



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISES DE U-Pb POR LA-ICP-MS E SHRIMP EM ZIRCÕES DETRÍTICOS DO
COMPLEXO PASSO FEIO, TERRENO SÃO GABRIEL:
implicações geotectônicas para evolução do Cinturão Dom Feliciano**

CARINA GRACINIANA LOPES

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Marcio Martins Pimentel

Volume I

Porto Alegre – 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISES DE U-Pb POR LA-ICP-MS E SHRIMP EM ZIRCÕES DETRÍTICOS DO
COMPLEXO PASSO FEIO, TERRENO SÃO GABRIEL:
implicações geotectônicas para evolução do Cinturão Dom Feliciano**

CARINA GRACINIANA LOPES

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Marcio Martins Pimentel

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Farid Chemale Jr., Instituto de Geociências, Universidade de Brasília

Prof. Dr. Léo Afrâneo Hartmann, Instituto de Geociências, UFRGS

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título
de Mestre em Ciências.

Porto Alegre – 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

Lopes, Carina Graciniana

Análises de U-Pb por IA-ICP-MS e SCHRIMP em zircões detríticos do complexo Passo Feio, terreno São Gabriel: implicações geotectônicas para evolução do Cinturão Dom Feliciano. / Carina Graciniana Lopes. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[57 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador(es): Ruy Paulo Philipp

Coorientador(es): Marcio Martins Pimentel

1. Passo Feio. 2. Zircões detríticos. 3. U-Pb. 4. Provenance. 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

Em dedicação especial e gratidão aos que me acolhem e me apoiam todos os dias: à minha família, ao meu amor e aos meus amigos!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Marcio Martins Pimentel, pela orientação e acompanhamento nos últimos quatro anos, sempre com muito incentivo. Agradeço também ao meu co-orientador e ao final orientador Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp, pelo apoio nos trabalhos de campo e discussões.

Ao colega e amigo MSc. Leonardo Gruber agradecimento especial: obrigada pelos inúmeros bate-papos pra tira dúvidas e trocas de idéia.

Agradeço o apoio do Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação de Geociências pela infraestrutura intelecta de qualidade fornecida no formato de disciplinas de mestrado.

Ao PFRH por concessão de Bolsa de Pesquisa e verbas de apoio à campo, cursos e eventos durante todo o primeiro ano de mestrado. Foram essenciais e auxiliaram no aprendizado durante esta etapa.

À CPRM e agerencia GEREMI-SSA minha gratidão pelo apoio no momento final de elaboração de Tese e Artigo. Muito obrigada por entender a importância de concentração de esforços neste momento.

À minha família pelo apoio incondicional e pela base forte, obrigada papai, mamãe e maninhas! Aos meus amigos que são super especiais pra mim que cruzaram meu caminho pra me ajudar a segurar as pontas nos momentos de dificuldade e também me ensinar! Obrigada vocês sempre sabem me alegrar! Ao Rafa que apareceu pra mudar minha vida e me erguer, és o meu ponto de apoio! Obrigada pelo imenso amor e companheirismo! Por fim obrigada a todos vocês por estarem me ajudando nesse momento de vida nova.

RESUMO

Idades de importância regional, ou mesmo global, foram encontradas na proveniência U-Pb de zircões detríticos de metapelitos do Complexo Passo Feio. Este complexo se localiza no Terreno São Gabriel, porção oeste do Cinturão Dom Feliciano, extremo sul da Província Mantiqueira, com evolução e metamorfismo de idade Neoproterozóica. Foram analisadas quatro amostras de metassedimentos do Complexo Passo Feio, onde foram reconhecidas populações de zircões detríticos num intervalo de idades de 803 a 3637 Ma. Todas as amostras apresentaram repetição das populações meso/paleoproterozoicas e arqueanas, e a restrição da população neoproterozóica em somente uma amostra. As idades obtidas indicam que o início da sedimentação da bacia do Complexo Passo Feio tinha como fonte principal as rochas paleoproterozóicas e arqueanas do Cráton Rio de La Plata e adjacentes, caracterizando neste período uma bacia de margem passiva. A entrada de zircões neoproterozóicos na sedimentação sugerem a evolução da bacia para um retro-arco a partir da primeira geração de arcos magmáticos com o fechamento do oceano Goiás-Farusiano. Correspondem às unidades geradas na primeira fase de convergência e acreção juvenil do Cinturão Dom Feliciano, caracterizada pela orogênese que gerou o Arco Passinho, um arco de Ilhas intra-oceânico. O pico de idades neoproterozóicas sugere uma idade mínima de evolução tectônica deste arco de 948 Ma. As idades arqueanas de 3.6 Ga representa a população de zircões detríticos mais velhas encontradas no sul do Brasil.

Abstract

Ages of regional importance, or even global, were found in provenance U-Pb ages of detrital zircons from metapelites of Passo Feio Complex. This complex is located in San Gabriel Terrane, west of the Dom Feliciano Belt, southern Mantiqueira Province, with Neoproterozoic evolution and metamorphism. Four samples of metasedimentary rocks of the Passo Feio Complex were analyzed, and recognized detrital zircons populations with age range 803-3637 Ma. All analyzed samples showed repetition of meso / paleoproterozoic and Archean populations, and the restriction of Neoproterozoic population to only one sample. Ages obtained indicate that the onset of sedimentation of the Passo Feio basin had as main source the Paleoproterozoic and Archean rocks of the Rio de la Plata craton and adjacent, at this time featuring a passive margin basin. The Neoproterozoic zircons input at sedimentation suggest the evolution to a retro-arc basin, at the first generation of magmatic arcs with the closing of ocean-Farusiano Goiás. Correspond to the units generated in the first phase of convergence and accretion of juvenile Dom Feliciano Belt, characterized by orogeny that generated the Arc Passinho, an intra-oceanic arc Islands. The peak ages for Neoproterozoic suggests a minimum age of onset tectonic evolution of this arc of 948 Ma. The Archean ages of 3.6 Ga are the oldest detrital zircons population found in southern Brazil.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 : Introdução | 8 |
| 1.Estrutura da Dissertação | 8 |
| 2.Objetivos..... | 8 |
| CAPÍTULO 2 : Estado da arte..... | 9 |
| 1.Geologia da área | 9 |
| Província Mantiqueira..... | 9 |
| Cinturão Dom Feliciano e Sistemas de Arcos | 10 |
| Complexo Metamórfico Passo Feio..... | 12 |
| 2.Metodologia | 14 |
| Método Isotópico U-Pb..... | 15 |
| Geocronologia U-Pb..... | 17 |
| Espectrômetros de Massa..... | 17 |
| Preparação das amostras para espectrômetro de massa..... | 20 |
| CAPÍTULO 3 - Corpo principal da dissertação: Artigo científico | |
| Provenance of the Passo Feio Complex, Dom Feliciano Belt: implications for the tectonic setting of deposition, age of the São Gabriel Arc, and origin of Paleoproterozoic detrital zircons (3.3-3.63 Ga)..... | 22 |
| Bibliografia | 48 |
| Anexos | 52 |
| ANEXO A – Histórico Escolar completo do Aluno | 52 |
| ANEXO B – Relatório semestral do aluno PFRH 1º semestre..... | 53 |
| ANEXO C – Relatório semestral do aluno PFRH 2º semestre..... | 55 |
| ANEXO D – Relatório semestral do aluno PFRH meses Jan e Fev 2014 | 57 |

CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido a publicação em periódico internacional (Journal of South American Earth Science). Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa.
- b) Artigo submetido em periódico internacional com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pela autora durante o desenvolvimento de seu Mestrado.
- c) Anexos, compreendendo: Histórico Escolar do Aluno e Relatórios Semestrais do PFRH.

2. OBJETIVOS

Este estudo almeja expandir o conhecimento da proveniência de zircões detríticos de quatro amostras representativas dos metassedimentos do Complexo Passo Feio por meio de datações U-Pb por LA-ICP-MS e SHRIMP em zircões detríticos, a fim de identificar padrões de proveniência da bacia.

Em maior âmbito objetiva agregar as informações geradas a partir desta pesquisa e contribuir no avanço do nível de conhecimento da evolução geotectônica neoproterozóica do Terreno São Gabriel e do Cinturão Dom Feliciano na porção sul da Província Mantiqueira.

CAPÍTULO 2 : ESTADO DA ARTE

1. GEOLOGIA DA ÁREA

Província Mantiqueira

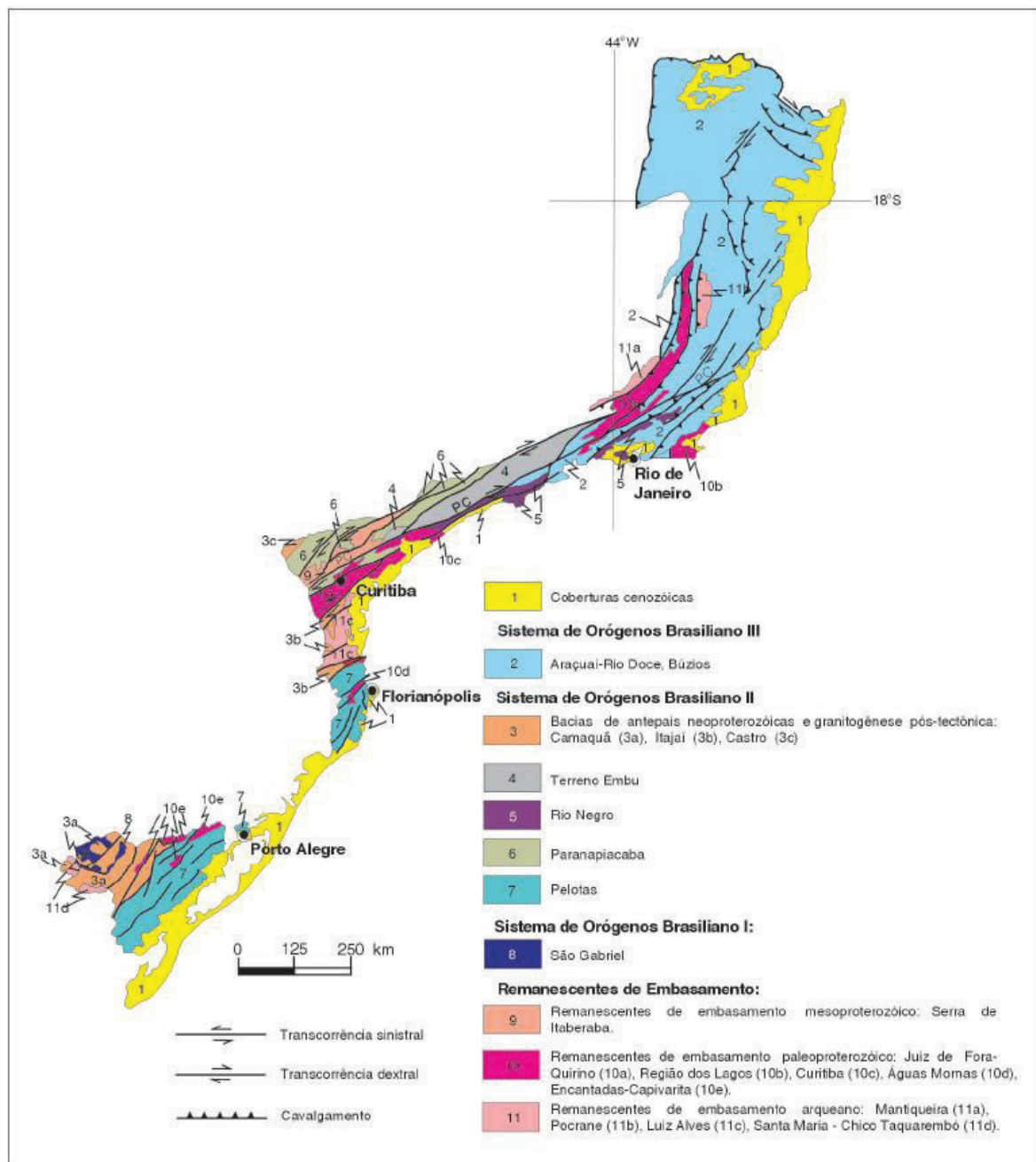


Figura 1: Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira (CPRM, 2003).

