



"CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E TIPOLOGIA DE
ZIRCÕES DAS ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO
JAGUARÃO, JAGUARÃO, RS BRASIL"

Porto Alegre, Novembro de 2014.

VICENTE MEDEIROS LEIVAS ARAUJO

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Orientadora: Juliana Charão Marques

Porto Alegre, Novembro de 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Araujo , Vicente Medeiros Leivas

Caracterização petrográfica e tipologia de zircões das rochas vulcânicas da Formação Jaguarão, Jaguarão, RS, Brasil . / Vicente Medeiros Leivas Araujo . - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. [69 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es):Juliana Charão Marques

1. Formação Jaguarão 2. Vulcanismo 3. Zircão 4. Petrografia I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

Comissão de Avaliação

Responsável

Professor Dr. Antonio Pedro Viero- 7,5

Revisores

Professora Dra. Carla C. Porcher-7,5

Sérgio L. Junges- 7,5

Conceito final: B

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a UFRGS pela ensino de qualidade e pelo suporte dado ao longo da Graduação. Agradeço a minha Orientadora Professora Dr^a Juliana Marques pelo recebimento no seu grupo de pesquisa e pelos ensinamentos ao longo desta etapa. Agradeço também a todos os Professores pelo conhecimento transmitido. Agradeço ao CAEG pelos ensinamentos de vida e coletividade. Agradeço aos amigos de rocha conquistados ao longo do curso pela companheirismo e discussões geológicas. Gratidão eterna a minha família principalmente minha mãe Raquel e minha Tia Zélia por todo carinho e apoio. Agradeço a Simone Flores pelo companheirismo nesta etapa do trabalho.

RESUMO

O presente estudo tem como interesse a Formação Jaguarão localizada na região de cidade homônima. Esta unidade litoestratigráfica mesozóica é caracterizada por rochas vulcânicas intermediárias com a presença de cordierita como constituinte mineral vulcânico e xenólitos de rochas do embasamento cristalino. Trabalhos prévios interpretaram que o magma que deu origem as rochas da Formação Jaguarão foi gerado por fusão de crosta continental posicionada em níveis crustais inferiores durante as fases iniciais de rompimento do Gondwana. Os objetivos específicos foram a classificação dos cristais de zircão através de análises petrográficas e MEV e caracterização das facies vulcânicas com base na petrografia e aspectos de campo. Os zircões foram interpretados de acordo com a suas morfologias e foram separados em dois grupos, sendo um grupo de zircões herdados e um grupo de zircões possivelmente cristalizados durante o episódio vulcânico que gerou a Formação Jaguarão. A associação de *facies* vulcânicas descritas, baseada em elementos estruturais e geomorfológicos observados em campo e análises petrográficas, indicaram que o modelo de extrusão poderia ser de lava dômica.

Palavras-chave: Formação Jaguarão. Vulcanismo. Zircão. Petrografia. Xenólitos.

ABSTRACT

The study focus is the Jaguarão Formation, localized in the region of a namesake city. This mesozoic litoestratigraphic unit is characterized by intermediary volcanic rocks with cordierite as volcanic mineral constituent and xenoliths of the cristaline basement. Previous works interpreted that the magma that originated the Jaguarão Formation rocks was generated by continental crustal fusion localized in lower levels during the initial phases of Gondwana disruption. The specific objectives were the classification of the zircon crystals by petrographic analysis and Scanning Electron Microscope and the characterization of the volcanic facies based on petrography and field data. The zircons of the Jaguarão Formation were interpreted based on its morphology and were separated in two groups: one group of inherited zircons and other group by zircons possibly crystallized during the volcanic episode that generated the Jaguarao Formation. The volcanic facies association described, based on architectural elements observed in field and petrographic analysis, indicated that the extrusion model is possibly similar to domoic lavas.

Key-words: Jaguarão Formation. Volcanism. Zircon. Petrography. Xenoliths.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- DADOS GEOCRONOLÓGICOS DISPONÍVEIS PARA AS ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO JAGUARÃO.	13
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DA FORMAÇÃO JAGUARÃO E DOS XENÓLITOS	27

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	17
FIGURA 2- ÁREAS DE EMBASAMENTO	19
FIGURA 3 - MAPA GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA MANTIQUEIRA MERIDIONAL, SIMPLIFICADO.....	21
FIGURA 4 - SUBDIVISÕES DO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE.	23
FIGURA 5 - MAPA ESQUEMÁTICO DO BATÓLITO PELOTAS.....	24
FIGURA 6 - MAPA DE DETALHE DA REGIÃO DE JAGUARÃO.	26
FIGURA 7 - FOTOGRAFIA DO MEV	33
FIGURA 8 – MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA E SEUS COMPENENTES.....	34
FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE INTERAÇÕES DOS ELÉTRONS PRIMÁRIOS COM A SUPERFÍCIE DA AMOSTRA.	36
FIGURA 10- LA-MC-ICP-MS DO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA DA UFRGS.	38
FIGURA 11 – MAPA GEOLÓGICO CPRM,2006, COM OS PONTOS DESCRITOS EM CAMPO.	41
FIGURA 12- CARACTERÍSTICAS DAS ENCAIXANTES DA FORMAÇÃO JAGUARÃO.	42
FIGURA 13- DIVERSOS ASPECTOS DE CAMPO DA FORMAÇÃO JAGUARÃO.....	44
FIGURA 14 ASPECTOS DAS FACIES DA FORMAÇÃO JAGUARÃO.....	46
FIGURA 15 - FOTOMICROGRAFIA DAS PRINCIPAIS TEXTURAS DAS ROCHAS DA FORMAÇÃO JAGUARÃO.	48
FIGURA 16- XENÓLITO (FOTOMICROGRAFAI).....	50
FIGURA 17- ESPÉCIES DE XENOCRISTAIS ENCONTRADAS NA FORMAÇÃO JAGUARÃO.	51
FIGURA 18- FOTOGRAFIA DA MOUNT JG18BII EM LUPA BINOCULAR.	52
Figura 19 - FOTOGRAFIA DE LUPA DOS MOUNTS.....	52
FIGURA 20- IMAGEM DE ELETRONS RETROESPALHADOS	54
FIGURA 21- IMAGEM DE ELETRONS RETROESPALHADOS.....	55
FIGURA 22- IMAGEM DE ELETRONS RETROESPALHADOS.....	56

FIGURA 23- FOTOMOSAICO DE IMAGEAMENTO POR CATOLUMINESCÊNCIA..	58
FIGURA 24- FOTOMOSAICO DE IMAGEAMENTO POR CATODOLUMINESCÊNCIA.	59
FIGURA 25 - MODELO ESQUEMÁTICO DE RIFTE	61
FIGURA 26 - SEÇÃO GEOFÍSICA NA LAGOA MIR	62
FIGURA 27- SEÇÃO MODELO PARA DOMO DE LAVA..	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO 13	
1.1.1 Problema.....	13
1.1.2 Premissas	14
1.1.3 Hipóteses.....	15
1.1.4 Técnicas de solução	15
2 OBJETIVOS	16
3 LOCALIZAÇÃO	17
4 GEOLOGIA	18
4.1 Contexto Geológico do ESRG: O Cráton Rio de La Plata e a Província Mantiqueira	18
4.1.1 Cráton Rio de La Plata.....	18
4.1.2 Província Mantiqueira e sua porção Meridional	20
4.1.3 Formação Jaguarão: Uma unidade litoestratigráfica vulcânica mesozóica.....	25
5 METODOLOGIA	28
5.1 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA	29
5.2 CONSTRUÇÃO DE UM SIG.....	29
5.3 TRABALHO DE CAMPO E AMOSTRAGEM	30
5.4 PETROGRAFIA	30
5.5 SEPARAÇÃO MINERAL, CONCENTRAÇÃO DE ZIRCÕES E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	31
5.6 IMAGEAMENTO E ANÁLISES EM MEV	33
5.7 GEOCRONOLOGIA U/Pb EM ZIRCÃO POR LA-MCICP-MS.....	37
6 RESULTADOS	39
6.1 SIG.....	40
6.2 TRABALHO DE CAMPO.....	42
6.3 PETROGRAFIA DA FORMAÇÃO JAGUARÃO	46
6.3.1 Paragênese vulcânica.....	47
6.3.2 Xenólitos.....	49

6.4 PETROGRAFIA, IMAGEAMENTO E ANÁLISES DOS ZIRCÕES COM MEV	52
7 DISCUSSÕES	60
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

O presente estudo irá proceder de acordo com a metodologia científica, que basicamente é caracterização de um problema pré-existente ou não e a utilização de técnicas adequadas para investigação a respeito do mesmo. A seguir apresenta-se o detalhamento do método científico que irá ser seguido neste trabalho.

1.1.1 Problema

A fm. Jaguarão apresenta dados geocronológicos disponíveis na bibliografia que foram fundamentais para o conhecimento e interpretação sobre a gênese destas rochas, porém conforme podemos ver na **so** o ponto de vista da geocronologia. Estes xenocristais foram amostradas pelas lavas na sua formação ou no seu trajeto para a superfície e estudá-los poderá contribuir para o entendimento da formação destas lavas e evolução crustal regional.

Tabela 1 estes dados compreendem um intervalo de tempo muito amplo (31 Ma.) quando comparados com as possíveis idades médias obtidas para as rochas desta formação e as técnicas analíticas geocronológicas disponíveis atualmente. Além disto, estas rochas contêm xenólitos e xenocristais que nunca foram caracterizados sob o ponto de vista da geocronologia. Estes xenocristais foram amostradas pelas lavas na sua formação ou no seu trajeto para a superfície e estudá-los poderá contribuir para o entendimento da formação destas lavas e evolução crustal regional.

Tabela 1- Dados geocronológicos disponíveis para as rochas vulcânicas da Formação Jaguarão.as vulcânicas da Formação Jaguarão.

Idade	Método	Unidade	Autor (es)
144 ± 10 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi & Urquhart (1973)

143 ± 10 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Bossi & Urquhart (1973)
157 ± 4 M.a.	K-Ar (rocha total)	Fm. Jaguarão	Teixeira, W. (1982)
139.6 ± 7	Rb-Sr	Fm. Jaguarão	Comin-Chiaramonti (2000)

1.1.2 Premissas

Trabalhos anteriores realizados nas rochas da Formação Jaguarão concluíram que esta formação está em discordância do tipo não conformidade com o Escudo Sul-Riograndense (ESRG) e é composta por rochas mesozóicas vulcânicas tipo S de caráter extrusivo de composição que varia de dacito a riodacito subordinadamente com a presença de xenólitos e xenocristais das rochas fontes e/ou das rochas encaixantes por onde este magma foi conduzido até extrudir em superfície (Vieira Jr. 1985; Comin-Chiaramonti et al. 2010). A gênese deste magma que ascendeu até a superfície está relacionada com fusão parcial de crosta continental (siálica de composição intermediária ou sequências meta-sedimentares aluminosas) e não é co-genética ao grupo Serra Geral (Vieira Jr. e Roisenberg 1987). De acordo com Comin-Chiaramonti et al. 2010 a Formação Jaguarão difere de todas as rochas félsicas da região em termos petrográficos, geoquímicos; as assinaturas de Sr-Nd também são distintas das outras rochas félsicas da região sendo mais semelhantes as rochas do ESRG (Cinturão Dom Feliciano).

As rochas da Formação Jaguarão foram interpretadas como derrames de lava sem estruturas de base e topo, isto pode ser explicado pelo baixo teor de H₂O e teor de voláteis que impossibilitou a formação de vesículas e amígdalas. Estas rochas foram geradas durante o processo de reativação de zonas de falha Neoproterozóicas (Zona de cisalhamento Ayrossa Galvão, Zona de cisalhamento durante as fases iniciais de rompimento do Gondwana que geraram fusão em rochas de natureza crustal posicionadas em níveis crustais

inferiores devido ao surgimento de anomalias geotérmicas na região (Comim-Chiaramonti *et al.* 2010). Os eventos tectônicos responsáveis pela gênese destas rochas estão relacionados à fragmentação do Gondwana previamente a abertura do Atlântico Sul.

Outra premissa deste trabalho é que ao cristalizar o zircão armazena certa quantidade de ^{235}U e ^{237}U na sua estrutura cristalina e que ao longo do tempo o Urânio decai por radioatividade para ^{207}Pb e ^{206}Pb respectivamente. Sabendo o valor da meia vida dos elementos em questão e as razões isotópicas adquiridas através de análises é possível fazer uma curva concórdia e obter-se dados geocronológicos a respeito da cristalização nos cristais de zircão.

1.1.3 Hipóteses

O presente trabalho testa duas hipóteses. A primeira é que as rochas correspondentes à Formação Jaguarão contenham zircões gerados durante a cristalização das lavas e que os mesmos sejam datáveis via “*LA-MC-ICP-MS*” e devam possuir idades entre 161 Ma. à 132 Ma. A segunda hipótese é que existam xenocristais de zircão hospedados nas lavas desta formação e que os mesmos também sejam datáveis pelo método U/Pb “*LA-MC-ICP-MS*” e apresentem idades Neoproterozóicas ou mais antigas. Ou seja, são esperada mais de uma população de zircões.

1.1.4 Técnicas de solução

Para testar as hipóteses propostas foram escolhidas as técnicas de: Geoprocessamento, trabalho de campo, petrografia, separação mineral, montagem das pastilhas com zircão e imageamento e análise por EDS em MEV, e caracterização da morfologia dos zircões da Formação Jaguarão.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto é a descrição dos zircões da Formação Jaguarão para futura construção de um acervo de dados geocronológicos U/Pb nos cristais provenientes desta unidade litoestratigráfica. Os objetivos específicos deste trabalho são o reconhecimento de associações de *fácies* vulcânicas e descrição petrográfica de rochas da Fm. Jaguarão com vistas à seleção de amostras apropriadas para estudos geocronológicos e separação e descrição dos grãos de zircão quanto a sua morfologia e estruturas internas através da petrografia com apoio de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Como objetivo futuro, está a datação dos zircões utilizando-se o método de U/Pb através de LA-MC-ICP-MS. A datação poderá contribuir na definição da idade absoluta da cristalização das lavas e, adicionalmente, fornecer dados geocronológicos das rochas crustais da região através da determinação de idades de xenocristais.

3 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo (Figura 1) está localizada no Sul do Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul, no município de Jaguarão, que fica à 390 Km da capital Porto Alegre na direção Sudoeste. O principal acesso é a rodovia BR-116. Também existem estradas vicinais em bons estados que levam à área rural do município. As cartas topográficas 1:50000 do exército que articuladas cobrem a área tem os seguintes títulos: Jaguarão, Curral das Pedras e Presidente Barbosa.



Figura 1- Localização da área de estudos, o principal acesso é a BR-116, o quadrado vermelho representa o polígono de estudos.

4 Geologia

4.1 Contexto Geológico: O Cráton Rio de La Plata e a Província Mantiqueira

O Escudo Sul-rio-grandense (ESRG) (Carvalho, 1932) é composto unidades tectono-estratigráficas Arqueanas/Paleoproterozóicas do Cráton Rio de La Plata (Almeida *et al.* 1973), e por unidades Neoproterozóicas da porção Meridional da Província Mantiqueira (Almeida *et al.* 1977, 1981).

4.1.1 Cráton Rio de La Plata

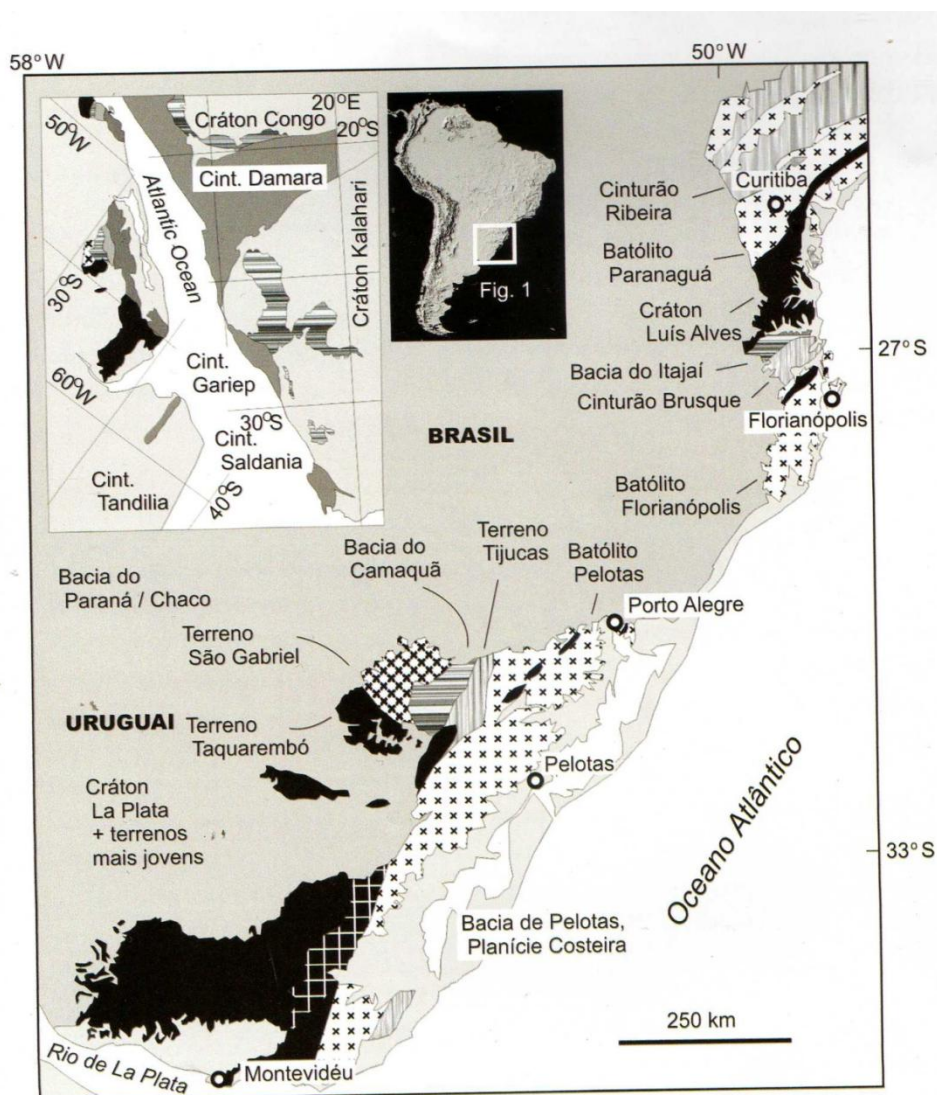
No ESRG, o Cráton Rio de La Plata, conforme figura a seguir, é representado por fragmentos remanescentes que estão expostos nas porções Sudoeste e Oeste do Rio Grande do Sul. Estes fragmentos remanescentes podem ser observados no Bloco Taquarembó (Complexo Granulítico Santa Maria Chico), no Complexo Encantadas e no Cinturão Dom Feliciano Leste onde ocorrem septos do embasamento (Hartmann *et al.*, 2007).

