spear (1982), que é aplicada à associações onde o teor de espessartita na granada tem que ser menor que 20% e quando a biotita não apresenta teor de titânio significativo em sua composição.

O trabalho de Indares & Martignole (1985) oferece duas calibrações para este geotermômetro, porém também são apresentadas limitações de aplicação, com base nas substituições de Ti e Al^{VI}. Estas calibrações são baseadas em inferências empíricas sobre temperaturas e pressões de rochas granulíticas e não baseadas em resultados experimentais, desta forma os resultados obtidos com utilizando-se estas calibrações tendem a ter maior precisão em rochas de alto grau, e deve ser usado com muita cautela para rochas de fácies anfibolito.

A análise das constantes de equilíbrio para o geobarômetro GASP revela que as calibrações de Hodges & Spear (1982), de Newton & Haselton (1981) e de Hogdes & Crowley (1985) resultam em pressões muito próximas à pressão do ponto triplo de Al₂SiO₅ de Holdaway (1971) (3680-4140 bars). A calibração de Koziol (1989) resulta em pressão que é aproximadamente 1 kbar maior que nas outras calibrações, apesar de que para granada com alto conteúdo de grossulária, os resultados tendem a ser semelhantes aos das calibrações propostas por Hodges & Spear (1982), Newton & Haselton (1981) e Hogdes & Crowley (1985). A calibração proposta por Ganguly & Saxena (1984) fornece pressões aproximadamente 1 kbar abaixo das pressões fornecidas para as outras calibrações.

8.2 Calibrações utilizadas para Geotermobarometria Clássica

Neste trabalho as calibrações utilizadas para as rochas metapelíticas estão colocadas na

TABELA I.

Tabela I: Associações e calibrações utilizadas para os cálculos geotermobarométricos.

GEOTERMÔMETROS	
Associações	Calibrações
Granada-Biotita	Thompson (1976)
Granada-Biotita	Ferry & Spear (1978)
Granada-Biotita	Hodges & Spear (1982)
Granada-Biotita	Ganguly & Saxena (1984)
Granada-Biotita	Indares & Martignole (1985)
Granada-Biotita	Perchuk et al. (1985)

GEOBARÔMETROS	
Associações	Calibrações
Granada – Plagioclásio - Mica	Hogdes & Crowley (1985)
Granada – Plagioclásio - Mica	Ghent & Stout (1981)

8.3 Termobarômetros Internamente Consistentes

Embora a aplicação dos geotermômetros e geobarômetros clássicos seja simples, alguns autores (Berman, 1988, 1990; Powell & Holland, 1985, 1988; Holland & Powell, 1990), iniciaram a utilização de um conjunto de geotermômetros e geobarômetros internamente consistentes, como uma maneira de obter estimativas mais consistentes de temperatura e pressão. Um conjunto de calibrações internamente consistentes utiliza os mesmo dados termodinâmicos e modelos de atividade para todas as fases ou é calibrada para o mesmo conjunto de dados empíricos. A consistência interna entre as calibrações fornece uma importante garantia no grau de equilíbrio em que a amostra calculada se encontra e ainda tende a eliminar, ou pelo menos identificar calibrações com erros sistemáticos, pois tendem a fixar-se composicionalmente.

9. CÁLCULOS GEOTERMOBAROMÉTRICOS

Para caracterização química e para os cálculos geotermobarométricos foram analisados em microsonda eletrônica cristais de plagioclásio, biotita, clorita, muscovita, anfíbios, carbonatos e epidoto verificando-se sempre que possível, através do alinhamento dos pontos em perfis diagonais, as variações composicionais dos núcleos das bordas dos minerais. Para a granada foram feitos perfis composicionais mais detalhados, a fim de melhor caracterizar os zonamentos reconhecidos na análise petrográfica. As análises químicas utilizadas para os cálculos geotermobarométricos estão apresentadas nas tabelas do **ANEXO II**.

9.1 Amostra TDS-05b

Esta amostra foi selecionada por conter o par granada-biotita em paragênese, associado a plagioclásio e muscovita. A matriz é composta, em essência, por muscovita, biotita, plagioclásio e quartzo na matriz e a granada forma porfiroblastos de até 0,9 mm de diâmetro. A foliação predominante é a milonítica, que oblitera quase que completamente a xistosidade prévia. Desta forma, o único domínio microestrutural analisado corresponde à foliação S_{n+1} .

Dentre os cristais de muscovita foram analisados os da matriz, aqueles em contato com a

granada e alguns inclusos na granada.

O conteúdo de celadonita e Fe em cristais individuais de muscovita varia pouco em relação aos teores de Si, porém ambos mostram um aumento em direção à borda (**FIGURA 28**), o que pode indicar uma redução de temperatura, que pode ser interpretada como decorrente do retrometamorfismo, muito embora os cristais encontrem-se quase sempre em texturas indicativas de equilíbrio com os minerais de mais alta temperatura do metamorfismo relacionado ao cisalhamento regional. Variações menores são também observadas entre cristais diversos, sugerindo que alguns foram mais reequilibrados no retrometamorfismo que outros, o que resulta numa aglomeração dos dados na **FIGURA 28**, com sobreposição dos dados de núcleo de alguns grãos, com as bordas de outros.

Figura 28: Diagramas representando os conteúdos de celadonita (Mg) e Fe^{2+} na muscovita nas bordas (amarelo) e núcleos (azul) dos cristais, exemplificadas as variações entre núcleo e borda de cristais individuais.

A biotita apresenta cor castanha quando orientada segundo a foliação S_{n+1} , e marrom-avermelhada quando estão em arranjos texturais pós-cinmáticos, indicando um teor mais elevado de Ti. Como apresentado na **FIGURA 29**, pode ser observado que o teor de Ti em relação ao Al^{VI} aumenta para as bordas de ambos os tipos de biotita, sugerindo um aumento de temperatura durante sua cristalização. Contrariamente o verificado com a muscovita, os cristais analisados não indicam reequilíbrio significativo ao retrometamorfismo.

O plagioclásio apresenta aumento do conteúdo da molécula anortita do núcleo para a borda (**FIGURA 30**). Uma vez que não há nesta amostra outros minerais cálcicos, o aumento do teor de anortita, neste caso, indica uma redução da temperatura e na pressão durante a fase final de cristalização do plagioclásio Spear et al. (1990).

A granada é óptica- e quimicamente relativamente homogêna, correspondendo à Grt_I, mas há nas proximidades da borda aumento do conteúdo da molécula piropo e diminuição da molécula almandina (Prancha 8, Figura A) e a borda tem a mesma composição do núcleos dos cristais. Isto indica um leve incremento de temperatura do núcleo para as proximidades da borda e um pequeno reequilíbrio retrometamórfico na borda.

Figura 29: Diagrama mostrando a variação dos teores de Ti e Al^{VI} na biotita, estando o núcleo dos cristais representados em azul-escuro e as bordas em azul-claro.

Figura 30: Diagrama composicional do plagioclásio indicando a variação no conteúdo de Ca em relação ao Na do núcleo (círculo verde cheio) para as bordas (quadrado azul vazio).

PRANCHA 8

Figura A: Perfil composicional em granada da amostra TDS_05b, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14d, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

Figura C: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14e, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

Figura D: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

PRANCHA 8

A **B** **C** **D**

Os cálculos geotermobarométricos foram feitos utilizando-se a biotita, a muscovita o plagioclásio e a granada, obtendo-se os resultados apresentados na **FIGURA 31 A e B**. O melhor equilíbrio das reações calculadas com as bordas dos minerais em relação às dos núcleos é bem evidenciada nas figuras supracitadas, pela menor área de intersecção.

Figura 30A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_05b para o núcleo dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

A temperatura e a pressão definidas pelo par Grt-Bt e com o GASP nos cálculos efetuados para obtenção da **FIGURA 31A** para os núcleos dos minerais situa-se ao redor de 773,5 °C e 10650 bar. Observa-se que em direção à borda dos minerais ocorre uma diminuição muito pequena da pressão (10610 bar) e uma redução da temperatura até 764 °C (**FIGURA 31B**), denotando um possível início de um resfriamento isobárico para este litotipo.

Utilizando-se os geotermômetros e geobarômetros clássicos não foi obtida a mesma tendência de aumento de temperatura do núcleo para a borda dos minerais (**FIGURAS 32A e 32B**), no entanto, as pressões encontradas através deste método apresentaram-se menores em ambos os casos e com pouca variação do núcleo para a borda, como indicado pelo método anterior.

Figura 30B: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_05b para a borda dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 32: Diagramas P-T segundo as calibrações utilizadas para a amostra TDS_05b. A. Núcleo dos minerais e B. Bordas dos minerais.

9.2 Amostra TDS-14d

Esta amostra constitui em um xisto grosso e feldspático, com muscovita, biotita, plagioclásio e quartzo na matriz, e porfiroblastos de granada de até 0,7 mm de diâmetro. A foliação é milonítica e corresponde ao evento S_{n+1} .

Como observado na amostra TDS-05b, o conteúdo de celadonita e de Fe^{2+} na muscovita desta amostra aumenta, com pouca excessões, do núcleo para a borda, indicando possivelmente uma diminuição da temperatura, o que pode representar novamente um reequilíbrio retrometamórfico (**FIGURA 33**). Também ocorrem variações químicas em cristais individuais, como observado na amostra anterior, o que resulta na sobreposição de valores de bordas com valores de núcleo de diferentes amostras.

Figura 33: Diagramas representando os conteúdos de celadonita (Mg) e Fe^{2+} na muscovita da amostra TDS-14d, sendo as composições das bordas representadas por quadrados semi-preenchidos amarelos e dos núcleos por quadrados semi-preenchidos azuis, exemplificadas as variações entre núcleo e borda de cristais individuais.

A biotita mostra de maneira geral, pouca variação em seu teor de Ti, porém, como pode ser observado na **FIGURA 34**, ocorre um aumento de Ti para as bordas do mineral em relação ao núcleo, indicando aumento de temperatura.

Figura 34: Diagrama mostrando a variação do teor de Ti e Al^{VI} na biotita do núcleo dos cristais (azul escuro) em relação às bordas (azul claro) da amostra TDS-14d.

O plagioclásio apresenta pouca variação química, com núcleos relativamente mais sódicos, evidenciando, como no caso da biotita, uma pequena redução da temperatura no final da sua cristalização, ou reequilíbrios retrometamórficos nas bordas já cristalizadas.

O perfil composicional da granada pode ser visto na Prancha 8, Figura B. Nesta figura pode ser observado um nítido zonamento óptico, com um núcleo (Grt_1) com formas indicativas de corrosão, mantendo por duas camadas de granada (Grt_2 e Grt_3), sendo a mais externa, rica em inclusões. As porções mais tardias da granada não propiciaram boas análises em microsonda eletrônica, razão pela qual os cálculos geotermobarométricos foram feitos apenas com a Grt_1. Esta mostra um aumento no conteúdo da molécula pirope nas suas porções intermediárias, ou seja, entre o núcleo e a borda, mas mais nas proximidades da borda, indicando aumento na temperatura. Suas partes mais externas, entretanto, mostram composições semelhantes às do núcleo do cristal, caracterizando um reequilíbrio retrometamórfico, provavelmente associado aos últimos eventos de formação da granada, sem que sejam observadas reduções nos teores de grossulária, ou seja, sem que tenha havido redução significativa na pressão. Este fato pode ser explicado pela relativa imobilidade do cálcio, comparativamente ao ferro e ao magnésio (Spear, 1993), quando da redução da temperatura do metamorfismo. As temperaturas obtidas para esta amostra (**FIGURA35A, B,C**) variam de 603 a 738 °C, do núcleo para as partes intermediárias, com pressões variando de 8300 a 10800 bar. Nas bordas ocorre um reequilíbrio em temperaturas e pressões menores (665 °C e 9850 bar).

Figura 35A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_I4d com as análises dos núcleos dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 35B: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_I4d com as análises das bordas dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 35C: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14d com as análises das bordas dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Os resultados obtidos a partir dos cálculos geotermobarométricos clássicos estão apresentados na **FIGURAS 36A, 36B e 36C**.

Segundo os diversos geotermômetros e geobarômetros utilizados, a mesma trajetória metamórfica pode ser observada em comparação às temperaturas e pressões obtidas pelo TWQ, porém as temperaturas e pressões neste caso são relativamente mais baixas.

9.3 Amostra TDS-14e

Nesta amostra além dos minerais analisados nas amostras descritas anteriormente, foram também analisados grãos de clorita, que substituem a biotita da matriz e a granada, tanto em fraturas e como nas suas bordas, caracterizando o evento retrometamórfico.

Como nas amostras anteriores o conteúdo de celadonita e Fe^{2+} na muscovita aumenta em direção à borda, podendo evidenciar um descréscimo na temperatura em relação ao núcleo do mineral (**FIGURA 37**).

A biotita apresenta um descréscimo no teor de titânio do núcleo para a borda, o que pode indicar diminuição de temperatura, como no caso da muscovita, devido ao retrometamorfismo, que nesta amostra é mais evidente, como indicado pela substituição da biotita e da granada pela clorita.

O plagioclásio não apresenta variações muito expressivas em sua composição, porém nota-se um empobrecimento na molécula anortita para as bordas do mineral, indicando aumento da temperatura e da pressão, que pode ser associada ao metamorfismo progressivo (FIGURA 38).

Foram feitos perfis composicionais em três cristais de granada com zonamentos ópticos e formas semelhantes, como pode ser verificado na Prancha 8, Figuras C e D e Prancha 9, Figura A.

Nestes casos os dois tipos de granada (Grt_1 e Grt_2) são bastante evidentes. Pode-se observar que os cristais sofreram uma cristalização inicial com aumento gradativo da temperatura, homogeneizando-se quimicamente. Em um segundo estágio, provavelmente relacionado a um segundo evento metamórfico, estes grãos sofreram um reaquecimento seguido por descompressão, evidenciada pela variação do conteúdo da molécula grossulária em relação à molécula piropo, e por fim este foram reequilibradas para condições de mais baixa pressão e temperatura, decorrente do retrometamorfismo.

Figura 36: Diagramas P-T segundo as calibrações utilizadas para a amostra TDS_14d. A. Núcleo dos minerais e B e C. Bordas dos minerais.

PRANCHA 9

Figura A: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14e, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14j, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

Figura C: Perfil composicional em granada da amostra TDS_14j, e foto da granada analisada, onde estão indicados as Grt_1 e Grt_2.

PRANCHA 9

A

B

C

Figura 37: Diagramas representando os conteúdos de celadonita (Mg) e Fe^{2+} na muscovita nas bordas (amarelo) e núcleos (azul) dos cristais.

Figura 38: Diagrama composicional do plagioclásio indicando a variação no conteúdo de Ca em relação a Na do núcleo (círculo cheio) para as bordas (quadrado).

As temperaturas encontradas para os núcleos dos minerais, correspondendo às fases de cristalização associadas à Grt_1 variam de 473 a 565 °C, e as pressões de 5960 a 8400 bar. As bordas dos minerais da mesma fase registraram temperaturas mais elevadas, 680 °C e 9760 bar (**FIGURA 39A e 39B**), o que permite interpretar que neste caso, diferentemente do observado nas duas amostras anteriores, preservou-se ainda relíquias do primeiro evento metamórfico progressivo. A **FIGURA 39C** mostra temperatura dos minerais associados à Grt_2 por volta de 574 °C e pressão em torno de 8150 bar, decorrente do segundo evento metamórfico e do seu retrometamorfismo.

Os valores obtidos pelo pares e associações de minerais são mostrados nas **FIGURA 40A e 40B**.

A trajetória obtida por este método assemelha-se à definida pelo TWQ, mas, no entanto, não foi possível a identificação do evento retrometamórfico, por estes cálculos, pois as associações encontravam-se muito desequilibradas nas bordas dos minerais.

Figura 39A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14e com as análises dos núcleos dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 39B: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14e com as análises das bordas dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 39C: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14e com as análises das borda dos minerais, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 40: Diagramas P-T segundo as calibrações utilizadas para a amostra TDS_14e. A. Núcleo dos minerais e B. Bordas dos minerais.

9.4 Amostra TDS-14j

Nesta amostra verificou-se o mesmo comportamento discutido nas descrições anteriores nas variações composicionais da muscovita. Quanto à biotita, verifica-se um empobrecimento no teor de Ti do centro para as bordas dos cristais, evidenciando, como no caso da muscovita, uma queda de temperatura.

O plagioclásio apresenta pouca variação, no entanto nota-se que este é mais cálcico no centro e mais sódico nas bordas, indicando também uma redução de temperatura do núcleo para a borda do mineral (**FIGURA 41**).

Os perfis composicionais (Prancha 9, Figuras B e C) feitos em dois cristais de granada mostraram-se semelhantes. Em ambos os núcleos correspondem à Grt_1 e as bordas à Grt_2. É possível notar-se que a primeira cristalização de granada ocorreu em temperaturas moderadas e que seguiu-se um sobrecrecimento de outra granada, em regime de maior temperatura, ao qual seguiu-se um evento descompressivo, evidenciado pela redução no conteúdo da molécula grossulária. Após este aquecimento, esta rocha sofreu um reequilíbrio retrometamórfico.

Figura 41: Diagrama composicional do plagioclásio indicando a variação no conteúdo de Ca em relação à Na do núcleo (círculo cheio) para as bordas (quadrado).

Os cálculos mostraram temperaturas de formação do núcleo dos minerais em associação com a Grt_1 em torno de 580 °C a pressões de até 7000 bar. Nas bordas dos minerais da mesma fase está registrado um aquecimento e um aumento de pressão, alcançando aproximadamente 760 °C e 10000 bar (**FIGURAS 42A e B**). Os dados dos minerais associados à Grt_2 mostraram um fortíssimo desequilíbrio químico, o que impossibilitou a estimativa das condições P-T de sua formação e, consequentemente, da sua trajetória retrometamórfica final.

As estimativas das condições de P-T feitas através dos pares e associações de minerais são apresentadas nas **FIGURA 43A e 43B**.

A **FIGURA 43A** corresponde aos cálculos feitos para os núcleos dos minerais, e mostra valores aproximadamente semelhantes aos obtidos através do TWQ. Nas bordas (**FIGURA 43B**), observa-se aumento de temperatura e uma queda de pressão, que não foi verificado pelo outro método, isto pode ser causado pela pouca precisão dos geobarômetros utilizados, pois estes não envolvem cianita para a garantia de saturação em alumina.

Figura 42A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14j com as análises dos núcleos dos minerais associados à Grt_I, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 42B: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_14j com as análises das bordas dos minerais associados à Grt_I, onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 43: Diagramas P-T segundo as calibrações utilizadas para a amostra TDS_14j. A. Núcleo dos minerais e B. Bordas dos minerais.

9.5 Amostra TDS-15

Este litotipo trata-se de um metabasito epidotizado, composto, em essência, por hornblenda, plagioclásio, epidoto, carbonato e quartzo. Ocorre ainda substituição pouco intensa das bordas da hornblenda por clorita em função do retrometamorfismo, assim como a epidotização.

Os cálculos geotermobarométricos foram feitos apenas pelo método de bancos de dados internamente consistentes e os resultados obtidos estão apresentados na **FIGURA 44A e 44B**.

As temperaturas e pressões encontradas para esta amostra são relativamente baixas quando comparadas àquelas obtidas para as outras amostras, isto é devido ao fato desta amostra encontrar-se muito afetada pelo cisalhamento de baixo ângulo, cujo hidrotermalismo associado provocou intensa epidotização. Desta forma, as pressões obtidas entre 3500 a 2500 bar e temperaturas de 650 para 350 °C pode representar o último reequilíbrio sofrido pelas rochas da região, durante o cisalhamento final. Entretanto, deve-se levar em consideração que as constantes termodinâmicas dos minerais do grupo do epidoto não se encontram ainda bem estimadas, o que faz com que estas estimativas devam ser consideradas com ressalvas (Berman, 1991).

Figura 44A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_15 com as análises dos núcleos dos minerais.

Figura 44A: Diagramas P-T obtido para a amostra TDS_15 com as análises das bordas dos minerais.

9.6 Amostra TDS-46a

Esta rocha é um paragneisse que se associa aos xistos feldpáticos do Grupo Dom Silvério. Sua mineralogia é muito semelhante à dos xistos feldpáticos com granada já analisados. A rocha é composta predominantemente de quartzo, oligoclásio, biotita, granada, microclínio, cianita e muscovita, onde foi possível reconhecer petrograficamente a reação de quebra da muscovita resultando na formação de feldpato potássico.

O conteúdo de celadonita na muscovita varia muito pouco dos núcleos para as bordas dos cristais, no entanto o conteúdo de Fe^{2+} aumenta dos núcleos para as bordas dos cristais (**FIGURA 45**), o que pode ser indicativo de redução de temperatura no retrometamorfismo e o hidrotermalismo associado à S_{n+1} .

Figura 45: Diagramas representando os conteúdos de celadonita (Mg) e Fe^{2+} na muscovita nas bordas (amarelo) e núcleos (azul) dos cristais.

Este paragneisse mostra-se intensamente afetado pela milonitização, e quase toda a biotita encontra-se cristalizada segundo esta foliação. No entanto alguns cristais de biotita são sin-a pós deformacionais e possuem pleocroísmo levemente mais avermelhado do que a biotita contida na foliação milonítica, que possui pleocroísmo castanho a castanho-avermelhado. A cor mais vermelha é indicativa de um maior conteúdo de Ti, o que pode ser observado na **FIGURA 46**. Na mesma figura pode ser notado que há conteúdos mais elevados de Ti nas partes mais externas dos cristais de biotita, preferencialmente naqueles sin-a pós-cinemáticos.

Figura 46: Diagrama mostrando a variação do teor de Ti e Al^{VI} na biotita do núcleo dos cristais (azul escuro) em relação às bordas (azul claro).

O plagioclásio tem composição de oligoclásio e mostra pouca ou nenhuma variação do núcleo para a borda dos cristais (**FIGURA 47 e 48**), o que pode indicar que a rocha encontra-se equilibrada nas temperaturas e pressões finais do metamorfismo.

Figura 47: Diagrama de classificação do plagioclásio para o núcleo (círculo cheio) para as bordas (quadrado) na amostra TDS_46a.

Figura 48: Diagrama composicional do plagioclásio indicando a variação no conteúdo de Ca em relação à Na do núcleo (círculo cheio) para as bordas (quadrado).

A granada também mostra-se quimicamente homogênea, como pode ser verificado na Prancha 10, Figuras A, B, C e D. A granada destes gnaisses diferencia-se da granada dos xistos por , não possui quase nenhum zonamento óptico o que, juntamente com a falta de zonamentos químicos sugere forte homogeneização por difusão intracristalina e, conseqüentemente, maior temperatura do metamorfismo, pois este comportamento é típico na zona da sillimanita (Anderson & Olimpio, 1977; Spear, 1993).

O microclínio não foi analisado por mostrar-se em texturas de desequilíbrio, sugerindo derivação, por inversão, do ortoclásio formado a partir da reação entre muscovita e quartzo no pico metamórfico.

Os cálculos termobarométricos foram efetuados utilizando-se primeiramente a biotita, plagioclásio, quartzo, muscovita, granada, assumindo-se $X_{H_2O}=0,9$ e $X_{CO_2}=0,1$, considerando-se a presença de grafita e carbonato em alguns destes gnaisses, cujos resultados são apresentados na **FIGURA 49A, B, C e D**.

As **FIGURAS 49A e B** mostram as temperaturas e pressões obtidas para a assembléia mineral associada à foliação S_n , preservada em microlitons na foliação milonítica e em paragêneses associadas a cristais de granada cristalizados em um período pré-milonitização rotacionados pela foliação S_{n+1} . Para o núcleo dos minerais foram calculadas temperaturas entre 590 e 710 °C, e pressões entre 6000 e 7900 bar.

PRANCHA 10

Figura A: Perfil composicional em granada da amostra TDS_46a, e foto da granada analisada.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_46a, e foto da granada analisada.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_46a, e foto da granada analisada.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_46a, e foto da granada analisada.

TDS_46a_1

TDS_46a_2

TDS_46a_3

TDS_46a_4

As temperaturas e pressões da borda dos minerais não apresentaram grande variação em relação ao núcleo, resultando em temperaturas em torno de 580 a 730 °C e pressões variando de 6100 a 8100 bar. A reação de termômetro granada-biotita, em ambos os casos indicou temperaturas entre na faixa de 600 °C.

As **FIGURAS 49C e D** mostram as temperaturas e pressões obtidas para as assmbléias minerais contidas na foliação S_{n+1} , onde pode ser observado que as temperaturas tanto para o núcleo (**FIGURA 49C**) quanto para a borda dos minerais (**FIGURA 49D**) são mais elevadas se comparadas com as obtidas para o evento deformacional anterior. Entretanto, as pressões permaneceram relativamente constantes em ambos os casos. O aumento de temperatura neste caso pode ser interpretado como decorrente do cavalgamento de placas quentes que possibilitaram a manutenção da temperatura do sistema mesmo encerrada a deformação, permitindo a cristalização de minerais de mais alta temperatura pós-cinmáticos. Outra possível interpretação para o aumento de temperatura nestas rochas é dada pela intrusão de corpos tabulares de granito ao longo dos planos de cisalhamento, durante e após o principal evento de cisalhamento, que teria causado aquecimentos locais praticamente isobáricos nestas rochas.