A Província Mantiqueira foi definida por Almeida *et al.* (1977, 1981) como uma faixa de direção NE-SW, paralela à costa sudeste e sul do Brasil, com mais de 3.000

km de comprimento, que se estende da Bahia até o Uruguai. Faz limite com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná, e é bordejada, à leste, pela margem continental e pelas bacias costeiras do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas (Fig. 1).

Segundo Heilbron *et al.* (2004) a Província Mantiqueira é um sistema orogênico Neoproterozóico que engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e a zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. Sua formação ocorreu durante o fechamento do supercontinente Gondwana.

Um sistema orogênico é um conjunto de orógenos que se justapõem diacronicamente, a exemplo da Província Mantiqueira constituída no referido sistema orogênico neoproterozóico-cambriano. Dizer que o processo orogenético é diacrônico significa, por exemplo, que enquanto ocorre colisão de um arco-de-ilhas com uma margem continental num ramo do sistema orogênico, em outro setor deste sistema pode ter ocorrido uma colisão continente-continente. Ou seja, em um mesmo período de tempo pode ocorrer diferentes etapas de evolução, em partes distintas de um mesmo sistema orogênico.

Cinturão Dom Feliciano e Sistemas de Arcos

O Cinturão Dom Feliciano é uma resultante de uma amalgamação provocada pela colisão entre os crátons Kalahari e Rio de La Plata no final do neoproterozóico, resultando no Gondwana Oeste. Este fechamento envolve um Sistema de Arcos Magmáticos com dois distintos eventos: (i) Arco São Gabriel ; (ii) Arco Dom Feliciano. (Alkmim *et al.*, 2001; Chemale *et al.*, 1995, Fernandes *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 2005; Hartmann *et al.*, 2007).

O Cinturão Dom Feliciano somada à porção representativa do Cráton Rio de La Plata (representada pelo bloco Taquarembó) é denominado de Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG). É constituído pelos Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel e Terreno Tijucas, pelo Batólito Pelotas e pela bacia pós-colisional do Camaquã. Esta subdivisão tem como base as características estruturais, petrotectônicas e isotópicas distintas das unidades, e estão dispostas como faixas alongadas de direção NE-SW, limitadas por zonas de cisalhamento dúcteis de escala continental (Fig. 2).

O Terreno São Gabriel ocorre ao norte do lineamento Ibaré e a oeste da sutura de Caçapava (Fig.2), e representa a porção oeste do cinturão Dom Feliciano.

É o único terreno neoproterozóico de assinatura claramente juvenil do ESRG (Babinski *et al.* 1996). No Terreno São Gabriel são reconhecidas as seguintes associações petrotectônicas: i) Complexo Cambaí (ortognaisses e metagranitos) ii) Rochas supracrustais compostas por sequencias metassedimentares e metavulcanossedimentares dos Complexos Cambaizinho, Palma, Bossoroca e Passo Feio; iii) Ofolito Cerro da Mantiqueira, iv) Granitos e associações vulcano-sedimentares pós-colisionais (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2000, 2007; Lena *et al.*, 2013). As exposições são interpretadas como representantes de diferentes ambientes tectônicos como: margem passiva, ofiolitos, sequencias de arco vulcano/sedimentares e plutônicas.

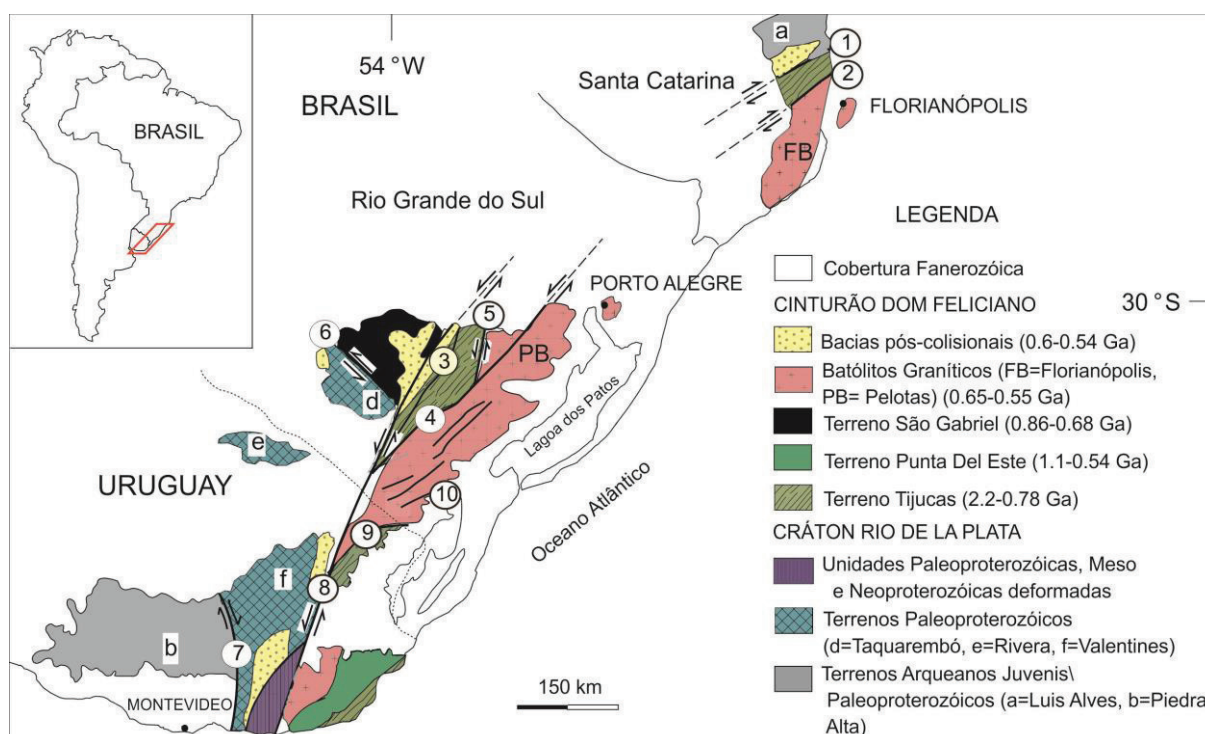


Figura 2: A) Localização da área de estudo na America do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. Modificado de Oyhantçabal *et al.*, (2010), Philipp *et al* (2014).

Há alguns registros no Terreno São Gabriel que evidenciam a existência do sistema orogênico São Gabriel em duas fases de arcos magmáticos denominados Arco Passinho e Arco São Gabriel (Leite *et al.* 1998, Chemale Jr. *et al.* 1995, Chemale Jr. 2000). É um consenso que ambos representem os primeiros registros de convergência neoproterozóica na Província Mantiqueira.

O evento mais antigo deste arco foi definido por Chemale Jr. (2000) como um arco de ilhas com idade de 890 Ma, representado por gnaisses dioríticos à tonalíticos datados por Leite *et al.* (1998). Localizam-se na região de Lavras do Sul, na porção sul do Terreno São Gabriel, e foi nomeado por Saalman *et al.* (2005) como o Arco de Ilhas Passinho.

O segundo principal evento denominado São Gabriel (ou cinturão Vila Nova por Chemale Jr. (2000)), gerado entre 750 a 700 Ma, documentado em zircões magmáticos dos metavulcânicas do Complexo Bossoroca (Machado *et al.* 1990; Remus *et al.* 1999) e em ortognaisses Cambaí (Babinski *et al.*, 1996 Saalman *et al.* 2005; Hartmann *et al.* 2011).

Complexo Metamórfico Passo Feio

O Complexo Passo Feio esta localizado na porção leste do Terreno São Gabriel. É composto por uma sequência de metapelitos, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas e xistos magnesianos (Bitencourt, 1983) (Fig.5). As rochas deste complexo circundam o Granito Caçapava do Sul, que possui uma idade U-Pb SHRIMP de 562 ± 8 Ma (Remus *et al.*, 2000).

Os trabalhos pioneiros de mapeamento geológico foram realizados por Ribeiro *et al.* (1966) e Ribeiro (1970) que descreveram os metassedimentos como de origem clástica e incluíram inicialmente o Complexo Passo Feio na Formação Vacacaí. A região foi também mapeada por alunos de graduação dos cursos de Geologia da UNISINOS (1979) e UFRGS (1998).

O metamorfismo regional orogênico compreende desde a fácies xisto verde até a fácies anfibolito, observando-se aumento do grau metamórfico em direção ao Granito Caçapava. Bitencourt (1983) descreveu nas rochas do Complexo Passo Feio dois eventos de metamorfismo regional denominados M1 e M2. O evento M1 atingiu a fácies anfibolito, zona da estauroлита. A associação de andaluzita a esse evento sugere que o mesmo foi de baixa pressão. Remus *et al.* (2000) propõe que o metamorfismo regional dinamotermal M1 ocorreu em cerca de 700 Ma. O segundo evento M2 é retrogressivo, e ocorreu em condições da fácies xisto verde. Representa o último metamorfismo regional orogênico do CPF, e foi estimado com base na datação de monazitas por CHIME (chemical dating using the electron microprobe) em 510 ± 68 Ma (Ticky *et al.*, 2004). Duas fases de

deformação, D1 e D2, acompanharam estes eventos. Uma terceira fase deformacional, D3, é reconhecida como geradora da estrutura antiformal regional, onde o núcleo é ocupado pelo Granito Caçapava (Bitencourt, 1983).