O Complexo Granulítico Santa Maria Chico (CGSMC) (Nardi e Hartmann, 1979) compõe o Terreno Taquarembó e está localizado ao Sul do Lineamento de Ibaré (direção NW-SE). É constituído predominantemente por granulitos félsicos e máficos, piroxenitos, lente de harzburgito, silimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos. A datação SHRIMP de zircões apresenta idades magmáticas para este complexo entre 2,5 e 2,1 Ga o evento gerador dos granulitos ocorreu por volta de 2,02 Ga (Hartmann *et al.* 1999).

O Complexo Encantadas (CE) é composto por gnaisses com metamorfismo de fácies anfíbolito e ocorre em dois locais principais. No núcleo do Terreno Tijucas onde está localizada a sua seção tipo, ali foi exposto pela ação *nappes* com vergência para NW. O outro local é ao Sul de Lavras do Sul

onde afloram os gnaisses Imbicuí (dioríticos e tonalítico/trondhjêmíticos). Os gnaisses Arroio dos Ratos que ocorrem no Cinturão Dom Feliciano Leste também integram este complexo. Datações de zircões por SHRIMP mostram magmatismo de 2,26 Ga até 2,1 Ga, a colisão geradora do metamorfismo regional dinamotermal ocorreu em 2,03 Ga. Portanto o CGSMC e CE apresentam evolução semelhante sobre o ponto de vista geocronológico, a principal diferença é o nível de profundidade agora exposto na superfície, pois os granulitos do CGSMC são infra-crustais e os gnaisses Encantadas e Imbicuí representam níveis médios da crosta.

O Ciclo Transamazônico (2,26-2,00 Ga) é o conjunto de eventos mais importante no acréscimo de volume à crosta continental do Rio Grande do Sul, pois as idades Nd modelo situam-se entre 2,5-2,0 Ga, próximo das idades ígneas para o CGSMC e CE.



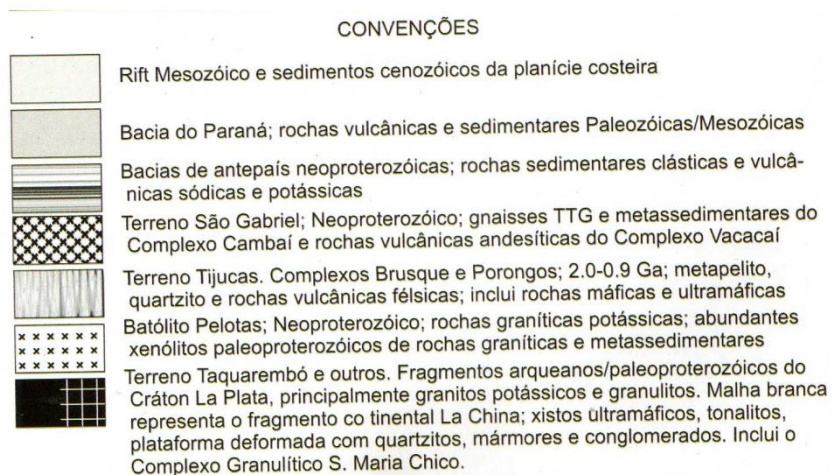


Figura 2- Mapa Geológico com destaque para as áreas cratônicas e rifte mesozóico. (Hartmann *et al.* 2007)

4.1.2 Província Mantiqueira e sua porção Meridional

A Província Mantiqueira (Almeida, 1977,1981), representa um sistema orogênico Neoproterozóico situado no sul e sudeste do Brasil. Ela engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul. A Província Mantiqueira desenvolveu-se durante a Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana a qual resultou na amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004).

A seguinte subdivisão tectono-estratigráfica foi adotada para a descrição de cada orógeno: a) rochas do Embasamento mais antigas que 1.7 Ga, b) sucessões intracrônicas Paleoproterozóicas a Mesoproterozóicas, c) sucessões de margem passiva Neoproterozóicas, d) arcos magmáticos associados a configurações de margem continental intraoceânica e ativa (790 Ma a 585 Ma), e) granitóides sin-colisionais relacionados a diferentes episódios colisionais, f) sucessões sedimentares orogênicas tardias e magmatismo bimodal relacionado. (Heilbron *et al.* 2004)

O segmento meridional da Província Mantiqueira (Figura 3) inclui o Orógeno Dom Feliciano que se estende por cerca de 1.200 km, de Punta del Este (Uruguai) ao nordeste do Estado de Santa Catarina e uma ramificação no

extremo sudoeste, com cerca de 5.000 km² onde está exposta uma fração do Orógeno São Gabriel. Este segmento da Província Mantiqueira é marginal ao Cráton Rio de La Plata, situado no oeste do Rio Grande do Sul e no Uruguai, Cráton do Paraná ou Paranapanema (encoberto pela Bacia do Paraná) e ao maciço cratônico de Luis Alves que separa os orógenos Dom Feliciano e Ribeira (Heilbron *et al.* 2004).

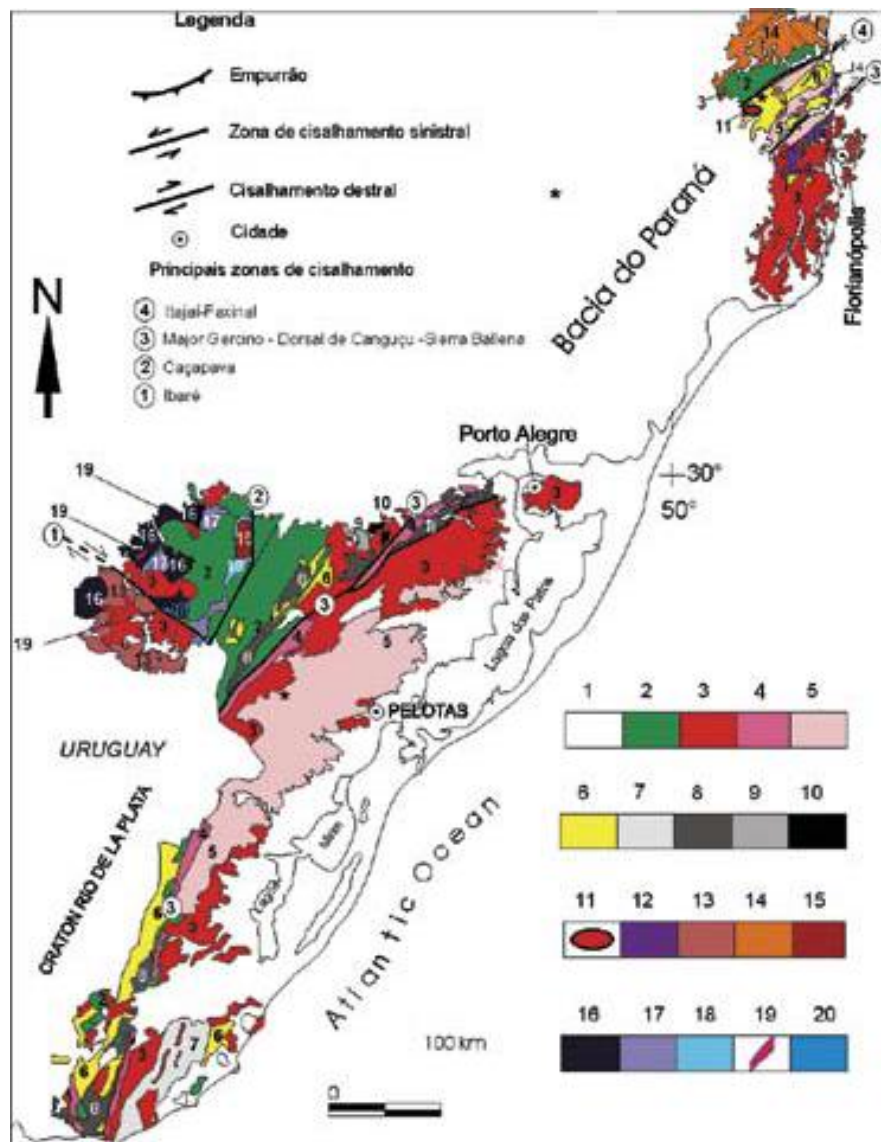


Figura 3 - Mapa Geológico da Província Mantiqueira Meridional, simplificado do "Mapa Geológico da província Mantiqueira, 1:250.000" de Silva *et al.*, 2002. Segmento Uruguaio modificado de Hartmann & Fernandes (2000). Legenda : 1 Coberturas e rochas magmáticas fanerozóicas. ORÓGENO DOM FELICIANO: 2.-Bacia tardi a pós-tectônica de antepaís (Itajaí e Camaquã); 3-Granitóides G3 pós-colisionais (tipo-I, A, localmente rapakivi e alcalinos); 4-granitóides G2 tardi-colisionais, tipo-I, cálcio-alcalinos de alto-K; 5-granitóides G1 e migmatitos pré- a sincolisionais, predominantemente do tipo-I, localmente com xenólitos de gnaisses tonalíticos de significado tectônico regional incerto (*) (Suíte Pinheiro Machado); 6-Bacias de margem passiva (Grupos Brusque, Porongos e Lavalleja com remanescente de depósitos de assolho oceânico. EMBASAMENTO RETRABALHADO: 7- Orthogneisses kibarianos (Terreno

Punta del Este); 8- Ortognaisses riacinanos (complexos Encantadas e Arroio dos Ratos/Microcontinente); 9-Paragnaisses (Complexo Várzea do Capivarita); 10-Metanortosito Capivarita; 1- Gnaiss tonalítico riaciano; 12- Gnaisses tonalíticos Paleoproterozóicos migmatizados há ca. 610 Ma. Margem continental oriental do CRÁTON RIO DE LA PLATA: 13- Gnaisses TTG arqueanos, granulizados no Paleoproterozóico (Complexo Santa Maria Chico). (Cráton/Placa Luís Alves): 14-A/Psg = Gnaisses TTG arqueanos, granulizados no Paleoproterozóico (Complexo Granulítico de Santa Catarina). EVENTO TRANSPRESSIVO CAÇAPAVA DO SUL (560 Ma) : 15-Granitóide transcorrente, tipo I, com significado tectônico incerto. ORÓGENO SÃO GABRIEL: 16-Gnaisses calcio-alcálicos (TTG) do arco plutônico intraoceânico (Grupo Cambaí); 17-Assembléia metavulcânica/ vulcanoclásticas calci-alcálica intermediária e metasedimentar (Supergrupo Vacacaí); 18-Assembléia metavulcano-sedimentar de retro arco? (Formação Passo Feio); 19-Associação meta máfico-ultramáficas, toleíticas, intercaladas nas seqüências do arco, interpretada como remanescentesofiolíticos (Complexo Cerro Mantiqueira); 20-Meta-diorito toniano. (HEILBRON, 2004)

O Cinturão Dom Feliciano (CDF) Leste (Figura 4) consiste de duas unidades de rochas supracrustais e algumas suítes graníticas (Frantz e Botelho, 2000). A primeira unidade a Suíte Metamórfica Porongos (SMP) pode ser dividida em duas sub-unidades: A primeira sub-unidade é uma associação do tipo rifte com grauvacas e conglomerados, e uma associação do tipo margem passiva com arenitos, pelitos e carbonatos interacamado com vulcanismo básico toleítico rico em álcalis (Marques *et al.* 1996) a , esta apresenta idade Rb-Sr 884 ± 19 e foi metamorfisada em condições de médio a alto grau). A segunda sub-unidade da SMP é o Complexo Cerro da Árvore (Jost 1981) que consiste em tufo e derrames dacítico a riolítico calci-alcálicos de alto K submetidos a metamorfismo de baixo a médio grau apresentando idade U/Pb SHRIMP em torno de 783 Ma (Porcher *et al.* 1999). A segunda sub-unidade foi controlado por tectônica tangencial e pode ser correlacionada com a Suíte Intrusiva Arroio Solidão.

Os granitoides associados com a evolução Leste do CDF começaram o seu posicionamento com a Suíte Intrusiva Arroio Solidão (SIAS), controlados por tectônica tangencial associada com o fechamento da bacia do tipo plataforma (Suíte Memamórfica Porongos) que ocorreu durante a colisão continental. A SIAS consiste de Granodioritos e Tonalitos calci-alcálicos de alto K sin-tangenciais até monzogranitos. As idades U/Pb SHRIMP (Hartmann *et al.* 1998) por volta de 780 Ma e as idades Rb/Sr 800 ± 32 indicam o início da colisão continental. As idades Tdm entre 1,6 e 2 Ga e valores ϵNd entre -2 e -6 indicam retrabalhamento crustal com interação entre o manto e a crosta continental a mais antiga com baixo grau de homogeneização.

O regime transcorrente do CDF leste começou cerca de 100 Ma após a fase colisional e controlou a severa intrusão de granitoides calci-alcalinos sin a pós transcorrente, granitoides peraluminosos sin a tardi transcorrentes, alcali granitoides pós transcorrentes e diques básicos sin a pós transcorrentes.

O CDF leste registra uma tectônica transpressiva que pode ser identificada acima de 600 Ma quando houve uma mudança no regime transtensivo para extensivo que ali se estabeleceu (Frantz *et al.* 2000). Portanto é observada uma evolução de regimes tectônicos registrados no Domínio Leste do Cinturão Dom Feliciano.

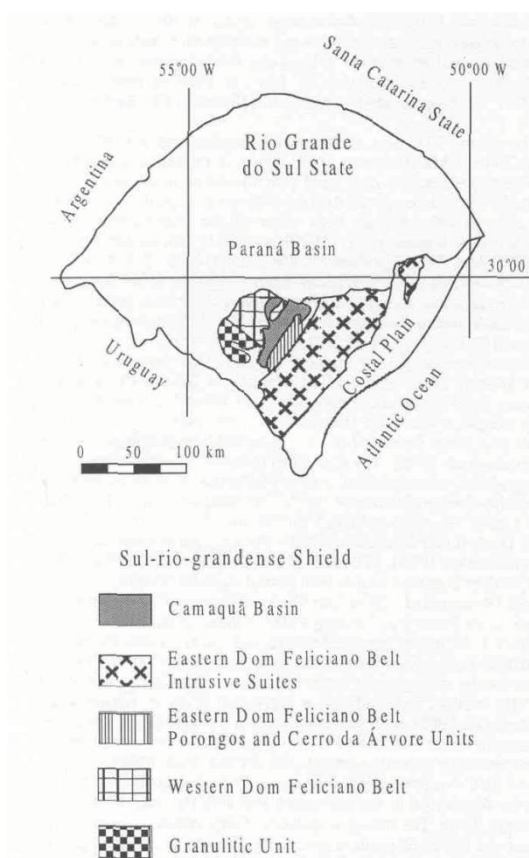


Figura 4 - Extraído de Frantz *et al.* (2000).

Posteriormente Philipp (1998) e Phillip *et al.* (2002a) reconhecem sete suítes graníticas que compõem o Domínio Leste do CDF, Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, dom Feliciano e Piquiri. Nessas são reconhecidos três grupos principais de estruturas- magmáticas e tectônicas associadas, um grupo mais antigo, de baixo ângulo e desenvolvido em condições de deformação dúctil, e dois grupos mais novos, de alto ângulo;

um desenvolvido em condições de deformação dúctil e, outro, em condições de deformação rúptil. A figura 5 mostra as suítes definidas por Philipp (1998), com ênfase na localização da área de estudos próxima as zonas de cisalhamento Vila Ayrosa Galvão e Arroio Grande.

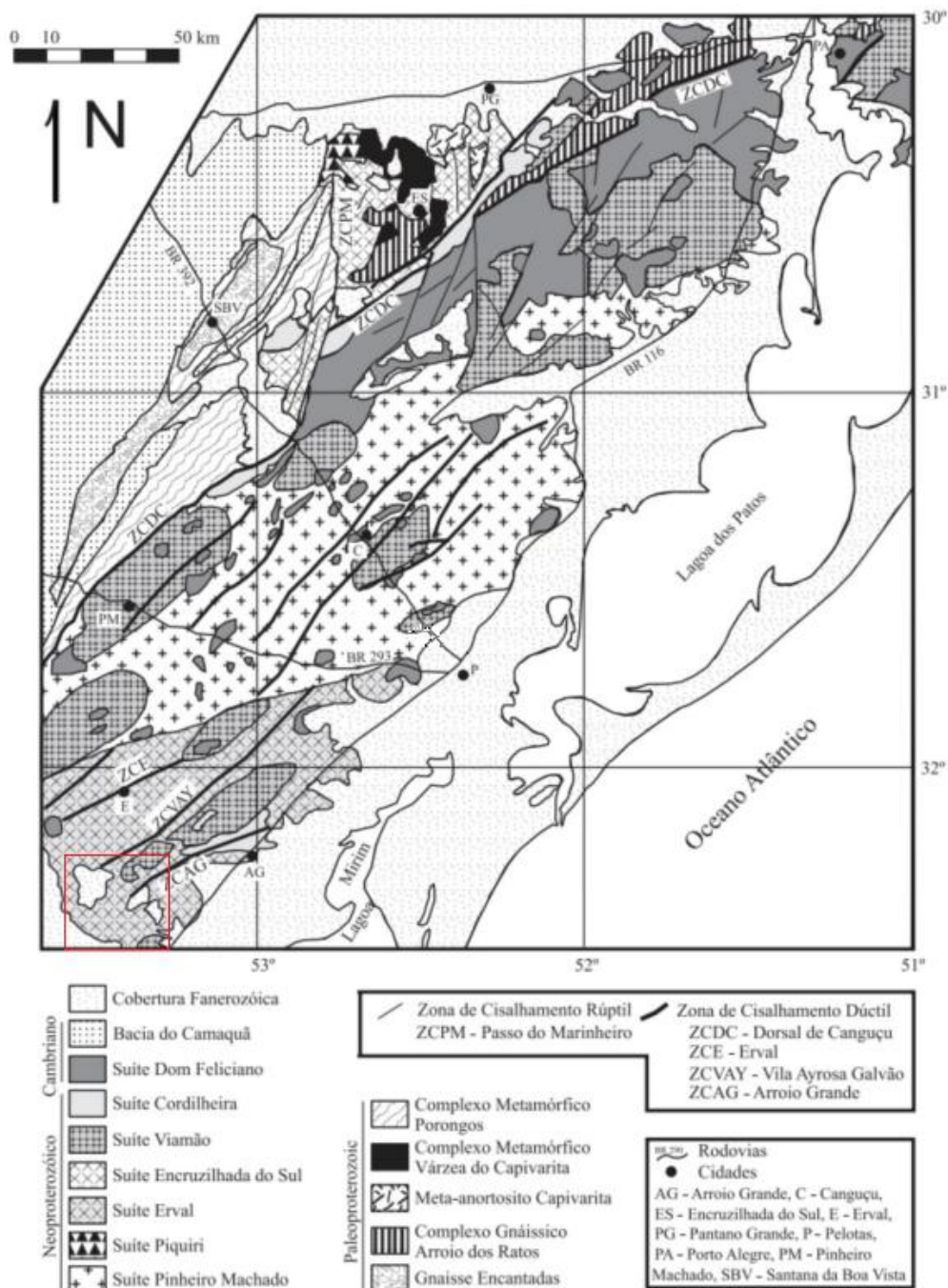


Figura 5 - Mapa esquemático do batólito pelotas mostrando a porção centro-norte da área de estudos destacada em vermelho. Extraído de Phillip (1998).