Figura 49A: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_46a com as análises dos núcleos dos minerais associados à foliação gnáissica (S_n), onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 49B: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_46a com as análises das bordas dos minerais associados à foliação gnáissica (S_n), onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 49C: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_46a com análises dos núcleos dos minerais associados à foliação milonítica (S_{n+1}), onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Figura 49D: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_46a com as análises das bordas dos minerais na foliação milonítica S_{n+1} , onde o polígono sombreado destaca as condições mais prováveis do metamorfismo.

Estes paragnaisses podem conter carbonato, desta forma, os cálculos termobarométricos foram realizados considerando-se as atividades de H_2O e CO_2 . Visando uma melhor definição da pressão e da temperatura das paragêneses, foram estimadas com o auxílio do software TWQ, as frações molares de CO_2 e H_2O para o núcleo dos minerais da S_{n+1} , resultando, respectivamente, em 0,82 e 0,18. O valor de 0,82 da fração de CO_2 parece excessiva, mas pode efetivamente estar próxima da composição do fluido metamórfico, visto que nestas rochas a grafita e carbonatos podem ter sido abundantes, uma vez que a granada cristalizada em períodos mais iniciais do metamorfismo é rica em finíssimas inclusões orientadas de grafita, que quase não está preente na matriz. Isto sugere que pode ter havido mobilização da grafita pelos fluidos hidrotermais, com geração e CO_2 , que podem ter sido retirados do sistema. Reforça esta interpretação a presença de abundantes inclusões fluidas finas, de cor muito escura, que sugere a presença de CH_4 no fluido metamórfico. Assim, seria necessário estimar-se a atividade do CH_4 no sistema, o que não é possível com o TWQ, o que prejudica a avaliação real da contribuição destes fluidos na formação destas rochas. A associação comum destas rochas com rochas calciossilicáticas também indica que as frações molares de CO_2 podem ter sido bastante elevadas, comparativamente ao metapelitos típicos.

Assim, a temperatura e pressão definidas para as frações molares de H_2O e de CO_2 estimadas resultaram em 640 °C e 7000 bar (**FIGURA 50**), em um equilíbrio quase perfeito, confirmando as estimativas já efetuadas para as assembléias associadas a S_{n+1} .

As condições de metamorfismo e as relações de campo e petrográficas do paragnaisse e dos xistos indicam a presença de um metamorfismo de fácies anfibolito associado ao desenvolvimento da foliação gnáissica, o que constitui o primeiro evento metamórfico identificado na área de estudo, associado ao desenvolvimento da S_n . Posteriormente este conjunto foi afetado por um segundo evento metamórfico, que gerou as paragêneses de fácies anfibolito associadas à foliação milonítica (S_{n+1}), porém com temperaturas um pouco mais elevadas que as do evento anterior. Este segundo evento é evidenciado pela deformação de minerais como estauroлита e cianita correspondentes ao evento precedente, que depois foram novamente cristalizados, com picos térmicos e báricos predominantemente pós-cinemáticos. Corroborar esta interpretação a existência de cianita e estauroлита do segundo evento com trilhas de inclusões internas (S_i), geralmente de grafita, com padrões indicativos de gênese relacionada ao desenvolvimento da S_n , muitas vezes quase que já que totalmente transpostas pela S_{n+1} e com manteamentos dos mesmos minerais de períodos sin- a pós-cinemáticos.

Figura 50: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_46a com as análises dos núcleos dos minerais orientados segundo a foliação milonítica (S_{n+1}), com $X_{H_2O}=0,18$ e $X_{CO_2}=0,82$.

9.7 Amostra TDS-58a

Esta rocha é um anfibolito com granada, do qual foram analisados grãos de plagioclásio, anfibólio e granada.

O plagioclásio apresenta-se granoblástico, raramente mostra-se geminado e, por vezes, encontra-se incluso em pequenos cristais de granada. Sua composição varia pouco (**FIGURA 51**), dentro do campo da andesina.

Figura 51: Diagrama de classificação do plagioclásio da amostra TDS_58a, sendo as composições dos núcleos representadas por círculos cheios e das bordas por quadrados.

A granada é almandínica e ocorre como pequenos cristais distribuídos homogeneamente por toda a matriz, e não apresenta zonamento óptico. Sua composição química varia muito pouco do núcleo para a borda dos cristais, como pode ser observado na Prancha II, Figura A.

O anfibólio apresenta pleocroísmo verde-escuro a verde-acastanhado e foi opticamente definido como hornblenda. Sua composição pode ser observada na **FIGURA 52**, onde é classificado predominantemente como ferro-tschermakita a ferro-hornblenda, com algumas análises plotando no limite composicional entre a tschermakita e a magnésio-hornblenda.

Nestes anfibólios predominam as substituições pargasítica nos núcleos dos anfibólios e tschermakítica nas bordas (**FIGURAS 53A, B e C**).

PRANCHA II

Figura A: Perfil composicional em granada da amostra TDS_58a, e foto da granada analisada.

Figura B: Perfil composicional em granada da amostra TDS_59a, e foto da granada analisada.

Figura C: Perfil composicional em granada da amostra TDS_59a, e foto da granada analisada.

Figura D: Perfil composicional em granada da amostra TDS_59a, e foto da granada analisada.

A

B

C

D

Figura 52: Diagrama de classificação de anfíbólios para a amostra TDS_58a, segundo Leake *et al.*, 1997.

Figura 53A: Diagrama Si x Al evidenciando a substituição tschermakítica nos anfíbólios da amostra TDS_58a.

Figura 53B: Diagrama $\text{Si}+\text{Mg}$ x $\text{Al}+\text{Na}$ evidenciando as substituições nos anfibólios na amostra TDS_58a, onde a linha verde indica a substituição tschermakítica e a linha preta a substituição pargasítica.

Figura 53C: Diagrama $\text{Si}+\text{Fe}^{2+}$ x $\text{Al}+\text{Na}$ evidenciando as substituições nos anfibólios na amostra TDS_58a, onde a linha verde indica a substituição tschermakítica e a linha preta a substituição pargasítica.

As temperaturas e pressões calculadas para esta amostra levaram em conta as substituições definidas anteriormente, e seus resultados são mostrados na **Figura 54A e B**.

Figura 54A: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_58a com as análises dos núcleos dos minerais.

Figura 54B: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_58a com as análises das bordas dos minerais.

Os cálculos geotermobarométricos para esta rocha resultaram em excelentes equilíbrios em aproximadamente 640 °C e 12000 bar para as composições dos núcleos e de 680 °C e 11800 bar e para as bordas, indicando pouco equilíbrio retrometamórfico. A ausência de texturas indicativas dos eventos metamórficos e o excelente equilíbrio dos minerais nestas rochas sugerem que estas condições de metamorfismo podem ser devidas apenas ao último evento, vinculado com o desenvolvimento das zonas de empurrão. Estes anfibolitos ocorrem como *boudins* intercalados nos paragneisses fortemente foliados pela S_{n+1} , e a amostra provém de um núcleo não foliado. Neste contexto, estes anfibolitos podem representar diques afetados apenas pelo segundo evento metamórfico, ao qual associou-se o desenvolvimento da foliação milonítica.

A temperatura obtida é compatível com as temperaturas do segundo evento metamórfico obtidas a partir dos minerais dos xistos e paragneisses e correspondem à fácies anfibolito em regime Barrowiano.

A variação encontrada entre o núcleo e a borda dos cristais nesta amostra é muito pequena, porém as temperaturas e pressões correspondentes às bordas dos cristais são relativamente maiores, o que também foi observado nas amostras de xistos e paragneisse analisadas.

9.8 Amostra TDS-59a

Este litotipo é um plagioclásio-hornblenda xisto milonítico com granada, composto predominantemente por andesina, hornblenda e granada, com quartzo, titanita e epidoto subordinados. O epidoto associa-se geralmente a microfraturas, mas também preenche interstícios entre os demais minerais, em texturas indicativas de desequilíbrio metamórfico, sendo então sua gênese interpretada como decorrente da percolação de fluidos retrometamórficos ou hidrotermais de mais baixa temperatura, provavelmente durante o cisalhamento final, que é responsável pela intensa epidotização de diversos litotipos na área.

O plagioclásio é representado pela andesina e apresenta pouca variação composicional no conteúdo de anortita do núcleo para a borda de cristais individuais, mas ocorrem grandes variações entre diferentes grãos, como pode ser observado na **FIGURA 55**. Os grãos mais sódicos estão associados às zonas mais epidotizadas e, usualmente estão em paragênese com epidoto e clinozoisita, ao passo que os mais cálcicos encontram-se em domínios microestruturais mais preservados da epidotização.

Figura 55: Diagrama composicional do plagioclásio indicando a variação no conteúdo de Ca em relação à Na do núcleo (círculo preenchido) para as bordas (quadrado vazio).

A granada é fina e distribui-se pela amostra segundo a orientação da foliação milonítica, sendo seu evento de cristalização predominantemente sin-cinemático. Não foi observado zonamento óptico nem químico, como pode ser verificado na Prancha II, Figuras B, C e D.

O anfibólio possui pleocroísmo verde a verde-acastanhado, e foi petrograficamente classificado como hornblenda. As análises químicas permitem sua classificação como ferro-tschermakita, com gradação subordinada para ferro-hornblenda, ambos situados próximos ao limite que os separa do campo da tschermakita e da magnésio-hornblenda (**FIGURA 56**).

Figura 56: Diagrama de classificação de anfibólios para a amostra TDS_59a, segundo Leake et al., 1997.

As substituições mais comuns para o anfibólio nesta amostra são mostradas nas **FIGURAS 57A, B e C**, as quais mostram que a substituição predominantemente foi a tschermakítica, com pequena contribuição de substituição pargasítica.

Figura 57A: Diagrama Si x Al evidenciando a substituição tschermakítica nos anfibólios da amostra TDS_59a.

Figura 57B: Diagrama Si+Mg x Al+Na evidenciando as substituições nos anfibólios na amostra TDS_59a, onde a linha verde indica a substituição tschermakítica e a linha preta a substituição pargasítica.

Figura 57C: Diagrama $\text{Si} + \text{Fe}^{2+}$ x $\text{Al} + \text{Na}$ evidenciando as substituições nos anfibólios na amostra TDS_59a, onde a linha verde indica a substituição tschermakítica e a linha preta à substituição pargasítica.

Os cálculos foram efetuados a partir da assembléia quartzo-plagioclásio-granada-anfibólio, e os resultados obtidos podem ser observados na **FIGURA 58A e B**.

Figura 58A: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_59a com as análises dos núcleos dos minerais.

Figura 58B: Diagrama P-T obtido para a amostra TDS_59a com as análises das bordas dos minerais.

A temperatura calculada para o núcleo dos cristais nesta rocha estão próximas aos 670 °C, enquanto que a pressão está em torno de 11400 bar. Novamente foi verificado que a borda dos cristais estão equilibrados em pressões e temperaturas um pouco mais elevadas, atingindo 12200 bar e 690 °C, o que é coerente com o segundo evento metamórfico que afetou as rochas do Grupo Dom Silvério e de seu embasamento, em fácies anfibolito no metamorfismo do tipo barrowiano.

Estes resultados são muito coerentes com os obtidos na amostra de anfibolito TDS_58a e, sendo a foliação milonítica nesta amostra, há um reforço da interpretação de serem estas rochas intrusivas na sequência, uma vez que os dados das rochas maciças não apenas não exibem evidências do metamorfismo anterior observado nos xistos e paragneisses, como são os dados dos minerais cristalizados na foliação S_{n+1} muito semelhantes ao dos anfibolitos.

Não foram efetuados cálculos geotermobarométricos com o epidoto, pois este não se encontra em paragênese com as demais fases minerais, porém, entende-se neste trabalho que suas relações texturais indicam uma cristalização deste posterior aos eventos de fácies anfibolito. As tentativas com as paragêneses retrometamórficas resultaram em dados muito desequilibrados, não permitindo a estimativa das condições P-T do retrometamorfismo.

10 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O Grupo Dom Silvério é constituído na região de estudo por rochas metassedimentares com metavulcânicas e metavulcanossedimentares muito subordinadas, representadas por xistos, paragnaisses, rochas calciossilicáticas, quartzitos e metabasitos. Subordinadamente estão associados a esta sequência corpos de metagranito porfirítico colocados em regime sin-tardi cisalhamento e diques de rochas básicas posteriores ao evento de cisalhamento de baixo ângulo, com transporte de massa para oeste e nor-noroeste. Ainda, afloram na região, ortognaisses pertencentes ao Complexo Mantiqueira que constitui o embasamento do Grupo Dom Silvério.

O ambiente de deposição do Grupo Dom Silvério foi predominantemente sedimentar no seu segmento médio, cuja área fonte pode ser interpretada como uma porção siálica, evidenciada pela presença de minerais detríticos como o zircão e a turmalina; com atividade vulcânica e vulcanoclástica pouco desenvolvida, e relativamente proximal, dada a presença abundante de sedimentos grossos imaturos, incluindo metaconglomerados com matriz areno-argilosa, que resultaram na formação dos paragnaisses, e de quartzitos. Ambientes redutores foram, neste contexto, muito subordinados e seus produtos metamórficos estão representados pelos xistos grafitosos. O conjunto pode, neste contexto, ter sido gerado em uma margem passiva.

Este conjunto de unidades litotípicas foi afetado por intensa deformação causada pelo cisalhamento, que transformou a maior parte das rochas da região, tanto do Grupo Dom Silvério como seu embasamento, em milonitos ou protomilonitos, quase sempre intensamente recristalizados pelo metamorfismo barrowiano da fácies anfibolito que acompanhou o empurrão e, principalmente, pelo aquecimento final pós-cisalhamento. Esta deformação gerou dobras que variam de abertas a muito apertadas, com flancos frequentemente rompidos e eixos dobrados pela evolução do cisalhamento, com tendência à evolução para dobras em bainha.

As rochas deste grupo foram metamorfasadas, quando do desenvolvimento do cisalhamento, na fácies anfibolito, evidenciada pela presença de estauroлита nos xistos, alcançando a zona da cianita, com substituição da estauroлита por granada + cianita, e até mesmo a do feldspato potássico em zonas de mais alto grau, gerados pela reação de muscovita com quartzo. Entretanto, não houve formação de sillimanita nestas rochas devido à pressão relativamente elevada, que se manteve sempre no campo de estabilidade da cianita. O retrometamorfismo deu-se na fácies xisto verde, zona da clorita, evidenciada pelas substituições de biotita e granada por clorita.

A presença de inclusões, que desenham dobras prévias ao cisalhamento na cianita, permite também a inferência da existência de um metamorfismo de grau médio anterior ao cisalhamento, cuja idade não pode ainda ser estabelecida, mas que, potencialmente pode ser anterior ao Neoproterozóico.

Algumas das rochas foram hidrotermalizadas quando da percolação de fluidos canalizados pelas discontinuidades do cisalhamento, tendo gerado epidotização intensa nas rochas calciossilicáticas e metabasitos, e de maneira mais restrita ou mais dificilmente observável, devido à sua mineralogia, nos ortognaisses do Complexo Mantiqueira. Estes fluidos, em parte podem ter sido responsáveis pela introdução de carbonatos, tanto nos paragneisses quanto nos quartzitos do Grupo Dom Silvério.

A partir dos dados obtidos com as análises petrográficas e cálculos geotermobarométricos as trajetórias metamórficas estimadas para as amostras estudadas podem ser vistas nas **FIGURAS 59A, 59B e 59C**.

Figura 59A: Trajetória metamórfica indicando o primeiro metamorfismo (MI) de fácies anfibolito sofrido na região.

Figura 59B: Trajetórias metamórficas indicando o segundo metamorfismo (M2) de fácies anfibolito na região, seguido de retrometamorfismo para fácies xisto verde.

Nestas figuras pode-se inferir dois eventos metamórficos responsáveis pelos equilíbrios encontrados nas associações analisadas. O primeiro evento (M1) está registrado apenas nos minerais das amostras TDS_14j e TDS_46a, representado pela Grt_1 e minerais associados. No núcleo destes minerais encontram-se ainda registradas condições metamórficas da fácies anfibolito inferior, em regime Barroviano. A partir dos núcleos em direção às bordas dos minerais em paragênese com a granada Grt_1, há resquícios de um evento progressivo, com incremento na temperatura e aumentos menores na pressão. A trajetória retrometamórfica relacionada ao M1 não está representada em nenhuma das assembléias minerais utilizadas para os cálculos termobarométricos, o que provavelmente é devido ao segundo evento metamórfico identificado nestas rochas, que obliterou as condições relativas a temperaturas e pressões menores alcançadas no evento de resfriamento e descompressão do M1. A falta de uma definição mais precisa da trajetória não permite uma clara inferência dos processos tectônicos e de exumação, mas pode-se supor uma trajetória normal de soterramento e recomposição das isothermas em zonas de subdução.

Figura 59C: Trajetórias metamórficas correspondentes ao M1, M2 e retrometamorfismo de M2 para os litotipos da área de estudo. Em verde as trajetórias progressiva e retrógrada de M1; em azul as trajetórias progressiva e retrógrada de M2 obtidas a partir de cálculos efetuados em xistos e paragneisses; em rosa as trajetórias progressiva e retrógrada de M2 obtidas a partir dos cálculos realizados com anfibolitos e metabasitos.

Este metamorfismo (M1) pode ter sido responsável pela cristalização de sillimanita nos xistos, entretanto quando do remetamorfismo destas rochas em pressões mais elevadas, pode ter ocorrido a substituição pseudomórfica de sillimanita por cianita, como descrito anteriormente, o que pode ter resultado na ausência de sillimanita nos xistos estudados do Grupo Dom Silvério.

O segundo evento metamórfico (M2) pode ser observado nos resultados obtidos para as amostras TDS_05b, TDS_14d, TDS_14j, TDS_14e, TDS_46a, TDS_58a e TDS_59a. Estas amostras registram picos térmicos por volta de 750 °C, com pressões que variam de 7000 a 12000 bar, correspondente a fácies anfibolito superior em regime Barroviano. As trajetórias deste evento, que se associam ao desenvolvimento da S_{n+1} , são de sentido anti-horário, com os picos térmicos e báricos atingidos em períodos tardios ou posteriores ao desenvolvimento da foliação milonítica. Segue-se a este evento progressivo um abaixamento da pressão e da temperatura, indicada pelos resultados das amostras TDS_14d e TDS_14e, evidenciando o estágio de retrometamorfismo ainda em fácies anfibolito. Nota-se que a trajetória de M2 por

vezes intercepta o campo da sillimanita, entretanto, não há sillimanita nas rochas estudadas do Grupo Dom Silvério, o que pode explicar-se pela $P_{H_2O} < P_T$, o que deslocaria as trajetórias de M2 para a esquerda, portanto contidas apenas no campo da cianita.

As temperaturas mais altas, como, por exemplo, àquela registrada na amostra TDS_05b, são interpretadas como decorrentes do aquecimento causado pelas intrusões dos metagranitos porfíricos que tem período de colocação tardi- a pós-cisalhamento. Concomitantemente o metagranito porfírico foi também metamorfsado, mas já em temperaturas levemente mais baixas, associadas com o retrometamorfismo relacionado à M2.

Estas trajetórias anti-horárias podem ser interpretadas como decorrentes de cavalgamento de placas quentes, com manutenção e alçamento das isothermas, pelo menos em parte devido à colocação de corpos tabulares de granito, concomitantemente ao final do evento de cisalhamento.

Este evento implica no reaquecimento das rochas já metamorfsadas (M1) na fácies anfibolito, o que pode ter ocorrido continuamente ao evento de soterramento, ou em um evento orogenético posterior. A ausência de dados geocronológicos não permite, no momento, a definição deste aspecto evolutivo. Entretanto, os dados petrográficos e geotermobarométricos das amostras TDS_58a e TDS_59a sugerem um hiato maior entre os dois eventos, no qual teria havido possibilidade de resfriamento da crosta e intrusão de diques de rochas básicas, metamorfsados apenas durante o desenvolvimento da foliação S_{n+1} , em evento que pode ser claramente relacionado ao desenvolvimento do Cinturão Ribeira (Alkmin & Marshak, 1998; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). Neste contexto a isócrona Sm-Nd definida por Brueckner *et al.* (2000) em granada-rocha total de 549 Ma pode corresponder ao evento metamórfico M2.

Todos os litotipos da região sofreram exumação e retrometamorfismo com reequilíbrios tendo alcançado a fácies xisto verde. Neste evento associam-se comumente alterações hidrotermais causadas pela canalização de fluidos metamórficos e, possivelmente ígneos, derivados da cristalização dos magmas graníticos intrusivos nas zonas de cisalhamento, ao longo da foliação S_{n+1} . Este evento foi responsável pela epidotização das rochas metabásicas a baixas temperaturas e pressões, como mostrado pelos resultados obtidos da amostra TDS_15, bem como pela saussuritização do plagioclásio da maioria dos litotipos, cloritização, carbonatação e silicificação.

Com base nos estudos petrográficos e na geotermobarometria apresentada pode-se inferir que o pico térmico pós-cisalhamento, evidenciado pela cristalização de minerais metamórficos de mais alta temperatura pós-foliação milonítica, deu-se em temperaturas

superiores a 680 °C, a pressões provavelmente maiores que 8 kbar. O incremento de temperatura deve ter sido causado por cavalgamento de placas aquecidas e as temperaturas mais altas estão vinculadas com a colocação de corpos tabulares de granito nos planos de cisalhamento, no final de seu desenvolvimento. A foliação milonítica ocorre dobrada por uma foliação posterior, que por sua vez também ocorre dobrada. A orientação destas foliações indica que estas foram geradas em um processo contínuo, pela evolução do cisalhamento, sem rotação significativa do elipsóide de deformação.

O Complexo Mantiqueira deve constituir-se no embasamento do Grupo Dom Silvério, uma vez que se observam ainda relíquias de estruturas migmatíticas gnaissificadas previamente ao desenvolvimento da zona de cisalhamento de baixo ângulo, que afetou ambas unidades. Caso as duas unidades sejam contemporâneas, a falta de migmatização nas rochas do Grupo Dom Silvério poderá indicar descontinuidades crustais maiores e a justaposição de unidades de diferentes graus metamórficos causadas pelo desenvolvimento do cisalhamento neoproterozóico.

O esquema da **FIGURA 60** representa a evolução tectono-metamórfica com base nos estudos petrográficos e geotermobarométricos, que indicam uma trajetória anti-horária para as rochas do Grupo Dom Silvério. Esta trajetória (representada pelo círculo) sugere que o Grupo Dom Silvério faça parte do bloco cavalgado, pelo Complexo Mantiqueira que se encontrava em temperaturas mais altas, o que propiciou o aquecimento e o aumento da pressão das rochas do Grupo Dom Silvério. O bloco cavalgante deveria apresentar, neste contexto, a trajetória definida pelo símbolo quadrado, de sentido horário, mas estudos termobarométricos nas rochas do Complexo Mantiqueira não foram efetuados nesta pesquisa. Desta forma, o perfil esquemático da **FIGURA 60** mostra um modelo evolutivo simplificado em três estágios M1 (t1), M2(t2) e M2(t3). O primeiro estágio representa o primeiro evento metamórfico regional que afetou as rochas do Grupo Dom Silvério, com metamorfismo de fácies anfibolito inferior a anfibolito. O segundo estágio é caracterizado pela cavalgamento de blocos de níveis crustais mais profundos sobre o Grupo Dom Silvério, com desenvolvimento de uma extensa zona de cisalhamento, que foi responsável pela intensa milonitização e recristalização das rochas deste grupo e do Complexo Mantiqueira, com intrusão de corpos tabulares de granito porfirítico tardios. Finalmente o terceiro estágio representa o reequilíbrio metamórfico final destes blocos, ocorrido durante a exumação de todo o conjunto.

Figura 60 - Esquema da evolução tectono-metamórfica da área estudada baseada nas trajetórias P-T-t-d características do Grupo Dom Silvério (identificadas em azul) e do Complexo Mantiqueira (em vermelho), apresentando as principais feições texturais e estruturais relacionadas aos diferentes estágios de evolução (M1 (t1), M2 (t2) e M2 (t3)).

II REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIN, F. F. & MARSHAK, S., 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**: 29-58.
- ALMEIDA, F.F.M. 1977., O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira Geociências*, **7**: 349-364.
- ALMEIDA, F.F.M. & LITWINSKI, N., 1984. Província Mantiqueira – Setor Setentrional. In: O Pré-Cambriano no Brasil. Ed.: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. Editora Edgard Blücher, Ltda. p. 282-307. São Paulo, SP, Brasil.
- ANDERSON, D.E.; OLIMPIO, J.C., 1977. Progressive homogenization of metamorphic garnets, South Morar, Scotland: evidence for volume diffusion. *Canadian Mineralogist*, **15**:205-216.
- BABINSKI, M.; CHEMALE, F.Jr. & VAN SCHMUS, W.R., 1991. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Congresso Brasileiro de Geoquímica, 3, Soc. Bras. Geoquímica São Paulo, SP, *Anais...*, **2**:628-631.
- BALTAZAR, O. F. & RAPOSO, F.O., 1993. Folha Mariana (SF. 23 - X-B-I). Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil (escala 1:100.000), 183p.
- BARBOSA, O., 1954. Évolution du Géosynclinal Espinhaço. International Geological Congress, 19, Alger, *Fasc*, **14**: 17-36.
- BERMAN, R.G., 1988. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system Na₂O, K₂O, CaO, MgO, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, H₂O, CO₂. *Journal of Petrology*, **29**:445-522.
- BERMAN, R.G., 1990. Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *American Mineralogist*, **75**:328-344.
- BERMAN, R.G., 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *Canadian Mineralogist*, **29**: 833-855.
- BIANCHI POTENZA, B.; GORLA, L.; NOTARPIETRO, A., 1978. La “ formazione di Valle Grosina”: revisione dei suoi aspetti petrografici in un nuovo contesto geologico. II. Gli “ gneiss minuti”. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, **34**: 371-385.
- BRANDALISE, L.A., 1991. Folha Ponte Nova (SF. 23 -X-B-II). Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil (escala 1:100.000), 161p.
- BRANDALISE, L.A.; PINTO, C.P.; VIANA, H.S.; BRUNO, E.M.; ZUCCHETTI, M., 1992. Província alcalina da Mantiqueira, Serra da Mantiqueira, MG. *Rev. Esc. Min. (REM)*, **45**(1): 179-180.

