



FERNANDO GALVÃO KLEIN

**PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS,
ARROIO GRANDE, RS**

Porto Alegre
2012

FERNANDO GALVÃO KLEIN

**PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS,
ARROIO GRANDE, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia no Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul.

Orientador: Edinei Koester
Co-orientador: Ruy Paulo Philipp

Porto Alegre
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS,
ARROIO GRANDE, RS**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**Petrologia do Granito Três Figueiras, Arroio Grande, RS**”, elaborado por FERNANDO GALVÃO KLEIN, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria de Fátima Aparecida Saraiva Bitencourt (UFRGS)

Profa. Dra. Maria do Carmo Pinto Gastal (UFRGS)

Porto Alegre
2012

À minha mãe, Fernanda Galvão.

Ao meu irmão, Ivandro Klein.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente um obrigado à minha família.

Meu irmão e minha mãe, por todo apoio e incentivo durante esses cinco anos de curso: vocês são fundamentais na minha vida e parte disso tudo é de vocês.

Ao meu pai, pelo exemplo de boa pessoa que sempre foi. Obrigado.

Aos tios, Adriana e Marcio, por sempre terem incentivado e acreditado na minha educação.

Um grande obrigado aos meus orientadores: Edinei Koester, pela confiança e oportunidade de bolsa quando decidi trocar de área, e por ter sido bastante presente durante todo trabalho e pelas discussões, que foram muito importantes durante todo período de bolsa. Ao professor Ruy Philipp, por ter cedido gentilmente algumas das lâminas utilizadas e pelas valiosas discussões.

Ao professor Iannuzi, pela minha primeira oportunidade de bolsa e introdução ao mundo científico.

A todos aqueles que contribuíram de certa forma, facilitando o desenvolvimento do trabalho. Ao Marcelo e ao Giuliano, técnicos do anexo por terem permitido o uso do espaço e equipamentos dos laboratórios e prestado auxílio quando necessário.

Ao Prof. De Ros e a Prof^a. Lídia Vignol, por terem cedido gentilmente os equipamentos para aquisição das micrografias.

A todos aqueles que ajudaram em minhas dificuldades técnicas. A minha colega Amanda, por ter ajudado no tratamento de imagens em *softwares* de edição gráfica. A minha amiga Valéria Bettio pela ajuda com a formatação do texto. Ao meu amigo Jorge Pacheco, por ter auxiliado com os fotomosaicos. Ao meu amigo Rust Costa pela revisão do *abstract*.

Por fim, a todos os colegas e professores com os quais travei discussões geológicas durante todo o curso.

A todos meus amigos, obrigado.

*To see a world in a grain of sand
And a heaven in a wild flower
Hold infinity in the palm of your hand
And eternity in an hour*

Para ver o mundo em um grão de areia
E o paraíso em uma flor silvestre
Segure a infinidade na palma da mão
E a eternidade em uma hora

(William Blake)

RESUMO

Poucos estudos petrológicos têm sido realizados na porção sul do batólito. O presente trabalho tem como objetivo a caracterização petrológica do Granito Três Figueiras, a partir da integração dos dados de mapeamento geológico, geologia estrutural, petrografia e geoquímica. O Granito Três Figueiras aflora na forma de cristas e lajeados e constitui um corpo alongado com direção 075° - 255° com aproximadamente 32 km de comprimento e espessura variando de 6 km na porção oeste até 12 km na porção leste. Delimita-se a oeste pelas rochas do Complexo Pinheiro Machado, ao norte pelo Granito Chasqueiro e ao leste-sudeste pelos sedimentos quaternários da planície costeira. Identificaram-se duas porções distintas do granito: uma indeformada e outra deformada em diferentes graus. Petrograficamente, ambas apresentam a mesma mineralogia, com composição sieno a monzogranítica a base de quartzo, K-feldspato, plagioclásio, muscovita \pm biotita, com granada, turmalina e zircão como minerais acessórios. A porção deformada possui estrutura protomilonítica a milonítica e textura porfiroclástica, caracterizada por porfiroclastos de feldspato e muscovita (*mica-fish*) de até 1 cm, imersos em uma matriz granoblástica inequigranular interlobada a poligonal média, constituída por quartzo e feldspato, subordinadamente, apresenta textura lepidoblástica média, definida por agregados de muscovita e biotita. A porção magmática apresenta estrutura maciça e textura heterogranular média, com presença de muscovita e biotita primárias, caracterizando esse corpo granítico como um granito a duas micas. Na porção milonítica, a foliação tectônica é subvertical com mergulho $>70^{\circ}$ para SE, marcada pelo alinhamento preferencial das micas e agregados estirados de quartzo e feldspato, com direção $N81^{\circ}E$. Associado essa foliação, apresenta uma lineação de estiramento do quartzo sub-horizontal com caimento de até 10° para ENE. Geoquimicamente, apresenta teores normais de SiO_2 , Al_2O_3 , teores elevados de álcalis, teores intermediários de CaO e baixos teores de MgO e FeO. Em diagramas

multielementares, o conjunto de amostras apresenta padrões semelhantes, sem variações significativas, o que indica uma fonte relativamente homogênea para o Granito Três Figueiras.

Palavras-chave: Granito Três Figueiras. Petrologia. Arroio Grande.

ABSTRACT

A few petrological studies have been released in the south portion of Pelotas Batholith. The present work aims the petrological characterization of the Três Figueiras Metagranite, based on the integration between geological mapping, structural geology, petrographic descriptions and geochemistry. The Três Figueiras Metagranite consisting of a long body with direction 075°-255°, which is approximately 32 km long and varying from 6 km west up to 12 km east. It is delimited to the West by the rocks of Pinheiro Machado Complex, to the north by the Chasqueiro Granite, and to the east–southeast by the quaternary sediments of the coastal plain. Two distinct portions were identified: one undeformed and another deformed under different grades. Petrographically, both show the same mineralogy and composition, varying from sienogranites to monzogranites with main mineral constituents formed by quartz, K-feldspar, plagioclase, muscovite ± biotite, with garnet, tourmaline, zircon and apatite as accessory minerals. The deformed portion, which has a protomylonitic to mylonitic structure and a porphyroclastic texture marked by feldspar and mica fish porphyroclasts up to 1 cm immersed in a medium granoblastic matrix ranging from interlobate to polygonal is constituted by quartz and feldspar. On a secondary level, it presents medium lepidoblastic texture defined by muscovite and biotite aggregates. The undeformed portion, which is isotropic with a medium heterogranular texture with magmatic muscovite and biotite, defines the Três Figueiras Metagranite as a two-mica granite. In the mylonitic portion, the foliation is subvertical with dip > 70° to SE, marked by the preferential orientation of micas and stretched quartz-feldspar aggregates with direction N81°E. Associated to this foliation, this Metagranite shows a sub horizontal stretching lineation with a plunge up to 10° to ENE. Geochemically, it shows high levels of Al₂O₃, SiO₂ and alcalis, intermediate levels of CaO and low levels of MgO and FeO. The multi-

elementar diagrams showed a similar pattern for all the samples, which indicates an homogeneous source for the Granito Três Figueiras.

Keywords: Três Figueiras Granite. Petrology. Arroio Grande.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo esquemático de uma zona de cisalhamento com seus diferentes produtos gerados em diferentes profundidades e por processos diferentes.....	4
Figura 2 - A) Geológico e de localização do Granito Três Figueiras, no rio Grande do Sul no Brasil, de coloração rosa e com prefixo de G3f, sendo o principal acesso pela BR-116.....	6
Figura 3 - Mapa simplificado de localização do Rio Grande do Sul no Brasil, e deste na América do Sul. Mapa tectônico simplificado com as principais unidades do Escudo Sul-Rio-Grandense e Cráton Rio de La Plata.....	7
Figura 4 - Mapa geodinâmico do supercontinente Gondwana; b) Mapa geotectônico do Pré-Cambriano do Uruguai e Rio Grande do Sul, com a área de estudo indicada na figura 1 Fonte: adaptado de Fernandes et al. (1995)	8
Figura 5 - Fluxograma projectual mostrando o cronograma e etapas a serem realizadas no projeto.	15
Figura 6 - Procedimentos de campo; A) análise geral do afloramento; B) Descrição das litologias; C) Coleta de amostras para petrografia e análises químicas; D) Coleta de dados estruturais.	17
Figura 7 - Modelo esquemático de como orientar uma amostra em afloramento: a) afloramento com a foliação indicada por S e lineação por L; b) Coloca-se um plano de direção e mergulho em uma superfície para orientar a amostra no espaço; c) Marca-se o corte da amostra no plano normal a foliação e paralelo a lineação (XZ); d) Delimita-se a área onde será feita a lâmina delgada, com a marcação de orientação da amostra; e) determina-se o sentido de movimento.	20
Figura 8 - Microscópio ótico utilizado para descrição das amostras da marca <i>Meiji Techno®</i> , modelo ML9720.....	21
Figura 9 - Esquema geral de um espectrômetro de massas.	25
Figura 10 - Afloramentos da porção indeformada do Granito Três Figueiras, em forma de lajeados à esquerda e matacões à direita.	27
Figura 11 - Aspecto macroscópico do Granito Três Figueiras na porção indeformada	27
Figura 12 - Cristas alongadas com orientação W-E, que configuram quebras de relevo e se destacam na paisagem da região.....	28
Figura 13 - A) Imagem de satélite das cristas visualizadas no terreno obtidas no <i>software google Earth</i> , do Granito Três Figueiras. B) Afloramento em lajeado alongado W-E; C) Cristas alongadas W-E.	29
Figura 14 - Aspectos macroscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Aspecto geral, com foliação milonítica sub-vertical; B) Detalhe para foliação milonítica com aspecto anastomosado; C) Protomilonito com porfiroclastos de feldspato e muscovita e agregados formando a lineação de estiramento mineral; D) Milonito com porfiroclastos de K-feldspato.	30
Figura 15 - Estereogramas da foliação do Granito Três Figueiras mostrando a direção principal W-E e o mergulho preferencial para SE: A) Pólos das foliações; B) Diagrama de <i>Karlsbeek</i> mostrando a contagem dos pólos da foliação.	31
Figura 16 - Estereogramas com representação das lineações de estiramento.e diagrama de <i>Karlsbeek</i> mostrando três campos de concentração: A) Estereograma com as lineações de estiramento do quartzo. B) Diagrama de <i>Karlsbeek</i> mostrando a atitude média da lineação de estiramento principal de 083 e caimento 10°	32
Figura 17 - Indicadores cinemáticos dextais em agregados e cristais de feldspato no Granito Três Figueiras	33

Figura 18 - Indicadores cinemáticos dextrais em cristais e agregados de feldspato no Granito Três Figueiras	34
Figura 19 - Aspectos microscópicos dos estágios não deformados do Granito Três Figueiras. A) Cristal de muscovita, LP; B) Cristal de muscovita, LN; C) Cristais de muscovita e biotita, LP; D) Cristais de muscovita e biotita, LN; E) Textura inequigranular alotriomórfica em quartzo e feldspatos, LP; F) Detalhe na textura alotriomórfica e cristais de K-feldspato com dupla macla.....	37
Figura 20 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação incipiente do Granito Três Figueiras: A) Cristal de granada envolto por foliação incipiente marcada pelas micas, LP; B) Cristal de granada fraturado, LN; C) Porfiroclastos de muscovita (mica fish) começando a formar a foliação milonítica; D) Cristal de plagioclásio fraturado, evidenciando a deformação rúptil; E) Quartzo com extinção ondulante e começando a formar subgrãos; F) Recristalização incipiente do quartzo e formação de textura interlobada.	39
Figura 21 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Porfiroclasto de muscovita, LP; B) Porfiroclasto de K-feldspato com bordas começando a recristalizar e sombras de deformação ocupadas por quartzo recristalizado, LP; C) Porfiroclasto de plagioclásio começando a recristalizar nas bordas, LP; D) Porfiroclasto de granada, notar a diferença de tamanho de grão entre matriz e porfiroclastos, LP; E) Matriz com textura granoblástica poligonal em quartzo e feldspato, LP; F) Detalhe na matriz com textura granoblástica poligonal, formada por quartzo e feldspato, LP.....	42
Figura 22 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Porfiroclasto de K-feldspato recristalizado e começando a formar pertitas, LP; B) Mesmo porfiroclasto da foto A com giro da platina de 45°. Notar a dupla macla restrita a uma borda do cristal; C) Detalhe porfiroclastos de K-feldspato com deformação da macla e formação de mirmequitos nas bordas; D) Textura do quartzo em fita na foliação milonítica, envolvendo porfiroclastos de K-feldspato e plagioclásio; E) Porfiroclasto de K-feldspato começando a recristalizar e formando mirmequitos nas bordas; F) Detalhe da matriz com textura granoblástica poligonal mais grossa.	43
Figura 23 - Fotomosaicos em LP mostrando os diferentes estágios e a evolução da deformação: A) Estágio não deformado; B) Estágio com deformação incipiente; C) Estágio com deformação intermediária, notar a formação da foliação milonítica e porfiroclastos; D) Estágio de deformação intermediária com algumas feições de deformação avançada. Notar o processo de cominuição mais efetivo e formação de uma textura mais homogênea.....	46
Figura 24 - Mudanças de comportamento na deformação de agregados de quartzo e feldspato em função da profundidade e temperatura. Linhas retas representam comportamento rúptil, linhas curvas, comportamento dúctil. Em graus muito baixos, ambos possuem comportamento rúptil. Em grau baixo a médio, o quartzo começa a deformar ductilmente e o feldspato começa a formar porfiroclastos com bordas recristalizadas. Em alto grau o quartzo e o feldspato apresentam comportamento semelhante e deformam ductilmente.	47
Figura 25 - Figura comparativa, evidenciando as feições da figura 25 exibidas nos termos com deformação intermediária pelo do Granito Três Figueiras. A muscovita e o feldspato formando porfiroclastos e o quartzo formando agregados estirados e recristalizando para grãos mais finos. Fotomicrografias em LP.	48
Figura 26 - Diagrama de álcalis vs. SiO ₂ (TAS) para as amostras do Granito Três Figueiras.....	52

Figura 27 - Diagrama R1-R2 de classificação química para as amostras do Granito Três Figueiras.....	52
Figura 28 - Diagramas de <i>Harker</i> para os elementos maiores do Granito Três Figueiras.....	53
Figura 29 - Diagramas de <i>harker</i> para os elementos traço do Granito Três Figueiras.	54
Figura 30 - Diagrama de classificação de Shand (1943), mostrando o caráter peraluminoso do Granito Três Figueiras.	55
Figura 31 - Diagrama de SiO ₂ vs. K ₂ O evidenciando a série alto potássio para o Granito Três Figueiras	55
Figura 32 - Diagrama multielementar com padrão normalizado para OIB.....	57
Figura 33 - Diagrama multielementar com padrão normalizado para média da crosta.....	57
Figura 34 - Diagrama multielementar de ETR com padrão normalizado para o condrito.....	58
Figura 35 - Diagrama R1-R2 de discriminação tectônica mostrando o caráter sintectônico do Granito Três Figueiras.	59
Figura 36 - Diagramas de discriminação tectônica evidenciando o caráter sintectônico do Granito Três Figueiras	59
Figura 37 - Diagramas <i>Harker</i> para os metagranitos da Suíte Granítica Cordilheira e Granito Três Figueiras.	61
Figura 38 - Diagrama A/CNK para os metagranitos da Suíte Granítica Cordilheira e Granito Três Figueiras.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises químicas dos elementos maiores do Granito Três Figueiras.....	50
Tabela 2: Análises químicas de elementos traço do Granito Três Figueiras.....	50
Tabela 3: Análises químicas de elementos terras raras do Granito Três Figueiras.....	51
Tabela 4: Cálculo da Norma CIPW para o Granito Três Figueiras.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BP – Batólito Pelotas

cm – Centímetros

DEMIPE – Departamento de Mineralogia e Petrologia

ETR – Elementos Terra Raras

GPS – Global Positioning System

HFSE – High Field Strength Elements

ICP – Inductively Coupled Plasma

ICPMS – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer

IGEO – Instituto de Geociências

LILE – Large Ion Lithophile Elements

LN – Luz Natural

LP – Luz Polarizada

m – Metros

Ma – Milhões de Anos

MAF – Metagranito Arroio Francisquinho

MC – Metagranito Cordilheira

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

mm – Milímetros

MTF – Granito Três Figueiras

PPB – Partes por Bilhão

PPM – Partes por Milhão

QAP – Quartzo, feldspato alcalino, Plagioclásio

SGC – Suíte Granítica Cordilheira

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTM – Universal Transversa de Mercator

ZCAG – Zona de Cisalhamento Arroio Grande

ZCTDC – Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal do Canguçu

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2
1.1 PROBLEMA	2
1.2 PREMISSAS E HIPÓTESES	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO	7
2.2 O GRANITO TRÊS FIGUEIRAS	9
3 METODOLOGIAS	14
3.1 TRABALHOS DE CAMPO	16
3.2 PETROGRAFIA	18
3.3 GEOQUÍMICA.....	21
4 GEOLOGIA E ESTRURA DA ÁREA.....	26
4.1 RESULTADOS.....	26
4.2 DISCUSSÃO.....	32
5 PETROGRAFIA.....	35
5.1 RESULTADOS.....	35
5.1.1 ESTÁGIOS SEM DEFORMAÇÃO	35
5.1.2 ESTÁGIOS DEFORMADOS.....	38
5.1.2.1 ESTÁGIOS DE DEFORMAÇÃO INCIPIENTE	38
5.1.2.2 ESTÁGIO DE DEFORMAÇÃO INTERMEDIÁRIA	40
5.2 DISCUSSÃO.....	44
6 GEOQUÍMICA	49
6.1 RESULTADOS.....	49
6.2 DISCUSSÃO.....	60
7 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

Poucos estudos petrológicos têm sido realizados na porção sul do batólito, com exceção de alguns trabalhos que não entraram em escala de detalhe (UFRGS 1972, Trainini 1987, Philipp 1991). Em virtude disso, ainda existe uma carência de dados estruturais, geoquímicos e isotópicos de cada unidade. Dentro deste contexto, há um corpo granítico de composição distinta, rico em muscovita, denominado Granito Figueirinha (UFRGS, 1972; Trainini, 1987; Ramos, 2011), Granito Três Figueiras (Philipp, 1998) e Granito Arroio Grande (CPRM, 2007). Neste trabalho, será utilizada a denominação Granito Três Figueiras, sugerida por Philipp (1998).

Ainda restam dúvidas acerca da evolução geológica do Granito Três Figueiras, uma vez que Philipp (1998) por vezes o denomina Granito Três Figueiras, e por vezes Granito Três Figueiras, não ficando claro se é uma rocha ígnea ou metamórfica. Todas as descrições realizadas até o momento (UFRGS 1972, Philipp 1998, CPRM 2007) apontam feições de deformação e milonitização, de modo que é necessário um estudo mais detalhado sobre sua relação com a zona de cisalhamento à qual está associado, a fim de se identificar sua natureza, bem como identificar os processos que atuaram sobre o corpo rochoso e os seus produtos finais.

Com relação à posição estratigráfica do granito, conforme UFRGS (1972) e Philipp (1998), um mapeamento geológico e estrutural detalhado dos granitos da região ainda é necessário, bem como a obtenção de uma idade absoluta por métodos geocronológicos.

1.2 PREMISSAS E HIPÓTESES

Para este trabalho, cujo objetivo é tentar classificar e entender os processos de deformação e metamorfismo que atuaram sobre o Metagranito Três Figuras, as premissas a serem utilizadas são:

1. Granitos peraluminosos, possuem as seguintes características: $[Al_2O_3]_{mol} > [Na_2O]_{mol} + [K_2O]_{mol} + [CaO]_{mol}$ e geralmente são caracterizados pela presença de muscovita e possivelmente outro mineral rico em alumínio, como granada, andalusita, cordierita, turmalina e topázio e são denominados granitos tipo S, devido a sua provável derivação por fusão parcial de rochas do embasamento com origem sedimentar (Gill, 2010).

2. Zonas de Cisalhamento são zonas de alta deformação, que geralmente contém um componente de rotação, refletindo um deslocamento lateral de segmentos da rocha encaixante, um em relação ao outro, onde a deformação se dá heterogeneamente, causando o desenvolvimento de fábricas e assembleias minerais que refletem condições específicas de pressão e temperatura, tipos de fluxo, e senso de movimento (Fig. 1) (Passchier & Trouw, 1996).

3. Milonitos são rochas que possuem foliação tectônica e frequentemente uma lineação associada a essa foliação, que evidenciam uma deformação dúctil acentuada. É um termo estrutural que não reflete composição química ou mineralógica (Passchier & Trouw, 1996).

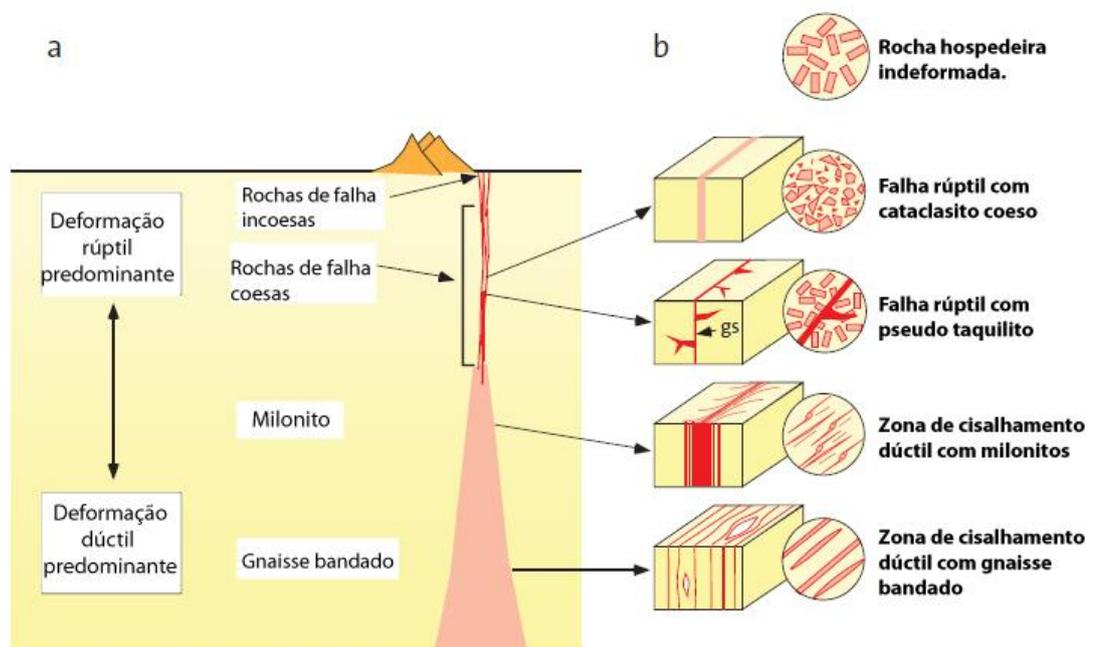


Figura 1 - Modelo esquemático de uma zona de cisalhamento com seus diferentes produtos gerados em diferentes profundidades e por processos diferentes.
 Fonte: Modificado de Trouw et al. (2010)

As principais hipóteses acerca do Granito Três Figueiras são de que constitui um granito peraluminoso a duas micas, intrusivo nas rochas granito-gnáissicas do Complexo Pinheiro Machado, e septos do embasamento encontrados na região e que seja distinto dos demais granitos da SGC por critérios de químicos e estruturais.

