

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

LARISSA PETROLI

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA
ISOTÓPICA DOS GNAISSES CHÁCARA DAS PEDRAS, NE DO CINTURÃO DOM
FELICIANO, RS**

PORTO ALEGRE

2017

LARISSA PETROLI

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA
ISOTÓPICA DOS GNAISSES CHÁCARA DAS PEDRAS, NE DO CINTURÃO DOM
FELICIANO, 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.

Orientadores:

Prof^a. Dr^a. Carla Cristine Porcher

Prof. Dr. Edinei Koester

Supervisor:

Doutorando Daniel Triboli Vieira

Porto Alegre, 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Petrolli, Larissa

Caracterização estrutural, petrografia, geoquímica e geologia isotópica dos gnaisses Chácara das Pedras, NE do Cinturão Dom Feliciano, RS. / Larissa Petrolli. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.

[70 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Carla Cristine Porcher

Edinei Koester

1. Septos do embasamento. 2. Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano. 3. Arco magmático continental. I. Título.

CDU 55(81)

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISOTÓPICA DOS GNAISSES CHÁCARA DAS PEDRAS, NE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**”, elaborado por “**LARISSA PETROLI**” como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Me. Bruno Ludovico Dihl Horn

Prof. Dr. José Carlos Frantz

Prof.^a. Dr.^a Juliana Charão Marques

Porto Alegre, 20 de Dezembro de 2017

Dedico a todas as pessoas que passaram pela minha vida e ensinaram-me algo.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço à Geologia por ter me proporcionado entender e admirar o sistema Terra, por todas as experiências e pelo amadurecimento. Cada um foi essencial para a construção da pessoa que hoje sou.

Agradeço a todas as pessoas que conheci nesses 6 anos de graduação e que, de alguma forma, colaboraram para essa conquista.

Minha eterna gratidão a três mulheres em especial: Bá, Le e Thay. Vocês são a minha segunda família; não tenho palavras para descrever o meu sentimento e minha admiração por vocês. Sou muito grata por cada momento que compartilhamos e pelos que ainda virão.

Agradeço à minha família pelo apoio e compreensão nesta jornada. Desculpem-me pela ausência em alguns momentos importante. Independentemente do lugar, meu pensamento sempre estará com vocês! Obrigada, também, por nunca duvidarem da minha capacidade e perdão pelos últimos meses de estresse. Ao meu pequeno, Gabriel, um agradecimento especial por todo o amor e cumplicidade: tua ajuda nesta reta final foi essencial.

Ao meu pelotão, Bá, Bru, Gaia, Hell, Hyll, Le e Thay: vocês são as mulheres da minha vida. Tenho muito orgulho de cada uma. Tomara que essa amizade nunca se perca.

Agradeço aos meus orientadores, Carla e Edinei, por entrarem neste desafio comigo e por me apoiarem.

Por fim, agradeço ao pessoal da CPRM por cada conversa e ensinamento. Esse um ano e meio como estagiária me fez amadurecer muito como profissional e como pessoa.

RESUMO

Na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente no entorno da cidade de Porto Alegre, domínio oriental do Cinturão Dom Feliciano, afloram gnaisses tonalíticos e subordinadamente gnaisses dioríticos e gnaisses graníticos, intrudidos por injeções graníticas. Esses ortognaisses, denominados de Gnaisses Chácara das Pedras, representam septos do embasamento o qual tem uma idade de cristalização toniana, 777 ± 4 Ma. Nas margens do Rio Guaíba, na zona sul da cidade de Porto Alegre, em Ponta Grossa, ocorrem afloramentos contínuos desses ortognaisses em área com dimensões superiores a 1 km e que são correlacionáveis as poucas exposições em outros afloramentos de Porto Alegre, bem como em testemunhos de sondagem. Os gnaisses tonalíticos e graníticos ocorrem intercalados centimétrica a metricamente e são caracterizados por um bandamento subvertical, marcado por bandas félsicas e máficas milimétricas, por vezes apresentando porfiroclastos de feldspato de até 2 cm. Nas bandas máficas predominam biotita, e subordinadamente anfibólio, enquanto que nas bandas félsicas predominam quartzo e plagioclásio (labradorita) e subordinadamente feldspato alcalino. Textura granoblástica de plagioclásio e anfibólio nesses gnaisses indicam um metamorfismo de fácies anfibolito superior. Como acessórios ocorrem apatita, zircão, alanita e magnetita. Sob ponto de vista geoquímico, os gnaisses são cálcico-alcalinos alto-K, metaluminosos a fracamente peraluminosos, em geral apresentam *trends* de correlação negativa (e.g. SiO_2 x Al_2O_3 , CaO, Sr) em diagramas Harker, sugerindo a cristalização das principais fases minerais e acessórios. Os valores de sílica variam de 59 a 73 %, com A/CNK inferiores a 1.3. Em diagramas multielementares, exibem enriquecimento de elementos LILE em relação aos HFSE e caráter orogênico em diagramas geotectônicos. Isotopicamente tem ampla variação nos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.701 a 0,724) e valores de ϵNd variáveis de -5 a -8, com idades modelos TDM entre 1.5 Ga a 2.2 Ga. Quando comparados com crostas paleoproterozoicas, o Complexo Arroio dos Ratos poderia representar um possível contaminante crustal a partir de uma magma de derivação mantélica com fonte de manto depletado já modificado. Os resultados obtidos foram comparados com os dados disponíveis para os Gnaisses Chácara das Pedras, sugerindo que esses ortognaisses foram gerados em um arco magmático continental e que possivelmente possuem relação com ortognaisses Tonianos descritos no Uruguai (Complexo Cerro Olivo), no Rio Grande do Sul (Gnaisses Piratini) e em Santa Catarina (Complexo Águas Mornas).

Palavras-Chave: Septos do embasamento. Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano. Arco magmático continental.

ABSTRACT

In the northeastern region of the state of Rio Grande do Sul, more precisely in the vicinity of the city of Porto Alegre, in the eastern domain of the Dom Feliciano Belt, tonalite gneisses and subordinate diorite gneisses and granitic gneisses appear, intruded by granite injections. These orthogneisses, called Chácara das Pedras Gnaiss, represent fragment of the basement, which has an age of crystallization in Toniana, 777 ± 4 Ma. On the banks of the Guaíba River, in the southern zone of the city of Porto Alegre, in Ponta Grossa, there are continuous outcrops of these orthogneisses in an area larger than 1 km and correlated with the few exposures in other outcrops of Porto Alegre, as well as in survey reports. Tonalite and granite gneisses occur centimetric to metric and interspersed with a subvertical banding, marked by felsic and mafic millimeter bands, sometimes presenting feldspar porphyroclasts up to 2 cm. In the mafic bands predominate biotite, and subordinately amphibole, whereas in the felsic bands quartz and plagioclase predominate (labradorite) and subordinately alkaline feldspato. Granoblastic texture of plagioclase and amphibole in these gneisses indicate a metamorphism of upper amphibolite facies. As accessories there are apatite, zircon, almandine and magnetite. Geochemically, the gneisses are calcium-alkaline high-K, metallophous to weakly peraluminous, in general have negative correlation trends (eg $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$, CaO, Sr) in Harker diagrams, suggesting the crystallization of the main mineral phases and accessories. Silica values range from 59 to 73%, with A / CNK less than 1.3. In multielementary diagrams, they show enrichment of LILE elements in relation to HFSE and orogenic character in geotectonic diagrams. Isotopically it has a wide variation in the values of $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ (0.701 to 0.724) and values of ϵNd variables from -5 to -8, with ages TDM models between 1.5 Ga to 2.2 Ga. When compared to paleoproterozoic crusts, the Arroio dos Ratos Complex could represent a possible crustal contaminant from a mantle bypass magma with already modified depleted mantle source. The results obtained were compared with the data available for the Chacara das Pedras Gnaiss, suggesting that these orthogneisses were generated in a continental magmatic arc and possibly related to Tonian orthogneisses described in Uruguay (Cerro Olivo complex), in Rio Grande do Sul (Piratini Gnaiss) and in Santa Catarina (Águas Mornas Complex).

Key words: Fragments do basement. Domain Eastern of the Dom Feliciano Belt. Magmatic arc.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Caracterização do problema/hipóteses	8
1.2 Justificativa	9
1.3 Objetivos e metas	10
1.4 Localização da área de estudo	11
2. METODOLOGIA	12
2.1 Etapa de campo	12
2.2 Etapa de laboratório	14
2.2.1. <i>Preparação das amostras</i>	14
2.2.2. <i>Petrografia</i>	15
2.2.3. <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	15
2.2.4. <i>Análise geoquímica de rocha total (FRX):</i>	16
2.2.5. <i>Análise de geologia isotópica Rb–Sr e Sm-Nd</i>	16
3. CONTEXTO GEOLÓGICO	18
3.1 Gnaisses Chácara das Pedras	24
4. RESULTADOS	26
4.2 Descrições de campo	26
4.1. Caracterização Estrutural	32
4.3. Petrografia	33
4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	38
4.5. Geoquímica dos gnaisses Chácara das Pedras	43
4.6. Geologia isotópica Rb–Sr e Sm-Nd	55
5. DISCUSSÕES	57
6. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do problema/hipóteses

Na região metropolitana de Porto Alegre, ocorre um afloramento de ortognaisses de dimensões quilométricas, primeiramente identificada por Menegat et al. (1998) como Gnaisses Chácara das Pedras. Os Gnaisses Chácara das Pedras representam o embasamento da região intrudido por granitoides sin a pós-orogênicos, que variam de composição tonalítica à granítica (MENEGAT et al. 1998, KOESTER et al. 2001 e OLIVEIRA; KOESTER; SOLIANI JR, 2001). Os gnaisses Chácara das Pedras foram deformados por quatro eventos regionais caracterizados pela formação e dobramento de foliações metamórficas (PHILIPP; CAMPOS, 2004). Os dados referentes à petrografia (PHILIPP; CAMPOS, 2004) e à geologia isotópica (KOESTER et al. 2016), para algumas ocorrências, são mais completos, uma vez que esse gnaisse já foi alvo de diversas pesquisas.

O afloramento clássico (seção tipo) dos Gnaisses Chácara das Pedras está localizado na Avenida Protásio Alves (MENEGAT et al. 1998, OLIVEIRA; KOESTER; SOLIANI, 2001, PHILIPP; CAMPOS, 2004, KOESTER et al. 2016), sendo que a maioria dos demais afloramentos dessa unidade encontram-se como fragmentos métricos (xenólitos); muitos deles tendo sido obliterados devido à urbanização na área: um dos principais motivos na dificuldade de caracterização dos Gnaisses Chácara das Pedras.

O presente trabalho visa contribuir com as discussões em torno da evolução da parte NE do Escudo Sul-Rio-Grandense, a partir de caracterização de campo, petrografia, geoquímica; isso irá sugerir, portanto, discussões que envolvam a evolução geotectônica da área baseadas no entendimento da evolução geológica dos Gnaisses Chácara das Pedras.

Na região metropolitana de Porto Alegre, existem afloramentos onde se pode observar as rochas que formam os ortognaisses, sendo possível determinar as relação estratigráficas e estruturais. Destaca-se a presença de um afloramentos que

permite a observação dessas rochas em cortes de dezenas de metros, com possibilidade de coleta de amostras frescas. Nesses afloramentos, foram identificadas feições que despertaram o interesse para o estudo; assim, com isso almeja-se esclarecer os seus significados. Essas feições consistem de xenólitos, dobras em *chevron*, dobras abertas, diques rompidos, estruturas *pinch and swell*, *boudins*, bandamento composicional que, por vezes, mostram relações de corte e, eventualmente, parecem ser o mesmo magma percolando e injetando paralelamente ao bandamento gnáissico. As descrições e interpretações dessas feições são importantes, já que, em conjunto aos dados estruturais, petrográficos e geoquímicos, poderão corroborar os modelos geológicos prévios.

Assim, será testada a hipótese de que essas rochas sejam o registro de magmas gerados em uma zona de convergência de placas, ou seja, uma zona de subducção de placa continental contra uma placa oceânica, ou um arco magmático continental que, posteriormente, foi metamorfoisado, similarmente ao que já foi proposto para outras porções do Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano (PHILIPP; MACHADO, 2002, KOESTER et al. 2016).

1.2 Justificativa

Os gnaisses da região da cidade de Porto Alegre são constituídos por escassos afloramentos de rochas do embasamento (777 Ma) encaixados em rochas plutônicas, formadas no evento magmático de ca. 600 Ma (Batólito Pelotas), aflorados no Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano. O trabalho de detalhe, nessa região, integrando os dados de geologia estrutural, petrografia e geoquímica, permitiu estabelecer um cenário mais realista da evolução crustal e geodinâmica da área de estudo, auxiliando, logo, nos modelos geotectônicos regionais.

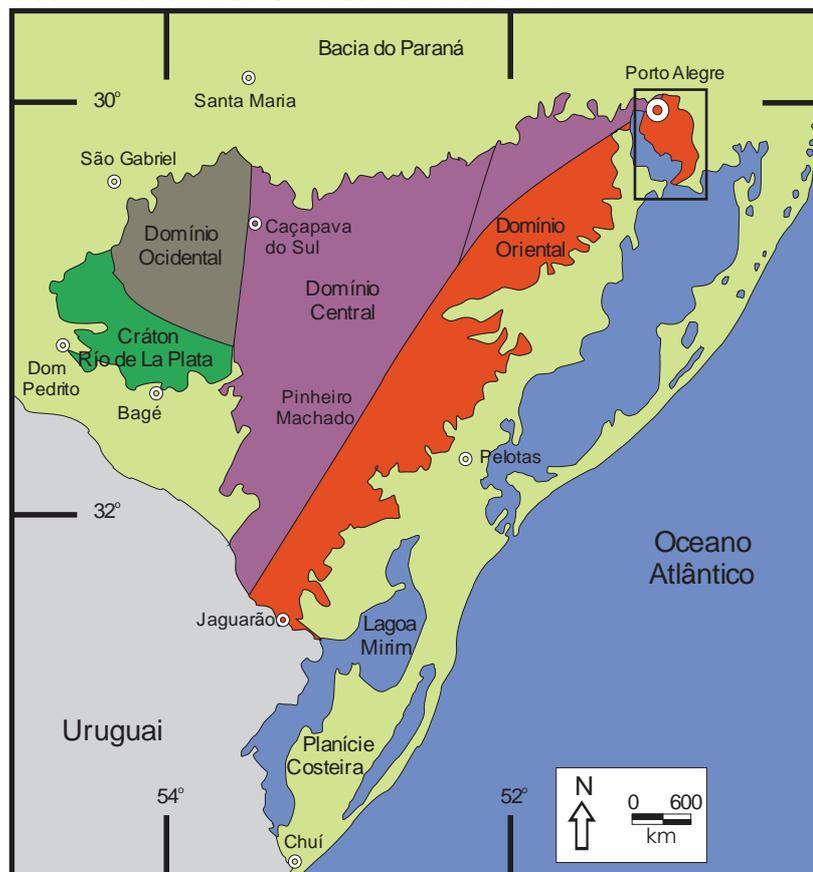
1.3 Objetivos e metas

O escopo geral do projeto é a caracterização geológica da ocorrência de rochas gnáissicas na região de Porto Alegre; mais precisamente dos Gnaisses Chácara das Pedras. Para tanto, serão estudados as relações de campo desse litotipo, a caracterização estrutural, os estudos de petrografia (com auxílio de microscopia ótica e de microscopia eletrônica de varredura), além das interpretações geoquímicas de elementos maiores e traços, razões isotópicas Rb-Sr e Sm-Nd. Por fim, integrando-os com dados e interpretações prévias disponíveis na bibliografia.

1.4 Localização da área de estudo

A área de estudo situa-se no município de Porto Alegre, onde foram descritos afloramentos dessas rochas. Essa área está inserida no contexto geológico do Escudo Sul-Rio-Grandense, especificamente na porção nordeste do Cinturão Dom Feliciano, dividido em três principais domínios: oriental, central e ocidental (Figura 1). A área da região de Porto Alegre está localizada às margens do Rio Guaíba, na porção leste-nordeste do Rio Grande do Sul, onde cerca de uma metade da extensão da cidade é formada por rochas do Batólito Pelotas, incluído no Escudo Sul-Rio-Grandense, enquanto que a outra, por rochas sedimentares e sedimentos do Paleozoico (SCHNEIDER et al. 1974).

Figura 1: Mapa esquemático de localização da área de estudo, região de Porto Alegre (retângulo preto), inserido no domínio oriental do Cinturão Dom Feliciano.



Modificado de FERNANDES et al. (1995).

2. METODOLOGIA

A investigação das suas características geoquímicas, em conjunto com dados estruturais, petrológicos e isotópicos é a chave para o entendimento da história evolutiva de litologias ortoderivadas.

A pesquisa bibliográfica abrange a busca de artigos científicos, teses, dissertações, monografias, livros, mapas e dados de mapeamento da CPRM da área e da litologia estudada. Com base no levantamento bibliográfico, foi adquirido conhecimento sobre o contexto geológico e a delimitação das divergências existentes na área de estudo. Essa etapa é contínua até a conclusão do estudo.

2.1 Etapa de campo

O trabalho de campo foi realizado em Janeiro de 2017, no bairro Ponta Grosso, em um perfil de direção Leste-Oeste às margens do rio Guaíba (Figura 2). Nessa etapa, foram descritas as relações estruturais e estratigráficas e as rochas da unidade em estudo.

Foram, também, obtidas fotos e croquis das principais características dos litotipos descritos, amostras orientadas para estudos petrográficos e amostras para caracterização geoquímica de rocha total e isotópica Rb-Sr e Sm-Nd .

Além do reconhecimento e da descrição dos diferentes litotipos, realizou-se o levantamento das características estruturais dos Gnaisses Chácara das Pedras na ocorrência de Ponta Grossa, com coleta de medidas de orientação e descrição das principais estruturas – foliações, lineações, dobras e indicadores cinemáticos, etc. Os dados estruturais foram obtidos com uma bússola *Brunton®*. As medidas foram feitas com a notação de trama, em que são calculados a direção e o ângulo de mergulho do plano.

Figura 2: Imagem de Porto Alegre – o círculo em amarelo representa a localização do perfil realizado em Ponta Grossa.



Posteriormente, esses dados foram trabalhados no *software Stereonettm*, onde foram gerados estereogramas dos planos e lineações das litologias. Com a confecção dos estereogramas, foram feitas a interpretação, bem como a correlação das estruturas com outras ocorrências dos Gnaisses Chácara das Pedras, na região metropolitana de Porto Alegre.

2.2 Etapa de laboratório

2.2.1. Preparação das amostras

As amostras foram selecionadas de acordo com a variação composicional e deformacional encontradas no perfil. Foram coletadas amostras do gnaiss tonalítico, gnaiss diorítico, gnaiss granítico, injeções graníticas e trondhjemíticas.

A preparação das amostras para petrografia, geoquímica e geoquímica isotópica ocorreu no Laboratório de Preparação de Amostras (pertencente ao Centro de Estudos em Geoquímica e Petrologia – CPGq/IGEO/UFRGS).

No que tange à laminação, as amostras foram lavadas, cortadas e polidas para a confecção de 10 lâminas delgadas.

Quanto à preparação da fração pó da rocha para as análises químicas de rocha total e isotópica, as amostras foram lavadas, fragmentadas com prensa hidráulica, quarteadas, trituradas em gral de ágata até a fração areia grossa. A partir dessa fração, foram separados 10 g da amostra para a redução no moinho de bolas até a fração pó. Metade do material preparado das amostras foi encaminhado para o Laboratório de Fluorescência de Raios X do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq)/ Instituto de Geociências (IGEO)/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a fim de ser analisada a composição química das rochas.

A outra metade foi encaminhada para as análises de Rb-Sr e Sm-Nd. O processo é dividido nas etapas a seguir (CRUZ FILHO, 2005):

- 1) Uma porção da amostra a ser analisada é dissolvida em solvente apropriado. Como a rocha é silicática, necessitou-se o uso de etapas de solubilização (ácido fluorídrico), a fim de se obter a dissolução completa.
- 2) Uma quantidade bem conhecida de um traçador (um isótopo do elemento em questão) é diluída ao resultado da etapa 1.
- 3) A mistura (amostra + traçador) é homogeneizada.
- 4) O elemento de interesse é extraído quimicamente por meio do uso de colunas de troca iônica, almejando-se evitar isóbaros interferentes de outros elementos.

- 5) Determinaram-se, com o espectrômetro de massa, as razões isotópicas do elemento em estudo. A composição isotópica obtida nesta última etapa permite o cálculo da concentração do elemento da amostra original.

2.2.2. Petrografia

A descrição petrográfica das lâminas delgadas foi realizada no Departamento de Mineralogia e Petrografia (DEMIPE) pertencente ao CPGq da UFRGS, em um microscópio polarizador de luz transmitida da marca Meiji Techno®, série ML9000, modelo ML9720, com lentes binoculares reticuladas com aumento de 10x e três opções de objetivas de 2,5x, 10x e 40x.