- BRUECKNER, H.; CUNNINGHAM, W.D.; ALKMIN, F.F. & MARSHAK, S., 1998. Implications of new Precambrian Sm-Nd dates from the Quadrilátero Ferrífero and adjacent northern Mantiqueira Province. 14° Intern. Conf. Basement. Tectonics, Abstracts. p. 24-25. Ouro Preto, MG, Brasil.
- BRUECKNER, H.; CUNNINGHAM, W.D.; ALKMIN, F.F. & MARSHAK, S., 2000. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd dates from the southern São Francisco craton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research*, **99**:255-269.
- CAMPOS NETO, M.C. & FIGUEIREDO, M.C.H., 1990. Evolução geológica dos terrenos Costeiro, Paraíba do Sul e Juiz de Fora (RJ-MG-ES). Congresso Brasileiro de Geologia, 36, SBG, Natal, RN, *Anais...*, **6**: 2631-2648.
- CAMPOS NETO, M.C. & FIGUEIREDO, M.C.H., 1995. The Rio Doce Orogeny, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **8**: 143-162.
- COSTA, A.G.; ROSIERE, C.A.; MOREIRA, L.M. & FISCHER, D.P., 1995. Caracterização geotectônica do setor setentrional do Cinturão Ribeira: evidência de acreção neoproterozóica no leste de Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **3**(2):51-68.
- CUNNINGHAM, W. D., ALKMIN, F. F., MARSHAK, S., 1998. A structural transect across the Ribeira belt in the Brazilian Highlands (latitude 20°S): roots of a Precambrian transpressional orogen. *Precambrian Research*, **92**: 251-275.
- CUNNINGHAM, W. D., MARSHAK, S., ALKMIN, F. F., 1996. Structural style of basin inversion at mid-crustal levels: two transects in the internal zone of the Brasiliano Araçuaí belt, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, **77**: 1-15.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J., 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. 2a. Ed, Longmans Scientific and Technical, London,
- DERBY, O., 1906. The Serra do Espinhaço, Brazil. *Journal of Geology*, **14**(3): 374-401.
- DORR, J. V. N., 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. DNPM, Div. Fom. Prod. Min., 81, 31p.
- DÜRKOP, C.; LINDER, B. & JORDT EVANGELISTA, H., 1997. Caracterização petrológica e geoquímica do Grupo Dom Silvério no seu local tipo, região de Dom Silvério, MG. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 9, SBG núcleo MG, *Anais...*, Bol., **14**:105-106.
- DUYSTER, J., 2000. STERONET program Version 2.46. Institut für Geologie. Ruhr-Universität-Bochum, Germany.
- DYDA, M., 1996. Introduction to geothermobarometry in metamorphic rocks basic principles and restrictions. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo. 114pp.

- EBERT, H., 1955. Pesquisas na parte sudeste do Estado de Minas Gerais. DNPM/DGM. Relatório Anual do Diretor, 1954. p. 79-89, Rio de Janeiro, RJ.
- EBERT, H., 1956. Pesquisas Geológicas na parte sudeste do Estado de Minas Gerais. DNPM/DGM. Relatório Anual do Diretor, 1955. p. 62-81, Rio de Janeiro, RJ.
- EBERT, H., 1958. Discordâncias precambrianas em Carandaí (MG). *Boletim* 183, DGM, DNPM, Rio de Janeiro, 48 p.
- EBERT, H., 1968. Ocorrências de fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **40**: 215-229.
- EBERT, H.; HASUI, Y., 1998. Transpressional tectonic and strain partitioning during oblique collision between three plates in Precambrian of southeast Brazil. *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Geological Society, **135**: 231-252.
- ENDO, I., 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado. 243p. USP, São Paulo, SP.
- FERRY, J. M. & SPEAR, F. S., 1978. Experimental calibration of partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**: 113-117.
- FERRY, J.M. & SPEAR, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**: 113-117.
- FIGUEIREDO, M.C.H. & TEIXEIRA, W., 1996. The Mantiqueira Metamorphic Complex, eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**(2):223-246.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D.A. & TOSATO, P., 1979. Mapa e texto explicativo da folhas Rio da Janeiro (SF.23), Vitória (SF.24) e Iguapé (SG.23), na escala 1:1.000.000. DNPM. Brasília, DF.
- FONTES, C.Q.; NETTO, C.C.; COSTA, M.R.A; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S.L., 1978. Projeto Jequitinhonha. Relatório Final, DNPM/CPRM, Belo Horizonte, MG, 12v.
- GANGULY, J., 1971. A reply to Hoschek's criticisms of Ganguly (1968), and Ganguly and Newton (1968) in his article " The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **31**(2): 166-167.
- GANGULY, J. & SAXENA, S.K., 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnets: Constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *American Mineralogist*, **69**:88-97.

- GHENT, E. D. & STOUT, M. Z., 1981. Geobarometry and geothermometry of plagioclase – biotite – garnet – muscovite assemblages: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **76** (1): 92 – 97.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, V.M. & RODRIGUES, C.V., 1985. Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. *Contribuições a Mineralogia e Petrologia, Volume Djalma Guimarães*. SBG. Bol. Esp. p. 71-93. Belo Horizonte, MG.
- HASUI, Y.; FONSECA, M.J.G. & RAMALHO, R., 1984. A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupá. In: *Geologia do Brasil: Texto Explicativo do mapa geológico do Brasil e área oceânica adjacente*. Ed.: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R. & Asmus, H.E. p. 307-328. MME/DNPM. Brasília, DF.
- HODGES, K.V. & CROWLEY, P.D., 1985. Error estimation and empirical geothermobarometry for pelitic systems. *American Mineralogist*, **70**: 702-709.
- HODGES, K.V. & SPEAR, F.S., 1982. Geothermometry, geobarometry and Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *American Mineralogist*, **67**: 1118-1134.
- HOLDAWAY, M.J., 1971. Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram. *American Journal of Science*, **271**: 97-131.
- HOLLAND, T.J.B. & POWELL, R., 1990. An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: the system $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{MnO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{C}-\text{H}_2-\text{O}_2$. *Journal of Metamorphic Geology*, **8**: 89-124.
- HOSCHEK, G., 1971. A comment to the reply of Ganguly. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **31**(2): 168.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBHENHAUS, C; HARALY, N.L.E.; BRANCO, P.C.; RAMALHO, R., 1984. O Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: C. SCHOBHENHAUS; CAMPOS, D.A; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords): *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, São Paulo, p. 308-344.
- INDARES, A. & MARTIGNOLE, J., 1985. Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: the influence of the Ti and Al in biotite. *American Mineralogist*, **70**: 272 - 278.
- JORDT EVANGELISTA, H & COTTA, Z.C., 1995. Diabásios do Alto Rio Doce, Minas Gerais. 8º Simp. Geol. Minas Gerais, SBG núcleo MG, *Anais...*, Bol. **13**: 70-71.
- JORDT EVANGELISTA, H., 1996. Igneous charnockites in the southeastern transition zone between the São Francisco craton and the Costeiro Mobile Belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **26**(2): 93-102.

- JORDT EVANGELISTA, H. & MULLER, G., 1986. Petrologia da zona de transição entre o Cráton do São Francisco e o Cinturão móvel Costeiro na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, GO. *Anais...*, 4: 1471-1479.
- JORDT EVANGELISTA, H. & ROESER, H., 1988. Contribuição à petrologia do Grupo Dom Silvério, sudeste de Minas Gerais. Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, v.3.
- JORDT EVANGELISTA, H., 1992. O grupo Dom Silvério, SE de Minas Gerais: Petrografia, Metamorfismo, Geoquímica e Geologia Econômica. *Rev. Esc. Minas (REM)*, 45 (1 e 2): 140-142.
- JORDT EVANGELISTA, H.; ROESER, H. & CARMO, V.E.F., 1994. Charnokitos de natureza ígnea na região de Dom Silvério, MG. Congresso Brasileiro de Geologia, 38, SBG, Camburiú, SC, *Anais...*, 3: 30-32..
- JORDT EVANGELISTA, H.; PERES, G.G., 1997. O Maciço Sienítico de Piranga, Minas Gerais. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 35, *Anais...*, SBG-Núcleo MG, 14: 110-112.
- KLEIN, C.; HURLBUT, C.S.J., 1993. *Manual of Mineralogy (After J. D. Dana)*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 681 p.
- KORZHINSKY, D. S., 1959. *Physicochemical basis of the analysis for the paragenesis of minerals*. Consultants Bureau, Nova York.
- KOZIOL, A.M., 1989. Recalibration of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz (GASP) geobarometer and application to natural parageneses. *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 70: 493.
- LEAKE, B.E.; WOOLLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C.; GRICE, J.D.; HAWTHORNE, F.C.; KATO, A.; KISCH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.; MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SCHUMACHER, J.C.; SMITH, D.C.; STEPHENSON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.M.; YOUZHI, G., 1997. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *European Journal of Mineralogy*, 9:623-651.
- LIMA, J.O.A.; FERREIRA, C.M.; SCHMIDT, J.C., 1973. Relatório do mapa do setor G da geotransversal E-W. Ouro Preto, Convênio DNPM/UFOP.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALES, R.S.; SCHEMIN, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTOR, H.H.F., 1983. Projeto

- RadamBrasil, Geologia das folhas SF-23 Rio de Janeiro e SF-24 Vitória. Levantamento de recursos minerais, 32, DNPM, Rio de Janeiro., p.27-304.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; LADEIRA, E.A. & OLIVEIRA, O.B., 1992. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, **104**: 1221-1227.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HEILBRON, M. & VALERIANO, C., 1996. U-Pb geochronology of the Central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, **79**: 347-361.
- NEWTON, R.C. & HASELTON, H.T., 1981. Thermodynamics of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz geobarometer. In: *Thermodynamics of Minerals and Melts* (Eds. Newton, R.C.; Navrotsky, A.; Wood, B.J.), p. 131-147. Springer-Verlag, New York.
- PASSCHIER, C.W.; TROW, R.A.J., 1996. *Microtectonics*. Berlin, Springer-Verlag, 289 p.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDEMANN, C.M.; PINTO, C.P., 2001. The Araçuaí-West-Congo orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, **110**(1-4):307-323.
- PERCHUCK, L. L. & LAVRENT'eva, I.V., 1981. Experimental investigation of exchange equilibria in the system eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology*, **3** (3):265-310.
- PERCHUK, L.L.; ARANOVITCH, L.Y.; PODLESSKII, K.K.; LAVRENTEVA, I.J.; GERASIMOV, V.Y.; FEDKIN, V.V.; KITSUL, V.I.; KARSAKOV, L.P.; BERDNIKOV, N.V., 1985. Precambrian granulites of the Aldan Shield, eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**:266-310.
- POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B., 1985. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: I. Methods and a worked example. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**:327-342.
- POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B., 1988. An internally consistent thermodynamic datas set with uncertainties and correlations: III Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology*, **6**:173-204.
- RAPOSO, F.O., 1991. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Rio Espera, SF.23-X-B-IV. Escala 1:100.000. DNPM/CPRM. Brasília, DF, 200p.
- ROSIER, G.F., 1952. Estado do Rio de Janeiro. In: BRASIL. DNPM/DGM. *Relatório Anual do Diretor*, 1951. Rio de Janeiro, DNPM, 28-30.
- SCHOBENHAUS FILHO, C; CAMPOS, D. De A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., 1984. *Geologia do Brasil. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo os*

- depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM/DGM, 501 p.
- SCHOBENHAUS FILHO, C; FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G. da; CAMPOS, D. de A.; TOSATTO, P., 1979. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folhas Rio de Janeiro (SF-23), Vitória (SF-24) e Iguape (SG-23)*. Brasília, DNPM/DGM, 239 p.
- SCHORSCHER, J. H. D., 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **51** (4): 767-768.
- SPEAR, F.S. & CHENEY, J.T., 1989. A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO_2 - Al_2O_3 - FeO - MgO - K_2O - H_2O . *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **101**: 149-164.
- SPEAR, F.S., 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 799 p.
- SPEAR, F.S.; KOHN, M.J.; FLORENCE, F.; MENARD, T., 1990. A model of garnet and plagioclase growth in pelitic schists: Implications for thermobarometry and P-T path determinations. *Journal of Metamorphic Geology*, **8**: 683-696.
- TEIXEIRA, W., 1985. A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. Tese de Doutorado. 207p. USP. São Paulo, SP.
- TEIXEIRA, W.; JORDT EVANGELISTA, H; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N., 1987. Complexo Granulítico de Acaiaca, Minas Gerais: idade, petrogênese e implicações tectônicas. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 4, Belo Horizonte, *Anais...*, **7**: 58-71.
- THOMPSON, A.B., 1976. Mineral reactions in pelitic rocks: II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations. *American Journal of Science*, **276**:425-454.
- TRÖGER, W.E., 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 188 p.
- TROW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P., 1986. Contribuição à geologia da Folha Barbacena – 1:250.000. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, *Anais...*, SBG, Goiânia, GO, 2:974-986.
- WENK, H.R.; WENK, E.; WALLACE, J.A., 1974. Metamorphic mineral assemblages in pelitic rocks of the Bergell Alps. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, **54**(2/3): 507-554.
- YARDLEY, B. W. D., 1994. *Introdução à petrologia metamórfica*. Traduzido por Reinhardt A. Fuck. Brasília.

ANEXOS

Mapa geológico

Tabelas de análises químicas

ANEXO I

Mapa Geológico

- Unidade de metabasitos de baixo grau
- Unidade de Metagranito Porfírico
- Unidade de Quartzito
- Unidade de Metabasitos

- Unidade de Rochas Calcissilicáticas
- Unidade de Muscovita Xistos Grafíticos
- Unidade de Muscovita-biotita xistos com granada, cianita e estauroлита
- Unidade de Paragneisses

- Unidade de Ortognaisses
- Unidade de Rochas Ultramáficas

- Falhas Normais, Inversas e Transcorrentes
- Falhas de empurrão

A

B

ANEXO II

Tabelas de Análises Químicas

BIOTITA

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_05B	120	Borda	34,85	2,00	19,94	20,89	0,21	8,33	0,00	0,12	9,53	0,04	0,22	0,34	96,47
TDS_05B	121	Borda	35,17	2,40	18,47	21,17	0,23	8,43	0,04	0,13	9,43	0,04	0,16	0,11	95,77
TDS_05B	122	Borda	34,38	1,96	18,29	21,70	0,21	8,40	0,11	0,09	9,40	0,03	0,30	0,13	94,98
TDS_05B	123	Centro	36,07	1,87	18,06	20,22	0,15	7,83	0,00	0,09	9,24	0,02	0,23	0,11	93,88
TDS_05B	124	Borda	35,37	2,81	18,34	21,32	0,17	8,68	0,00	0,10	9,75	0,02	0,35	0,05	96,96
TDS_05B	125	Centro	34,67	2,45	18,19	21,07	0,26	8,63	0,02	0,08	9,81	0,03	0,03	0,06	95,31
TDS_05B	126	Centro	30,51	2,51	16,96	20,69	0,22	8,11	0,06	0,13	9,52	0,01	0,12	0,21	89,06

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ba	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
5,552	2,448	1,293	0,240	2,783	0,028	1,978	0,021	0,000	0,037	1,938	16,318	0,222	0,021	0,000
5,645	2,355	1,136	0,290	2,842	0,031	2,017	0,007	0,007	0,040	1,931	16,301	0,160	0,022	0,000
5,603	2,397	1,112	0,240	2,958	0,029	2,040	0,009	0,018	0,027	1,954	16,387	0,305	0,015	0,000
5,858	2,142	1,312	0,228	2,747	0,020	1,897	0,007	0,000	0,030	1,915	16,156	0,235	0,012	0,000
5,624	2,376	1,058	0,336	2,835	0,022	2,058	0,003	0,000	0,031	1,977	16,320	0,356	0,011	0,000
5,604	2,396	1,068	0,298	2,849	0,036	2,079	0,004	0,003	0,026	2,024	16,387	0,032	0,018	0,000
5,368	2,632	0,883	0,332	3,045	0,032	2,128	0,014	0,012	0,046	2,136	16,628	0,135	0,008	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14D	277	Centro	32,82	1,81	20,26	18,85	0,15	10,06	0,06	0,06	8,26	0,04	0,23	0,20	92,78
TDS_14D	278	Centro	34,17	1,85	20,08	18,55	0,14	9,65	0,07	0,11	9,25	0,03	0,07	0,21	94,18
TDS_14D	279	Borda	32,93	1,89	18,99	17,70	0,10	10,46	0,09	0,08	5,96	0,05	0,17	0,20	88,61
TDS_14D	280	Centro	33,81	1,91	19,38	19,68	0,12	10,21	0,02	0,08	7,79	0,02	0,26	0,14	93,42
TDS_14D	281	Borda	33,82	2,23	19,48	18,25	0,11	9,87	0,04	0,12	9,13	0,04	0,16	0,09	93,33
TDS_14D	282	Centro	34,50	2,16	19,68	17,58	0,17	9,75	0,01	0,16	9,78	0,05	0,14	0,20	94,18
TDS_14D	283	Centro	34,39	2,11	19,85	17,89	0,17	9,65	0,04	0,13	9,58	0,04	0,26	0,29	94,39
TDS_14D	284	Centro	34,91	2,01	19,72	18,08	0,17	9,68	0,01	0,12	9,63	0,03	0,12	0,26	94,74
TDS_14D	285	Centro	34,56	2,16	19,40	18,41	0,10	9,90	0,02	0,11	9,32	0,04	0,19	0,25	94,45
TDS_14D	286	Borda	33,95	2,33	19,57	18,35	0,18	9,93	0,01	0,12	9,03	0,03	0,12	0,17	93,77
TDS_14D	287	Borda	32,83	2,03	19,41	19,58	0,18	10,77	0,03	0,08	7,68	0,02	0,00	0,04	92,64
TDS_14D	288	Centro	34,54	2,01	19,27	18,25	0,15	9,64	0,00	0,14	9,99	0,04	0,00	0,25	94,28
TDS_14D	289	Borda	35,06	2,15	19,39	18,48	0,16	9,59	0,01	0,10	9,67	0,03	0,17	0,18	94,99

TDS_14D	290	Centro	33,95	2,22	19,37	19,41	0,19	9,82	0,03	0,09	7,89	0,05	0,23	0,28	93,51
TDS_14D	291	Centro	34,73	1,87	19,82	17,80	0,11	9,77	0,00	0,08	9,92	0,03	0,26	0,18	94,56
TDS_14D	292	Borda	35,15	1,96	19,55	18,21	0,14	9,95	0,00	0,12	9,82	0,02	0,04	0,20	95,14

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ba	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
5,371	2,629	1,276	0,223	2,580	0,021	2,454	0,013	0,010	0,019	1,724	16,320	0,236	0,020	0,000
5,503	2,497	1,312	0,224	2,499	0,019	2,316	0,013	0,011	0,034	1,901	16,329	0,071	0,018	0,000
5,536	2,464	1,295	0,238	2,489	0,014	2,621	0,013	0,016	0,027	1,278	15,991	0,181	0,027	0,000
5,490	2,510	1,195	0,233	2,672	0,017	2,470	0,009	0,003	0,026	1,614	16,239	0,266	0,012	0,000
5,497	2,503	1,225	0,272	2,481	0,015	2,391	0,006	0,006	0,039	1,893	16,328	0,162	0,022	0,000
5,553	2,447	1,283	0,262	2,366	0,023	2,338	0,013	0,001	0,051	2,008	16,345	0,147	0,026	0,000
5,534	2,466	1,296	0,255	2,408	0,023	2,314	0,018	0,007	0,040	1,967	16,328	0,266	0,020	0,000
5,585	2,415	1,300	0,242	2,419	0,023	2,309	0,016	0,001	0,037	1,966	16,313	0,120	0,018	0,000
5,555	2,445	1,228	0,262	2,475	0,013	2,373	0,016	0,004	0,033	1,910	16,314	0,188	0,020	0,000
5,489	2,511	1,216	0,283	2,481	0,025	2,393	0,011	0,001	0,037	1,862	16,309	0,121	0,015	0,000
5,369	2,631	1,107	0,249	2,678	0,025	2,625	0,002	0,006	0,025	1,602	16,319	0,000	0,012	0,000
5,573	2,427	1,235	0,244	2,463	0,020	2,319	0,016	0,000	0,043	2,056	16,396	0,000	0,022	0,000
5,604	2,396	1,255	0,258	2,471	0,022	2,286	0,011	0,002	0,031	1,972	16,308	0,175	0,015	0,000
5,507	2,493	1,208	0,271	2,633	0,026	2,376	0,018	0,005	0,028	1,632	16,197	0,232	0,026	0,000
5,573	2,427	1,319	0,226	2,389	0,015	2,337	0,011	0,000	0,025	2,030	16,352	0,264	0,016	0,000
5,597	2,403	1,263	0,235	2,425	0,019	2,361	0,013	0,000	0,036	1,994	16,346	0,039	0,012	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14E	265	Borda	34,57	1,50	19,67	17,29	0,01	10,03	0,00	0,14	9,70	0,02	0,14	0,14	93,20
TDS_14E	266	Borda	34,34	1,68	20,06	17,27	0,07	10,00	0,00	0,09	9,60	0,02	0,27	0,28	93,68
TDS_14E	267	Borda	34,15	1,80	19,20	19,12	0,08	9,76	0,00	0,12	9,84	0,03	0,42	0,05	94,56
TDS_14E	268	Centro	35,19	2,07	19,09	17,65	0,07	10,45	0,00	0,11	9,72	0,02	0,37	0,18	94,91
TDS_14E	269	Borda	35,08	2,42	19,12	17,32	0,05	10,40	0,00	0,13	9,83	0,03	0,42	0,23	95,02
TDS_14E	270	Borda	32,69	1,81	18,67	17,47	0,01	10,59	0,02	0,10	9,51	0,02	0,34	0,01	91,25
TDS_14E	271	Borda	35,18	2,33	18,94	17,88	0,09	10,19	0,01	0,08	9,91	0,03	0,27	0,05	94,96
TDS_14E	272	Borda	34,56	2,03	19,77	17,75	0,10	10,16	0,03	0,10	9,47	0,03	0,43	0,21	94,63
TDS_14E	273	Borda	30,44	1,23	18,66	23,43	0,09	10,92	0,00	0,03	4,46	0,01	0,15	0,13	89,55
TDS_14E	274	Centro	35,41	2,35	18,32	18,26	0,01	10,40	0,00	0,13	9,77	0,02	0,35	0,06	95,08
TDS_14E	275	Centro	35,42	2,57	18,42	18,14	0,04	10,08	0,02	0,05	9,83	0,01	0,23	0,24	95,05

TDS_14E	276	Borda	32,54	1,88	18,37	21,63	0,08	10,56	0,03	0,06	7,21	0,04	0,47	0,26	93,13
	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ba	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
5,601	2,399	1,354	0,183	2,343	0,001	2,421	0,009	0,000	0,043	2,005	16,359	0,148	0,011	0,000	
5,546	2,454	1,362	0,205	2,332	0,009	2,408	0,018	0,000	0,027	1,978	16,339	0,272	0,010	0,000	
5,532	2,468	1,195	0,219	2,591	0,011	2,358	0,003	0,000	0,036	2,034	16,447	0,430	0,015	0,000	
5,619	2,381	1,210	0,248	2,357	0,009	2,488	0,011	0,000	0,034	1,980	16,337	0,376	0,009	0,000	
5,598	2,402	1,191	0,291	2,312	0,007	2,474	0,014	0,000	0,041	2,000	16,330	0,427	0,015	0,000	
5,460	2,540	1,133	0,227	2,440	0,002	2,637	0,001	0,004	0,033	2,026	16,503	0,358	0,012	0,000	
5,619	2,381	1,181	0,280	2,388	0,013	2,425	0,003	0,001	0,024	2,020	16,335	0,274	0,016	0,000	
5,541	2,459	1,274	0,244	2,380	0,013	2,429	0,013	0,006	0,030	1,937	16,326	0,438	0,015	0,000	
5,201	2,799	0,957	0,159	3,348	0,013	2,781	0,008	0,000	0,010	0,973	16,249	0,161	0,005	0,000	
5,659	2,341	1,107	0,282	2,441	0,002	2,478	0,004	0,000	0,041	1,991	16,346	0,355	0,010	0,000	
5,660	2,340	1,126	0,309	2,424	0,006	2,401	0,015	0,003	0,014	2,005	16,303	0,235	0,006	0,000	
5,381	2,619	0,958	0,234	2,992	0,011	2,603	0,017	0,005	0,020	1,521	16,361	0,495	0,023	0,000	