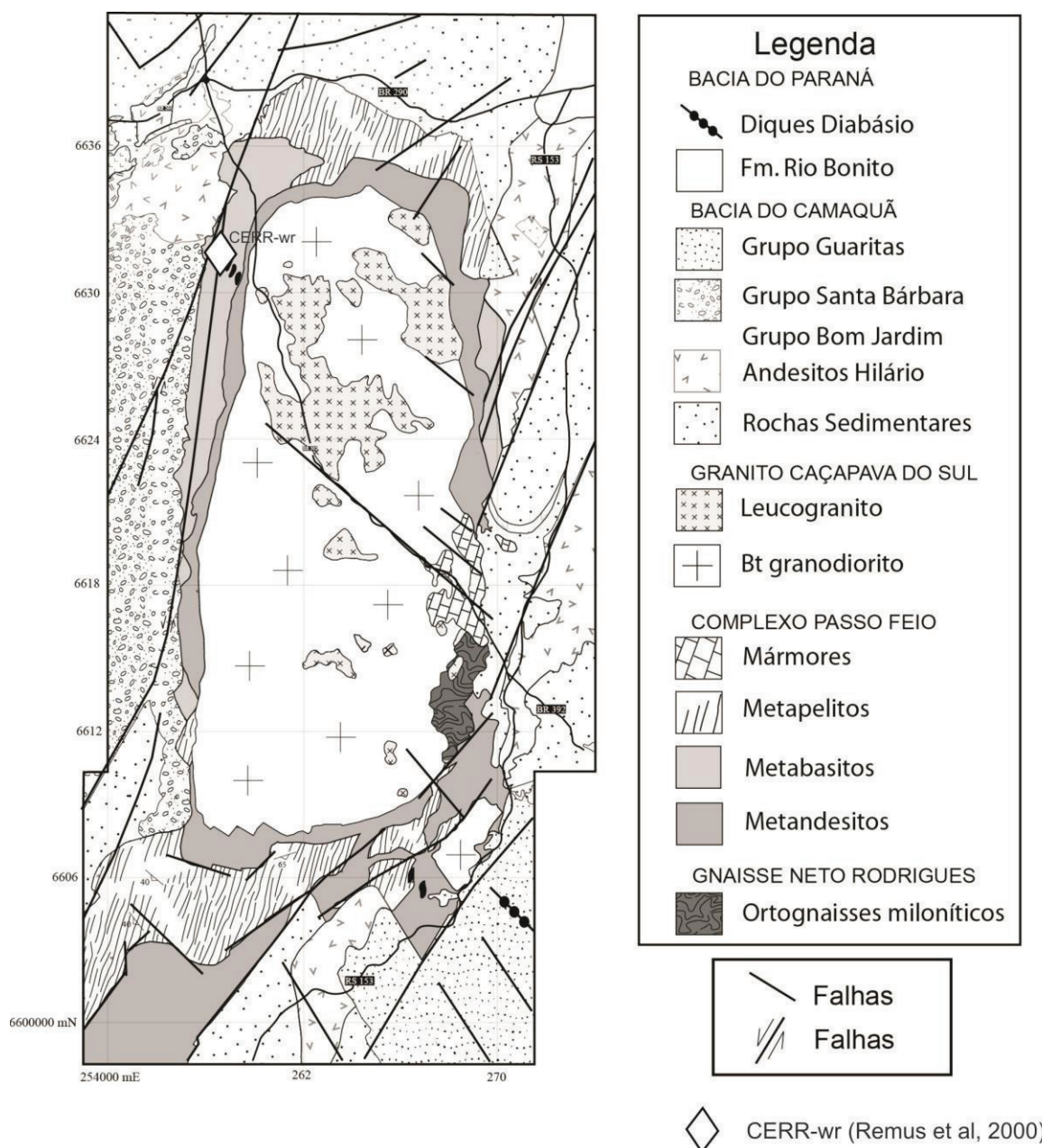


Figura 3: Mapa geológico da área de estudo. Modificado de UFRGS (1998).

Silva Filho *et al.* (1987) estudaram rochas do fácies xisto verde expostas na borda oeste do Complexo Passo Feio e reconheceram cinco fases de deformação: (i): charneiras isoladas e no interior de porfiroblastos, origem de foliação transposta; (ii): foliação de transposição associada a bandamento bastante complexo; a superposição dessa deformação homogênea resulta em achatamento da dobra original, comprovada pela presença de estruturas tipo *boudins* ou *pinch-and-swell*;

(iii): redobramento desse bandamento composto como grandes dobras isoclinais recumbentes talvez relacionadas a falhas de baixo ângulo; (iv): deformação das estruturas anteriores num sistema de antiformes e sinformes com planos axiais de mergulho acentuado e (v): forte clivagem de fratura de direção NW-SE.

Estudos prévios de proveniência por U-Pb SHRIMP em zircões detríticos do CPF foram apresentados por Remus *et al.* (2000) em uma amostra metassedimentar no NW da região estudada (Amostra CERR-wr : albita-muscovita-clorita xisto) (Fig. 6). O padrão de proveniência inclui populações de idades Arqueana, Paleoproterozóica e Neoproterozóica, determinando, portanto, que o Complexo Passo Feio deriva de fontes continentais diversas.

A idade máxima de deposição para a paleobacia é pouco conhecida. Os dados geocronológicos de Remus *et al.* (op.cit.) obtiveram os zircões mais jovens com 774 ± 8 Ma, o que sugere esta idade como limite superior para a idade de deposição da amostra datada. Eles também sugerem a abertura da bacia Passo Feio em 760 Ma e o fechamento em 700 Ma durante as deformações tangencias e metamorfismo M1.

Recentemente Neis *et al.* (2014) obtiveram dados isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para mármore no leste do Passo Feio. As razões resultaram no valor de 0,704, estimando para tal um idade de deposição entre 900 e 930 Ma.

Estudos isotópicos pelo método Sm-Nd em rocha total realizados por Saalman *et al.* (2005), que dataram uma amostra do CMPF ao norte do Granito Caçapava, obtiveram uma idade T_{DM} de aproximadamente 2500 Ma, indicando uma idade T_{DM} média para as áreas fontes. Neste trabalho concluíram que a Formação Passo Feio ainda está mal definida e representa uma unidade composta por rochas que não constituem uma única sequência estratigráfica, e sim por associações de diferentes idades.

2. METODOLOGIA

O zircão (ZrSiO_4) é um mineral acessório que ocorre de maneira muito comum em rochas sedimentares, ígneas e metamórficas. Apresenta uma elevada resistência química e física devido à sua estrutura cristalina (Finch *et al.*, 2003). Conseqüentemente apresenta elevada disponibilidade na superfície da Terra, ocorrendo praticamente em todos os registros sedimentares. Isso proporciona uma

importante conexão para a compreensão da história de origem de um depósito sedimentar.

Sendo assim, os zircões têm sido extensivamente utilizados como marcadores de proveniência em rochas sedimentares. Por sua alta temperatura de fechamento e resistência a alteração física e química, torna-se também um instrumento em reconstruções paleogeográficas e geotectônicas, como na história de fragmentação neoproterozóica do Rodínia e do estabelecimento da Laurentia (Fedo *et al.*, 2003).

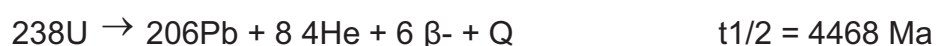
Existe muita controvérsia quanto ao número mínimo de zircões necessários para um estudo representativo de proveniência. É muito importante que sejam abrangidos o máximo possível de populações representativas das fontes de aporte sedimentar. Dodson *et al.* (1988), após estudarem a proveniência de seqüências nos greenstone elts do Shurugwi e Mweza, no cráton do Zimbabwe, África, realizaram as primeiras considerações estatísticas para tal. Encontraram populações de zircões de 4.2 Ga e testaram a probabilidade de não terem encontrado grupos com idades mais antigas. Expressaram a ideia por meio da equação:

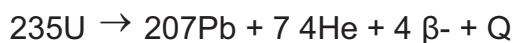
$$P = (1 - f)^n$$

sendo f a frequência dos possíveis zircões mais velhos, P a probabilidade de não encontra-los e n o número de grãos selecionados aleatoriamente. Analisaram 86 grãos (n) e consideraram que estes zircões mais velhos tivessem uma frequência de 8 grãos a cada mil ($f = 0,008$). Obtiveram a probabilidade P de 50% de chance não os terem encontrado. Porém para zircões com uma frequência f de 34 grãos a cada mil (0,034) a chance de não os encontrar é menor do que 5% com este número de análises (com 60 análises já teríamos a probabilidade de 5%).

Método Isotópico U-Pb

As séries de decaimento do Urânio (U) são ferramentas com resolução de tempo hábil para estudar os processos da Terra (Bourdon *et al.*, 2003). Ele possui dois isótopos radioativos de interesse: ^{238}U e ^{235}U , onde os decaimentos resultam nos isótopos estáveis ^{206}Pb e ^{207}Pb respectivamente. Na figura 4 são ilustrados todos os isótopos da série de decaimento $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$. São resultantes de sucessivas emissões de diversas partículas α (^4He) e β (uma partícula com carga negativa semelhante a um elétron), e a liberação de energia (Q).





$$t_{1/2} = 704\ \text{Ma}$$

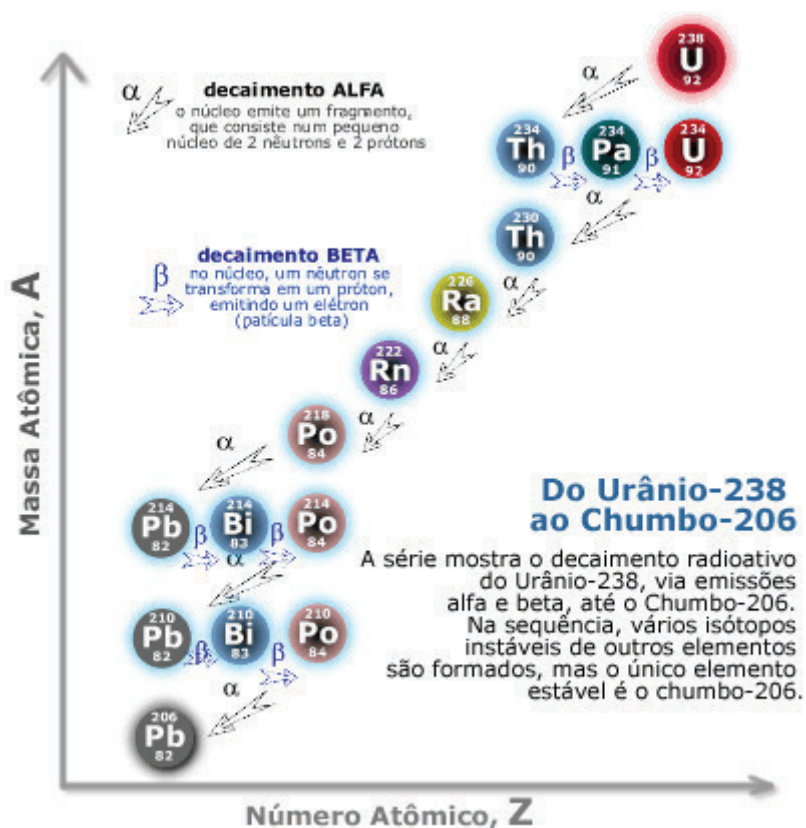


Figura 4: Série do decaimento radioativo do ^{238}U até o ^{206}Pb . Fonte: Revista eletrônica do Departamento de Química - UFSC, ano 4.