Com base nas descrições petrográfica, foram caracterizadas as paragêneses, as texturas e as tramas relacionadas aos principais eventos deformacionais definidos em campo. Baseando-se nessa etapa, é possível relacionar as características de campo com as feições observadas na petrografia, registradas em fotomicrografias.

2.2.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Esse método é qualitativo e semi-quantitativo fundamentado na irradiação de elétrons por meio de um filamento de tungstênio, devido à diferença de potencial - 0,5 a 30 KeV - (REED, 2005). Nas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS), foram utilizadas lâminas delgadas metalizadas com carbono. As investigações foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI-CPGq) e o equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico JEOL 6610LV.

O MEV foi utilizado como ferramenta auxiliar para esclarecer alguns pontos. As análises de EDS em MEV foram realizadas com o intuito de verificar o teor de

anortita (An) dos feldspatos e, a composição da biotita e dos minerais opacos e acessórios.

2.2.4. Análise geoquímica de rocha total (FRX):

Usou-se a análise geoquímica para definir a composição química das rochas com base em elementos maiores (com ocorrência maior que 1% na crosta terrestre) e traços (com ocorrência entre 0,1% e 0,001% na crosta terrestre). Por meio dessa técnica é possível discutir os processos, os protólitos e as séries magmáticas dos gnaisses (ROLLINSON, 2014).

Para esse estudo, foram averiguadas nove amostras de rocha total através da técnica de fluorescência de raios X (FRX) com o espectrômetro *Rigaku® RIX2000* do CPGq-IGEO-UFRGS. A fluorescência de raios X excita a amostra com a emissão de raios primários que, por consequência, emitem raios X secundários com comprimento e intensidade de ondas específicas para cada elemento e para cada concentração de elementos. Essa técnica possui limite de detecção na ordem de 1 a 20 ppm em amostras sólidas e na ordem de 1 a 20 ppb para amostras líquidas.

O processamento dos dados geoquímicos de rocha total foi feito no *software* GCD Kit 4.1, em que são gerados diagramas elementares, de classificação e de ambiente tectônico.

2.2.5. Análise de geologia isotópica Rb–Sr e Sm–Nd

Com as análises geoquímicas isotópicas Rb–Sr e Sm–Nd estudou-se a evolução crustal envolvida na geração dos gnaisses Chácara das Pedras.

O espectrômetro de massa tem como princípio a detecção da diferença de massa de um elemento, resultando em um desvio da trajetória dos átomos dos elementos estudados quando acelerados por meio de um campo magnético. Os

átomos de isótopos de diferentes massas são quantificados por detectores com posição definida esperada para cada massa atômica. Dessa maneira são determinadas as razões isotópicas de um elemento. No TIMS, as soluções contendo o elemento de interesse das amostras são depositadas em filamentos de tântalo ou rênio, no qual é passada uma corrente excitante de íons, fazendo-os acelerarem em direção aos detectores até atravessarem um campo magnético em alto vácuo, o que mudará a trajetória, devido à razão massa/carga (DICKIN, 2005).

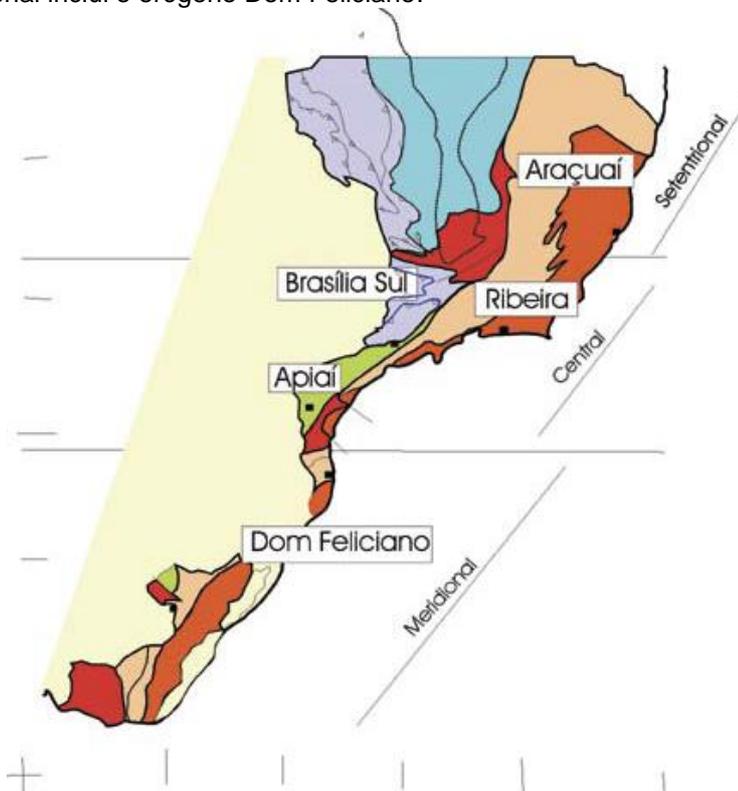
As análises isotópicas de Sr foram realizadas no espectrômetro de massas VG Sector 54, média de ± 120 razões isotópicas, 1,0 V de intensidade iônica para ^{88}Sr e multicoleção com ^{86}Sr no coletor axial, Branco de Sr < 100 pg. Normalização para $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$ ajustadas para bias com base no SrCO_3 NBS-987, usando $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71025$, NBS 987(LGI) = $0,71026 + 0,0011$; $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ calculado com base em dados de elementares de Rb e Sr; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ = razão medida no espectrômetro de massa; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ = razão calculada com base na idade de cristalização da rocha. SE (%) = standard error percentual. n.a. = não analisada, sinal muito baixo no espectrômetro de massa.

As análises isotópicas Sm - Nd foram realizadas no espectrômetro de massas VG Sector 54, média de ± 100 razões isotópicas, 1,0 V de intensidade iônica para ^{146}Nd e multicoleção com 146 no coletor axial. * = normalizados para $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ e ajustadas para bias com base no Nd SPEX, assumindo $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,511110$ e calibrado contra Nd La Jolla, assumindo um valor de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,511856. ϵNd e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$: calculado para idade de cristalização da rocha. Branco Nd < 160 pg.* = análise medida no espectrômetro de massa. T_{DM} = idade modelo Sm-Nd manto depletado. SE (%) = standard error percentual. n.a. = não analisada, sinal muito baixo no espectrômetro de massa.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região estudada está adentrada na Província Mantiqueira (ALMEIDA et al. 1981), um sistema orogênico Neoproterozoico que se estende do Uruguai à Bahia, o qual é resultado da amalgamação do Gondwana Ocidental. A divisão clássica para a Província Mantiqueira foi proposta por Almeida et al. (1977) e Bizzi et al. (2003). Os autores compartimentaram a província em Sistema Araçuaí, Sistema Mantiqueira Norte, Sistema Mantiqueira Central (Ribeira), Cráton Luís Alves e Sistema Dom Feliciano. Heilbron et al. (2004) propõe que a província (Figura 3) seja compartimentada em orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira; ainda há, porém, indefinições sobre a localização e extensão dessa faixa.

Figura 3: Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui o orógeno Dom Feliciano.



Fonte: Heilbron et al. (2004)

No Escudo Sul-Rio-Grandense, a Província Mantiqueira Meridional (DA SILVA et al. 2005) é representada pelo Cinturão Dom Feliciano (CDF) e pelo Cráton Rio De La Plata (Figura 4). O CDF apresenta associações de rochas alongadas na direção NE-SW - de acordo com Fernandes et al. (1995 a;b) - e possui extensão de aproximadamente 1.200 km, desde Punta Del Este, no Uruguai até o nordeste do estado de Santa Catarina. O direcionamento NE-SW está vinculado à colisão continental oblíqua dos crátons Rio De La Plata, Paranapanema e Kalahari (Fernandes et al. 1995 a).

Uma das compartimentações sugeridas para o Escudo Sul-Rio-Grandense é a divisão em quatro grandes associações petrotectônicas - Domínios Oriental, Central e Ocidental do Cinturão Dom Feliciano e Cráton Río de La Plata - delimitadas por descontinuidades geofísicas de escala continental, definidas por Fernandes et al.(1995a; b) e Costa (1997).

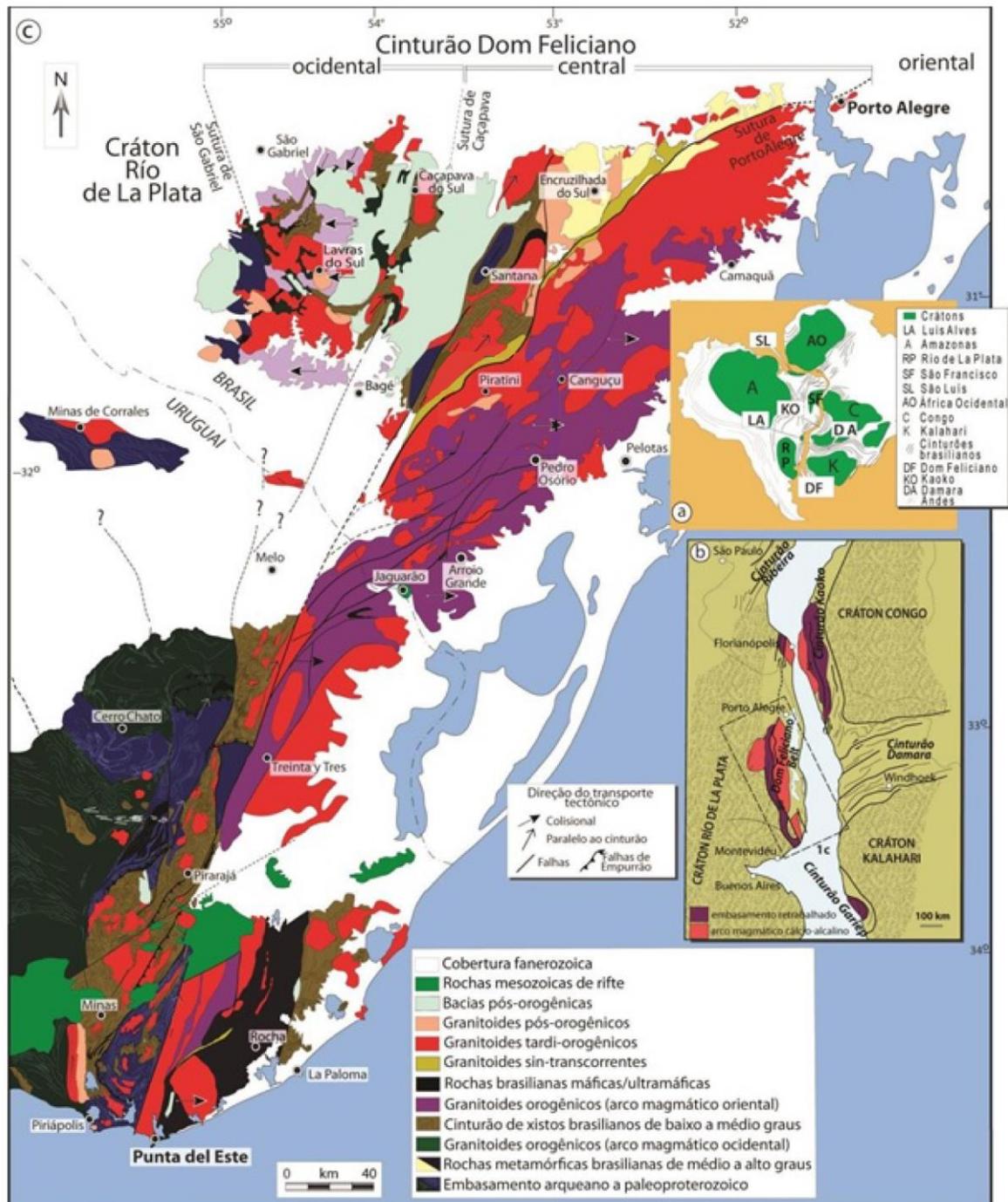
O Cráton Rio de La Plata é representado pelo Terreno Taquarembó, composto pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico - piroxenitos, harzburgitos, silimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos (HARTMANN; CHEMALE JR; PHILIPP, 2007) - com idade SHRIMP em zircão de 2,02 Ga (HARTMANN et al. 1999, 2000).

O Domínio Ocidental é corresponde ao Terreno São Gabriel, formado pelo Complexo Cambaí (гнаisses cálcio-alcálinos cortados por metagranitoides) de idade obtidas em de zircões (TIMS e SHRIMP) em torno de 735-680 Ma (BABINSKI et al. 1996), pelo Complexo Bossoroca (rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas e dacíticas) de idade 753 ± 2 Ma (U-Pb zircão, TIMS e SHRIMP) (KOPPE et al.1985; ZARPELON, 1986 e PORCHER; FERNANDES, 1990), pelo Complexo Palmas (rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas, intercaladas com xistos e paragnaisses pelíticos e quartzíticos) de idade para isótopos de Nd de 1,3 e 0,6 Ga (HARTMANN; CHEMALE JR; PHILIPP, 2007) e pelo Cinturão Metamórfico Vacacaí (metassedimentos, metavulcânicas e metaultramáficas) de idade 760 a 730 Ma (LAUX et al. 2010).

O Terreno Tijucas constitui o Domínio Central, constituído pelo Complexo Metamórfico Porongos (sequência metavulcanosedimentar Neoproterozoica) e pelo Complexo Encantada, formado, de forma predominante, por gnaisses tonalíticos,

trondhjemíticos e dioríticos de idade U-Pb SHRIMP de 2256 ± 8 Ma (HARTMANN et al. 2003).

Figura 4: a) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano b) Mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton Rio De La Plata no sul do Brasil e Uruguai. c) Localização do Cinturão Dom Feliciano e do cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e no Uruguai.



Fonte: LENZ et al.(2013).

O Domínio Oriental aflora no Uruguai, onde recebe os nomes de Terreno Punta Del Este (BASEI et al. 2005; DA SILVA et al. 2005) ou de Terreno Cuchilla Dionísio (BOSSI e GAUCHER, 2004); em Santa Catarina, reconhecido como Batólito Florianópolis (BASEI, 1985); e no Rio Grande do Sul, denominado Batólito Pelotas. Esse domínio é formado por rochas metamórficas de médio a alto grau que foi intrudido por granitos sin a tardi-orogênicos. (LENZ et al. 2011).

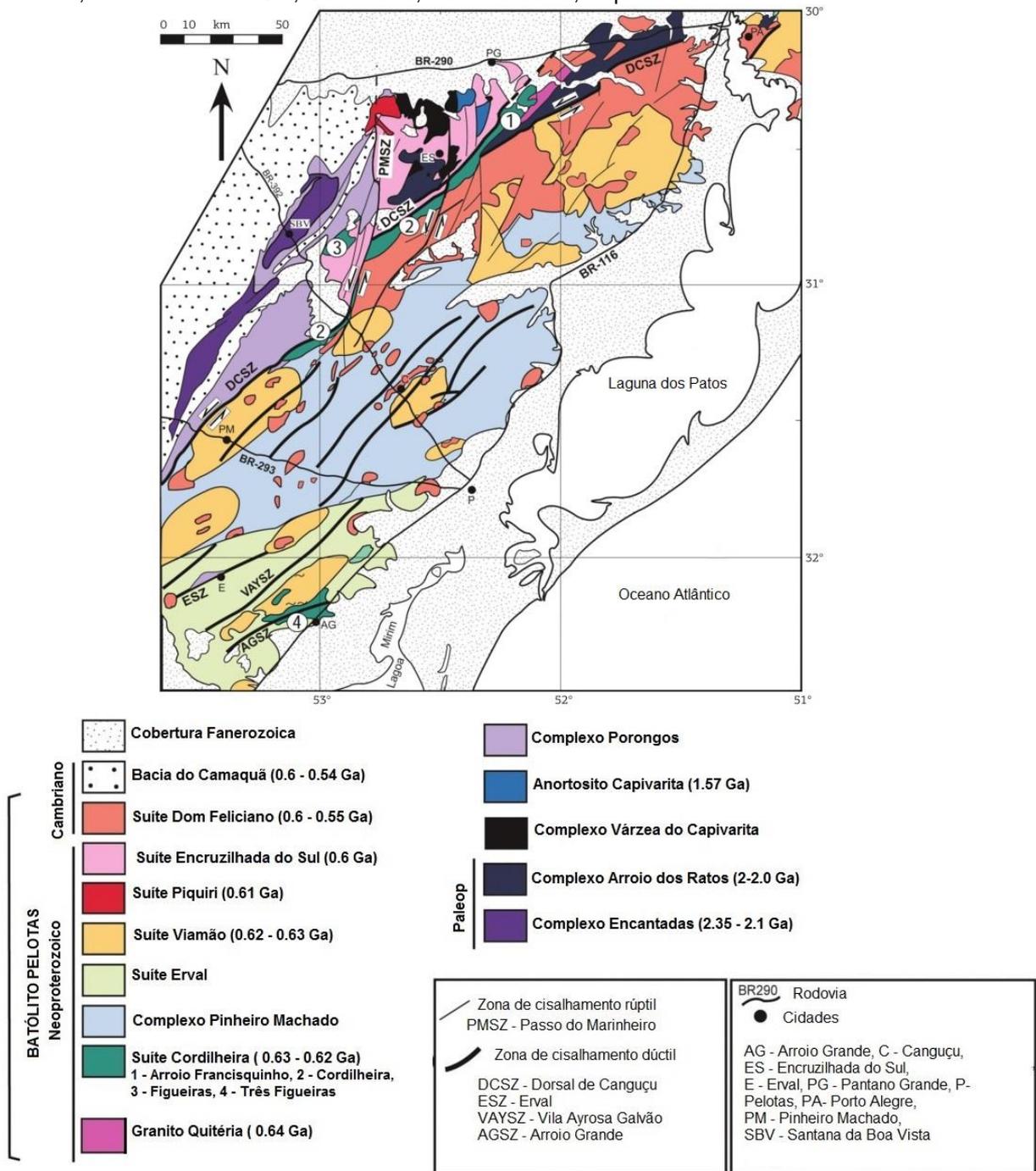
O Domínio Oriental, no Rio Grande do Sul, é dominado pelo Batólito Pelotas (BP), apresentando 350 km de comprimento e 70-110 km de largura (PHILIPP e MACHADO, 2002). Fragoso- Cesar et al. (1980) definiu o Batólito Pelotas como um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico resultante de uma longa evolução com diferentes processos tectônicos. Philipp (1998), Chemale Jr. (2000); Philipp e Machado (2002) e Hartmann et al. (2007) definem o Domínio Oriental como Batólito Pelotas.

O Batólito Pelotas é um dos mais expressivos batólitos graníticos brasileiros da região sul-sudeste do Brasil, composto por corpos graníticos gerados em um intervalo de idades entre 650 Ma e 550 Ma (BABINSKI et al. 1997; DA SILVA et al. 1999; HARTMANN et al. 2000). Philipp; Machado; Chemale Jr (2003) e CPRM (2008) descrevem o batólito sendo constituído pelo Complexo Pinheiro Machado e por diversas suítes intrusivas: Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e Piquiri (Figura 5).

A atividade magmática que originou o Batólito Pelotas foi atribuída a um ambiente de arco magmático, oriundo do consumo do Oceano Adamastor por uma zona de subducção com mergulho para oeste (FERNANDES et al 1992) ou com mergulho para leste (CHEMALE JR. 2000).

A região de Porto Alegre está situada na porção NE do Escudo Sul-Rio-Grandense, no extremo norte do Batólito Pelotas. Geologicamente, essa área é constituída por rochas de composição granítica com fragmentos (septos) metamórficos de idade Neoproterozoica. Tais septos representam a antiga crosta continental formada em um arco magmático na porção sul da Plataforma Sul-Americana; sobre a qual deu origem ao Batólito de Pelotas, um dos fragmentos/septos é representado pelo Gnaiss Chácara das Pedras.

Figura 5: Mapa geológico do Domínio Oriental com as principais suítes Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano, Piquiri.



Fonte: modificado por Philipp e Machado (2002).

Philipp e Machado (2002) descreveram as principais ocorrências de septos do embasamento do Domínio Oriental (representadas por rochas metamórficas de

baixo a alto grau), espalhados no segmento norte do batólito, na forma de xenólitos de dimensões centimétricas a métricas. A tabela 1 apresenta a nomenclatura e descrição dos septos.

Tabela 1: Principais ocorrências de septos no Domínio Oriental do cinturão Dom Feliciano.