4.1.3 Formação Jaguarão: Uma unidade litoestratigráfica vulcânica mesozóica

A fm. Jaguarão (Figura 6) é composta majoritariamente por dacitos com riodacitos subordinados com matriz vítrea e seu nome deriva da cidade onde foi definida a seção tipo desta unidade. Cobre uma área pequena regionalmente, aproximadamente 160 km² e seu volume é estimado em aproximadamente 3,2km³ (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2010) de material vulcânico extrusivo preservado. A seção tipo está localizada na encosta oeste do morro da Pólvora na Vila Kennedy, área urbana do município. Constitui a porção mais alta do relevo na localidade diferindo geomorfologicamente das litologias do embasamento, a elevação apresenta forma de sela alongada na direção NE, seu eixo maior mede 5,5km de extensão enquanto a menor dimensão tem cerca de 1km de largura. (Vieira Jr., 1985).

A espessura dos derrames varia até mais de 40m nas partes centrais com afinamento gradual em direção as áreas de contato. A atitude é horizontal assentando assim as lavas diretamente sobre o ESRG. Sistemas de disjunções colunares prevalecem sobre padrões horizontais. Apresenta fraturas conjugadas de direção NE sobrepostas as estruturas de contração típica em pacotes vulcânicos. Não foram observados indícios de topo e base de derrame marcados por zonas amigdalares, o que pode ser resultado de um processo efusivo único (Vieira Jr. 1986) ou devido água e voláteis serem praticamente inexistentes neste sistema (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2010).

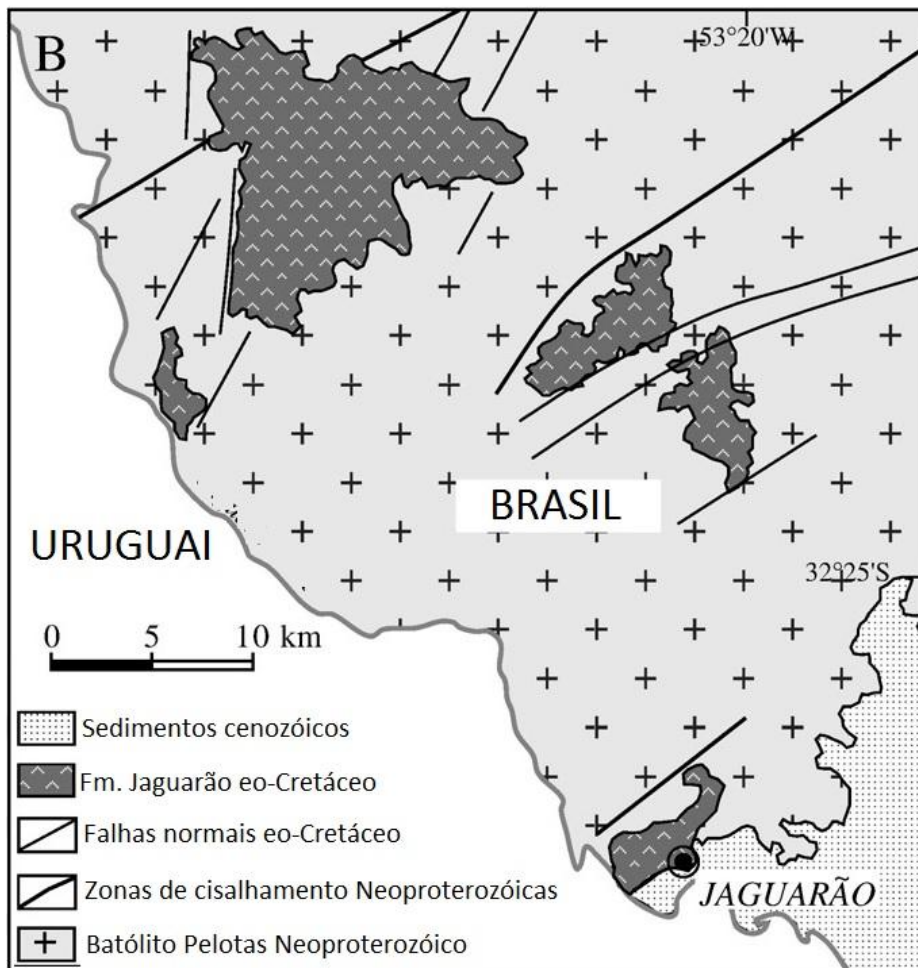


Figura 6 - Mapa de detalhe da região de Jaguarão extraído de comin-chiaramonti-2010.

Petrograficamente a Formação Jaguarão é composta por dacitos (riodacitos subordinados), com fenocristais e microlitos de plagioclásio (andesina), hipersteno em matriz vítrea com a presença abundante de xenólitos (graníticos, gnaissicos, miloníticos) e xenocristais (quartzo de falha, plagioclásio) das encaixantes ou das rochas que foram as fontes magmáticas. Também é citada a ocorrência de cordierita como fase líquida, portanto gerada durante o vulcanismo (Vieira Jr., 1985; Comin-Chiaramonti *et al.*, 2010). Ainda apresenta magnetita e ilmenita geradas durante o vulcanismo. A composição das lavas, dos xenólitos e da matriz vítrea dada na Tabela 2.

Estas rochas são bem distintas do grupo Serra Geral - Tipo Palmas, sistematicamente com piroxênios ricos e pobres em Ca (Piccirillo e Melfi, 1988) - e das rochas vulcânicas peraluminosas do Vale Chico no Uruguai que apresentam sistematicamente clinopiroxênios ricos em Ca (Ruberti *et al.*, 2005). Além disso as razões de elementos incompatíveis, razões iniciais de

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, e os padrões de declive dos elementos terras-raras sugerem que a origem das lavas da Formação Jaguarão está relacionada com fusão crustal (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2010).

Tabela 2 - Composição média da Formação Jaguarão, e dos xenólitos (extraído de Comin-Chiaramonti 2010)

	Formação Jaguarão	Xenólitos >5cm	Xenólitos < 3cm				Matriz vítrea	
	(N=23)	(N=6)	A	B	C	D	GP1	GP4
wt.%								
SiO ₂	64.96 (0.96)	69.47 (3.20)	64.49	67.45	72.46	73.05	76.59	73.13
TiO ₂	1.06 (0.05)	0.36 (0.10)	0.63	0.50	0.29	0.28	0.12	0.06
Al ₂ O ₃	15.90 (0.43)	15.11 (0.95)	18.10	16.50	14.43	14.16	12.68	14.78
Fe ₂ O ₃	0.99 (0.10)	2.65 (0.33)	0.67	0.48	0.29	0.26	0.18	0.23
FeO	5.66 (0.55)	-	4.19	3.00	1.79	1.60	1.10	1.45
MnO	0.15 (0.01)	0.05 (0.02)	0.09	0.08	0.04	0.03	0.02	0.01
MgO	2.03 (0.24)	1.02 (0.47)	2.10	1.62	0.85	0.80	0.59	1.16
CaO	4.42 (0.57)	2.16 (0.51)	3.73	2.83	1.95	2.25	0.50	1.07
Na ₂ O	2.30 (0.19)	2.91 (0.24)	2.62	2.84	2.88	3.13	2.85	2.83
K ₂ O	2.34 (0.25)	4.96 (0.89)	3.29	4.57	4.93	4.38	5.28	5.09
P ₂ O ₅	0.19 (0.02)	0.10 (0.02)	0.09	0.13	0.09	0.06	0.09	0.17
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.18	0.16	0.16	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
L.O.I.	2.89 (0.35)	1.01 (0.85)	-	-	-	-	-	-
Q	26.98	26.30	22.93	23.30	30.45	31.19	37.33	32.56
C	2.00	1.27	3.66	2.05	1.02	0.32	1.58	3.08
or	13.83	19.44	19.44	27.00	29.13	25.88	31.20	30.06
ab	19.46	22.17	22.17	24.02	24.37	26.48	24.12	23.95
an	20.69	17.92	17.92	13.19	9.09	10.77	1.89	4.20
en	5.05	5.23	5.23	4.03	2.12	1.99	1.47	2.89
fs	8.10	6.27	6.27	4.44	2.64	2.32	1.71	2.39
hy	13.15	11.30	11.30	8.47	4.76	4.31	3.18	5.28
mt	1.44	0.97	0.97	0.73	0.42	0.38	0.26	0.33
il	2.01	1.20	1.20	0.95	0.55	0.53	0.23	0.11
ap	0.44	0.21	0.21	0.30	0.21	0.14	0.21	0.39
or	25.6	32.7	32.7	42.0	46.6	41.0	54.5	51.6
ab	36.1	37.2	37.2	37.4	38.9	41.9	42.2	41.1
an	38.3	30.1	30.1	20.6	14.5	17.1	3.3	7.3
ppm								
Cr	82 (5)	9 (2)	21	10	7	1	1	
Ni	41 (5)	3 (2)	19	4	3	4	1	
Ba	896 (38)	1079 (255)	632	788	1272	918	496	
Rb	98 (8)	161 (32)	111	128	166	118	333	
Sr	304 (35)	243 (84)	153	177	318	189	84	
Nb	27 (2)	129 (35)	75	80	171	92	16	
Zr	303 (15)	166 (63)	90	96	206	115	95	
Y	28 (4)	19 (7)	8	9	18	11	9	
La	52 (4)	40 (31)	16	21	64	22	36	
Ce	101 (13)	63 (42)	30	40	96	42	68	
Nd	45 (5)	36 (27)	15	21	48	22	30	
Sm	9.6 (1.3)	7.7 (5.5)	3.3	4.7	10.4	1.6	5.8	
Eu	1.51 (0.25)	1.23 (0.86)	0.54	0.77	1.64	0.8	0.8	
Gd	8.7 (1.2)	3.96 (4.31)	2.9	4.2	8.9	4.4	4.5	
Yb	1.07 (0.15)	0.80 (0.55)	0.35	0.52	1.11	0.53	0.82	

As idades disponíveis para a Formação Jaguarão foram apresentadas na **sub** o ponto de vista da geocronologia. Estes xenocristais foram amostradas pelas lavas na sua formação ou no seu trajeto para a superfície e estudá-los poderá contribuir para o entendimento da formação destas lavas e evolução crustal regional.

Tabela 1. Idade modelo Tdm 2.12Ga (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2010) sugere que as lavas da Formação Jaguarão foram formadas por fusão direta de embasamento Transamazônico com extensa contaminação de material do

arqueano até paleoproterozóico. Os dados isotópicos são distintos de todas as outras atividades magmáticas eo-cretácea da plataforma sul-americana (Comin-Chiaramonti e Gomes, 2005). Granitos e Gnaisses do CDF podem ser a mais provável fonte destas lavas.

O vulcanismo que originou a Formação Jaguarão está inserido no grande evento tectono-magmático iniciado no Jurássico denominado Reativação Wealdeniana da Plataforma Sul-Americana (Almeida, 1967) que está relacionada com o processo de rompimento do Gondwana. Durante este período desenvolveram-se várias bacias marginais, onde algumas foram sítios de atividade magmática. Vieira Jr. (1985) propõe que é compatível a relação da Fm. Jaguarão com a Bacia da Lagoa Mirim que consiste em uma fossa tectônica do tipo Vale Rife com direção NE e estende-se da cidade de Lascano (Uruguai) até a região de Jaguarão; na sua porção uruguaia esta bacia apresenta importante registro de magmatismo alcalino aliado a uma sequência vulcânica toleítica que varia de basaltos a riolitos, em sua maior parte recoberta por sedimentos cretáceos com idades entre 120 e 140 Ma (Umpierre e Halpern, 1971; Bossi *et al.* 1975; Almeida, 1983).

5 METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a metodologia para teste das hipóteses. Foi dividida em sub-itens que correspondem aos procedimentos realizados em cada etapa do trabalho.

5.1 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

A análise bibliográfica é o alicerce deste trabalho. Desde as etapas iniciais na fase de elaboração do projeto até as fases de discussões sempre foram sendo encontradas novas referências em temas ligados a geologia regional, geologia local, aspectos geotécnicos e metodologia.

Ao longo deste Projeto Temático buscou-se a integração de dados e compreensão das litologias e das metodologias desenvolvidas através de referências bibliográficas prévias. Foram utilizados artigos científicos, capítulos de livros e teses de dissertação.

5.2 CONSTRUÇÃO DE UM SIG

O Geoprocessamento foi realizado no programa ArcMap 10, utilizado para geração de um banco de dados SIG (sistema de informações geográficas). A principal meta desta técnica foi a geração de um banco de dados para auxiliar no desenvolvimento do entendimento da área de estudos e posteriormente localizar de forma adequada os pontos descritos em campo. Todos os dados inseridos no SIG foram georreferenciados utilizando-se o datum WGS 84.

O SIG é muito importante para o Projeto, pois através dele foi e é possível juntar uma série de conteúdos geológicos importantes referentes à área de estudos. Além disso esta técnica nos permite inserir de forma precisa e confiável os pontos descritos em campo.

Primeiramente foi obtido um banco de dados do Geobank da CPRM com "*shapefiles*" e "*layers*" com informações importantes para o Projeto como Geologia, hidrografia, lineamentos e falhas, estradas locais, curvas de nível. A

última etapa do Geoprocessamento foi a inserção dos pontos visitados em campo em mapa geológico com o modelo digital de elevação.

5.3 TRABALHO DE CAMPO E AMOSTRAGEM

O planejamento de campo foi realizado durante os meses de Abril e Maio. Nesta fase buscou-se conhecer mais da área de estudo para identificar possíveis alvos no trabalho de campo. O trabalho de campo em si foi executado entre 21 e 24 de Maio de 2014.

A fase de trabalho de campo e amostragem foi muito importante tendo em vista a necessidade de amostras devidamente coletadas e catalogadas. A partir foi realizada a confecção de lâminas delgadas e feita separação dos zircões, que foi fundamental para teste das hipóteses.

Durante o trabalho de campo foram descritos 21 pontos ao longo de dois dias. O GPS utilizado para a coleta das coordenadas foi o GARMIN etrex 30, o tipo de projeção escolhida foi o de UTM e o datum WGS 84. As estruturas foram medidas utilizando-se uma bússola Modelo Brunton Geo Pocket Transit 5010.

O trabalho de campo tinha como objetivo principal o reconhecimento das unidades geológicas e amostragem de material para coleta de zircão. As amostras foram coletadas com marreta de 3kg e talhadeira. Por se tratar de um trabalho de geocronologia se deu preferência por amostras in situ. Após a coleta das amostras as mesmas eram marcadas, embaladas em dois sacos para amostragem que eram devidamente fechados com fita crepe e marcados novamente. Ao longo do trabalho foram coletados aproximadamente 100 Kg de amostras.

Como pontos críticos do trabalho de campo são citados êxito na amostragem e coleta de outros dados de campo frente ao reduzido número de dias de campo. Os principais cuidados adotados foram em relação à amostragem para que não houvesse mistura ou má catalogação de amostras.

5.4 PETROGRAFIA

A petrografia foi indispensável no que diz respeito a seleção de amostras para separação de zircões. Além da descrição das rochas de acordo com IUGS, e descrição detalhada das texturas presentes nestas rochas também se buscou classificar as rochas da Formação Jaguarão em relação a qualificação do seu conteúdo de xenólitos preferencialmente e tentar de forma indireta extrair informações sobre as rochas posicionadas em níveis crustais inferiores aos expostos em superfície.

Foram selecionadas para a laminação amostras de quatro pontos, dois com a forte presença de xenólitos, um onde não foi constatado a presença de xenólitos e o último onde foram encontrados xenólitos muito grandes na Formação Jaguarão. Destas amostras, três foram escolhidas para estudos geocronológicos.

A descrição das lâminas foi realizada em microscópio binocular OLYMPUS BH. As fotografias das lâminas delgadas foram tiradas em um microscópio binocular Leica modelo DC300F.

5.5 SEPARAÇÃO MINERAL, CONCENTRAÇÃO DE ZIRCÕES E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das três amostras teve como base a separação mineral, onde concentrados de zircões foram extraídos de amostras de rocha. A amostra é reduzida a uma fração menor que 500 μ m para concentração de minerais pesados. Inicialmente as amostras foram fragmentadas manualmente com auxílio de marreta em pedaços menores que 6cm. Em seguida, as amostras foram britadas duas vezes em um britador de mandíbulas já sendo separado material menor que 500 μ m. Os fragmentos com tamanho inferior a 6mm foram encaminhados para o moinho de disco onde a maior parte da amostra foi pulverizada até a granulometria desejada. Concomitante ao processo de pulverização, as amostras foram peneiradas.

A etapa seguinte foi a concentração de minerais pesados em bateia. Inicialmente a fração menor que 500 μ m foi lavada em baldes pelo processo de decantação. Foram utilizadas duas bateias de tamanhos aproximados em 60cm e 30cm. Primeiro foi utilizada a bateia de maior tamanho. Posteriormente,

o material foi novamente bateado na bateia de menor tamanho. Assim se obteve um concentrado de minerais pesados da Formação Jaguarão que foi seco em estufa a 50° C.

O próximo passo foi a separação magnética. Um separador magnético *Frantz* com inclinação longitudinal e lateral igual a 25° e 15° respectivamente foi utilizado para simplificar o tabelamento de propriedades dos minerais. De acordo com Parnoff (1970) os principais fatores que influenciam na separação magnética ao *Frantz* são a intensidade da corrente e a inclinação lateral. Para se obter um concentrado com o maior número de zircões a amostra foi processada 4 vezes sob correntes de 0.4A, 0.8A, 1,2A e 1,8A da primeira para última separação respectivamente. Ao final desta etapa se obteve um concentrado de minerais pesados não magnéticos.

A última etapa da separação mineral consistiu da separação de zircões a partir do concentrado de minerais pesados não magnéticos. Para realização desta tarefa foi utilizado um placa petri com álcool no qual os grãos iam sendo separados por densidade através da movimentação circular da placa, assim então os zircões iam sendo segregados dos outros sugados e depositados com auxílio de uma pipeta de plástico em outro petri onde havia exclusivamente cristais de zircão.

Após a coleta dos zircões os mesmos foram dispostos em cima de uma fita dupla face afixada sobre uma lâmina de vidro. Em seguida, uma anilha de plástico de 1cm foi afixado sobre a fita ao redor dos grãos de zircão. Na próxima fase de preparação dos grãos a anilha de plástico foi preenchida com resina fixadora Epoxi da marca Struers previamente preparada na proporção de quinze gotas de resina para uma de endurecedor. Após o endurecimento e secagem da resina fixadora as amostras foram encaminhadas para o desbaste e polimento dos grãos.

A parte de desbaste dos grãos até porções mais centrais foi feita com lixa d'água 4000 de silício e carbono, em seguida foram levadas para purificação no ultra-som. O polimento dos grãos foi feito utilizando-se pasta diamantada 1/4µm, líquido lubrificante para polimento e feltro. Terminada esta etapa os grãos foram descritos em lupa e microscópio com luz transmitida e luz refletida.