O U é facilmente incorporado ao zircão durante sua cristalização. Isto se deve às semelhanças entre os raios iônicos e as cargas dos átomos de Zr e U, o que não acontece com o Pb (Fig. 5). Portanto, o zircão é um excelente mineral para utilizar como um geocronômetro pelo método U-Pb, pois praticamente todo o Pb aprisionado na sua estrutura cristalina provém do decaimento radioativo. (Finch et al., 2003).

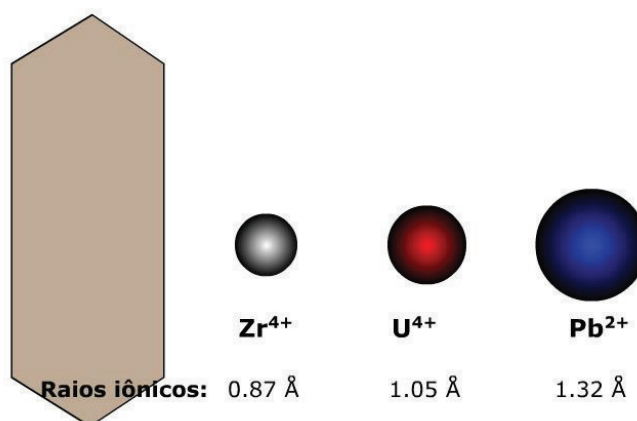


Figura 5: Figura ilustrando cristal de zircão (ZrSiO_4) a esquerda e os átomos de Zr, U e Pb afim de comparar suas cargas e raios iônicos. Modificado de KareKullerud-webgeology.

Geocronologia U-Pb

O método de datação de U-Pb baseia-se nas razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ presentes nos zircões detriticos e suas respectivas meias vidas ($t_{1/2}$). Cada razão é um geocronômetro independente, porém são utilizados em conjunto no diagrama concórdia para verificar se houve ou não uma abertura do sistema para os elementos das duas séries. Se as duas séries tiverem idades absolutas cujas incertezas estejam dentro do desvio de cada idade, estarão dentro de uma curva de concordância (isócrona) no diagrama concórdia, demonstrando que não houve perda ou fracionamento de Pb. Sendo assim, os erros podem ser minimizados.

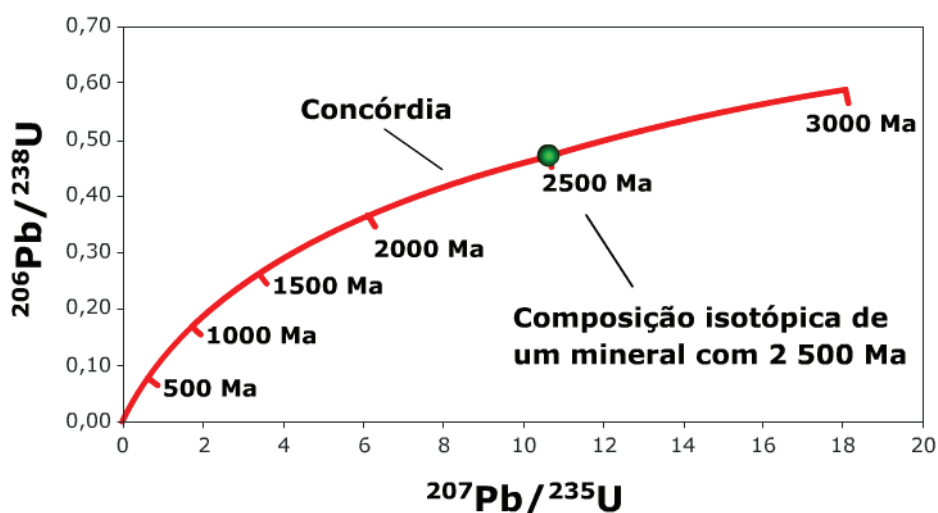


Figura 6: Exemplo de um diagrama concórdia para a composição isotópica de um mineral hipotético. Extraído de KareKullerud - webgeology.

O diagrama concórdia (Fig. 6) foi desenvolvido por Wetherill em 1956 (Parrish et al., 2003) para criar a isócrona. Esta linha foi construída com base em pontos concordantes de razões isotópicas de $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ que resultam de várias idades previamente conhecidas.

Espectrômetros de Massa

A função de um espectrômetro de massa é basicamente separar partículas (átomos ou moléculas) em função de suas massas e cargas e em seus movimentos dentro de campos magnéticos e elétricos. Isto se dá em 4 diferentes etapas: excitação da amostra, aceleração e focalização do feixe de átomos, separação dos

íons por um campo magnético e por último a contagem de cada íon por um detector (coletor).

Para realização da datação U-Pb das amostras PF-01, PF-02 e PF-09 foi utilizado o espectrômetro de massa MC-ICP-MS Neptune da ThermoFinnigan acoplado a um laser UP213 da New Wave Research (Fig. 7). As amostras PF-01 e PF-02 foram analisadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a amostra PF-09 foi analisada no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB).

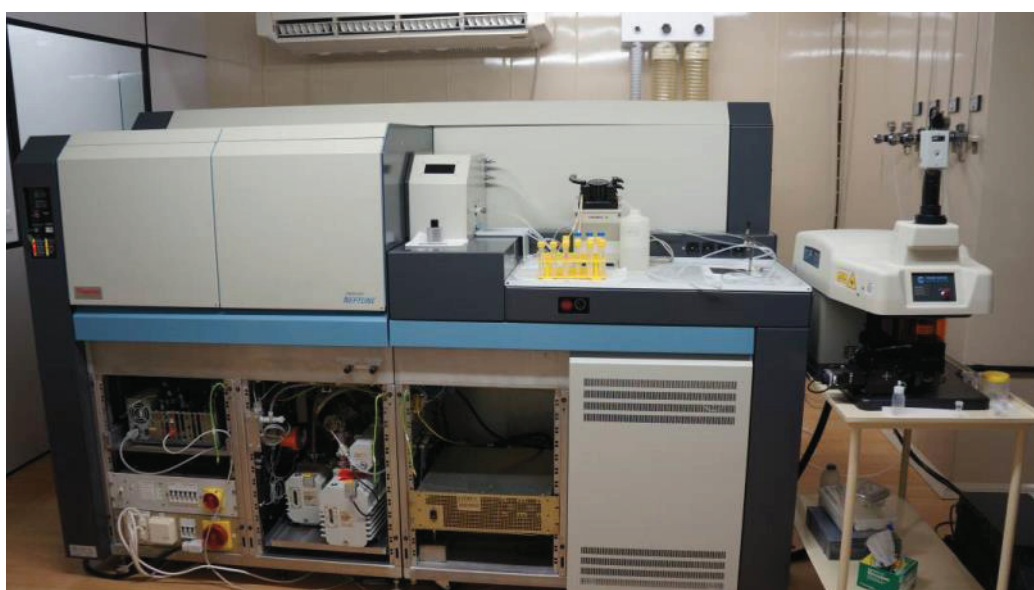


Figura 7: MC-ICPMS Neptune da ThermoFinnigan acoplado a um laser UP213 da New Wave Research do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS.

Segundo Kosler *et al.* (2003), o Laser Ablation ICP-MS tem sido aplicado com sucesso para resolver a proveniência de sedimentos de vários terrenos do mundo. Diferencia-se do SHRIMP por apresentar multicoletores que detectam simultaneamente vários núclídeos, pela fonte de íons ser um plasma de argônio e pela sonda ser a laser. Além disso também diferencia-se pelo menor tamanho físico do equipamento.

O laser incide nos grãos de zircão, aplicando a cada um deles um *spot* com geralmente 20 ou 30 μm de diâmetro (Fig. 8A). Sua função é ablacionar e por 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.

A precisão e acurácia das idades obtidas pelas análises deste método é função da estabilidade do sinal analítico, número de íons detectados e incertezas nas correções aplicadas (Koesler *et al.*, 2003). Correções são aplicadas fazendo leituras de Branco, Padrão, 4 Amostras e novamente Padrão (Fig. 8B), possibilitando o rastreamento e quantificação das oscilações de erros analíticos. Nestes laboratórios são utilizados como padrões para U-Pb os zircões GJ-1, proveniente de um pegmatito da África apresentando idade de 608.5 ± 0.4 Ma , o Temora-2, derivado de um diorito gabróico de 417 Ma do sudoeste da Austrália, e o Mud Tank Zircon encontrado em carbonatitos aflorantes no Strangways Range do noroeste da Austrália (732 Ma) (Bertotti, 2009).

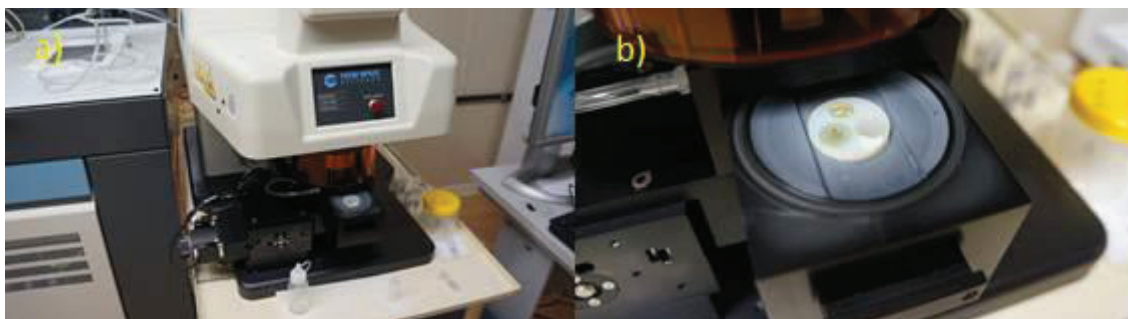


Figura 8: a) Entrada das amostras no Laser Ablation em mounts de grãos de zircão para datação no LA-MC-ICPMS. b) Foto de detalhe; Capacidade de um amostrador para duas amostras.

A datação da amostra PF-03 foi realizada no SHRIMP II da *Australian National University* em Canberra – Austrália (Fig. 9). O *mount* preparado para a entrada de amostras do SHRIMP também se diferencia do ICPMS. Trata-se de uma pastilha em epoxi com 1 polegada de diâmetro que é previamente metalizada com ouro.



Figura 9: SHRIMP II da AustralianNationalUniversityem Camberra – Austrália.

O SHRIMP se diferencia em alguns critérios do LA-ICPMS. O feixe de íons excita e ioniza o material a ser analisado. O magneto se diferencia por ser maior e o tubo de vôo mais longo tendo aproximadamente 5 metros de comprimento. No coletor, etapa final que coleta e conta os íons de um determinado isótopo, a diferença fica em ser um único, repetindo então o processo para cada isótopo de interesse. As análises possuem então maior acurácia e precisão.