Unidades representativas dos septos	Localização	Hospedeira
Gnaisses Piratini, Gnaisses Arroio da Solidão, Gnaisses São Lourenço, Ortognaisses Migmatíticos de Monte Bonito, Gnaisses Cálcio-Silicáticos, Anfibolitos finos com Biotita e Hornblenda e Granada-Biotita Gnaisses.	Piratini, Canguçu, Pinheiro Machado e São Lourenço	Suíte Pinheiro Machado
Gnaisses Arroio Pedrado, Ortognaisses Migmatíticos, Anfibolitos Alto Alegre, Quartzitos e Xistos Erval e, Mármore e Anfibolitos das Vilas Matarazzo	Basílio, Jaguarão, Pedro Osório, Alto Alegre, Arroio Grande, Erval	Suíte Erval
Paragnaisses do Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita e ortognaisses do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos	Região de Encruzilhada do Sul	Suítes Encruzilhada do Sul e Cordilheira
Pequenos fragmentos do Gnaiss Chácara das Pedras nos granitos Independência, Santana e Canta Galo	Região de Porto Alegre	Suíte Dom Feliciano
Gnaisses Arroio Lajeado e Gnaisses Chácara das Pedras	Oeste de Canguçu e região de Porto Alegre	Suíte Viamão

Fonte: Philipp e Machado (2002)

No mapa geológico estadual do Rio Grande do Sul (CPRM 2008), os septos do embasamento ocorrem nos domínios de Metagranitoides Porfiríticos – gnaiss granítico a granodiorítico (609 ± 17 Ma U-Pb) – e de Gnaisses Granodioríticos - gnaisses variando entre granodiorito a tonalito (625 ± 4 Ma Pb-Pb) do Complexo Pinheiro Machado. Os septos são mega xenólitos com cerca de 15 km de extensão,

formados por rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e porções migmatíticas, foram datados por U-Pb com idade de 781 ± 5 Ma (CPRM, 2008).

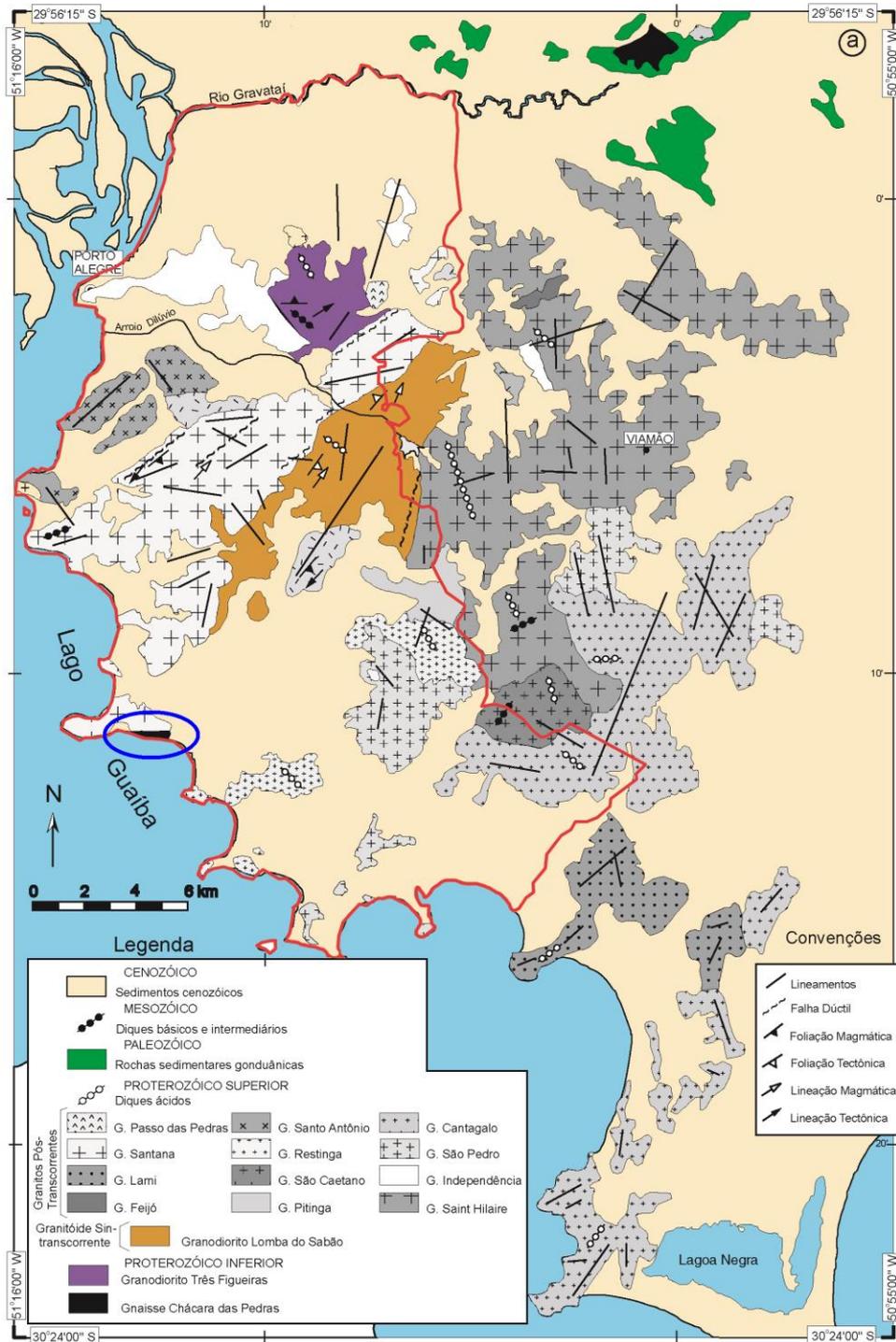
A ocorrência dos septos do embasamento no Domínio Leste do Cinturão Dom Feliciano não é restrita ao Rio Grande do Sul, visto que também há no Complexo Águas Mornas (BITTENCOURT et al. 2008), em Santa Catarina; e no Uruguai, no Complexo Cerro Olivo (MASQUELIN et al. 2010) e mesmo no Rio Grande do Sul (Gnaisses Pirati, FRAGOSO-CESAR et al 1986).

3.1 Gnaisses Chácara das Pedras

Os Gnaisses Chácara das Pedras (Figura 6) são compostos por gnaisses granodioríticos a monzograníticos, com poucos representante de gnaisses dioríticos (PHILIPP E CAMPOS 2004). Essas rochas foram descritas primeiramente como migmatitos heterogêneos (SCHNEIDER et al. 1974); posteriormente foram denominadas como Gnaisses Chácara das Pedras (MENEGAT et al. 1998). Philipp e Campos (2004) nomearam-os de Gnaisses Porto Alegre. Neste trabalho será adotado a nomenclatura proposta por Menegat et al. (1998).

Os afloramentos dos Gnaisses Chácara das Pedras ocorrem nos bairros Chácara das Pedras, Três Figueiras, Petrópolis, Bom Jesus e Ponta Grossa, localizados na BR-290, em Gravataí. O relevo na área aflorante é plano e com forma alongada na direção nordeste. As relações de contato dos Gnaisses Chácara das Pedras estão, na maioria, obliteradas pela urbanização ou recobertas pelos rochas sedimentares paleozoicos da Bacia do Paraná. Entretanto, encontram-se contatos com os granitos Independência, Santana e Viamão (MENEGAT et al. 1998).

Figura 6: Mapa geológico esquemático da região de Porto Alegre, nordeste do Cinturão Dom Feliciano. Limite do município de Porto Alegre marcado no polígono vermelho. Círculo azul representa a área de estudo.



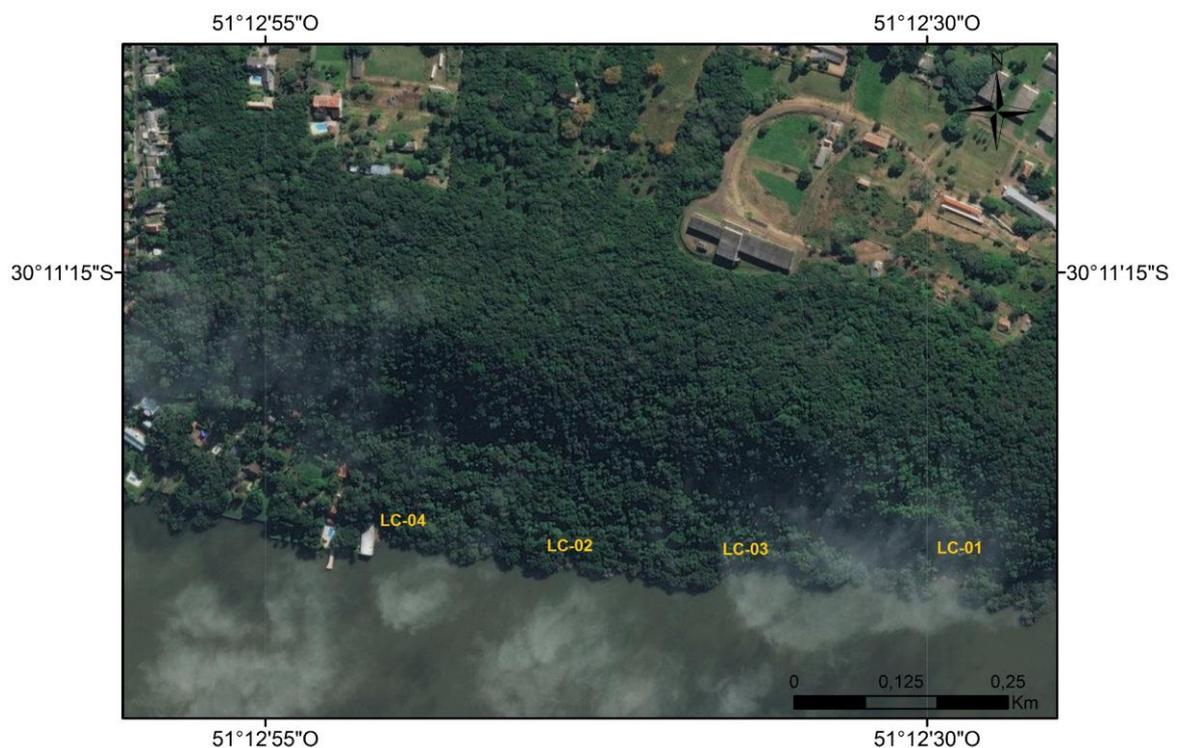
Fonte: modificado de Oliveira; Koester; Soliani (2001).

4. RESULTADOS

4.2 Descrições de campo

O trabalho de campo foi realizado na região de Porto Alegre, no bairro Ponta Grossa, às margens do Rio Guaíba e ocorreu no dia 31 de Janeiro de 2017. Fez-se um perfil de leste a oeste (Figura 8), ao longo do qual foram descritas as litologias e suas relações, coletadas amostras e realizada a medida das estruturas.

Figura 7: Perfil realizado nas margens do Rio Guaíba com a localização dos pontos.

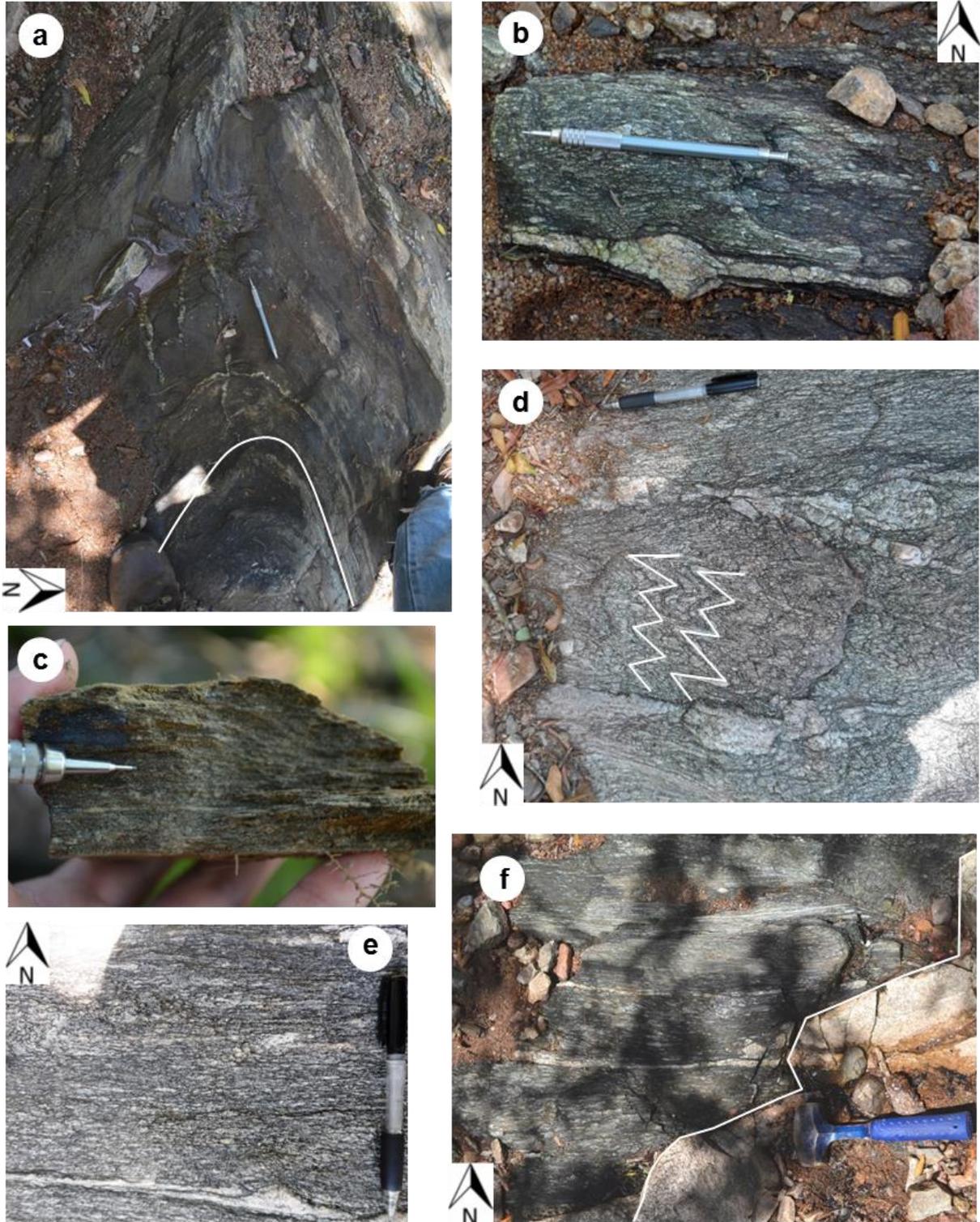


No perfil foram identificados cinco litotipos principais, divididos conforme a composição e as relações descritas em campo. Eles serão descritos de acordo com a ordem estratigráfica observada nos afloramentos.

O **gnaisse tonalítico** (LC-01A, LC-01B, LC-02B, LC-02A, LC-03A, LC-03C, LC-04A e LC-05A) apresenta variação na percentagem de máfico e na intensidade de deformação (Figura 8c e 8e). Ele é descrito como uma rocha cinza escura com bandamento milimétrico a centimétrico, podendo ser contínuo ou descontínuo, de granulação média à fina, com textura granoblástica poligonal. As bandas máficas são ricas em biotita e plagioclásio; e as bandas félsicas são ricas em plagioclásio e quartzo.

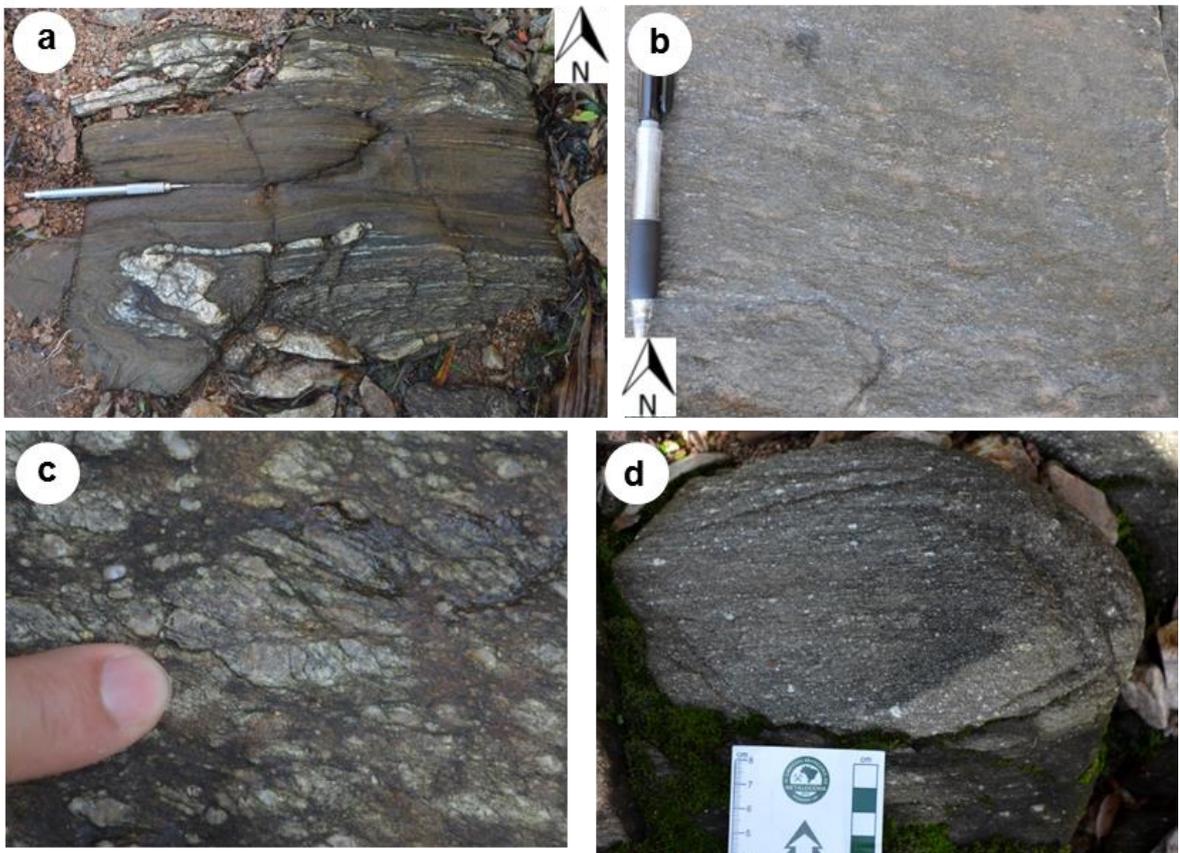
O gnaisse tonalítico apresenta dobras em *chevron* (aproximadamente 80 cm), dobras intrafoliais centimétricas a métricas, marcadas por veios quartzo-feldspáticos (Figura 8a e 8d). O bandamento possui variação de espessura e, por vezes, as bandas máficas são mais abundantes. Localizadamente, o bandamento apresenta textura milonítica, marcada por fitas milimétricas de quartzo e por porfiroblastos de feldspato. Os porfiroblastos são assimétricos, centimétricos, arredondados e indicam movimentação sinistral. Observa-se, também, variação lateral da intensidade de deformação.

Figura 8: a) dobra intrafolial no gnaiss tonalítico (D2); b) gnaiss tonalítico com injeção concordante ao bandamento; c) amostra do gnaiss tonalítico representando a foliação milonítica; d) dobras em chevron (D2); e) bandamento milimétrico descontínuo no gnaiss tonalítico (D1); f) gnaiss tonalítico com injeção granítica cortando o bandamento a baixo ângulo (martelo no contato).



Concordante ao bandamento do gnaiss tonalítico e em forma de lentes, tem-se o **gnaiss diorítico** com porfiroclastos de feldspato (LC-01D; LC-03B) cuja composição varia entre quartzo diorito e diorito. Ele tem como característica ser cinza com bandamento milimétrico marcado pela biotita (Figura 9a e 9b) e apresenta foliação milonítica. Os porfiroclastos são milimétricos a centimétricos, arredondados e esbranquiçados. (Figura 9c e 9d).