Trabalhos anteriores (UFRGS 1972; Philipp, 1998) posicionam este granito como sendo sintectônico a Zona de Cisalhamento Arroio Grande, e descrevem feições de deformação e milonitização, mas não deixam claro qual é a relação do mesmo com a zona de cisalhamento.

Para testar essas hipóteses foram utilizadas as seguintes técnicas: mapeamento geológico de campo, geologia estrutural, petrografia e geoquímica.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é realizar a caracterização petrológica do Granito Três Figueiras, por meio da integração de descrições petrográficas, geoquímica e geologia estrutural, bem como entender melhor sua evolução geológica e relação com as rochas encaixantes e a zona de cisalhamento ao qual está associado.

Como objetivo geral está a comparação deste metagranito com os demais metagranitos da Suíte Granítica Cordilheira, ao qual está relacionado na literatura.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente projeto tem como objeto de estudo o Granito Três Figueiras, que aflora na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul, na região do município de Arroio Grande, situado a aproximadamente 300 km sudoeste de Porto Alegre, com acesso principal pela BR-116 (Fig. 2).

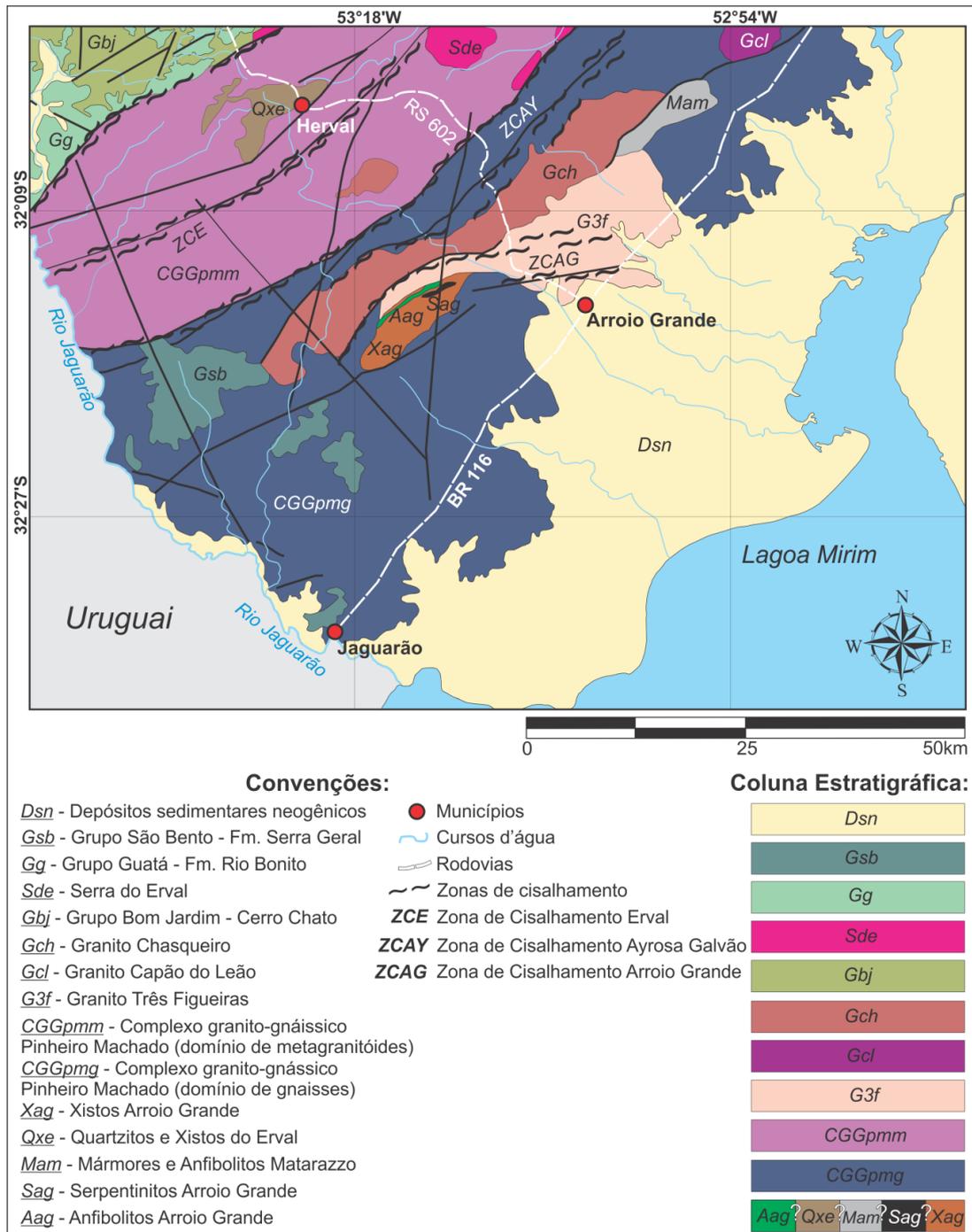


Figura 2 - A) Geológico e de localização do Granito Três Figueiras, no rio Grande do Sul no Brasil, de coloração rosa e com prefixo de G3f, sendo o principal acesso pela BR-116. Fonte: Extraído de Ramos (2011)

2 ESTADO DA ARTE

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Granito Três Figueiras está inserido em um contexto mais amplo, no Escudo Sul-Rio-Grandense, que pode ser dividido em quatro unidades geotectônicas distintas: Bloco Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Cinturão Dom Feliciano (Fig. 3), sendo esta compartimentação baseada em litoestratigrafia, geofísica, petrografia, geoquímica e geologia isotópica. (Chemale Jr., 2000; Hartmann, 2007).

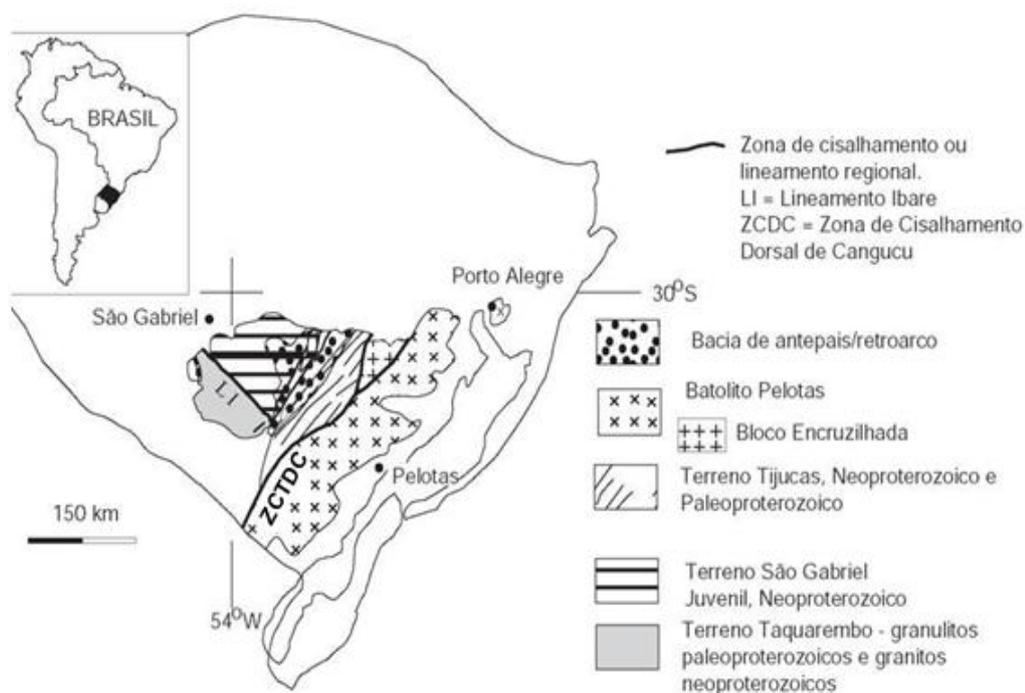


Figura 3 - Mapa simplificado de localização do Rio Grande do Sul no Brasil, e deste na América do Sul. Mapa tectônico simplificado com as principais unidades do Escudo Sul-Rio-Grandense e Cráton Rio de La Plata.

Fonte: Extraído de Hartmann et al. (2007)

Para Fernandes et al. (1995) o Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense pode ser dividido em três domínios geotectônicos distintos, com base em dados geofísicos (Fig.4): Domínio Leste (*Eastern*), Domínio Central (*Central*) e Domínio Oeste (*Western*). Em relação à divisão proposta por Hartmann et al. (2007), o Domínio Leste corresponderia ao Batólito Pelotas e demais rochas associadas, o Domínio Central corresponderia ao Terreno Tijucas e o Domínio Oeste ao Terreno São Gabriel.

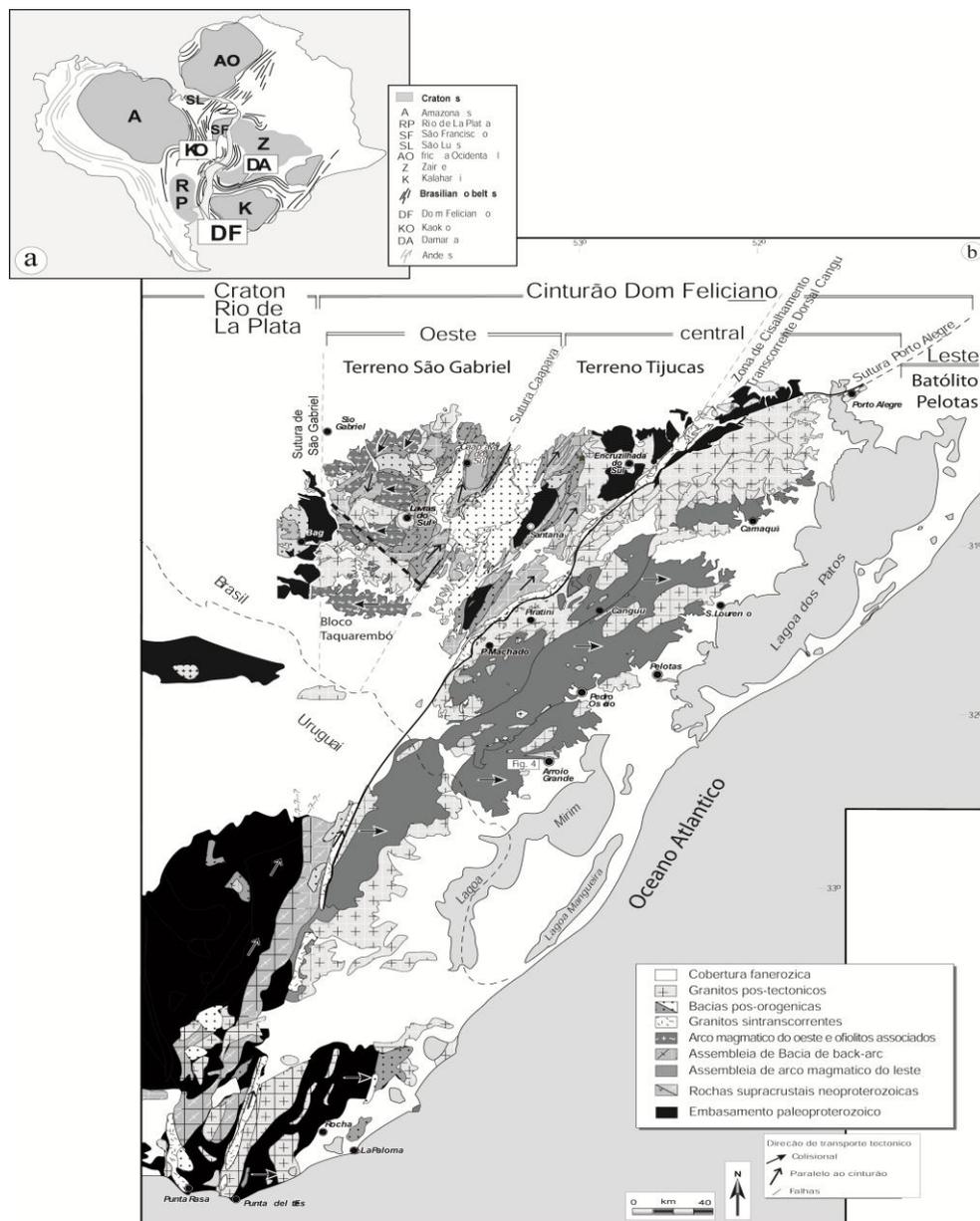


Figura 4 - Mapa geodinâmico do supercontinente Gondwana; b) Mapa geotectônico do Pré-Cambriano do Uruguai e Rio Grande do Sul, com a área de estudo indicada na figura 1. Fonte: adaptado de Fernandes et al. (1995)

As rochas granulíticas, de idade paleoproterozóica, representadas no Rio Grande do Sul pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, representariam o Bloco Taquarembó (Hartmann *et al.*, 2007) ou o Cráton Rio de La Plata (Fernandes *et al.*, 1995). Algumas outras rochas de idade paleoproterozóica estão representadas no domínio central do escudo Sul-Rio-Grandense (Complexo Gnaissico Arroio dos Ratos; Leite *et al.*, 2000) e no domínio oeste (Gnaisses Neto Rodrigues; Remus *et al.*, 1995).

O Neoproterozóico do estado do Rio Grande do Sul é representado pelas rochas do Terreno São Gabriel, que compreende principalmente rochas gnaissicas cálcico-alcálicas do Complexo Cambaí, rochas metavulcânicas intercaladas com pelitos do Complexo Palmas, e harzburgitos e anfibolitos correspondentes ao Ofiolito Cerro da Mantiqueira.

O Terreno Tijucas é composto predominantemente por uma sequência metasedimentar do Complexo Porongos, de idade neoproterozóica e gnaisses e granitóides milonitizados do Complexo Encantadas, de idade paleoproterozóica (Chemale Jr., 2000; Hartmann, 2007).

O Batólito Pelotas (BP) é um complexo plutônico, multintrusivo e polifásico, de idade neoproterozóica, composto essencialmente por rochas graníticas, com extensão de aproximadamente 350 km, e largura de 70 km a 110 km no Rio Grande do Sul, apresentando continuidade no Uruguai e Santa Catarina. Os contatos do Batólito Pelotas são delimitados por zonas de cisalhamento de alto ângulo, como, por exemplo, a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (Koester, 1995). O BP é composto por seis suítes graníticas denominadas Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Erval, Suíte Intrusiva Viamão, Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, Suíte Granítica Cordilheira, Suíte Granítica Dom Feliciano e septos do embasamento (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2000).

2.2 O GRANITO TRÊS FIGUEIRAS

O corpo granítico a ser estudado, que ocorre no Domínio leste do Escudo Sul-rio-grandense ou Batólito Pelotas é denominado informalmente

granito Figueirinha por uma monografia elaborada pelo Trabalho de Conclusão de Curso da UFRGS (1972), sendo a mesma denominação adotada posteriormente por Trainini (1987) e Ramos (2011). Philipp (1998) descreve o mesmo granito como Granito Três Figueiras. A CPRM (2007), no mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, o denomina Granito Arroio Grande.

Devido as suas características petroquímicas e tectônicas serem semelhantes, Philipp (1998) sugere uma correlação do Granito Três Figueiras com os demais granitos da Suíte Granítica Cordilheira.

A SGC é constituída por corpos graníticos de forma alongada, segundo a direção preferencial NE-SW, sendo composta pelos metagranitos Arroio Francisquinho e Cordilheira, que possuem colocação sintectônica em relação à ZCTDC (Koester *et al.*, 2001), e pelo Granito Três Figueiras, que possui colocação sintectônica em relação à ZCAG (Philipp, 1998).

Segundo Koester *et al.* (2001), as rochas da SGC são leucogranitos com duas micas, sendo a mineralogia magmática principal constituída por quartzo, oligoclásio, K-feldspato, muscovita e biotita, subordinadamente granada (almandina), e turmalina. Os minerais acessórios são apatita, zircão, esfeno, alanita, fluorita e cassiterita. A composição química dessas rochas é peraluminosa, com teores de SiO₂ acima de 70 %,baixo conteúdo de TiO₂ + FeO* + MgO e elevados teores de Al₂O₃.

O Granito Figueirinha, segundo UFRGS (1972) é um corpo granítico alongado, com estrutura foliada (marcada pela muscovita), que aflora em uma crista de orientação E-W, com largura de 0.5 km a 1 km, e extensão de aproximadamente 14 km. Seu contato com os migmatitos circundantes se dá por falhamentos E-W. Por ser um corpo lenticular, com orientação semelhante à das rochas encaixantes, os autores sugerem que se trata de um granito sincinemático a ZCAG. Associados ao corpo granítico ocorrem pegmatitos quartzo-felspáticos com muscovita e turmalina de espessuras centimétricas até métricas, com disposição concordante com o granito.

Na descrição petrográfica, os autores descrevem o Granito Três Figueiras macroscopicamente como uma rocha marcada pela orientação da

muscovita e dos feldspatos, hololeucocrática a leucocrática com textura granular média, com mineralogia à base de quartzo, K-feldspato, plagioclásio, muscovita e às vezes com biotita, sendo classificado como um granito a muscovita. Em microscopia, o quartzo é anédrico e está fraturado, com extinção ondulante. Os K-feldspatos descritos são o ortoclásio e microclínio em iguais proporções, ambos subédricos a anédricos, apresentando pertitas e alteração sericítica. O plagioclásio está damouritizado, com An_{14-16} , é subédrico, fraturado. A muscovita ocorre orientada em lamelas alongadas e retorcidas, disseminada ou preenchendo as fraturas, mostrando a ação de soluções postássicas tardias, com feições de muscovitização dos migmatitos adjacentes.

UFRGS (1972) sugerem ainda uma correlação estratigráfica, devido ao posicionamento tectônico semelhante ao das encaixantes (com a foliação concordante), a disposição lenticular e as evidências de hidrotermalismo, marcadas pela muscovitização e turmalinização, com o Granito Cordilheira, que apresenta características semelhantes. Entretanto, os autores ressaltam que a correlação é difícil, já que os contatos são por falhas, e que somente uma datação geocronológica pode apontar o posicionamento estratigráfico correto do Granito Figueirinha.

Segundo a descrição de Philipp (1998) o Granito Três Figueiras é correlacionável com os granitos da SGC, constituindo um corpo de forma alongada de direção N80E, com 20 km de extensão e 6 km de largura. O granito possui um posicionamento sintectônico com a Zona de Cisalhamento Arroio Grande (D_2), já que apresenta foliação tectônica concordante com a da zona de cisalhamento. Essa interpretação é semelhante à descrita por UFRGS (1972), que coloca o granito como sincinemático.

Em petrografia, Philipp (1998) descreve o Granito Três Figueiras macroscopicamente como um leucogranito à base de muscovita e K-feldspato com 0,8 a 3,0 mm, com matriz equigranular média de 0,2 a 0,5 mm à base de feldspato, muscovita, quartzo, granada e turmalina. Microscopicamente, apresenta uma composição sienogranítica, com textura hipidiomórfica equigranular média a grossa definida por cristais subédricos

de K-feldspato e muscovita (4 a 25 mm). A muscovita ocorre com forma placóide subédrica, com 0,5 a 3 mm, intersticial de cor prata, nas zonas com maior deformação apresenta forma alongada (“fish”). O K-feldspato apresenta hábito prismático e subédrico nas zonas menos deformadas, e porfiroclástico em zonas protomiloníticas, o tamanho dos cristais varia entre 0,5 a 2 mm com coloração branca a cinza clara. O quartzo é incolor e possui forma alongada, frequentemente transformado para agregados de grão fino. A granada é subédrica e intersticial, com forma equidimensional de 0,3 a 1 mm e cor rosa avermelhada. A turmalina ocorre euédrica de cor preta, intersticial, com cristais de 0,4 a 2 mm.

Philipp (1998) mostra os primeiros dados geoquímicos (05 amostras) para o Granito Três Figueiras, que apresenta, em relação aos outros metagranitos da SGC um empobrecimento moderado em Al_2O_3 , MgO e P_2O_5 , acompanhado por decréscimos significativos em FeO_t , TiO_2 , CaO e enriquecimento nos teores de K_2O e Na_2O , com a diferenciação. Assim, essas variações nos óxidos dos elementos maiores indicam um fracionamento de minerais acessórios como apatita e óxido de ferro-titânio, acompanhados por biotita e plagioclásio. As razões de Fe/Mg são mais elevadas em relação a dos outros metagranitos da SGC, crescendo com a diferenciação desde 0,77 até 0,89. Com relação aos LILE, o Granito Três Figueiras apresenta teores de Ba e Sr mais elevados e teores semelhantes de Rb, em relação aos outros metagranitos da SGC. O comportamento dos LILE na SGC não define tendências significativas, já que ocorre uma grande variação de valores para um intervalo muito restrito de SiO_2 , sendo que no Granito Três Figueiras o Rb mostra um enriquecimento significativo, enquanto que o Ba mostra um acentuado empobrecimento com o aumento no teor de SiO_2 . Para os HFSE, o Granito Três Figueiras apresenta teores mais elevados de Zr e Nb em relação aos outros metagranitos da SGC, e um comportamento marcado por um acentuado empobrecimento de Nb, com decréscimos moderados de Zr, Y e V.

Os granitos da SGC apresentam um caráter peraluminoso; entretanto o Granito Três Figueiras é menos aluminoso em relação aos outros granitos

da SGC, e por isso mostra um padrão mais parecido com o das associações alumino-cafêmicas de Debon & Lefort (1983).

Em termos estruturais, Philipp (1998) aponta que o Granito Três Figueiras é constituído por dois corpos alongados segundo a direção N80E-S80-W, concordantes com a Zona de Cisalhamento Arroio Grande. A direção média das foliações miloníticas é N75°E, com mergulho acima de 70° para o quadrante SE e NW. A lineação de estiramento possui direção N85°E com caimento inferior a 10°.