Preparação das amostras para espectrômetro de massa

O processo para a preparação das amostras é baseado na separação mineral, onde os concentrados de zircão são extraídos de amostras de rocha de 1-10 Kg. Consiste em britar, moer e peneirar as amostras até uma granulometria de 500 μm (Fig. 18). A extração do zircão é feita primeiramente descartando os minerais leves por bateia concentrando os minerais pesados. Por conseguinte é realizada uma seleção magnética com o uso do separador isodinâmico Frantz® para



Figura 10: Etapas sucessivas de preparação de amostras. a) Britador; b) peneira < 6mm; c) Moinho; d) Peneira < 500 μm .

descartar os minerais com elevado magnetismo. Este concentrado mineral é então refinado por densidade em meio líquido em placa de petri.

O concentrado de grãos de zircões é então montado em uma pastilha de resina epóxi, denominadas "*mount*" (Fig. 10), a qual é uma cápsula para a entrada das amostras nos espectrômetros de massa. A montagem é realizada sem seleção, de maneira aleatória, e as superfícies dos grãos são polidas com lixas e pasta de diamante para que haja exposição dos seus interiores.

CAPÍTULO 3 - CORPO PRINCIPAL DA DISSERTAÇÃO: ARTIGO CIENTÍFICO

PROVENANCE OF THE PASSO FEIO COMPLEX, DOM FELICIANO BELT: IMPLICATIONS FOR THE TECTONIC SETTING OF DEPOSITION, AGE OF THE SÃO GABRIEL ARC, AND ORIGIN OF PALEOARCHEAN DETRITAL ZIRCONS (3.3-3.63 GA)

Carta de recebimento da revista *Journal of South American Earth Sciences* em 30 de junho de 2014:

Dear Mrs. Carina Graciniana Lopes,

We have received your article "Provenance of the Passo Feio Complex, Dom Feliciano Belt: implications for the tectonic setting of deposition, age of the São Gabriel Arc, and origin of Paleoproterozoic detrital zircons (3.3-3.63 Ga)" for consideration for publication in *Journal of South American Earth Sciences*.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Journal of South American Earth Sciences

**Provenance of the Passo Feio Complex, Dom Feliciano Belt:
implications for the tectonic setting of deposition, age of the
São Gabriel Arc, and origin of Paleoproterozoic detrital zircons
(3.3-3.63 Ga)**

Carina Graciniana Lopes^{1,2}, Marcio Martins Pimentel³, Ruy Paulo Philipp²,
Leonardo Gruber², Richard Armstrong⁴, Sergio Junges³,

¹CPRM, Brazilian Geological Service, Salvador, Bahia, 41213-000, Brazil

²Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 91501-970, Brazil

³Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 70910900, Brazil

⁴ RSES, AustralianNationalUniverstiy, Canberra, Australia

Keywords: Provenance, Passo Feio Complex, São Gabriel Arc, U-Pb, Dom Feliciano Belt, Mantiqueira Province, Paleoproterozoic detrital zircons;

Abstract

Some important ages were found at provenance from metasedimentary rocks from Passo Feio Complex, in São Gabriel Terrane. These sediments are a partial sedimentary registers amalgamated and metamorphosed by a orogenic system at Neoproterozoic, the Dom Feliciano Belt. The provenance study was realized in four metapelites samples using U-Pb isotopic data from south and north Passo Feio area. The results show provenance patterns varied along the registers. Zircon ages range from 803 to 3637 Ma, but the Paleo- and Mesoproterozoic detritic zircons are in all the samples, while the Neoproterozoic populations are restricted to someone. The zircons with 3.6 Ga are the oldest population of detrital zircons arrived in the south of Brazil. Terranes within the Rio de La Plata Craton represent the main sources of detrital sediments and reinforce the interpretation that it may be a passive margin sequence developed along the northeast margin of the original continent. However, the

neoproterozoic zircon population is not consistent with derivation solely from the craton and indicate contribution from younger sources, such as the Neoproterozoic São Gabriel Arc. This neoproterozoic zircons population range from 948 to 803 Ma, implying a new suggested age to onset tectonic evolution of São Gabriel Arc would have started at least ca. 948 Ma.

1. INTRODUCTION

The Passo Feio Complex (PFC) is a sequence of metapelite, marble, calc-silicaterocks, quartzite, amphibolite, metavolcanic/metavolcanoclastic rocks and magnesium schist (Bitencourt, 1983). This complex is part of the São Gabriel Terrane (Fig.1), a neoproterozoic juvenile arc system formed during the early stages of evolution of the neoproterozoic Dom Feliciano Belt, in southern Brazil. This belt corresponds to the southern portion of the Mantiqueira Province, an important neoproterozoic orogenic system exposed in the NNE direction along the southeastern coast of Brazil (Almeida, 1977).

The geotectonic significance of the original Passo Feio basin in the tectonic evolution of São Gabriel Terrane is not yet well understood. It has been considered as part of a passive margin sequence (Fragoso-Cesar 1991) or as a back-arc sequence (Fernandes *et al.* 1992). Geochronological and isotopic data are very scarce for the Passo Feio rocks and this has hampered the better understanding of its significance in the neoproterozoic tectonic evolution of southern Brazil.

The U-Pb zircon provenance work was carried out by Remus *et al.* (2000) on one sample of albite-muscovite-chlorite schist (CERR-wr) from the northwestern part of the Pass Feio Complex. In this sample the zircon grains ages range from archean to neoproterozoic indicating that the Passo Feio Complex was originated from erosion of complex continental sources.

The main objectives of this study was to investigate the provenance of the original metapelites of the PFC using U-Pb ages of detrital zircon grains, and constrain the depositional age of the sediments, in order to contribute to a better understanding of tectonic setting of this basin and the geological evolution of São Gabriel Arc system of the Dom Feliciano Belt.

To improve the provenance data of this complex, were dated populations of detrital zircons from four samples of metapelites. The samples were analyzed by the LA-MC-ICPMS method at the Isotope Geology Laboratory of the Geosciences Institute of the Rio Grande do Sul Federal University (UFRGS) (PF-01 and PF-02) and at the Geochronology Laboratory of the University of Brasília (PF-09), as well as by SHRIMP at the *Australian National University*, Canberra, Australia (PF-03).

2. GEOLOGICAL SETTING AND PREVIOUS DATA

The Mantiqueira Province was defined by Almeida *et al.* (1977, 1981) as a NE-SW mobile belt running parallel to the southern and eastern Brazilian coast. It extends for more than 3000 kilometers from Bahia to Uruguay. According to Heilbron *et al.* (2004b) it represents a Neoproterozoic orogenic system encompassing the Araçuaí, Ribeira and Dom Feliciano orogenic belts, formed during the Neoproterozoic assembly of Gondwana.

The Dom Feliciano Belt (DFB) resulted from the collision between Kalahari and Rio de La Plata cratons at the end of the Neoproterozoic. Two distinct events may be recognized in the process of continental assembly: (i) the development of the Passinho and São Gabriel Arc and (ii) the formation of the Dom Feliciano Arc. (Alkmim *et al.*, 2001; Chemale Jr. *et al.*, 1995, Fernandes *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 2005; Hartmann *et al.*, 2007).

The São Gabriel is a juvenile terrane (Fig.1) exposed at the western part of the Dom Feliciano Belt, to the east of the Rio de La Plata Craton represented mainly by the Taquarombó Terrane in Rio Grande do Sul (Hasui 2010). Due to intense deformation, the internal stratigraphic organization of the São Gabriel Terrane is poorly understood. Nevertheless it can be divided into the following petrotectonic associations: i) Imbicui Orthogneisses, ii) Cambaí Orthogneisses; iii) supracrustal rocks comprising sedimentary and volcano-sedimentary sequences metamorphosed under amphibolite facies (Cambaizinho, Palma, Bossoroça and Passo Feio complexes); iii) Cerro da Mantiqueira ophiolite and other mafic-ultramafic complexes and iv) post-collisional volcano-sedimentary sequences and granites. These different units represent different tectonic environments such as passive margin, ophiolites, volcano-sedimentary/plutonic

arc sequences (Hartmann *et al.*, 2000, 2007; Chemale Jr., 2000; Lena *et al.*, 2013).

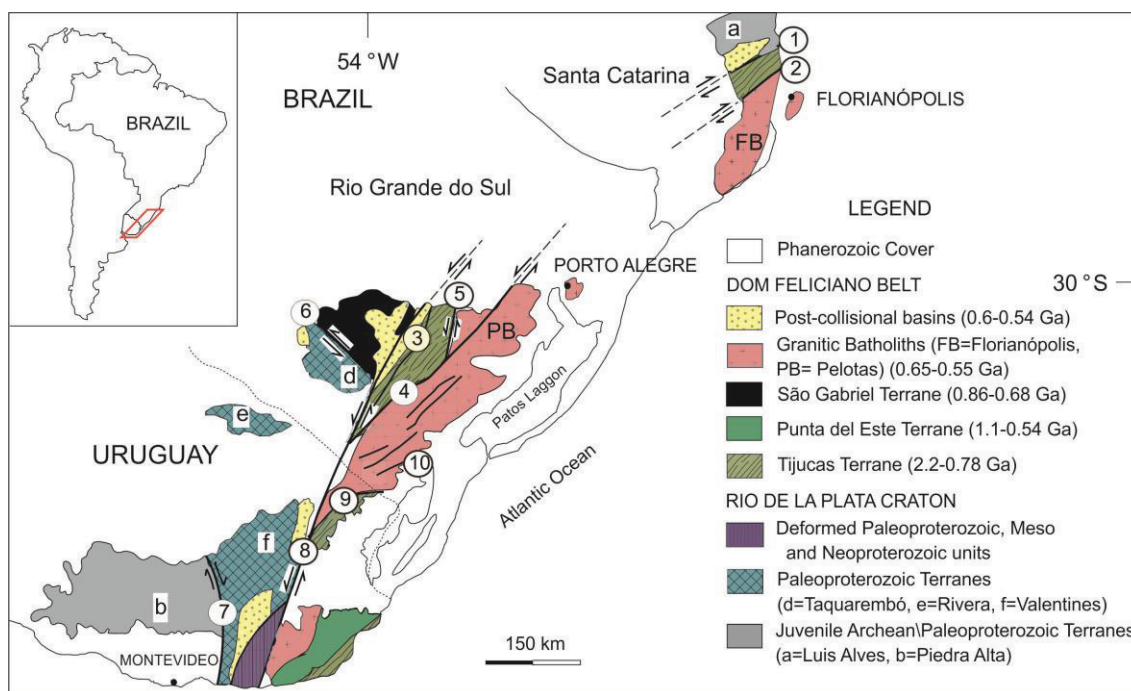


Figure 1. A) Location of the study area in South America B) Major geotectonic units in southern Brazil and Uruguay. Shear zones: 1 - Itajaí-Perimbó, 2 - Major Gercino, 3 - Santana da Boa Vista, 4 - Dorsal de Canguçu, 5 - Passo do Marinheiro, 6 - Ibaré, 7 - Sarandi del Y, 8 - Sierra Ballena, 9 - Cerro Amaro, 10 - Arroio Grande. Modified from Oyhantçabal *et al.*, (2010) and Philipp *et al.* (2014).