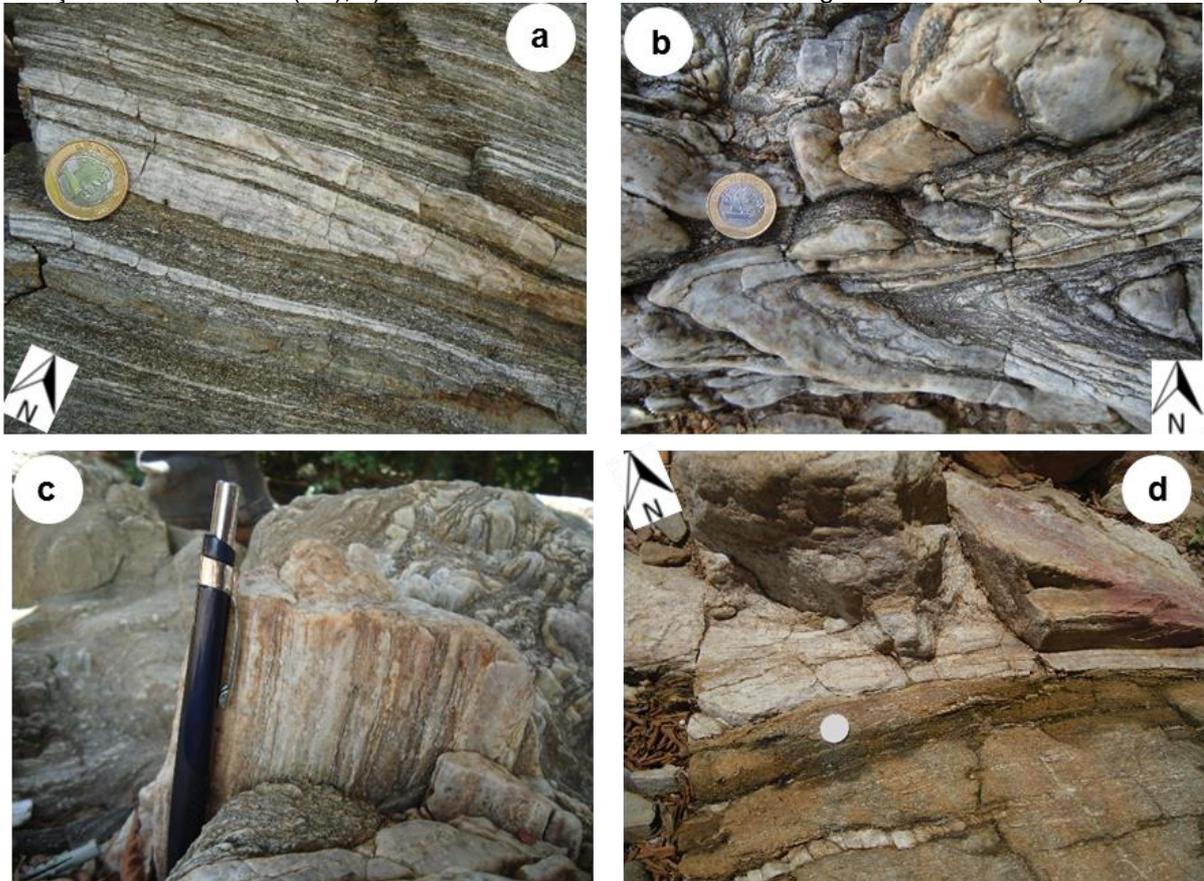
Figura 9: a) gnaiss diorítico com as intrusões trondhjemiticas dobradas ; b) bandamento milimétrico (D1); c) porfiroclastos de feldspato.d) bandamento milimétrico com porfiroblastos de plagioclásio



No afloramento LC-04, no extremo oeste do perfil, há intercalações centimétricas do gnaiss tonalítico com gnaiss granítico (Figura 10d). Os gnaisses descritos apresentam bandamentos concordantes (Figura 10a). O **gnaiss granítico** (LC-04B) é composto, predominantemente, por quartzo e feldspato, possuindo foliação irregular, descontínua e milimétrica, marcada por bandas de quartzo-

plagioclásio e outras de biotita ($m' = 8\%$). Ele apresenta lineação de estiramento e está afetado por dobras isoclinais (Figura 10b e 10c).

Figura 10: a) intercalação do gnaiss granítico o com o gnaiss tonalítico; b) dobra isoclinal (D2); c) lineação de estiramento (D1); d) bandamento concordante com o do gnaiss tonalítico (D1).

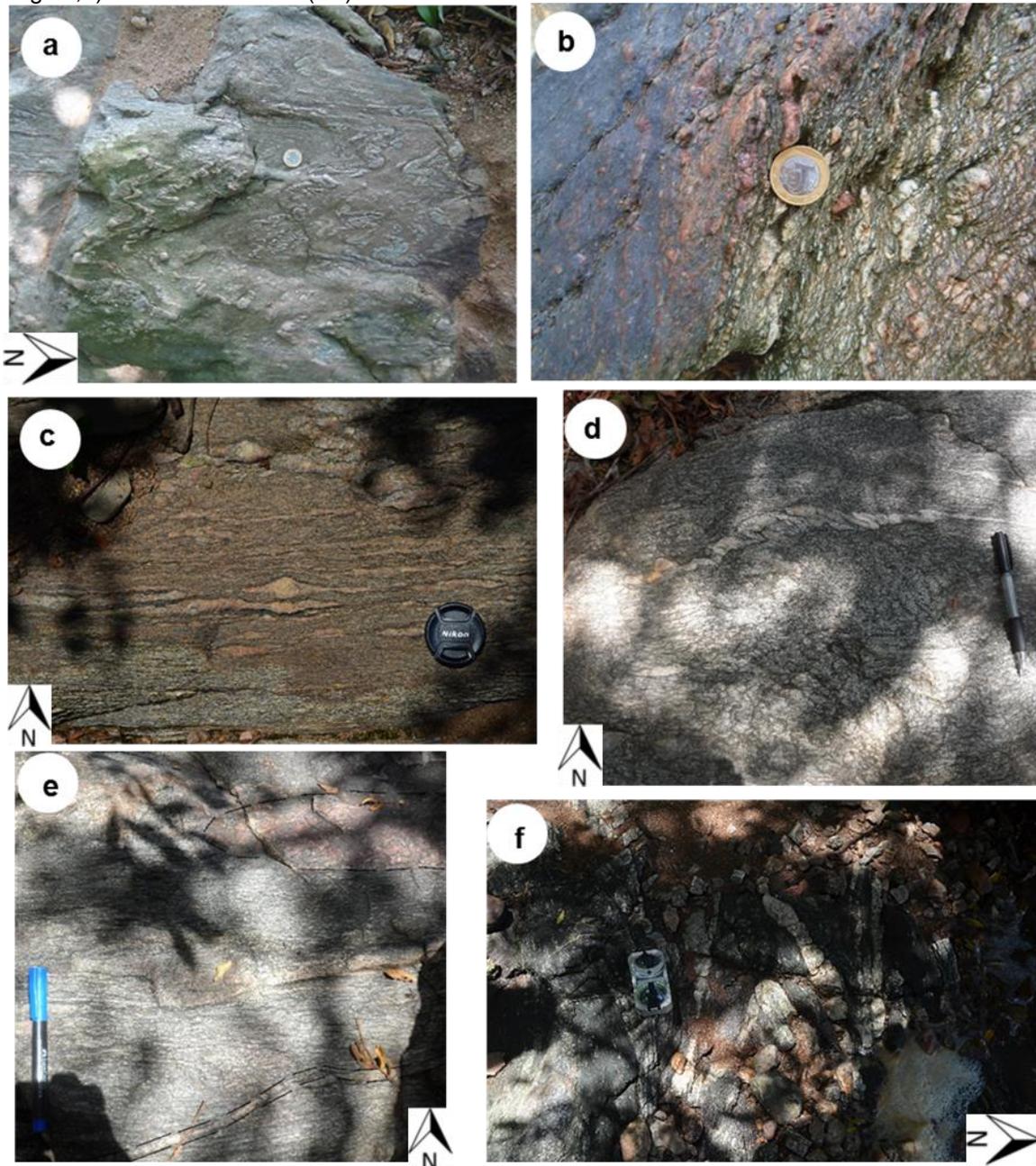


Os gnaisses são intrudidos por duas famílias de injeções. A de **composição trondhjemítica** (LC-01C, LC-02C e LC-04C) é uma rocha esbranquiçada, deformada de textura equigranular média à grossa. Forma *boudins* (Figura 11c), *pinch and swell* e dobras centimétricas a decimétricas no gnaiss tonalítico (Figura 11a). Essas injeções são concordantes e discordantes ao bandamento e, por vezes, definem o plano axial e o eixo das dobras subverticais intrafoliais (Figura 11d). Possui uma foliação incipiente marcada pela orientação das micas.

O litotipo mais jovem encontrado no perfil é as **injeções graníticas** (LC-01F; LC-04D) centimétricas que cortam o bandamento do gnaisses em baixo ângulo

(Figura 11e). O granito apresenta coloração rosada com textura equigranular, maciça e, no contato com o gnaiss, tem forma de “reação” de aproximadamente 3 cm com aspecto milonítico (Figura 11b). A rocha é constituída predominantemente por quartzo, ortoclásio, plagioclásio e biotita.

Figura 11: a) injeções trondhjemiticas dobradas no gnaiss tonalítico (sin-D1); b) injeção granítica com borda de “reação” de aproximadamente 3 cm com um aspecto milonítico; c) *boudin* da injeção trondhjemitica (D2); d) injeção trondhjemitica dobrada (D2); e) injeção granítica cortando em baixo ângulo; f) dobras intrafoliais (D2).



4.1. Caracterização Estrutural

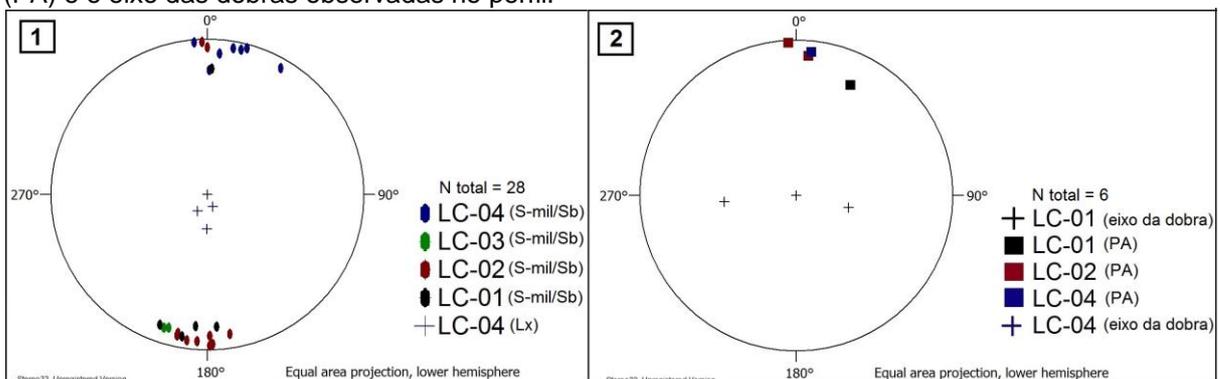
Com base na descrição de campo e na petrografia, a estrutura deformacional mais antiga (D1) é responsável pela geração do bandamento metamórfico (Sb) presente em todos os gnaisses descritos, o qual apresenta direção leste-oeste e contém uma lineação subvertical de estiramento (Lx) apenas no ponto mais a oeste (LC-04) no gnaisse granítico (Figura 10c). A intensidade de deformação é heterogênea entre os afloramentos; observa-se, de forma localizada, foliação milonítica (Sm paralela a Sb; Figura 8c) e porfiroclastos (Figura 9c), indicando deformação de maior intensidade concentrada.

O Sb // Sm é cortado por injeções trondhjemiticas (sin D1) que foi boundinado (Figura 11c), dobrado (Figura 11a) e formou estruturas *pinch and swell* (Figura 8b). As injeções trondhjemitica também marcam os planos axiais de dobras intrafoliais, geradas posteriormente no evento D2.

O evento D2 resultou em dobras de escala decimétrica à métrica que dobram o bandamento dos gnaisses (Figura 10b) e as injeções trondhjemiticas. As dobras são do tipo *chevron* (Figura 8d), aberta com plano axial e charneira subverticais. Nessa fase, o dobramento foi intenso e rompeu as charneiras das dobras no gnaisse tonalítico, gerando, portanto, clivagem de crenulação (S2?).

Por último, houve a intrusão de injeções graníticas centimétricas que cortam todas as estruturas anteriores e não estão deformadas (Figura 11e 11f).

Figura 12: Estereograma 1 representa o bandamento/foliação milonítica e a lineação estiramento medida no perfil, cada cor representa um ponto do perfil. Estereograma 2 representa o plano axial (PA) e o eixo das dobras observadas no perfil.



4.3. Petrografia

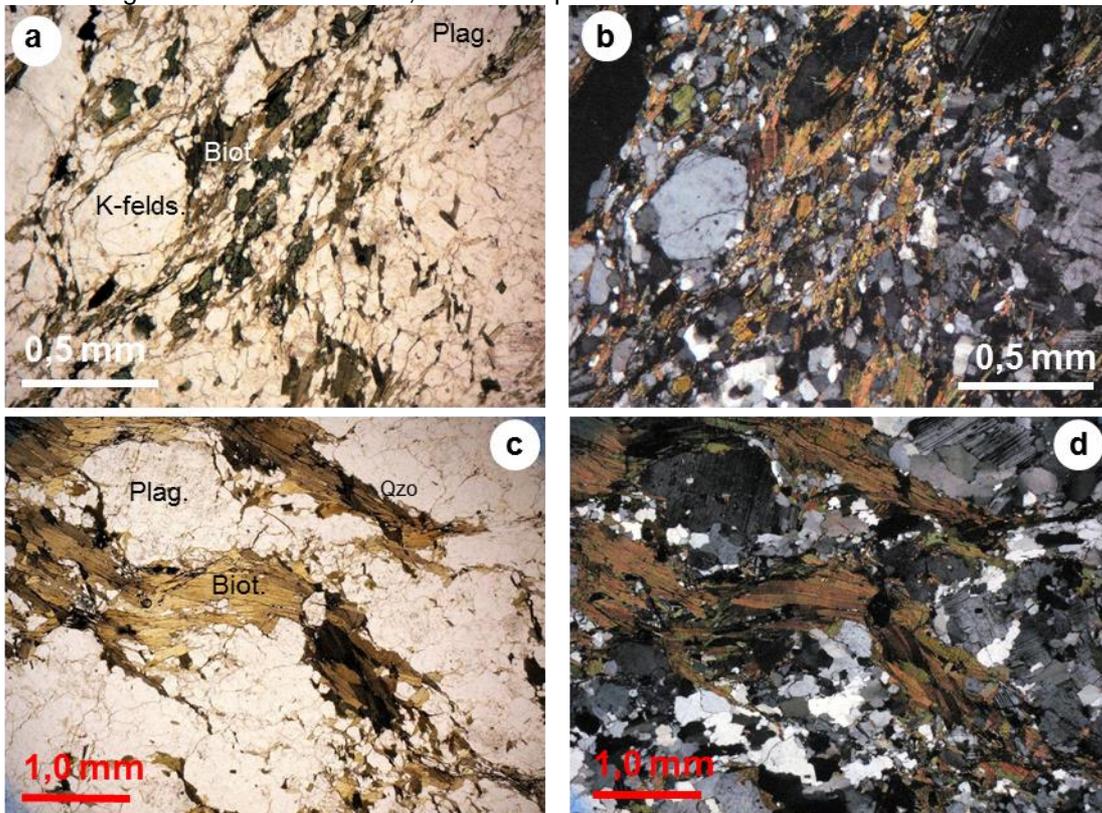
O **gnaisse tonalítico** possuem granulometria fina à média. Os porfiroblastos de K-feldspato e plagioclásio (Figura 10a e 10b) são arredondados, esparsos e possuem tamanho aproximado de 1 mm. A foliação é milimetricamente espaçada, descontínua e regular, em que é marcada pela biotita. A banda félsica apresenta a textura granoblástica interlobada e poligonal. A banda máfica, por sua vez, tem textura lepidoblástica e granoblástica interlobada. A mineralogia principal é composta por plagioclásio, K-feldspato, biotita, hornblenda e quartzo. Os minerais acessórios são a apatita, monazita e zircão. A alteração encontra-se dispersa por toda a rocha e é dada pela sericita e óxidos de ferro. Algumas amostras apresentam grãos relictos de feldspatos e foram identificados pelo diferente grau de alteração, por suas bordas recristalizadas e com mimerquitos poligonais. A biotita é alinhada segundo a foliação, os cristais são marrons e alongados com tamanho entre 0,24 mm a 1 mm. (Figura 10c e 10d). A hornblenda é substituída pela biotita e está em equilíbrio com os óxidos.

O plagioclásio (An 60) tem granulação fina (0,4 mm), também tendo os contatos retos a irregulares; maclas polissintéticas são comuns e, por vezes, apresentam falhas observadas no deslocamento da macla. Os porfiroblastos são arredondados e possuem tamanho de 0,6 mm a 1,5mm, geralmente ocorrem com macla polissintética em que é observada uma deformação pouco intensa (alguns apresentam textura poiquilítica).

Os K-feldspatos são subordinados e são representados pelo ortoclásio; Os porfiroblastos são mais alterados quando comparados ao plagioclásio e ocorrem com processo de microclinitização, indício de deformação e com textura mimerquitica.

O quartzo possui granulometria fina (0,1 a 0,3 mm) e com textura granoblástica poligonal com extinção ondulante (raramente ocorre em lentes e em mosaicos). Os minerais acessórios apresentam-se em cristais euédricos e pouco abundantes, normalmente associados à biotita. A rocha foi classificada em fácies anfibolito médio, fundamentada na paragênese e textura granoblástica.

Figura 13: Fotomicrografia da lâmina LC-01A do gnaiss tonalítico a e b) porfiroblasto de plagioclásio e K-feldspato; c e d) alinhamento das biotitas que formam a foliação com textura lepidoblástica. Fotomicrografia a e c a luz natural, b e d a luz polarizada.

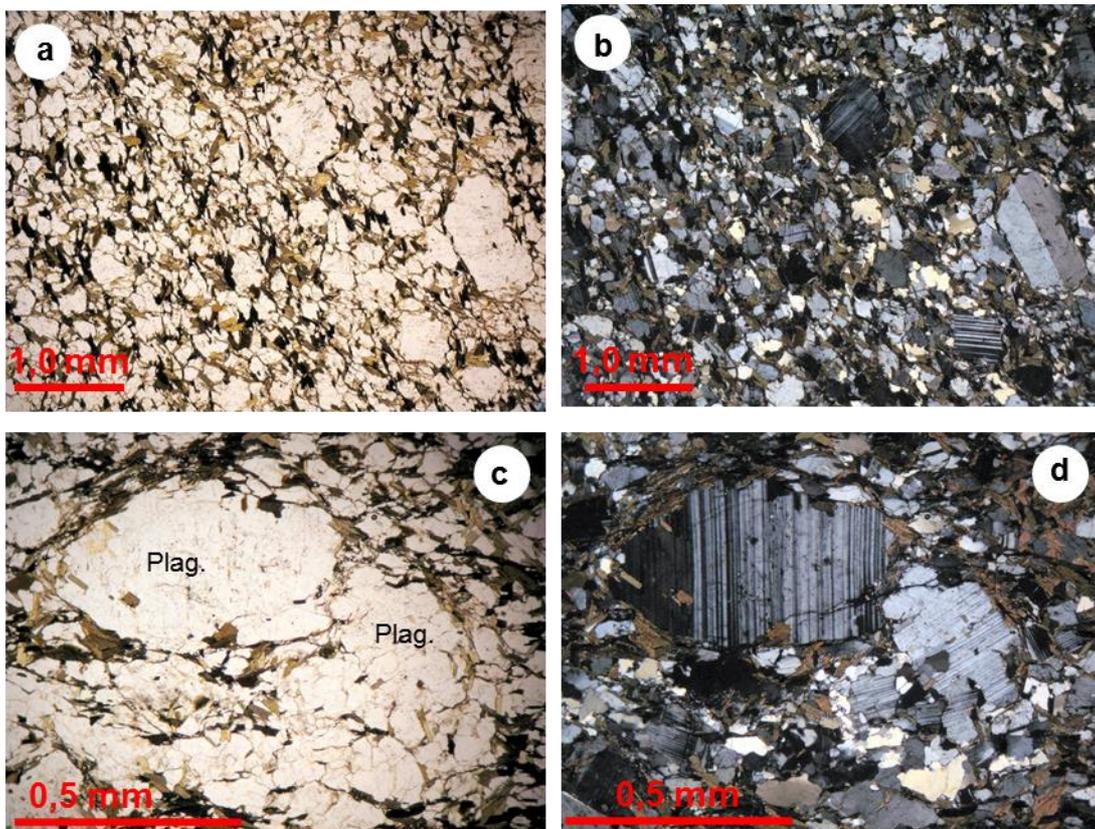


O **gnaisse diorítico** tem composição quartzo-diorítica à diorítica, granulometria fina à média. Porfiroclastos de plagioclásio e raros de ortoclásio com forma arredondada e bordas serrilhadas com tamanho de 0,7 a 2 mm. Foliação incipiente marcada pela biotita. Apresenta texturas granoblástica interlobada e poligonal (Figura 12a e 12b), lepidoblástica e poiquilítica, sua paragênese é dada por plagioclásio, biotita, K-feldspato, quartzo, apatita e zircão. Os minerais de alteração são epidoto, óxido de ferro e sericita. A biotita é alinhada conforme a foliação, euédrica, de cor marron e contorna os porfiroclastos. Está associada aos óxidos e minerais acessórios.

O plagioclásio (An 61) possui granulação fina (0,6mm) e seus contatos irregulares, macla polissintética raramente Carlsbard. Os porfiroclastos são anédricos e possuem tamanho de 1,2 a 2 mm com bordas serrilhadas (Figura 12c e 12d) e estão falhados e fraturados. O K-feldspato é subordinados e do tipo

ortoclásio. O quartzo é pouco abundante e possui granulometria fina (0,2 mm) com textura granoblástica e com extinção ondulante. O zircão encontra-se em dois tamanhos, sendo um bem arredondado sendo interpretado como mais antigo. A apatita é euédrica e está associada a biotita. Foi interpretado como sendo metamorfoisado em fácies anfibolito superior.