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14j	57	Borda	35,39	2,09	19,17	19,42	0,06	8,94	0,00	0,11	9,27	0,03	0,26	0,00	94,73
TDS_14j	58a	Borda	33,39	1,99	19,24	19,50	0,06	9,01	0,18	0,12	8,79	0,04	0,17	0,09	92,57
TDS_14j	58b	Borda	33,79	2,05	19,11	19,63	0,04	8,95	0,01	0,11	9,78	0,03	0,14	0,22	93,85
TDS_14j	59	Borda	35,65	2,32	18,85	19,44	0,09	7,77	0,05	0,17	8,23	0,04	0,11	0,18	92,90
TDS_14J	81	Centro	35,13	2,21	19,26	19,78	0,04	8,53	0,12	0,14	9,03	0,02	0,35	0,13	94,73
TDS_14J	82	Centro	34,04	2,39	19,02	19,08	0,08	8,37	0,26	0,11	8,47	0,02	0,37	0,03	92,23
TDS_14J	83	Borda	33,80	2,51	18,06	19,68	0,07	8,87	0,00	0,10	9,93	0,02	0,21	0,16	93,40
TDS_14J	84	Borda	34,69	2,67	18,68	20,38	0,03	8,74	0,07	0,12	9,22	0,03	0,27	0,17	95,07
TDS_14J	85	Centro	34,55	2,41	18,28	20,00	0,13	8,66	0,08	0,09	8,91	0,04	0,28	0,06	93,49
TDS_14J	86	Borda	35,59	2,36	18,67	19,80	0,06	8,46	0,01	0,15	9,01	0,03	0,12	0,07	94,34
TDS_14J	87	Borda	35,43	2,58	18,81	19,83	0,08	8,51	0,06	0,13	9,03	0,03	0,04	0,13	94,65
TDS_14J	88	Centro	34,67	2,57	18,81	20,08	0,08	8,71	0,10	0,14	9,08	0,03	0,22	0,05	94,52
TDS_14J	107	Borda	35,07	2,72	18,74	19,76	0,08	7,84	0,16	0,14	8,26	0,01	0,13	0,10	93,01
TDS_14J	108	Borda	35,28	1,82	19,34	20,82	0,10	8,45	0,08	0,11	8,75	0,02	0,32	0,02	95,11
TDS_14J	109	Borda	34,94	2,06	18,88	20,30	0,14	8,44	0,12	0,14	8,33	0,02	0,16	0,06	93,59
TDS_14J	110	Borda	34,72	2,17	19,55	19,87	0,10	8,32	0,22	0,16	8,51	0,02	0,38	0,17	94,19
TDS_14J	111	Centro	34,46	2,49	19,51	19,89	0,08	8,36	0,03	0,18	9,32	0,02	0,05	0,13	94,51

TDS_14J	112	Borda	36,05	2,16	19,22	19,18	0,12	7,64	0,17	0,20	8,39	0,05	0,20	0,06	93,44
TDS_14J	113	Centro	34,83	2,52	18,85	20,58	0,11	8,57	0,08	0,15	9,05	0,04	0,26	0,05	95,09
TDS_14J	114	Borda	33,33	1,99	19,66	20,74	0,11	7,87	0,15	0,12	8,44	0,01	0,28	0,09	92,78
TDS_14J	115	Borda	35,41	2,41	19,24	20,31	0,07	7,88	0,01	0,15	8,73	0,01	0,10	0,10	94,42
TDS_14J	116	Borda	35,65	2,17	19,35	19,14	0,05	7,56	0,21	0,13	7,52	0,05	0,22	0,17	92,21
TDS_14J	117	Borda	35,93	2,24	19,43	19,41	0,10	8,05	0,10	0,16	8,16	0,03	0,14	0,11	93,85
TDS_14J	118	Borda	35,39	2,54	19,12	20,09	0,08	8,52	0,02	0,17	9,09	0,02	0,18	0,02	95,24
TDS_14J	119	Borda	34,40	2,59	18,44	19,59	0,12	8,97	0,03	0,12	9,51	0,03	0,25	0,21	94,25

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ba	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
5,673	2,327	1,292	0,252	2,604	0,008	2,137	0,000	0,000	0,034	1,896	16,223	0,261	0,016	0,000
5,503	2,497	1,239	0,247	2,688	0,008	2,214	0,006	0,032	0,037	1,848	16,319	0,174	0,021	0,000
5,525	2,475	1,204	0,252	2,684	0,006	2,182	0,014	0,001	0,034	2,039	16,416	0,142	0,015	0,000
5,791	2,209	1,398	0,284	2,641	0,012	1,882	0,012	0,008	0,054	1,706	15,997	0,108	0,024	0,000
5,650	2,350	1,297	0,268	2,661	0,005	2,044	0,008	0,021	0,044	1,853	16,201	0,360	0,009	0,000
5,608	2,392	1,298	0,296	2,629	0,011	2,055	0,002	0,046	0,034	1,781	16,152	0,390	0,012	0,000
5,572	2,428	1,077	0,311	2,713	0,010	2,178	0,010	0,001	0,031	2,088	16,419	0,221	0,011	0,000
5,593	2,407	1,139	0,324	2,748	0,004	2,101	0,011	0,013	0,036	1,897	16,273	0,277	0,014	0,000
5,649	2,351	1,168	0,296	2,735	0,018	2,112	0,004	0,015	0,029	1,858	16,235	0,290	0,023	0,000
5,729	2,271	1,267	0,285	2,665	0,008	2,030	0,005	0,002	0,047	1,851	16,160	0,126	0,017	0,000
5,685	2,315	1,239	0,312	2,661	0,011	2,036	0,008	0,010	0,041	1,848	16,166	0,038	0,014	0,000
5,602	2,398	1,181	0,312	2,713	0,011	2,097	0,003	0,017	0,043	1,871	16,248	0,226	0,015	0,000
5,710	2,290	1,303	0,333	2,691	0,011	1,902	0,007	0,029	0,044	1,716	16,036	0,137	0,006	0,000
5,660	2,340	1,314	0,220	2,793	0,013	2,020	0,001	0,013	0,034	1,791	16,199	0,327	0,012	0,000
5,674	2,326	1,284	0,251	2,757	0,019	2,043	0,004	0,021	0,045	1,725	16,149	0,166	0,013	0,000
5,613	2,387	1,335	0,264	2,687	0,014	2,006	0,011	0,038	0,049	1,755	16,159	0,392	0,011	0,000
5,561	2,439	1,269	0,302	2,685	0,010	2,011	0,008	0,005	0,056	1,919	16,265	0,051	0,013	0,000
5,813	2,187	1,464	0,262	2,587	0,017	1,838	0,004	0,029	0,061	1,727	15,989	0,207	0,026	0,000
5,606	2,394	1,179	0,305	2,771	0,015	2,057	0,003	0,013	0,048	1,859	16,250	0,265	0,023	0,000
5,504	2,496	1,328	0,248	2,864	0,016	1,936	0,006	0,027	0,037	1,777	16,239	0,288	0,003	0,000
5,694	2,306	1,337	0,292	2,731	0,010	1,890	0,006	0,002	0,046	1,790	16,104	0,101	0,007	0,000
5,802	2,198	1,511	0,265	2,605	0,007	1,835	0,011	0,037	0,040	1,561	15,872	0,222	0,030	0,000
5,762	2,238	1,432	0,270	2,603	0,013	1,926	0,007	0,017	0,050	1,669	15,987	0,146	0,016	0,000
5,653	2,347	1,251	0,305	2,684	0,011	2,030	0,001	0,004	0,051	1,852	16,189	0,181	0,011	0,000
5,594	2,406	1,125	0,316	2,664	0,017	2,173	0,013	0,005	0,038	1,973	16,324	0,256	0,014	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_46A	411	Borda	35,84	1,93	19,69	16,78	0,10	10,62	0,06	0,25	7,77	0,01	0,15	0,13	93,30
TDS_46A	412	Centro	35,84	1,59	19,63	17,46	0,09	10,65	0,02	0,22	7,98	0,01	0,25	0,05	93,78
TDS_46A	413	Borda	35,65	1,35	19,87	16,49	0,08	10,75	0,01	0,26	8,20	0,02	0,31	0,09	93,08
TDS_46A	414	Centro	35,85	1,46	19,73	17,20	0,12	10,62	0,00	0,30	8,76	0,00	0,03	0,10	94,16
TDS_46A	415	Borda	36,09	1,77	19,66	17,25	0,12	10,61	0,01	0,29	8,51	0,02	0,08	0,11	94,51
TDS_46A	416	Borda	36,64	1,49	19,52	16,94	0,07	10,98	0,00	0,29	8,50	0,01	0,25	0,11	94,81
TDS_46A	417	Centro	35,97	1,65	19,60	16,56	0,11	10,58	0,03	0,27	8,23	0,01	0,23	0,16	93,40
TDS_46A	418	Borda	35,60	2,08	19,42	16,82	0,09	11,16	0,01	0,41	8,71	0,01	0,19	0,14	94,63
TDS_46A	419	Centro	36,13	2,05	18,90	17,29	0,09	10,85	0,00	0,29	8,50	0,03	0,30	0,18	94,61
TDS_46A	420	Borda	35,58	1,75	19,36	17,53	0,11	10,69	0,00	0,32	8,59	0,02	0,29	0,09	94,32
TDS_46A	421	Borda	35,62	1,56	19,14	17,43	0,10	10,75	0,03	0,27	8,18	0,00	0,16	0,14	93,36
TDS_46A	422	Borda	37,02	1,61	19,40	16,82	0,05	10,17	0,01	0,26	8,13	0,00	0,25	0,11	93,81
TDS_46A	423	Borda	36,80	2,03	19,38	16,95	0,10	10,49	0,00	0,24	8,56	0,00	0,17	0,15	94,86
TDS_46A	424	Centro	35,88	1,88	18,93	17,77	0,11	10,57	0,00	0,29	8,57	0,01	0,22	0,12	94,36
TDS_46A	425	Borda	37,77	1,84	18,70	16,33	0,06	9,95	0,07	0,24	7,71	0,00	0,30	0,09	93,06
TDS_46A	426	Borda	36,34	2,10	19,21	16,89	0,09	10,38	0,04	0,30	8,15	0,02	0,07	0,21	93,80
TDS_46A	427	Centro	36,29	1,87	19,70	16,99	0,07	10,36	0,02	0,28	8,54	0,00	0,43	0,05	94,59
TDS_46A	428	Borda	36,40	2,12	19,35	16,64	0,13	10,41	0,03	0,26	8,12	0,01	0,33	0,09	93,88
TDS_46A	429	Centro	35,91	1,92	19,37	17,20	0,10	10,30	0,00	0,27	8,52	0,00	0,37	0,14	94,09
TDS_46A	430	Borda	36,84	1,82	19,50	15,94	0,08	10,35	0,05	0,25	7,62	0,00	0,21	0,16	92,81
TDS_46A	431	Centro	37,75	1,60	19,31	16,16	0,09	10,09	0,07	0,22	7,36	0,01	0,20	0,09	92,93
TDS_46A	432	Borda	35,68	1,25	19,81	17,47	0,13	11,10	0,00	0,30	8,85	0,00	0,36	0,04	95,00
TDS_46A	433	Centro	35,87	1,84	19,56	17,54	0,12	10,44	0,00	0,30	8,97	0,00	0,39	0,15	95,18
TDS_46A	434	Borda	35,17	1,82	19,21	17,03	0,12	10,76	0,05	0,31	8,53	0,00	0,29	0,22	93,50
TDS_46A	435	Centro	36,32	1,91	19,36	17,73	0,05	10,65	0,00	0,29	8,81	0,01	0,31	0,01	95,44
TDS_46A	436	Borda	36,30	1,76	19,36	17,51	0,08	10,78	0,00	0,27	8,80	0,01	0,19	0,03	95,09
TDS_46A	437	Centro	36,02	1,94	19,21	17,78	0,06	10,70	0,00	0,26	8,59	0,00	0,32	0,23	95,13
TDS_46A	438	Centro	35,73	1,89	19,29	17,32	0,06	10,75	0,00	0,27	8,74	0,00	0,24	0,17	94,46

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ba	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
5,699	2,301	1,386	0,231	2,231	0,014	2,517	0,008	0,010	0,076	1,575	16,223	0,149	0,003	0,000
5,698	2,302	1,373	0,190	2,322	0,012	2,524	0,003	0,003	0,069	1,618	16,319	0,250	0,006	0,000
5,698	2,302	1,439	0,163	2,205	0,011	2,561	0,005	0,002	0,081	1,672	16,416	0,314	0,012	0,000

5,686	2,314	1,371	0,174	2,282	0,016	2,511	0,006	0,000	0,091	1,772	15,997	0,032	0,000	0,000
5,696	2,304	1,351	0,210	2,277	0,017	2,497	0,007	0,002	0,089	1,713	16,201	0,075	0,011	0,000
5,758	2,242	1,369	0,176	2,226	0,009	2,572	0,007	0,001	0,087	1,704	16,152	0,247	0,007	0,000
5,729	2,271	1,406	0,198	2,206	0,014	2,512	0,010	0,006	0,083	1,673	16,419	0,229	0,005	0,000
5,629	2,371	1,245	0,248	2,224	0,012	2,631	0,008	0,002	0,126	1,757	16,273	0,194	0,007	0,000
5,721	2,279	1,245	0,244	2,289	0,012	2,562	0,011	0,000	0,089	1,716	16,235	0,301	0,014	0,000
5,662	2,338	1,290	0,209	2,333	0,015	2,536	0,006	0,001	0,097	1,743	16,160	0,289	0,008	0,000
5,702	2,298	1,310	0,187	2,334	0,013	2,566	0,009	0,004	0,082	1,671	16,166	0,160	0,000	0,000
5,851	2,149	1,462	0,191	2,224	0,006	2,396	0,007	0,001	0,079	1,640	16,248	0,250	0,000	0,000
5,775	2,225	1,356	0,239	2,225	0,014	2,454	0,009	0,000	0,072	1,713	16,036	0,167	0,001	0,000
5,708	2,292	1,255	0,224	2,364	0,015	2,507	0,007	0,000	0,090	1,739	16,199	0,221	0,003	0,000
5,983	2,017	1,472	0,220	2,164	0,008	2,351	0,005	0,013	0,074	1,558	16,149	0,301	0,000	0,000
5,761	2,239	1,346	0,251	2,239	0,012	2,454	0,013	0,006	0,092	1,648	16,159	0,069	0,009	0,000
5,729	2,271	1,391	0,222	2,243	0,009	2,437	0,003	0,004	0,085	1,720	16,265	0,432	0,000	0,000
5,764	2,236	1,373	0,252	2,204	0,017	2,458	0,005	0,005	0,079	1,641	15,989	0,328	0,008	0,000
5,715	2,285	1,345	0,230	2,289	0,013	2,443	0,009	0,000	0,083	1,729	16,250	0,373	0,000	0,000
5,846	2,154	1,491	0,217	2,115	0,010	2,449	0,010	0,009	0,077	1,542	16,239	0,212	0,002	0,000
5,960	2,040	1,550	0,190	2,134	0,011	2,374	0,005	0,011	0,068	1,481	16,104	0,198	0,004	0,000
5,640	2,360	1,328	0,149	2,310	0,018	2,616	0,002	0,000	0,093	1,785	15,872	0,358	0,000	0,000
5,671	2,329	1,312	0,218	2,319	0,016	2,460	0,009	0,000	0,092	1,809	15,987	0,392	0,001	0,000
5,644	2,356	1,275	0,219	2,286	0,016	2,575	0,014	0,009	0,097	1,746	16,189	0,295	0,000	0,000
5,706	2,294	1,288	0,226	2,330	0,006	2,495	0,001	0,000	0,089	1,765	16,324	0,310	0,004	0,000
5,712	2,288	1,300	0,209	2,304	0,010	2,530	0,002	0,000	0,083	1,766	16,166	0,186	0,005	0,000
5,689	2,311	1,262	0,230	2,348	0,008	2,519	0,014	0,000	0,080	1,731	16,248	0,320	0,002	0,000
5,672	2,328	1,278	0,226	2,299	0,008	2,544	0,010	0,000	0,084	1,771	16,036	0,236	0,001	0,000

GRANADA

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_05B	1	Borda	36,81	21,36	0,07	31,86	1,90	3,44	3,90	0,01	99,42	2,955	0,045	1,974
TDS_05B	2	Borda	36,51	20,71	0,48	31,98	2,42	3,31	3,35	0,01	98,82	2,962	0,038	1,940
TDS_05B	3	Borda	36,76	20,80	0,07	32,55	2,83	2,79	3,74	0,03	99,57	2,966	0,034	1,942
TDS_05B	4	Borda	37,46	20,71	0,11	32,57	2,04	2,89	4,25	0,02	100,06	3,003	0,000	1,955
TDS_05B	5	Borda	37,21	21,12	0,02	32,20	2,70	2,94	3,50	0,01	99,72	2,993	0,007	1,993
TDS_05B	6	Borda	37,17	20,86	0,00	32,26	2,28	3,28	3,74	0,02	99,62	2,986	0,014	1,958
TDS_05B	7	Borda	37,43	21,14	0,03	32,06	2,32	3,42	3,45	0,01	99,91	2,996	0,004	1,988
TDS_05B	8	Borda	36,83	21,02	0,12	31,65	2,38	3,38	3,92	0,01	99,32	2,964	0,036	1,956
TDS_05B	9	Borda	37,53	21,28	0,04	32,21	1,82	3,41	4,08	0,01	100,43	2,984	0,016	1,977
TDS_05B	10	Centro	37,11	21,00	0,03	32,48	2,13	3,17	3,87	0,02	99,86	2,976	0,024	1,960
TDS_05B	11	Centro	37,15	20,99	0,08	32,24	2,28	3,14	3,78	0,01	99,75	2,985	0,015	1,970
TDS_05B	12	Centro	37,23	20,86	0,00	32,09	2,00	3,24	3,88	0,03	99,37	2,997	0,003	1,974
TDS_05B	13	Centro	37,10	20,67	0,11	32,42	1,81	3,42	3,58	0,01	99,16	2,994	0,006	1,958
TDS_05B	14	Borda	37,21	21,03	0,02	31,88	2,62	3,33	3,67	0,03	99,82	2,981	0,019	1,966
TDS_05B	15	Borda	37,12	20,92	0,05	31,44	2,58	3,46	3,95	0,04	99,59	2,977	0,023	1,953
TDS_05B	16	Borda	37,43	20,85	0,00	31,82	2,47	3,51	3,90	0,00	99,98	2,991	0,009	1,953
TDS_05B	17	Borda	37,45	20,89	0,01	32,59	0,93	3,15	4,81	0,00	99,85	2,998	0,002	1,967
TDS_05B	18	Borda	62,64	22,38	0,03	0,11	0,00	0,00	4,46	8,95	98,57	4,504	0,000	1,896
TDS_05B	19	Borda	37,09	20,88	0,01	31,29	2,51	3,43	4,10	0,00	99,32	2,982	0,018	1,960
TDS_05B	20	Borda	37,16	20,89	0,14	31,44	2,46	3,43	4,06	0,03	99,63	2,979	0,021	1,952
TDS_05B	21	Borda	36,84	20,85	0,07	31,59	3,37	2,76	3,86	0,00	99,36	2,977	0,023	1,961
TDS_05B	22	Borda	37,03	20,77	0,00	32,95	2,33	3,07	3,90	0,01	100,05	2,969	0,031	1,929
TDS_05B	23	Borda	34,15	20,84	1,89	27,70	2,83	3,56	2,73	0,00	93,71	2,909	0,091	2,000
TDS_05B	24	Centro	37,43	20,91	0,06	32,37	2,10	3,18	3,87	0,03	99,96	2,997	0,003	1,970
TDS_05B	25	Centro	37,34	20,74	0,03	32,25	2,20	3,12	4,07	0,02	99,81	2,998	0,002	1,958
TDS_05B	26	Centro	37,42	20,86	0,01	32,22	2,23	2,96	3,78	0,00	99,62	3,014	0,000	1,979
TDS_05B	27	Centro	37,26	20,83	0,08	32,60	1,94	3,14	3,89	0,04	99,81	2,990	0,010	1,958
TDS_05B	28	Borda	37,28	21,18	0,02	32,78	1,71	3,32	3,72	0,01	100,01	2,981	0,019	1,975
TDS_05B	29	Borda	37,34	21,18	0,12	32,99	1,72	3,38	3,81	0,01	100,57	2,970	0,030	1,954
TDS_05B	30	Borda	37,12	20,92	0,41	32,44	2,49	3,08	3,43	0,00	99,89	2,983	0,017	1,962

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,004	0,003	2,139	0,412	0,129	0,336	0,002	8,000	70,869	10,966	13,644	4,289
0,029	0,002	2,169	0,401	0,166	0,291	0,001	8,000	71,633	9,513	13,232	5,492

0,004	0,001	2,196	0,335	0,193	0,324	0,004	8,000	71,953	10,541	10,974	6,336
0,006	0,000	2,184	0,345	0,139	0,365	0,002	8,000	71,944	12,030	11,372	4,573
0,001	0,001	2,166	0,353	0,184	0,301	0,001	8,000	72,075	9,987	11,735	6,126
0,000	0,001	2,167	0,393	0,155	0,322	0,004	8,000	71,287	10,512	12,912	5,103
0,002	0,003	2,146	0,408	0,157	0,296	0,002	8,000	71,334	9,696	13,549	5,226
0,007	0,000	2,130	0,405	0,162	0,338	0,001	8,000	70,143	11,106	13,345	5,347
0,002	0,004	2,142	0,404	0,122	0,347	0,001	8,000	71,002	11,302	13,388	4,057
0,002	0,001	2,178	0,379	0,144	0,333	0,003	8,000	71,701	10,927	12,478	4,751
0,005	0,000	2,166	0,376	0,155	0,325	0,002	8,000	71,618	10,755	12,434	5,136
0,000	0,000	2,160	0,389	0,137	0,335	0,005	8,000	71,405	11,057	12,847	4,514
0,006	0,002	2,188	0,412	0,124	0,309	0,001	8,000	72,116	10,108	13,565	4,080
0,001	0,001	2,136	0,398	0,178	0,315	0,005	8,000	70,448	10,347	13,133	5,857
0,003	0,001	2,109	0,414	0,175	0,339	0,006	8,000	69,302	11,107	13,591	5,758
0,000	0,000	2,127	0,419	0,167	0,334	0,000	8,000	69,815	10,957	13,740	5,489
0,000	0,000	2,182	0,376	0,063	0,412	0,000	8,000	71,929	13,592	12,393	2,086
0,002	0,000	0,007	0,000	0,000	0,344	1,248	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	2,104	0,411	0,171	0,354	0,000	8,000	69,223	11,629	13,535	5,613
0,009	0,001	2,108	0,410	0,167	0,348	0,004	8,000	69,401	11,406	13,493	5,493
0,004	0,001	2,135	0,333	0,231	0,334	0,000	8,000	70,390	10,986	10,979	7,610
0,000	0,000	2,209	0,366	0,158	0,335	0,002	8,000	71,949	10,899	11,930	5,151
0,121	0,000	1,973	0,453	0,204	0,249	0,000	8,000	68,549	8,630	15,722	7,086
0,004	0,000	2,168	0,380	0,142	0,332	0,005	8,000	71,625	10,949	12,559	4,699
0,002	0,000	2,165	0,373	0,149	0,350	0,003	8,000	71,219	11,515	12,262	4,912
0,001	0,001	2,171	0,356	0,152	0,326	0,000	8,000	72,241	10,782	11,838	5,071
0,005	0,001	2,188	0,376	0,132	0,335	0,006	8,000	72,055	10,979	12,375	4,352
0,001	0,000	2,192	0,396	0,116	0,319	0,001	8,000	72,517	10,540	13,084	3,822
0,007	0,000	2,195	0,401	0,116	0,325	0,002	8,000	72,230	10,671	13,192	3,821
0,024	0,000	2,180	0,369	0,169	0,295	0,000	8,000	72,337	9,793	12,239	5,621

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_14D	165	Borda	37,28	20,60	0,06	32,18	0,69	2,30	6,12	0,05	99,26	3,008	0,000	1,958
TDS_14D	166	Borda	36,90	20,65	0,18	32,55	0,85	1,90	5,59	0,00	98,62	3,009	0,000	1,983
TDS_14D	167	Borda	37,08	20,63	0,32	32,04	1,01	2,14	5,76	0,00	99,01	3,008	0,000	1,970
TDS_14D	168	Borda	36,93	20,47	0,10	32,32	0,95	1,91	5,89	0,01	98,65	3,009	0,000	1,965
TDS_14D	169	Borda	36,24	20,50	0,03	33,15	0,69	1,80	5,44	0,02	97,94	2,980	0,020	1,965
TDS_14D	170	Borda	36,58	20,47	0,06	31,65	0,63	1,72	6,76	0,01	97,90	3,000	0,000	1,976

TDS_14D	171	Borda	37,15	20,38	0,08	31,33	1,52	3,14	5,13	0,01	98,78	3,005	0,000	1,941
TDS_14D	172	Borda	37,08	20,59	0,00	32,24	0,70	2,60	5,42	0,00	98,66	3,009	0,000	1,968
TDS_14D	173	Centro	37,11	20,48	0,06	32,16	0,48	1,75	6,74	0,02	98,85	3,015	0,000	1,959
TDS_14D	174	Borda	36,99	20,72	0,13	32,95	1,03	1,84	5,87	0,01	99,53	2,990	0,010	1,962