There is much controversy about the tectonic evolution of Sao Gabriel arc. It is agreed that it represents the initial stages of Neoproterozoic convergence which built up the Mantiqueira Province. The oldest event in the São Gabriel Arc was defined by Chemale Jr. (2000), and comprise the development of a primitive 900 Ma old island arc represented by the dioritic to tonalitic gneisses dated by Leite *et al.* (1998) and Philipp *et al.* (2014). They are exposed in the south portion of the Lavras do Sul region, southwesternmost area of the São Gabriel Terrane. Chemale Jr. (2000), Saalman *et al.* (2005) and Hartmann *et al.* (2007) referred to this as the Passinho event, representative of the first island arc magmatism and subduction activity. The second main accretion between ca. 750–700 Ma is known as the São Gabriel event, is documented in magmatic zircons from the Cambaí gneisses and Vila Nova/Bossoroca volcanics (Machado *et al.* 1990; Babinski *et al.*, 1996; Leite *et al.*, 1998; Hartmann *et al.* 2011; Saalman *et al.* 2005). In a review, Heilbron *et*

al. (2004 a) considered the São Gabriel orogen as a long-lived accretionary event, extending from 880 Ma to 700 Ma, with a metamorphic peak at 700 Ma.

The Passo Feio Complex is part of the São Gabriel Terrane (Fig. 2). Is composed by metapelite, marble, calc-silicate rocks, quartzite, amphibolite, metavolcanic/metavulcanoclastics rocks and magnesium schist (Bitencourt, 1983). The supracrustal rocks surround 562 ±8 Ma old Caçapava granite intrusion (Remus *et al.*, 2000).

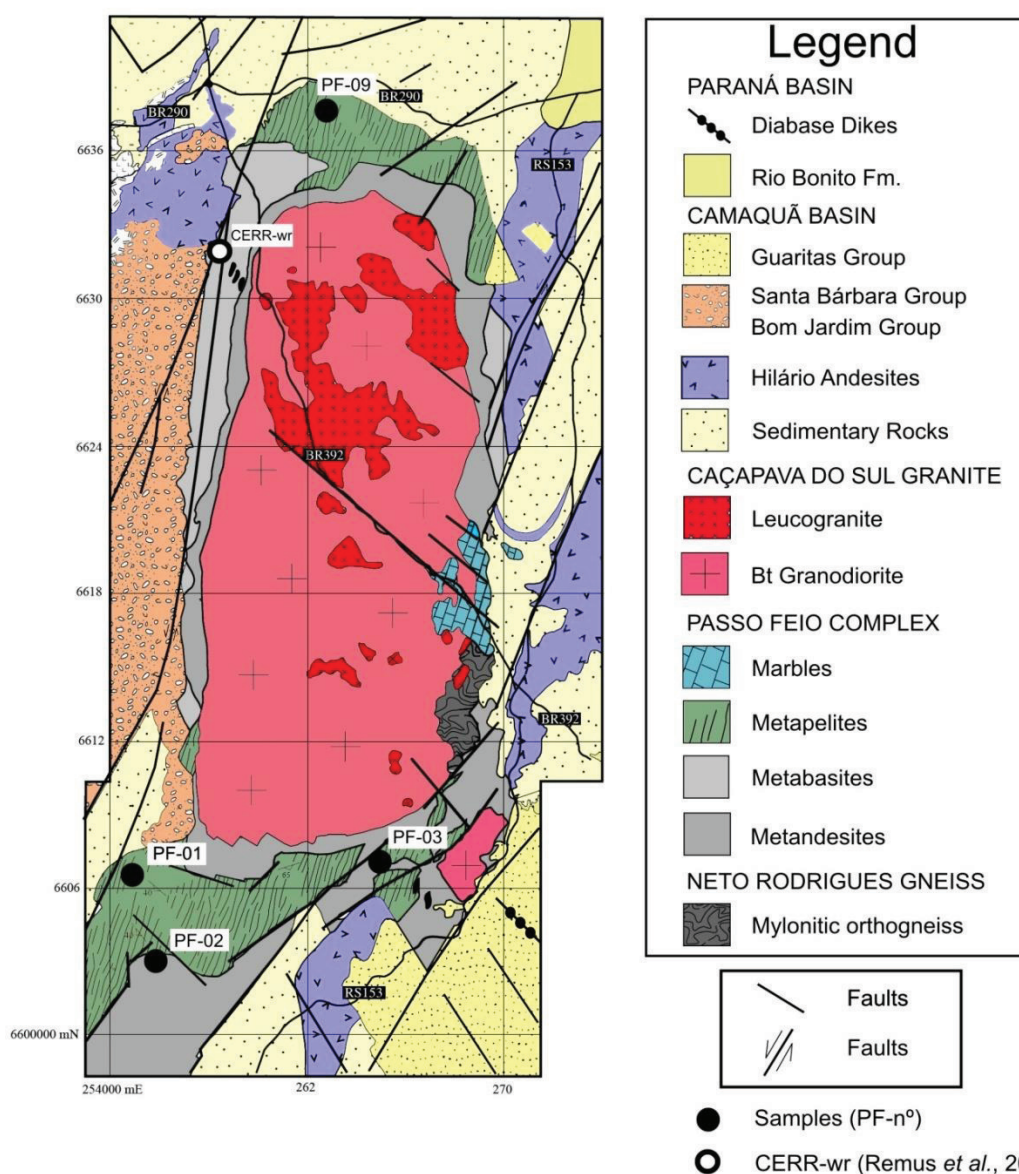


Figure 2. Geological map of the Passo Feio Complex with sample location (Modified from UFRGS, 1998).

The pioneer geological mapping projects in the area were carried out by Ribeiro *et al.* (1966) and Ribeiro (1970) who described the Passo Feio sequence as a purely detrital sedimentary rock unit including it in the so-called Vacacaí Formation. These metamorphic rocks were grouped for the first time into the Passo Feio Complex by Bitencourt (1983).

The regional metamorphism range from the chlorite zone of the greenschist facies to the staurolite zone of the amphibolite facies in areas closer to the contact with the Caçapava intrusion (Remus *et al.*, 2000). Bitencourt (1983) identified two events of regional metamorphism in these rocks: M1 took place under amphibolite facies conditions (staurolite zone), with occasional andaluzite, suggesting that this event occurred at low pressure. According to Remus *et al.* (2000) this metamorphic event happened at ca. 700 Ma. The second event, M2, represents retrogression under greenschist facies conditions and is the last regional orogenic metamorphism of the CMF, which was estimated to have occurred at ca. 510 Ma by CHIME (chemical dating using the electron microprobe) monazite dating (Tickyj *et al.*, 2004).

The provenance of detrital zircon grains of one albite-muscovite-chlorite schist sample of the northwestern sector of the PFC was studied by the U-Pb SHRIMP by Remus *et al.* (2000) (sample CERR-wr – Fig.2). The provenance age pattern revealed Archean, Paleoproterozoic and Neoproterozoic populations suggesting derivation from a complex continental source with varied ages.

The maximum depositional age is poorly known. The geochronological data from Remus *et al.* (2000) indicate that the youngest zircon population has the age of 774 ± 8 Ma. The authors also suggested that the opening and closure of the Passo Feio Basin took place in the time interval between 760 Ma and the closure at 700 Ma during the tangential deformation and metamorphism M1.

Saalmann *et al.* (2005) presented a Sm-Nd T_{DM} model age of ca. 2.5 Ga for one sample of chlorite-epidote schist to the north of the Caçapava Granite. In this work they concluded that the Passo Feio Formation is still barely defined and represents a unit composed of rocks that do not comprise one single stratigraphic sequence, but rather represent an association of rock units with different ages.

3. ANALYTICAL PROCEDURES

Heavy mineral concentrates were separated from 10-15 kg rock samples, by conventional crushing (particle size smaller than 500 μm) and panning methods. Zircon separates were obtained and purified using a Frantz® isodynamic separator. These concentrate is refined using separation by density in petri dishes. The zircon grains were then mount edin epoxy resin without selection and their surface were then polished to expose the grains interiors.

The U–Pb analyses were carried out by LA-MC-ICPMS at the universities of Brasília and Rio Grande do Sul and the SHRIMP analysis at the RSES – Australian National University, in Canberra. Samples PF-01, PF-02 and PF-09 were analyzed by LA-MC-ICPMS using a Thermo Finnigan Neptune coupled to a Nd–YAG laser ($\lambda=213\text{ nm}$) ablation system (New Wave Research, USA) at the Geochronology Laboratory of the Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (PF-01, PF-02) and at Geochronology Laboratory of the Brasília University (UnB) (PF-09). At both laboratories the acquisition followed a standard-sample bracketing technique with foursample analyses between a blank and a GJ-1 zircon standard analysis. The accuracy was controlled using the standard TEMORA-2.

Sample PF-3 was analyzed by SHRIMP II at the Research School of Earth Sciences of the *Australian National University* (ANU). Zircon grains in the concentrate were mounted in epoxy, together with reference zircons FC1 and SL13. Each analysis consisted of four scans through the mass range. The data have been reduced in a manner similar to that described by Williams (1998), using SQUID Excel Macro of Ludwig (2001a). For the Pb/U calibration, the measured Pb/U ratios have been normalized relative to a value of 0.1859 for the $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ratio of the FC1 reference zircon, equivalent to an age of 1099Ma (Paces and Miller, 1993). U and Th concentrations were determined relative to the SL13 standard.

Plots and age calculations were carried out using ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003). Uncertainties for isotopic ratios are presented at the 2σ (ICPMS) or 1σ level (SHRIMP) with final age quoted at 95% confidence.

4. U-PB ZIRCON PROVENANCE PATTERNS

Four metapelite samples from the Passo Feio Complex were collected for provenance analyses: PF-01, PF-02, PF-03 in the south and PF-09 in the northern part of the complex. The samples have been metamorphosed under greenschist to amphibolite facies conditions. Table 1 shows the sample locations and their main characteristics. Analytical results are in Appendix 1 and 2, and are shown in the diagrams of Figure 3. The probability density plot used $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of the most concordant data (concordance > 80%).