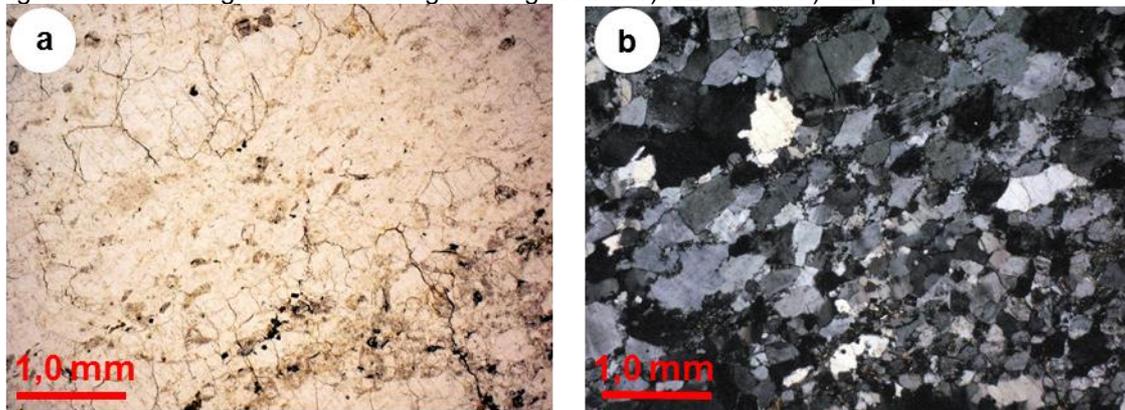
Figura 14: a e b) apresentam a texturas granoblástica interlobada e poligonal ; c e d) porfiroclastos de plagioclásio com bordas serrilhadas e fraturados. Fotomicrografia a e c a luz natural, b e d a luz polarizada.



O **gnaisse granítico** apresenta composição sienogranítica, granulometria fina a média, bandamento milimetricamente espaçado, descontínuo e irregular, com as bandas marcadas pela variação do tamanho granulométrico. Apresenta textura dominante granoblástica poligonal (Figura 14a e 14b) e mineralogia constituída por quartzo, plagioclásio, K-feldspato e biotita e, tem como minerais acessórios a alanita e apatita. Os minerais de alteração são sericita, muscovita e óxidos de ferro. A biotita é intersticial e representa 5% da rocha, possui cor avermelhada.

O K-feldspato é tipo ortoclásio e apresenta pertitas, possui granulometria média a fina (0,3 mm a 0,8 mm), forma anédrica e os contatos são serrilhados, sua borda está recristalizada e há mimerquitos. O plagioclásio apresenta-se de forma subordinada em cristais menores com macla polissintética, contatos irregulares e forma arredondada. O quartzo ocorre em fitas milimétricas com textura granoblástica. Os grãos apresentam pouca deformação interna, evidenciada pela extinção ondulante. A apatita tem tamanho 0,1 mm e forma eúdrlica. A alanita é pouco comum e ocorre com uma coroa de epidoto. Ambos os minerais acessórios ocorrem em equilíbrio com a biotita.

Figura 15: Textura granoblástica no gnaiss granítico a) luz natural b) luz polarizada



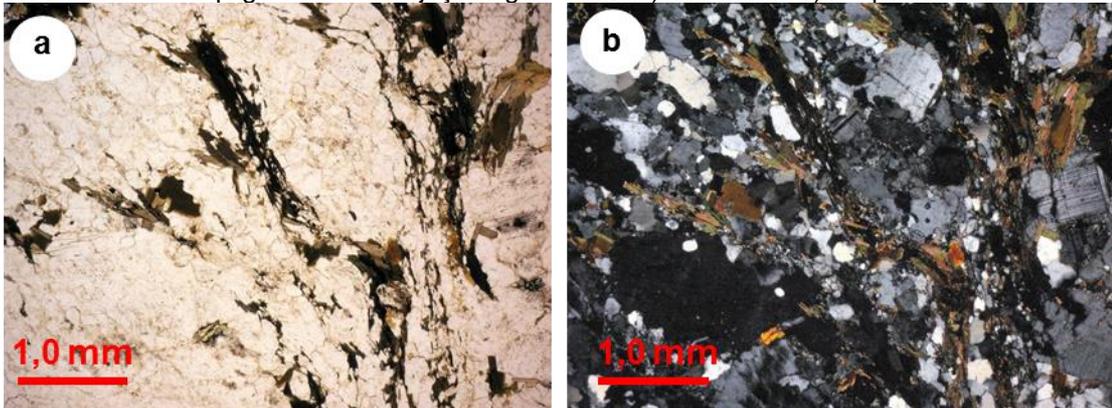
Os gnaisses apresentam mesmas condições de metamorfismo, sendo de fácies anfibolito médio a superior. A interpretação foi feita com base na paragênese e nas texturas dos litotipos. O plagioclásio apresenta recristalização que ocorre na faixa de 550°C, a biotita apresenta coloração avermelhada indicando a presença de Ti que ocorre em temperaturas médias a alta.

A **injeção granítica** possui composição sienogranítica com granulometria fina a média (0,3 mm a 1,5 mm). Possui textura inequigranular (Figura 16a e 16b), porfiroclastos de ortoclásio com tamanho aproximado de 1,5 a 2,5 mm, são anédricos e possuem sombra de pressão, por vezes apresentam textura protomilonítica, mimerquitica e granoblástica serrilhada. A mineralogia principal é composta por quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita, apatita e alanita. A alteração é

dada principalmente por serita, óxido de ferro e epidoto. A biotita é avermelhada devido a maior concentração de Ti, os cristais contornam os porfiroclastos e estão levemente alongados com tamanho de 0,1mm a 0,5 mm. Associado a biotita estão os minerais opacos e acessórios.

O K-feldspato tem granulação média (0,9 mm), nas suas bordas ocorre mimerquitos e está recristalizada resultando em textura granoblástica poligonal a serrilhada, os cristais, por vezes, estão quebrados e possuem contatos irregulares. Os plagioclásios possuem granulometria fina a média, estão fraturados e seus contatos são irregulares. O quartzo possui granulometria fina (0,2 mm a 0,6 mm), possuem extinção ondulante e textura granoblástica.

Figura 16: Textura inequigranular nas injeções graníticas. a) luz natural b) luz polarizada



4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O estudo com MEV foi realizado em amostras representativas de cada litotipo estudado – gnaisse tonalítico (LC-01A), gnaisse diorítico (LC-01D), gnaisse granítico (LC-04B) e injeções graníticas (LC-01F). Em cada amostra foi verificada a composição dos feldspatos e da biotita, e utilizado para a determinação da composição dos minerais opacos e acessórios. Todas as análises foram recalculadas para 100% com base nos dados obtidos no MEV.

Os plagioclásios (Tabela 2, 3 e 4) estão divididos em análises da borda e do centro dos cristais maiores e na matriz. Na tabela 2 estão as análises dos plagioclásios no gnaisse diorítico, nas quais o teor de An varia de 52 a 64 caracterizando-os como labradorita. O menor teor de An obtido foi na análise de um grão da matriz. A tabela 3 representa os valores referentes ao gnaisse tonalítico e ao gnaisse granítico. No gnaisse tonalítico, o teor de An está entre 59 e 64 definindo-os como labradorita. No gnaisse granítico verifica-se uma variação maior do teor de An, resultando em andesina (An₄₇) em dois grãos analisados na matriz, e labradorita (An₅₇) no restante dos grãos. As verificações da injeção granítica encontram-se na tabela 4, elas resultaram em andesina (An₄₉) em dois grãos da matriz e labradorita (An₆₀) nos demais.

Os K-feldspatos analisados resultaram ortoclásio para todos os litotipos verificados, o teor de Or varia entre 87 a 100 (Tabela 5 e 6).

O mineral máfico identificado em MEV foi apenas a biotita enquanto na petrografia foi descrito também anfibólio. A biotita possui Ti em sua composição química, tendo como valor médio 0,45 segundo Henry et al. (2005) isso indica que a rocha atingiu aproximadamente 700°C, calculado para uma pressão de 4-6 Kbar.

Tabela 2: Análise do MEV para plagioclásios (normalizadas para 100%)

	Gnaiss diorítico																					
	Matriz										Centro				Borda							
	SiO₂	54,70	56,47	55,04	54,99	55,24	55,39	55,05	55,80	55,31	56,09	56,13	55,99	55,69	55,94	55,99	55,70	54,58	55,39	54,75	56,29	55,78
Al₂O₃	29,65	28,26	29,53	29,83	29,49	29,44	29,49	28,90	29,33	28,84	29,05	29,42	29,36	29,07	28,98	29,08	29,18	29,18	29,69	28,88	29,12	29,27
CaO	18,60	16,03	18,84	18,76	18,64	19,87	20,33	19,22	19,47	19,63	18,11	18,43	18,92	19,07	19,32	19,36	21,84	20,26	19,33	19,28	18,81	19,29
Na₂O	7,22	8,29	6,96	6,74	6,93	6,30	6,33	6,81	6,67	6,45	6,88	6,49	6,57	6,59	6,53	6,65	6,32	6,39	6,81	6,40	6,78	6,59
	Número de íons com base em 32 O																					
Si	9,27	9,61	9,31	9,29	9,34	9,32	9,26	9,40	9,33	9,42	9,47	9,43	9,38	9,42	9,42	9,38	9,18	9,32	9,25	9,46	9,41	9,36
Al	5,92	5,67	5,89	5,94	5,88	5,84	5,85	5,74	5,83	5,71	5,78	5,84	5,83	5,77	5,74	5,77	5,78	5,78	5,92	5,72	5,79	5,81
Ca	3,38	2,92	3,41	3,40	3,38	3,58	3,67	3,47	3,52	3,53	3,27	3,33	3,42	3,44	3,48	3,49	3,94	3,65	3,50	3,47	3,40	3,48
Na	2,37	2,73	2,28	2,21	2,27	2,06	2,06	2,23	2,18	2,10	2,25	2,12	2,14	2,15	2,13	2,17	2,06	2,08	2,23	2,08	2,22	2,15
Or	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	41,27	48,35	40,05	39,40	40,21	36,48	36,03	39,08	38,25	37,30	40,76	38,91	38,58	38,48	37,94	38,32	34,36	36,34	38,94	37,53	39,48	38,21
An	58,73	51,65	59,95	60,60	59,79	63,52	63,97	60,92	61,75	62,70	59,24	61,09	61,42	61,52	62,06	61,68	65,64	63,66	61,06	62,47	60,52	61,79

Tabela 3: Continuação da tabela 2

	Gnaiss tonalítico										Gnaiss granítico									
	Centro					Matriz			Borda		Matriz					Centro				
	SiO₂	55,55	55,98	55,06	55,28	54,79	55,17	55,60	55,41	54,08	55,56	56,90	63,22	56,56	61,88	66,70	55,04	55,51	56,75	55,51
Al₂O₃	28,89	28,97	29,00	28,37	28,90	29,33	29,29	29,08	30,12	29,01	28,51	23,84	28,91	24,42	21,48	29,67	29,26	28,14	29,13	28,32
CaO	18,86	19,30	20,50	19,78	20,86	19,34	19,09	19,73	20,50	19,21	15,31	13,13	17,34	15,15	12,11	18,11	19,33	17,82	16,90	19,81
Na₂O	7,18	6,56	6,72	7,51	6,88	6,83	6,64	6,71	6,39	6,90	8,00	8,11	6,99	7,93	7,79	7,15	6,63	7,41	7,84	7,12
	Número de íons com base em 32 O																			
Si	9,39	9,42	9,28	9,35	9,24	9,31	9,37	9,34	9,13	9,37	9,67	10,62	9,55	10,38	11,12	9,33	9,35	9,58	9,44	9,41
Al	5,75	5,74	5,76	5,66	5,75	5,84	5,82	5,78	5,99	5,77	5,71	4,72	5,75	4,83	4,22	5,92	5,81	5,60	5,84	5,63
Ca	3,42	3,48	3,70	3,58	3,77	3,50	3,45	3,56	3,71	3,47	2,79	2,36	3,14	2,72	2,16	3,29	3,49	3,22	3,08	3,58
Na	2,35	2,14	2,20	2,46	2,25	2,24	2,17	2,19	2,09	2,26	2,63	2,64	2,29	2,58	2,52	2,35	2,17	2,42	2,58	2,33
Or	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	40,78	38,07	37,25	40,73	37,39	38,98	38,62	38,09	36,05	39,38	48,59	52,78	42,19	48,66	53,78	41,69	38,31	42,92	45,64	39,41
An	59,22	61,93	62,75	59,27	62,61	61,02	61,38	61,91	63,95	60,62	51,41	47,22	57,81	51,34	46,22	58,31	61,69	57,08	54,36	60,59

Tabela 6: Continuação da tabela 5

Injeções graníticas								
SiO ₂	65,15	64,97	64,95	65,31	65,19	65,08	65,39	65,7
Al ₂ O ₃	19,70	20,21	20,19	19,97	19,93	20,13	19,66	19,66
Na ₂ O	0,96	1,34	-	0,90	0,89	-	0,88	0,78
K ₂ O	14,19	13,48	14,86	13,82	13,99	14,22	14,07	13,86
Número de íons com base em 32 O								
Si	11,91	11,84	11,87	11,90	11,89	11,91	11,93	11,962
Al	4,24	4,34	4,35	4,29	4,29	4,34	4,23	4,2191
Na	0,34	0,47	0,00	0,32	0,31	0,00	0,31	0,2754
K	3,31	3,13	3,47	3,21	3,26	3,32	3,27	3,2188
Or	90,67	86,91	100,00	90,99	91,18	100,00	91,32	92,119
Ab	9,33	13,09	0,00	9,01	8,82	0,00	8,68	7,8808
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0

Tabela 7: Análise do MEV para biotita (normalizadas para 100%)

	Gnaiss tonalítico										Gnaiss diorítico							
	SiO ₂	38,26	38,63	40,76	37,69	38,41	37,83	37,99	37,70	37,67	39,64	39,25	39,89	39,47	38,09	36,77	37,89	37,89
Al ₂ O ₃	18,61	17,50	16,82	18,85	17,99	18,23	18,53	18,49	18,80	17,25	18,12	18,27	18,28	17,40	22,84	23,44	16,96	17,30
TiO ₂	3,31	4,40	3,68	3,39	3,24	4,37	3,82	3,50	3,40	4,35	3,26	4,00	3,56	4,32	3,93	3,27	3,52	4,06
MgO	9,25	7,87	10,50	9,62	9,99	9,58	9,55	9,57	9,82	9,02	11,04	8,85	11,00	10,27	1,94	8,26	9,61	9,39
K ₂ O	9,46	10,32	8,57	9,24	8,72	9,08	9,47	9,22	9,57	9,59	9,04	9,75	9,04	9,71	10,14	8,54	9,59	9,46
FeO	21,11	21,29	19,68	21,21	21,65	20,91	20,63	21,53	20,75	20,15	19,27	19,27	18,74	20,21	24,35	18,59	22,43	21,43
Número de íons com base em 22 O																		
Si	5,51	5,58	5,81	5,43	5,53	5,47	5,47	5,45	5,46	5,71	5,62	5,71	5,62	5,52	5,41	5,36	5,55	5,57
Al	3,16	2,98	2,83	3,20	3,05	3,11	3,14	3,15	3,21	2,93	3,06	3,08	3,07	2,97	3,96	3,91	2,93	2,96
Ti	0,36	0,48	0,39	0,37	0,35	0,48	0,41	0,38	0,37	0,47	0,35	0,43	0,38	0,47	0,43	0,35	0,39	0,44
Mg	1,99	1,70	2,23	2,07	2,14	2,07	2,05	2,06	2,12	1,94	2,35	1,89	2,34	2,22	0,43	1,74	2,10	2,03
K	1,74	1,90	1,56	1,70	1,60	1,68	1,74	1,70	1,77	1,76	1,65	1,78	1,64	1,79	1,90	1,54	1,79	1,75
Fe	2,54	2,57	2,35	2,56	2,60	2,53	2,48	2,60	2,52	2,43	2,31	2,31	2,23	2,45	3,00	2,20	2,75	2,61

Tabela 8: Continuação da tabela 7

Injeções graníticas									
SiO₂	42,41	38,94	44,46	38,85	39,27	39,26	37,87	38,62	38,71
Al₂O₃	16,40	21,26	21,09	18,53	18,07	19,05	18,05	18,57	18,72
TiO₂	3,64	3,89	5,00	3,52	3,28	3,73	3,89	3,50	2,97
MgO	6,63	10,16	5,00	9,70	10,60	9,91	9,61	10,12	10,05
K₂O	9,11	9,56	8,47	9,59	9,48	9,34	10,07	10,05	9,55
FeO	21,81	16,18	15,97	19,82	19,84	18,71	20,51	19,14	20,00
Número de íons com base em 22 O									
Si	6,05	5,44	6,12	5,56	5,58	4,89	5,47	5,53	5,57
Al	2,76	3,50	3,42	3,12	3,03	2,80	3,07	3,14	3,18
Ti	0,39	0,41	0,52	0,38	0,35	1,75	0,42	0,38	0,32
Mg	1,41	2,12	1,03	2,07	2,25	1,84	2,07	2,16	2,16
K	1,66	1,70	1,49	1,75	1,72	1,48	1,86	1,84	1,75
Fe	2,60	1,89	1,84	2,37	2,36	1,95	2,48	2,29	2,41

4.5. Geoquímica dos gnaisses Chácara das Pedras

Foram realizadas 8 análises químicas em rocha total de elementos maiores e menores nas amostras do afloramento descritos acima LC-01A, LC-01B, LC-01D, LC-01F, LC-02A, LC-02B e LC-04B, e do afloramento na Avenida Protásio Alves LC-05. Os dados adquiridos foram integrados a dados existentes na bibliografia apresentados por Philipp e Campos (2004) e Gomes (2016)

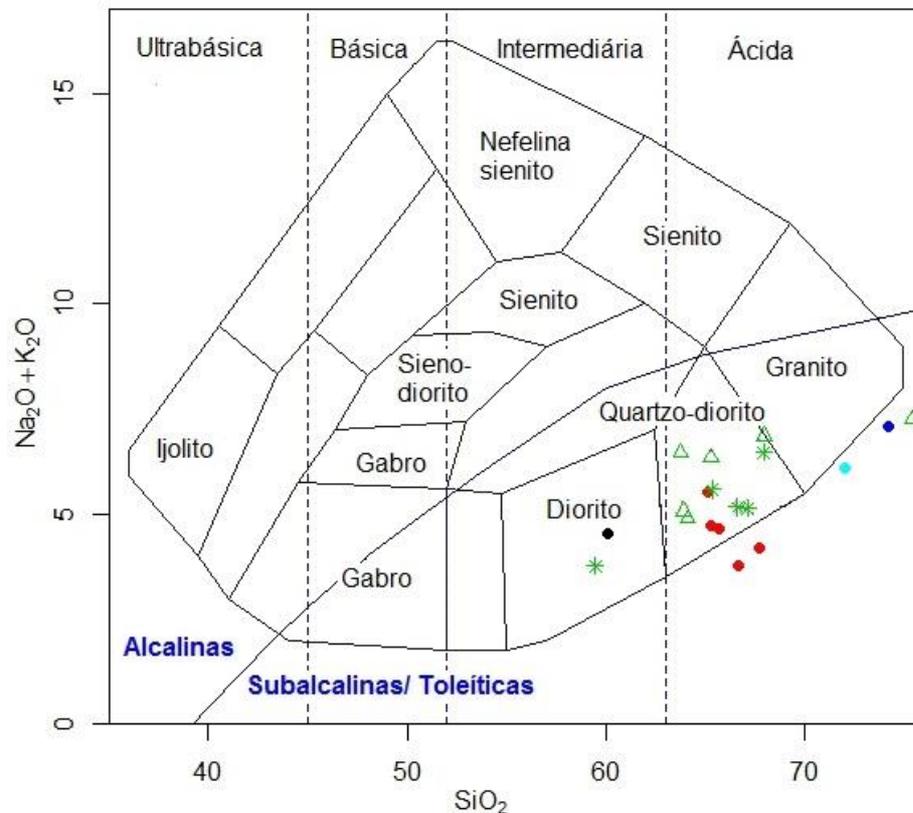
Tabela 9: Análises geoquímicas de elementos maiores (%) e traços (ppm) dos gnaisses Chácara das Pedras. GD (gnaisse diorítico),GG (gnaisse granítico) e IG (injeções graníticas).