O Granito Arroio Grande é descrito por CPRM (2007) como um leucogranito a duas micas, grosso, com foliação milonítica, englobando enclaves gnáissicos.

Uma datação para o Granito Três Figueiras é proposta por Tickyjet *al.* (2004), na qual foram utilizadas monazitas e aplicado o método Th-U-Pb, a idade obtida foi de 558 ± 57 Ma, interpretada como de cristalização.

3 METODOLOGIAS

Neste trabalho, as técnicas e métodos empregados consistem na pesquisa bibliográfica, presente durante toda a elaboração do trabalho, trabalhos de campo, geologia estrutural, petrografia e geoquímica. Os métodos e técnicas são discutidos buscando-se mostrar sua relevância, procedimentos, possíveis problemas e a precisão, quando se aplicarem.

O emprego das técnicas e desenvolvimento do trabalho seguiu um planejamento prévio que foi elaborado na forma de um fluxograma projectual. O trabalho foi dividido em quatro etapas, sendo uma etapa preliminar de definição e apresentação do projeto; uma etapa de campo que envolveu a obtenção e coleta de dados e amostras; etapas de laboratório, que envolveram a preparação e análise de amostras; e uma etapa final de compilação e integração dos dados, elaboração e defesa da monografia. Tais etapas estão representadas pelas cores cinza, verde, azul e amarela, respectivamente.

É importante salientar que muitas das etapas estão intimamente relacionadas, e às vezes são processos iterativos. Estas relações são indicadas pelas setas pretas, enquanto as setas brancas indicam mudanças de atividades e etapas.

O fluxograma está associado a um cronograma das atividades, dividido por ano e meses em que as atividades foram desenvolvidas, com duração total de 3 semestres, de setembro de 2011 a dezembro de 2012.

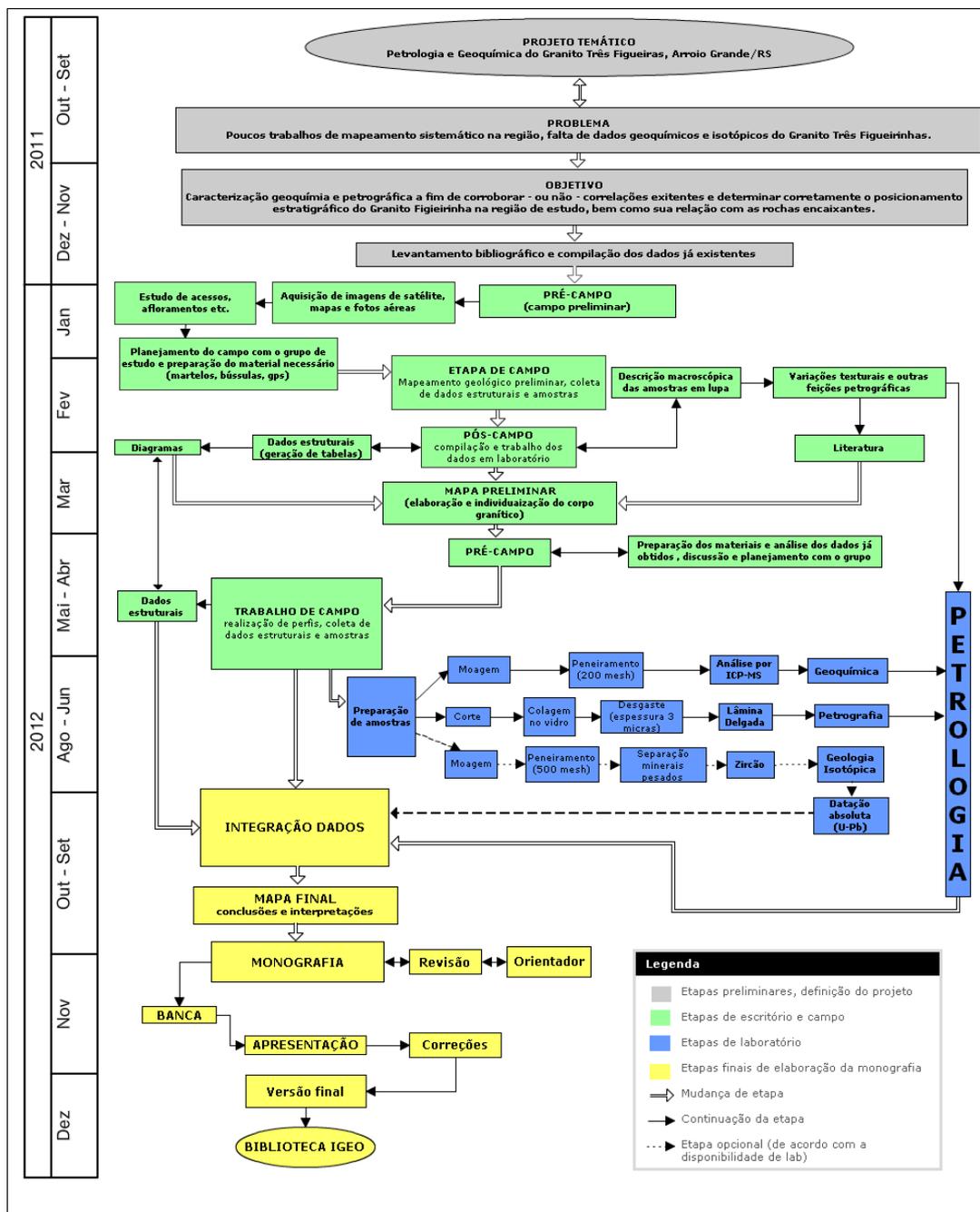


Figura 5 - Fluxograma projectual mostrando o cronograma e etapas a serem realizadas no projeto.

3.1 TRABALHOS DE CAMPO

Foram realizadas duas etapas de campo, nos períodos de 06/02/2012 a 10/02/2012 e do dia 29/06/2012 a 02/07/2012, em um total de 09 dias de campo. O trabalho de campo foi fundamental para o projeto, pois nesta foi realizado o mapeamento do corpo rochoso, por meio de descrições de afloramentos, feições e estruturas de meso escala, esboçados croquis, coletadas amostras e dados estruturais. Também buscou-se durante essa etapa observar as relações de contato com outras rochas da área de estudo. Essa etapa serviu de guia para todas as etapas subsequentes do projeto.

Os procedimentos passo a passo relacionados com os trabalhos de campo envolveram:

1. Revisão bibliográfica: compilação de trabalhos e mapas pré-existentes para a área de estudo.
2. Sensoriamento remoto: obtenção de imagens de satélite da região, fotografias aéreas em escala 1:60.000 e cartas topográficas do exército em escala 1:50.000. Neste trabalho foram usadas as folhas SI.22-V-A-II-1 (Eral), SI.22-V-A-II-2 (Arroio Grande), SI.22-V-A-II-3 (Presidente Barbosa), SI.22-V-A-II-4 (Várzea Alegre), SI.22-V-A-III-1 (Matarazzo).
3. Organização dos materiais a serem utilizados durante o campo: caderneta, martelos e marretas, ponteiras, mochila, aparelhos GPS, bússolas, fitas crepe, sacos plásticos, marcadores, lupas de mão, escalas, lápis e borracha, óculos de proteção, luvas, chapéu e roupas adequadas, kit com medicamentos básicos.
4. Trabalho de campo: em cada ponto, coletou-se a coordenada geográfica (UTM) por meio de aparelho GPS da marca *Garmin® HCX*. Fez-se a descrição da mineralogia, textura, estruturas das litologias presentes e suas relações de contato, quando necessário foram feitos croquis e tiradas fotos com câmera digital. Coleta de dados estruturais com auxílio de bússolas *brunton*, em notação de “regra da mão esquerda” para medidas planares (direção do mergulho

do plano; ângulo de mergulho do plano) e trama para medidas lineares (caimento da linha/sentido de caimento da linha). Por fim, coleta de amostras orientadas relevantes para petrografia, análises químicas ou isotópicas.

5. Etapas de compilação de dados pós-campo e elaboração de tabelas com pontos, coordenadas, estruturas e litologias no *software Microsoft Office Excel® 2007*.



Figura 6 - Procedimentos de campo; A) análise geral do afloramento; B) Descrição das litologias; C) Coleta de amostras para petrografia e análises químicas; D) Coleta de dados estruturais.

Durante os dias de campo, foram feitos planejamentos prévios de perfis, buscando alternativas contra eventuais casualidades que pudessem

prejudicar o andamento do trabalho. Foram tomados cuidados com a escolha da escala e tratamento dos mapas, estudo prévio de acessos, condições do terreno, e confrontados os dados dos mapas com imagens de satélite atuais. Buscou-se minimizar os riscos de possíveis acidentes com lascas de rocha, blocos soltos localizados em porções mais altas dos afloramentos ou problemas com animais silvestres. Problemas técnicos com o veículo estiveram previstos, com perfis de caminhada alternativos, ou mesmo por ser uma região localizada no interior do estado com problemas de acesso por estradas inadequadas e impróprias para a circulação de automóveis. Outro ponto importante foi a regulagem dos equipamentos, como o *datum* do aparelho GPS igual ao *datum* da carta topográfica em uso. As bússolas foram ajustadas de acordo com a declinação magnética do local para obtenção precisa das medidas estruturais. As amostras foram coletadas nas zonas em que a rocha estava menos alterada.

3.2 PETROGRAFIA

Para este trabalho, foram realizadas descrições macroscópicas de amostras com lupas de mão monoculares nos afloramentos e 18 amostras em lupa binocular no laboratório. A nível de microscopia foram descritas 11 lâminas delgadas, sendo 3 dos termos indeformados e 8 dos termos deformados.

As descrições foram feitas com objetivo de identificar os constituintes minerais, texturas e estruturas presentes, bem como agrupar de acordo com os diferentes níveis de deformação observados e determinar a composição no diagrama QAPF de Streickeisen (1976).

Os procedimentos envolvidos na etapa de petrografia envolvem a preparação de lâminas delgadas cujos passos são:

1. Descrição das amostras macroscópicas: com o auxílio de lupas de mão com aumento de 10x em campo, ou no laboratório com lupa binocular com aumento de 40x.

2. Confeção lâminas delgadas. Os procedimentos para a laminação são descritos a seguir:
 - a) Corte em cubos ou fatias retangulares das amostras no plano xy.
 - b) Marcação do retângulo em que será feita a lâmina.
 - c) Corte em tabletes retangulares com dimensões aproximadas de 1x1x4 cm.
 - d) Polimento de uma das faces do tablete.
 - e) Colagem de uma placa de vidro na superfície polida, com espessura de 0,8 a 1,9 mm.
 - f) Secagem do tablete em uma estufa, por 24 horas para secar a cola.
 - h) Desgaste do tablete em lixas com diferentes granulações (120, 220, 600, 1200, 2500 e 4000 grana).
 - i) Abrasão com carbetto de silício e óxido de alumínio e polimento durante 5 minutos por meio de uma politriz com 100 rotações por minuto.Terminados os processos de desgaste, o resultado é uma amostra de rocha com espessura de 30 μ m colada em uma placa de vidro, denominada lâmina delgada, que pode ser analisada em microscópio ótico e eletrônico.
3. Descrição das lâminas delgadas: com auxílio de microscópios óticos binoculares com aumento de até 400x.

Nesta etapa é fundamental uma escolha de amostras frescas, e escolha correta do corte no plano XZ, para que informações importantes de sentido de movimento não sejam perdidas.

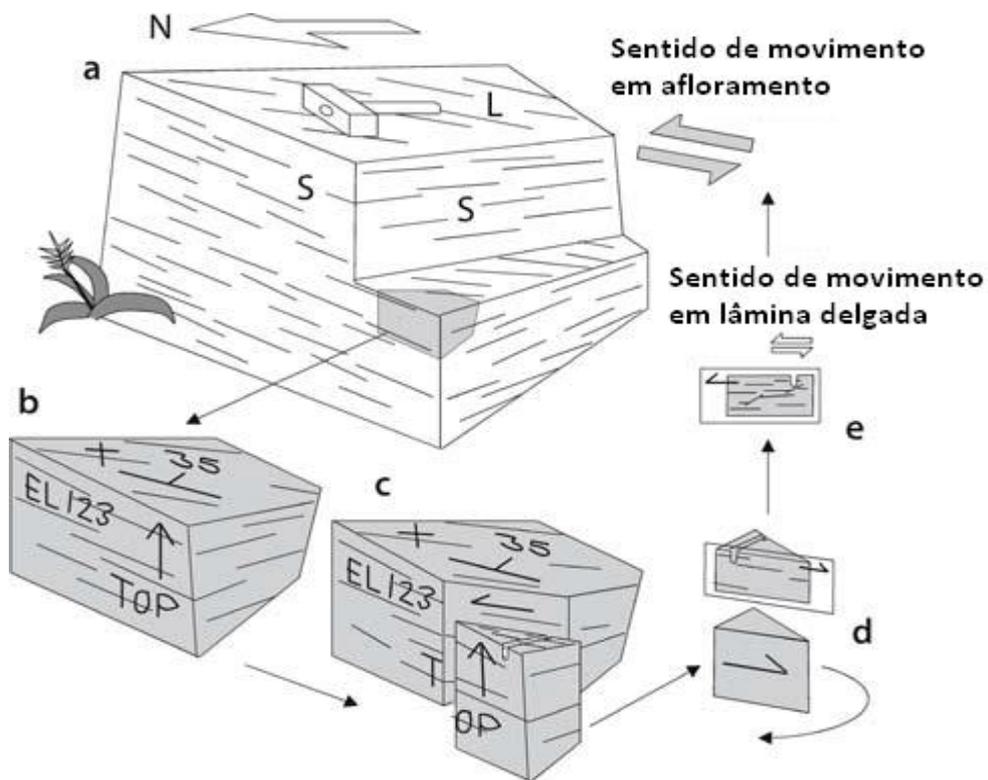


Figura 7 - Modelo esquemático de como orientar uma amostra em afloramento: a) afloramento com a foliação indicada por S e lineação por L; b) Coloca-se um plano de direção e mergulho em uma superfície para orientar a amostra no espaço; c) Marca-se o corte da amostra no plano normal a foliação e paralelo a lineação (XZ); d) Delimita-se a área onde será feita a lâmina delgada, com a marcação de orientação da amostra; e) determina-se o sentido de movimento.

Fonte: Modificado de Passchier & Trouw (1996)

As descrições serão realizadas junto ao Departamento de Mineralogia e Petrologia (DEMIPE) do Instituto de Geociências (IGEO) da UFRGS, com auxílio de microscópio polarizador de luz transmitida da marca *Meiji Techno®*, série ML9000, modelo ML9720 apropriado para petrologia, equipado com lentes binoculares reticuladas com aumento de 10x e três opções de objetivas de 2,5x, 10x e 40xs (Fig. 8).

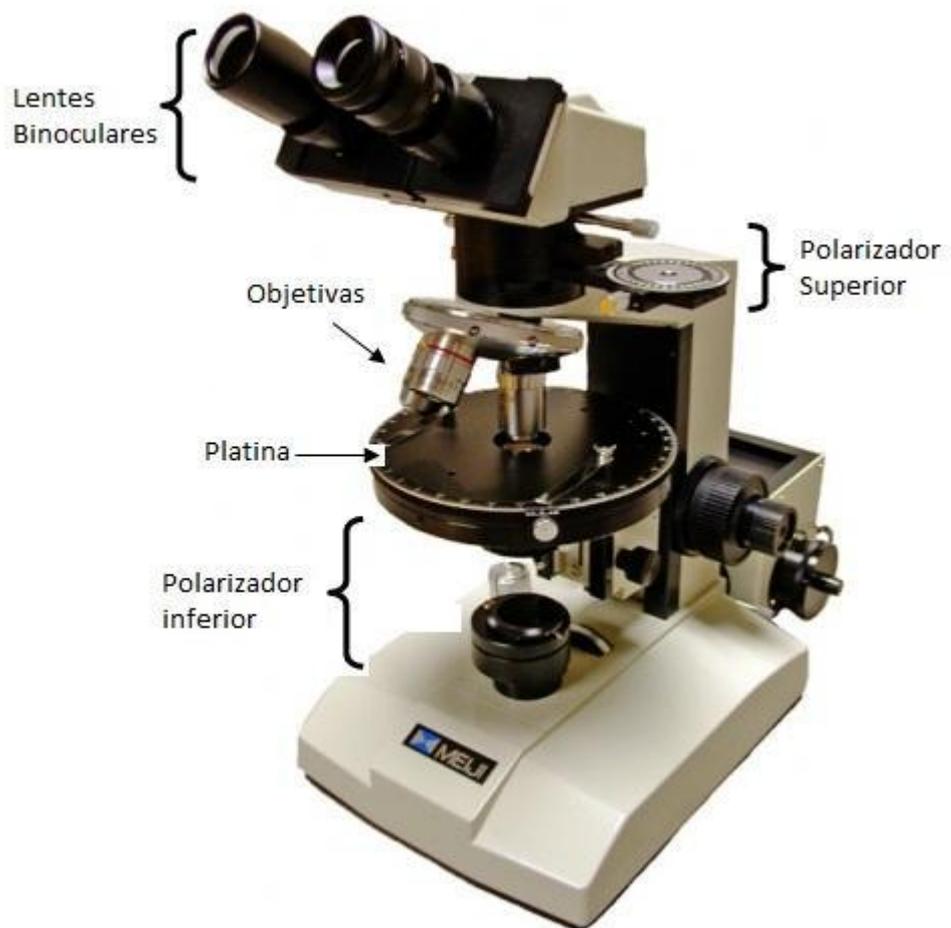


Figura 8 - Microscópio óptico utilizado para descrição das amostras da marca *Meiji Techno®*, modelo ML9720.

3.3 GEOQUÍMICA

Neste projeto foi realizada a preparação de fração em pó de 06 amostras (<200 *mesh*), no Laboratório de Preparação de Amostras do IGEO da UFRGS, que foram enviadas para o *Acme Analytical Laboratories Ltda.*, no Canadá, para análise em rocha total de elementos maiores por ICP e de elementos traços por ICP-MS.

Os dados geoquímicos podem ser divididos em quatro grandes categorias: elementos maiores, elementos traço, isótopos radiogênicos e isótopos estáveis. Cada um desses grupos fornece informações importantes sobre a origem de uma suíte de rochas em questão (Rollinson, 1993). Para

este trabalho, serão analisados os elementos maiores, que são os elementos predominantes em análises de rochas, e possuem concentração expressa em porcentagem por massa (wt%) dos óxidos, e os elementos traços que são aqueles com concentração menor que 0,1%, e suas concentrações são expressas em partes por milhão (ppm), ou partes por bilhão (ppb).

Os elementos maiores e traços de um magma fundido são determinados pelo tipo de processo de fusão e o grau de fusão parcial de extração da rocha fonte, embora a composição do magma extraído possa sofrer contaminação durante o período de ascensão em direção à superfície (Rollinson, 1993).

Deste modo, os elementos maiores e traços podem fornecer informações substanciais sobre esses processos e revelar dados importantes sobre a história de uma rocha, desde sua extração até o processo de cristalização.

Os processos envolvidos na preparação das amostras envolveram os seguintes procedimentos, sempre minimizando os riscos de contaminação:

- a) Fragmentação da amostra em prensa hidráulica.
- b) Fragmentação por meio da trituração em gral de porcelana.
- c) Pulverização em um moinho de bolas de ágata.

O resultado deste primeiro processo de pulverização é um pó, com fração inferior a 200 *mesh*, que foi enviado para o laboratório para análise dos elementos maiores e traços.

Neste trabalho, a fração em pó das amostras será enviada para análise em rocha total dos elementos maiores por ICP e elementos traço por ICP-MS no *Acmelabs*TM, localizado no Canadá.

O pó de amostras, no laboratório, para análise de elementos maiores passa por um processo de geração de uma solução, que será inserida no espectrômetro de massa. Os passos envolvidos nesse processo são descritos por Walsh (1980) e podem ser resumidos nas etapas a seguir:

- a) Pesagem de 0,5 g do pó de rocha em um cadinho de platina

- b) São adicionados 1,5 g de LiBO_2 e a mistura é fundida por 30 minutos em queimador Meker.
- c) O cadinho é resfriado a temperatura ambiente e imerso em uma proveta de polietileno com 165 ml de água destilada + 10 ml de HCO_3 .
- d) É adicionado 20 ml de uma solução de 1250 $\mu\text{g/ml}$ de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.
- e) Uma esfera de agitação magnética revestida de politetrafluoretileno é colocada dentro do cadinho (que deve estar totalmente imerso na solução), e agitada imediatamente.
- f) A solução é diluída para 250ml, depois de concluída a dissolução da esfera de fusão (1 a 2 horas).
Para análise de elementos traço passa por um processo de geração de uma solução, que será inserida no espectrômetro de massa. Os passos envolvidos nesse processo são descritos por Jenner (1980) e podem ser resumidos nas etapas a seguir:
- g) Dissolução do pó em ácidos, HF e HNO_3 , evaporação da mistura de HF- HNO_3 e adição da amostra em solução em HNO_3 .
- h) Após evaporação e secagem, adiciona-se 2-3 ml de 8 N HNO_3 e transfere-se a solução para um frasco de 125 ml, diluída com água a 90 g.

A solução então está pronta para ser utilizada no espectrômetro de massas. A espectrometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado (ICP) é uma técnica analítica baseada na excitação de átomos por aquecimento. A solução é bombeada por uma bomba peristáltica para uma câmara pulverizadora, onde o fluxo de argônio gasoso puro converte a proporção da solução para um aerossol, que é pulverizado para o centro de um plasma de argônio. O plasma indutivamente acoplado é uma corrente de átomos de argônio indutivamente aquecidos usando uma bobina a radiofrequência. O aquecimento da corrente retira os elétrons dos átomos de argônio e produz um plasma de íons de argônio com temperaturas de 6.000

a 10.000 K. O plasma é inflamado por uma faísca de alta frequência Tesla. A tocha de vidro onde o plasma é gerado resfria pela parte externa da corrente de gás de argônio. A solução a ser analisada então é submetida a uma chama de alta temperatura, capaz de dissociar ligações químicas e excitar uma grande quantidade de linhas espectrais (emissão de fótons). A luz emitida é focalizada por um caminho de ar convencional de 1,5 metros em um espectrômetro, onde as linhas espectrais serão detectadas por fotomultiplicadores. O sinal dos fotomultiplicadores é comparado com linhas de calibração e suas intensidades são convertidas em concentração (Walsh & Howie, 1980; Rollinson, 1993).

No ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) ou Espectrometria de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado, a amostra é inserida no espectrômetro através de um nebulizador, e é ionizada com o Plasma de argônio, causando a excitação dos átomos. Os íons extraídos são acelerados em câmara a vácuo para um campo magnético, através de um orifício muito fino (*pinhole*), onde os íons são separados em um padrão denominado espectro de massas. Os íons que não interessam para análise são filtrados através de filtros denominados quadrupolos, com base na sua razão massa/carga. O feixe de íons é focalizado em um espectrômetro de massas, que mede a massa e a carga dos íons, identificando os elementos presentes na amostra (Fig. 9).

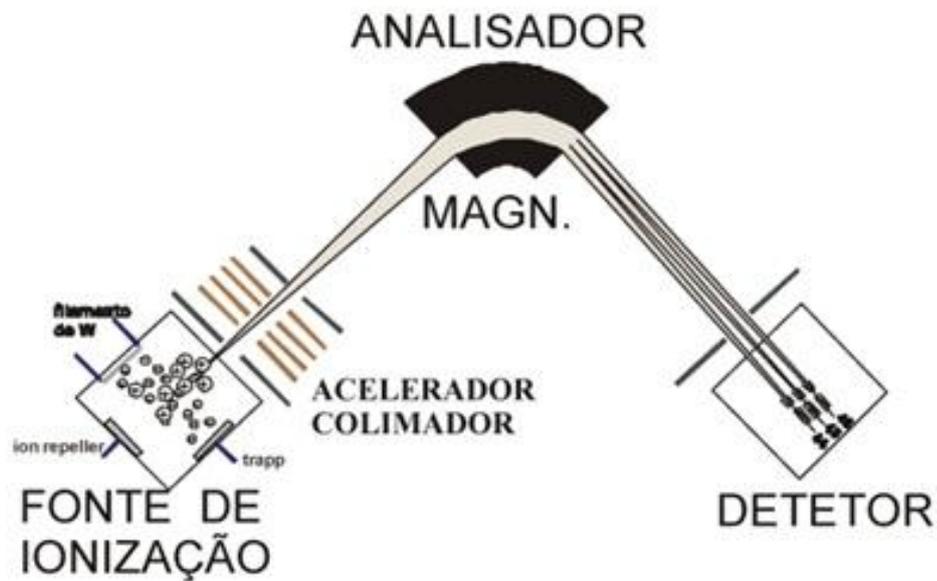


Figura 9 - Esquema geral de um espectrômetro de massas.
 Fonte: Extraído de Sato (2002)

O ICP é um método capaz de medir a maioria dos elementos da tabela periódica, com limites de detecção baixos e alta precisão. Os elementos são medidos simultaneamente e uma análise completa pode ser feita em um intervalo de tempo de dois minutos.

O limite de detecção para os elementos maiores, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, e P é de 0,01%. Para o cromo é de 0,002%. O limite de detecção para os elementos traço varia de 0,05 a 1 ppm.

4 GEOLOGIA E ESTRURA DA ÁREA

4.1 RESULTADOS

O Granito Três Figueiras ocorre como um corpo alongado com aproximadamente 32 km de comprimento e espessura variando de 6 km na porção oeste até 12 km na porção leste. Delimita-se a oeste pelas rochas do Complexo Pinheiro Machado, ao norte pelo Granito Chasqueiro e ao leste-sudeste pelos sedimentos quaternários da planície costeira. Não foi possível observar diretamente as relações de contato entre o Granito Três Figueiras e as rochas encaixantes, entretanto próximo nos limites do corpo com as litologias circundantes foi possível observar quartzo leitoso, o que indica que os contatos do Granito Três Figueiras com as encaixantes se dá por falhamentos, o que é concordante com UFRGS (1972).

Foi possível identificar, para o Granito Três Figueiras, duas porções texturalmente e estruturalmente distintas: uma indeformada e outra deformada em diferentes estágios, passíveis de serem separadas e delimitadas em campo. Ambas as porções possuem composição sieno a monzogranítica, sem variações composicionais e mineralógicas significativas, mas com variações texturas e estruturais acentuadas nos termos deformados.

A porção indeformada constitui a parte nordeste do corpo e aflora na forma de matacões e lajeados, ou em pedreiras desativas e cortes de estrada (Fig. 10). Possui textura equigranular média, isótropo, a base de quartzo, K-feldspato, plagioclásio, muscovita (primária) \pm biotita, caracterizando um granito a duas micas (Fig. 11). Localizadamente, possui porções com cristais mais desenvolvidos de muscovita formando palhetas de até 1,5 cm. É possível observar pequenas variações texturais, sendo

algumas porções com granulometria mais fina e outras com granulometria mais grossa, formando pegmatitos em veios quartzo-feldspáticos com muscovita. Em algumas porções foi possível identificar uma foliação magmática marcada pelo alinhamento de cristais de muscovita, ainda que muito incipiente e localizado.



Figura 10 - Afloramentos da porção indeformada do Granito Três Figueiras, em forma de lajeados à esquerda e matacões à direita.



Figura 11 - Aspecto macroscópico do Granito Três Figueiras na porção indeformada

Os termos deformados constituem a maior parte do corpo granítico, afloram na forma de pedreiras desativadas, cortes de estrada, lajeados, ou cristas alongadas que se destacam na paisagem e configuram quebras de relevo na região (Fig. 12). Estes termos expressam um forte controle estrutural E-W, dado pela Zona de Cisalhamento Arroio Grande, em todas as escalas de observação: mesoscópica, macroscópica e microscópica.



Figura 12 - Cristas alongadas com orientação W-E, que configuram quebras de relevo e se destacam na paisagem da região.

Em imagens de satélite é possível observar identificar morros e cristas, que servem como bons indicadores da existência de afloramentos, pelos quais foram realizados perfis. Nestes pode-se observar também o controle E-W em escala mesoscópica, sendo os afloramentos alongados segundo esta direção (Fig. 13).

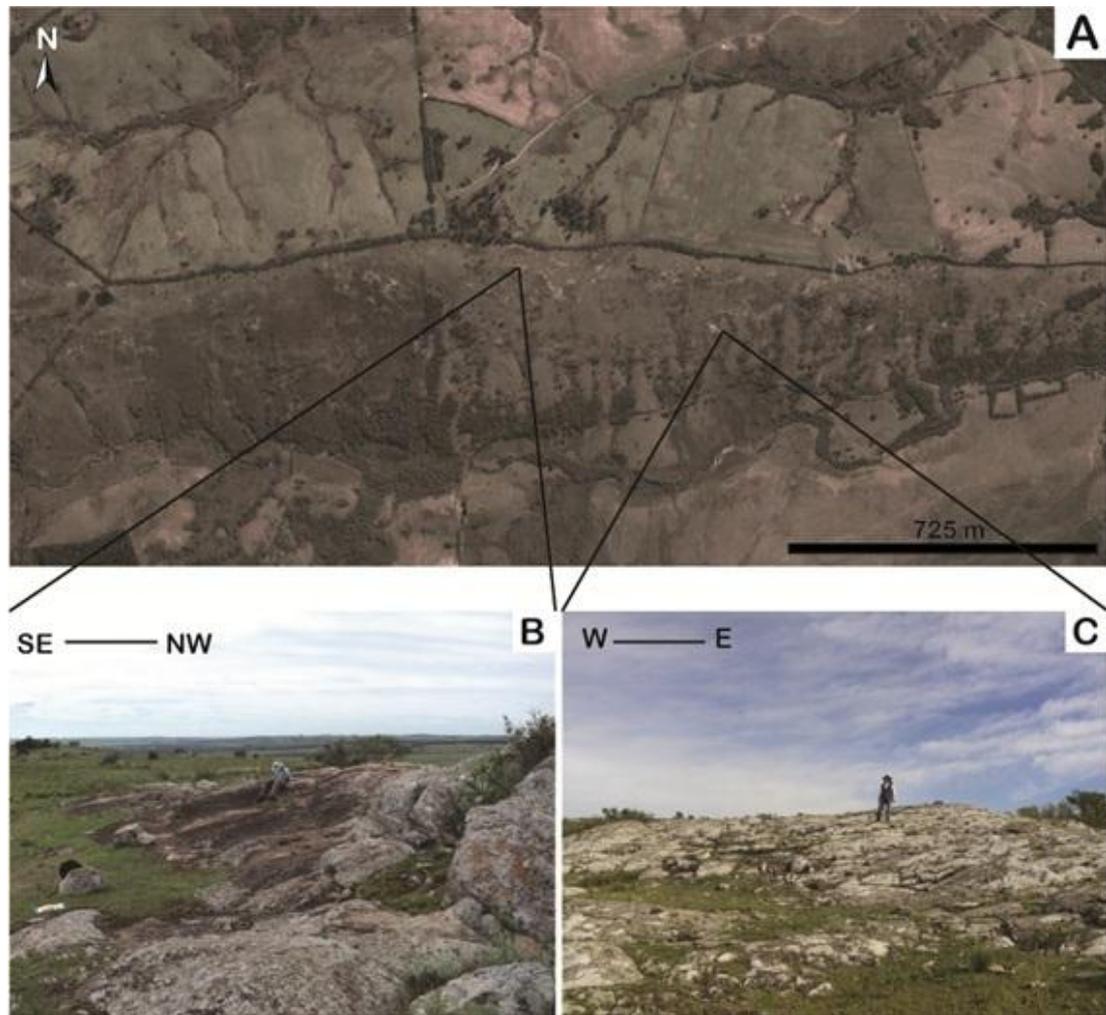


Figura 13 - A) Imagem de satélite das cristas visualizadas no terreno obtidas no *software google Earth*, do Granito Três Figueiras. B) Afloramento em lajeando alongado W-E; C) Cristas alongadas W-E.

As porções deformadas constituem protomilonitos a milonitos, com textura porfiroclástica formada por porfiroclastos de feldspato e muscovita (*mica fish*). Possuem foliação tectônica sub-vertical marcada por textura lepidoblástica em muscovita + muscovita e agregados estirados de quartzo e feldspato, que marcam também uma lineação de estiramento mineral (Fig. 14). Localizadamente apresenta granada, geralmente concentrada próxima a veios associada com turmalina, ou disseminada pela rocha formando porfiroclastos.

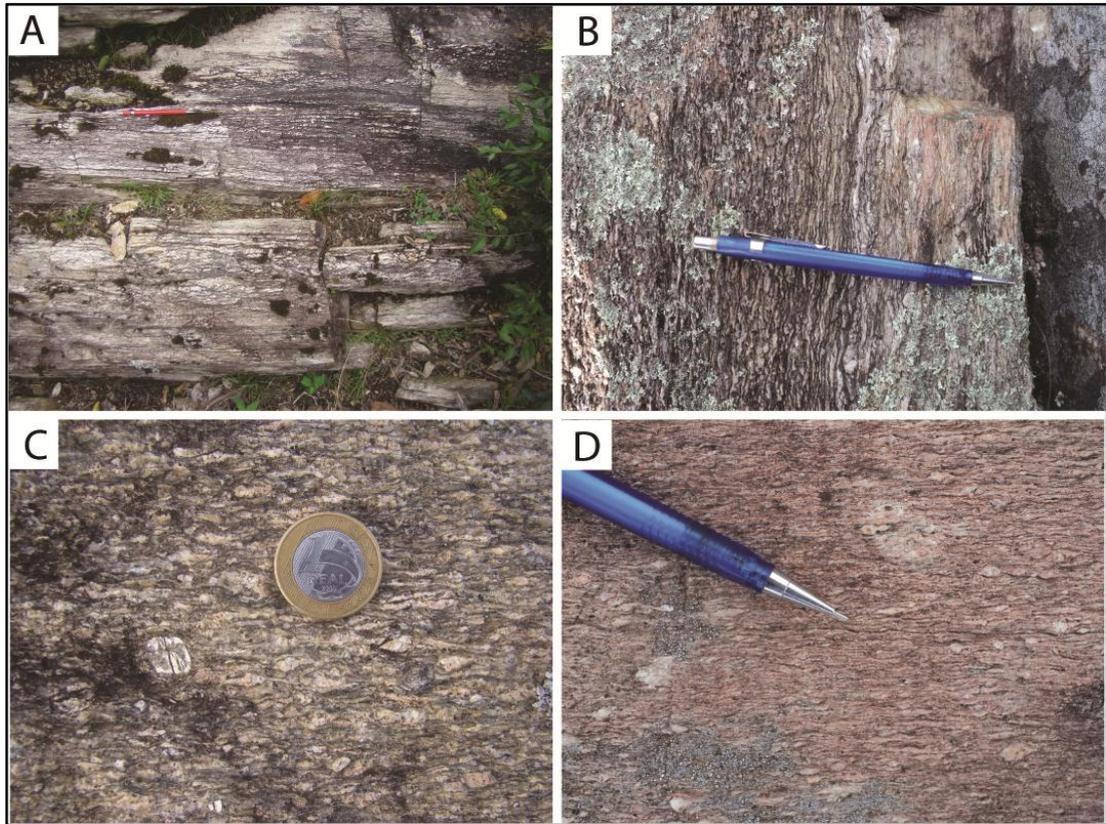


Figura 14 - Aspectos macroscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Aspecto geral, com foliação milonítica sub-vertical; B) Detalhe para foliação milonítica com aspecto anastomosado; C) Protomilonito com porfiroclastos de feldspato e muscovita e agregados formando a lineação de estiramento mineral; D) Milonito com porfiroclastos de K-feldspato.

A foliação milonítica do Granito Três Figueiras é subvertical, com ângulo de mergulho $> 70^\circ$ predominantemente para SE e subordinadamente para NW, marcada pelo alinhamento preferencial das micas e agregados estirados de quartzo e feldspato, com direção WSW-ENE (Fig. 15). É possível observar uma leve concentração de pontos tendendo para NE, que correspondem a medidas coletadas no extremo leste do corpo, onde este inflete levemente para SW. Em diagrama de contagem de pólos de *Karlsbeek* (Fig. 15), a foliação apresenta um valor médio de 081 com mergulho de 83° para SE.

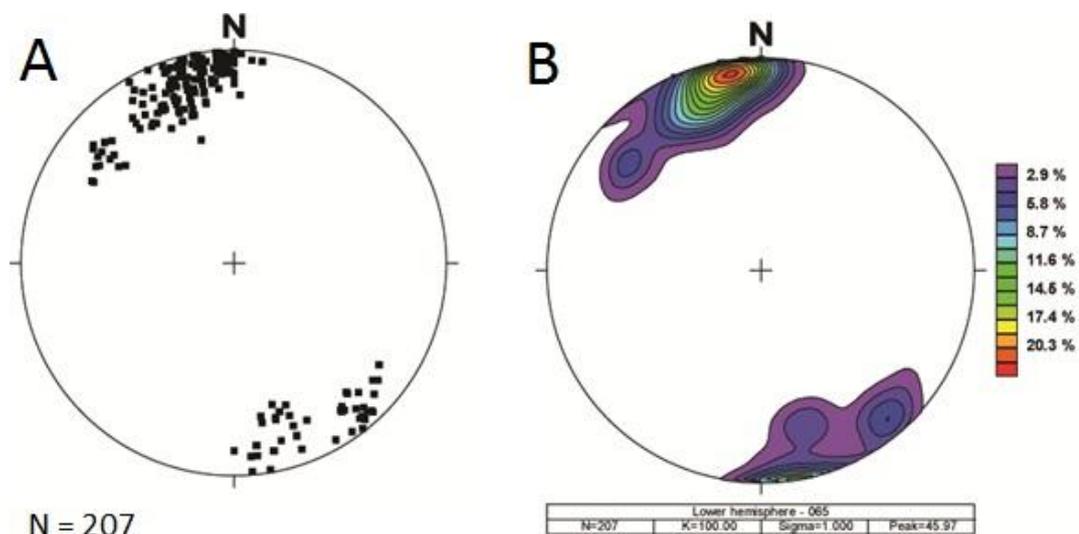


Figura 15 - Estereogramas da foliação do Granito Três Figueiras mostrando a direção principal W-E e o mergulho preferencial para SE: A) Pólos das foliações; B) Diagrama de *Karlsbeek* mostrando a contagem dos pólos da foliação.

Os termos miloníticos e protomiloníticos do Granito Três Figueiras apresentam uma lineação de estiramento do quartzo e dos feldspatos associadas a essa foliação, com caimento sub-horizontal, ora para NE, ora para SW. No diagrama de contagem *Karlsbeek*, é possível observar três tendências distintas, sendo a predominante com sentido 083 e caimento de 10° para ENE, e duas subordinadas uma com sentido de 045 e caimento de 10°, e outra com sentido 263 e caimento de 14° (Fig. 16).

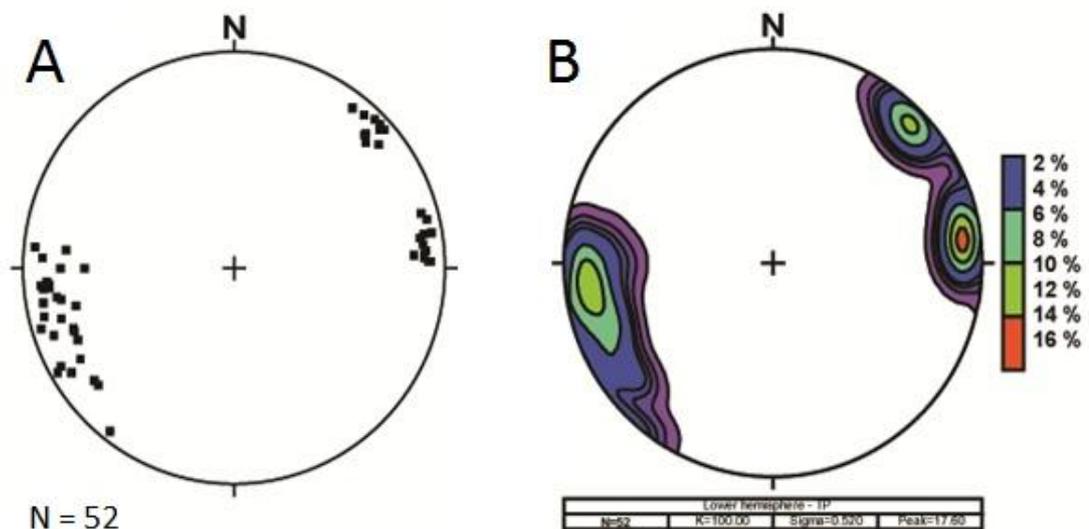


Figura 16 - Estereogramas com representação das lineações de estiramento e diagrama de *Karlsbeek* mostrando três campos de concentração: A) Estereograma com as lineações de estiramento do quartzo. B) Diagrama de *Karlsbeek* mostrando a atitude média da lineação de estiramento principal de 083 e caimento 10°

4.2 DISCUSSÃO

A partir da análise de campo, foi possível distinguir duas variações para o Granito Três Figueiras, sendo um termo indeformado e outro deformado, com feições de deformação miloníticas relacionadas com a Zona de Cisalhamento Arroio Grande.

A Zona de Cisalhamento Arroio Grande é uma zona com direção E-W, com algumas variações para SW-NE e mergulho ora para SE e ora para NW, bem como a lineação de estiramento, que possui um sentido variando até N45°E. Essa variação deve-se ao fato de que as zonas de cisalhamento possuem um comportamento anastomosado e não necessariamente linear, e por se tratar de um sistema com foliação sub-vertical, o mergulho tende a variar um pouco para dois sentidos opostos. Essa direção NE subordinada pode ser uma inflexão relacionada com as zonas de cisalhamento principais presentes no Batólito Pelotas, com direção NE, sendo uma possível ligação entre a Zona de Cisalhamento Arroio Grande e essas zonas. Ainda, o baixo ângulo (*rake*) formado entre a lineação de estiramento mineral e a foliação

tectônica são característicos de zonas de cisalhamento transcorrentes (Lin *et al.* 1998), o que é concordante com as demais Zonas de Cisalhamento do batólito, como por exemplo a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal do Canguço (Koester 1995).

Por se tratar de uma zona de cisalhamento dúctil, a trama milonítica apresenta uma série de feições que fornecem informações importantes sobre os eventos de deformações que afetaram o Granito Três Figueiras. Dentre eles está a presença de inúmeros marcadores cinemáticos, como porfiroclastos de feldspato e muscovita (*mica fish*). Uma análise preliminar destes marcadores mostra de forma bastante evidente que o sentido de movimento para esta zona é dextral (Fig. 17 e 18). Essa característica é importante, pois a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguço possui sentido de movimento sinistral o que deixa em dúvida se a Zona de Cisalhamento Arroio Grande faz parte dessa zona, sendo um braço com direção E-W ou se constitui uma Zona de Cisalhamento independente.



Figura 17 - Indicadores cinemáticos dextais em agregados e cristais de feldspato no Granito Três Figueiras

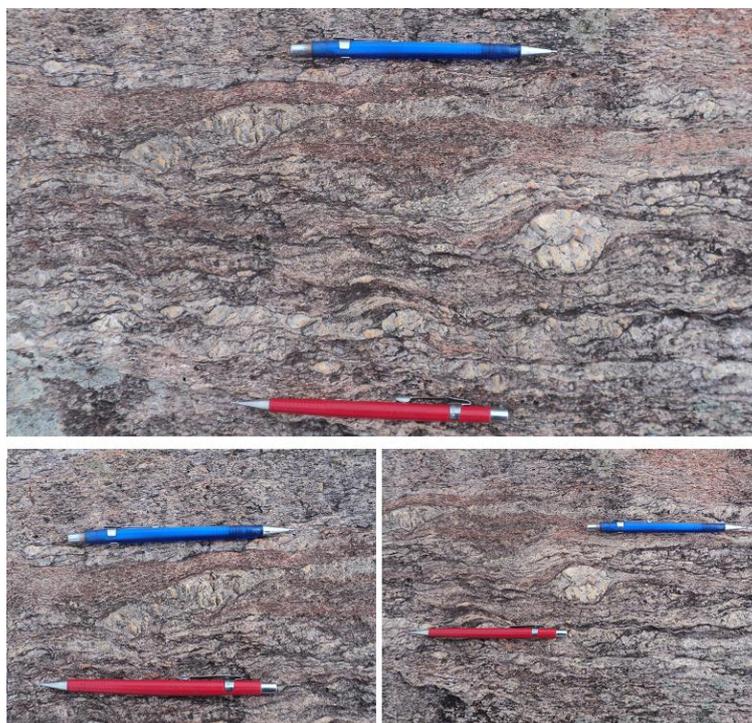


Figura 18 - Indicadores cinemáticos dextrais em cristais e agregados de feldspato no Granito Três Figueiras

Embora tenha-se observado que o Granito Três Figueiras é afetado pela Zona de Cisalhamento, não foi possível observar com clareza sua relação temporal com a mesma, isto é, se é sin ou pré-tectônico. A falta de uma foliação magmática indica que ele pode ser pré-tectônico, entretanto em algumas porções restritas foi possível identificar uma orientação muito incipiente das muscovitas. A idade de cristalização do Granito Três Figueiras, sugerida por Ticky et al. (200x) de $550 \pm \text{sda}$ é concordante com o final do ciclo brasileiro e formação das zonas de cisalhamento do Batólito Pelotas. Levando-se em consideração que as Zonas de Cisalhamento são ativas durante períodos de tempo mais longos do que a colocação e resfriamento de magmas graníticos (Bitencourt 1996), é provável que o Granito Três Figueiras seja sintectônico à Zona de Cisalhamento Arroio Grande. Ambas as possibilidades são possíveis, de modo que são necessários mais estudos neste sentido, bem como uma datação mais precisa para um melhor posicionamento estratigráfico do Granito Três Figueiras.