Table1. The analyzed samples with their main characteristics. In the “Zircon” column the numbers represent the used data out of the total of grains analyzed.

| Samples/ coordinate | Rock | Zircon | Age Peaks (Ga) | | Youngest concordant age (Ma) | Oldest concordant age (Ga) | Mass spectrometer / Laboratory |
|------------------------|----------|--|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | | | Main | Minor | | | |
| PF-01 | | | | | | | |
| 254867 m E | Phyllite | Colorless to light | 1.75- | 1.2, | 1197 ± 13 | 3633 ± | ICPMS/ UFRGS |
| 6606533 m S | | Brown, very small rounded grains (39/60) | 1.8, 2.35 - 2.4 | 1.35-1.4, 1.5, 2.0 3.3 | | (zr18) | |
| PF-02 | | | | | | | |
| 255707 m E | Phyllite | Colorless to light | 2.35- 2.4 | 2.0,2.2, | 1728 ± 22 | 3637 ± | ICPMS/ UFRGS |
| 6603023 m S | | Brown, very small rounded grains (40/60) | | 3.2-3.3 | | (zr27) | |
| PF-03 | | | | | | | |
| 264920 m E | Schist | Colorless small, | 0.85 | 1.75 | 803 ± 43 | 3054 ± | SHRIMP II/ ANU |
| 6607043 m S | | prismatic (44/70) | | 2.7 3.0 | | (zr35) | |
| PF-09 | | | | | | | |
| 262623 m E | Phyllite | Rounded, prismatic, | 2.0 | 1.2, 1.5, | 1104 ± 7 | 3377 ± 8 | ICPMS/ UnB |
| 6637594 m S | | colorless to light brown (36/60) | | 1.75-1.8, 2.2, 2.4, 3.3 | | (zr39) | |

4.1 PF-01

Sample PF-01 is a chlorite-muscovite phyllite. Zircons are colorless to light brown and form small rounded grains. Sixty grains were analyzed and 39 produced concordant data. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages range between 1197 ± 13 Ma and 3633 ± 46 Ma. Two main age peaks are recognized at 1750 and 2400 Ma, an two minor peaks at 1350 and 2000 Ma. The Paleoproterozoic population (3.6

Ga) comprise only 2 concordant zircon analyses representing the oldest material ever dated in Brazil.

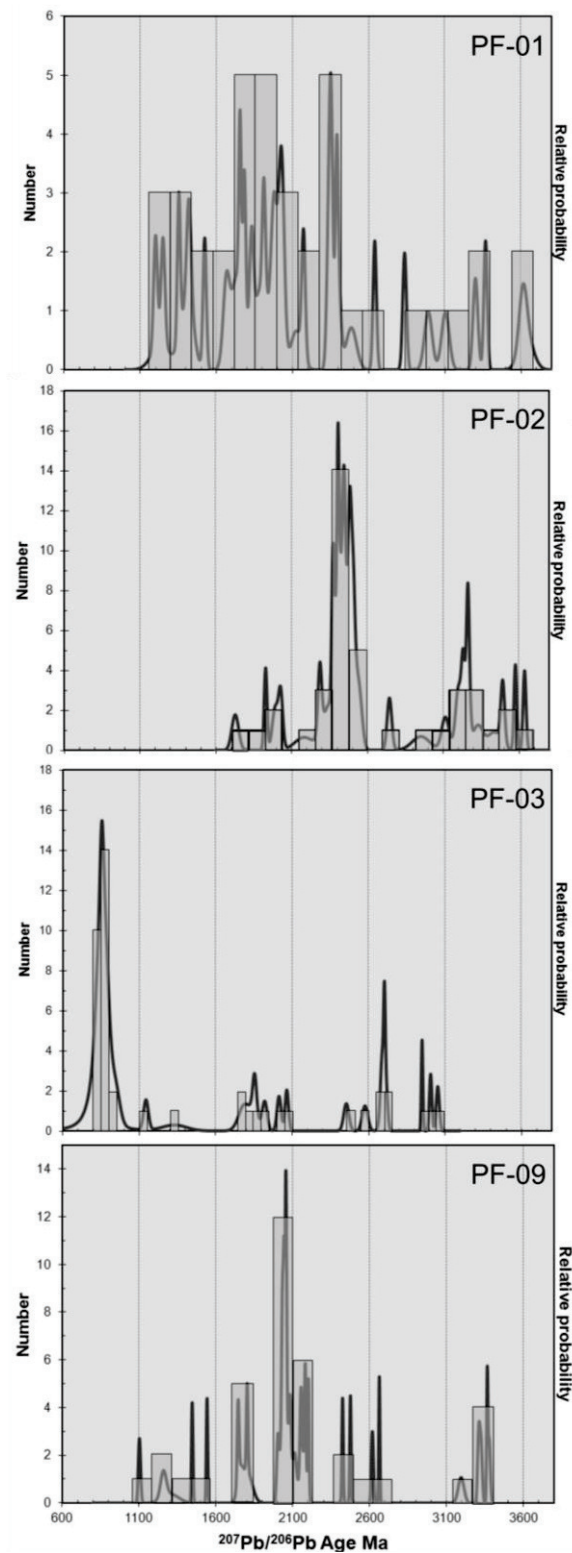


Figure 3. Provenance patterns of detrital zircons in samples PF-01, PF-02, PF-03 and PF-09.

4.2 PF-02

PF-02 is a chlorite-muscovite phyllite with millimeter-thick sand layers. The zircons are colorless to light brown and appear as very small rounded prisms. Sixty grains were analyzed and forty of them produced concordant data. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages range between 1728 ± 22 Ma and 3637 ± 10 Ma. Two main age peaks are indentified at 2000 and 2400 Ma.

4.3 PF-03

The PF-03 is a garnet-staurolite-muscovite-biotite schist. The majority of the zircons grains are colorless, small and prismatic. Seventy zircons analyses were carried out and produced forty four concordant analytical points. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages range between 803 ± 43 Ma and 3054 ± 10 Ma. The neoproterozoic ages range from 948 to 803 Ma. The provenance pattern show one important age peak at 850 Ma.

4.4 PF-09

The chlorite-muscovite phyllite of the PF-09 outcrop is located in the northern part of Passo Feio Complex. Sixty zircon grains were analyzed but only thirty six yielded concordant data. The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zircon ages are in the interval between 1104 ± 7 Ma to 3377 ± 8 Ma. One main peak was identified at ca 2.0 Ga.

5. DISCUSSION

In the provenance patterns of samples PF-01, PF-02 and PF-09 all detrital zircon grains are older than ca. 1.0 Ga. They have a small amount of paleoarchean zircon grains and large paleoproterozoic (ca. 2.0-2.2 Ga) populations. Sample PF-01, differently from all others has also a large mesoproterozoic population. Despite small difference in the provenance patterns of these three samples they may have been derived from similar sources where paleoproterozoic (and mesoproterozoic) rock units dominate, with a minor paleoarchean contribution.

Noteworthy is the presence of the paleoarchean zircons, not previously documented in the whole of the Mantiqueira Province. Although the

Paleoarchean population (3.6 Ga) is not large (n=3), it is significant and represent the oldest zircons populations recognized at southern Brazil. Sources of this age are not known in Brazil. Cathodoluminescence images of these zircons suggest that they are formed by an older (>3.6 Ga) core overgrown by a dark-colored zircon phase of unknown age.

One additional aspect of the provenance patterns of these three samples is the absence of neoproterozoic zircon grains, commonly observed in other metasedimentary rocks of the São Gabriel Terrain. This suggests that during the time of deposition there was no coeval magmatic/orogenic activity in the vicinities of the original sedimentary basin. The large diversity of distinct ages and the absence of unimodal age peaks of detrital grains in these samples indicate pre-neoproterozoic continental sources, and that the tectonic setting of sedimentation may have been a continental passive margin.

On the other hand, sample PF-03 has an important contribution of zircons derived from neoproterozoic sources, although minor contributions from older sources are also recognized. The sample investigated by Remus *et al.* (2000), CERR-wr (Figure 2), have detrital age distribution which is similar to that in PF-03. Both show a main age peak at ca. 850 Ma, an age which is recorded in the evolution of the São Gabriel volcanic arc corresponding to the magmatic activity of the so-called Passinho Arc, as defined by Leite *et al.* (1998); Chemale Jr. (2000) and Saalman *et al.* (2005).

Nonetheless, some of neoproterozoic ages identified here are older than those recognized as the onset of the Passinho Arc. Two out of twenty-five neoproterozoic ages are older than 890 Ma: 937 ± 33 and 948 ± 25 Ma. The detrital zircon ages, may suggest the existence of active arc magmatism as old as ca. 948 Ma, extending the onset age of tectonic evolution São Gabriel arc.

5.1 Sources

Theme so proterozoic, paleoproterozoic and archean detrital zircons occur in all samples analyzed, and may be dominantly derived from sources observed in the Rio de la Plata Craton. The Mesoproterozoic sources with ages similar to those recognized in the Passo Feio metasedimentary rocks with peaks at 1.2 Ga and 1.35-1.4 Ga are uncommon in Eastern Brazil, but are found in Argentina (Ramos *et al.* 2010). Ages around 1.5 Ga have been

described in southern Brazil by Chemale Jr. *et al.* (2011) in the Capivarita Anorthosite and by Camozzato *et al.* (2013) in the Tupi Silveira Amphibolite.

Paleoproterozoic zircon grains occur in the four samples investigated, defining peaks at 2.4, 2.2, 2.0 and 1.75 - 1.8 Ga. 2.4 Ga old zircons are most likely derived from sources similar to the Rodrigues Neto gneiss (Remus *et al.*, 2000), juxtaposed to the Passo Feio Complex (Fig. 2). Sources with ages between 2.2 to 2.0 Ga similar to the Encantadas Complex paleoproterozoic orogenic event (Philipp *et al.* 2008). Gaucher *et al.*, (2008) and Hartmann *et al.*, (2002b) may account for the important paleoproterozoic peaks in the provenance patterns of some of the samples investigated. Zircons with ages between 2.4-2.35 Ga ages may have also been derived from sources similar to the Santa Maria Chico Complex (Hartmann *et al.* 2008, Hartmann *et al.* 1999). An anorogenic magmatic event affecting most of the Rio de La Plata craton is probably responsible for the 1.75 to 1.8 Ga detrital zircons. Metagranites and orthogneisses of these ages are reported by Camozzato *et al.* (2013) in the southern portion of the Tijucas Terrane in the Hulha Negra area. Rift sequences of this age are also recognized in different parts of the São Francisco Craton, Brasília Belt, Araçuaí Belt and in the Orós Belt of the Borborema Province.

Ages of Archean zircons are ca. 2.7 Ga, 3.0 Ga, 3.2-3.3 Ga, which correspond approximately to important tectonomagmatic events in the Nico Pérez Terrane at 2.7, 3.1 and 3.4 Ga (Hartmann *et al.*, 2001). Another noteworthy contribution is represented by the ca. 3.6 Ga zircon grains the source for which has not been recognized yet in South America. The nearest source region for zircons of that age is within the Kalahari craton, western Kaapvaal craton, with U-Pb age of 3644 ± 4 Ma for the Ancient Gneissic Complex (Compston and Kröner, 1988).

Neoproterozoic zircons are recognized only in sample PF-03 dated in this work and in sample CERR-wr investigated by Remus *et al.* (2000). The ages range from 774 Ma (CERR-wr data) to 803 Ma (PF-03) to 948 Ma, with an important peak at 850 Ma. The most probable source to these zircons is the Passinho island arc, the initial stage of development of the São Gabriel Terrane, represented by dioritic to tonalitic gneisses from Lavras do Sul (Leite *et al.*, 1998; Saalman *et al.*, 2005; Philipp *et al.* 2014).