	Gnaisse Tonalítico					GD	GG	IG
	LC-01A	LC-01B	LC-02B	LC-02A	LC-05A	LC-01D	LC-04B	LC-01F
SiO₂	66,67	65,34	65,16	65,69	67,71	60,10	72,08	74,23
Al₂O₃	13,28	13,42	13,76	14,01	13,20	16,91	13,18	12,77
TiO₂	0,81	0,81	0,69	0,77	0,62	1,41	0,28	0,06
Fe₂O₃	6,06	6,46	5,51	5,44	5,75	7,35	2,24	0,72
MnO	1,07	0,12	0,11	0,06	0,14	0,10	0,03	0,01
MgO	2,99	3,27	2,75	2,69	2,80	3,40	1,71	1,18
CaO	3,29	3,86	4,22	4,13	3,92	4,96	3,20	2,77
Na₂O	1,12	1,36	1,33	1,07	2,19	1,86	1,14	0,86
K₂O	2,65	3,39	4,20	3,59	1,99	2,70	4,96	6,24
P₂O₅	0,11	0,10	0,18	0,16	0,14	0,25	0,02	0,02
Álcalis	3,77	4,75	5,53	4,66	4,18	4,56	6,10	7,10
Lol	1,13	1,10	1,19	1,78	0,86	1,05	0,63	0,44
Total	99,18	99,21	99,10	99,40	99,31	100,08	99,47	99,31
Y	52,50	60,30	56,30	42,60	86,10	46,90	20,00	12,20
Pb	11,50	20,90	17,10	16,20	14,90	12,80	36,30	32,30
Ni	6,70	9,40	7,90	6,00	9,60	-	1,10	-
Co	30,90	33,10	26,50	25,60	29,00	37,50	9,40	2,10
Cu	8,60	-	2,90	12,60	-2,00	12,00	5,30	1,70
Ga	13,70	13,60	13,50	13,40	16,80	22,70	8,20	6,80
Sr	133,30	162,50	180,90	172,20	89,20	294,80	209,50	189,40
Zr	175,80	164,20	157,50	230,70	143,40	189,90	118,90	51,80
Zn	84,50	78,00	58,80	67,40	101,90	96,40	25,50	11,50
Nb	13,80	15,40	12,50	12,60	26,40	19,20	4,40	-
Rb	180,80	234,80	300,50	249,50	444,10	213,20	136,40	143,50
As	7,30	9,70	9,00	9,00	8,20	9,00	8,40	6,60
Cr	55,80	60,40	48,10	65,50	96,70	32,60	36,90	2,40
Ba	689,30	898,60	783,10	918,80	278,10	808,20	1344,10	960,80

Dentre as amostras analisadas estão o gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro) e injeção granítica (círculo azul escuro). Nos diagramas as análises de Philipp e Campos (2004) estão representadas como asterisco verde e as de Gomes (2016) como triângulo verde.

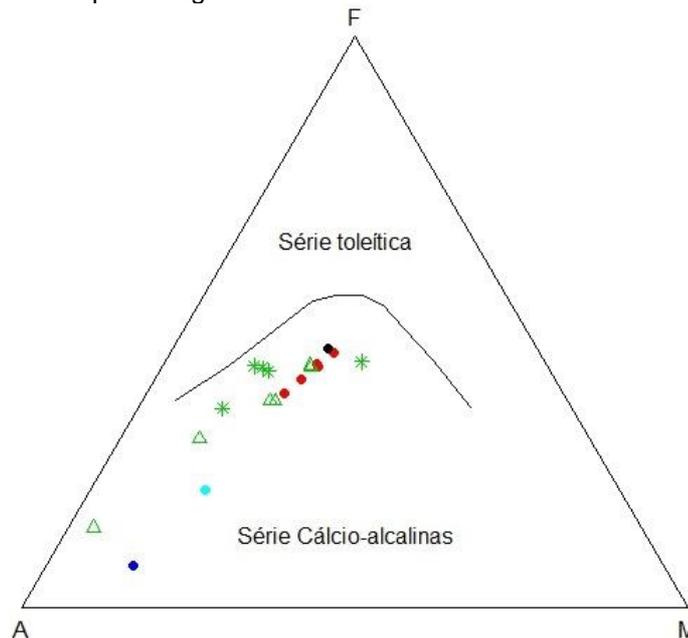
Os teores de sílica dos Gnaisses Chácara das Pedras variam de 75,43% para os termos mais diferenciados (gnaisses graníticos) e 60,1% para termos menos diferenciados (gnaisses dioríticos), enquanto que os gnaisses tonalíticos, mais representativos, apresentam teores de sílicas entre 65 e 68%. Todos esses dados encontram-se em concordância com os dados já apresentados na literatura, onde variam de 59 a 76% de sílica (PHILIPP & CAMPOS 2004 e GOMES 2016).

Figura 17: Diagrama TAS de classificação química. Diagrama de Cox et al. (1979) adaptado por WILSON (1989). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.



Os litotipos analisados foram plotados no diagrama TAS (Figura 17), o qual relaciona teores de sílica a álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), e assinalam, em sua maioria, composição quartzo diorítica/granodiorítica, três amostras plotam no campo granítico (LC-01F, LC-04B e SM17-13) e uma no diorítico (LC-01D).

Figura 18: Diagrama ternário – A ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), F ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) e M (MgO). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.



As rochas plotam na área da série cálcico-alcálicas, segundo o diagrama AFM (Figura 18), e seguem um *trend* progressivo do ferro (F) aos álcalis (A) indicando um *trend* de diferenciação magmática, com as rochas menos diferenciadas relativamente enriquecidas em ferro e magnésio e as mais diferenciadas em alumínio. Em relação ao índice de saturação em alumina, as amostras seguem um *trend* de enriquecimento de alumínio das amostras no diagrama de Shand (1943), o qual considera rochas peraluminosas acima de 1,1 na razão A/CNK , evidenciando assim um caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso para os Gnaisses Chácara das Pedras (Figura 19). A proporção K_2O em relação à SiO_2 definida por Peccerillo e Taylor (1976), sugerem que os gnaisses são do tipo transicional entre as séries cálcico-alcálicas e cálcico-alcálicas alto-K. (Figura 20). O diagrama de Frost

et al.(2001) considera a relação da sílica e do ferro + magnésio, dividindo os granitos em magnesianos, que anteriormente eram chamados de cordilheiranos, e ferrosos, anteriormente tipo A. As rochas dos Gnaisses Chácara das Pedras plotam no campo dos granitos magnesianos (Figura 21).

Figura 19: Diagrama de Shand (1943) – A (Al_2O_3), C (CaO), K (K_2O) e N (Na_2O). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

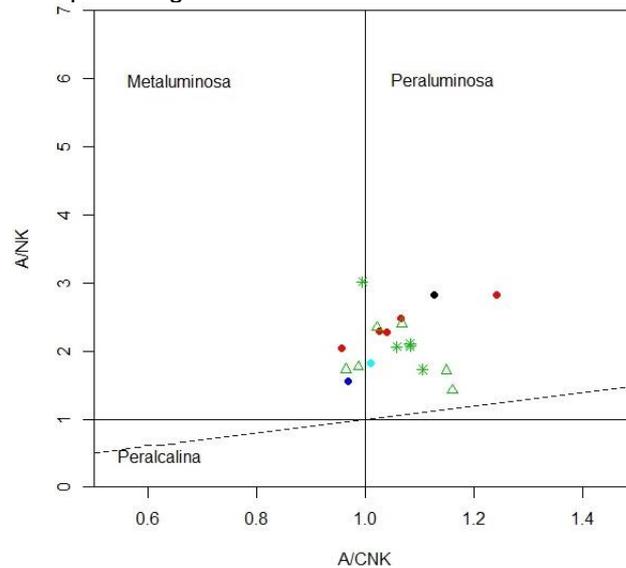


Figura 20: Diagrama para subdivisão da série cálcio-alcalina. Peccerillo e Taylor (1976) – teor de K_2O x SiO_2 . Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

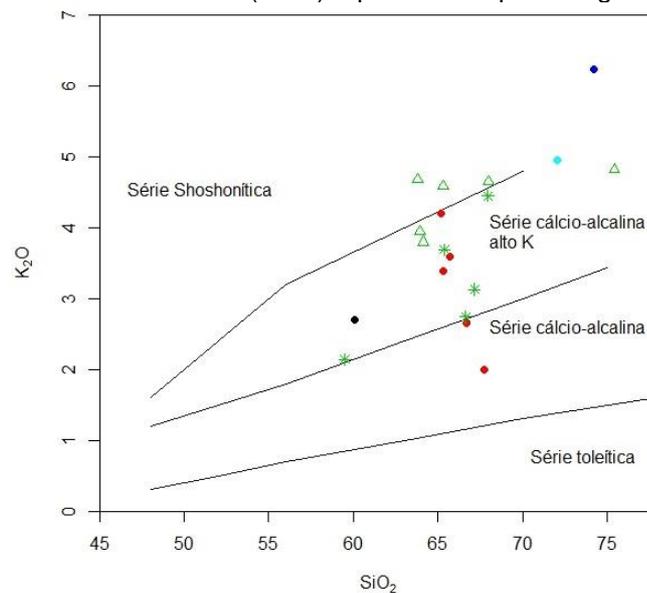
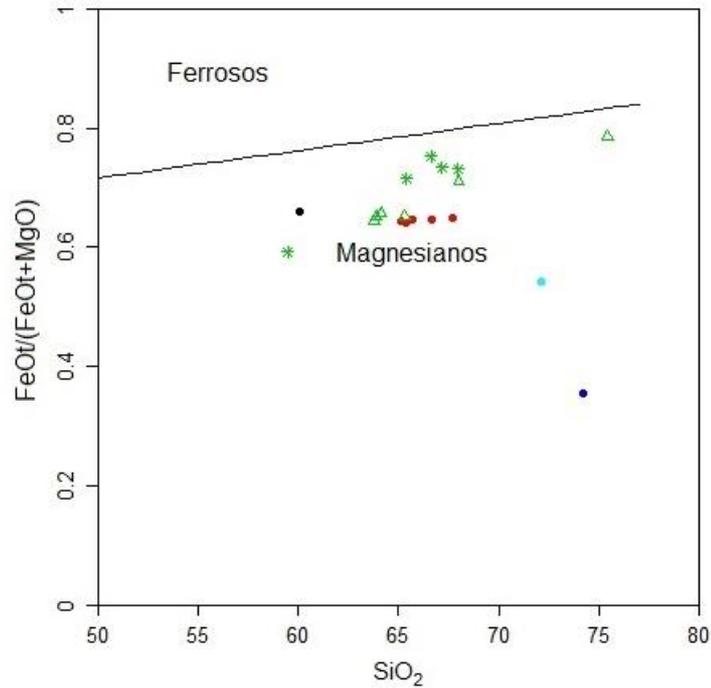


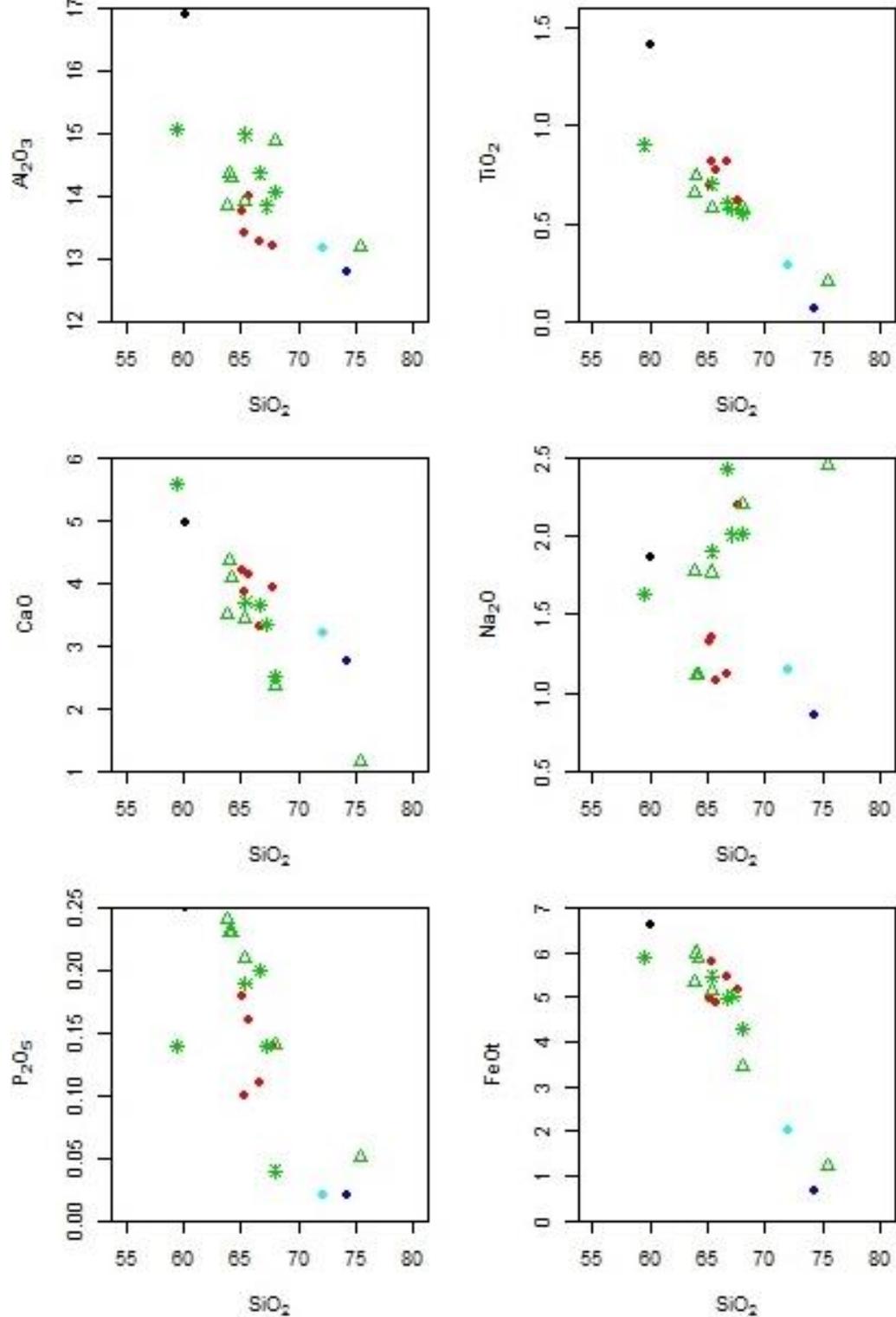
Figura 21: Diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{FeO}_t / (\text{FeO}_t + \text{MgO})$ de Frost et al.2001. Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

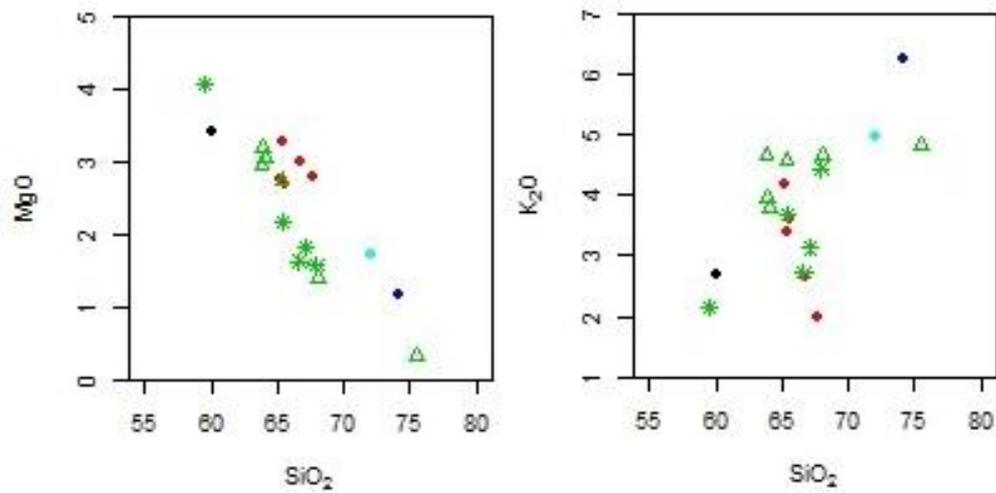


Nos diagramas Harker (Figura 22), o índice de diferenciação aplicado foi SiO_2 , onde pode ser observado *trends* de correlação negativa na maioria dos diagramas de elementos maiores, como por exemplo do MgO , FeO_t , TiO_2 , CaO e P_2O_5 sugerindo a cristalização de plagioclásio, anfibólio e apatita. Alguns óxidos apresentam dispersão na correlação, como K_2O , sugerindo cristalização de biotita e feldspato alcalino.

Os *trends*, em geral, contínuos e regulares e coerentes com as amostras de Philipp e Campos (2004) e Gomes (2016) sugrem que as variações composicionais dos Gnaisses Chácara das Pedras de dioritos, tonalitos e granitos, representem uma diferenciação magmática a partir de uma mesma câmara, ou seja, que essas rochas são cogenéticas.

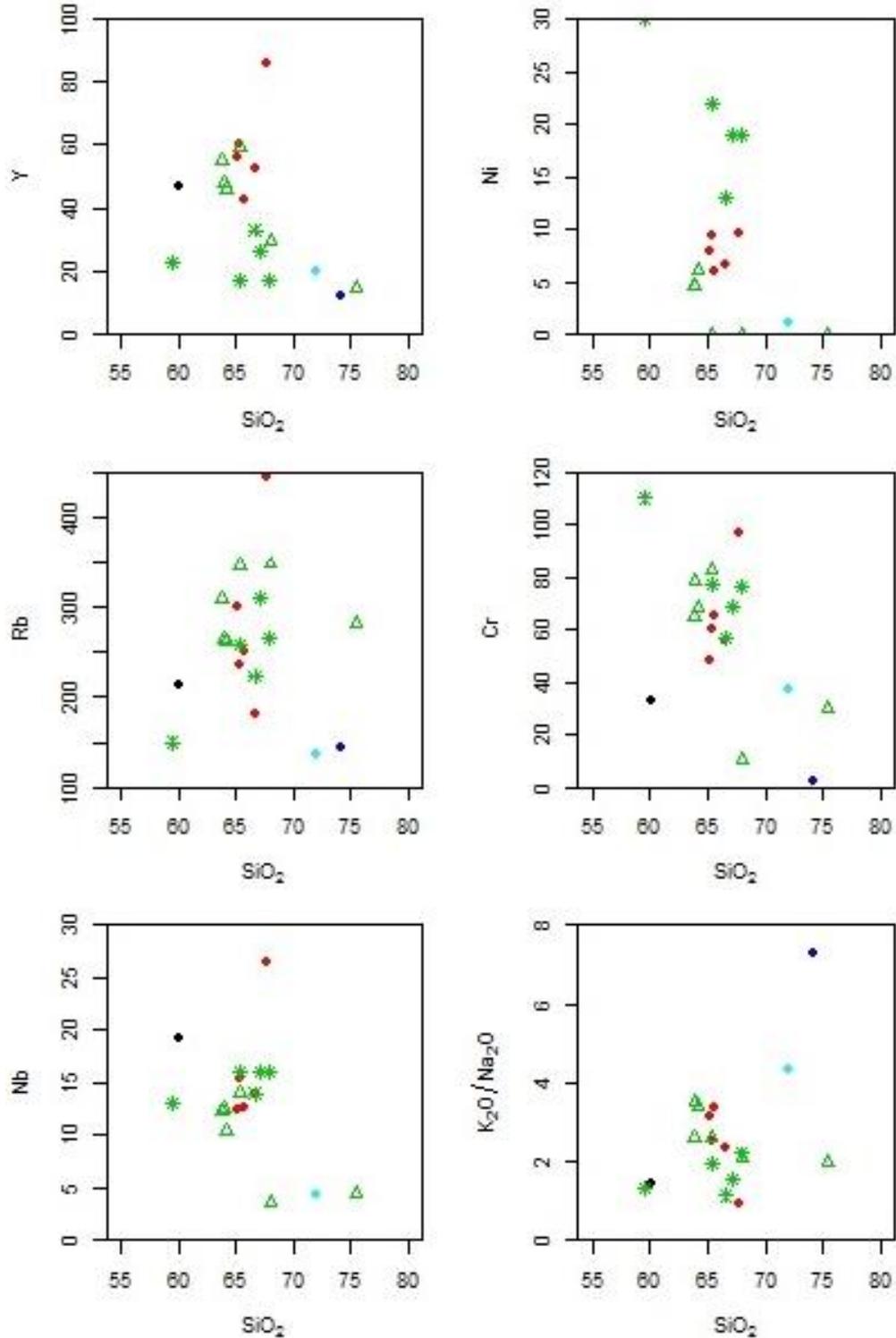
Figura 22: Diagramas Harker – índice de diferenciação em SiO_2 x elementos maiores. Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

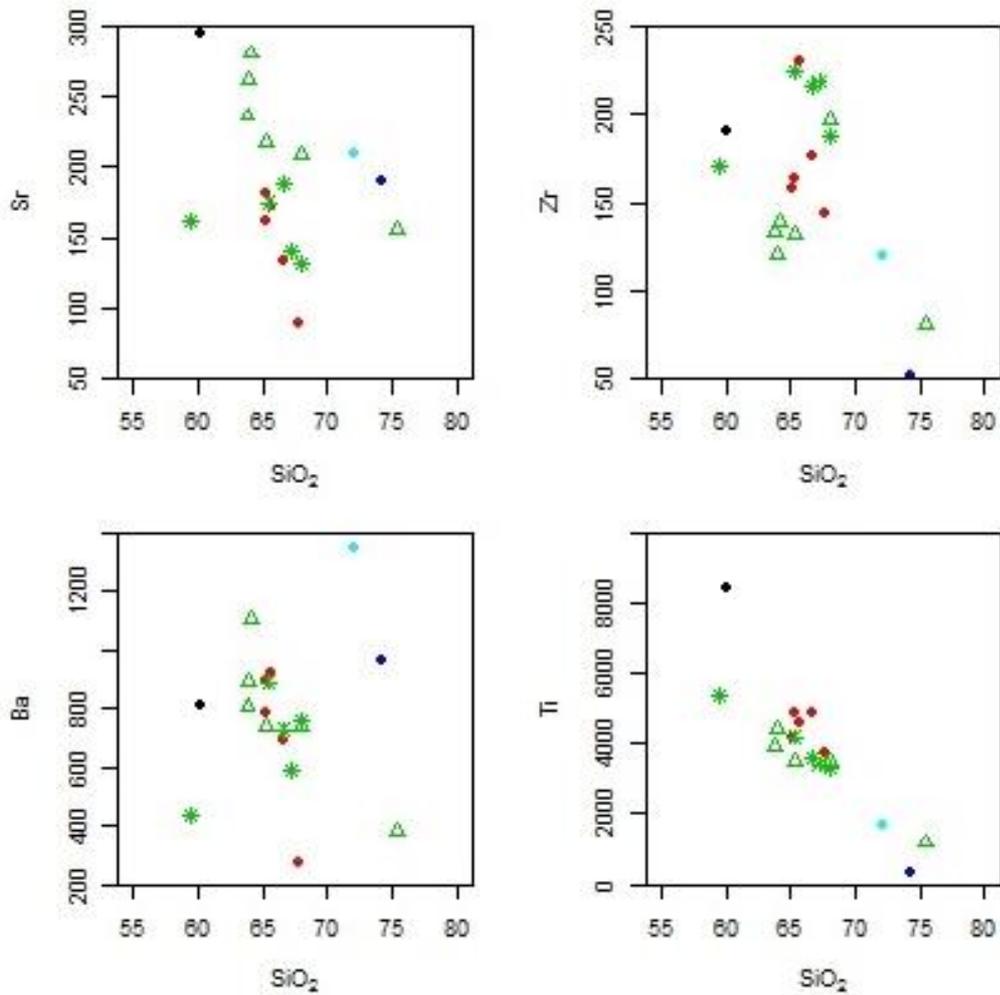




Nos diagramas Harker (Figura 23), o índice de diferenciação aplicado foi SiO₂, onde pode ser observado *trends* de correlação negativa na maioria dos diagramas de elementos traços, como por exemplo do Sr, Zr e Y, sugerindo a cristalização de plagioclásio, zircão e apatita. Alguns óxidos apresentam dispersão na correlação, como Ba, Rb e Nb, indicam a cristalização de biotita e feldspato alcalino e minerais acessórios, como alanita.