5 PETROGRAFIA

5.1 RESULTADOS

Neste trabalho o Granito Três Figueiras será descrito e agrupado petrograficamente segundo os critérios abordados por Bittencourt & Nardi (1986), sendo eles estágio não deformado ou com deformação muito incipiente, estágio de deformação incipiente e estágio de deformação intermediária.

5.1.1 Estágios sem deformação

Em lâmina delgada, a porção indeformada apresenta composição sieno a monzogranítica heterogranular média, alotriomórfica. A mineralogia essencial é composta de K-feldspato, plagioclásio e muscovita ± biotita. Como principais minerais acessórios apresenta apatita, zircão ± granada ± turmalina.

O quartzo é anédrico variando de 1 a 2,4 mm com extinção ondulante, ou ocorre ocupando interstícios.

O K-feldspato ocorre predominantemente anédrico com tamanho médio de 2 mm, sendo possível observar alguns cristais maclados com uma ou duas faces retas. Os cristais se apresentam ora sem macla, ora com dupla macla, raramente com macla simples. É possível observar inclusões aciculares de muscovita e zircão, principalmente nas porções centrais dos cristais de K-feldspato.

O plagioclásio é anédrico a subédrico, eventualmente com duas faces retas, variando até 2,6 mm, mas com tamanho médio de 1,2 mm. Possui macla polissintética, nem sempre visível, por vezes levemente deformada em forma de cunha em alguns cristais. Ocorrem inclusões em aciculares e tabulares de 0,2 mm de muscovita e prismáticas de zircão, ortogonais ou em alto ângulo em relação ao plano das maclas.

Eventualmente, no contato entre o K-feldspato e o quartzo, e mais raramente entre o K-feldspato e o plagioclásio, ocorre a formação de mirmequitos.

As micas são subédricas a euédricas, com pelo menos duas faces retas e a biotita geralmente aparece intercrescida nas bordas da muscovita com cristais variando de 0,1 a 0,5 mm. As muscovitas formam cristais de 0,5 mm até cristais mais desenvolvidos de 4 mm.

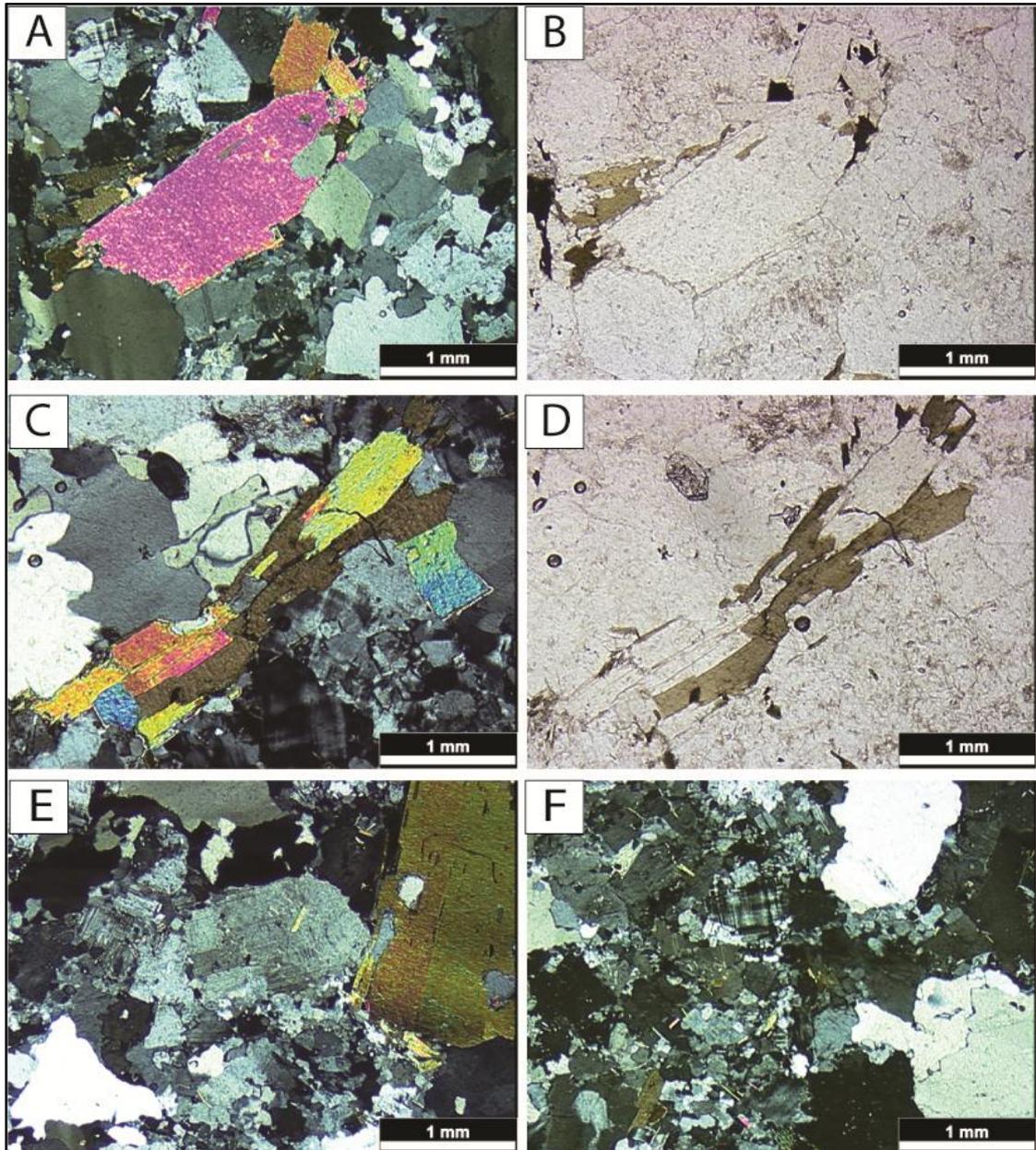


Figura 19 - Aspectos microscópicos dos estágios não deformados do Granito Três Figueiras. A) Cristal de muscovita, LP; B) Cristal de muscovita, LN; C) Cristais de muscovita e biotita, LP; D) Cristais de muscovita e biotita, LN; E) Textura inequigranular aliotriomórfica em quartzo e feldspatos, LP; F) Detalhe na textura aliotriomórfica e cristais de K-feldspato com dupla macla.

5.1.2 Estágios deformados

Para os termos deformados foram identificados dois estágios de deformação, segundo os critérios de Bittencourt e Nardi (1986). Um estágio de deformação incipiente e um estágio de deformação intermediária, que serão descritos separadamente.

5.1.2.1 Estágios de deformação incipiente

Os estágios de deformação incipiente são formados por metagranitos com composição sieno a monzogranítica, heterogranulares, alotriomórficos, com mineralogia essencial a base de K-feldspato, plagioclásio, quartzo, muscovita ± biotita, e como minerais acessórios, zircão, apatita, turmalina e granada.

O quartzo é anédrico variando de 0,4 a 2,6 mm, com forte extinção ondulante e tende a formar agregados, sendo possível observar a formação de subgrãos na maioria dos cristais. Localmente apresenta contatos lobados.

O K-feldspato é anédrico variando de 0,6 a 2,8 mm e ocorre ora sem macla, ora com dupla macla, sendo raros os cristais com macla simples.

O plagioclásio é predominantemente anédrico, varia de 0,8 a 2,4 mm e frequentemente apresenta-se fraturado. Alguns cristais apresentam macla levemente deformada em cunha ou formando *kinks*.

As micas são subédricas, com extinção ondulante e levemente curvadas, variando de 0,8 a 2,8 mm. Tendem a se alinhar formando agregados e marcando uma foliação incipiente, descontínua e muito irregular, contornando cristais de feldspato e granada.

É possível observar uma matriz fina formada por cristais de quartzo e feldspato, desenvolvendo localmente textura interlobada serrilhada.

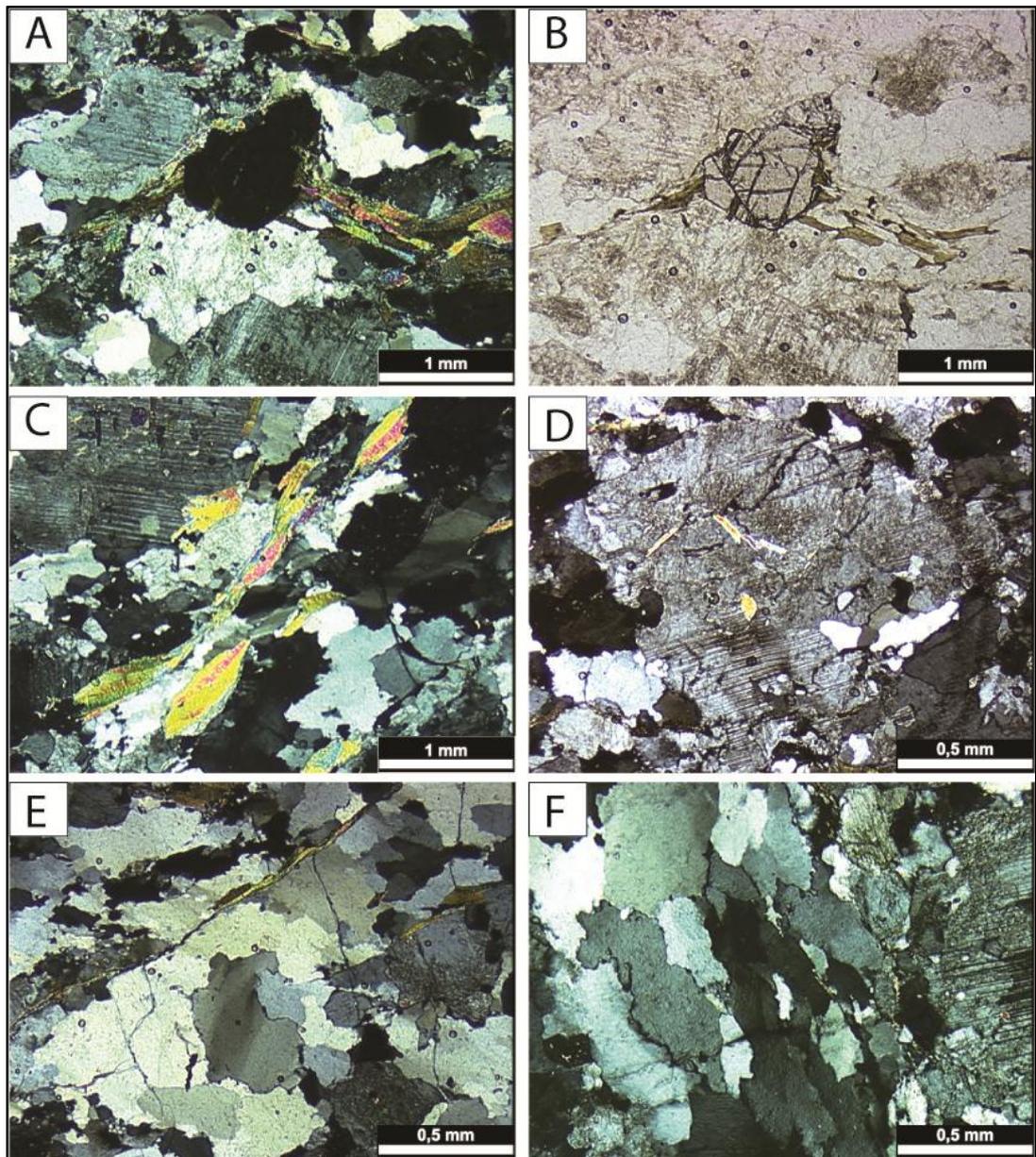


Figura 20 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação incipiente do Granito Três Figueiras: A) Cristal de granada envolto por foliação incipiente marcada pelas micas, LP; B) Cristal de granada fraturado, LN; C) Porfiroclastos de muscovita (mica fish) começando a formar a foliação milonítica; D) Cristal de plagioclásio fraturado, evidenciando a deformação rúptil; E) Quartzo com extinção ondulante e começando a formar subgrãos; F) Recristalização incipiente do quartzo e formação de textura interlobada.

5.1.2.2 Estágio de deformação intermediária

Os estágios com deformação intermediária constituem protomilonitos a milonitos de composição sieno a monzogranítica, com textura porfiroclástica, formada por porfiroclastos de K-feldspato, plagioclásio e muscovita (*mica fish*). A matriz é inequigranular com arranjo granoblastico interlobado a poligonal. A foliação é marcada por textura lepidoblástica nas micas, e agregados de quartzo e feldspato recristalizados que caracterizam também a lineação de estiramento mineral.

Os porfiroclastos de K-feldspato se apresentam predominantemente não maclados, ou com macla dupla, e mais raramente com macla simples, enquanto o plagioclásio possui tamanho médio de 1,2 mm e apresenta macla polissintética, com tamanho médio de 1,2 mm. Alguns cristais possuem feições de recristalização nas bordas, sendo possível observar cristais com as bordas totalmente recristalizadas e apenas um núcleo preservado (*mantled porfiroclasts*). Mirmequitos são abundantes, especialmente nos contatos entre o plagioclásio e o quartzo e nas bordas do K-feldspato no contato com o plagioclásio. Subordinadamente, alguns cristais de K-feldspato apresentam formação de texturas de exsolução peritíticas.

As micas, principalmente a muscovita, ocorrem na forma de porfiroclastos *fish* com tamanho variando de 0,6 a 0,8 mm e raramente com cristais de até 2,8 mm, ou formando finas trilhas de recristalização, que marcam a foliação milonítica. Cristais de biotita indeformados eventualmente ocorrem inclusos em grãos de muscovita ou feldspato, provavelmente protegidos da deformação.

O quartzo ocorre predominantemente recristalizado, constituindo a principal fase da matriz. Eventualmente deforma como fitas circundando os porfiroclastos de feldspato ou como cristais reliquias com extinção ondulante. Tende a formar agregados recristalizados com tamanho variando de 30 a 80 μm .

A foliação é descontínua e irregular, marcada pelo alinhamento preferencial de micas formando trilhas finas, ou com bandas quartzo-feldspáticas mais espessas.

Localizadamente, nas porções mais deformadas, o quartzo ocorre totalmente recristalizado, exceto por alguns poucos cristais reliquiares com extinção ondulante. O K-feldspato também está bastante recristalizado. O mesmo ocorre com as micas, que possuem menos porfiroclastos e estes possuem tamanho menor, e já tendem a formar trilhas bem desenvolvidas com tamanho de grão muito fino. Nestas porções, o plagioclásio se mostra mais recristalizado com tamanho médio predominante dos cristais de 0,4 mm e alguns poucos grãos de até 1,6 mm. Também ocorrem porfiroclastos de granada, mais resistentes, de 1,8 a 2,4 mm. O tamanho de grão é mais homogêneo, entretanto ainda não possui uma foliação bem marcada e desenvolvida.

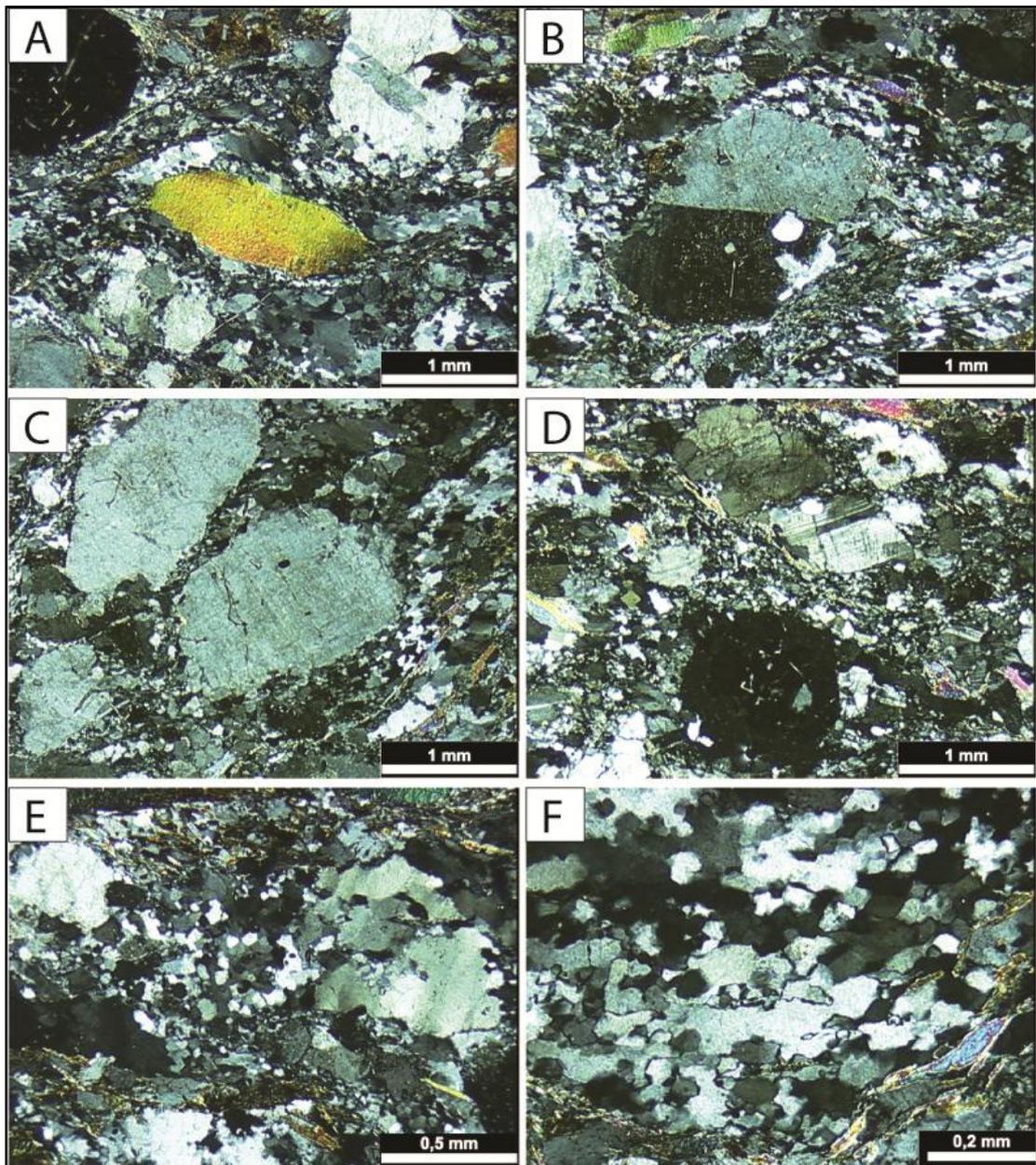


Figura 21 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Porfiroclasto de muscovita, LP; B) Porfiroclasto de K-feldspato com bordas começando a recristalizar e sombras de deformação ocupadas por quartzo recristalizado, LP; C) Porfiroclasto de plagioclásio começando a recristalizar nas bordas, LP; D) Porfiroclasto de granada, notar a diferença de tamanho de grão entre matriz e porfiroclastos, LP; E) Matriz com textura granoblástica poligonal em quartzo e feldspato, LP; F) Detalhe na matriz com textura granoblástica poligonal, formada por quartzo e feldspato, LP.

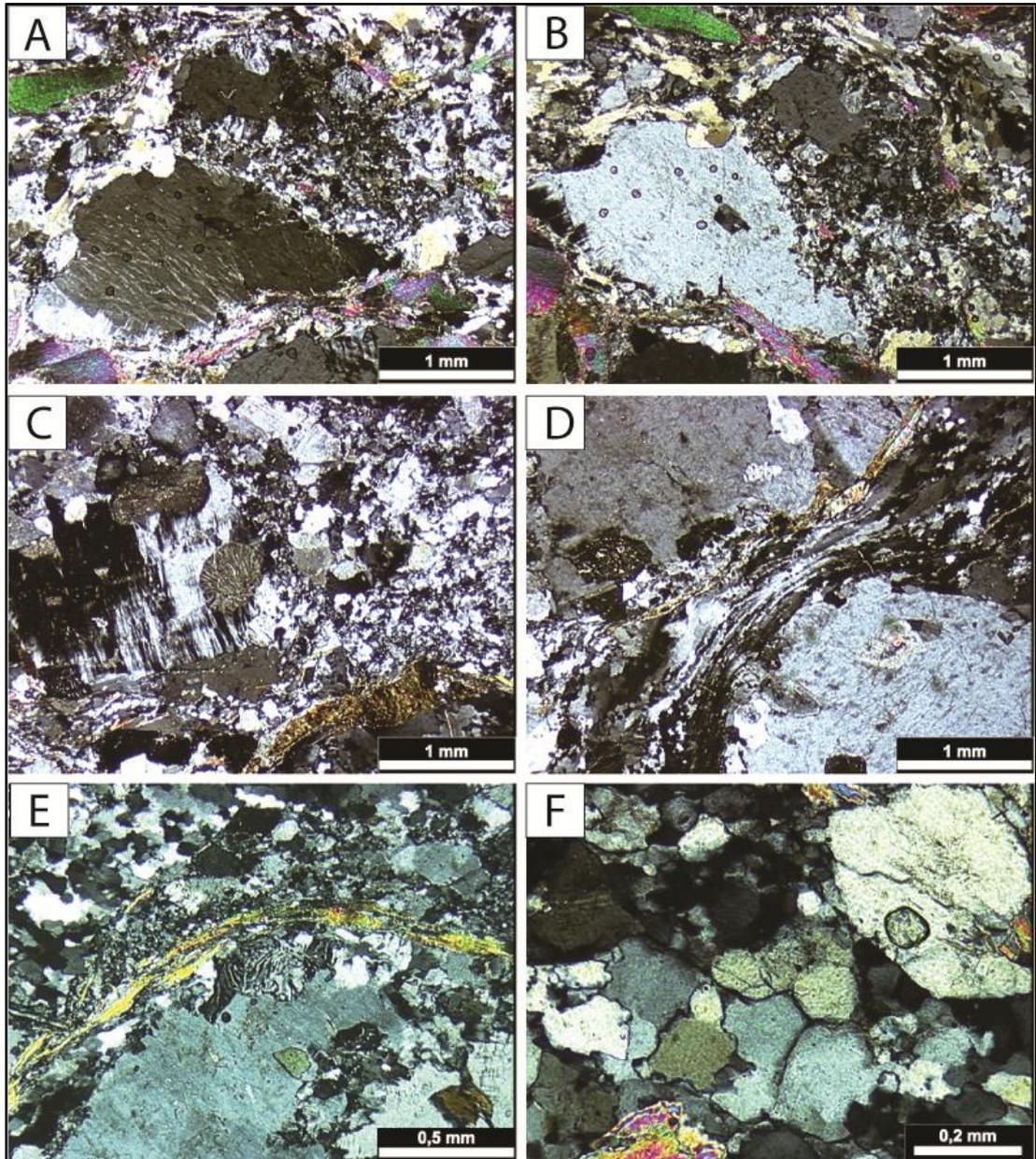


Figura 22 - Aspectos microscópicos dos estágios de deformação intermediária do Granito Três Figueiras: A) Porfiroclasto de K-feldspato recristalizado e começando a formar pertitas, LP; B) Mesmo porfiroclasto da foto A com giro da platina de 45°. Notar a dupla macla restrita a uma borda do cristal; C) Detalhe porfiroclastos de K-feldspato com deformação da macla e formação de mirmequitos nas bordas; D) Textura do quartzo em fita na foliação milonítica, envolvendo porfiroclastos de K-feldspato e plagioclásio; E) Porfiroclasto de K-feldspato começando a recristalizar e formando mirmequitos nas bordas; F) Detalhe da matriz com textura granoblástica poligonal mais grossa.