5.6 IMAGEAMENTO E ANÁLISES EM MEV

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento muito versátil e usado rotineiramente para a análise microestrutural de materiais sólidos. Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação. Neste trabalho foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (Jeol 6610-LV) do Laboratório de Geologia Isotópica - CPGq/UFRGS (figura 7).

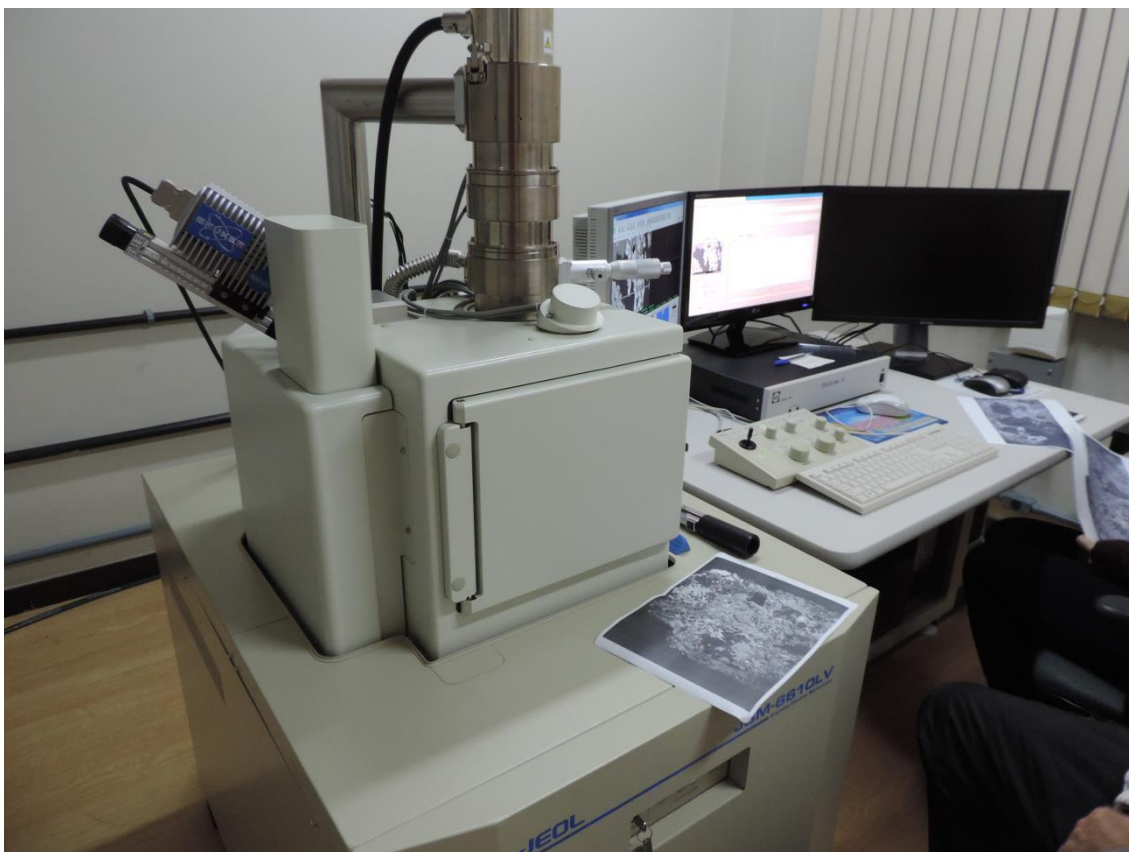


Figura 7 - Fotografia do MEV mostrando o tubo de elétrons, a câmara de amostras, o equipamento de catadoluminescência a esquerda com selo azul, e o display de navegação e imageamento a direita.

O aumento máximo conseguido pelo MEV fica entre o microscópio ótico e o Microscópio Eletrônico de Transmissão. A grande vantagem do MEV em relação ao microscópio ótico é sua alta resolução, na ordem de 2 a 5 nm ($20 - 50 \text{ \AA}$) - atualmente existem instrumentos com até 1 nm (10 \AA) - enquanto que no ótico é de $0,5 \mu\text{m}$. Comparado com o MET a grande vantagem do MEV está na facilidade de preparação das amostras. O MEV utilizado permite magnificação de 5x a 300000x.

O MEV (conforme pode ser visto na figura 8) é composto basicamente pela coluna ótico eletrônica (canhão de elétrons e sistema de demagnificação), unidade de varredura, câmara de amostra, sistema de detectores e sistema de visualização da imagem.

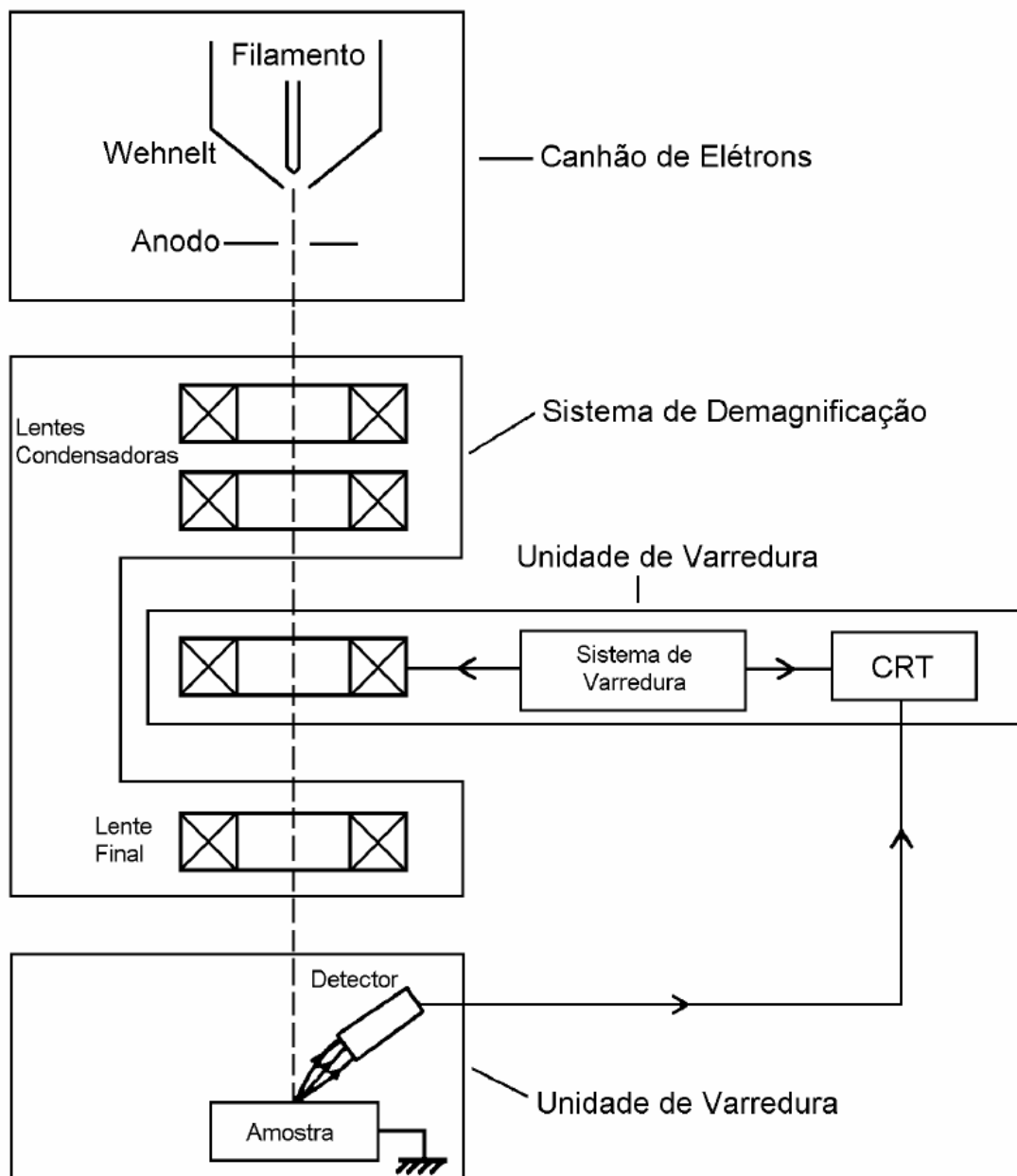


Figura 8 – Microscópio Eletrônico de varredura e seus componentes. Maliska, 2004.

O canhão de elétrons é o conjunto de componentes cuja a finalidade é a produção dos elétrons e a sua aceleração para o interior da coluna é composto

por um filamento de tungstênio que serve como cátodo e tem seu funcionamento baseado na emissão termoiônica, o cilindro de Wehnelt e o ânodo, que funcionam juntos como um sistema de lentes eletrostáticas, que produzem um feixe de elétrons com pequeno diâmetro focalizado em um ponto chamado de entrecruzamento. Este feixe de elétrons deve ser estável e com intensidade suficiente para que ao atingir a amostra possa produzir um bom sinal. O diâmetro grande do feixe de elétrons produzidos pelo canhão de elétrons é incapaz de produzir uma boa imagem por isso ele é reduzido pelas condensadoras (lente eletromagnéticas) Maliska (2004).

As lentes condensadoras possuem a função de demagnificação do feixe eletrônico. A lente objetiva é a última da coluna e possui a finalidade de focar a imagem variando a distância focal do feixe eletrônico ao longo do eixo ótico da coluna.

Até agora foi visto qual a origem e como é focalizado o feixe de elétrons que incide nas amostras. O próximo passo a ser descrito é a formação das imagens que é resultado da interação dos elétrons com as amostras.

Ao atingir a superfície das amostras os elétrons do feixe eletrônico irão interagir com os átomos da amostra e estes elétrons primários irão sofrer modificação na sua velocidade inicial e/ou removerem elétrons da eletrosfera do átomo da amostra (figura 9). Estas interações podem ser inelásticas ou elásticas, sendo as interações elásticas basicamente resultado de interação entre o feixe de elétrons e o núcleo do átomo atingido e as interações inelásticas resultado da interação do feixe eletrônico com a própria eletrosfera dos átomos da amostra, ou seja a interação do feixe de elétrons com a amostra gera sinais que variam de acordo com as suas características de interações, estes elétrons podem ser classificados como elétrons retroespalhados (ERE) que são aqueles com energia máxima igual a energia do elétron primário incidente (15-20 keV). Os elétrons produzidos deixam o material com uma energia média de 2 a 5 eV chegando no máximo a 50 eV Esses elétrons são chamados de elétrons secundários (ES) e são provenientes de uma região de muito pouca profundidade, cerca de 1 nm para os metais e 10 nm para o carbono ao contrário dos ERE que são originados em regiões mais profundas das amostras e também tem energia suficiente para originar elétrons secundários quando atingirem a parede da câmara ou a parte inferior da

coluna. Em geral os ES possuem energia menor que 50 eV e os ERE energia maior que este valor, a Figura mostra como e onde são gerados os ERE e os ES.

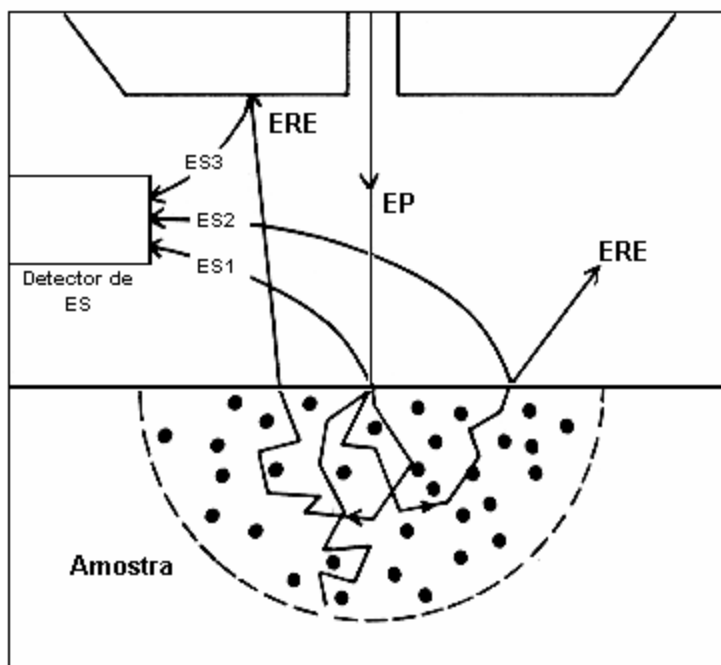


Figura 9 - Ilustração esquemática de interações dos elétrons primários com a superfície da amostra e o que acontece com a trajetória destes elétrons incidentes após atingirem os prótons e a eletrosfera dos átomos da amostra. Maliska (2004).

Para o desenvolvimento adequado deste Projeto Temático em Geologia foram escolhidas três técnicas de MEV: O imageamento por elétrons retroespalhados, o imageamento por catodoluminescência e análises EDS (dispersão de elétrons secundários). A seguir cada uma delas é brevemente explicada.

Os elétrons retroespalhados com energia próxima a dos elétrons primários são aqueles que sofreram espalhamento elástico e são estes que formam a maior parte do sinal de ERE. O sinal de ERE resultante das interações que ocorreram mais para o interior da amostra, ERE com baixa energia, é proveniente da região do volume de interação com maior diâmetro do que o diâmetro do feixe primário. Portanto a resolução da imagem gerada por esses elétrons é pior do que a resolução da imagem correspondente dos ES. A resolução também irá depender do material da amostra. Quanto maior o Z do material, menor o volume de interação, e conseqüentemente maior a resolução. O sinal de ERE também contém informações sobre a topografia da

amostra, pois o coeficiente de emissão dos elétrons retroespalhados depende do ângulo de incidência do feixe de elétrons primários com a superfície da amostra. Em alguns casos a imagem de ERE consiste de contraste de composição e contraste topográfico. Já o contraste cristalográfico tem pouca influência na imagem de ERE.

A energia entregue à amostra pelo feixe de elétrons também pode ser liberada da amostra na forma de luz (fótons). O fóton de luz é originado em transições eletrônicas de baixa energia, isto é, transições da banda de condução para a banda de valência ou pela desexcitação de átomos ou moléculas. Neste processo de emissão de luz, que é chamado de catodoluminescência, os elétrons da camada externa são envolvidos. A capacidade de um material emitir ou não luz como resultado de um bombardeamento eletrônico irá depender da sua estrutura e da sua transparência em relação ao comprimento de onda envolvido.

A detecção dos raios-X emitidos pela amostra pode ser realizada tanto pela medida de sua energia (EDS). Os detectores baseados na medida de energia são os mais usados, cuja grande vantagem é a rapidez na avaliação dos elementos. Uma amostra contendo elementos na ordem de 10% ou mais pode ser identificado em apenas 10 s e cerca de 100 s para avaliar um elemento na ordem de 1%. Apesar da menor resolução da espectroscopia por energia dispersiva, 140 eV para a raia $K\alpha$ do Mn, quando comparada com os espectrometros por comprimento de onda, 5-10 eV, esta técnica permite obter resultados quantitativos bastante precisos (Maliska 2004)

5.7 GEOCROLOGIA U-Pb EM ZIRCAO POR LA-MC-ICP-MS

Posteriormente, serão coletados dados de isótopos de Urânio e Chumbo para a obtenção de dados geocronológicos. Esta técnica se baseia no decaimento radioativo de isótopos Urânio e Tório para isótopos de Pb.

As análises isotópicas ocorrem em diferentes etapas: excitação da amostra, aceleração e focalização do feixe de átomos, separação dos íons por campo magnético e por último a contagem de cada íon por um detector (coletor).

Para realização futura das datações U-Pb, será utilizado o espectrômetro de massa por plasma indutivamente acoplado multicoletor Neptune (Figura 10) com femtolaser excimer 193nm acoplado, do Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS.



Figura 10- LA-MC-ICP-MS do laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS.

Num LA-ICP-MS, a amostra é analisada diretamente por ablação a laser, onde um feixe de laser é emitido na superfície da amostra para a geração de partículas finas (aerossóis). Os aerossóis criados são então transportados para dentro do núcleo do ICP, onde o plasma é usado para dissolver e ionizar as partículas finas para então serem analisados por espectrometria de massa para análise elementar e isotópica. Estes íons são então separados e recolhidos de acordo com a sua massa. Os constituintes de uma amostra desconhecida podem ser identificados e medidos. ICP-MS oferece uma sensibilidade extremamente alta para uma vasta gama de elementos (Skoog, 2006).

Para ablação por laser, de qualquer tipo, não há requisito de tamanho de amostra e dos procedimentos de preparação de amostra. A análise química

utilizando a ablação a laser requer uma menor quantidade de amostra. Dependendo do sistema de medição analítica, uma quantidade muito pequena de amostra pode ser suficiente para esta técnica (Skoog, 2006).

O espectrômetro de massa pode ter diversos tipos de analisadores: *Single Selector Sector*, *Multi Collector*, *Quadrupole (quad) MS* e *Time of Flight (TOF) analyzers*. O analisador ou coletor que será utilizado é um Multicoletor equipado com 9 detectores *Faraday*, multiplicadora de elétrons axial (SEM) e 6 MIC's (multi-ion channeltron). Os íons são separados espacialmente, o que requer que esses íons passem através de um filtro antes de serem separados espacialmente pelas suas massas no setor magnético e são analisados em diversos coletores dedicados um para cada massa (Skoog, 2006).

O laser incide nos grãos de zircão, aplicando a cada um deles um spot com geralmente 30 μm de diâmetro. Sua função é ablacionar e colocar o material em suspensão como partículas e gases. Estes por sua vez são carregados por He e Ar até a tocha de plasma ($\sim 5000^\circ\text{C}$) que produz os íons que são detectados no multicoletor. Como cuidados, podemos citar análises de padrão para a verificação da acurácia.

Mesmo após as imagens em MEV, nunca se está livre de se executar um spot de laser em uma fratura ou em um grão corroído por exemplo o que pode vir a gerar dados de qualidade inferior. Caso isto venha a acontecer, estas análises são descartadas.

A precisão e a acurácia das idades obtidas pelas análises deste método é função da estabilidade do sinal analítico, número de íons detectados e incertezas nas correções aplicadas (Gunter & Mensing, 2005). Tendo em vista a qualidade do equipamento disponível para as análises espera-se obter resultados de alta precisão.

6 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados. Estão sub-divididos de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior.

6.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O SIG foi gerado a partir do mapa geológico do Estado (CPRM 2006) e mostrou boa acurácia entre a distribuição espacial das rochas vulcânicas da Formação Jaguarão e do embasamento cristalino (caracterizado na área de estudo por unidades do Cinturão Dom Feliciano domínio leste), em relação ao observado em campo, com exceção dos pontos 18 e 19 que foi descrito como unidades da Formação Jaguarão.

As áreas correspondentes as encaixantes possuem relevo cupuliforme com padrão de drenagens pinadas. As regiões correspondentes a Formação Jaguarão são muito aplainadas diferindo assim facilmente sobre aspectos geomorfológicos das encaixantes. Ainda, como característica secundária, também podem desenvolver picos agudos.