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,003	0,000	2,172	0,276	0,047	0,529	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,011	0,000	2,220	0,231	0,058	0,488	0,000	8,000	74,062	16,292	7,698	1,947
0,020	0,000	2,173	0,259	0,070	0,500	0,000	8,000	72,397	16,663	8,620	2,321
0,006	0,004	2,203	0,232	0,066	0,514	0,001	8,000	73,035	16,838	7,706	2,177
0,002	0,001	2,280	0,221	0,048	0,479	0,004	8,000	75,200	15,745	7,287	1,583
0,004	0,000	2,171	0,210	0,044	0,594	0,002	8,000	71,877	19,674	6,947	1,449
0,005	0,003	2,119	0,378	0,104	0,444	0,001	8,000	69,567	14,447	12,409	3,414
0,000	0,000	2,188	0,314	0,048	0,471	0,001	8,000	72,403	15,581	10,388	1,597
0,004	0,002	2,185	0,212	0,033	0,586	0,004	8,000	72,335	19,335	7,029	1,100
0,008	0,001	2,228	0,222	0,070	0,509	0,001	8,000	73,533	16,763	7,320	2,317

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_14E	175	Centro	37,02	20,60	0,11	31,45	1,40	1,25	7,47	0,01	99,31	3,000	0,000	1,965
TDS_14E	176	Centro	36,49	20,54	1,06	29,51	2,75	1,02	7,75	0,02	99,18	2,968	0,032	1,935
TDS_14E	177	Borda	36,69	20,81	0,04	31,25	2,67	2,78	5,08	0,05	99,50	2,954	0,046	1,928
TDS_14E	178	Borda	37,17	20,51	0,30	32,19	1,11	2,72	5,43	0,00	99,50	2,994	0,006	1,940
TDS_14E	179	Borda	36,82	20,69	0,05	30,72	0,90	1,89	7,49	0,02	98,61	2,989	0,011	1,966
TDS_14E	180	Borda	37,29	20,81	0,07	31,00	0,99	1,36	8,21	0,02	99,79	2,998	0,002	1,968
TDS_14E	181	Borda	37,02	20,53	0,13	30,42	1,58	1,22	8,12	0,00	99,03	3,004	0,000	1,962
TDS_14E	182	Borda	36,71	20,52	0,07	30,03	1,91	1,15	8,10	0,02	98,51	2,994	0,006	1,965
TDS_14E	183	Centro	36,84	20,60	0,09	29,61	2,42	1,04	8,10	0,00	98,73	3,001	0,000	1,976
TDS_14E	184	Centro	37,03	20,63	0,14	29,62	2,68	1,03	7,98	0,01	99,13	3,005	0,000	1,971
TDS_14E	185	Centro	36,77	20,67	0,11	29,36	2,76	1,00	8,20	0,04	98,93	2,988	0,012	1,966
TDS_14E	186	Centro	36,97	20,47	0,15	29,12	3,25	0,98	8,14	0,02	99,11	3,001	0,000	1,957
TDS_14E	187	Centro	37,15	20,45	0,18	29,19	3,56	1,02	8,27	0,01	99,85	2,996	0,004	1,938
TDS_14E	188	Centro	37,01	20,48	0,09	28,14	3,48	0,99	8,21	0,05	98,46	3,020	0,000	1,968
TDS_14E	189	Centro	36,66	20,55	0,05	28,52	3,50	1,01	8,22	0,00	98,52	2,992	0,008	1,967
TDS_14E	190	Centro	36,62	20,58	0,00	28,81	2,79	1,17	8,01	0,03	98,04	2,998	0,002	1,982
TDS_14E	191	Borda	37,02	20,57	0,03	31,46	1,86	2,02	6,32	0,00	99,29	2,993	0,007	1,952
TDS_14E	192	Borda	37,18	20,60	0,09	30,06	1,05	1,46	8,54	0,01	99,03	3,008	0,000	1,962

TDS_14E	193	Borda	37,09	20,45	0,13	31,10	0,75	1,32	8,26	0,02	99,11	3,004	0,000	1,950
TDS_14E	194	Borda	37,24	20,69	0,05	29,94	1,23	2,17	7,18	0,02	98,57	3,018	0,000	1,975
TDS_14E	195	Borda	36,69	20,41	0,10	33,16	3,03	3,07	2,75	0,00	99,27	2,975	0,025	1,924
TDS_14E	196	Borda	37,37	20,58	0,06	31,22	1,20	2,99	5,55	0,00	99,00	3,015	0,000	1,955
TDS_14E	197	Borda	36,91	20,82	0,00	30,01	1,76	2,49	6,66	0,01	98,67	2,986	0,014	1,970
TDS_14E	198	Borda	36,85	20,69	0,02	32,79	2,28	2,95	3,49	0,01	99,12	2,984	0,016	1,958
TDS_14E	199	Borda	37,00	20,61	0,08	31,53	0,42	1,55	7,81	0,04	99,10	2,994	0,006	1,959
TDS_14E	200	Borda	37,10	20,59	0,12	30,97	0,49	1,89	7,71	0,01	98,90	3,003	0,000	1,962
TDS_14E	201	Borda	36,85	20,66	0,07	31,49	0,41	1,46	7,93	0,00	98,87	2,990	0,010	1,964
TDS_14E	202	Borda	37,07	20,70	0,08	31,12	0,45	1,43	8,06	0,00	98,96	3,004	0,000	1,976
TDS_14E	203	Borda	36,97	20,49	0,07	30,83	0,66	1,36	8,13	0,03	98,57	3,009	0,000	1,964
TDS_14E	204	Centro	37,10	20,34	0,09	30,26	1,09	1,22	8,25	0,03	98,39	3,027	0,000	1,954
TDS_14E	205	Centro	37,06	20,67	0,08	30,57	1,07	1,19	8,22	0,00	98,87	3,010	0,000	1,977
TDS_14E	206	Centro	37,10	20,63	0,16	31,16	1,18	1,21	8,03	0,01	99,51	2,998	0,002	1,961
TDS_14E	207	Centro	36,73	20,58	0,05	30,50	0,81	1,26	7,95	0,01	97,88	3,011	0,000	1,987
TDS_14E	208	Centro	36,82	20,46	0,07	30,65	0,88	1,27	8,07	0,02	98,27	3,008	0,000	1,968
TDS_14E	209	Borda	37,04	20,48	0,12	30,49	2,89	3,06	4,55	0,00	98,64	3,005	0,000	1,957
TDS_14E	210	Borda	36,76	20,15	0,44	31,81	3,07	2,82	3,24	0,01	98,35	3,009	0,000	1,942
TDS_14E	211	Borda	36,71	20,70	0,23	29,77	1,05	1,85	8,16	0,03	98,50	2,978	0,022	1,956
TDS_14E	212	Borda	37,11	20,27	0,10	29,53	1,51	2,04	7,80	0,03	98,39	3,015	0,000	1,939
TDS_14E	213	Borda	37,28	20,24	0,19	29,02	2,70	1,67	7,99	0,00	99,10	3,016	0,000	1,929
TDS_14E	214	Borda	36,71	20,40	0,08	28,24	3,82	1,17	7,95	0,00	98,41	2,999	0,001	1,961
TDS_14E	215	Centro	36,76	20,32	0,04	27,73	5,12	0,91	8,06	0,01	99,00	2,992	0,008	1,941
TDS_14E	216	Centro	36,61	20,39	0,15	26,27	6,12	0,84	8,21	0,02	98,61	2,989	0,011	1,950
TDS_14E	217	Centro	36,04	20,35	0,16	26,09	6,54	0,81	7,89	0,04	97,93	2,966	0,034	1,938
TDS_14E	218	Centro	36,84	20,22	0,18	26,48	6,58	0,80	7,91	0,04	99,07	3,000	0,000	1,939
TDS_14E	219	Centro	36,65	20,26	0,17	25,83	6,20	0,83	7,88	0,03	97,93	3,014	0,000	1,962
TDS_14E	220	Centro	36,54	20,18	0,23	26,39	5,48	0,90	8,19	0,04	97,96	3,002	0,000	1,952
TDS_14E	221	Borda	36,86	20,29	0,11	27,79	4,09	0,98	7,89	0,01	98,01	3,025	0,000	1,961
TDS_14E	222	Borda	36,54	20,02	0,62	29,41	3,36	1,02	7,88	0,02	98,89	2,982	0,018	1,905
TDS_14E	223	Borda	36,80	20,20	0,12	28,71	1,39	1,49	8,66	0,01	97,42	3,022	0,000	1,954
TDS_14E	224	Borda	36,98	20,37	0,08	30,49	0,88	1,56	8,26	0,03	98,67	3,003	0,000	1,948
TDS_14E	225	Borda	37,14	20,33	0,05	29,94	1,11	2,09	7,47	0,03	98,15	3,023	0,000	1,949
TDS_14E	226	Borda	36,81	20,40	0,03	31,95	0,27	2,42	5,76	0,02	97,68	3,016	0,000	1,969

Ti	Cr	Fe²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,007	0,001	2,131	0,151	0,096	0,648	0,001	8,000	70,400	21,387	4,984	3,165

0,065	0,001	2,007	0,124	0,190	0,675	0,003	8,000	66,937	22,456	4,136	6,325
0,002	0,003	2,105	0,334	0,182	0,439	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,018	0,004	2,168	0,326	0,076	0,468	0,000	8,000	71,362	15,213	10,737	2,488
0,003	0,001	2,085	0,229	0,062	0,651	0,003	8,000	68,814	21,436	7,547	2,031
0,004	0,002	2,084	0,162	0,068	0,707	0,004	8,000	68,896	23,273	5,368	2,235
0,008	0,000	2,064	0,148	0,108	0,706	0,000	8,000	68,201	23,306	4,892	3,579
0,004	0,000	2,048	0,140	0,132	0,708	0,003	8,000	67,574	23,345	4,629	4,353
0,006	0,000	2,017	0,127	0,167	0,707	0,000	8,000	66,853	23,424	4,198	5,525
0,008	0,001	2,010	0,124	0,184	0,694	0,002	8,000	66,688	22,954	4,122	6,120
0,007	0,001	1,995	0,121	0,190	0,713	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,009	0,001	1,977	0,119	0,224	0,708	0,004	8,000	65,223	23,304	3,929	7,377
0,011	0,000	1,969	0,123	0,243	0,715	0,002	8,000	64,519	23,430	4,019	7,965
0,006	0,001	1,920	0,120	0,240	0,718	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,003	0,000	1,947	0,122	0,242	0,719	0,000	8,000	64,247	23,723	4,036	7,988
0,000	0,002	1,973	0,143	0,193	0,703	0,004	8,000	65,407	23,202	4,739	6,415
0,002	0,000	2,127	0,244	0,128	0,547	0,000	8,000	69,837	17,971	8,001	4,191
0,005	0,002	2,034	0,176	0,072	0,740	0,001	8,000	67,280	24,407	5,821	2,371
0,008	0,000	2,107	0,159	0,052	0,717	0,003	8,000	69,357	23,605	5,244	1,696
0,003	0,001	2,030	0,262	0,085	0,624	0,003	8,000	67,587	20,735	8,740	2,815
0,006	0,004	2,249	0,371	0,208	0,239	0,000	8,000	73,340	7,585	12,104	6,776
0,003	0,000	2,106	0,359	0,082	0,480	0,000	8,000	69,588	15,843	11,860	2,698
0,000	0,001	2,030	0,300	0,121	0,577	0,002	8,000	67,022	18,998	9,897	3,979
0,001	0,002	2,221	0,357	0,156	0,303	0,002	8,000	73,091	9,843	11,734	5,136
0,005	0,004	2,134	0,187	0,029	0,677	0,006	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,008	0,000	2,096	0,228	0,033	0,669	0,001	8,000	69,235	22,094	7,524	1,100
0,004	0,001	2,137	0,176	0,028	0,689	0,000	8,000	70,519	22,714	5,820	0,921
0,005	0,002	2,109	0,173	0,031	0,700	0,000	8,000	70,002	23,129	5,750	1,016
0,004	0,001	2,098	0,165	0,046	0,709	0,004	8,000	69,438	23,394	5,452	1,515
0,006	0,000	2,064	0,148	0,075	0,721	0,005	8,000	68,499	23,920	4,927	2,501
0,005	0,000	2,076	0,144	0,073	0,715	0,000	8,000	69,006	23,778	4,776	2,435
0,010	0,000	2,106	0,146	0,081	0,695	0,001	8,000	69,518	22,955	4,828	2,669
0,003	0,000	2,091	0,153	0,056	0,698	0,001	8,000	69,711	23,276	5,113	1,873
0,004	0,001	2,094	0,155	0,061	0,706	0,002	8,000	69,359	23,327	5,139	2,024
0,007	0,000	2,068	0,370	0,199	0,395	0,000	8,000	68,226	13,032	12,190	6,552
0,027	0,001	2,177	0,344	0,213	0,284	0,002	8,000	72,096	9,324	11,389	7,047
0,014	0,000	2,020	0,224	0,072	0,710	0,004	8,000	66,663	23,418	7,401	2,388
0,006	0,000	2,006	0,247	0,104	0,679	0,005	8,000	65,987	22,324	8,114	3,420

0,011	0,000	1,964	0,201	0,185	0,692	0,000	8,000	64,539	22,744	6,620	6,082
0,005	0,003	1,929	0,143	0,264	0,696	0,000	8,000	63,630	22,805	4,703	8,715
0,003	0,001	1,888	0,110	0,353	0,703	0,002	8,000	61,764	22,973	3,613	11,559
0,009	0,000	1,794	0,102	0,423	0,718	0,003	8,000	58,992	23,628	3,346	13,919
0,010	0,000	1,795	0,100	0,456	0,696	0,006	8,000	58,817	22,794	3,267	14,923
0,011	0,000	1,803	0,097	0,454	0,690	0,006	8,000	59,126	22,614	3,172	14,883
0,010	0,004	1,777	0,102	0,432	0,694	0,005	8,000	59,025	22,857	3,393	14,338
0,014	0,001	1,813	0,110	0,381	0,720	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,007	0,000	1,908	0,119	0,285	0,694	0,002	8,000	63,439	23,069	3,968	9,466
0,038	0,001	2,007	0,124	0,232	0,689	0,004	8,000	65,689	22,481	4,053	7,599
0,007	0,003	1,972	0,183	0,096	0,762	0,002	8,000	65,407	25,143	6,059	3,196
0,005	0,001	2,071	0,188	0,060	0,718	0,005	8,000	68,038	23,557	6,193	1,987
0,003	0,000	2,039	0,254	0,077	0,651	0,004	8,000	67,401	21,539	8,383	2,531
0,002	0,001	2,190	0,295	0,018	0,506	0,003	8,000	72,700	16,735	9,800	0,613

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_14J	31	Borda	37,41	20,94	0,02	31,92	1,40	2,40	5,13	0,000	99,230	3,022	0,00	1,99
TDS_14J	32	Borda	37,55	20,95	0,01	33,08	1,68	2,51	4,22	0,007	100,010	3,016	0,00	1,98
TDS_14J	33	Borda	37,45	20,76	0,13	28,32	4,18	0,99	8,05	0,012	99,910	3,015	0,00	1,97
TDS_14J	34	Borda	37,42	20,74	0,11	27,61	4,65	1,25	8,09	0,031	99,900	3,007	0,00	1,96
TDS_14J	35	Borda	37,25	20,71	0,15	26,70	6,26	0,85	8,13	0,049	100,110	2,997	0,00	1,96
TDS_14J	36	Centro	37,17	20,70	0,13	26,13	6,59	0,84	7,98	0,040	99,610	3,004	0,00	1,97
TDS_14J	37	Centro	36,99	20,70	0,12	27,66	5,94	0,96	7,65	0,009	100,060	2,981	0,02	1,94
TDS_14J	38	Borda	37,09	20,69	0,17	25,91	6,54	0,83	8,14	0,035	99,480	3,001	0,00	1,97
TDS_14J	39	Centro	37,02	20,79	0,13	26,04	6,33	0,85	8,14	0,042	99,370	2,997	0,00	1,98
TDS_14J	40	Centro	37,26	20,64	0,03	27,57	5,35	0,98	8,10	0,019	99,970	3,000	0,00	1,96
TDS_14J	41	Centro	37,26	20,70	0,09	28,12	4,63	0,95	8,29	0,000	100,030	2,998	0,00	1,96
TDS_14J	42	Centro	37,24	20,81	0,00	29,20	3,19	1,47	7,72	0,032	99,670	2,997	0,00	1,97
TDS_14J	43	Borda	37,36	20,91	0,06	30,20	1,81	1,39	8,10	0,026	99,850	3,000	0,00	1,98
TDS_14J	44	Borda	37,12	20,56	0,15	31,20	1,01	1,42	8,06	0,035	99,570	2,993	0,01	1,95
TDS_14J	45	Borda	36,83	20,78	0,11	33,18	1,17	2,55	4,53	0,008	99,170	2,983	0,02	1,96
TDS_14J	46	Borda	62,78	22,73	0,00	0,40	0,02	0,00	4,21	9,390	99,520	4,460	0,00	1,90
TDS_14J	47	Borda	36,98	20,69	0,12	33,17	1,79	2,38	4,47	0,009	99,620	2,987	0,01	1,96
TDS_14J	48	Borda	37,03	20,54	0,14	32,09	0,67	1,44	7,46	0,002	99,380	2,997	0,00	1,95
TDS_14J	49	Borda	36,91	20,81	0,06	30,22	1,93	1,16	8,09	0,031	99,240	2,988	0,01	1,97
TDS_14J	50	Centro	36,94	20,52	0,10	28,79	3,72	0,98	8,02	0,001	99,150	3,000	0,00	1,96

TDS_14J	51	Centro	36,83	20,69	0,12	27,26	5,49	0,89	8,04	0,026	99,370	2,984	0,02	1,96
TDS_14J	52	Centro	36,03	20,35	0,13	27,26	5,30	0,91	7,77	0,018	97,810	2,968	0,03	1,94
TDS_14J	53	Borda	36,26	20,47	0,08	27,93	5,05	0,88	7,82	0,037	98,520	2,966	0,03	1,94
TDS_14J	54	Borda	37,59	20,82	0,19	28,61	2,80	1,51	8,07	0,028	99,670	3,021	0,00	1,97
TDS_14J	55	Borda	36,67	20,72	0,03	33,86	4,71	1,87	1,68	0,013	99,570	2,993	0,01	1,99
TDS_14J	56	Borda	37,05	20,73	0,00	34,31	2,04	2,54	3,15	0,007	99,880	2,991	0,01	1,96

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,001	0,001	2,156	0,288	0,096	0,444	0,000	8,000	72,243	14,852	9,662	3,214
0,001	0,000	2,222	0,301	0,114	0,363	0,001	8,000	74,043	12,101	10,015	3,804
0,008	0,001	1,907	0,119	0,285	0,695	0,002	8,000	63,413	23,069	3,948	9,473
0,007	0,000	1,856	0,150	0,317	0,696	0,005	8,000	61,380	23,036	4,946	10,479
0,009	0,000	1,796	0,102	0,426	0,700	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,008	0,002	1,766	0,101	0,451	0,691	0,006	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,007	0,003	1,864	0,115	0,405	0,661	0,001	8,000	61,195	21,530	3,770	13,299
0,010	0,004	1,753	0,101	0,448	0,705	0,005	8,000	58,197	23,232	3,339	14,869
0,008	0,001	1,763	0,103	0,434	0,706	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,002	0,001	1,857	0,118	0,365	0,699	0,003	8,000	61,061	22,941	3,865	11,996
0,005	0,000	1,892	0,113	0,315	0,715	0,000	8,000	62,326	23,549	3,734	10,391
0,000	0,001	1,965	0,176	0,217	0,666	0,005	8,000	64,881	21,925	5,814	7,170
0,004	0,000	2,028	0,166	0,123	0,697	0,004	8,000	67,205	23,087	5,506	4,068
0,009	0,001	2,104	0,170	0,069	0,696	0,005	8,000	69,108	22,821	5,587	2,259
0,007	0,000	2,247	0,307	0,080	0,393	0,001	8,000	74,202	12,961	10,146	2,641
0,000	0,000	0,024	0,000	0,001	0,320	1,294	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,007	0,001	2,241	0,286	0,122	0,387	0,001	8,000	73,773	12,694	9,416	4,025
0,009	0,000	2,171	0,174	0,046	0,646	0,000	8,000	71,488	21,283	5,718	1,500
0,004	0,001	2,046	0,140	0,132	0,701	0,005	8,000	67,649	23,141	4,617	4,380
0,006	0,003	1,955	0,119	0,256	0,698	0,000	8,000	64,574	22,897	3,930	8,451
0,007	0,001	1,847	0,108	0,377	0,698	0,004	8,000	60,883	22,961	3,547	12,419
0,008	0,001	1,878	0,112	0,370	0,685	0,003	8,000	61,614	22,425	3,679	12,128
0,005	0,000	1,910	0,108	0,350	0,685	0,006	8,000	62,460	22,399	3,520	11,429
0,012	0,004	1,923	0,181	0,190	0,695	0,004	8,000	64,241	23,018	6,048	6,359
0,002	0,000	2,311	0,227	0,326	0,147	0,002	8,000	76,698	4,874	7,547	10,803
0,000	0,003	2,316	0,306	0,140	0,273	0,001	8,000	76,304	8,834	10,070	4,604

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_46A	491	Borda	37,19	21,57	0,05	31,35	4,71	3,13	1,32	0,058	99,433	3,003	0,00	2,05
TDS_46A	492	Borda	37,37	21,49	0,05	31,65	4,06	3,59	1,61	0,000	99,817	2,999	0,00	2,03
TDS_46A	493	Borda	36,95	21,10	0,01	31,77	3,38	3,77	2,02	0,040	99,050	2,982	0,02	1,99
TDS_46A	494	Centro	37,34	21,38	0,06	31,14	3,34	3,74	2,05	0,028	99,116	3,009	0,00	2,03
TDS_46A	495	Centro	37,19	21,39	0,00	31,49	3,38	3,75	2,01	0,012	99,242	2,994	0,01	2,02
TDS_46A	496	Centro	36,65	20,71	0,11	31,06	3,32	3,99	1,55	0,048	97,456	3,003	0,00	2,00
TDS_46A	497	Centro	36,82	21,23	0,06	31,97	3,55	3,69	1,37	0,001	98,726	2,987	0,01	2,02
TDS_46A	498	Centro	37,20	21,42	0,00	31,64	3,61	3,81	1,51	0,012	99,215	2,998	0,00	2,03
TDS_46A	499	Centro	36,91	21,44	0,01	31,67	3,71	3,79	1,18	0,019	98,716	2,991	0,01	2,04
TDS_46A	500	Borda	36,70	21,13	0,00	31,64	3,96	3,56	1,12	0,048	98,192	2,995	0,01	2,03
TDS_46A	501	Borda	36,28	20,94	0,03	31,26	5,03	3,08	1,18	0,009	97,808	2,985	0,02	2,01
TDS_46A	502	Borda	36,32	20,93	0,07	31,40	4,99	3,02	1,25	0,033	98,010	2,982	0,02	2,01
TDS_46A	503	Borda	36,75	21,31	0,00	31,03	4,46	3,56	1,19	0,007	98,337	2,994	0,01	2,04
TDS_46A	504	Borda	37,11	21,36	0,04	31,23	3,59	3,66	1,83	0,007	98,827	3,002	0,00	2,04
TDS_46A	505	Centro	36,65	21,21	0,24	30,69	3,49	3,52	2,39	0,015	98,187	2,984	0,02	2,02
TDS_46A	506	Centro	37,01	21,22	0,03	30,79	3,65	3,43	2,81	0,000	98,939	2,991	0,01	2,01
TDS_46A	507	Borda	36,40	21,17	0,04	31,59	4,85	2,98	1,20	0,039	98,314	2,980	0,02	2,02
TDS_46A	508	Borda	36,77	21,28	0,03	31,58	4,20	3,58	1,14	0,041	98,617	2,988	0,01	2,02
TDS_46A	509	Borda	36,96	21,31	0,00	31,59	4,12	3,65	1,18	0,076	98,905	2,992	0,01	2,02
TDS_46A	510	Borda	36,71	21,22	0,00	31,27	4,46	3,45	1,08	0,048	98,252	2,996	0,00	2,04
TDS_46A	511	Borda	37,11	21,31	0,02	31,64	3,67	3,79	1,23	0,036	98,793	3,004	0,00	2,03
TDS_46A	512	Centro	37,15	21,23	0,02	31,29	3,96	3,63	1,22	0,044	98,551	3,017	0,00	2,03
TDS_46A	513	Centro	36,53	21,04	0,01	31,95	3,68	3,72	1,44	0,004	98,394	2,974	0,03	1,99
TDS_46A	514	Centro	36,94	21,09	0,00	30,73	3,42	3,51	2,35	0,042	98,089	3,009	0,00	2,02
TDS_46A	515	Borda	37,56	21,44	0,00	31,35	3,21	3,50	2,26	0,003	99,325	3,023	0,00	2,03
TDS_46A	516	Borda	37,15	21,50	0,00	31,83	3,64	3,64	1,68	0,026	99,469	2,988	0,01	2,03
TDS_46A	517	Borda	36,35	20,88	0,02	31,84	4,59	3,32	1,25	0,033	98,279	2,973	0,03	1,98
TDS_46A	518	Borda	36,60	21,09	0,04	31,61	4,32	3,40	1,15	0,051	98,260	2,989	0,01	2,02
TDS_46A	519	Borda	37,10	21,50	0,00	31,91	3,68	3,95	1,13	0,056	99,316	2,985	0,02	2,02
TDS_46A	520	Centro	37,15	21,23	0,00	32,41	3,45	3,85	1,43	0,018	99,651	2,985	0,02	1,99
TDS_46A	521	Centro	36,58	21,04	0,03	32,62	3,47	3,74	1,30	0,048	98,844	2,966	0,03	1,97
TDS_46A	522	Centro	37,34	21,41	0,00	31,81	3,62	3,89	1,40	0,015	99,499	3,000	0,00	2,03
TDS_46A	523	Centro	36,84	21,38	0,00	32,00	3,51	3,83	1,37	0,018	98,948	2,978	0,02	2,01
TDS_46A	524	Borda	37,41	21,34	0,01	31,96	3,78	3,70	1,52	0,000	99,725	3,004	0,00	2,02