5.2 DISCUSSÃO

Com base nas descrições petrográficas, foi possível observar, macro e microscopicamente, uma variação no grau de deformação nos termos miloníticos do Granito Três Figueiras. Neste trabalho, essas variações serão discutidas com base em critérios estabelecidos por Nardi & Bittencourt (1986) e, sempre que possível, confrontados com outras referências da literatura, como Passchier & Trow (1995), a fim de comparar as diferentes feições observadas, interpretar as estruturas e reações e sugerir a temperatura de recristalização na qual ocorreu a deformação.

Segundo Bittencourt & Nardi (1986) rochas graníticas respondem a deformação de forma heterogênea, de modo que o comportamento dúctil e a intensidade da deformação não são distribuídos uniformemente ao longo do corpo rochoso. Sob condições dúcteis, a evolução progressiva da deformação pode ser caracterizada em quatro estágios: estágio não deformado; estágio de deformação incipiente; estágio de deformação intermediária e estágio de deformação avançada. Para o Granito Três Figueiras foram observados apenas os estágios não deformado, com deformação incipiente e deformação intermediária.

Nos estágios não deformados é possível observar que o Granito Três Figueiras preserva texturas e estruturas da rocha ígnea original. É um granito isótropo, sem foliação magmática expressiva – as placas de muscovita estão orientadas caoticamente e não há alinhamento de forma dos cristais, embora já apresente algumas evidências de deformação, como planos de macla do plagioclásio levemente deformados.

Nos estágios iniciais de deformação, é possível observar que os cristais de muscovita começam a girar e se alinhar segundo um plano preferencial, e tendem a formar uma foliação milonítica incipiente, embora ainda não seja possível observar texturas típicas de rochas miloníticas. Outras feições oriundas da deformação são observadas nos cristais de muscovita, que já não são cristais estritamente euédricos e tendem a formar

extinção ondulante e dobrar, mas sem recristalização evidente. No quartzo, há formação de subgrãos e a extinção ondulante já é acentuada.

Nos estágios intermediários, a deformação é mais efetiva. Começam a ocorrer texturas e estruturas típicas de deformação dúctil: a formação de protomilonitos e milonitos, com graus variados de recristalização e cominuição de grãos. Os cristais de muscovita já estão orientados em bandas alinhadas, e caracterizam uma foliação milonítica irregular e descontínua. Os feldspatos mais resistentes a deformação formam porfiroclastos, que já apresentam em algumas porções feições de recristalização nas bordas dos grãos. A granulometria varia bastante, desde porções com matriz um pouco mais grossa, até uma matriz muito fina, evidenciando uma cominuição de grão muito mais efetiva. Localmente são encontradas feições de deformação mais avançada, entretanto não são comuns e ficam restritas a alguns cristais apenas, como quartzo fitado ou zonas com tamanho de grão maior e mais homogêneos, mas que não chegam a formar bandas regulares e contínuas. A evolução da deformação e a transição dos estágios descritos podem ser visualizados nos fotomosaicos da figura 23.

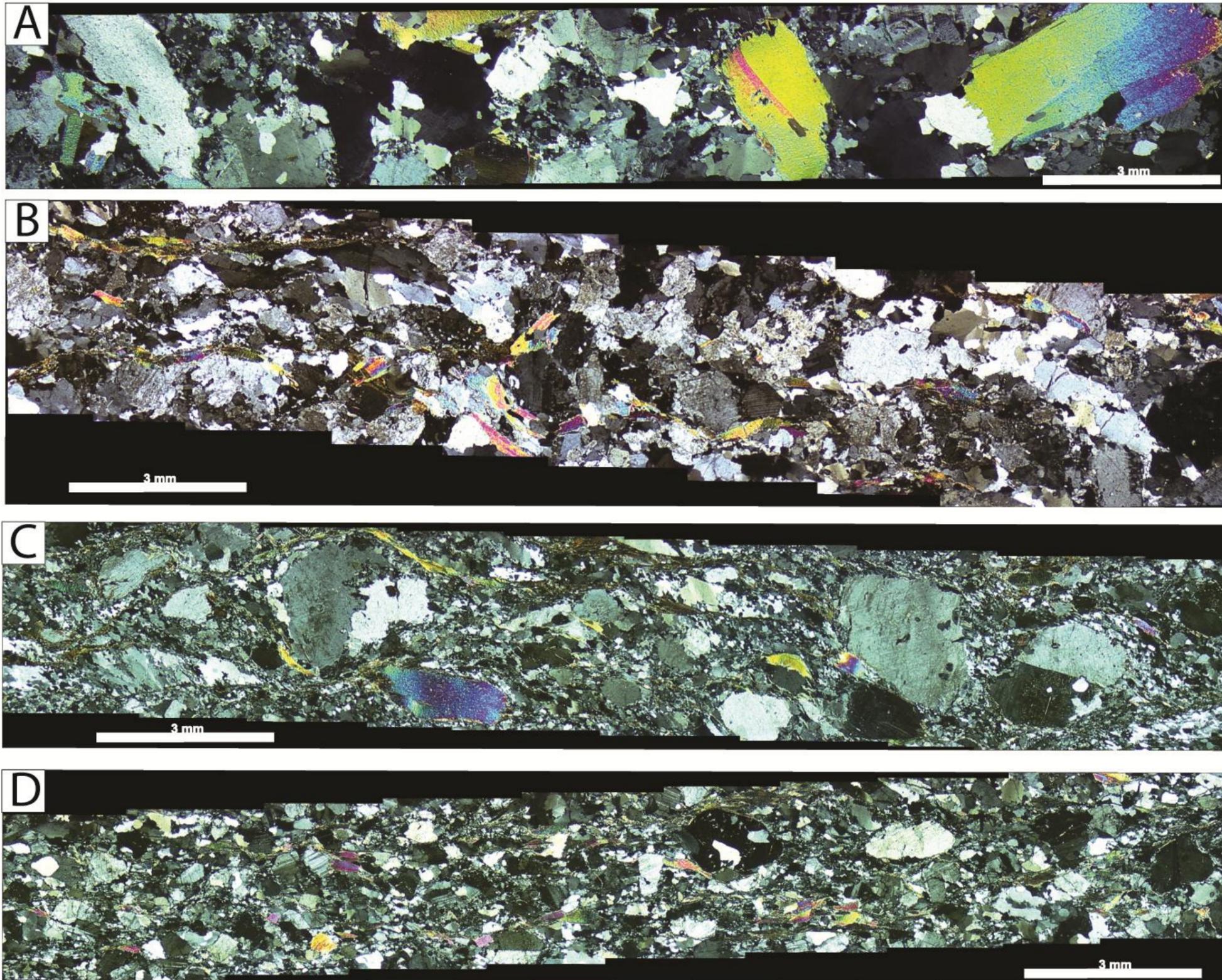


Figura 23 - Fotomosaicos em LP mostrando os diferentes estágios e a evolução da deformação: A) Estágio não deformado; B) Estágio com deformação incipiente; C) Estágio com deformação intermediária, notar a formação da foliação molonítica e porfiroclastos; D) Estágio de deformação intermediária com algumas feições de deformação avançada. Notar o processo de cominuição mais efetivo e formação de uma textura mais homogênea.
Fonte: O autor (2012)

Segundo Passchier (2005), a diferença de reologia entre os cristais de quartzo e feldspato fazem, em condições de baixa a média temperatura, com que cada um responda de forma diferente a tensão e deforme por diferentes mecanismos. O quartzo tende a deformar ductilmente, formando agregados alongados e estirados ao longo dos planos de foliação, enquanto os feldspatos, em condições intermediárias de temperatura, tendem a resistir e formar porfiroclastos, com núcleos preservados, eventualmente fraturados, e mantos de recristalização nas bordas dos cristais, que com aumento da deformação podem assumir formas alongadas e avançam em direção ao centro do grão.

O Granito Três Figueiras apresenta essas feições em diferentes níveis, mas em algumas porções os feldspatos já estão bem mais recristalizados, embora ainda não formem bandas homogêneas. Com base em Passchier (2005) é possível estabelecer para o Granito Três Figueiras um grau médio e temperaturas de recristalização e deformação da ordem de 400 a 600° (Fig. 24).

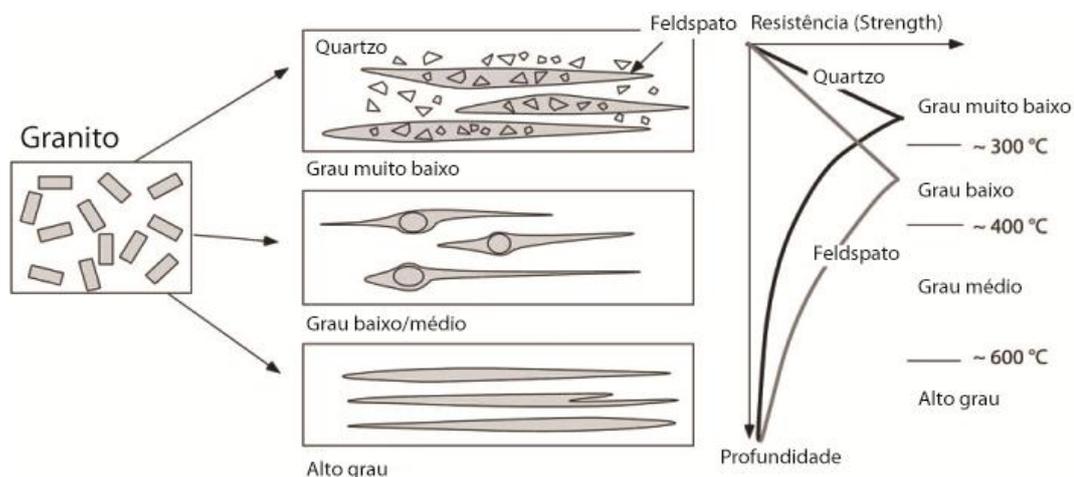


Figura 24 - Mudanças de comportamento na deformação de agregados de quartzo e feldspato em função da profundidade e temperatura. Linhas retas representam comportamento rúptil, linhas curvas, comportamento dúctil. Em graus muito baixos, ambos possuem comportamento rúptil. Em grau baixo a médio, o quartzo começa a deformar ductilmente e o feldspato começa a formar porfiroclastos com bordas recristalizadas. Em alto grau o quartzo e o feldspato apresentam comportamento semelhante e deformam ductilmente.

Fonte: modificado de Passchier (2005)

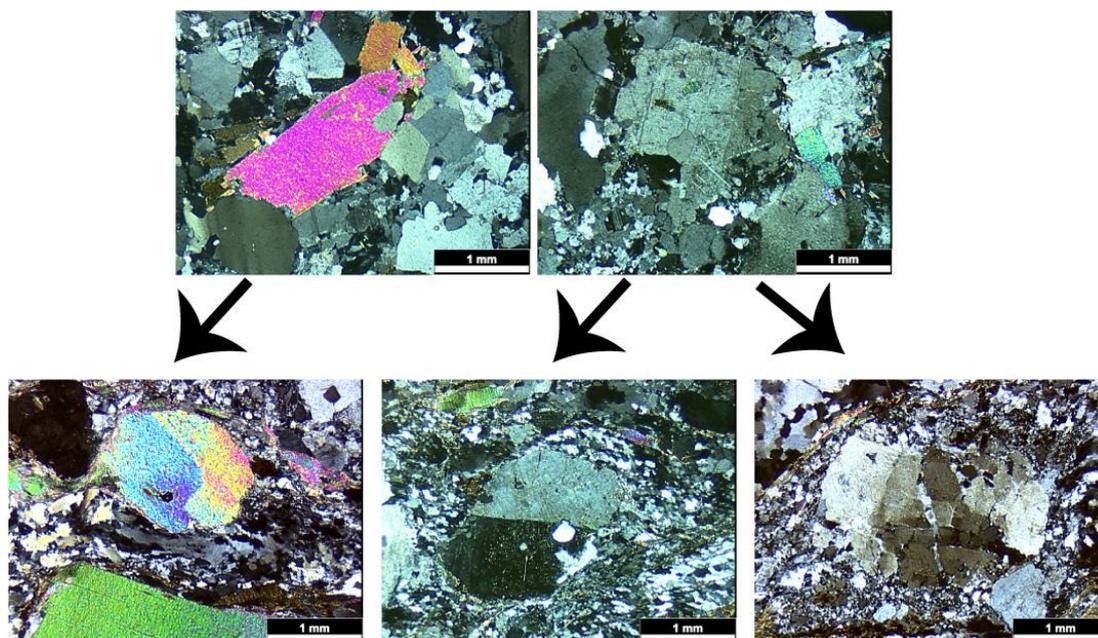


Figura 25 - Figura comparativa, evidenciando as feições da figura 25 exibidas nos termos com deformação intermediária pelo do Granito Três Figueiras. A muscovita e o feldspato formando porfiroclastos e o quartzo formando agregados estirados e recristalizando para grãos mais finos. Fotomicrografias em LP.

A temperatura de recristalização e o grau de deformação podem ser inferidos a partir das texturas e reações observadas nos cristais, principalmente nos porfiroclastos de feldspato e no arranjo da matriz. O arranjo da matriz, chegando à textura granoblástica poligonal, associada à recristalização parcial dos feldspatos, inclusive o plagioclásio, e a formação de mirmequitos por deformação, sugerem que a deformação se deu sob fácies anfibolito inferior a médio com temperaturas mínimas da ordem de 550°C.

6 GEOQUÍMICA

6.1 RESULTADOS

Neste trabalho foram encaminhadas 06 amostras do Granito Três Figueiras para o Acme *Analytical Laboratories Ltda.*, para análises químicas em rocha total de elementos maiores por ICP e traços por ICP-MS. A fim de se obter análises representativas da rocha, foram selecionadas amostras com menor grau de alteração possível. Para estudos de comparação entre os termos deformados e indeformados, foram selecionadas 03 amostras de cada porção. Soma-se a estas, 03 análises (333 a, b, c) obtidas por Philipp (1998), representativas da porção deformada.

O conjunto de dados obtidos pode ser visualizado nas tabelas 1, 2 e 3, os quais foram trabalhados no *software GCDkit* (Janoušek *et al.* 2006) para geração de diagramas de classificação química, diagramas *Harker* de elementos maiores e traços, diagramas multielementares e *spider* de elementos terras raras (ETR), bem como os diagramas de classificação tectônica. Para melhor visualização dos dados, os elementos traços não utilizados ou insignificantes na discussão dos dados foram retirados.

Tabela 1: Análises químicas dos elementos maiores do Granito Três Figueiras

Elementos maiores, concentrações em %													
Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	CaO	Cr ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	LOI	Total
PF-01	72,75	14,81	0,31	0,04	3,39	1,50	0,00	4,56	0,13	0,14	1,69	0,60	99,92
PF-15	71,95	15,08	0,40	0,02	3,57	1,87	0,00	3,83	0,13	0,21	2,05	0,70	99,80
PF-32	73,94	14,55	0,18	0,04	4,10	0,91	0,00	3,88	0,11	0,08	1,29	0,90	99,96
333A	72,18	14,73	0,31	0,05	3,35	1,32	-	4,82	0,16	0,17	1,56		
333B	75,14	14,47	0,10	0,07	3,46	1,01	-	4,58	0,09	0,06	0,91		
333C	71,36	14,25	0,33	0,05	3,30	1,49	-	4,26	0,14	0,17	1,65		
PF-02	73,37	14,27	0,17	0,03	3,49	0,90	<0,002	4,71	0,10	0,08	1,82	1,00	99,93
PF-46	74,68	13,82	0,18	0,03	3,28	0,90	0,00	4,69	0,12	0,09	1,63	0,50	99,94
PF-52	72,01	14,63	0,51	0,04	3,84	1,74	0,00	3,86	0,14	0,20	2,19	0,70	99,86

Legenda: Vermelho = ígneo Azul = milonítico.

Tabela 2: Análises químicas de elementos traço do Granito Três Figueiras

Elementos traço, concentração em ppm								
Amostra	V	Rb	Ba	Sr	Nb	Zr	Y	Be
PF-01	10,00	176,80	472,00	169,70	9,80	51,00	14,90	6,00
PF-15	19,00	136,80	1031,00	443,60	6,40	134,50	6,60	3,00
PF-32	<8	162,80	282,00	125,60	7,80	44,50	11,90	6,00
333A	12,00	258,00	478,00	152,00	14,00	84,00	13,00	-
333B	<1	244,00	166,00	104,00	16,00	41,00	14,00	-
333C	11,00	229,00	485,00	148,00	16,00	86,00	14,00	-
PF-02	<8	192,00	466,00	129,00	10,40	55,90	8,00	<1
PF-46	<8	181,30	358,00	121,70	9,70	51,00	11,70	2,00
PF-52	16,00	165,90	643,00	295,70	9,60	114,30	11,90	7,00

Legenda: Vermelho = ígneo Azul = milonítico.

Tabela 3: Análises químicas de elementos terras raras do Granito Três Figueiras

Elementos Terras Raras, concentração em ppm											
Amostra	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
PF-01	13,10	25,50	12,70	2,54	0,67	2,57	2,95	0,47	1,45	1,12	0,18
PF-15	34,00	65,80	27,00	4,81	0,97	3,18	1,45	0,15	0,55	0,46	0,04
PF-32	9,30	21,70	7,60	1,86	0,35	1,83	1,89	0,35	1,21	1,73	0,25
333A	23,60	45,00	20,00	4,10	0,80	-	-	-	-	0,90	0,14
333B	10,80	22,00	11,00	2,80	0,50	-	-	-	-	1,10	0,15
333C	22,70	46,00	22,00	4,00	0,80	-	-	-	-	1,00	0,14
PF-02	19,10	37,30	12,80	3,17	0,48	2,51	1,66	0,24	0,59	0,50	0,05
PF-46	20,00	39,10	16,50	3,54	0,51	2,92	2,27	0,35	0,91	0,70	0,08
PF-52	37,30	72,20	33,30	6,11	0,96	4,79	2,63	0,38	1,07	0,84	0,12

Legenda: Vermelho = ígneo Azul = milonítico.

O Granito Três Figueiras possui teores de sílica variando entre 72,01 e 74,68%, teores de alumínio normais entre 13,82 e 15,08% e teores elevados de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) entre 7,4 e 8,2%. Apresenta baixos teores de $\text{MgO} + \text{TiO}_2 + \text{FeO} < 2,5\%$ e baixos teores de cálcio entre 1 e 2%.

Nos diagramas de classificação para rochas plutônicas TAS (Cox *et al.*, 1979), que utiliza como parâmetros a comparação, os teores de SiO_2 x teores de $\text{K}_2\text{O} + \text{NaO}$ e no diagrama R1-R2 (De La Roche *et al.*, 1980), que utiliza as proporções molares entre Si, Na, K, Ti, Fe, Ca, Al, Mg, as amostras plotaram no campo dos granitos (Figs. 26 e 27), devido à elevada quantidade de quartzo e K-feldspato e os teores de SiO_2 presentes nas análises (> 71 e < 76 %). Em ambos os casos as amostras ficaram no campo das subalcalinas.