O produto final desta etapa do trabalho foi a organização de um mapa geológico para facilitar o trabalho de campo e orientar os pontos descritos. Também foi adicionado em composição com transparência, o modelo digital de elevação do terreno gerado à partir de um “*shapefile*” com as curvas de nível da região (Figura).

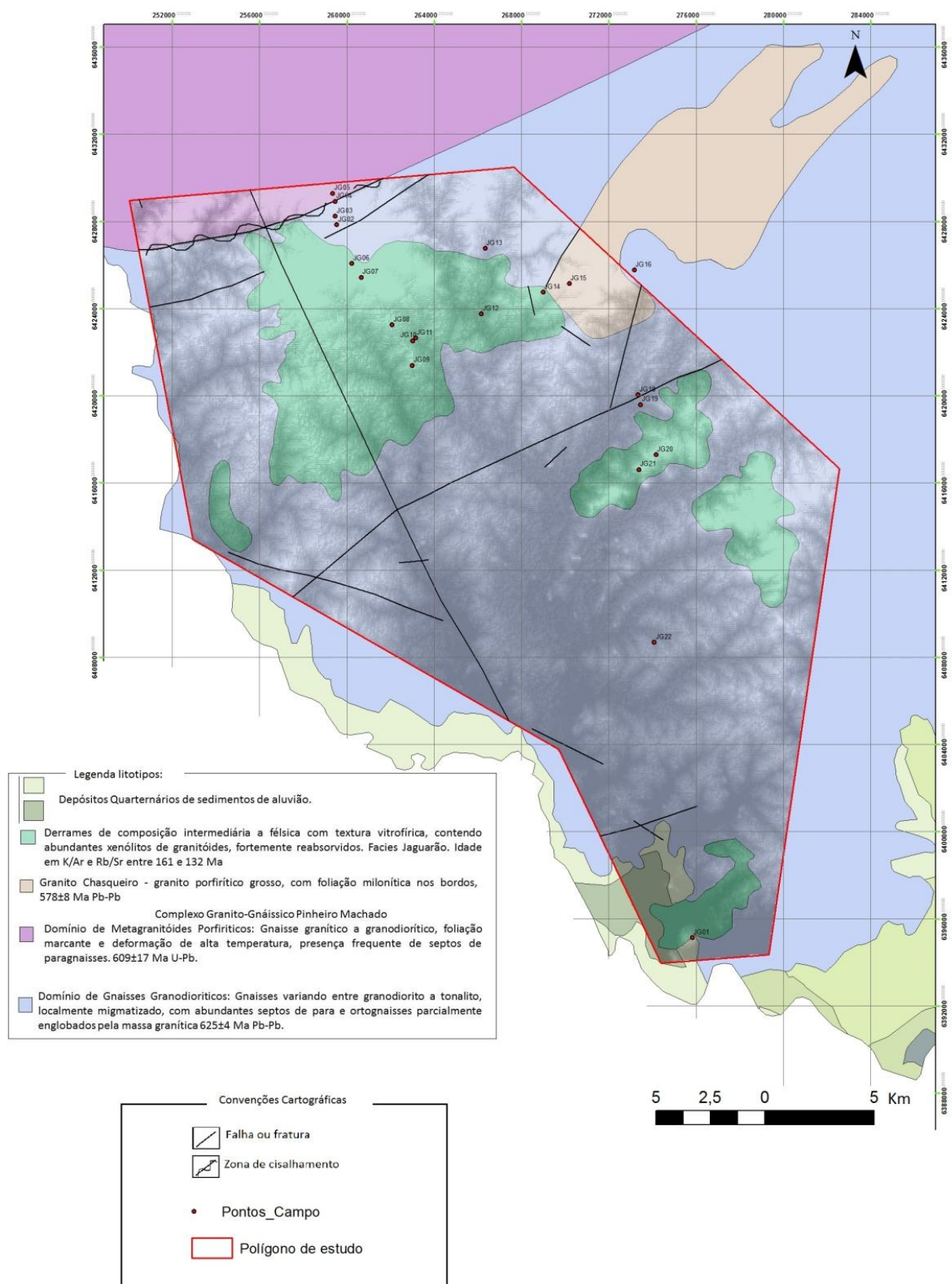


Figura 11 – Mapa geológico mostrando a localização dos pontos descritos em campo.

6.2 TRABALHO DE CAMPO

Durante o trabalho de campo foram descritos e documentados 21 pontos. As vias de acesso se mostraram de bom acesso facilitando as condições de trabalho.

As áreas das encaixantes apresentam relevo cupuliforme (figura 12a) e foram descritas como metagranitóides monzograníticos porfiríticos com foliação marcada pelo alinhamento de k-feldspato e mica (figura 12b). Há presença de xenólitos máficos milonitizados (figura 12c) e de injeções graníticas leucocráticas isotrópicas (figura 12d). Os pontos descritos afloram como cortes em estrada, pequenos lajeados e campo de matacões.

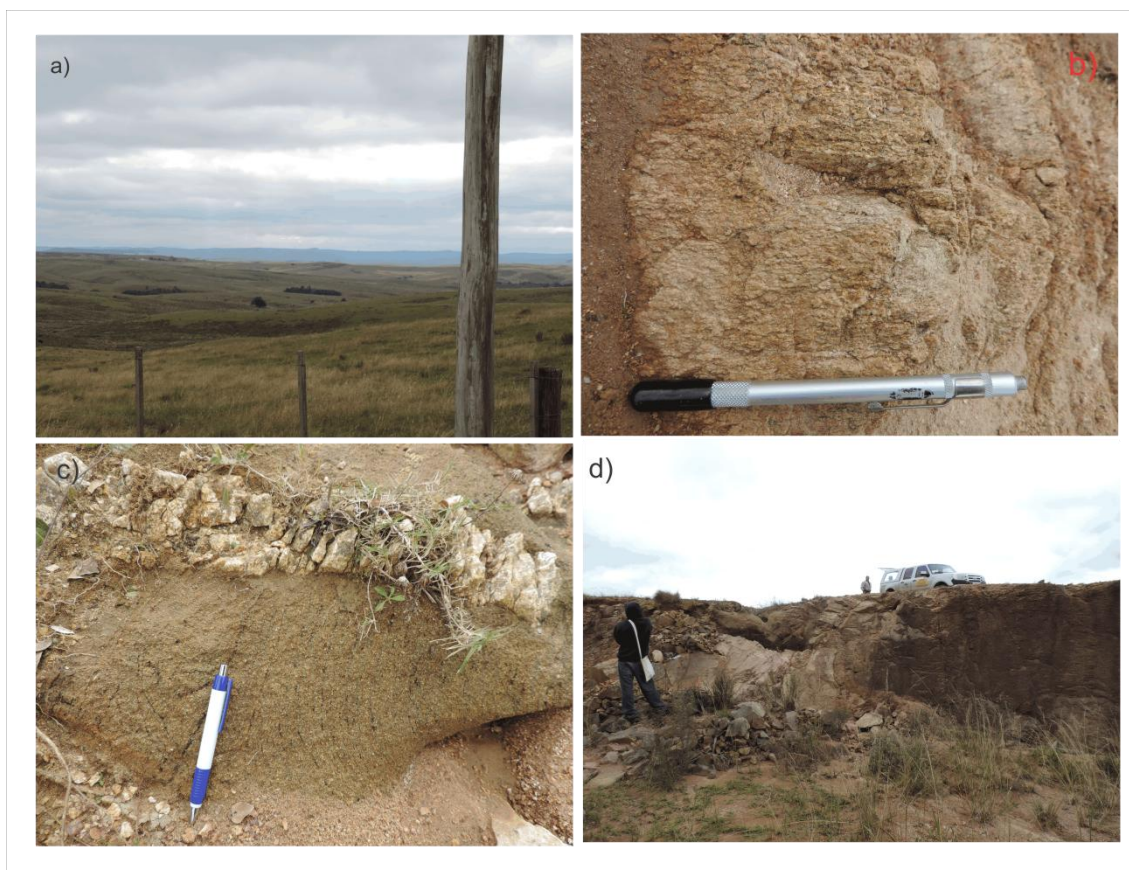


Figura 12- Características das encaixantes da Formação Jaguarão. a) relevo cupuliforme ao fundo crista da zona de cisalhamento Erval. b) Granitóide milonitizado. c) xenólito cortado por injeção leucocrática. d) injeção leucocrática cortando associação de granitóide milonítico com xenólito.

As rochas da Formação Jaguarão compõem área fortemente aplainada (figura 13a). Afloram como lajeados extensos em morros e drenagens (figura 13 b). Próximo as área de contato de acordo com o mapa geológico elaborado ocorrem rochas vulcânicas compostas por blocos arredondados de rocha vulcânica em matriz vitrea argilizada. Possuem cor que varia de preta a cinza-escuro em amostra de mão. Foram caracterizadas como rochas vulcânicas porfíricas afaníticas com a presença de diversos tipos de xenólitos (figura 13 e). Apresentam disjunções planares verticais encurvadas (figura 13 c) e outras características comuns a rochas de natureza vulcânica como, por exemplo, disjunções verticais e horizontais (figura 13d) sendo as primeiras as mais recorrentes. Ainda, apresentam pares de fraturas Riedel (13 f) que comprovam o prosseguimento da atividade tectônica na região após a cristalização do material vulcânico efusivo.



Figura 13- a) áreas correspondentes a Formação Jaguarão extremamente aplainadas. b) lajeado contínuo na drenagem, característica recorrente desta unidade. c) disjunções planares verticais paralelas com encurvamento. 15d) disjunções horizontalizadas. 15e,f Xenólitos de tamanhos variáveis hospedados nestas lavas.

Durante o trabalho de campo, foi possível identificar quatro fácies nas rochas vulcânicas. Para separar as facies foram utilizados critérios de granulometria, presença de xenólitos e elementos arquiteturais vulcânicos presente nos afloramentos. A descrição das *fácies* vulcânicas identificadas nesta unidade litoestratigráfica foi realizada com o objetivo de entender um pouco melhor o tipo de vulcanismo que deu origem a estas rochas.

A primeira *facies* identificada ocorre nas porções mais baixas e planas do relevo, na forma de extensos lajeados nas drenagens. Apresenta grau de cristalinidade elevado, sendo porfírica fina. Exibe estruturas verticais planares paralelizadas e com curvatura bem pronunciada. Foram descritos xenólitos, principalmente de material quartzoso. Esta *facies* pode ser melhor observada no ponto 18 (figura 14a). Foi interpretado que esta *facies* seria adequada para a coleta de material herdado transportado pelas lavas.

A segunda *facies* descrita também ocorre em área relativamente plana e baixa, porém em cotas um pouco mais elevadas do que a *facies* 1. É caracterizada por fragmentos angulosos e arredondados, com aspecto de reabsorção, cimentados por matriz vulcânica afanítica. Os fragmentos são principalmente xenólitos de embasamento (rochas quartzo-feldspáticas foliadas ou não e milonitos) de tamanho maior, podendo chegar até 15cm. A melhor exposição foi observada no ponto 19 (Figura 14b).

A terceira *facies* aflora nas porções mais elevadas, porém com relevo suave ou em terrenos com picos mais agudos embora arredondados. É caracterizada por rochas vulcânicas de granulometria menor, cinza escura a preta afanítica. Esta *facies* não evidenciou em campo a presença de xenólitos. Foi considerada em campo como amostra potencial para datação dos eventos vulcânicos.

A quarta *facies* aflora em cotas intermediárias e foi descrita em áreas localizadas próximas aos contatos geológicos com as unidades do embasamento. É caracterizada por fragmentos (cerca de 30cm) vulcânicos afaníticos finos, arredondados, imersos em material vulcânico muito fino argilizado (figuras 14e,d). Esta *facies* não foi amostrada para zircão e para confecção de seções delgadas.



Figura 14- Facies descritas na Formação Jaguarão- a) *facies* porfíritica fina com estruturas planares verticalizadas encurvadas. b) *facies* composta por fragmentos de xenólitos angulosos e arredondados por reabsorção. c) e d) *facies* composta por fragmentos angulosos cimentados por material vulcânico extremamente fino e com pronunciada alteração intempérica.

6.3 PETROGRAFIA DA FORMAÇÃO JAGUARÃO

Macroscopicamente as amostras apresentam tons cinza escuro, textura porfíritica com matriz afanítica, com fenocristais ripiformes brancos de plagioclásio. Apresentam com frequência vidro vulcânico na matriz. Todas as amostras descritas apresentaram xenólitos e xenocristais bem preservados. Os xenólitos são fragmentos de rocha ou cristais que apresentam formas que variam de arredondadas até angulosas.

Foram selecionados quatro pontos para a confecção de 6 seções delgadas que foram realizadas com o objetivo de se descrever e documentar as texturas destas rochas. Os pontos selecionados foram 08, 11, 18 (três lâminas) e 19.

As rochas vulcânicas apresentam textura porfirítica muito fina (Figura 15a) a fina (figura15b). Apresentam fenocristais (entre 0,2mm 0,8mm) e microfenocristais (entre 0,01m 0,08mm) de ortopiroxênio (hipersteno) e plagioclásio (Figura 15c e 15d), a matriz da rocha é geralmente vítrea.

Para melhor compreensão, os resultados petrográficos das rochas vulcânicas foram separados em paragênese vulcânica e fragmentos herdados. Foi tentativamente buscado estabelecer uma relação entre estes. Na paragênese vulcânica foram descritas as seguintes espécies minerais: plagioclásio, hipersteno e como minerais acessórios magnetita, ilmenita, apatita, cordierita e matriz vítrea coalescente. Os fragmentos identificados foram de rochas quartzo-feldspáticas, genericamente denominados de granitóides, e xenocristais de plagioclásio e quartzo (cristalino e mosaico).

6.3.1 Paragênese vulcânica

O plagioclásio associado a paragênese mineral vulcânica se divide em fenocristais (0,2mm e 0,8mm) e microfenocristais (0,03mm e 0,08mm). Os fenocristais são euédricos de hábito prismático alongado, formam cumulos monominerálicos ou estão associados a hipersteno gerando uma textura glomeroporfirítica. Localmente observa-se textura esquelética com interstícios preenchidos por vidro vulcânico evidenciando processo de rápido resfriamento (similar a *quench texture*). Também foi observado orientação de fenocristais caracterizando textura traquítica. Corrosões e inclusões de vidro ao longo do plano de macla e fratura podem ser comuns. O plagioclásio pode estar incluso em hipersteno. Os microfenocristais variam de euédricos a subédricos, podem ser ripiformes ou ter proporção 1x1. Apresentam contatos retos com as porções vítreas, compondo assim, junto com microfenocristais de hipersteno e vidro, a matriz da rocha.

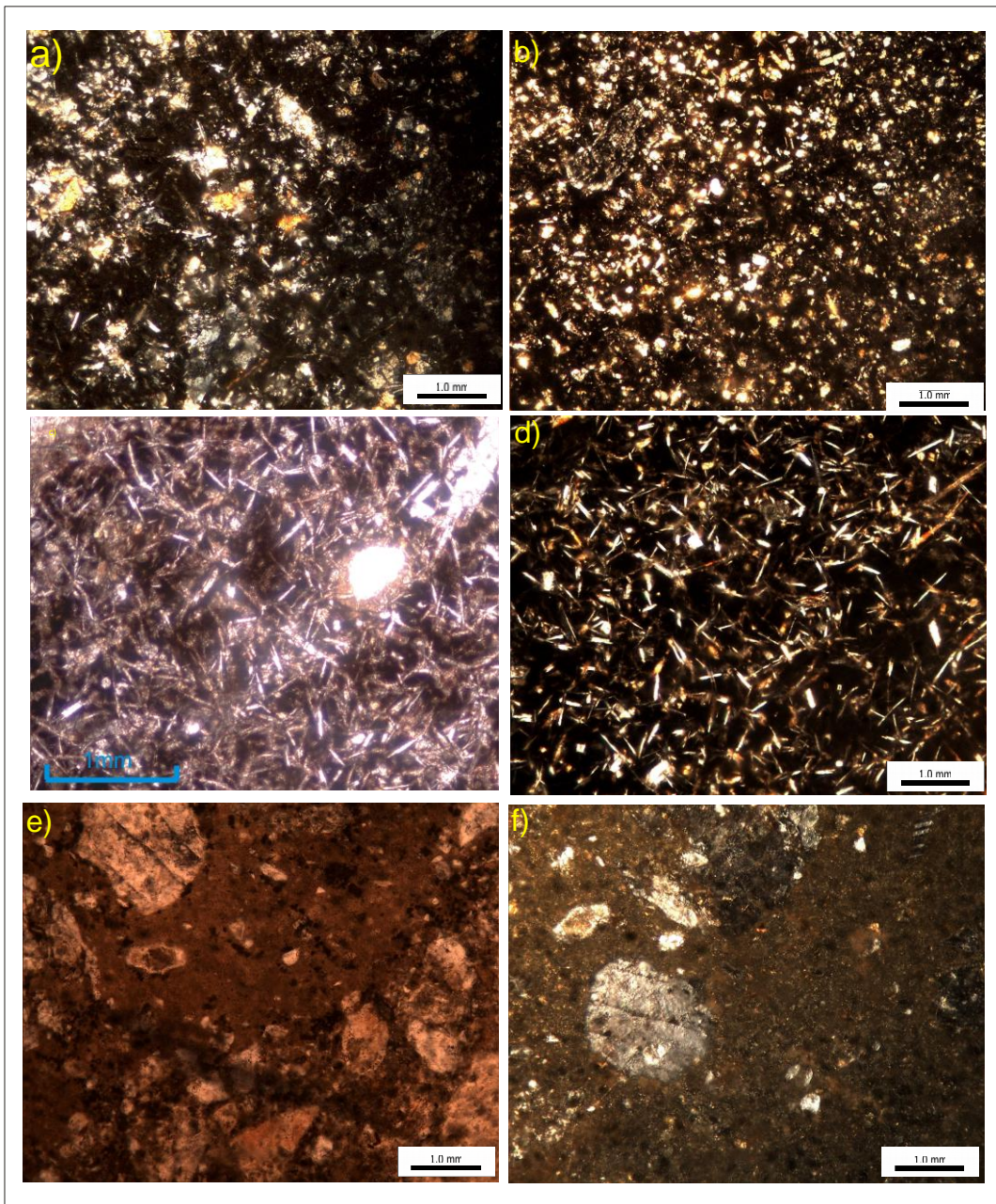


Figura 15- Fotomicrografia das principais texturas das rochas da Formação Jaguarão. a,b,d,f Luz Polarizada. c,d Luz Natural.

O ortopiroxênio associado a paragênese vulcânica também foi dividido em fenocristais (0,2mm e 0,4mm) e microfenocristais (0,03mm e 0,15mm). Os fenocristais são euédricos a subédricos, formam cumulos de cristais pórfiros monominerálicos ou poliminerálicos quando se apresentam associados a plagioclásio. Inclusões de magnetita e vidro são comuns. Os microfenocristais variam de subédricos a euédricos, apresentam aspecto límpido e bordas retas, evidenciando equilíbrio com a matriz.