Figura 23: Diagrama de sílica x elementos traço. Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.





Os diagramas *spiders* multielementar normalizados por condritos segundo Sun et al. (1980)- figura 24 – e pelo manto primitivo de acordo com Sun e McDonough (1989) – figura 25 - demonstram que os gnaisses Chácara das Pedras são enriquecidos em elementos litófilos de grande raio iônico (LILE) em comparação com os elementos de elevado potencial iônico (HFSE). Os gráficos apresentam anomalias em Nb, Ta e Ti. As rochas dessa unidade apresentam, de forma geral, *trends* semelhantes, sendo interpretados como magmas originários de uma mesma fonte. O mesmo padrão foi encontrado nas amostras dos Gnaisses Chácara das Pedras de Phillip e Campos (2004) e Gomes (2016).

Figura 24: Diagrama *spider* normalizado por condritos de Sun et al. (1980). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

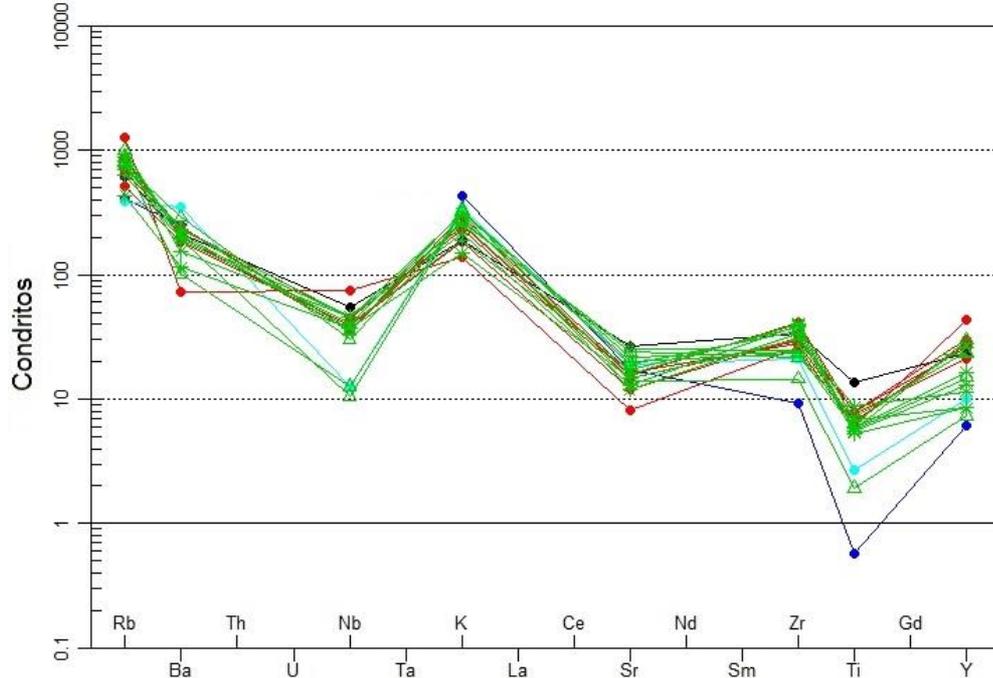
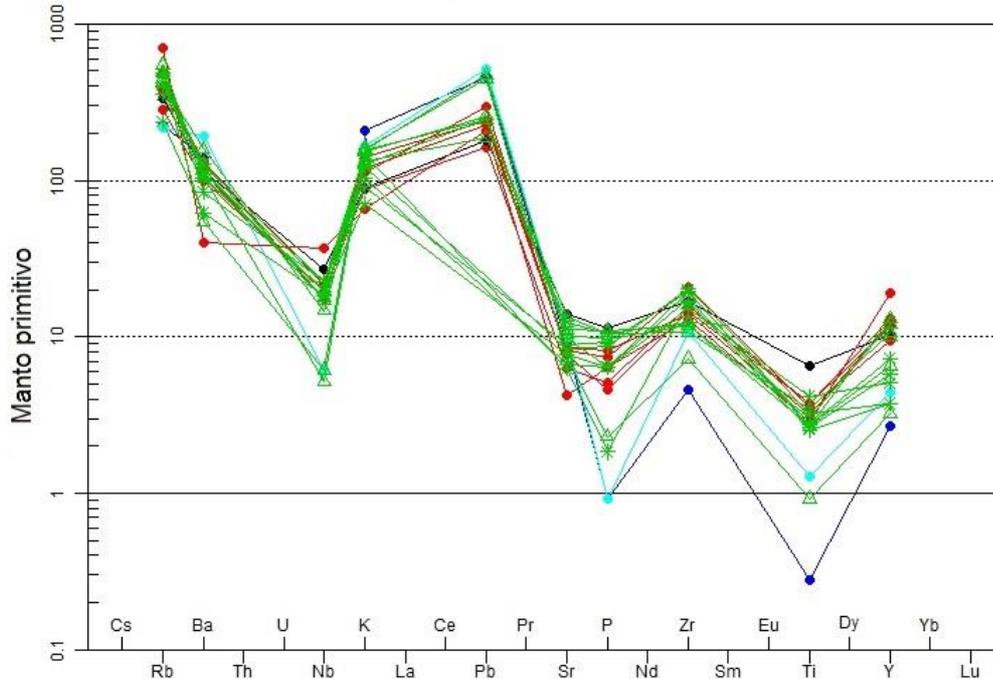


Figura 25: Diagrama *spider* normalizado por manto primitivo de Sun e McDonough (1989). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.



No diagrama de Pearce et al. (1984), representado pela relação Rb contra Y+Nb e Nb contra Y, indicam que os litotipos analisados são relacionados a um ambiente transicional entre sin-colisional, arcos vulcânicos e intra-placa (Figura 26). Na representação de Pearce et al. (1977), as análises dos gnaisses Chácara das Pedras plotam na área de ambiente orogênico (Figura 27). O diagrama R1-R2 de Batchelor e Bowden (1985) sugerem que as rochas são originadas de fracionamento mantélico ou pré-colisionais (Figura 28). Os mesmos padrões foram encontrados nas amostras dos Gnaisses Chácara das Pedras de Philipp e Campos (2004) e Gomes (2016).

Figura 26: Diagrama de Pearce et al (1984) – discriminação dos ambientes tectônicos. . Syn-COLG = Granitos sin-colisionais, WPG = Granitos intra-placa, VAG = Granitos de arco vulcânico, ORG = Granitos de Dorsal Mesoceânica. Legenda: gnaisse tonalítico (círculo vermelho), gnaisse diorítico (círculo preto), gnaisse granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

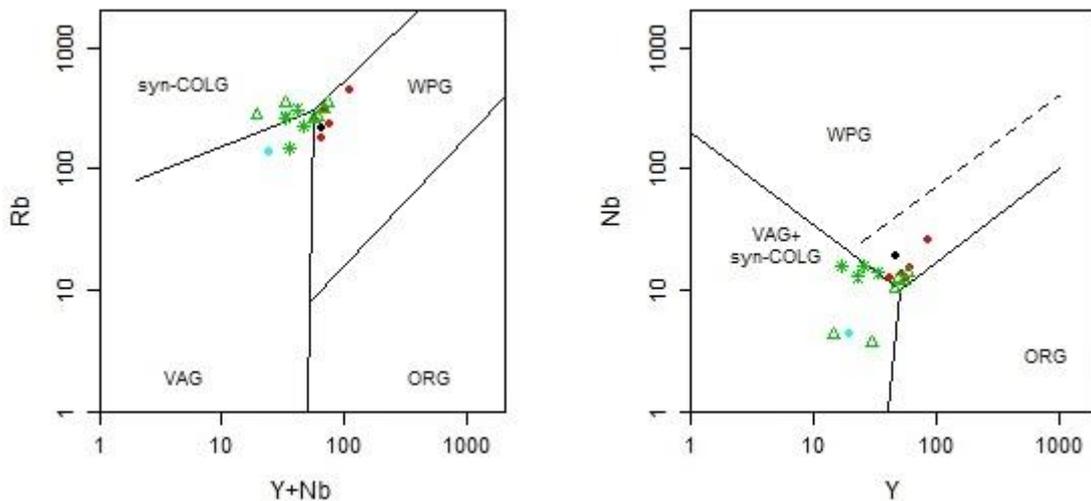


Figura 27: Diagrama de Pearce et al. (1977). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.

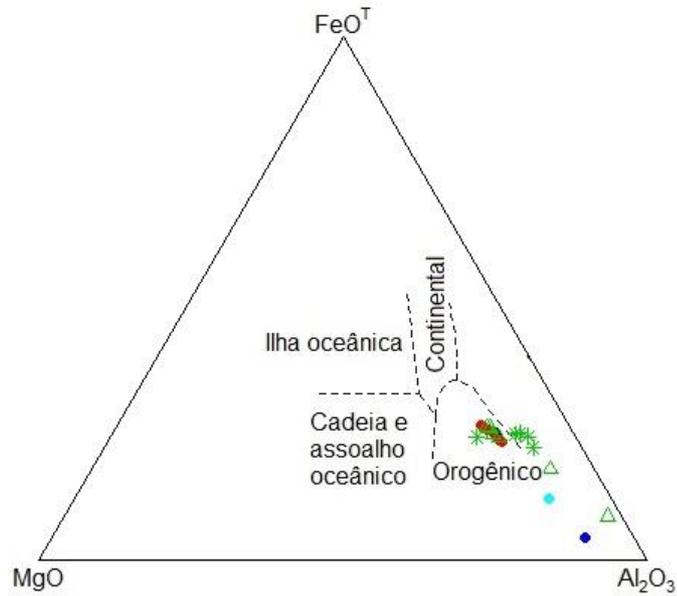
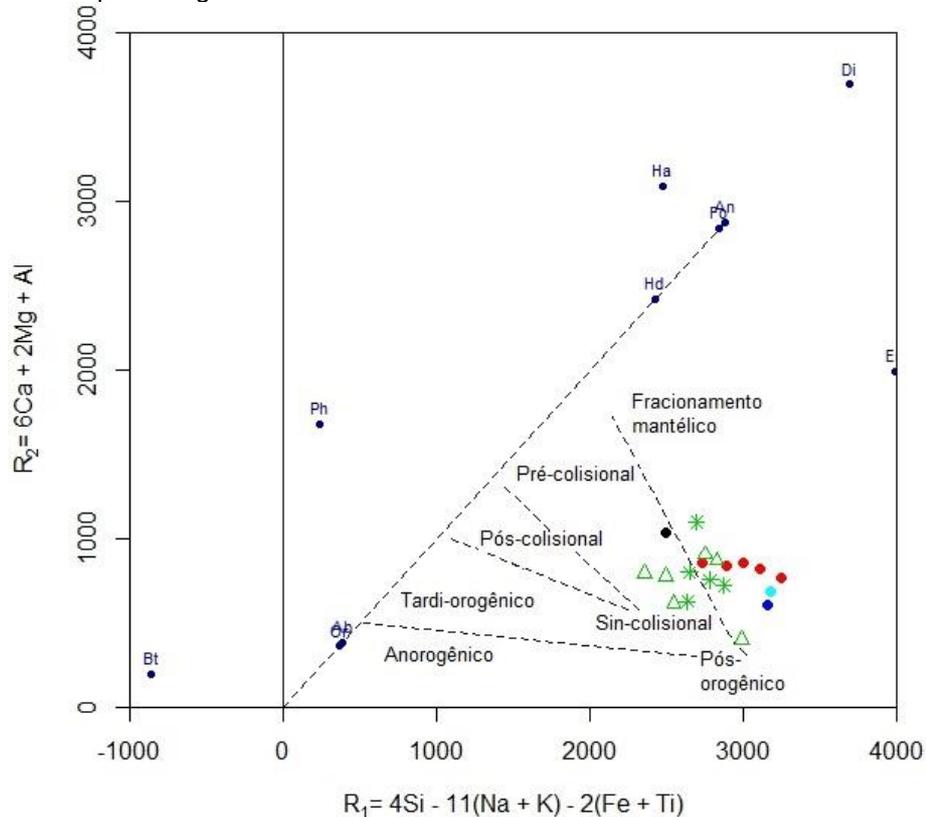


Figura 28: Diagrama R1-R2 de Batchelor e Bowden (1985). Legenda: gnaiss tonalítico (círculo vermelho), gnaiss diorítico (círculo preto), gnaiss granítico (círculo azul claro), injeção granítica (círculo azul escuro) e, Philipp e Campos (2004) representado por asterisco verde e Gomes (2016) representado por triângulo verde.



4.6. Geologia isotópica Rb–Sr e Sm-Nd

Sete amostras dos Gnaisses Chácara das Pedras foram analisados para Rb-Sr (Tabela 10) e Sm-Nd (Tabela 11). O gnaiss tonalítico (GT) é representado pelas amostras LC-01A, LC-01B, LC-02A, LC-02B e LC-05, o gnaiss diorítico (GD) pela amostra LC-01D, a amostra de gnaiss granítico analisada foi a LC-04B e para as injeções graníticas (IG) a amostra analisada foi a LC-01F.

Os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ no tempo da idade de cristalização da rocha (777 Ma) varia de 0,701691 a 0,727452. Os valores mais baixos estão relacionados aos gnaisses dioríticos e tonalíticos, enquanto os valores que apresentam maiores valores de Sr radiogênicos referem-se aos gnaisses graníticos e injeções graníticas. A razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (777 Ma) para os gnaisses tonalíticos variam de 0,701691 a 0,711504, para o gnaiss diorítico é de 0,715173, para o gnaiss granítico é 0,722964 e para as injeções graníticas é 0,727452.

Os valores de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ no tempo da idade de cristalização da rocha (777 Ma) varia de 0,510967 a 0,511337. A razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (777 Ma) para os gnaisses tonalíticos variam de 0,510967 a 0,511316, para o gnaiss diorítico 0,511337, para o gnaiss granítico 0,511297 e para as injeções graníticas 0,511207. Os valores de ϵNd (777 Ma) no gnaiss tonalítico variam de -6,2 a -13,1, enquanto que para o gnaiss diorítico é -6,6, para o gnaiss granítico é -5,8 e para as injeções graníticas é -8,4, enquanto que a idade modelo Sm-Nd, T_{DM} , varia de 1,6 a 2,2 Ga, sendo 1,6 e 1,7 para os gnaiss granítico e a injeção granítica, 1,6 para o gnaiss diorítico e variando de 1,6 a 2,2 para os gnaisses tonalíticos.

Tabela 10: Resultados das análises isotópicas Rb-Sr.

	Amostra	Sr (ppm)	Rb (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	SE (%)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$	SE (%)	Idade (Ma)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$
Gnaiss Tonalítico	LC-01 A	133,3	180,8	3,831	0,38	0,75401	0,0007	777	0,711504
	LC-01 B	162,5	234,8	4,0812	0,41	0,75398	0,0014	777	0,708704
	LC-02 A	172,2	249,5	4,0925	0,41	0,7471	0,0011	777	0,701691
	LC-02 B	180,9	300,5	4,692	0,47	0,75496	0,0009	777	0,702906
	LC-05	n.a.							
GG	LC-04 B	209,5	136,4	1,839	0,18	0,74337	0,0008	777	0,722964
GD	LC-01 D	294,8	213,2	2,0427	0,2	0,73784	0,0007	777	0,715173
IG	LC-01 F	189,4	143,5	2,14	0,21	0,7512	0,0008	777	0,727452

Tabela 11: Resultados das análises isotópicas Sm-Nd

	Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	erro (SE %)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t=0)}$	erro (SE %)	e Nd ₍₀₎	e Nd _(t)	T _{DM} (Ma)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$	Idade (Ma)
Gnaiss Tonalítico	LC-01 A	5,1	29,2	0,105287	0,0959	0,511503	0,0018	-22,1	-13,1	2156	0,510967	777
	LC-01 B	n.a.										
	LC-02 A	3,6	20,8	0,104846	0,0963	0,51185	0,0013	-15,4	-6,2	1660	0,511316	777
	LC-02 B	n.a.										
	LC-05	7,8	40,2	0,116842	0,0864	0,511813	0,0007	-16,1	-8,2	1924	0,511218	777
GG	LC-04 B	2,7	16	0,100189	0,1008	0,511847	0,0008	-15,4	-5,8	1596	0,511337	777
GD	LC-01 D	5,8	35,6	0,099111	0,1019	0,511802	0,0014	-16,3	-6,6	1641	0,511297	777
IG	LC-01 F	2,6	15,8	0,101155	0,0998	0,511722	0,0014	-17,9	-8,4	1779	0,511207	777

5. DISCUSSÕES

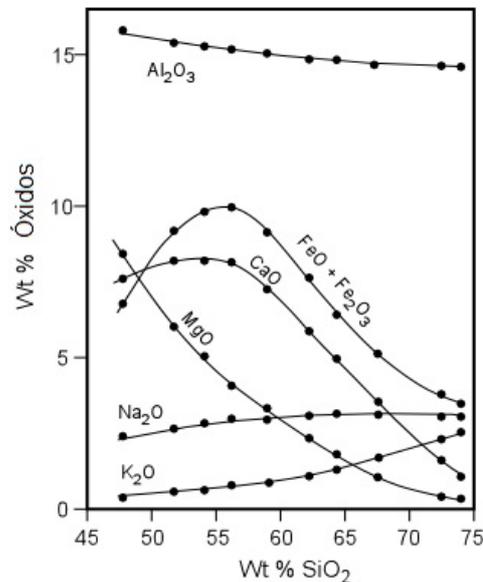
Os gnaisses Chácara das Pedras são representados por ortognaisses de composição predominante tonalítica, tendo subordinadamente composições dioríticas, graníticas e trondhjemíticas. Essas rochas não apresentam evidências de serem temporalmente diferentes. Os ortognaisses são de fácies anfíbolito médio e apresentam bandamento (Sb) e foliação (Sm) concordante, de direção E-W. Os gnaisses tonalíticos e o granítico estão intercalados em campo e gnaissite diorítico ocorre em lentes no gnaissite tonalítico.

Em campo, os gnaisses apresentam mesma história deformacional, isso é interpretado com base nas medidas de foliação e bandamento que são concordantes, direção leste-oeste, e das relações de campo. Durante a fase de deformação (D1) foi gerado o bandamento, concomitante a isso, houve a intrusão de injeções trondhjemíticas que foram também deformadas por esse evento com a formação de *pinch and swell* e *boudins*. O evento D2 resultou em dobras de escala decimétrica à métrica que dobram o bandamento dos gnaisses e as injeções trondhjemíticas. D2 também gerou clivagem de crenulação (S2?) nos gnaisses. Quando essa etapa deformacional cessou, houve uma intrusão, mais diferenciada, responsável pelas injeções graníticas que não foram deformadas e cortam as litologias mais antigas. Essas feições são comparáveis com os eventos deformacionais polifásicos descritos por Philipp e Campos (2004). Os autores afirmam que o primeiro evento (D1) desenvolveu o bandamento metamórfico e dobras, após houve a transposição (D2) do bandamento gerando dobras isoclinais e por fim dobras abertas e apertadas (D3).