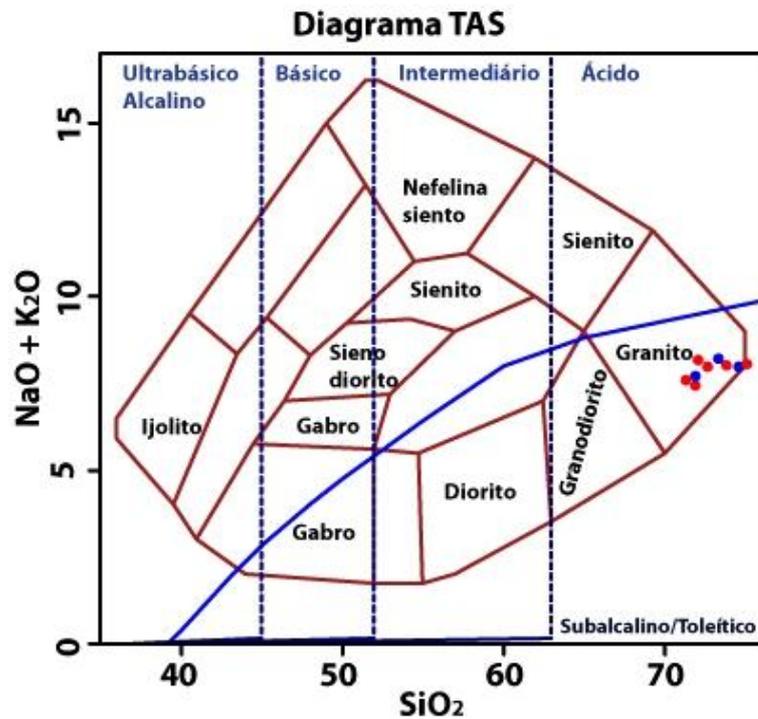


Figura 26 - Diagrama de álcalis vs. SiO₂ (TAS) para as amostras do Granito Três Figueiras. Fonte: Cox *et al.* (1979)

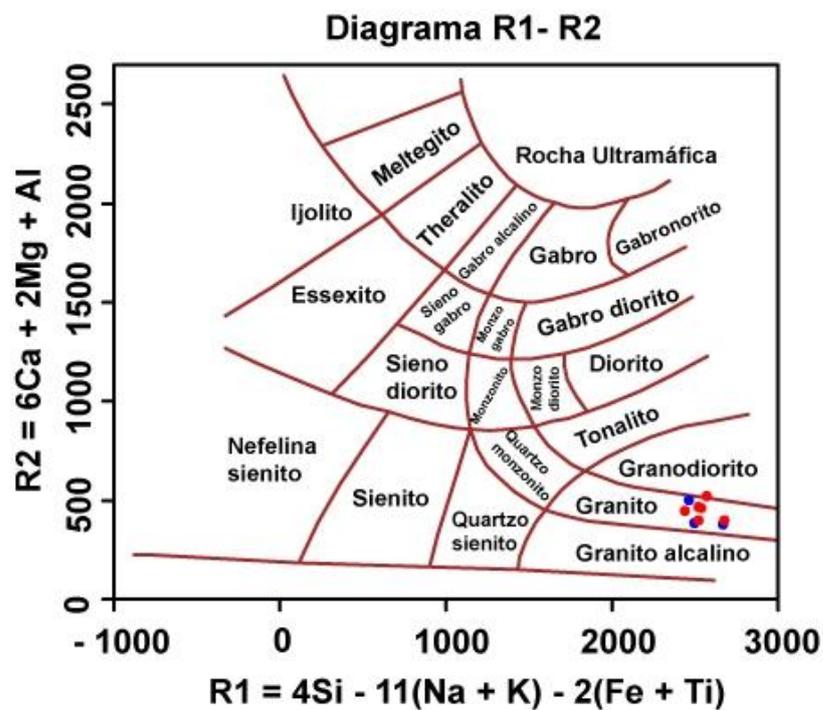


Figura 27 - Diagrama R1-R2 de classificação química para as amostras do Granito Três Figueiras. Fonte: De La Roche *et al.* (1982)

Nos diagramas de *Harker* para os elementos maiores, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação, foi possível identificar *trends* de correlação negativos com a diferenciação para o Al_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 e (Fig. 28). O comportamento dos álcalis (Na_2O e K_2O) apresenta uma distribuição irregular.

Para os elementos traços observa-se correlações negativas com aumento da diferenciação para o Ba e Zr. Os teores de Rb mostraram ampla dispersão e os teores de Sr se mantem constantes entre 100 e 150 ppm (Fig. 29).

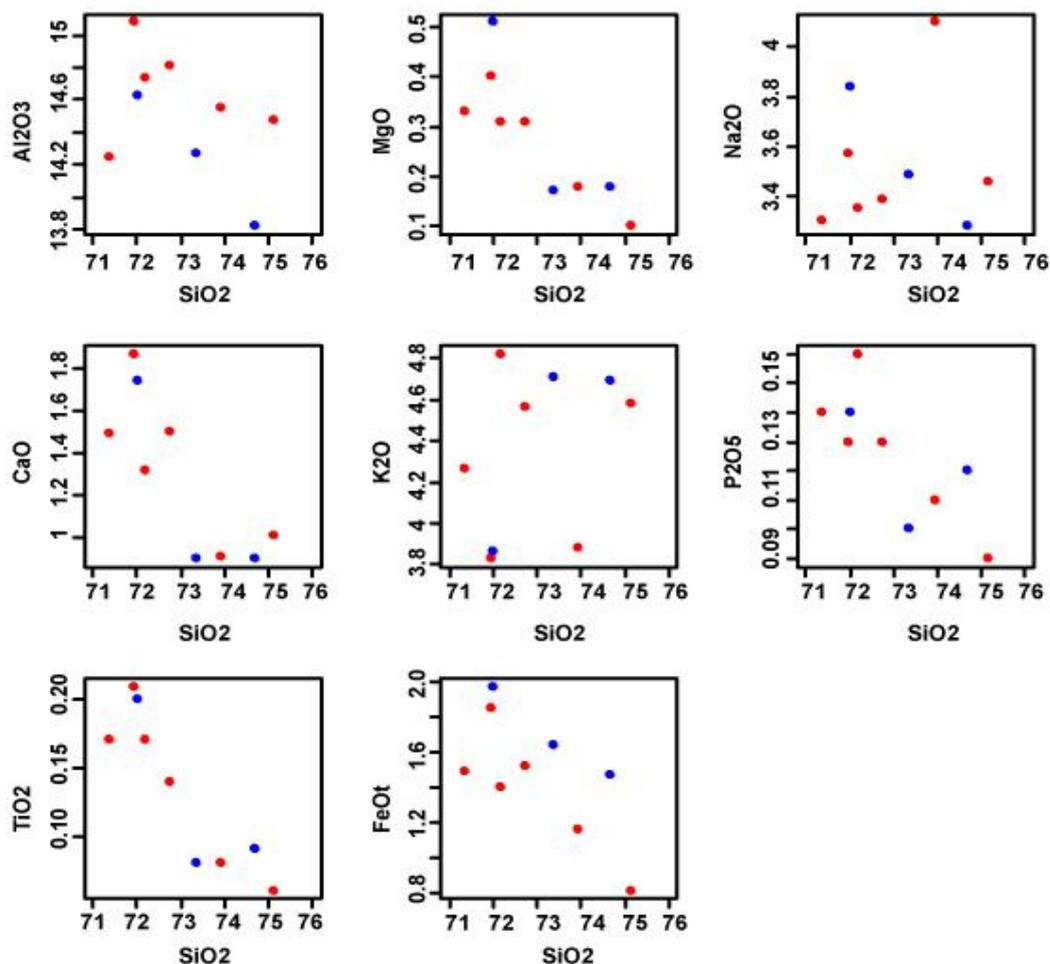


Figura 28 - Diagramas de *Harker* para os elementos maiores do Granito Três Figueiras.

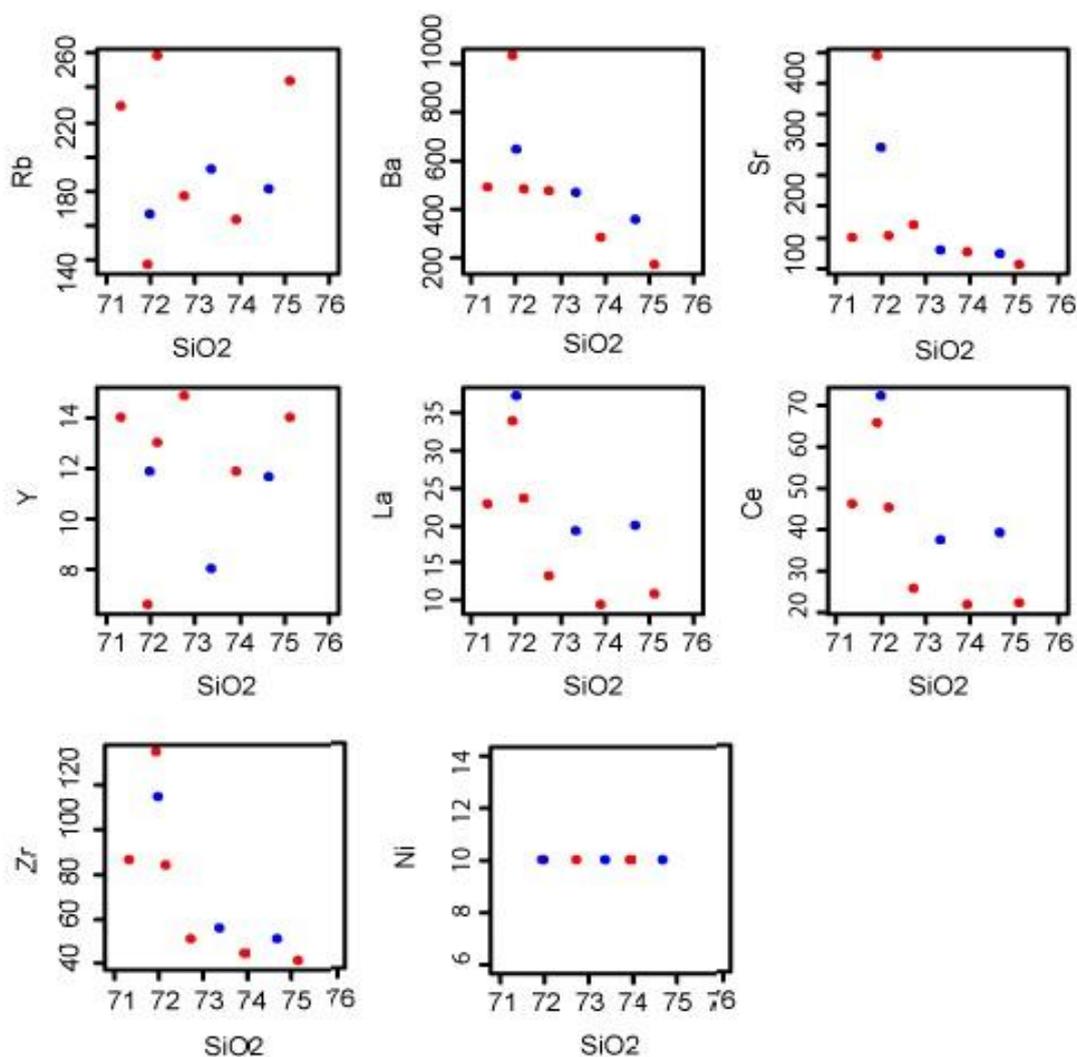


Figura 29 - Diagramas de *harker* para os elementos traço do Granito Três Figueiras.

No diagrama de Shand (1943), que utiliza a relação entre a razão da quantidade de alumínio e as concentrações molares de sódio, potássio e cálcio, as amostras apresentam um caráter levemente peraluminoso, com razões A/CNK em torno de 1.1(Fig. 30).

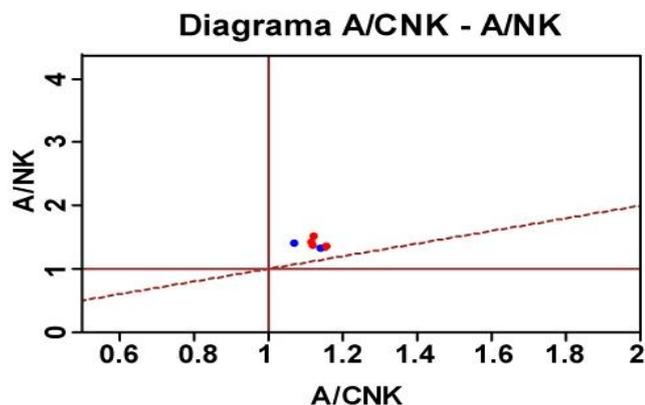


Figura 30 - Diagrama de classificação de Shand (1943), mostrando o caráter peraluminoso do Granito Três Figueiras.
Fonte: Shand (1943)

O diagrama de Le Maitre (1989), que leva em consideração as relações entre SiO_2 vs. K_2O para as rochas cálcico-alcálicas, caracteriza o Granito Três Figueiras como cálcico-alcálico da série alto potássio (Fig. 31).

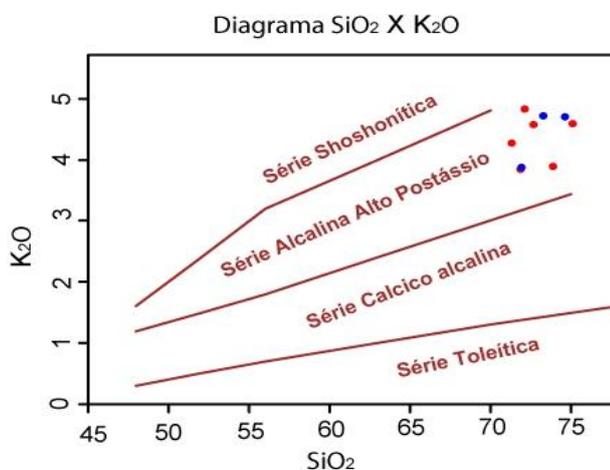


Figura 31 - Diagrama de SiO_2 vs. K_2O evidenciando a série alto potássio para o Granito Três Figueiras
Fonte: Le Maitre (1989)

O cálculo da norma CIPW (Tab. 4) indicou a presença de coríndon normativo, com valores elevados, entre 1,306 e 2,199, o que é um forte indicador do caráter peraluminoso deste granito. Os valores calculados para os minerais na norma estão adequados para os o diagrama de classificação do diagrama de Streckeisen (1979).

Tabela 4: Cálculo da Norma CIPW para o Granito Três Figueiras

Amostra	Norma CIPW (%)								
	PF-01	PF-15	PF-32	333A	333B	333C	PF-02	PF-46	PF-52
Q	32.270	32.290	33.334	31.408	35.412	32.571	33.144	35.793	30.807
C	1.881	1.972	2.214	1.985	2.199	1.836	2.033	1.998	1.306
Or	26.948	22.634	22.930	28.485	27.066	25.175	27.835	27.716	22.811
Ab	28.685	30.208	34.693	28.347	29.278	27.924	29.531	27.754	32.493
Na	6.592	8.428	3.796	5.503	4.423	6.478	3.812	3.681	7.718
Hy	0.772	0.996	0.448	0.772	0.280	0.822	0.423	0.448	1.270
Il	0.086	0.043	0.086	0.107	0.114	0.107	0.064	0.064	0.086
Ru	0.095	0.188	0.035	0.114	0.000	0.114	0.046	0.056	0.155
Ap	0.308	0.308	0.261	0.379	0.213	0.332	0.237	0.284	0.332
Total	97.637	97.067	97.796	97.099	98.986	95.358	97.126	97.797	96.978

Legenda: Vermelho = ígneo Azul = milonítico.

Foram gerados também diagramas multi elementares, normalizados para *OIB* (*Ocean Island Basalts*) e média da crosta continental. Com relação à comparação com *OIB*, apresentou um enriquecimento nos elementos traço tipo LILE e terras raras leves, e empobrecimento nos pesados (Fig. 32). Com relação à média da crosta, as amostras mostram empobrecimento maior principalmente nos elementos Ba, Sr, Zr e Ti, e um leve enriquecimento em Rb, K, U e Tb (Fig. 33).

A comparação mostra que o Granito Três Figueiras não possui um padrão de elementos traço muito compatível os padrões apresentados, embora os mais retilíneos sejam os padrões *OIB*.

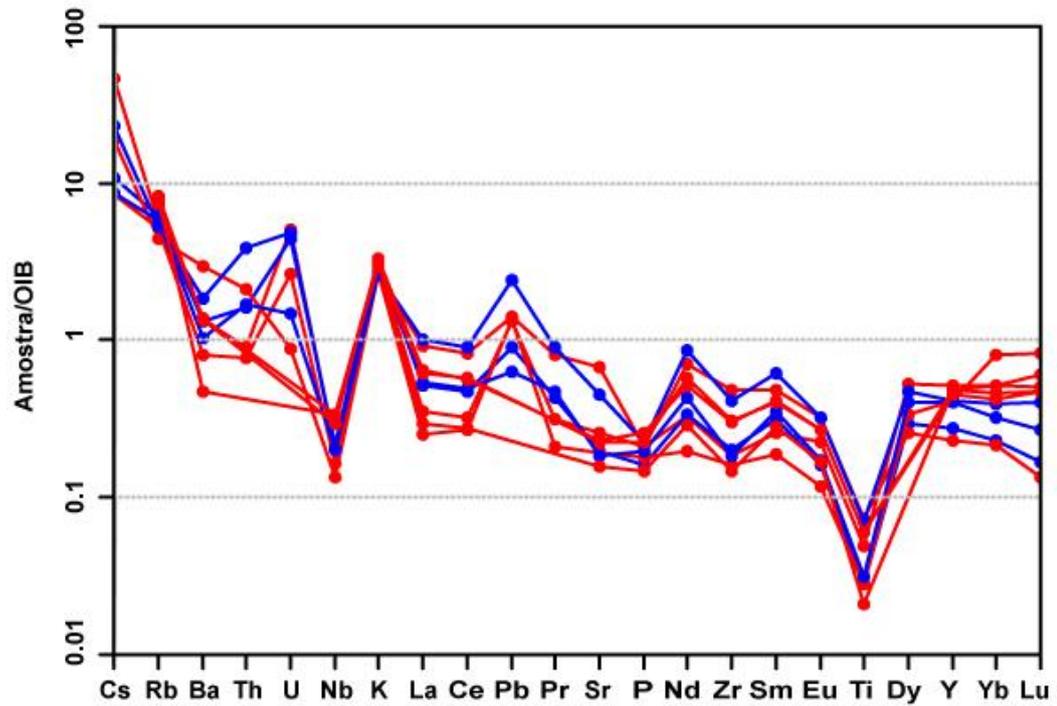


Figura 32 - Diagrama multielementar com padrão normalizado para OIB.

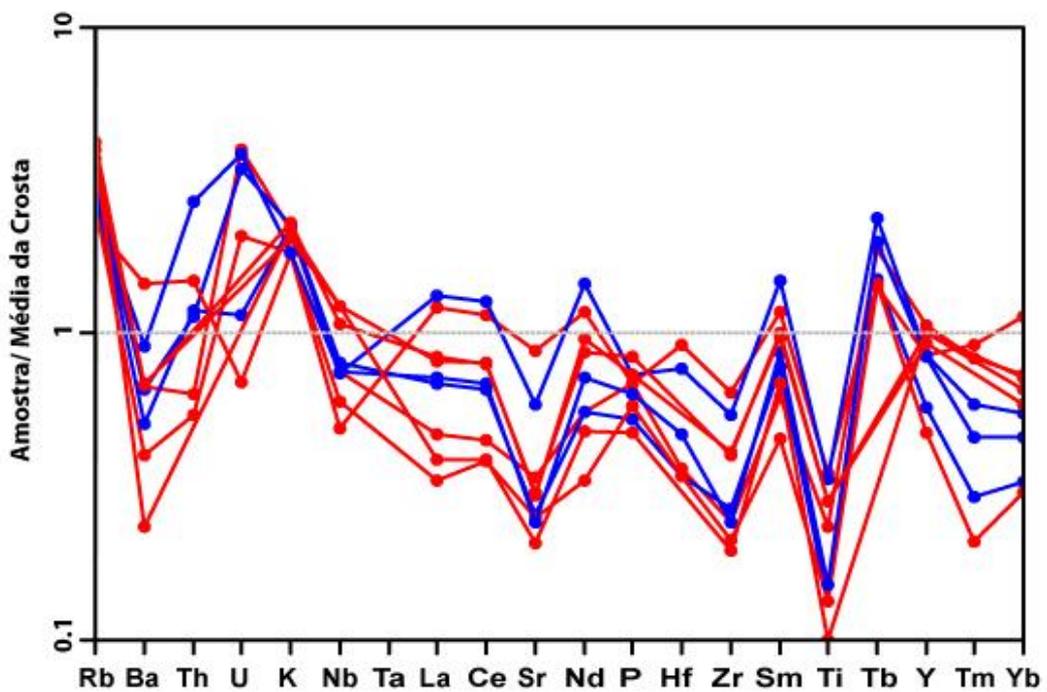


Figura 33 - Diagrama multielementar com padrão normalizado para média da crosta.

As amostras do Granito Três Figueiras mostram um padrão homogêneo para ETR, de modo que sua distribuição, normalizada para o condrito (Nakamura 1974) mostra um padrão enriquecido em ETR leves da ordem de 10 a 100 vezes, e inferiores a 10 vezes para os ETR pesados, com uma leve anomalia negativa de Eu (Fig. 34). De modo geral, todos os elementos de ambos os grupos de amostras, deformadas e indeformadas, apresentaram um comportamento semelhante, com uma pequena oscilação nos elementos terras raras pesados nas amostras dos termos miloníticos.

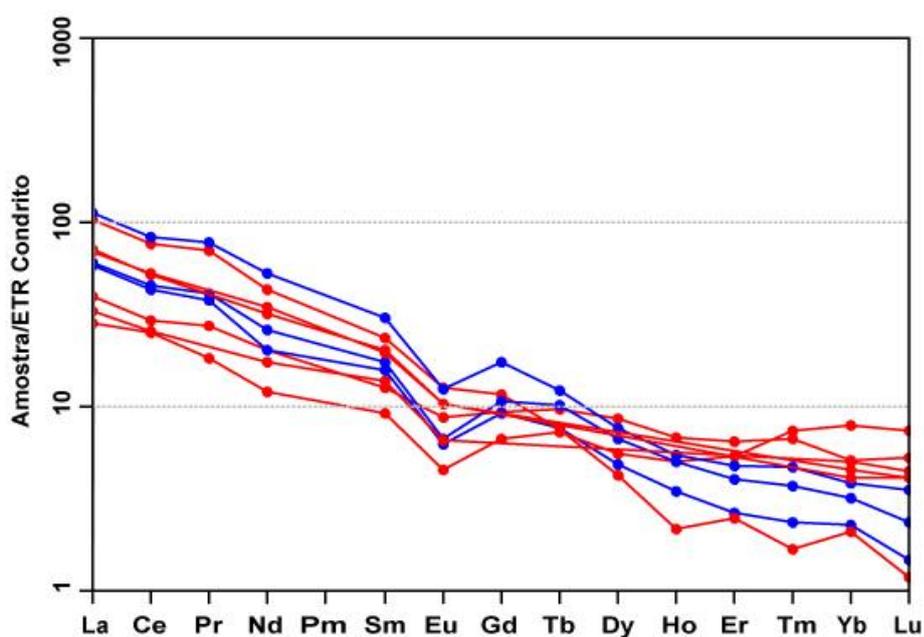


Figura 34 - Diagrama multielementar de ETR com padrão normalizado para o condrito. Fonte: Nakamura (1974)

Com relação ao ambiente tectônico, no diagrama de Batchelor & Bowden (1985), que leva em consideração os parâmetros R1-R2 (De La Roche et al., 1980), as amostras se concentram no campo dos granitóides sin-colisionais (Fig. 35). O mesmo ocorre quando as amostras são plotadas nos diagramas de Pearce *et al.* (1984), baseado na relação entre os elementos Rb, Nb, Y e Ta, no qual amostras plotam no limite entre os granitos sin-colisionais (*syn-COLG*) e granitos de arco vulcânico (*VAG*) (Fig. 36).