A matriz vítrea amorfa apresenta-se coalescente e encontra-se em associação com os microfenocristais, também pode ocorrer preenchendo fraturas de fenocristais e xenocristais de plagioclásio. Próxima a xenólitos reabsorvidos de quartzo, a matriz está silicificada, menos alterada podendo englobar e aprisionar fenocristais de plagioclásio e piroxênio.

6.3.2 Xenólitos

A presença de xenólitos se mostrou frequente em todas amostras descritas. É caracterizada por litoclastos ou xenocristais individuais tendo diferentes níveis de reabsorção pelo material vulcânico. Também podem ser fragmentos grandes angulosos com feições de reabsorção em matriz vítrea extensamente argilizada (figura 15e e 15f).

Os xenólitos classificados como litoclastos foram interpretados como fragmentos de milonitos quartzo-feldspáticos e quartzitos (quartzo mosaico, na figura 16a, b e d). Os xenólitos miloníticos são arredondados com aspecto de reabsorção. Apresentam foliação marcada pelo alinhamento da biotita, quartzo e feldspato alcalino e, ao longo do plano de foliação, ocorrem pequenas injeções de material vulcânico (figuras 15e,15f),

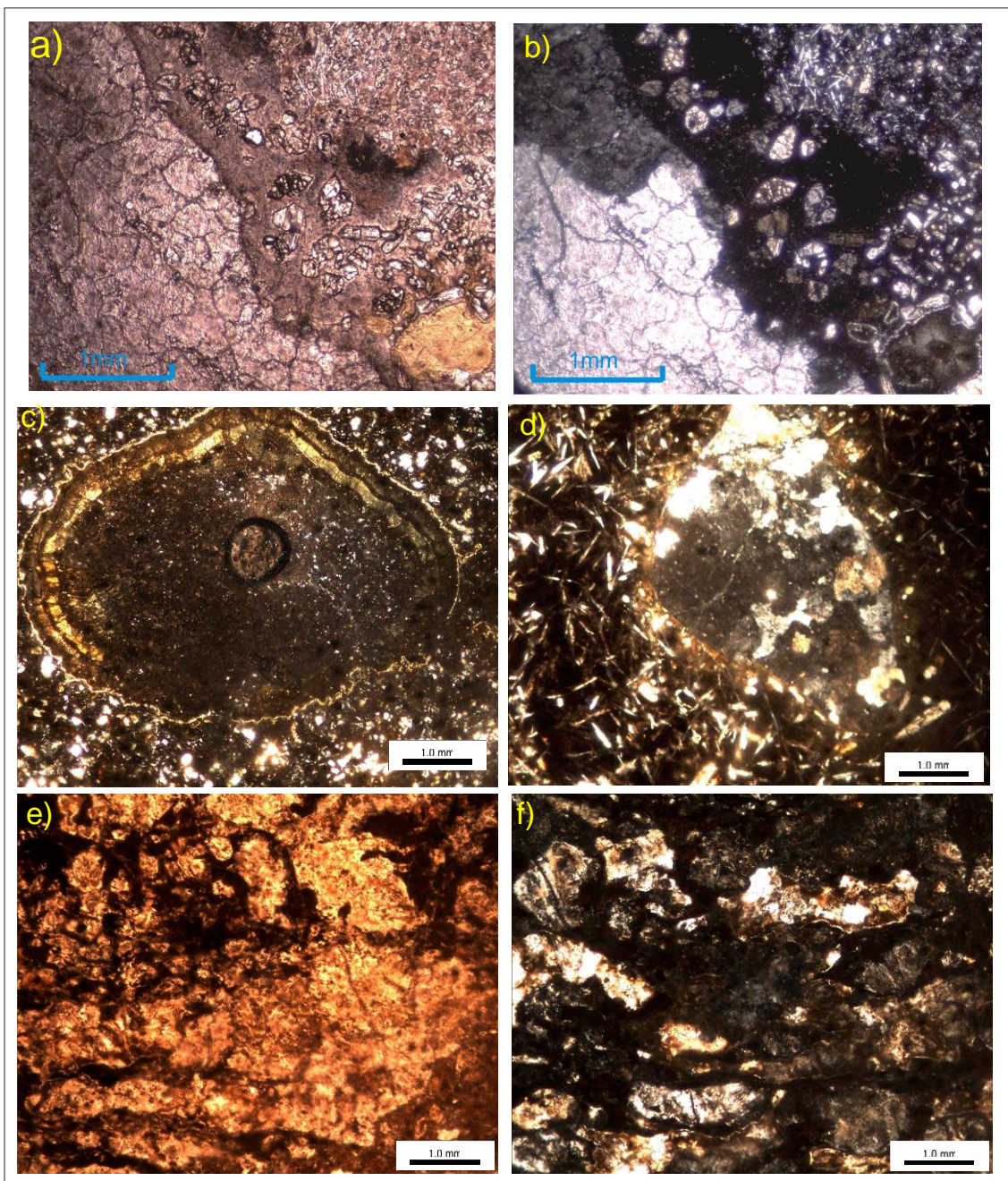


Figura 16- "a" e "b" xenólito de quartzítico com textura granoblástica poligonal 120° com a aureola vulcânica de reação (LN e LP). "c" xenolito de quartzo com substituição por vidro vulcânico silicificado e borda residual (LP). "d" xenólito de quartzo em mosaico com aureola de hipersteno grande em matriz com textura traquítica (LP). "e" e "f" foliação marcada pelo alinhamento de quartzo feldpato e mica (biotita) formando foliação milonítica em xenólito hospedado nas rochas da Formação Jaguarão.

Os xenólitos de quartzitos podem variar de alguns milímetros em lâmina até cerca de 20cm em escala de afloramento. São francamente arredondados e em alguns casos até esféricos, apresentam forte caráter de assimilação e digestão pelo material vulcânico. O material vulcânico pode percolar os contatos dos cristais e fraturas dos xenólitos gerando um material vítreo

silicificado que pode substituir parcialmente ou completamente o interior do xenólito, até sobrar praticamente a parte externa do mesmo.

Ao redor dos xenólitos foi observada a formação zona de reação com formato de aureola. Na parte interna desta aureola imediatamente no contato com os xenólitos cristalizam microfenocristais de hipersteno disposto de forma radial ou imbricada. Na porção intermedirária desta auréola ocorre material vítreo. Na parte externa, ocorrem cumulados de fenocristais de hipersteno.

Os xenocristais descritos são na sua maioria de plagioclásio, também foi observado clinopiroxênio. Os plagioclásios (1mm-2,5mm) (figura 17a) apresentam-se parcialmente assimilados com inclusões de vidro ao longo das maclas, podendo ainda ter concentração de vidro no núcleo dos cristais e bordos livres de inclusões. Os xenocristais de clinopiroxênio (diopsídio) apresentam formato prismático alongado com alta birrefringência. Quando estão associados a feldspatos apresentam textura serrilhada (figura 17b).

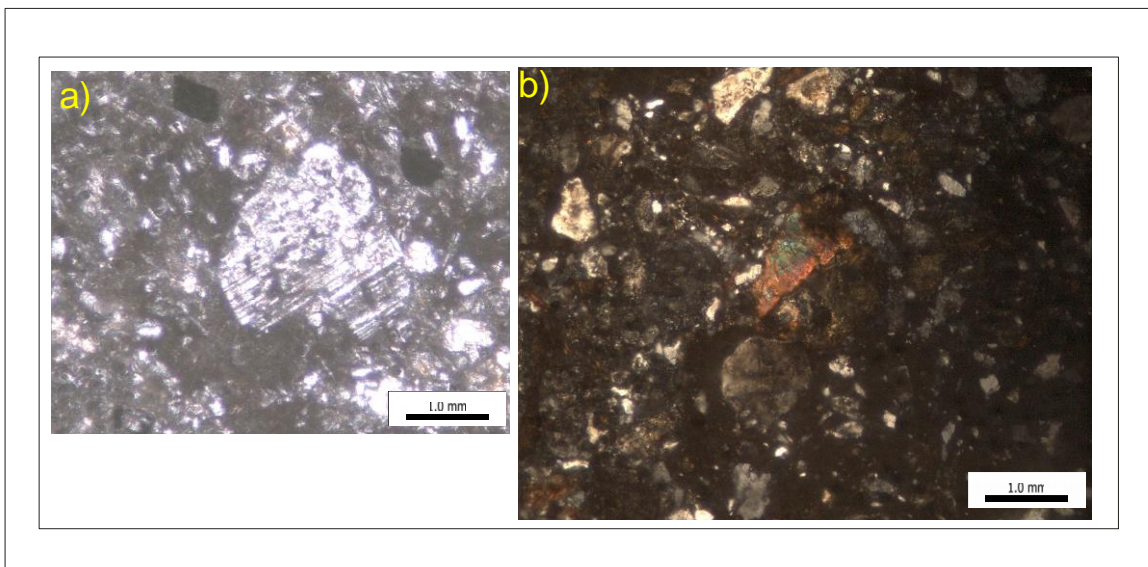


Figura 17- Espécies de xenocristais encontradas na Formação Jaguarão. 13a Xenocristal de plagioclásio em matriz porfirítica afanítica (JG18) LP. 13b Xenocristal de diopsídio e outros fragmentos de rochas e cristais cimentados por matriz vítreo extensamente argilizada. LP (JG19).

6.4 PETROGRAFIA E IMAGEAMENTO DOS ZIRCÕES POR MEV

A partir da caracterização petrográfica foram selecionadas três amostras (JG08, JG11, JG18) para a separação dos zircões. Os *mounts* foram analisados em lupa e microscópio e imageados previamente para uma descrição geral dos grãos. Posteriormente, foram imageados em detalhe por catodoluminescência e elétrons retro-espalhados.

Primeiramente os grãos foram descritos na lupa e microscópio. Os grãos são incolores (podendo ter tonalidades acastanhadas e rosas). Apresentam brilho adamantino e tamanhos e formas variadas (Figuras 18 e 19).

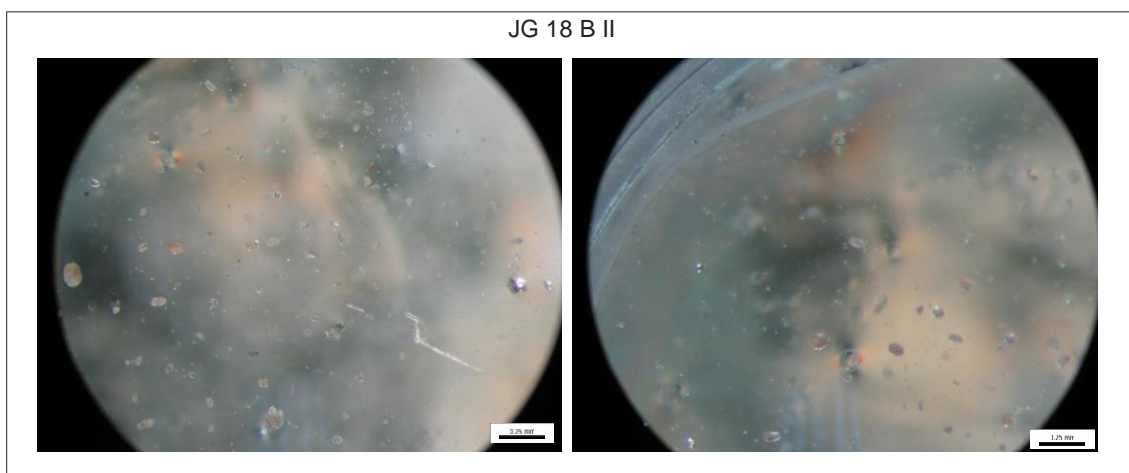


Figura 18- Fotografia da mount JG18BII em lupa binocular.

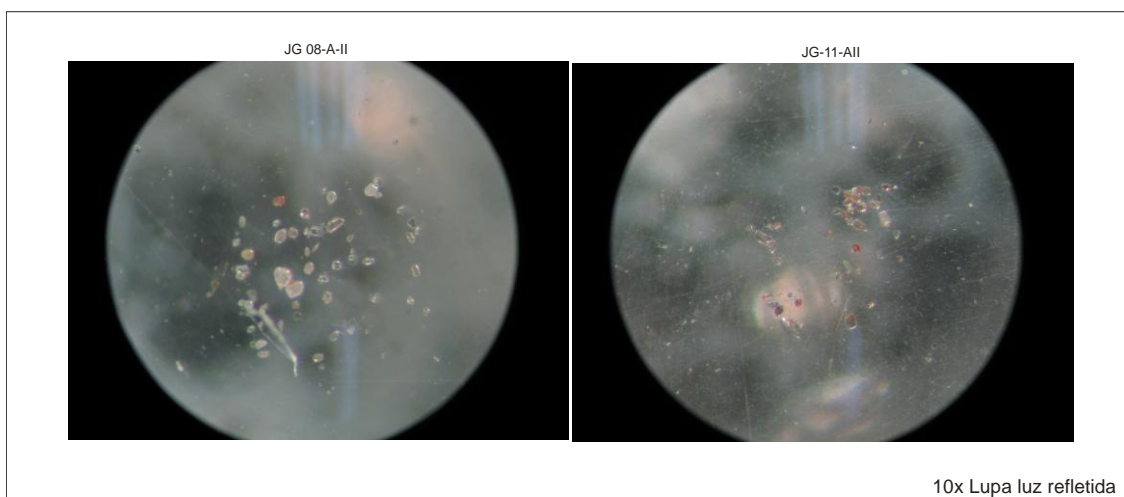


Figura 19 - Fotografia de lupa dos mounts JG08AII e JG11AII.

Uma parte dos grãos é composta por cristais arredondados podendo ser esféricos também, variando de 40 μ m a 200 μ m. São incolores e alguns grãos apresentam-se foscos e outros com texturas de metamictização. Foram

observados minerais avermelhados inclusos, dentro deste grupo também se buscou inserir aqueles grãos com hábito prismático preservado porém com intenso arredondamento nas bipirâmides dos cristais. Os grãos que apresentam estas características foram classificados no grupo 1.

A outra parte dos grãos é composta por cristais euédricos, extremamente límpidos, com formas bipiramidais (por vezes fragmentados), apresentam proporção de 4x1 e 3x1, frequentemente apresentam inclusões de minerais opacos de coloração preta. Os cristais que se encaixam nestas definições foram definidos no grupo 2.

Após a etapa de descrição em sistemas óticos de magnificação, descreveu-se cristais de zircão com auxílio de MEV. Inicialmente os grãos foram imageados com pouca magnificação para descrição global das populações.

Através da análise das imagens retroespalhadas e de catodoluminescência, foi possível analisar as características dos grãos.

Os grãos do grupo 1 (Figura 20) variam de 30 μ m a 170 μ m. O grupo 1 pode ser subdividido em três populações. A população 1 é constituída por cristais que apesar de apresentar arredondamento nas bordas, tem baixa esfericidade. Estes, apresentam zonação bem desenvolvida e fraco fraturamento. A segunda e a terceira população são compostas por grãos arredondados e com maior esfericidade. A diferença é que os grãos da população 2 são zonados, fraturados e frequentemente tem trilhas de pequenas inclusões. Alguns apresentam metamictização e outros porosidades. A população 3 é formada por grãos sem zonação e com pouco fraturamento. Alguns grãos desta população apresentam núcleos herdados zonados ou não.

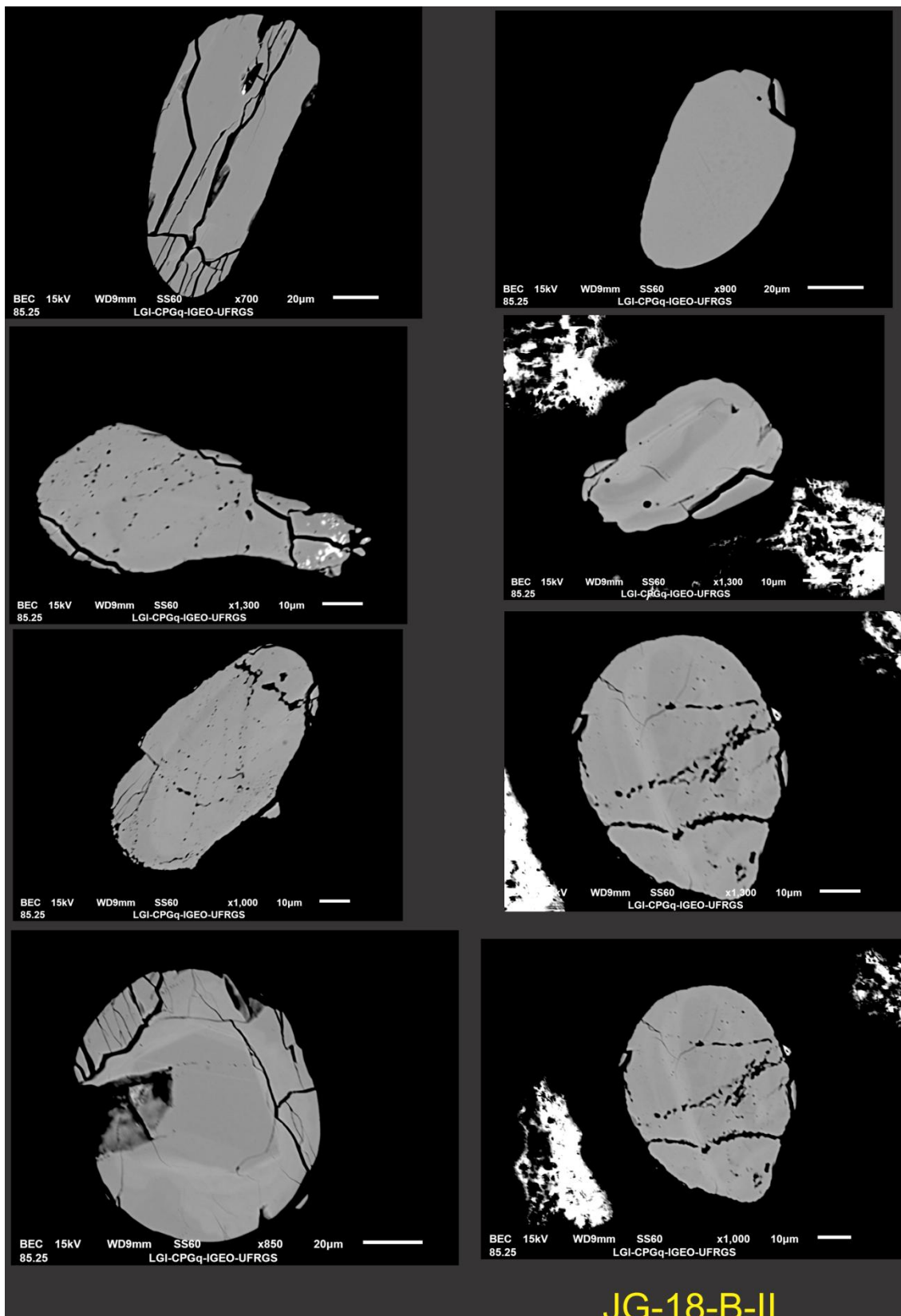


Figura 20- Mosaico compostos exclusivamente por grãos do grupo 1.