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,003	0,004	2,117	0,377	0,322	0,114	0,009	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,003	0,000	2,124	0,429	0,276	0,139	0,000	8,000	71,568	4,672	14,457	9,302
0,001	0,000	2,145	0,454	0,231	0,175	0,006	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,004	0,003	2,098	0,449	0,228	0,177	0,004	8,000	70,957	5,869	15,194	7,707
0,000	0,002	2,120	0,450	0,230	0,173	0,002	8,000	71,249	5,696	15,138	7,735
0,007	0,001	2,129	0,487	0,231	0,136	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,004	0,003	2,169	0,447	0,244	0,119	0,000	8,000	72,802	3,873	14,993	8,194
0,000	0,001	2,132	0,458	0,246	0,130	0,002	8,000	71,824	4,323	15,435	8,291
0,000	0,000	2,146	0,457	0,254	0,102	0,003	8,000	72,437	3,443	15,431	8,589
0,000	0,002	2,160	0,433	0,274	0,098	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,002	0,000	2,151	0,378	0,350	0,104	0,001	8,000	72,053	3,484	12,671	11,740
0,004	0,001	2,156	0,370	0,347	0,110	0,005	8,000	72,152	3,654	12,388	11,605
0,000	0,002	2,114	0,432	0,308	0,103	0,001	8,000	71,468	3,395	14,602	10,396
0,003	0,000	2,113	0,441	0,246	0,159	0,001	8,000	71,372	5,364	14,910	8,317
0,015	0,000	2,090	0,427	0,240	0,208	0,002	8,000	70,419	7,012	14,387	8,102
0,002	0,000	2,081	0,413	0,250	0,243	0,000	8,000	69,650	8,137	13,831	8,372
0,002	0,003	2,163	0,363	0,336	0,105	0,006	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,002	0,001	2,146	0,433	0,289	0,100	0,006	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,002	2,139	0,440	0,282	0,102	0,012	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,001	2,134	0,419	0,308	0,094	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,001	0,000	2,142	0,457	0,252	0,107	0,006	8,000	72,278	3,594	15,436	8,502
0,001	0,002	2,125	0,440	0,272	0,106	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,001	2,175	0,451	0,254	0,126	0,001	8,000	72,346	4,119	15,007	8,449
0,000	0,000	2,093	0,426	0,236	0,205	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	2,110	0,420	0,219	0,195	0,000	8,000	71,667	6,610	14,274	7,434
0,000	0,000	2,141	0,437	0,248	0,145	0,004	8,000	71,982	4,867	14,689	8,325
0,001	0,000	2,178	0,404	0,318	0,110	0,005	8,000	72,227	3,641	13,404	10,554
0,003	0,000	2,158	0,414	0,299	0,101	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	2,147	0,473	0,251	0,097	0,009	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,007	2,178	0,461	0,235	0,123	0,003	8,000	72,596	3,736	15,373	7,836
0,002	0,001	2,212	0,452	0,238	0,113	0,008	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,001	2,138	0,466	0,246	0,120	0,002	8,000	71,930	3,988	15,667	8,283
0,000	0,000	2,163	0,462	0,240	0,118	0,003	8,000	72,435	3,964	15,462	8,042
0,001	0,000	2,146	0,442	0,257	0,131	0,000	8,000	72,102	4,396	14,864	8,632

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_58A	541	Borda	37,30	21,21	0,18	23,20	2,95	1,41	12,40	0,018	98,674	2,991	0,01	2,00
TDS_58A	542	Borda	37,13	21,42	0,04	23,17	3,16	1,28	12,01	0,035	98,251	2,992	0,01	2,03
TDS_58A	543	Borda	37,20	21,44	0,03	23,44	2,38	1,52	12,66	0,025	98,726	2,976	0,02	2,00
TDS_58A	544	Centro	36,88	21,22	0,15	23,45	2,73	1,46	12,27	0,124	98,293	2,966	0,03	1,98

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,011	0,001	1,556	0,169	0,200	1,066	0,003	8,000	51,977	35,552	5,644	6,690
0,002	0,001	1,561	0,154	0,216	1,036	0,005	8,000	52,517	34,815	5,177	7,254
0,002	0,002	1,568	0,182	0,162	1,085	0,004	8,000	52,266	36,076	6,055	5,385
0,009	0,000	1,577	0,175	0,186	1,058	0,019	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total	TSi	TAI	Al ^{VI}
TDS_59A	525	Borda	37,53	21,17	0,17	24,75	1,32	1,64	11,87	0,000	98,445	3,015	0,00	2,00
TDS_59A	526	Centro	37,37	21,17	0,01	24,26	2,42	1,57	11,63	0,000	98,468	3,005	0,00	2,01
TDS_59A	527	Borda	37,86	21,38	0,07	25,26	1,36	1,72	11,78	0,007	99,479	3,011	0,00	2,00
TDS_59A	528	Borda	37,39	21,11	0,11	24,93	2,59	1,67	11,01	0,006	98,849	3,000	0,00	2,00
TDS_59A	529	Centro	37,61	21,37	0,11	23,76	3,36	1,40	11,63	0,012	99,247	3,005	0,00	2,01
TDS_59A	530	Borda	37,73	21,46	0,09	25,00	1,61	1,80	11,71	0,000	99,416	3,001	0,00	2,01
TDS_59A	531	Borda	37,53	21,40	0,14	25,68	1,55	1,77	11,46	0,000	99,529	2,986	0,01	1,99
TDS_59A	532	Centro	37,88	21,41	0,15	25,25	2,09	1,72	11,36	0,027	99,875	3,004	0,00	2,00
TDS_59A	533	Borda	37,30	21,21	0,08	24,65	2,34	1,63	12,02	0,021	99,254	2,976	0,02	1,97
TDS_59A	534	Centro	37,56	21,43	0,10	25,19	1,75	1,69	11,62	0,019	99,361	2,992	0,01	2,00
TDS_59A	535	Borda	37,48	21,56	0,14	25,24	1,49	1,82	11,65	0,037	99,440	2,980	0,02	2,00
TDS_59A	536	Borda	37,63	21,48	0,10	25,38	2,04	1,94	11,07	0,043	99,715	2,986	0,01	1,99
TDS_59A	537	Centro	37,47	21,42	0,06	26,22	2,26	1,90	10,41	0,012	99,751	2,980	0,02	1,99
TDS_59A	538	Borda	37,67	21,56	0,17	25,62	1,89	1,94	11,02	0,019	99,866	2,986	0,01	2,00
TDS_59A	539	Borda	37,63	21,43	0,10	25,54	2,14	1,83	10,72	0,025	99,412	2,999	0,00	2,01
TDS_59A	540	Centro	37,61	21,35	0,20	25,38	2,00	1,98	10,66	0,020	99,194	3,002	0,00	2,01

Ti	Cr	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	Cations	Alm	Gross	Piropo	Spess
0,010	0,000	1,663	0,196	0,090	1,022	0,000	8,000	55,979	34,403	6,592	3,026
0,001	0,002	1,631	0,189	0,165	1,002	0,000	8,000	54,625	33,417	6,318	5,519
0,004	0,003	1,680	0,204	0,091	1,004	0,001	8,000	56,367	33,548	6,839	3,070
0,007	0,002	1,673	0,200	0,176	0,947	0,001	8,000	55,827	31,499	6,675	5,870
0,007	0,000	1,587	0,167	0,227	0,995	0,002	8,000	53,299	33,420	5,595	7,624

0,005	0,001	1,663	0,214	0,108	0,998	0,000	8,000	55,744	33,398	7,166	3,629
0,008	0,000	1,709	0,210	0,104	0,977	0,000	8,000	56,951	32,568	7,004	3,477
0,009	0,000	1,675	0,203	0,141	0,965	0,004	8,000	56,060	32,306	6,787	4,708
0,005	0,000	1,645	0,194	0,158	1,027	0,003	8,000	54,337	33,927	6,396	5,233
0,006	0,001	1,678	0,201	0,118	0,991	0,003	8,000	56,106	33,090	6,714	3,939
0,008	0,002	1,678	0,215	0,100	0,993	0,006	8,000	56,082	33,101	7,197	3,353
0,006	0,002	1,685	0,229	0,137	0,941	0,007	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,004	0,000	1,744	0,225	0,153	0,887	0,002	8,000	57,940	29,469	7,463	5,066
0,010	0,000	1,698	0,229	0,127	0,935	0,003	8,000	56,750	31,262	7,661	4,229
0,006	0,000	1,702	0,218	0,144	0,915	0,004	8,000	57,054	30,680	7,303	4,833
0,012	0,000	1,694	0,235	0,135	0,912	0,003	8,000	56,861	30,602	7,888	4,545

MUSCOVITA

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_05B	127	Borda	45,66	0,65	36,01	1,28	0,03	0,68	0,04	0,59	10,33	0,00	0,00	0,37	95,64
TDS_05B	128	Borda	43,43	0,68	34,34	1,37	0,03	0,75	0,01	0,50	9,17	0,03	0,00	0,22	90,52
TDS_05B	129	Borda	45,90	0,49	34,85	1,45	0,03	0,80	0,00	0,49	10,15	0,00	0,12	0,23	94,51
TDS_05B	130	Borda	48,72	0,37	32,92	1,55	0,01	0,77	0,00	0,54	10,25	0,00	0,10	0,12	95,35
TDS_05B	131	Centro	45,45	0,67	35,33	1,22	0,04	0,75	0,00	0,66	10,29	0,00	0,00	0,29	94,68
TDS_05B	132	Centro	45,00	0,66	34,80	1,28	0,01	0,77	0,00	0,63	10,59	0,00	0,02	0,29	94,04
TDS_05B	133	Borda	45,66	0,71	35,62	1,49	0,00	0,68	0,00	0,63	10,51	0,00	0,12	0,22	95,65
TDS_05B	134	Centro	45,24	0,83	35,12	1,18	0,00	0,65	0,00	0,63	10,71	0,00	0,08	0,22	94,66
TDS_05B	135	Borda	45,07	0,67	35,02	1,27	0,00	0,75	0,00	0,71	10,70	0,01	0,01	0,22	94,43
TDS_05B	136	Borda	45,29	0,80	35,01	1,24	0,00	0,68	0,00	0,63	10,45	0,00	0,16	0,34	94,60
TDS_05B	137	Borda	45,90	0,74	35,11	1,51	0,05	0,74	0,02	0,61	10,40	0,00	0,00	0,38	95,46
TDS_05B	138	Centro	45,13	0,51	35,12	1,21	0,00	0,72	0,00	0,74	10,61	0,00	0,15	0,33	94,51
TDS_05B	139	Borda	44,90	0,73	35,05	1,12	0,01	0,66	0,00	0,68	10,52	0,00	0,13	0,23	94,03
TDS_05B	140	Centro	44,98	0,62	34,81	1,20	0,00	0,73	0,00	0,66	10,85	0,00	0,05	0,36	94,24

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
3,036	0,964	1,856	0,032	0,071	0,002	0,068	0,003	0,076	0,876	x	0,000	0,000	0,000
3,037	0,963	1,865	0,036	0,080	0,002	0,078	0,001	0,068	0,818	x	0,001	0,006	0,000
3,086	0,914	1,845	0,025	0,082	0,002	0,080	0,000	0,064	0,871	x	0,051	0,000	0,000
3,233	0,767	1,806	0,018	0,086	0,001	0,076	0,000	0,069	0,868	x	0,043	0,000	0,000
3,051	0,949	1,844	0,034	0,068	0,002	0,075	0,000	0,086	0,881	x	0,000	0,000	0,000
3,051	0,949	1,830	0,034	0,073	0,001	0,077	0,000	0,083	0,916	x	0,008	0,000	0,000
3,043	0,957	1,839	0,036	0,083	0,000	0,067	0,000	0,082	0,893	x	0,051	0,000	0,000
3,047	0,953	1,833	0,042	0,066	0,000	0,065	0,000	0,083	0,920	x	0,033	0,000	0,000
3,044	0,956	1,829	0,034	0,072	0,000	0,075	0,000	0,093	0,922	x	0,004	0,001	0,000
3,053	0,947	1,833	0,040	0,070	0,000	0,068	0,000	0,082	0,899	x	0,068	0,000	0,000
3,064	0,936	1,824	0,037	0,084	0,003	0,074	0,001	0,079	0,886	x	0,000	0,000	0,000
3,049	0,951	1,843	0,026	0,068	0,000	0,072	0,000	0,097	0,915	x	0,062	0,000	0,000
3,044	0,956	1,842	0,037	0,063	0,001	0,067	0,000	0,089	0,910	x	0,057	0,000	0,000
3,050	0,950	1,829	0,031	0,068	0,000	0,074	0,000	0,086	0,939	x	0,021	0,000	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14D	293	Centro	44,33	0,77	36,32	0,78	0,00	0,42	0,01	0,65	10,21	0,00	0,11	0,22	93,97
TDS_14D	294	Centro	44,71	0,21	36,39	0,82	0,01	0,48	0,00	0,69	10,44	0,00	0,05	0,22	93,97
TDS_14D	295	Centro	45,04	0,14	36,29	0,86	0,00	0,54	0,03	0,61	10,44	0,00	0,00	0,22	94,20
TDS_14D	296	Borda	44,04	0,66	35,58	0,87	0,00	0,51	0,01	0,67	10,71	0,01	0,18	0,34	93,56
TDS_14D	297	Centro	44,58	0,49	36,01	0,84	0,02	0,52	0,00	0,66	10,61	0,01	0,10	0,38	94,31
TDS_14D	298	Centro	44,00	0,62	36,11	0,85	0,03	0,41	0,00	0,61	10,35	0,00	0,08	0,23	93,43
TDS_14D	299	Centro	44,00	0,34	36,31	0,82	0,03	0,50	0,01	0,70	10,50	0,01	0,00	0,12	93,44
TDS_14D	300	Centro	44,59	0,52	35,93	0,78	0,00	0,45	0,00	0,65	10,53	0,00	0,00	0,29	94,05
TDS_14D	301	Borda	44,94	0,47	35,43	1,03	0,00	0,61	0,00	0,63	10,49	0,01	0,00	0,29	94,02
TDS_14D	302	Borda	44,72	0,28	36,32	0,73	0,00	0,35	0,00	0,58	10,69	0,00	0,15	0,22	94,25

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
2,999	1,001	1,892	0,039	0,044	0,000	0,043	0,001	0,085	0,881	6,985	0,045	0,000	0,000
3,019	0,981	1,913	0,011	0,046	0,001	0,048	0,000	0,091	0,900	7,010	0,022	0,000	0,000
3,033	0,967	1,911	0,007	0,048	0,000	0,054	0,002	0,080	0,897	6,999	0,000	0,000	0,000
3,007	0,993	1,868	0,034	0,050	0,000	0,052	0,001	0,088	0,933	7,026	0,076	0,002	0,000
3,015	0,985	1,883	0,025	0,048	0,001	0,052	0,000	0,086	0,916	7,011	0,041	0,002	0,000
2,998	1,002	1,895	0,032	0,048	0,002	0,041	0,000	0,080	0,899	6,997	0,034	0,000	0,000
2,994	1,006	1,904	0,018	0,047	0,002	0,051	0,001	0,092	0,912	7,027	0,000	0,003	0,000
3,020	0,980	1,886	0,027	0,044	0,000	0,045	0,000	0,086	0,910	6,998	0,000	0,000	0,000
3,043	0,957	1,868	0,024	0,058	0,000	0,062	0,000	0,082	0,906	7,000	0,000	0,002	0,000
3,023	0,977	1,914	0,014	0,041	0,000	0,035	0,000	0,075	0,922	7,001	0,065	0,000	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14E	303	Borda	45,20	0,13	35,80	1,06	0,00	0,58	0,00	0,85	10,08	0,01	0,04	0,58	94,32
TDS_14E	304	Borda	44,56	0,27	35,98	1,06	0,03	0,56	0,00	0,88	9,99	0,00	0,01	0,43	93,75
TDS_14E	305	Borda	45,78	0,21	33,35	1,76	0,00	1,05	0,00	0,35	10,93	0,00	0,00	0,13	93,56
TDS_14E	306	Centro	44,09	0,85	35,48	0,85	0,02	0,48	0,00	0,90	10,01	0,00	0,02	0,52	93,22
TDS_14E	307	Borda	44,62	0,68	35,67	0,91	0,00	0,47	0,00	0,89	10,38	0,01	0,04	0,41	94,07
TDS_14E	308	Borda	43,87	0,83	35,69	0,88	0,02	0,53	0,04	0,90	9,95	0,00	0,11	0,41	93,23
TDS_14E	309	Centro	44,07	0,80	35,11	0,93	0,00	0,53	0,00	0,89	10,17	0,01	0,22	0,22	92,94
TDS_14E	310	Borda	44,92	0,12	35,61	1,18	0,00	0,56	0,00	0,89	10,04	0,00	0,17	0,26	93,75
TDS_14E	311	Borda	44,32	0,69	35,70	0,92	0,00	0,46	0,00	0,93	10,15	0,00	0,10	0,41	93,69
TDS_14E	312	Borda	44,80	0,80	35,60	0,98	0,01	0,48	0,00	0,86	10,13	0,01	0,11	0,39	94,18

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
3,048	0,952	1,891	0,007	0,060	0,000	0,058	0,000	0,111	0,867	6,994	0,015	0,002	0,000
3,020	0,980	1,892	0,014	0,060	0,002	0,056	0,000	0,116	0,864	7,004	0,002	0,000	0,000
3,123	0,877	1,802	0,011	0,100	0,000	0,107	0,000	0,046	0,951	7,017	0,000	0,000	0,000
3,010	0,990	1,863	0,044	0,049	0,001	0,049	0,000	0,120	0,872	6,998	0,010	0,000	0,000
3,022	0,978	1,866	0,035	0,052	0,000	0,047	0,000	0,116	0,896	7,012	0,015	0,002	0,000
2,996	1,004	1,867	0,043	0,050	0,001	0,054	0,003	0,119	0,867	7,004	0,045	0,000	0,000
3,022	0,978	1,857	0,041	0,053	0,000	0,054	0,000	0,119	0,889	7,013	0,094	0,001	0,000
3,047	0,953	1,891	0,006	0,067	0,000	0,057	0,000	0,117	0,869	7,007	0,073	0,000	0,000
3,013	0,987	1,871	0,035	0,052	0,000	0,047	0,000	0,123	0,880	7,008	0,044	0,000	0,000
3,028	0,972	1,861	0,041	0,055	0,001	0,048	0,000	0,113	0,874	6,993	0,047	0,003	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_14J	141	Borda	45,35	0,20	36,20	1,32	0,05	0,59	0,00	0,73	10,83	0,02	0,10	0,38	95,76
TDS_14J	142	Borda	45,43	0,48	35,78	1,36	0,06	0,68	0,00	0,73	10,39	0,02	0,03	0,23	95,17
TDS_14J	143	Borda	45,38	0,62	35,55	1,37	0,05	0,70	0,01	0,65	10,55	0,01	0,14	0,23	95,25
TDS_14J	144	Centro	45,22	0,78	35,36	1,29	0,02	0,69	0,00	0,69	10,27	0,00	0,00	0,32	94,65
TDS_14J	145	Centro	44,95	0,25	36,29	1,44	0,01	0,52	0,02	0,73	10,28	0,01	0,07	0,15	94,73
TDS_14J	146	Borda	45,09	0,50	35,82	1,48	0,03	0,56	0,04	0,73	10,16	0,00	0,00	0,20	94,60
TDS_14J	147	Centro	45,65	0,28	35,81	1,16	0,02	0,66	0,01	0,62	10,14	0,00	0,10	0,21	94,65
TDS_14J	148	Borda	45,44	0,59	35,74	1,26	0,00	0,62	0,00	0,68	10,57	0,00	0,09	0,18	95,17
TDS_14J	149	Borda	46,13	0,79	34,97	1,16	0,00	0,68	0,00	0,69	10,33	0,01	0,04	0,32	95,13
TDS_14J	150	Centro	45,40	0,74	35,56	1,03	0,01	0,59	0,00	0,71	10,33	0,00	0,00	0,42	94,79
TDS_14J	151	Borda	45,50	0,56	36,55	1,56	0,00	0,55	0,02	0,57	10,15	0,00	0,00	0,31	95,78
TDS_14J	152	Borda	45,34	1,04	34,99	1,12	0,00	0,72	0,00	0,66	10,29	0,01	0,13	0,31	94,61

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
3,027	0,973	1,873	0,010	0,074	0,003	0,059	0,000	0,095	0,922	7,036	0,041	0,004	0,000
3,039	0,961	1,857	0,024	0,076	0,003	0,067	0,000	0,094	0,887	7,008	0,011	0,003	0,000
3,039	0,961	1,843	0,031	0,077	0,003	0,070	0,001	0,084	0,901	7,010	0,059	0,002	0,000
3,040	0,960	1,840	0,039	0,073	0,001	0,069	0,000	0,089	0,881	6,992	0,000	0,001	0,000
3,019	0,981	1,889	0,013	0,081	0,001	0,052	0,002	0,095	0,881	7,014	0,031	0,002	0,000
3,030	0,970	1,865	0,025	0,083	0,001	0,056	0,003	0,096	0,871	7,000	0,000	0,000	0,000
3,059	0,941	1,885	0,014	0,065	0,001	0,066	0,001	0,081	0,866	6,979	0,043	0,000	0,000

3,040	0,960	1,856	0,030	0,070	0,000	0,062	0,000	0,088	0,902	7,008	0,036	0,000	0,000
3,082	0,918	1,833	0,040	0,065	0,000	0,068	0,000	0,090	0,881	6,977	0,016	0,003	0,000
3,046	0,954	1,855	0,037	0,058	0,001	0,059	0,000	0,092	0,884	6,986	0,000	0,000	0,000
3,019	0,981	1,875	0,028	0,087	0,000	0,054	0,002	0,074	0,859	6,979	0,001	0,000	0,000
3,051	0,949	1,824	0,053	0,063	0,000	0,072	0,000	0,085	0,883	6,980	0,053	0,002	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	BaO	Total
TDS_46A	439	Borda	45,83	0,85	35,24	1,00	0,00	0,73	0,00	1,08	9,38	0,02	0,04	0,32	94,48
TDS_46A	440	Centro	45,86	0,70	35,41	1,02	0,00	0,68	0,00	0,98	9,32	0,00	0,00	0,45	94,41
TDS_46A	441	Borda	46,07	0,53	35,72	0,87	0,00	0,65	0,00	0,86	9,31	0,01	0,08	0,46	94,55
TDS_46A	442	Borda	46,05	0,58	36,12	0,84	0,00	0,59	0,00	0,91	9,19	0,00	0,00	0,46	94,74
TDS_46A	443	Centro	45,53	0,61	35,67	0,88	0,03	0,66	0,00	0,96	9,33	0,01	0,10	0,46	94,25
TDS_46A	444	Centro	45,96	0,66	35,01	0,95	0,01	0,75	0,00	1,07	9,37	0,00	0,00	0,32	94,09
TDS_46A	445	Borda	45,22	0,83	34,81	0,95	0,01	0,64	0,00	1,09	9,28	0,01	0,02	0,29	93,14
TDS_46A	446	Borda	46,23	0,47	36,19	1,03	0,05	0,54	0,00	1,12	9,26	0,00	0,11	0,50	95,49
TDS_46A	447	Centro	45,88	0,46	36,09	0,93	0,04	0,55	0,00	1,22	9,18	0,00	0,08	0,42	94,84
TDS_46A	448	Borda	45,33	0,59	35,58	1,89	0,03	0,64	0,02	1,02	9,18	0,00	0,05	0,43	94,78
TDS_46A	449	Centro	45,45	0,63	35,55	1,05	0,00	0,67	0,01	1,12	9,06	0,00	0,14	0,36	94,05
TDS_46A	450	Borda	46,19	0,56	35,60	0,94	0,01	0,65	0,00	1,00	9,26	0,01	0,14	0,43	94,81
TDS_46A	451	Borda	46,28	0,62	35,84	0,76	0,00	0,48	0,00	0,96	8,82	0,02	0,11	0,33	94,21
TDS_46A	452	Centro	46,56	0,49	35,15	0,70	0,01	0,25	0,00	0,81	7,83	0,02	0,00	0,41	92,25
TDS_46A	453	Centro	45,04	0,59	34,37	0,90	0,02	0,67	0,00	1,13	9,21	0,00	0,08	0,35	92,37
TDS_46A	454	Borda	46,10	0,77	35,54	0,97	0,00	0,69	0,00	1,00	9,27	0,01	0,06	0,34	94,75
TDS_46A	455	Borda	46,16	0,91	35,24	0,89	0,00	0,68	0,00	1,03	9,48	0,00	0,06	0,29	94,72
TDS_46A	456	Centro	45,94	0,60	35,44	0,93	0,00	0,72	0,00	0,97	9,38	0,00	0,06	0,36	94,38