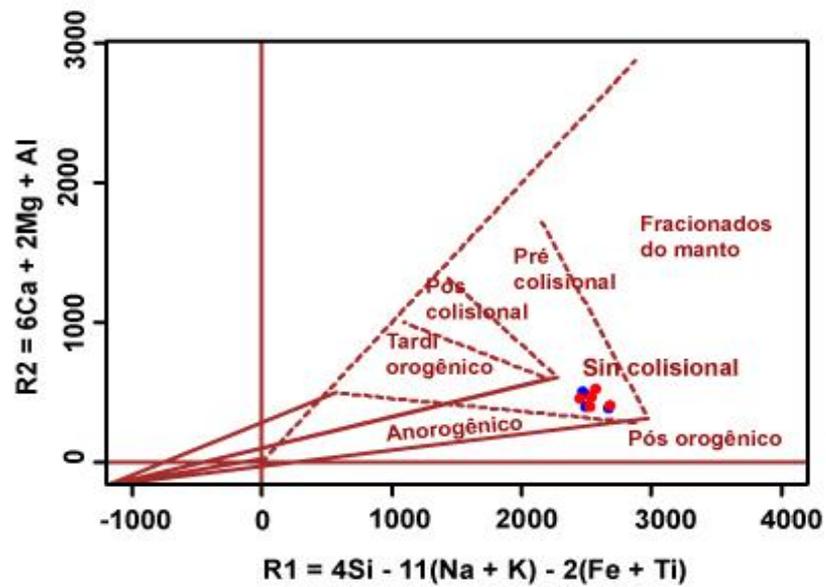


Figura 35 - Diagrama R1-R2 de discriminação tectônica mostrando o caráter sin-tectônico do Granito Três Figueiras.

Fonte: Batchelor & Bowden (1985)

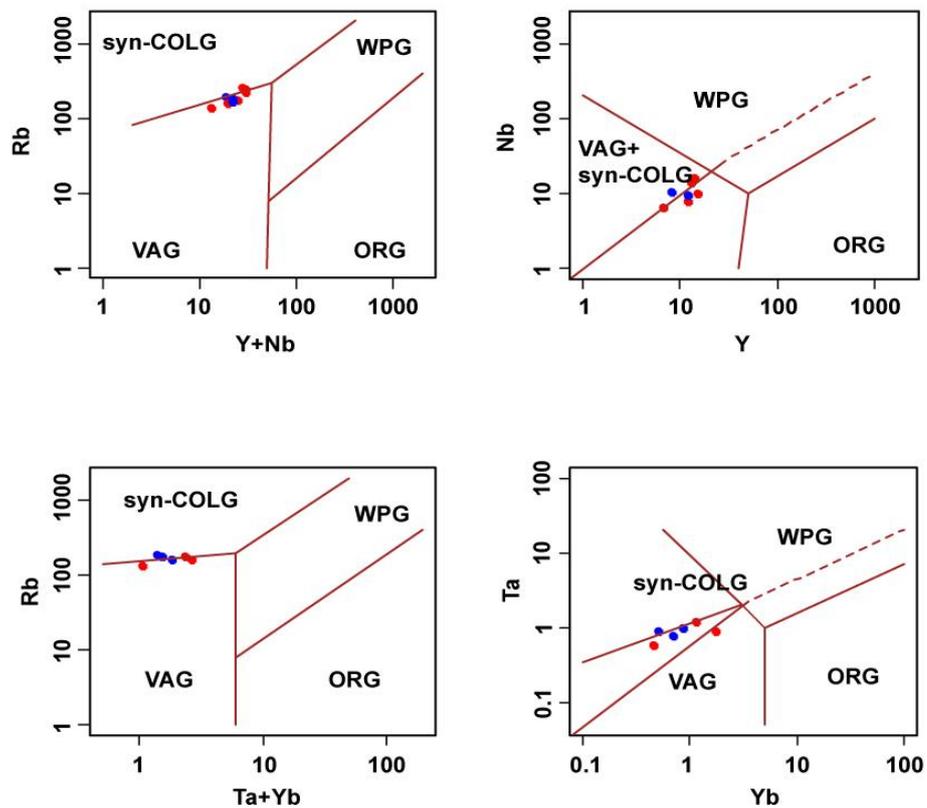


Figura 36 - Diagramas de discriminação tectônica evidenciando o caráter sin-tectônico do Granito Três Figueiras

Fonte: Pearce (1984)

6.2 DISCUSSÃO

O Granito Três Figueiras (MTF) é correlacionado e faz parte da Suíte Granítica Cordilheira (Philipp, 1998), entretanto apresenta alguns aspectos químicos que o diferenciam das demais rochas que compõe essa suíte. Neste trabalho, será feita uma breve comparação do ponto de vista geoquímico entre estes granitóides. Os dados químicos dos metagranitos Arroio Francisquinho (MAF) e Cordilheira (MC) foram retirados de Koester (1995) e utilizados para geração de gráficos comparativos.

De modo geral, o Granito Três Figueiras apresenta teores normais de sílica e alumínio para granitoides, teores altos de álcalis, teores intermediários de CaO, e baixos teores de FeO e MgO. São granitos peraluminosos, com presença de coríndon normativo. Quando analisados os gráficos de ETR, apresenta comportamento similar para todo grupo de amostras, deformados e indeformados, o que indica uma fonte relativamente homogênea e única para o Granito Três Figueiras.

Quando comparados com os demais granitos da SGC, o Granito Três Figueiras apresenta, para os elementos maiores (Fig. 37), teores de Al_2O_3 e MgO menores, e teores de CaO e FeO maiores. Essa diferença fica mais evidenciada em diagramas de discriminação tectônica que utilizam esses elementos em seus parâmetros comparativos, como o diagrama de Shand (Fig. 38, 1943), em que o Granito Três Figueiras possui um caráter peraluminoso levemente menos acentuado que os MAF e MC. Para os elementos traço, não foram encontradas variações significativas.

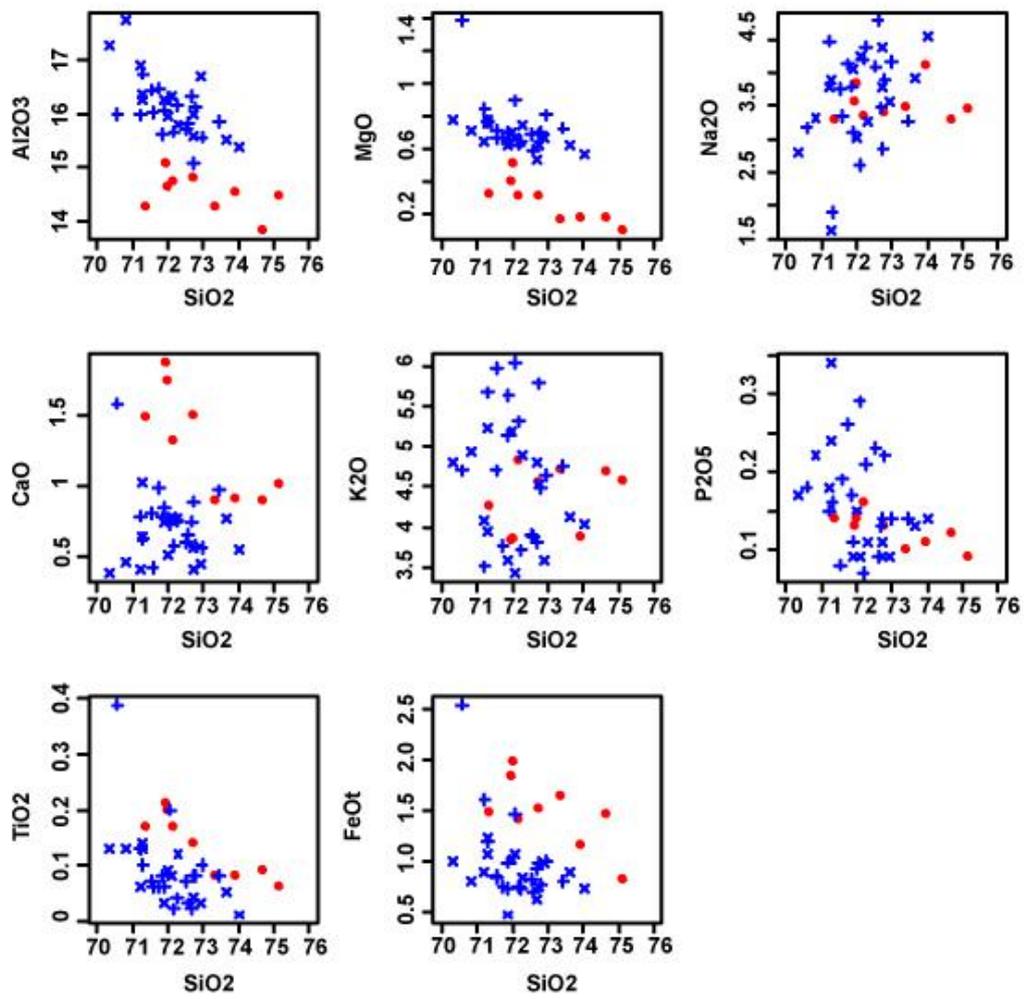


Figura 37 - Diagramas *Harker* para os metagranitos da Suíte Granítica Cordilheira e Granito Três Figueiras.

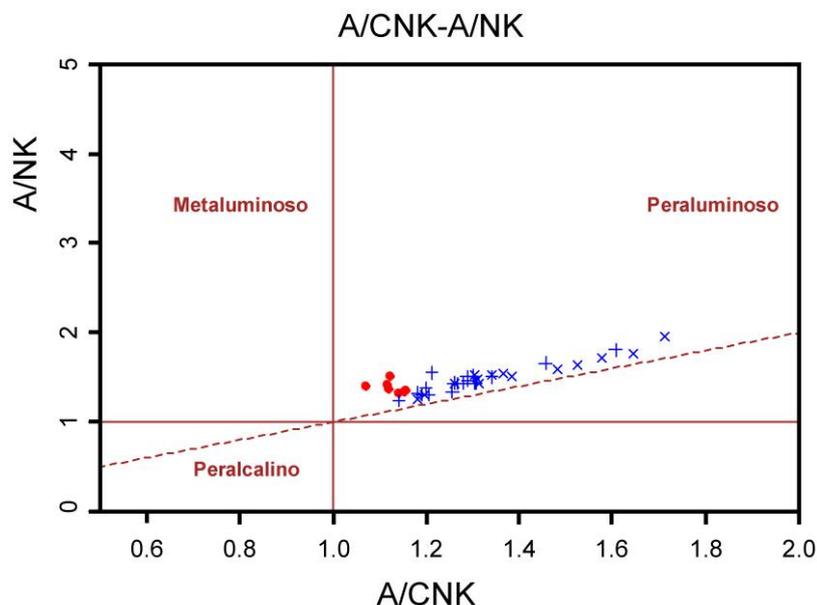


Figura 38 - Diagrama A/CNK para os metagranitos da Suíte Granítica Cordilheira e Granito Três Figueiras.

Fonte: Shand (1943)

Em geral, as amostras dos metagranitos Arroio Francisquinho e Cordilheira não apresentam diferenças geoquímicas significativas entre si, de modo que os dados se sobrepõem, em sua grande maioria, nos diagramas de classificação, discriminação tectônica e de *Harker*. Isso evidencia que há uma pequena diferença química entre o Granito Três Figueiras e as demais unidades da SGC, o que possivelmente indica fontes diferentes para estes granitos, especialmente quando observamos o digrama de Shand (1943) que mostra claramente um caráter peraluminoso menos acentuado para o Granito Três Figueiras em relação aos metagranitos Arroio Francisquinho e Cordilheira.

Segundo Philipp *et al.* (2012), o Granito Três Figueiras possui uma composição mineralógica mais rica em plagioclásio (mais granodiorítica) e razões entre elementos maiores, o que sugere para este uma fusão de rochas quartzo-feldspáticas, como os gnaisses Arroio Pedrado. Para os demais granitos da suíte granítica cordilheira, os metagranitos Arroio Francisquinho e Cordilheira, Koester (2002) sugere como possível fonte a fusão parcial dos gnaisses tonalíticos Arroio dos Ratos, enquanto Philipp

(2012) indica, a partir de estudos geotermobarométricos e composicionais uma fusão de rochas pelíticas, como os gnaisses pelíticos do Complexo Várzea do Capivarita, devido à compatibilidade nas condições de pressão e temperatura observada nas paragêneses dessas rochas.

Nos diagramas de discriminação tectônica o Granito Três Figueiras plotou no campo dos granitos sin colisionais.

7 CONCLUSÕES

A integração da geologia de campo, dados estruturais, descrições petrografia e geoquímica permitiu distinguir três estágios deformacionais distintos para o Granito Três Figueiras, os quais marcam a evolução da deformação, sendo eles os estágios não deformados, de deformação incipiente e deformação intermediária.

Os estágios não deformados constituem sieno a monzogranitos isótropos, com mineralogia essencial formada por quartzo, K-feldspato, plagioclásio, muscovita \pm biotita, sendo os principais minerais acessórios zircão, granada, apatita e turmalina. A textura predominante é alotriomórfica, com contatos irregulares, o que indica que o magma cristalizou em condições de equilíbrio e que as fases minerais são contemporâneas, sendo difícil estabelecer uma ordem de cristalização precisa.

Os estágios de deformação incipiente constituem sieno a monzogranitos com textura heterogranular, com formação de uma foliação milonítica incipiente, extinção ondulante e dobras em muscovita, e cristais de plagioclásio com deformação das maclas. O quartzo ocorre em agregados e começa a formar subgrãos.

Os estágios com deformação intermediária são os que apresentam os mais altos graus de deformação do Granito Três Figueiras, e constituem protomilonitos a milonitos com textura porfiroclástica. A foliação é mais desenvolvida nos cristais de muscovita, embora ainda forme uma foliação irregular e descontínua. A diminuição do tamanho de grão e recristalização já são eficientes, atingindo inclusive os feldspatos, que formam porfiroclastos com núcleos reliquiares e recristalização nas bordas do grãos. A matriz possui textura granoblastica interlobada a poligonal. O conjunto de feições

deformacionais observadas nesse estágio permitem concluir, para o Granito Três Figueiras temperaturas mínimas de recristalização da ordem de 550° C (Passchier e Trow 2005).

Os diferentes graus de deformação identificados neste trabalho, são atribuídos a Zona de Cisalhamento Arroio Grande, à qual o Granito Três Figueiras está associado e pelo qual é deformado. Estruturalmente, a Zona de Cisalhamento Arroio Grande é subvertical com direção principal WSW-ENE e caimento predominante para SE. Associado a essa foliação apresenta uma lineação de estiramento do quartzo sub-horizontal com sentido de caimento ENE. A relação de baixo de baixo ângulo entre a foliação e lineação a caracterizam como uma zona de cisalhamento transcorrente (Lin 1998), com direção N81°E. A relação de posicionamento entre o corpo granítico e a zona de cisalhamento ainda não é perfeitamente clara, podendo ser pré ou sin tectônico à essa estrutura. São necessários mais estudos para elucidar essa questão, principalmente um mapeamento mais detalhado em busca das relações entre foliação milonítica e magmática, se existente.

Os dados geoquímicos mostram para o Granito Três Figueiras teores normais de SiO₂ e Al₂O₃, teores elevados de álcalis, teores intermediários de CaO e baixos teores de MgO e FeO. Os cálculos da norma CIPW, que apresenta coríndon normativo, bem como o índice A/CNK em torno de 1.1 evidenciam o caráter peraluminoso do Granito Três Figueiras. Em diagramas multielementares, os padrões são semelhantes para ambos os grupos, indeformados e deformados, o que indica uma fonte relativamente homogênea e única para o Granito Três Figueiras. Em diagramas de discriminação tectônica mostrou um caráter sin-colisional.

O Granito Três Figueiras apresenta pequenas variações geoquímicas quando comparado aos demais granitos da SGC, com menores teores de Al₂O₃ e MgO e maiores teores de CaO e FeO. Os índices de A/CNK também são mais baixos, o que indica um caráter levemente menos peraluminoso.

REFERÊNCIAS

BATCHELOR, R. A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology* v. 48, 43–55.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L.V.S.. 1986. Metamorfismo e deformação dúctil de rochas graníticas. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 11, n.23, p. 33-56.

CHEMALE JR., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Eds). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, p.13-52.

COX, K. G., BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin. London, 450 pp.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Brasília: CPRM, 2007. Escala 1:750.000. CD-ROM.

DE LA ROCHE; H., LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* v. 29, 183–210.

DEBON, F.; LÊ FORT, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Earth Sciences*, 73:135-149.

FAURE, G.; MENSING, T. M. 2004. *Isotopes*. Principles and applications. New York: John Willey. 897p.

FERNANDES, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; KRAMER, G.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25:375-384.

GILL, R. 2010. Granitic rocks. In: _____. (Ed). *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 241-290.

JANOUSĚK, V., FARROW, C. M.; ERBAN, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*. v. 47(6):1255-1259.

JENNER, G. A.; LONGERICH, H. P.; JACKSON, S. E.; FREYER, B. J. 1990. ICP-MS - a powerful tool for high-precision trace-element analysis in earth

sciences: evidence from analysis of selected U.S.G.S. reference samples. *Chemical Geology*, n. 83, p. 133-148.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE, JR. F.; PHILIPP, R. P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré- Cambriano. In: IANUZZI, R.; FRANTZ, J. C. (Org.). *50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências. Contribuições. 1 ed. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO. IG-UFRGS, v. 1, p. 97-123.

KOESTER, E. 1995. *Petrologia e geocronologia dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu*. Porto Alegre, 240 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KOESTER, E.; FERNANDES, L. A. D.; SOLIANI JR., E.; KRAEMER, G.; NARDI, L. V. S.; ROISEMBERG, A. 2001. Geologia e geoquímica dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, Encruzilhada do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, Brasil, v. 31, n. 2, p. 141-154.

KOESTER, E.; PAWLEY, A. R. ; FERNANDES, L.A.D.; PORCHER, C. C.; SOLIANI JR., E. 2002. Experimental melting of cordierite gneiss and the petrogenesis of syntranscurrent peraluminous granites in the southern Brazil. *Journal of Petrology*. Inglaterra, v. 48, n.43, p. 1595-1616.

KLEIN, C. The manual of mineral science. New York: John Wiley & Sons, 2002, 646 p.

LE MAITRE, R. W. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Commission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell. Oxford, UK.

LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; FERNANDES, L. A. D.; MCNAUGHTON, N. J.; SOLIANI JR, Ê.; KOESTER, E.; SANTOS, J. O. S.; VASCONCELLOS, M. A. Z. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of gneissic basement of the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Holland, v. 13, n. 8, p. 739-750.

LIN, S.; JAING, D.; WILLIAMS, P.F. 1998: Transpression (or transtension) zones of triclinic symmetry: natural example and theoretical modelling; in Continental Transpressional or Transtensional Tectonics, (ed.) R.E. Holdsworth, R.A. Strachan and J.F. Dewey; Geological Society, London, Special Publications, No. 135, p. 41–57.

NAKAMURA, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* v. 38, 757-775.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B. 2010. Apostila da disciplina Mineralogia Óptica. IGCE/UNESP. Rio Claro. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/opticat2.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2012.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. 1996. Shear Zones. In: _____. (Ed). *Microtectonics*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, p. 97-129.

PASSCHIER, C. W. & R.A.J. TROUW. 2005. *Microtectonics*. Springer Verlag. second edition. 366 p.

PEARCE, J. A; HARRIS, N. W. & TINDLE, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* v. 25, 956–983.

PHILIPP, R. P.; ALMEIDA, D. P. M.; GOMES, M. E. B.; PINTAUDE, D. 1991. . Geoquímica do Granito Bela Vista, Piratini, RS: um contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor Oriental do Escudo. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. XIV, n.34, p. 95-122.

PHILIPP, R. P.; MESQUITA, M. J. M.; GOMES, M. E. B.; ALMEIDA, D. P. M. 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos granitóides Brasileiros na região de Pelotas, RS. *Revista Pesquisas*, Porto Alegre, v. 20, n.1, p. 3-13

PHILIPP, R. P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998.

PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, Michel; DE ROS, Luis Fernando. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. 1 ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, v. 1, p. 133-160.

PHILIPP, R.P.; MASSONE, HJ; CAMPOS, R, S. 2012. Peraluminous leucogranites of the Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* (in press)

RAMOS, R. C. 2011. *Geologia da Região de Arroio Grande, RS*. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 88p.

RAMOS, R.; KOESTER, E. 2012. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisa em Geociências*, submetido em novembro de 2012.

REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J.; GROVES, D. I. 1995. The Oldest Magmatic Rock from the São Gabriel Block of the Sul-Riograndense Shield, southern Brazil, identified by U/Pb dating of zircons using SHRIMP. In: III *Australian Conference on Geochronology and Isotope Geoscience*, 1995, Perth, WA, Australia. Workshop Programme and Abstracts. Perth, Australia: Curtin University of Technology, v. único, p. 29-29.

ROLLINSON, H. R. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, England: Longman. 352p.

SATO, K.; KAWASHITA, K. 2002. Espectrometria de massas em geologia isotópica. *Geol. USP Série Científica*, São Paulo, v. 2, p. 55-57.

SHAND, S. J. 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons.

STRECKEISEN, A.L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, Monatshefte, 1: 1-15.

TICKYJ, H.; HARTMANN, L. A.; VASCONCELLOS, M.; PHILIPP, R. P.; REMUS, M. V. D. 2004. Electronmicroprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, p. 699-713.

TRAININI, D. R. 1987. *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais*, Folhas SI-22 Jaguarão-Rio Grande. 8 mapas. Escala 1:250.000, Convênio DNPM/CPRM, Porto Alegre.

TROUW, R.; PASSCHIER, C. W.; WIERSMA, D. J. 2010. Atlas of mylonites – and related microstructures. *Springer Verlag*, Berlin, 322p.

UFRGS, 1972. Geologia das folhas de Arroio Grande, Erval, Basílio e Cerro Chato. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WALSH, J. N.; HOWIE, R. A. 1980. An evaluation of the performance of an inductively coupled plasma source spectrometer for the determination of the major and trace constituents of silicate rocks and minerals. *Mineralogical Magazine*, v.43, p. 967-974.