Os zircões do grupo 2 apresentam arestas retas, formato 2x1 a 3x1, o eixo Z dos cristais mede em média 80 micrometros e o eixo x mede em média

25 micrometros. Alguns grãos formam geminação de cristais paralelo ao eixo Z (figura 21). Podem ser caracterizados por zircões fragmentados com arestas retas com inclusões de um mineral acicular da ordem de $2\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ micrometros e outros tipos de inclusões (figura 22).

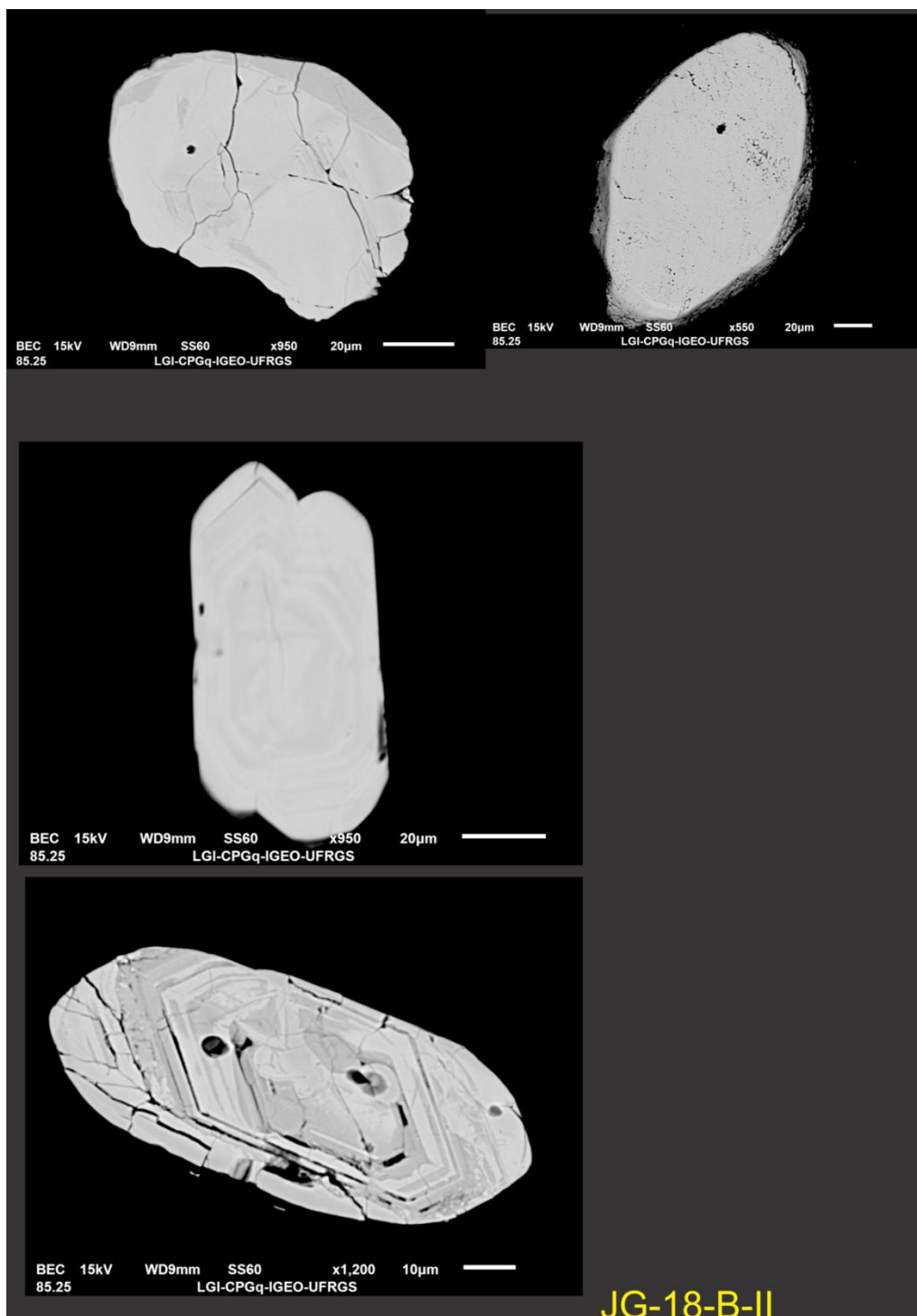


Figura 21 Cristais do grupo 1 no topo da imagem e cristal geminado ao centro da imagem. Elétrons retro-espalhados

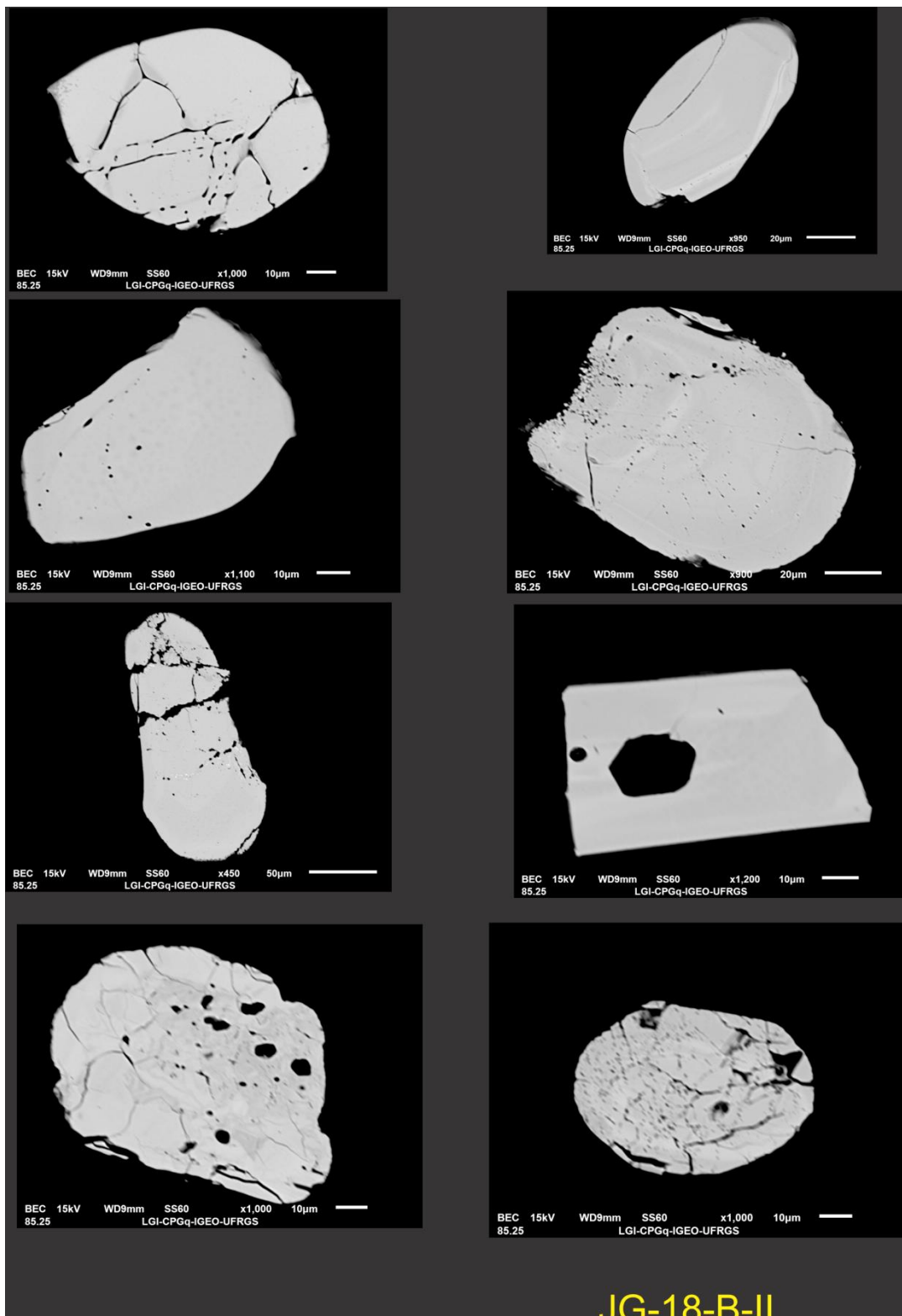


Figura 22- Grãos do grupo 1. A exceção do 3 grão da coluna da esquerda de cima para baixo representante característico do grupo 2. Elétrons-retroespalhados

Em imageamentos de catodoluminescência (Figuras 23 e 24) os grãos do grupo 1 apresentaram zonações bem desenvolvidas principalmente entre os grãos da população 1. A população 2 apresentou zonação e núcleos complexos em alguns grãos. A população 3 se apresentou homogênea. Os grãos do grupo 2 apresentaram baixo sinal para esta técnica de imageamento.

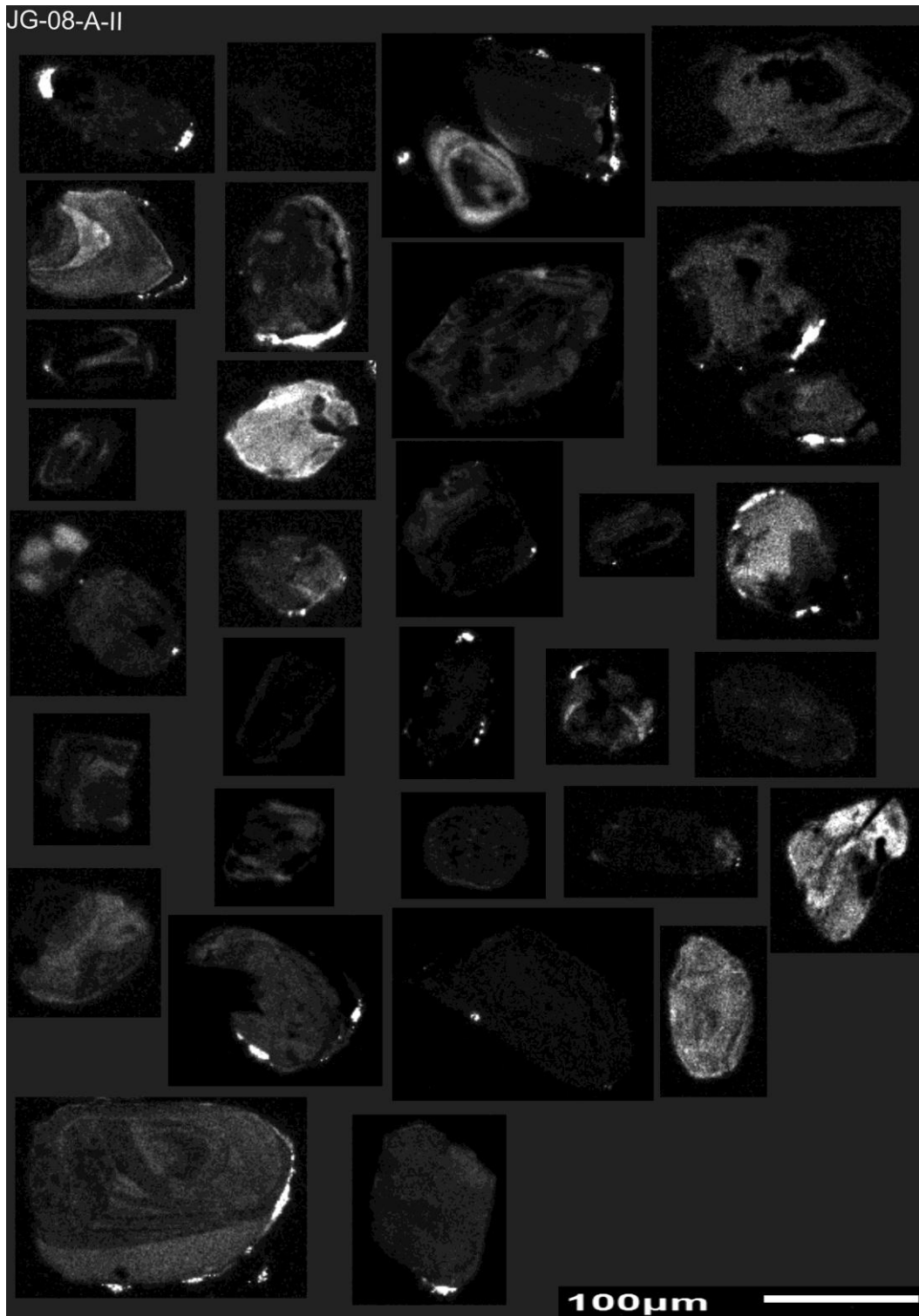


Figura 23- Fotomosaico de imageamento por catoluminescência. Evidenciando as principais estruturas internas dos grãos.

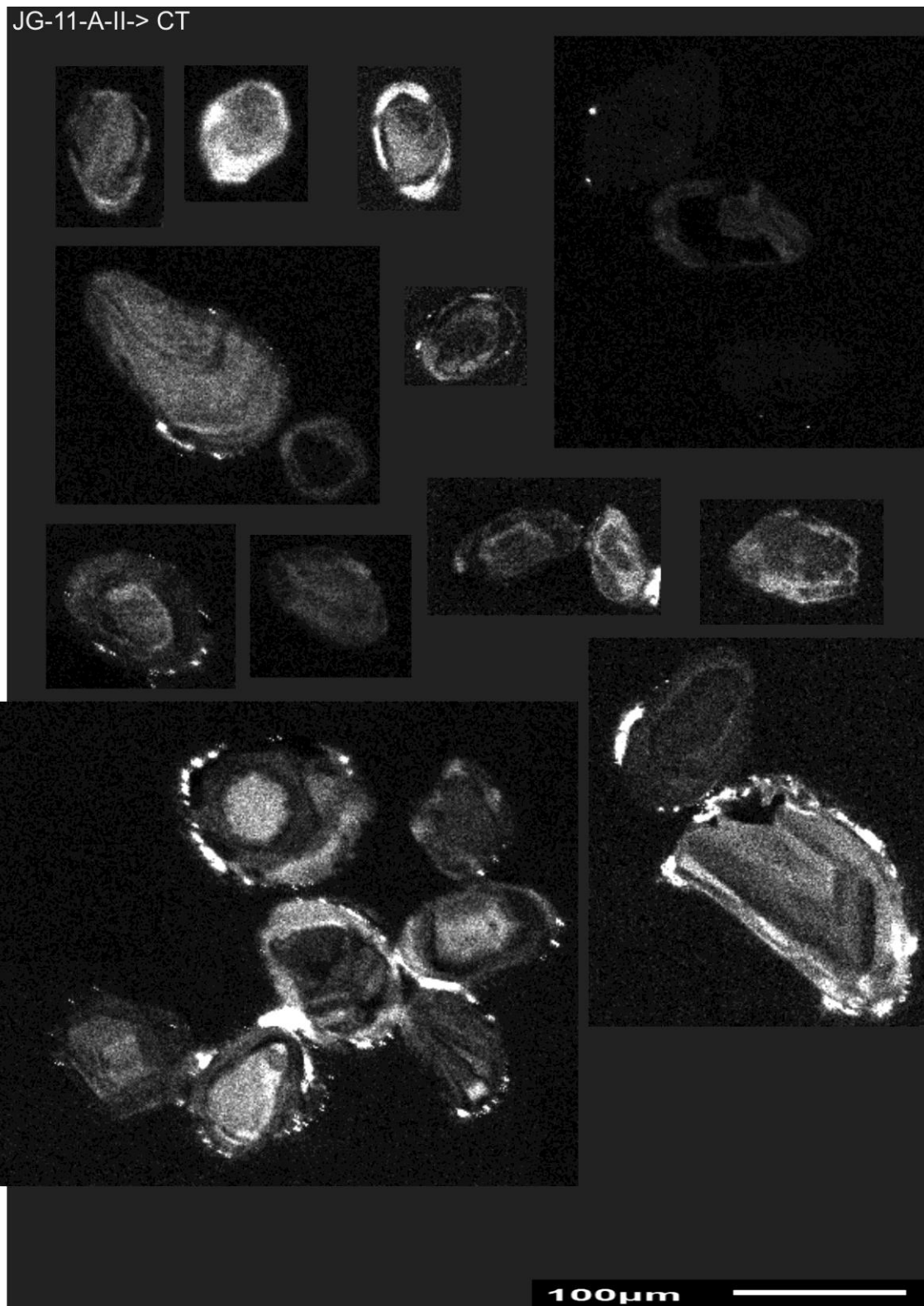


Figura 24- Fotomosaico de imageamento por catodoluminescência.

7 DISCUSSÕES

Vieira Jr. e Roisenberg (1987) através, de cálculos de modelamento magmático demonstraram a inviabilidade da derivação das rochas vulcânicas de Jaguarão a partir de basaltos toleíticos do Grupo Serra Geral e de rochas básicas alcalinas de rifte. Através das análises dos dados litoquímicos propuseram que a gênese das lavas está relacionada com fusão de crosta continental de composição química intermediária ou de sequências meta-sedimentares aluminosas. Vieira Jr. e Roisenberg (1987) propuseram a correlação com a bacia de Pelotas e a Bacia da Lagoa Mirim. Definiram as rochas da Formação Jaguarão evoluídas em ambiente marginal de bacia. As idades modelo apresentadas por Comin-Chiaramonti et al. (2010) a partir de dados isotópicos de Nd são da ordem de 2,12 Ga, o que corrobora com a idéia de fusão crustal. Estes autores inclusive demonstram que há cristalização de cordierita, o que atesta magmas muito ricos em alumínio. Por outro lado, estes autores sugerem uma fusão por fricção ao longo de falhas normais.

As litologias alcalinas registradas na porção uruguaia da Bacia da Lagoa Mirim constituem um elemento que corrobora para uma evolução similar aos riftes do Leste africano (Roisenberg *et al.* 1980). A figura 25 exemplifica um modelo de rifte do Vale Central da Etiópia (Corti 2012) que poderia representar uma situação parecida com o que se espera na região da Lagoa Mirim e de Jaguarão segundo Vieira Jr. e Roisenberg (1987).