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	CF	CCI	OH
6,136	1,864	3,692	0,085	0,112	0,000	0,145	0,000	0,279	1,603	7,036	0,034	0,008	0,000
6,140	1,860	3,723	0,070	0,114	0,000	0,136	0,000	0,253	1,592	7,008	0,000	0,000	0,000
6,152	1,848	3,770	0,053	0,097	0,000	0,130	0,000	0,223	1,587	7,010	0,070	0,004	0,000
6,127	1,873	3,787	0,058	0,094	0,000	0,116	0,000	0,235	1,560	6,992	0,000	0,000	0,000
6,113	1,887	3,752	0,062	0,099	0,003	0,132	0,000	0,249	1,598	7,014	0,082	0,005	0,000
6,170	1,830	3,705	0,067	0,106	0,002	0,149	0,000	0,278	1,605	7,000	0,000	0,000	0,000
6,138	1,862	3,702	0,085	0,108	0,001	0,129	0,000	0,286	1,608	6,992	0,015	0,005	0,000
6,125	1,875	3,772	0,047	0,114	0,006	0,106	0,000	0,288	1,564	7,014	0,090	0,000	0,000

6,113	1,887	3,776	0,046	0,104	0,004	0,110	0,000	0,314	1,561	7,000	0,068	0,001	0,000
6,078	1,922	3,696	0,060	0,212	0,004	0,129	0,003	0,266	1,571	6,979	0,045	0,000	0,000
6,112	1,888	3,741	0,064	0,118	0,000	0,135	0,001	0,292	1,555	7,008	0,122	0,000	0,000
6,158	1,842	3,749	0,056	0,105	0,001	0,130	0,001	0,258	1,575	6,977	0,121	0,005	0,000
6,174	1,826	3,805	0,062	0,085	0,000	0,096	0,000	0,248	1,502	6,986	0,095	0,007	0,000
6,287	1,713	3,876	0,050	0,079	0,001	0,051	0,000	0,212	1,349	7,008	0,000	0,011	0,000
6,169	1,831	3,713	0,061	0,104	0,002	0,137	0,000	0,301	1,609	6,977	0,072	0,001	0,000
6,144	1,856	3,723	0,077	0,109	0,000	0,138	0,000	0,258	1,576	6,986	0,052	0,005	0,000
6,158	1,842	3,695	0,091	0,099	0,000	0,134	0,000	0,265	1,613	6,979	0,047	0,000	0,000
6,149	1,851	3,737	0,060	0,104	0,000	0,143	0,000	0,252	1,602	6,980	0,047	0,000	0,000

PLAGIOCLASIO

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_05B	60	Borda	62,15	23,87	0,00	0,04	0,00	0,00	5,10	8,67	0,09	0,13	100,18
TDS_05B	61	Borda	62,56	23,64	0,00	0,03	0,01	0,00	4,94	8,67	0,14	0,09	100,21
TDS_05B	62	Centro	63,63	23,01	0,02	0,08	0,00	0,00	4,25	9,10	0,09	0,04	100,37
TDS_05B	63	Centro	62,50	22,72	0,07	0,06	0,00	0,00	4,20	9,18	0,10	0,00	98,97

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
11,012	4,981	0,005	0,000	0,000	0,000	0,009	0,968	2,980	0,020	19,984	75,100	24,400
11,069	4,926	0,004	0,000	0,002	0,001	0,006	0,936	2,974	0,031	19,955	75,500	23,800
11,212	4,776	0,011	0,002	0,000	0,000	0,003	0,802	3,108	0,020	19,937	79,100	20,400
11,180	4,787	0,008	0,009	0,000	0,000	0,000	0,804	3,184	0,022	19,994	79,400	20,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_14D	241	Centro	60,61	24,61	0,00	0,04	0,00	0,01	6,33	7,69	0,05	0,00	99,43
TDS_14D	242	Borda	61,33	24,75	0,00	0,06	0,01	0,00	6,49	7,63	0,07	0,00	100,37
TDS_14D	243	Centro	60,17	25,19	0,01	0,13	0,02	0,00	6,94	7,61	0,06	0,04	100,23
TDS_14D	244	Borda	60,32	24,52	0,00	0,03	0,00	0,01	6,56	7,41	0,10	0,00	98,96
TDS_14D	245	Centro	63,61	23,39	0,03	0,00	0,00	0,00	4,87	8,52	0,10	0,09	100,61
TDS_14D	246	Borda	61,35	24,24	0,00	0,13	0,00	0,00	6,05	7,66	0,10	0,00	99,67
TDS_14D	247	Borda	61,73	24,68	0,00	0,10	0,01	0,00	6,25	7,95	0,10	0,00	100,86
TDS_14D	248	Centro	59,81	25,12	0,05	0,11	0,00	0,00	7,15	7,26	0,06	0,00	99,60
TDS_14D	249	Borda	62,08	22,26	0,00	0,04	0,00	0,00	4,58	8,70	0,13	0,07	97,86
TDS_14D	250	Centro	61,68	24,24	0,00	0,03	0,00	0,00	6,10	7,87	0,10	0,00	100,01

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
2,707	1,295	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,303	0,666	0,003	4,976	68,500	31,200
2,712	1,289	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,308	0,654	0,004	4,970	67,700	31,900
2,675	1,319	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	0,330	0,656	0,004	4,991	66,300	33,300
2,706	1,295	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,315	0,645	0,006	4,969	66,800	32,600
2,793	1,209	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,229	0,725	0,006	4,967	75,500	23,900
2,730	1,271	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,289	0,661	0,006	4,961	69,100	30,200
2,718	1,280	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,295	0,679	0,005	4,980	69,400	30,100
2,673	1,322	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,342	0,629	0,003	4,975	64,600	35,100
2,806	1,185	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,222	0,762	0,008	4,986	76,800	22,400

2,734 1,265 0,001 0,000 0,000 0,000 0,000 0,290 0,676 0,005 4,971 69,600 29,900

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_14E	227	Borda	60,71	24,62	0,06	0,08	0,01	0,01	6,42	7,66	0,09	0,00	99,70
TDS_14E	228	Borda	61,00	24,41	0,01	0,04	0,00	0,01	6,05	7,92	0,09	0,02	99,60
TDS_14E	229	Borda	61,31	23,65	0,06	0,01	0,03	0,01	5,31	8,14	0,09	0,03	98,74
TDS_14E	230	Centro	61,37	24,21	0,00	0,09	0,00	0,00	5,98	7,88	0,10	0,01	99,68
TDS_14E	231	Borda	60,82	24,36	0,00	0,04	0,01	0,00	6,17	7,70	0,08	0,04	99,24
TDS_14E	232	Centro	61,10	24,33	0,04	0,12	0,00	0,00	6,23	7,82	0,06	0,00	99,78
TDS_14E	233	Centro	61,40	24,57	0,02	0,15	0,00	0,00	6,14	7,87	0,06	0,01	100,31
TDS_14E	234	Borda	61,29	24,51	0,00	0,04	0,03	0,00	6,26	7,69	0,08	0,00	99,90
TDS_14E	235	Borda	61,84	23,84	0,00	0,19	0,00	0,00	5,86	7,97	0,08	0,07	99,88
TDS_14E	236	Borda	61,15	24,34	0,00	0,16	0,00	0,00	6,12	7,83	0,08	0,02	99,71
TDS_14E	237	Centro	62,36	23,72	0,01	0,10	0,01	0,00	5,31	8,17	0,08	0,07	99,88
TDS_14E	238	Borda	62,26	23,80	0,00	0,05	0,02	0,00	5,50	8,27	0,08	0,05	100,04
TDS_14E	239	Borda	62,62	23,42	0,02	0,06	0,00	0,00	5,02	8,50	0,07	0,04	99,81
TDS_14E	240	Centro	62,04	24,03	0,04	0,12	0,03	0,01	5,43	7,96	0,07	0,07	99,78
TDS_14E	241	Centro	60,61	24,61	0,00	0,04	0,00	0,01	6,33	7,69	0,05	0,00	99,43
TDS_14E	242	Borda	61,33	24,75	0,00	0,06	0,01	0,00	6,49	7,63	0,07	0,00	100,37
TDS_14E	243	Centro	60,17	25,19	0,01	0,13	0,02	0,00	6,94	7,61	0,06	0,04	100,23
TDS_14E	244	Borda	60,32	24,52	0,00	0,03	0,00	0,01	6,56	7,41	0,10	0,00	98,96
TDS_14E	245	Centro	63,61	23,39	0,03	0,00	0,00	0,00	4,87	8,52	0,10	0,09	100,61
TDS_14E	246	Borda	61,35	24,24	0,00	0,13	0,01	0,00	6,05	7,66	0,10	0,00	99,68
TDS_14E	247	Borda	61,73	24,68	0,00	0,10	0,01	0,00	6,25	7,95	0,10	0,00	100,86
TDS_14E	248	Centro	59,81	25,12	0,05	0,11	0,00	0,00	7,15	7,26	0,06	0,00	99,60
TDS_14E	249	Borda	62,08	22,53	0,00	0,04	0,00	0,00	4,58	8,70	0,13	0,07	98,13
TDS_14E	250	Centro	61,68	24,24	0,00	0,03	0,00	0,00	6,10	7,87	0,10	0,00	100,01

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
2,705	1,292	0,003	0,002	0,000	0,001	0,000	0,307	0,662	0,005	4,977	68,000	31,500
2,719	1,281	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,289	0,684	0,005	4,980	69,900	29,600
2,751	1,250	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,255	0,708	0,005	4,974	73,100	26,300
2,731	1,269	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,285	0,680	0,005	4,973	70,100	29,400
2,720	1,283	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,295	0,667	0,004	4,972	69,000	30,500
2,719	1,275	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,297	0,675	0,004	4,975	69,200	30,400
2,718	1,281	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,291	0,675	0,003	4,974	69,700	30,000

2,721	1,282	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,298	0,662	0,005	4,970	68,600	30,900
2,746	1,247	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,279	0,686	0,005	4,971	70,700	28,800
2,722	1,276	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,292	0,676	0,005	4,976	69,500	30,000
2,764	1,238	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,252	0,702	0,004	4,965	73,300	26,300
2,757	1,241	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,261	0,710	0,004	4,978	72,800	26,800
2,776	1,223	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,238	0,730	0,004	4,976	75,100	24,500
2,751	1,255	0,004	0,001	0,001	0,000	0,001	0,258	0,685	0,004	4,961	72,300	27,200
2,707	1,295	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,303	0,666	0,003	4,976	68,500	31,200
2,712	1,289	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,308	0,654	0,004	4,970	67,700	31,900
2,675	1,319	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	0,330	0,656	0,004	4,991	66,300	33,300
2,706	1,295	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,315	0,645	0,006	4,969	66,800	32,600
2,793	1,209	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,229	0,725	0,006	4,967	75,500	23,900
2,730	1,271	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,289	0,661	0,006	4,961	69,100	30,200
2,718	1,280	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,295	0,679	0,005	4,980	69,400	30,100
2,673	1,322	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,342	0,629	0,003	4,975	64,600	35,100
2,798	1,196	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,221	0,760	0,008	4,986	76,800	22,300
2,734	1,265	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,290	0,676	0,005	4,971	69,600	29,900

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_14J	74	Borda	63,47	22,82	0,00	0,14	0,01	0,00	4,16	9,06	0,06	0,00	99,75
TDS_14J	75	Borda	62,89	23,50	0,00	0,00	0,03	0,00	4,23	8,88	0,11	0,05	99,82
TDS_14J	76	Borda	62,66	22,80	0,00	0,03	0,02	0,00	4,36	9,06	0,09	0,00	99,05
TDS_14J	77	Borda	63,20	23,15	0,00	0,03	0,00	0,01	4,44	8,91	0,11	0,02	99,96
TDS_14J	78	Centro	62,57	23,69	0,00	0,00	0,00	0,00	5,01	8,56	0,09	0,00	100,02
TDS_14J	79	Borda	62,51	23,28	0,05	0,06	0,00	0,00	4,71	8,85	0,08	0,00	99,70
TDS_14J	80	Centro	63,02	22,90	0,03	0,05	0,00	0,00	4,33	8,90	0,10	0,00	99,35

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
2,809	1,189	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,197	0,777	0,004	4,981	79,400	20,100
2,785	1,225	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,201	0,763	0,006	4,983	78,700	20,700
2,797	1,198	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,208	0,784	0,005	4,994	78,600	20,900
2,795	1,206	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,210	0,764	0,006	4,983	78,000	21,400
2,768	1,234	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,237	0,734	0,005	4,978	75,200	24,300
2,777	1,218	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,224	0,763	0,005	4,991	76,900	22,600
2,801	1,199	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,206	0,767	0,005	4,981	78,400	21,100

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_15	251	Centro	63,83	18,16	0,01	0,07	0,00	0,01	0,00	0,78	14,89	1,47	99,28
TDS_15	252	Centro	63,25	22,35	0,02	0,12	0,00	0,01	3,93	8,74	0,21	0,00	98,76
TDS_15	253	Centro	63,53	22,79	0,03	0,08	0,00	0,01	4,50	8,72	0,13	0,04	100,01
TDS_15	254	Centro	63,92	21,81	0,07	0,04	0,00	0,00	3,54	8,96	0,16	0,02	98,57
TDS_15	255	Borda	65,06	22,22	0,02	0,03	0,03	0,00	3,60	9,13	0,16	0,03	100,36
TDS_15	256	Centro	62,65	23,23	0,02	0,18	0,00	0,00	4,83	8,55	0,12	0,00	99,72
TDS_15	257	Borda	63,70	22,60	0,00	0,08	0,00	0,00	4,21	8,65	0,23	0,06	99,67
TDS_15	258	Centro	63,01	23,31	0,06	0,06	0,02	0,00	4,82	4,48	0,12	0,05	96,06
TDS_15	259	Centro	62,58	22,42	0,00	0,14	0,00	0,00	4,15	8,81	0,22	0,03	98,42
TDS_15	260	Centro	61,67	22,32	0,00	0,02	0,00	0,00	4,42	8,64	0,15	0,03	97,38
TDS_15	261	Centro	63,07	22,99	0,04	0,01	0,00	0,00	4,73	8,56	0,18	0,19	99,91
TDS_15	262	Borda	62,94	23,23	0,06	0,08	0,01	0,00	4,72	8,51	0,19	0,05	99,92
TDS_15	263	Centro	62,88	23,44	0,01	0,09	0,00	0,00	5,02	8,29	0,10	0,09	99,98
TDS_15	264	Borda	63,88	22,46	0,00	0,00	0,01	0,00	3,97	8,96	0,24	0,06	99,58

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
2,991	1,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,027	0,000	0,071	0,890	5,011	7,400	0,000
2,825	1,176	0,004	0,001	0,000	0,001	0,000	0,188	0,757	0,012	4,964	79,100	19,600
2,808	1,186	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,213	0,747	0,007	4,968	77,200	22,000
2,854	1,147	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,169	0,775	0,009	4,957	81,300	17,700
2,854	1,148	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,169	0,776	0,009	4,959	81,300	17,700
2,781	1,214	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,230	0,736	0,007	4,975	75,600	23,600
2,822	1,179	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,200	0,743	0,013	4,962	77,700	20,900
2,846	1,240	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,233	0,392	0,007	4,725	62,000	36,900
2,810	1,186	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,199	0,767	0,012	4,981	78,400	20,300
2,801	1,194	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,215	0,761	0,009	4,981	77,300	21,800
2,795	1,200	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,224	0,735	0,010	4,971	75,900	23,100
2,787	1,211	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,224	0,730	0,011	4,970	75,600	23,200
2,781	1,221	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,238	0,711	0,006	4,962	74,500	24,900
2,830	1,171	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,188	0,770	0,014	4,975	79,200	19,300

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_46A	477	Centro	63,44	23,09	0,04	0,04	0,01	x	4,00	9,31	0,10	0,00	100,06
TDS_46A	478	Borda	63,46	22,93	0,00	0,05	0,00	x	4,10	9,39	0,07	0,02	100,01

TDS_46A	479	Borda	63,09	22,72	0,00	0,05	0,01	x	3,99	9,43	0,10	0,00	99,39
TDS_46A	480	Centro	63,17	23,07	0,07	0,03	0,00	x	4,09	9,29	0,03	0,05	99,79
TDS_46A	481	Centro	63,33	22,79	0,00	0,00	0,02	x	3,96	9,25	0,06	0,05	99,46
TDS_46A	482	Centro	62,71	22,78	0,00	0,08	0,00	x	4,05	9,07	0,06	0,01	98,75
TDS_46A	483	Borda	63,52	22,95	0,00	0,00	0,00	x	4,03	8,91	0,03	0,09	99,53
TDS_46A	484	Borda	63,31	22,83	0,00	0,04	0,02	x	3,90	9,25	0,07	0,01	99,43

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
11,204	4,801	0,005	0,006	0,002	x	0,000	0,757	3,187	0,023	19,985	80,300	19,100
11,216	4,772	0,006	0,000	0,000	x	0,002	0,775	3,218	0,016	20,007	80,300	19,300
11,222	4,760	0,006	0,000	0,001	x	0,000	0,761	3,252	0,022	20,024	80,600	18,900
11,187	4,812	0,004	0,009	0,000	x	0,003	0,775	3,190	0,008	19,991	80,300	19,500
11,244	4,765	0,000	0,000	0,003	x	0,003	0,754	3,184	0,013	19,969	80,600	19,100
11,213	4,797	0,011	0,000	0,000	x	0,000	0,775	3,143	0,014	19,953	79,900	19,700
11,253	4,787	0,000	0,000	0,000	x	0,006	0,765	3,061	0,008	19,886	79,800	20,000
11,240	4,773	0,005	0,000	0,003	x	0,000	0,741	3,185	0,017	19,964	80,800	18,800

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_58A	485	Borda	59,32	25,38	0,00	0,21	0,00	x	7,00	7,72	0,06	0,00	99,69
TDS_58A	486	Borda	58,96	24,25	0,04	0,25	0,00	x	6,31	7,60	0,04	0,00	97,47
TDS_58A	487	Centro	59,62	25,32	0,03	0,26	0,00	x	6,74	7,76	0,05	0,00	99,78
TDS_58A	488	Borda	59,46	25,50	0,01	0,23	0,01	x	7,13	7,58	0,05	0,00	99,97
TDS_58A	489	Borda	59,68	25,33	0,00	0,22	0,00	x	7,37	7,48	0,06	0,06	100,20
TDS_58A	490	Centro	59,35	25,32	0,00	0,22	0,00	x	7,14	7,37	0,05	0,03	99,48

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
10,618	5,351	0,028	0,000	0,000	x	0,000	1,342	2,680	0,013	20,032	66,400	33,300
10,764	5,213	0,034	0,005	0,000	x	0,000	1,235	2,691	0,010	19,952	68,400	31,400
10,651	5,326	0,035	0,004	0,000	x	0,000	1,291	2,687	0,012	20,006	67,300	32,400
10,611	5,360	0,031	0,001	0,001	x	0,000	1,364	2,622	0,011	20,001	65,600	34,100
10,633	5,315	0,029	0,000	0,000	x	0,004	1,407	2,585	0,013	19,990	64,500	35,100
10,636	5,343	0,030	0,000	0,000	x	0,002	1,371	2,561	0,011	19,956	65,000	34,800

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total
TDS_59A	457	Centro	58,036	25,618	0,057	0,087	0,014	x	7,599	7,412	0,098	0,033	98,987

TDS_59A	458	Borda	58,884	25,967	0,000	0,111	0,037	x	7,449	7,193	0,057	0,024	99,742
TDS_59A	459	Borda	57,387	25,976	0,023	0,154	0,000	x	7,642	7,040	0,055	0,000	98,277
TDS_59A	460	Borda	58,501	24,756	0,027	0,103	0,020	x	6,837	7,616	0,090	0,010	97,965
TDS_59A	461	Borda	58,655	25,161	0,000	0,229	0,028	x	7,123	7,607	0,064	0,000	98,876
TDS_59A	462	Centro	58,172	25,778	0,035	0,186	0,046	x	7,734	7,246	0,031	0,012	99,242
TDS_59A	463	Borda	58,479	25,286	0,000	0,329	0,000	x	7,126	7,538	0,054	0,000	98,821
TDS_59A	464	Borda	59,547	25,165	0,014	0,155	0,000	x	7,035	7,538	0,052	0,000	99,511
TDS_59A	465	Centro	58,867	25,491	0,003	0,199	0,028	x	7,185	7,532	0,048	0,000	99,358
TDS_59A	466	Centro	57,637	25,341	0,002	0,297	0,000	x	7,179	7,187	0,048	0,082	97,778
TDS_59A	467	Borda	59,658	25,206	0,021	0,198	0,000	x	6,582	7,928	0,061	0,049	99,714
TDS_59A	468	Centro	58,918	25,555	0,000	0,135	0,007	x	7,154	7,653	0,076	0,000	99,503
TDS_59A	469	Centro	60,939	24,375	0,022	0,000	0,000	x	5,879	8,197	0,037	0,000	99,457
TDS_59A	470	Borda	60,482	24,158	0,000	0,035	0,000	x	5,647	8,255	0,074	0,037	98,693
TDS_59A	471	Borda	59,454	25,148	0,009	0,191	0,025	x	6,845	7,778	0,063	0,000	99,532
TDS_59A	472	Centro	60,083	25,102	0,027	0,202	0,000	x	6,655	8,040	0,048	0,000	100,157
TDS_59A	473	Centro	58,911	25,446	0,008	0,243	0,000	x	6,978	7,537	0,050	0,000	99,175
TDS_59A	474	Borda	58,921	25,990	0,052	0,306	0,020	x	7,630	7,177	0,063	0,000	100,168
TDS_59A	475	Centro	60,137	25,204	0,032	0,178	0,014	x	6,771	7,845	0,068	0,024	100,274
TDS_59A	476	Borda	60,195	25,083	0,033	0,291	0,000	x	6,604	7,964	0,074	0,017	100,261

Si	Al	Fe ³⁺	Ti	Mn	MgO	Ba	Ca	Na	K	Cations	Ab	An
10,494	5,455	0,012	0,008	0,002	x	0,002	1,472	2,599	0,023	20,069	63,500	36,000
10,536	5,472	0,015	0,000	0,006	x	0,002	1,428	2,496	0,013	19,970	63,400	36,300
10,436	5,563	0,021	0,003	0,000	x	0,000	1,489	2,482	0,013	20,007	62,300	37,400
10,653	5,309	0,014	0,004	0,003	x	0,001	1,334	2,689	0,021	20,029	66,500	33,000
10,596	5,353	0,031	0,000	0,004	x	0,000	1,379	2,665	0,015	20,043	65,700	34,000
10,484	5,471	0,025	0,005	0,007	x	0,001	1,493	2,532	0,007	20,026	62,800	37,000
10,571	5,383	0,045	0,000	0,000	x	0,000	1,380	2,642	0,012	20,033	65,500	34,200
10,665	5,308	0,021	0,002	0,000	x	0,000	1,350	2,618	0,012	19,976	65,800	33,900
10,577	5,394	0,027	0,000	0,004	x	0,000	1,383	2,624	0,011	20,020	65,300	34,400
10,531	5,453	0,041	0,000	0,000	x	0,006	1,405	2,546	0,011	19,999	64,300	35,500
10,669	5,308	0,027	0,003	0,000	x	0,003	1,261	2,749	0,014	20,037	68,300	31,300
10,573	5,401	0,018	0,000	0,001	x	0,000	1,376	2,663	0,017	20,049	65,700	33,900
10,877	5,124	0,000	0,003	0,000	x	0,000	1,124	2,837	0,008	19,973	71,500	28,300
10,883	5,119	0,005	0,000	0,000	x	0,003	1,089	2,880	0,017	19,999	72,300	27,300
10,656	5,308	0,026	0,001	0,004	x	0,000	1,314	2,703	0,014	20,026	67,100	32,600
10,695	5,262	0,027	0,004	0,000	x	0,000	1,269	2,775	0,011	20,043	68,400	31,300

10,596	5,390	0,033	0,001	0,000	x	0,000	1,345	2,628	0,011	20,004	66,000	33,800
10,509	5,459	0,041	0,007	0,003	x	0,000	1,458	2,482	0,014	19,973	62,800	36,900
10,690	5,276	0,024	0,004	0,002	x	0,002	1,290	2,704	0,015	20,009	67,400	32,200
10,703	5,252	0,039	0,004	0,000	x	0,001	1,258	2,746	0,017	20,021	68,300	31,300

CLORITA

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
TDS_14E	313	Borda	23,28	0,03	23,42	29,53	0,16	10,20	0,04	0,00	0,00	86,73
TDS_14E	314	Borda	23,79	0,05	22,94	28,62	0,18	10,90	0,02	0,01	0,02	86,57
TDS_14E	315	Borda	21,97	0,01	23,45	37,50	0,47	4,02	0,00	0,00	0,01	87,44
TDS_14E	316	Borda	21,73	0,06	23,46	38,37	0,51	3,64	0,01	0,01	0,00	87,88
TDS_14E	317	Centro	21,87	0,08	23,96	36,91	0,31	4,70	0,03	0,00	0,01	87,92
TDS_14E	318	Borda	22,69	0,08	23,50	33,96	0,22	6,81	0,00	0,00	0,00	87,26
TDS_14E	319	Borda	24,62	0,10	24,70	22,28	0,15	16,01	0,00	0,01	0,01	87,93
TDS_14E	320	Centro	25,33	0,03	24,66	21,99	0,12	16,22	0,00	0,00	0,00	88,42
TDS_14E	321	Borda	25,04	0,15	23,83	21,73	0,19	16,68	0,00	0,02	0,00	87,67
TDS_14E	322	Borda	25,08	0,03	24,37	22,41	0,09	16,17	0,01	0,00	0,02	88,25