As condições de metamorfismo, descritas na petrografia, atingem no máximo fácies anfíbolito superior, interpretada com base na paragênese e texturas dos gnaisses, são descritas como pouco deformadas com zonas de concentração da deformação. Os gnaisses apresentam pouca variação mineralógica, indicando mesmas condições de cristalização do magma e posteriormente mesmas condições de metamorfismo.

Geoquimicamente, os Gnaisses Chácara das Pedras representam rochas cálcico-alcálica alto-K, metaluminosas a fracamente peraluminosas. São caracterizadas como granitos do tipo cordilheiranos ou magnesianos (FROST et al. 2001) Considerando os dados analíticos apresentados por Philipp e Campos (2004) e Gomes (2016), os gnaisses analisados apresentam padrões idênticos aos analisados no presente estudo. Nos diagramas Harker, os gnaisses identificados como tonalíticos apresentam comportamento semelhante, quando comparados com os gnaisses mais e menos diferenciados, as rochas seguem um *trend* negativo, indicando diferenciação da câmara magmática (Figura 29), isto é, as rochas foram geradas numa mesma câmara magmática, as vezes com mais elementos incompatíveis ora com menos elementos incompatíveis, *trends* esses compatíveis com o fracionamento de plagioclásio, biotita, hornblenda, magnetita, apatita, zircão e alanita.

Figura 29: Diagrama demonstrando o comportamento dos principais óxidos em uma magma em diferenciação.



Fonte: WILLIAMS, TURNER e GILBERT (1982)

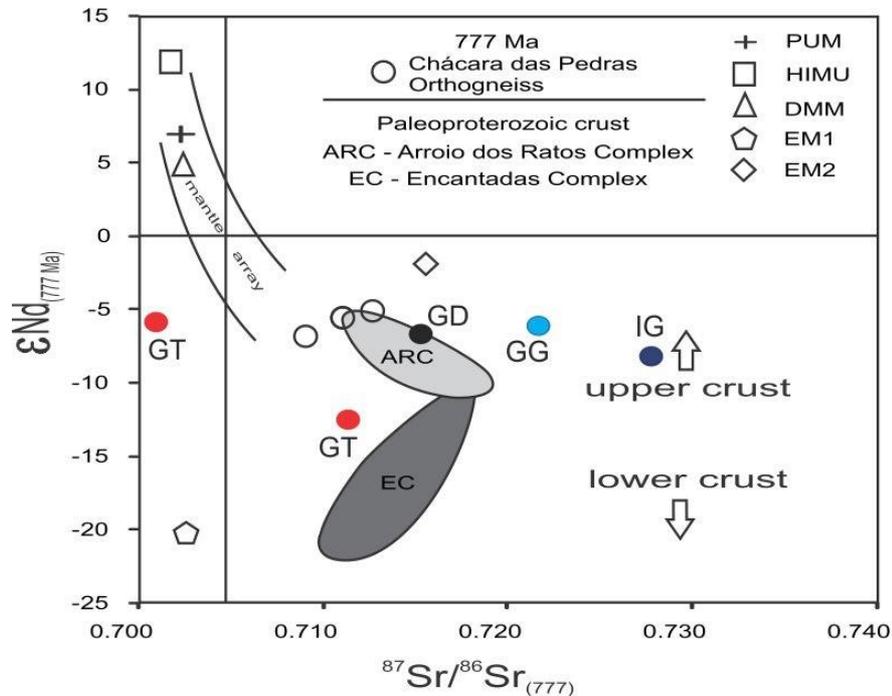
Com base na integração dos dados obtidos nos diagramas *spider* multielementar normalizados por condritos segundo Sun et al. (1980) e por manto primitivo de acordo com Sun e McDonough (1989) e dos gráficos Harker de elementos traços, é possível interpretar que os gnaisses podem ter contribuição

crustal, pois possuem os LILE enriquecidos em relação aos HFSE. A origem dos magmas que gerou os gnaisses pode ser relacionada a uma zona de subducção, visto que possuem anomalias negativas em Ta e Nb, e possivelmente são relacionados a um arco magmático.

No diagrama Sr-Nd calculado a 777 Ma, apresentado na Figura 30, pode-se observar o comportamento dos gnaisses Chácara das Pedras em relação a amostras dos gnaisses Chácara das Pedras apresentadas por Koester et al. (2016) e em relação a alguns reservatórios mantélicos (PUM, HIMU, DMM, EM1, EM2). Ainda, dois campos de rochas paleoproterozoicas potencialmente fontes na geração do Gnaisse Chácara das Pedras são apresentadas, o Complexo Arroio do Ratos de Gregory et al. (2011) e o Complexo Encantadas de May (1990) e Chemale (2000).

As amostras do Gnaisse Chácara das Pedras mostram uma ampla variação nas razões de Sr/Sr (0,701 a 0,727), porém pouca variação no Nd radiogênico (- 5 a -14). Quando comparadas com as amostras dos gnaisses apresentadas por Koester et al. (2016) os valores isotópicos de Sr e Nd são compatíveis, similares aos dos gnaisses dioríticos e tonalíticos do presente estudo. As amostras dos gnaisses Chácara das Pedras dispõem-se no campo das rochas crustais, ou com participação de crosta em sua evolução. Em conjunto com os dados geoquímicos esse diagrama sugere que os gnaisses Chácara das Pedras tem o envolvimento do manto em sua história, com presença de magmas de composição diorítica, que forma evoluindo por cristalização fracionada de minerais (e.g placioclasio, biotita, feldspato alcalino e hornblenda), porém, tem em sua evolução a presença de rochas crustais em sua gênese, como demonstrado na Figura 30.

Figura 30: Diagrama isotópico Nd e Sr para os ortognaisses Chácara das Pedras e membros finais do manto (calculado para 777 Ma). PUM (manto primitivo), HIMU (manto com elevada razão U/Pb), DMM (manto depletado), EM1 (manto enriquecido 1), EM2 (manto enriquecido 2), GT (gnaisse tonalítico – círculo vermelho), GG (gnaisse granítico – círculo azul claro), GD (gnaisse diorítico – círculo preto) e IG (injeções graníticas – círculo azul escuro). Dados Complexo Arroio dos Ratos (ARC) retirados de Gregory et al. (2011) e Complexo Encantadas (EC) de May (1990) e Chemale Jr. (2000).

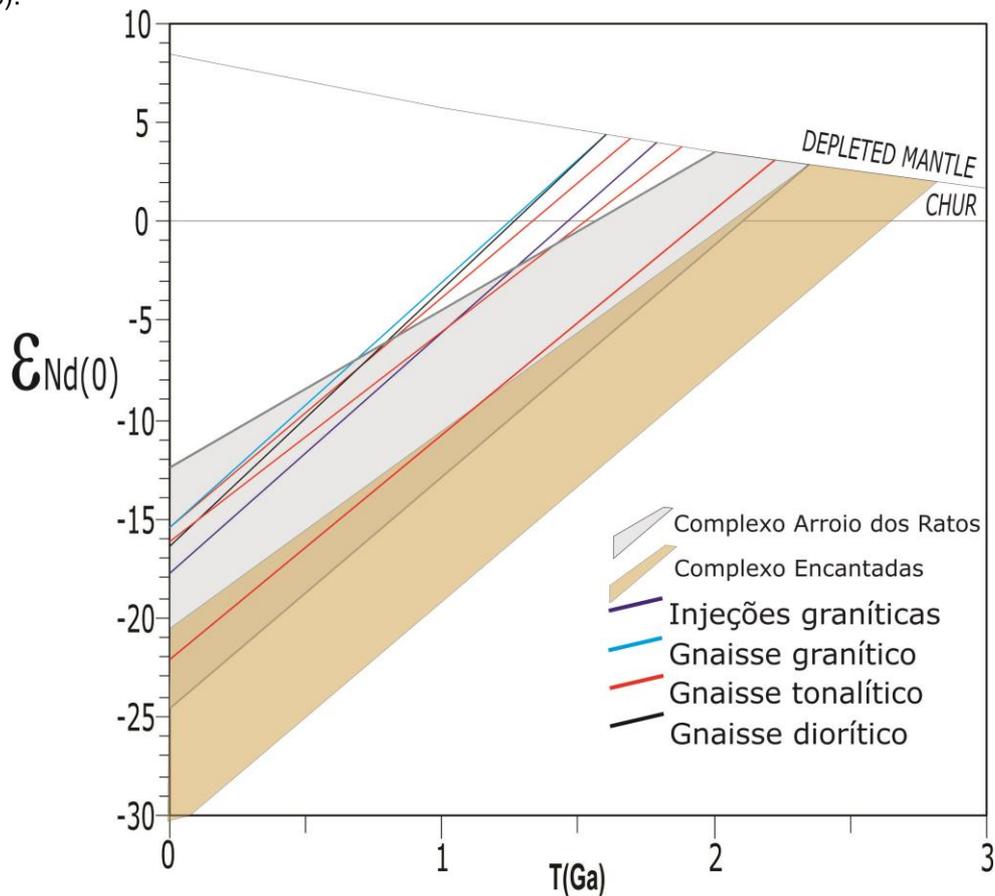


No que diz respeito a participação mantélica, a um manto primitivo parcialmente modificado (manto enriquecido 1) poderia ser aventado como na geração dos gnaisses, demonstrado pela amostra LC-02B, com a mais baixa razão Sr/Sr (0,701691) e valores de ϵNd negativo (- 6,2). O envolvimento de uma crosta paleoproterozoica da região, o Complexo Encantadas ou o Complexo Arroio dos Ratos, poderiam representar a crosta envolvida na evolução do magma diorítico contaminado com uma crosta, e a geração dos magmas tonalíticos, que por sua vez evoluíram por cristalização para os magmas graníticos.

No diagrama tempo contra ϵNd (Figura 31) foram plotadas as amostras dos Gnaisses Chácara das Pedras, e comparadas com os campos das amostras do Complexo Arroio dos Ratos de Gregory et al. (2011) e do Complexo Encantadas de May (1990) e Chemale (2000). Ambos complexos poderiam representar a fonte crustal na geração dos gnaisses, porém, em conjunto com o posicionamento das

amostras na figura 30, a sugestão de que o Complexo Arroio dos Ratos parece ser o cenário mais adequado para a geração do Gnaiss Chácara das Pedras.

Figura 31: Diagrama tempo contra ϵ_{Nd} comparadas com os campos das amostras do Complexo Arroio dos Ratos de Gregory et al. (2011) e do Complexo Encantadas de May (1990) e Chemale (2000).



Os Gnaisses Chácara das Pedras foram datados pelo método U-Pb SHRIMP em zircões (KOESTER et al. 2016), com uma idade magmática de 777 ± 4 Ma. Segundo esses autores, os grãos de zircão discordantes definiram idades mais antigas interpretada como núcleo herdado do Paleoproterozoico. O zoneamento da borda indica uma superimposição de evento metamórfico com idade mais jovem (650 Ma). Essas idades quando relacionadas ao contexto geológico regional de idade Toniana reforçam a interpretação do ambiente como um arco magmático (KOESTER et al. 2016).

A ocorrência de ortognaisses no Domínio Leste não é restrita ao Rio Grande do Sul. No Uruguai, os ortognaisses Cerro Bori (LENZ et al., 2010) são gnaisses tonalíticos a granodioríticos que englobam *boudins* de gnaisses máficos – diorito gabróico e diorito. O ortogneisse do Tipo II, representado por ortognaisses de composição tonalítica, tem características químicas semelhantes com os gnaisses Chácara das Pedras, como a composição do magma, afinidade cálcico-alcálica e a assinatura geoquímica de ambiente de subducção. Dessa forma, podemos sugerir que os ortognaisses representam o mesmo arco magmático do Domínio Leste originado na colisão do Cráton Kalahari e Rio De La Plata.

6. CONCLUSÃO

Através das descrições de campo, petrografia, geoquímica e geoquímica isotópica concluiu-se que os Gnaisses Chácara das Pedras, apesar de apresentarem uma variação composicional (diorítica, tonalítica e granítica) são cogenéticos e apresentam a mesma história deformacional. O gnaiss Diorítico é o primeiro pulso magmático, menos diferenciado, e o gnaiss Granítico o último pulso. Sendo o pulso mais representativo o gnaiss tonalítico.

Os gnaisses tonalíticos e o granítico estão intercalados em campo e gnaiss Diorítico ocorre em lentes no gnaiss tonalítico. São caracterizados por um bandamento milimétrico subvertical, marcado por bandas felsicas e máficas mm. Nas bandas máficas predominam biotita, e subordinadamente anfibólio, enquanto que nas bandas felsicas predominam quartzo e plagioclásio (labradorita) e subordinadamente feldspato alcalino. Textura granoblástica e paragênese desses gnaisses indicam um metamorfismo de fácies anfibolito superior.

A interpretação dos dados geoquímicos possibilitam estabelecer que a geração desses litotipos foi em um arco magmático, indicado pelas anomalias em Nb, Ta e Ti. Através dos dados isotópicos Sm–Nd e Rb–Sr determinou-se que a geração do magma possui assinaturas do manto com envolvimento de crosta. Uma possível fonte de fusão responsável pela gênese dos Gnaisses Chácara das Pedras é o Complexo Arroio dos Ratos.

Integrando os dados de ortognaisses do Cinturão Dom Feliciano no Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, propõem-se que os mesmos representem fragmentos/septos de um mesmo arco magmático de idade Toniana.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M de et al. Províncias estruturais brasileiras. **Simpósio de Geologia do Nordeste**, v. 8, n. 1977, p. 363-391, 1977.

_____, F. F. M. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.

BABINSKI, M. et al. Juvenile accretion at 750–700 Ma in southern Brazil. **Geology**, v. 24, n. 5, p. 439-442, 1996.

_____, M. et al. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the neoproterozoic granitic-gneissic Dom Feliciano Belt, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10, n. 3, p. 263-274, 1997.

BASEI, M. A. S. O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. **São Paulo**, 1985.

_____, M. A. S. et al. A connection between the Neoproterozoic Dom Feliciano (Brazil/Uruguay) and Gariep (Namibia/South Africa) orogenic belts—evidence from a reconnaissance provenance study. **Precambrian Research**, v. 139, n. 3, p. 195-221, 2005.

BATCHELOR, Richard A.; BOWDEN, Peter. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. **Chemical geology**, v. 48, n. 1-4, p. 43-55, 1985.

BITENCOURT, M. D. F. A. S., et al. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Pesquisas em Geociências**. Vol. 35, n. 1 (2008), p. 109-136, 2008.

BIZZI, L. A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**. CPRM, 2003.

BOSSI, J.; GAUCHER, C.. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. **Gondwana Research**, v. 7, n. 3, p. 661-674, 2004.

COSTA, A. F. U. Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-Cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense. **Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-Rio-Grandense**, v. 2, 1997.

CHEMALE JR, F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 13-52, 2000.

CRUZ FILHO, B. E. et al. Geocronologia e assinatura isotópica (rb-sr e sm-nd) do batólito trondjemítico nordestina, Núcleo Serrinha, nordeste do estado da Bahia. 2005.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M., Option pricing: A simplified approach. **Journal of financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229-263, 1979.

DA SILVA, L. C. et al. SHRIMP U/Pb zircon dating of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. **International Geology Review**, v. 41, n. 6, p. 531-551, 1999.

_____, L. C. et al. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. **Precambrian Research**, v. 136, n. 3, p. 203-240, 2005.

DICKIN, A. P., **Radiogenic isotope geology**. Cambridge University Press, 2005.

DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília, Brasil.2008, escala 1:750.000. 1 CD-Room.

FERNANDES, L. A.. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

_____, L. A. D. et al. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I -Uma Contribuição a partir do Registro Geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 351-374, 1995.

_____, L. A. D. et al. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II-uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 375-384, 1995.

FRAGOSO CESAR, A.R.S. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-SulRio-Grandense. In XXI Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. Camboriú. Vol 5, pag 2879-2892. 1980

FROST, B.R.; BARNES, C.G.; COLLINS, W.J; ARCULUS, R.J.; ELLIS, D.J.; FROST, C.D. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology* Vol: 42, pag 2033-2048. 2001

GOMES, V. F. Petrografia e Geoquímica dos Gnaisses Chácara das Pedras, nordeste do Cinturão Dom Feliciano. 2016.71f. Trabalho de Conclusão de Curso -Centro de engenharias, Curso de Graduação em Engenharia Geológica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

GREGORY, T. R.; BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria. **RS. Pesquisa. em Geociências**, v. 38, n. 1, 2011.

HARTMANN, L. A. et al. Deepest exposed crust of Brazil-SHRIMP establishes three events. **Geology**, v. 27, n. 10, p. 947-950, 1999.

_____, L. A. et al. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 47, n. 5, p. 829-844, 2000.

_____, L. A. et al. Metamorphic evolution and U-Pb zircon SHRIMP geochronology of the Belizário ultramafic amphibolite, Encantadas Complex, southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 75, n. 3, p. 393-403, 2003.

_____, L. A.; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. **Ianuzzi R. & Frantz JC.(Org.)**, v. 50, p. 97-123, 2007.

HEILBRON, M. et al. Província Mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

HENRY, D. J.; GUIDOTTI, C. V.; THOMSON, J. A. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. **American Mineralogist**, v. 90, n. 2-3, p. 316-328, 2005.

KOESTER, E. et al.. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, **Southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences**. 14, 91-99, 2001.

_____ Further evidence of 777 Ma subduction-related continental arc magmatism in Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: the Chácara das Pedras Orthogneiss. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 68, p. 155-166, 2016.

KOPPE, J. et al. Aspectos geológicos e estratigráficos do Complexo Bossoroca, São Sepé, Rio Grande do Sul. **SIMP. SUL-BRAS. GEOL**, v. 2, p. 32-36, 1985.

LAUX, Jorge Henrique et al. U-Pb data from Ibaré Formation: a volcano-sedimentary sequence of São Gabriel Arc, Rio Grande do Sul–Brazil. In: **Proceedings of the South American Symposium on Isotope Geology 7th, Brasilia, Brazil**. 2010. p. 74-77.

LENZ, C. Evolução do magmatismo neoproterozóico registrado nos ortogneisses Cerro Boi, Cinturão Dom Feliciano no Uruguai. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de PósGraduação em Geociências. Porto Alegre. 2010.

_____, C. et al. Pb SHRIMP ages for the Cerro Bori Orthogneisses. **Dom Feliciano Belt in Uruguay: Evidences of a**, 2011.

_____, C. et al. Geochemistry of the Neoproterozoic (800–767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: tectonic evolution of an ancient continental arc. **Mineralogy and Petrology**, v. 107, n. 5, p. 785-806, 2013.

MASQUELIN, H. et al. SHRIMP U-Pb zircon ages of the Cerro Olivo Complex: Neoproterozoic magmatism and Mesoproterozoic inheritance in Eastern Uruguay . **Internacional Geology Review**. 2010

MAY, S. E. **Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil**. 1990. Tese de Doutorado. Open University.

MENEGAT, R. et al. Porto Alegre antes do homem: evolução geológica. R. Menegat; ML Porto; CC Carraro; Fernandes, LAD (eds.) **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 11-24, 1998.

OLIVEIRA, L.D.; KOESTER, E.; SOLIANI JR., E. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. **Geochimica Brasiliensis**, Vol.15 (1/2): 065-092, 2001

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. BW; TINDLE, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of petrology**, v. 25, n. 4, p. 956-983, 1984.

PECCERILLO, A.; TAYLOR, S. R_. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. **Contributions to mineralogy and petrology**, v. 58, n. 1, p. 63-81, 1976.

PHILIPP, R. P. . **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

_____, R. P.; MACHADO, R.. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 29, n. 1, p. 43-60,** 2002.

_____, R. P.; MACHADO, R.; CHEMALE JR, F.. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. **Geologia USP. Série Científica,** v. 3, p. 71-84, 2003.

_____, R. P.; CAMPOS, R. S. De, Geologia, petrografia e litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: implicações geotectônicas. **Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 31, n. 2 (2004), p. 79-94,** 2004.

PORCHER, C.C. & FERNANDES, L.A.D. Relações embasamento/cobertura na porção ocidental do Cinturão Dom Feliciano: um esboçoestrutural. **Pesquisas,** 17:72-84,1990

REED, S. J.B., **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology.** Cambridge University Press, 2005.

ROLLINSON, H. R., **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.** Routledge, 2014.

SCHNEIDER, A. W. et al. Mapa geológico da Folha Porto Alegre, RS, escala 1: 50.000. **Porto Alegre, CNPq, mapa,** 1974.

Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), 2008. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

SHAND, S. J., **Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits with a chapter on meteorites.** 1943.

SUN, S.-S.; MCDONOUGH, WF-s. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. **Geological Society, London, Special Publications,** v. 42, n. 1, p. 313-345, 1989.

SUN, S.-S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 297, n. 1431, p. 409-445, 1980.

WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M. **Petrography: An introduction to the study of rocks in thin section**. WH Freeman and Company, 1982.

ZARPELON, P. R. Geologia Estrutural, Estratigrafia e Petrologia de uma parte do Greenstone Belt Cerrito do Ouro, Município de São Sepé/RS. 1986.