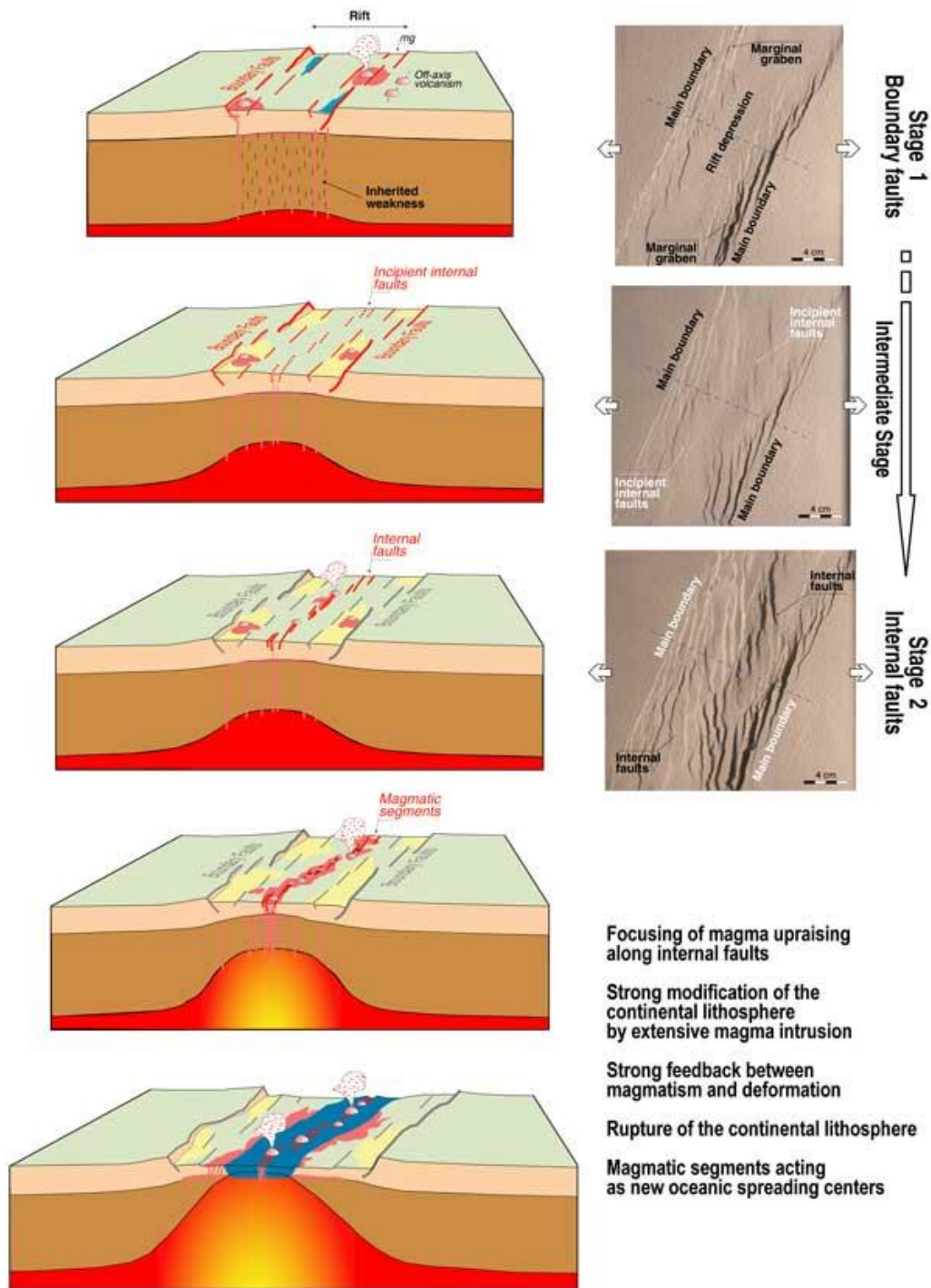


Figura 25- Modelo de rifte do Vale Central da Etiópia (Corti 2012)

De acordo com Rossello (2000) o Lineamento Santa Lucá-Aiguá-Mirim constitui um corredor estrutural de direção geral NE com movimento transcorrente dextral com mais de 450km de largura, que atravessa a área cratônica do sudeste do Uruguai desde a foz do Rio de la Plata até a Lagoa Mirim onde desenvolve depocentro do tipo "pull-apart" (Lagoa Mirim e Santa Lucía). O Lineamento Santa Lucía-Aiguá-Mirim exhibe três seguimentos

limitados por falhas regionais N-S. Os seguimentos são sudeste, intermediário e nordeste. O seguimento sudeste é preenchido por sedimentos. O seguimento intermediário é caracterizado pelo levantamento do embasamento com remanescentes vulcânicos e sedimentos mesozoicos. O seguimento nordeste mostra desenvolvimento importante de magma alcalino eocretáceo e o posicionamento da bacia da Lagoa Mirim preenchida por material essencialmente vulcânico mesozóico. O Lineamento Santa Luciá-Aiguá-Mirim foi interpretado como um aulacógeno. Este corredor estrutural poderia ter relação com o vulcanismo de Jaguarão sendo um evento capaz de gerar fricção com energia suficiente para causar fusão crustal.

Recentemente, Rosa (2010) realizou estudos gravimétricos e magnetométricos na região da Lagoa Mirim. Foram descritas anomalias positivas gravimétricas e de campo magnético residual na região próxima a Jaguarão. Com base em dados geofísicos elaborou seção geológica mostrando a relação de rochas vulcânica mesozóicas com o embasamento cristalino. Na figura 26 é apresentado seção geológica idealizada para a área.

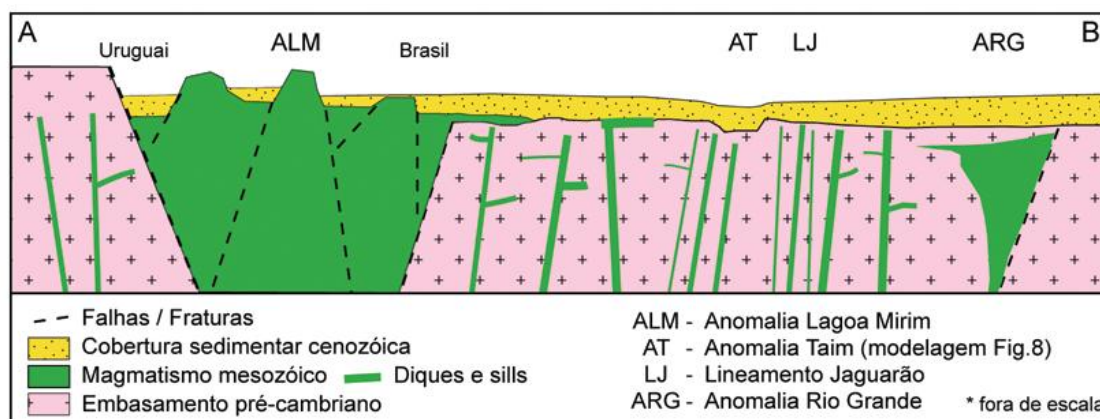


Figura 26- Seção geológica proposta por Rosa (2010) mostrando a relação entre as rochas vulcânicas mesozóicas e o embasamento, e o embasamento cristalino, esta seção foi baseada em gravimetria e magnetometria.

As áreas caracterizadas por rochas da Formação Jaguarão apresentam-se balizadas por lineamentos NE e NW (CPRM, 2006) que pode formar uma espécie de retângulo ao redor destas litologias. Esses lineamentos são caracterizados por falhas normais que geram um bloco retangular rebaixado

(Rossello, 2000). Durante o rebaixamento é possível que o abatimento deste bloco tenha gerado uma força de empuxo causada sobre reservatórios magmáticos pelo pressionamento litosférico do bloco descendente. Estes reservatórios magmáticos foram gerados por anomalias térmicas existente na região durante aquele período que fundiram porções inferiores da crosta continental. É possível que este magma tenha ascendido até a superfície ao longo de paredes laterais de falhas normais verticalizadas que delimitam as bacias do tipo “pull apart”.

A viscosidade das lavas apresenta forte influência sobre as formas vulcânicas que serão desenvolvidas. Com base no teor de sílica e temperatura de cristalização estimadas disponíveis na bibliografia (Vieira Jr. e Roisenberg, 1987; Comin-Chiaramonti et al. 2010), tabela para estimativa da viscosidade (Gill, 2010) e o baixo teor de voláteis foi constatado que as rochas da Formação Jaguarão apresentam viscosidade de média a alta (10^6 Pa s), sugerindo assim a formação de lavas dômicas.

As rochas vulcânicas intermediárias a ácidas pobres em voláteis extrusivas podem resultar em formas vulcânicas dômicas. A elevada viscosidade da lava a impede de avançar muito adiante do seu conduto vulcânico, então ela tende a se empilhar acima de seu conduto vulcânico formando domos (figura 28). Blocos de lava quente próximos a superfície do domo desprendem-se das porções mais elevadas do domo e rolam pelo flanco do mesmo gerando um depósito de brecha ao redor das margens do domo. Também são caracterizados depósitos de cinza na parte mais externa ao domo de lava. Picos no topo do domo também são comum (Nelson, 2012). Em eventos vulcânicos intermediários a ácidos normalmente as fases iniciais são caracterizadas por evento explosivos podendo formar brechas com fragmentos angulosos cimentados por matriz (Gill, 2010).

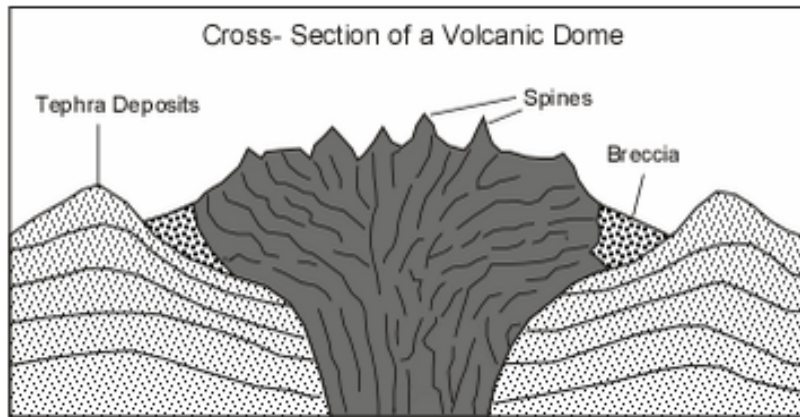


Figura 27 - Seção tipo de um domo de lava. (Nelson, 2010)

A *facies* porfirítica fina com estruturas verticalizadas encurvadas descritas no campo podem ter sido gerada por processos de ascensão vertical de magma para o interior do domo. Esta ascensão de magma para o interior do domo seria responsável pelo seu aumento de volume podendo ter gerado deslocamento de lava mais próxima à superfície (solidificação incipiente) no flanco do domo.

A *facies* caracterizada por brecha com fragmentos do embasamento cimentado por matriz argilizada podem ser os primeiros registros da atividade vulcânica que deu origem a Formação Jaguarão. Sugerem o brechamento do embasamento no início da atividade vulcânica sendo plausível erupção explosiva do tipo freato-magmática. Esta brecha poderia ser classificada como uma brecha piroclástica xenolítica.

A *facies* caracterizada por rochas porfiríticas muito finas afaníticas com ocorrência de xenocristais restrita as seções delgadas podem estar caracterizando porções mais elevadas do domo. Esta *facies* é caracterizada por formar morros agudos circulares. Estes podem ser os picos característicos dos domos deste tipo de vulcanismo.

A *facies* caracterizada por blocos de rocha vulcânica arredondada em matriz fina descrita próxima ao contato pode ser interpretada como blocos de lava semi-solidificados que rolaram pelo flanco do domo até as margem deste,

onde previamente já havia material vulcânico fino (cinza) depositado formando assim uma brecha piroclástica.

Os elementos arquiteturais descritos em campo, associados a macro e micro formas de relevo, e as características petrográficas possibilitam associar a Formação Jaguarão com um modelo vulcânico do tipo Domo de Lava.

Os zircões da Formação Jaguarão dividiram-se em dois grupos morfológicos diferentes. O grupo 1 caracterizado pelos zircões com algum tipo de arredondamento e o grupo 2 caracterizado pelos grãos euédricos/subédricos com arestas retas.

Os grãos do grupo 1 podem ser interpretados como xenocristais. Foram reconhecidas três populações neste grupo. A morfologia (zonação e forma) dos zircões da população 1 sugere uma origem magmática para estes grãos. As populações 2 e 3 podem ser relacionadas com rochas metamórficas. O forte arredondamento e esfericidade dos grãos sugere uma possível fonte original sedimentar.

Os grãos do grupo 2 composto por zircões euédricos com arestas retas e por fragmentos podem apresentar inclusões e são interpretados como potenciais cristais gerados durante o episódio vulcânico.

Foram selecionados grãos dos dois grupos para datações futuras. Espera-se obter idades da cristalização das rochas vulcânicas da Formação Jaguarão e idades de xenocristais de zircão nestas lavas.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre o Jurássico e o Cretáceo, durante os processos de fragmentação do Gondwana se instala uma reativação de zonas de cisalhamento Neoproterozóicas no Uruguai e na porção sul do Rio Grande do Sul. Esta reativação apresenta movimento destal e gera um ambiente tectônico transtensivo gerando bacia do tipo "*pull-apart*".

As anomalias geotérmicas abaixo da litosfera continental geram fusão sobre a mesma criando reservatórios magmáticos fundidos à partir de crosta continental. Este material ascende na crosta circundante carregando junto xenocristais e xenólitos das rochas que fundiram e deram origem as lavas da Formação Jaguarão e das encaixantes, entre eles xenocristais herdados de zircão.

Ao chegar a superfície este magma viscoso forma domos de lava, e um vulcanismo que apresentou características de caráter efusivo e explosivo. Este magma também pode ter cristalizado cristais de zircão.

Dados Geocronológicos U/Pb em zircão que serão obtidos no futuro irão fornecer os dados adequados para as interpretações mais precisas. É esperado que sejam obtidas dois tipos de idades. Uma de cristalização e um outro grupo com as idades do embasamento na região.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M.; 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. Div. Geol. Min. Rio de Janeiro, 241:36p.
- Bühn, B.; Pimentel, M. M.; Matteini, M. e Dantas E. L. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS).
- Babisnki M, Chemale Jr. F., Van Schmus W.R., Hartmann L.A., Silva L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. Journal of Smith American Earth Science, 10 (3-4):263-274.
- Bossi, J & Umpierre-Urquhart, M. 1975. Magmatismo mesozoico de Uruguay e Rio Grande del Sur: sus recursos minerales asociados y potenciales. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GEOLOGIA ECONÔMICA, 2., Buenos Aires, anais. V.2, pg. 119-141.
- Bühn, B.; Pimentel, M. M.; Matteini, M. e Dantas E. L. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS).
- Carraro, C.C; Gamermann, N.; Eick, N.C; Bortoluzzi, C.A.; Jost, Hardy; Pinto, J.F.; 1974. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.
- Cesar, A.R.S.F; Figueiredo, M.C.H.; Soliani Jr.; E, Faccini, U.F.; 1986. O Batólito Pelotas (Proterozoico Superior/Eo-Paleozoico) no Escudo do RS: Anais do 34º Congresso brasileiro de Geologia, Goiânia, vol 3, pg. 1322-1343.
- Comin-Chiaramonti, P. Peraluminous lavas from Jaguarão (RS, Brazil). DICAMP: Quaderni di mineralogia, Petrografia e Geochimica Applicata, Trieste University 17, 1-15.23
- Comin-Chiaramonti *et al.*; Cordierite-bearing lavas from Jaguarão, southern Brazil: Petrological evidence for crustal melts during de early rifting of Gondwana; 2010; Gondwana Research; 2010; pg 514-527.
- CORTI G., Manetti P.. Geologia e paesaggi della rift valley in Etiopia. Edizioni CNR, Roma, 2012.
- CPRM; Mapa geológico do RS 1:750000; 2006.
- Farid Chemale Jr *et al.* ; U-Pb zircon *in situ* dating with LA-MC-ICP-MS using a mixed detector configuration; An. Acad. Bras. Ciênc. vol.84 no.2 Rio de Janeiro June 2012 Epub May 15, 2012

Frantz, J. C. ; Remus, M.V.D. ; Hartmann, L.A. . Geologic units, ages and tectonic evolution of the Neoproterozoic Dom Feliciano Belt, southern Brazil: a review. *Revista Brasileira de Geociências*, Brasília, v. 30, n.1, p. 55-57, 2000.

Frantz, J. C. ; Botelho, Nilson Francisquini. Neoproterozoic Granitic Magmatism and Evolution of the Eastern Dom Feliciano Belt in the Southernmost Brazil: A Tectonic Model. *Gondwana Research*, Japão, v. 3, n.1, p. 7-19, 2000.

Hartmann, L.A.; Chemale Jr. F.; *Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano*, in 50 anos de Geologia Contribuições 2007.

Heilbron, M; Pedrsao-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; da Silva, L.C.; Trouw, R.A.J.; Janasi, V.A. *Província Mantiqueira, 2004 in Geologia do continente Sul-Americano : evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.*

May G. E. 1990. Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil. Open University, Milton Keynes, Ph.D. Thesis, 343p.

MALISKA, Ana Maria. *Microscopia Eletrônica e micro-análise*. Apostila 2004.

Philipp, R.P. 1998. *Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências Universidade de São Paulo.

Philipp, R.P.; Machado, R.; 2001. Suítes graníticas do batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências* 31, 257-266.

Porcher, C. C. ; Macnaughton, N. J. ; Leite, J. A. D. ; Hartmann, L. A. ; FERNANDES, L. A. D. . Idade U-Pb SHRIMP em zircão do vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. In: 1o Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados, 1999, Gramado. Boletim de Resumos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1999.

Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M., Perrin, M., 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic- Cretaceous boundary. *Science* 258, 975–979.

Roisenberg, A.; Bossi, J.; Ruegg, N.R.; 1980. Mesozoic volcanism of Paraná Basin (South America): Geochemistry, petrogenesis and geotectonic evolution. In: Congress Geologique INTERNACIONAL, 26., Paris. Anais do congress vol. 1pg. 82.

ROSA ,Maria Luiza Correa da Camara; TOMAZELLI, Luiz José; COSTA, UBERTI, Antonio Flávio e BARBOZA, Eduardo Guimarães. Integração de métodos potenciais (gravimetria e Magnetometria) na caracterização do

embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. In.: revista Brasileira de Geofísica, 2009.

Rossello, E.A.; De Santa Ana, H; Veroslavsky. El linemanto Santa Lucía-Aiguá merin (Uruguay): Un corredor tectónico extensivo y transcurrente dextral precursor de la apertura atlántica. 2000

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Bossi, J., Campal, N., Schipilov, A., Piñeyro, D., McNaughton, N.J., 2003. Duration of the Trans-Amazonian cycle and its correlation within South America based on U–Pb SHRIMP geochronology of the La Plata Craton, Uruguay. International Geology Review 45, 27–48. Sato, K.; Kawashita, K. Geol. USP, Sér. cient. vol.2 no.1 São Paulo Dec. 2002.

Skoog, West, Holler, Crouch, Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., 2005. 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 136, 203–240.

Teixeira, W. 1982. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica. Folhas SH. 22- Porto Alegre, SI.22- Lagoa Mirim e SH-21- Uruguiana. Projeto RADAMBRASIL, relatório interno. Thomas et al. 1972. Levantamento Geológico das folhas presidente Barbosa, Arroio Bretanha, Jaguarão, Porto Alegre e Ponta do Juncal. Trabalho de Graduação do IG-UFRGS.

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C., Mantovani, M., 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology. Earth and Planetary Science Letters 124, 333–348.

Vieira Jr., N.; Petrologia e Geoquímica do Vulcanismo Mesozóico de Jaguarão, RS; Dissertação de Mestrado; 1985.

Vieira Jr., N e Roisenberg, A. Formação Jaguarão: uma nova unidade vulcânica mesozóica no Rio Grande do Sul Pesquisas/ instituto de Geociência da Universidade Federal do Rio Grande do Sul volume 19, 1987.