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	OH
5,085	2,915	3,109	0,004	5,395	0,030	3,323	0,008	0,001	0,000	19,884	0,000
5,178	2,822	3,057	0,009	5,210	0,033	3,537	0,004	0,004	0,005	19,866	0,000
4,994	3,006	3,272	0,001	7,128	0,090	1,363	0,000	0,000	0,004	19,858	0,000
4,942	3,058	3,226	0,011	7,298	0,099	1,233	0,003	0,006	0,000	19,891	0,000
4,920	3,080	3,267	0,013	6,944	0,059	1,576	0,006	0,000	0,002	19,878	0,000
5,050	2,950	3,211	0,014	6,321	0,041	2,258	0,000	0,001	0,000	19,846	0,000
5,077	2,923	3,076	0,016	3,842	0,026	4,920	0,000	0,004	0,002	19,896	0,000
5,174	2,826	3,106	0,005	3,757	0,021	4,940	0,000	0,000	0,000	19,840	0,000
5,166	2,834	2,957	0,023	3,750	0,033	5,131	0,000	0,008	0,000	19,908	0,000
5,152	2,848	3,045	0,004	3,849	0,015	4,949	0,003	0,000	0,004	19,883	0,000

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
TDS_15	323	Borda	25,93	0,00	22,05	20,23	0,64	18,24	0,02	0,00	0,00	87,12
TDS_15	324	Centro	26,02	0,00	21,81	20,27	0,62	18,30	0,05	0,02	0,00	87,09

Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations	OH
5,358	2,642	2,723	0,000	3,495	0,112	5,617	0,004	0,002	0,000	19,953	0,000
5,379	2,621	2,688	0,000	3,505	0,109	5,640	0,012	0,007	0,000	19,961	0,000

ANFIBÓLIO

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
TDS_15	325	Borda	42,59	0,60	11,44	19,03	0,40	9,21	11,68	1,20	1,25	97,57
TDS_15	326	Borda	41,78	0,56	12,21	19,52	0,46	8,79	11,82	1,41	1,42	97,97
TDS_15	327	Centro	43,53	0,59	10,62	18,25	0,46	9,78	11,88	1,13	1,06	97,38
TDS_15	328	Borda	41,76	0,64	11,88	19,44	0,49	9,09	11,44	1,17	1,30	97,27
TDS_15	329	Borda	42,38	0,56	11,42	19,05	0,41	9,09	11,57	1,23	1,28	97,01
TDS_15	330	Centro	42,37	0,67	10,93	19,56	0,48	8,82	11,51	1,07	1,18	96,60
TDS_15	331	Borda	42,08	0,53	11,65	20,11	0,43	8,31	11,41	1,12	1,29	96,93
TDS_15	332	Borda	41,71	0,65	11,79	19,35	0,43	8,85	11,52	1,08	1,30	96,70
TDS_15	333	Borda	41,74	0,66	11,65	19,77	0,47	8,92	11,67	1,11	1,23	97,29
TDS_15	334	Centro	43,00	0,66	10,56	19,73	0,39	9,11	11,45	1,01	1,14	97,05
TDS_15	335	Borda	42,09	0,61	11,59	19,30	0,43	9,13	11,48	1,18	1,22	97,02
TDS_15	336	Centro	43,18	0,53	10,75	18,66	0,40	9,51	11,57	1,01	1,08	96,80
TDS_15	337	Borda	43,72	0,52	10,57	18,82	0,38	9,55	11,76	1,05	1,07	97,65
TDS_15	338	Centro	41,95	0,71	11,90	19,91	0,41	8,64	11,59	1,23	1,34	97,72

TSi	TAI	TTi	CAI	CTi	CMg	CFe ²⁺	CMn	CCa	BMg	BFe ²⁺	BMn	BCa	BNa	ACa	ANa	AK	Cations
6,961	1,039	0,000	1,163	0,074	2,243	1,520	0,000	0,000	0,000	1,081	0,056	0,863	0,000	1,182	0,379	0,261	16,822
6,392	1,608	0,000	0,592	0,064	2,005	2,339	0,000	0,000	0,000	0,159	0,059	1,782	0,000	0,155	0,419	0,277	15,851
6,849	1,151	0,000	0,816	0,070	2,294	1,820	0,000	0,000	0,000	0,581	0,061	1,358	0,000	0,644	0,343	0,212	16,199
6,511	1,489	0,000	0,694	0,075	2,114	2,117	0,000	0,000	0,000	0,418	0,065	1,517	0,000	0,395	0,354	0,259	16,008
6,556	1,444	0,000	0,636	0,065	2,097	2,202	0,000	0,000	0,000	0,262	0,053	1,684	0,000	0,233	0,367	0,253	15,853
6,566	1,434	0,000	0,561	0,078	2,036	2,324	0,000	0,000	0,000	0,211	0,063	1,726	0,000	0,184	0,322	0,233	15,739
6,484	1,516	0,000	0,598	0,061	1,910	2,431	0,000	0,000	0,000	0,161	0,056	1,784	0,000	0,101	0,335	0,253	15,688
6,477	1,523	0,000	0,633	0,076	2,049	2,242	0,000	0,000	0,000	0,271	0,057	1,672	0,000	0,243	0,325	0,257	15,826
6,623	1,377	0,000	0,800	0,078	2,109	2,012	0,000	0,000	0,000	0,612	0,063	1,326	0,000	0,659	0,341	0,248	16,248
6,607	1,393	0,000	0,518	0,076	2,086	2,320	0,000	0,000	0,000	0,215	0,051	1,734	0,000	0,151	0,300	0,223	15,674
6,457	1,543	0,000	0,551	0,071	2,088	2,291	0,000	0,000	0,000	0,185	0,055	1,759	0,000	0,128	0,350	0,239	15,717
6,917	1,083	0,000	0,946	0,064	2,271	1,719	0,000	0,000	0,000	0,782	0,055	1,164	0,000	0,822	0,313	0,221	16,356
7,200	0,800	0,000	1,251	0,064	2,345	1,340	0,000	0,000	0,000	1,252	0,053	0,695	0,000	1,381	0,334	0,224	16,939
6,514	1,486	0,000	0,689	0,083	2,001	2,227	0,000	0,000	0,000	0,358	0,054	1,588	0,000	0,341	0,369	0,266	15,976

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
TDS_58A	351	Borda	42,27	0,52	14,91	18,38	0,15	7,26	11,40	1,03	0,96	97,14

TDS_58A	352	Borda	41,28	0,53	14,87	18,53	0,19	7,45	11,50	1,14	0,97	96,79
TDS_58A	353	Borda	41,46	0,61	15,06	18,57	0,18	7,55	11,51	1,15	0,96	97,31
TDS_58A	354	Borda	41,85	0,64	14,89	18,68	0,21	7,51	11,59	1,03	0,95	97,57
TDS_58A	355	Borda	41,63	0,58	14,63	18,73	0,26	7,39	11,45	1,04	0,92	96,68
TDS_58A	356	Centro	40,86	0,67	15,48	18,62	0,22	7,49	11,58	1,12	0,96	97,08
TDS_58A	357	Borda	41,57	0,58	15,13	18,78	0,14	7,54	11,55	1,17	0,98	97,59
TDS_58A	358	Centro	39,46	0,75	14,23	18,56	0,24	7,59	11,64	1,11	1,11	95,05
TDS_58A	359	Borda	40,97	0,68	15,69	18,61	0,30	7,29	11,56	1,12	1,07	97,45
TDS_58A	360	Borda	41,09	0,63	15,37	18,46	0,28	7,56	11,72	1,09	0,95	97,34
TDS_58A	361	Borda	40,60	0,58	15,75	18,44	0,27	7,31	11,56	1,11	1,05	97,03
TDS_58A	362	Borda	39,98	0,58	16,38	19,29	0,31	6,66	11,62	1,17	1,02	97,16
TDS_58A	363	Centro	41,60	0,74	15,10	18,63	0,25	7,69	11,62	1,10	0,98	97,89
TDS_58A	364	Centro	40,86	0,60	15,21	18,32	0,27	7,58	11,64	1,11	1,04	96,87
TDS_58A	365	Centro	40,89	0,65	15,30	18,88	0,23	7,57	11,61	1,12	1,04	97,63
TDS_58A	366	Borda	41,53	0,59	15,08	18,61	0,26	7,57	11,66	1,15	1,04	97,82
TDS_58A	367	Centro	41,26	0,54	15,17	18,50	0,25	7,55	11,56	1,10	0,96	97,05
TDS_58A	368	Borda	41,02	0,66	15,17	18,82	0,31	7,36	11,67	1,08	0,97	97,32
TDS_58A	369	Borda	41,37	0,52	14,98	18,23	0,29	7,61	11,68	1,06	1,03	97,06
TDS_58A	370	Centro	41,47	0,60	15,36	18,51	0,28	7,49	11,66	1,09	1,11	98,03
TDS_58A	371	Borda	41,29	0,67	15,13	18,14	0,25	7,57	11,69	1,06	0,95	96,92
TDS_58A	372	Borda	41,22	0,60	14,95	18,61	0,23	7,49	11,60	1,06	1,04	97,17
TDS_58A	373	Centro	41,16	0,54	15,43	18,37	0,26	7,42	11,74	1,11	1,12	97,39
TDS_58A	374	Borda	41,32	0,72	15,62	18,59	0,23	7,32	11,73	1,07	1,01	97,68
TDS_58A	375	Centro	41,13	0,64	15,42	18,43	0,28	7,42	11,83	1,13	1,04	97,55
TDS_58A	376	Borda	41,20	0,66	15,38	18,62	0,30	7,35	11,65	1,09	1,02	97,37
TDS_58A	377	Centro	40,46	0,63	15,55	18,60	0,22	7,21	11,72	1,12	1,14	96,77
TDS_58A	378	Borda	40,79	0,59	15,92	18,75	0,28	7,10	11,74	1,04	1,01	97,51
TDS_58A	379	Centro	41,30	0,66	15,11	18,58	0,21	7,59	11,59	1,07	0,96	97,32
TDS_58A	380	Borda	42,86	0,58	13,34	17,01	0,18	9,09	11,75	1,06	0,87	96,79
TDS_58A	381	Centro	42,80	0,57	12,63	16,68	0,18	9,39	11,54	0,98	0,76	95,73
TDS_58A	382	Borda	43,05	0,64	12,58	16,26	0,22	9,28	11,75	0,94	0,80	95,70
TDS_58A	383	Borda	42,60	0,57	13,58	17,05	0,15	8,89	11,74	1,04	0,82	96,78
TDS_58A	384	Centro	42,88	0,49	13,30	17,18	0,16	8,99	11,63	1,04	0,92	96,85
TDS_58A	385	Borda	40,61	0,64	16,09	18,47	0,21	7,22	11,64	1,09	1,09	97,24
TDS_58A	386	Centro	41,01	0,77	15,28	18,17	0,23	7,49	11,63	1,08	1,07	96,98

TSi	TAI	TTi	CAI	CTi	CMg	CFe ²⁺	CMn	CCa	BMg	BFe ²⁺	BMn	BCa	BNa	ACa	ANa	AK	Cations
6,385	1,615	0,000	1,037	0,059	1,635	2,064	0,009	0,000	0,000	0,063	0,009	1,846	0,082	0,000	0,221	0,184	15,405
6,271	1,729	0,000	0,932	0,061	1,688	2,019	0,012	0,000	0,000	0,048	0,012	1,871	0,069	0,000	0,268	0,188	15,456
6,256	1,744	0,000	0,932	0,069	1,697	1,990	0,012	0,000	0,000	0,053	0,012	1,861	0,074	0,000	0,263	0,185	15,448
6,293	1,707	0,000	0,930	0,072	1,683	2,010	0,013	0,000	0,000	0,048	0,014	1,868	0,071	0,000	0,229	0,183	15,412
6,311	1,689	0,000	0,923	0,066	1,669	2,023	0,016	0,000	0,000	0,049	0,017	1,859	0,075	0,000	0,230	0,178	15,407
6,168	1,832	0,000	0,920	0,076	1,686	1,920	0,014	0,000	0,000	0,045	0,014	1,873	0,068	0,000	0,259	0,184	15,443
6,251	1,749	0,000	0,930	0,066	1,690	1,999	0,009	0,000	0,000	0,056	0,009	1,860	0,075	0,000	0,266	0,189	15,455
6,134	1,866	0,000	0,738	0,087	1,759	1,935	0,016	0,000	0,000	0,013	0,016	1,938	0,033	0,000	0,302	0,220	15,522
6,176	1,824	0,000	0,962	0,077	1,639	1,986	0,019	0,000	0,000	0,042	0,019	1,868	0,071	0,000	0,257	0,205	15,462
6,191	1,809	0,000	0,920	0,071	1,698	1,933	0,018	0,000	0,000	0,032	0,018	1,892	0,057	0,000	0,261	0,182	15,443
6,154	1,846	0,000	0,966	0,066	1,652	1,950	0,017	0,000	0,000	0,040	0,018	1,877	0,066	0,000	0,262	0,203	15,465
6,065	1,935	0,000	0,992	0,066	1,506	2,026	0,020	0,000	0,000	0,032	0,020	1,889	0,059	0,000	0,283	0,196	15,480
6,232	1,768	0,000	0,896	0,083	1,718	1,945	0,016	0,000	0,000	0,047	0,016	1,866	0,072	0,000	0,248	0,188	15,435
6,195	1,805	0,000	0,911	0,069	1,713	1,944	0,017	0,000	0,000	0,033	0,017	1,892	0,058	0,000	0,267	0,201	15,468
6,161	1,839	0,000	0,876	0,074	1,700	1,912	0,015	0,000	0,000	0,044	0,015	1,874	0,067	0,000	0,259	0,199	15,459
6,248	1,752	0,000	0,919	0,066	1,697	2,006	0,016	0,000	0,000	0,040	0,016	1,879	0,064	0,000	0,270	0,199	15,469
6,232	1,768	0,000	0,930	0,062	1,699	1,946	0,016	0,000	0,000	0,044	0,016	1,871	0,069	0,000	0,252	0,184	15,436
6,199	1,801	0,000	0,899	0,075	1,659	1,980	0,020	0,000	0,000	0,031	0,020	1,890	0,059	0,000	0,256	0,188	15,444
6,261	1,739	0,000	0,930	0,059	1,716	1,981	0,019	0,000	0,000	0,031	0,019	1,894	0,056	0,000	0,253	0,199	15,452
6,232	1,768	0,000	0,949	0,067	1,679	2,002	0,017	0,000	0,000	0,039	0,018	1,878	0,065	0,000	0,253	0,212	15,465
6,245	1,755	0,000	0,940	0,076	1,706	1,980	0,016	0,000	0,000	0,033	0,016	1,895	0,056	0,000	0,255	0,182	15,437
6,242	1,758	0,000	0,908	0,068	1,692	1,991	0,015	0,000	0,000	0,040	0,015	1,883	0,063	0,000	0,248	0,201	15,449
6,216	1,784	0,000	0,961	0,062	1,671	2,025	0,016	0,000	0,000	0,030	0,016	1,900	0,053	0,000	0,272	0,215	15,487
6,206	1,794	0,000	0,969	0,081	1,638	2,019	0,015	0,000	0,000	0,038	0,015	1,887	0,060	0,000	0,252	0,193	15,445
6,202	1,798	0,000	0,940	0,073	1,669	2,025	0,018	0,000	0,000	0,024	0,018	1,911	0,048	0,000	0,283	0,200	15,484
6,212	1,788	0,000	0,943	0,074	1,651	2,004	0,019	0,000	0,000	0,036	0,019	1,882	0,063	0,000	0,256	0,195	15,451
6,154	1,846	0,000	0,940	0,072	1,634	2,033	0,014	0,000	0,000	0,027	0,014	1,911	0,048	0,000	0,283	0,220	15,503
6,154	1,846	0,000	0,982	0,067	1,597	1,997	0,018	0,000	0,000	0,030	0,018	1,898	0,054	0,000	0,250	0,195	15,445
6,227	1,773	0,000	0,910	0,075	1,705	1,946	0,013	0,000	0,000	0,046	0,013	1,872	0,068	0,000	0,245	0,185	15,430
6,434	1,566	0,000	0,793	0,066	2,034	1,811	0,011	0,000	0,000	0,040	0,011	1,891	0,058	0,000	0,249	0,166	15,415
6,484	1,516	0,000	0,737	0,065	2,121	1,717	0,012	0,000	0,000	0,048	0,012	1,873	0,068	0,000	0,220	0,147	15,368
6,532	1,468	0,000	0,780	0,073	2,098	1,827	0,014	0,000	0,000	0,028	0,014	1,910	0,048	0,000	0,227	0,155	15,383
6,414	1,586	0,000	0,823	0,065	1,996	1,822	0,010	0,000	0,000	0,040	0,010	1,894	0,057	0,000	0,246	0,158	15,404
6,450	1,550	0,000	0,806	0,056	2,015	1,825	0,010	0,000	0,000	0,049	0,010	1,874	0,067	0,000	0,235	0,176	15,411
6,134	1,866	0,000	0,996	0,072	1,626	1,973	0,013	0,000	0,000	0,041	0,013	1,884	0,062	0,000	0,258	0,210	15,468
6,214	1,786	0,000	0,941	0,088	1,692	2,000	0,015	0,000	0,000	0,037	0,015	1,888	0,060	0,000	0,258	0,206	15,464

Amostra	Análise	Local	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
TDS_59A	387	Borda	42,60	0,78	13,24	18,74	0,29	7,91	11,22	1,36	0,44	96,61
TDS_59A	388	Centro	43,46	0,74	12,13	19,00	0,29	8,52	11,31	1,32	0,39	97,28
TDS_59A	389	Borda	41,45	0,88	12,61	18,54	0,28	8,21	11,27	1,27	0,37	94,99
TDS_59A	390	Centro	42,99	0,86	12,79	19,01	0,25	8,17	11,24	1,30	0,43	97,05
TDS_59A	391	Borda	43,20	0,80	12,87	19,02	0,26	8,30	11,27	1,33	0,42	97,57
TDS_59A	392	Centro	42,81	0,82	12,95	18,86	0,31	8,10	11,44	1,37	0,42	97,12
TDS_59A	393	Borda	42,68	0,94	13,01	18,82	0,31	7,98	11,27	1,38	0,46	96,88
TDS_59A	394	Centro	42,93	0,99	12,64	18,92	0,27	8,47	11,37	1,28	0,42	97,39
TDS_59A	395	Borda	42,73	1,04	12,87	18,86	0,26	8,23	11,40	1,45	0,45	97,42
TDS_59A	396	Centro	42,14	1,00	13,36	18,91	0,33	8,13	11,26	1,46	0,45	97,13
TDS_59A	397	Borda	42,41	0,91	13,16	18,56	0,31	7,91	11,34	1,36	0,43	96,54
TDS_59A	398	Centro	42,45	0,95	13,43	18,68	0,25	7,86	11,29	1,34	0,45	96,80
TDS_59A	399	Borda	43,21	0,77	12,55	18,99	0,24	8,18	11,22	1,28	0,40	96,88
TDS_59A	400	Borda	42,95	0,91	12,87	19,14	0,30	8,24	11,28	1,36	0,41	97,59
TDS_59A	401	Centro	42,28	0,82	13,31	18,70	0,32	7,92	11,25	1,38	0,46	96,46
TDS_59A	402	Borda	42,81	0,79	13,21	19,11	0,28	8,14	11,55	1,31	0,40	97,88
TDS_59A	403	Borda	42,17	0,73	13,40	19,19	0,36	7,79	11,26	1,32	0,48	96,80
TDS_59A	404	Centro	42,98	0,95	13,15	19,32	0,32	7,99	11,29	1,33	0,44	97,82
TDS_59A	405	Borda	42,63	0,69	13,19	18,78	0,33	7,90	11,35	1,25	0,41	96,57
TDS_59A	406	Centro	42,40	0,82	12,62	19,02	0,35	8,12	11,17	1,31	0,39	96,23
TDS_59A	407	Centro	42,91	0,96	13,04	19,25	0,29	8,18	11,27	1,32	0,45	97,68
TDS_59A	408	Borda	42,10	0,89	12,79	19,12	0,30	8,25	11,20	1,27	0,44	96,42
TDS_59A	409	Borda	43,02	0,89	12,69	18,78	0,28	8,41	11,46	1,36	0,48	97,49
TDS_59A	410	Centro	42,24	0,86	13,34	18,74	0,29	8,16	11,35	1,45	0,48	97,03

TSi	TAI	TTi	CAI	CTi	CMg	CFe ²⁺	CMn	CCa	BMg	BFe ²⁺	BMn	BCa	BNa	ACa	ANa	AK	Cations
6,445	1,555	0,000	0,805	0,089	1,783	2,016	0,018	0,000	0,000	0,067	0,018	1,818	0,097	0,000	0,303	0,084	15,388
6,526	1,474	0,000	0,672	0,083	1,907	1,950	0,018	0,000	0,000	0,066	0,019	1,819	0,096	0,000	0,288	0,074	15,362
6,375	1,625	0,000	0,660	0,102	1,883	1,875	0,018	0,000	0,000	0,048	0,018	1,858	0,076	0,000	0,303	0,072	15,375
6,469	1,531	0,000	0,735	0,097	1,833	1,978	0,016	0,000	0,000	0,072	0,016	1,812	0,100	0,000	0,278	0,083	15,361
6,466	1,534	0,000	0,734	0,090	1,852	1,949	0,016	0,000	0,000	0,073	0,017	1,808	0,102	0,000	0,285	0,079	15,364
6,449	1,551	0,000	0,746	0,092	1,818	2,021	0,019	0,000	0,000	0,052	0,020	1,847	0,082	0,000	0,318	0,081	15,399
6,447	1,553	0,000	0,763	0,107	1,796	2,036	0,020	0,000	0,000	0,063	0,020	1,824	0,094	0,000	0,311	0,089	15,399
6,437	1,563	0,000	0,669	0,111	1,894	1,902	0,017	0,000	0,000	0,064	0,017	1,826	0,093	0,000	0,278	0,080	15,358
6,427	1,573	0,000	0,707	0,118	1,845	2,018	0,017	0,000	0,000	0,059	0,017	1,838	0,087	0,000	0,335	0,086	15,422

6,349	1,651	0,000	0,721	0,113	1,827	1,932	0,021	0,000	0,000	0,064	0,021	1,817	0,097	0,000	0,328	0,086	15,414
6,435	1,565	0,000	0,786	0,104	1,789	2,046	0,019	0,000	0,000	0,054	0,020	1,843	0,084	0,000	0,317	0,083	15,399
6,416	1,584	0,000	0,807	0,108	1,772	2,025	0,016	0,000	0,000	0,064	0,016	1,828	0,091	0,000	0,302	0,087	15,389
6,512	1,488	0,000	0,739	0,088	1,837	1,998	0,015	0,000	0,000	0,072	0,015	1,812	0,100	0,000	0,274	0,077	15,351
6,438	1,562	0,000	0,708	0,102	1,841	1,952	0,019	0,000	0,000	0,069	0,019	1,811	0,101	0,000	0,293	0,079	15,372
6,409	1,591	0,000	0,786	0,093	1,789	2,003	0,021	0,000	0,000	0,060	0,021	1,828	0,092	0,000	0,314	0,088	15,402
6,408	1,592	0,000	0,737	0,088	1,816	1,962	0,018	0,000	0,000	0,051	0,018	1,853	0,078	0,000	0,301	0,077	15,378
6,380	1,620	0,000	0,768	0,082	1,757	1,975	0,023	0,000	0,000	0,058	0,023	1,825	0,093	0,000	0,293	0,092	15,385
6,428	1,572	0,000	0,744	0,106	1,782	1,999	0,020	0,000	0,000	0,069	0,020	1,809	0,101	0,000	0,284	0,084	15,368
6,448	1,552	0,000	0,797	0,078	1,782	1,998	0,021	0,000	0,000	0,054	0,021	1,840	0,085	0,000	0,280	0,080	15,360
6,437	1,563	0,000	0,693	0,094	1,839	1,937	0,022	0,000	0,000	0,063	0,023	1,817	0,098	0,000	0,288	0,076	15,364
6,418	1,582	0,000	0,715	0,108	1,823	1,946	0,018	0,000	0,000	0,072	0,018	1,806	0,103	0,000	0,280	0,085	15,365
6,378	1,622	0,000	0,661	0,101	1,863	1,861	0,019	0,000	0,000	0,066	0,019	1,818	0,097	0,000	0,276	0,085	15,360
6,455	1,545	0,000	0,699	0,100	1,881	1,976	0,018	0,000	0,000	0,055	0,018	1,843	0,084	0,000	0,311	0,092	15,403
6,373	1,627	0,000	0,743	0,098	1,835	1,955	0,019	0,000	0,000	0,059	0,019	1,834	0,089	0,000	0,335	0,092	15,427