5.2 Depositional age and sedimentation environment

Provenance patterns of detrital metasedimentary rocks is a useful tool to unravel depositional ages and tectonic history of complex supracrustal sequences, such as the Passo Feio Complex, since different sequences, with different tectonic significances might have been juxtaposed and deformed together. This might well be the case of the Passo Feio Complex. The contrasting detrital zircon provenance patterns recognized in the samples investigated suggest that there are two groups of sedimentary rocks possibly deposited in different settings at different times: (i) samples PF-01, PF-02, PF-09 which only have zircons older than ca. 1.0 Ga suggest that they represent a passive margin basin as indicated before by Fragoso-Cesar (1991); the ocean was probably established between the Rio de La Plata Craton and the Encantadas micro-plate (Kalahari by in accordance to tectonic models proposed by Chemale Jr. (2000) and Saalman *et al.* (2005). Therefore, the maximum depositional age from this sedimentary sequence is ca. 1104 Ma; (ii) samples PF-03 and CERR-wr has an additional neoproterozoic sedimentary contribution most likely derived from the erosion of the neoproterozoic subduction-related magmatic arc, supporting the model put forward by Fernandes *et al.* (1992) according to which the original sediments formed in a back-arc setting. Thus, the maximum depositional age to this basin is of ca. 774 Ma.

The data suggest, therefore, that the Passo Feio Complex encompasses two different sequences deposited at different settings and times. The older one is most likely part of a passive margin sequence deposited along the margin of either the Kalahari or the Rio de la Plata cratons and the other is part of a syn-orogenic sequence (back- or fore-arc), deposited when the magmatic activity of the southern part of the Dom Feliciano belt was in operation.

6. CONCLUSIONS

The Passo Feio Complex may comprise at least two depositional sequences: (i) the first phase certainly was deposited at the Rio de La Plata or

Kalahari passive margin, and (ii) the second stage was a syn-orogenic basin coeval with the magmatic activity in the Passinho and São Gabriel arcs.

The sources of the paleoarchean zircon population at 3.6 Ga not have not been identified in Brazil yet. These ages suggest derivation from the old continental terrains in the Kaapvaal Craton in southern Africa.

BIBLIOGRAPHY

ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.; FONSECA, M.A., 2001. Assembly West Gondwana in the Neoproterozoic: Clues from the São Francisco craton region, Brazil. *Geology*, Boulder, Colorado, v. 29, n.4, p. 319-322.

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.

ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, 17:1-29.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; HARTMANN, L.A.; VAN SCHUMUS, W.R.; SILVA, L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology* 24, 439-442.

BITENCOURT. M.F. 1983. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 161p.

CAMOZZATO, E.; PHILIPP, R.P.; CHEMALE Jr., F. 2013. Evolução tectônica e geocronologia U-Pb em zircão da terminação sul do Terreno Tijucas (RS, Brasil). VII, Congreso Uruguayo de Geologia, Sociedad Uruguaya de Geologia, Montevideo, Boletim de Resumos, 136.

CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R.P.; DUSSIN, I.; FORMOSO, M.L.L.; KAWASHITA, K.; BERTTOTTI, A.L. 2011. Lu-Hf and U-Pb age determination of Capivarita Anorthosite in the Dom Feliciano belt, Brazil, *Precambrian Research*, 186:117-126.

CHEMALE Jr., F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*, Editora UFRGS, Porto Alegre, pp. 13-52.

CHEMALE JR., F ; HARTMANN, L. A. ; SILVA, L. C., 1995. Stratigraphy and Tectonism of Precambrian to Early Paleozoic Units In Southern Brazil And Uruguay - Excursion Guide Book. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. XVIII, n.42, p. 5-117.

COMPSTON, W., KRÖNER, A., 1988. Multiple zircon growth within early Archean tonalitic gneiss from the Ancient Gneiss Complex, Swaziland Earth Planet. Sci. Lett., 87 (1988), pp. 13–28.

CORFU, F., HANCHAR, J.M., HOSKIN, P.W.O., KINNY, P. 2003. Atlas from Zircon Textures. In Hanchar, J. M., Hoskin, P.W.O. Zircon, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, vol. 53, Washington, USA.

GAUCHER, C.; FINNEY, S.C.; POIRÉ, D.G.; VALENCIA, V. A.; GROVE, M.; BLANCO, G.; PAMOUKAGHLIÁN, K.; PERAL, L.G. 2008. Detrital zircon ages of Neoproterozoic sedimentary successions in Uruguay and Argentina: Insights into the geological evolution of the Río de la Plata Craton.

GRUBER L.; PORCHER C.C.; LENZ C.; FERNANDES L.A.D.. 2011. Proveniência de metassedimentos das sequências Arroio Areião, Cerro Cambará e Quartzito Milonitos no Complexo Metamórfico Porongos, Santana da Boa Vista, RS. Pesquisas em Geociências, 38 (3): 205-223, set./dez.. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

FERNANDES, L.A.; TOMMASI, A. & C.C. PORCHER. 1992. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. Journal of South American Earth Science, 5(1): 77-96.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S. 1991. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, USP, 362p.

HARTMANN, L.A.; PHILIPP, R.P.; SANTOS, J.O.S.; Mc NAUGHTON, N. 2011. Time frame of 753-680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazil. Gondwana Research, v.19: 84-99.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R.P.; 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J.C. (Eds). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências, Porto Alegre, 97-123.

HARTMANN, L. A. . Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolite-facies granodiorite in southernmost Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 80, p. 543-551, 2008.

HARTMANN, L., SANTOS, J.O.S., CINGOLANI, C., MAC NAUGHTON, N., 2002b. Two Paleoproterozoic orogenies in the evolution of the Tandilia Belt, Buenos Aires, as evidenced by Zircon U–Pb SHRIMP geochronology. International Geology Review 44, 528–543.

HARTMANN, L. A., CAMPAL, N., SANTOS, J.O.S., MCNAUGHTON, N.J., BOSSI, J., SCHIPILOV, A., LAFON, J.M., 2001. Archean crust in the Rio de la Plata Craton, Uruguay - SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, Holanda, v. 14, p. 557-570.

HARTMANN, L.A.; LEITE, J.A.D.; SILVA, L.C.; REMUS, M.V.D.; MCNAUGHTON, N.J. ; GROVES, D.I; FLETCHER, I.R.; SANTOS, J. O.; VASCONCELLOS, M.A.Z . Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences* , Austrália, v. 47, n.5, p. 829-844, 2000.

HARTMANN, L. A. ; LEITE, J. A. D. ; MCNAUGHTON, N. J. ; SANTOS, ORESTES J.S, 1999. Deepest exposed crust of Brazil - SHRIMP establishes three events. *Geology JCR*, Estados Unidos da América, v. 27, n.10, p. 947-950.

HASUI, Y. 2010. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 141-169.

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A., NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V., 2004 (a). Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Org.), *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 203-234.

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A., NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V., 2004 (b). Brasileiro orogens in southeast and south Brazil: The 750-550 Ma Brasileiro Event of South America: In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackpacher, P. (Eds), *The 750-550 Ma Brasileiro Event of South America*, *Journal of the Virtual Explore (Eletronic Edition)*, 17, p. 4.

LEITE, J.A.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., CHEMALE JR.,F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *InternationalGeologyReview*, 40 (8): 688-705.

LENA, L.O.F. 2013. A evolução do arco magmático neoproterozóico São Gabriel, porção sul da província Mantiqueira, baseado em idades U-Pb SHIRIMP e LA-ICP-MS e valores de $\delta^{18}\text{O}$ em zircões detríticos. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. Dissertação mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS – BR.

LUDWIG, K.R. 2003. Isoplot 3.0 - A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley Geochronology Center, Special Publications N . 4.

LUDWIG, K.R. 2001. Squid 1.02: A User Manual: Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2. 19 pp.

MACHADO, N.; KOPPE, J.C. & HARTMANN, L.A. 1990. A late Proterozoic U-Pb age for the Bossoroca Belt, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 3 (2/3): 87-89.

OYHANTÇABAL, P., SIEGESMUND, S., WEMMER, K., 2010. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, v.100, p. 201-220.

PACES, J.B., AND MILLER, J.D., JR., 1993. Precise U-Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: New insights for physical, petrogenetic, paleomagnetic and tectono-magmatic processes associated with the 1.1 Ga Midcontinent Rift system. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, no. B8, p. 13,997-14, 013

PHILIPP, R.P.; LUSA, M.; BASEI, M.A.S.; HARTMANN, L.A.; SANTOS, J.O.S. 2014. Oldest age of magmatism in the Passinho arc in the southwestern portion of Gondwana, Rio Grande do Sul, Brazil. IX South American Symposium on Isotope Geology, Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, Resumo.

PHILIPP, R. P. ; LUSA, M.; NARDI, L. V. S. 2008. Geochemistry and petrology of dioritic, tonalitic and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: a Paleoproterozoic continental-arc magmatism. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, p. 735-748.

RAMOS, V.A.; VUJOVICH, G.; MARTINO, R.; OTAMENDI, J. 2010. Pampia: A large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. *Journal of Geodynamics*, v. 50, p. 243-255.

REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (2000):191-216.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO FILHO, P.M.; TESSARI, R.I. 1966. *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 127, 232 p.

RIBEIRO, M., 1970. Geologia da folha de Bom Jardim: Rio Grande do Sul-Brasil. In: Boletim: Divisão de Geologia e Mineralogia. Brasília, 247: 1-142.

SAALMANN, K.; REMUS, M.V.D. ; HARTMANN, L.A 2007. Neoproterozoic magmatic arc assembly in the southern Brazilian Shield constraints for a plate tectonic model for the Brasiliano orogeny. *Geotectonic Research*, v. 95, p. 41-59.

SAALMANN, K.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; KOESTER, E. & CONCEIÇÃO, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian Research*, 136: 159-175.

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 of the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 136, p. 203-240.

TICKYJ, H., HARTMANN, L.A., VASCONCELLOS, M.A.Z., PHILIPP, R.P. & REMUS, M.V.D. 2004. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *J. of South American Earth Sciences*, 16: 699-713.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1998. Projeto Caçapava do Sul: mapeamento geológico 1:25.000 1998.

WILLIAMS, IAN S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In McKibben, M.A.; Shanks III, W.C.; and Ridley, W. I. (eds): *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews in Economic Geology*, v.7, p1-35.

Appendix1 – U-Pb Isotopic data from PF-01, PF-02 and PF-09 by LA-ICPMS at UFRGS and UnB.

| Spot | Isotopic Ratios | | | | | | Ages | | | | | | Conc (%) |
|--------------|-----------------|------------|----------|------------|----------|-------------|----------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | Th/U | 207Pb/235U | 1s(%) | 206Pb/238U | 1s(%) | 207Pb/206Pb | 1s(Ma) | 207Pb/235U | 1s(Ma) | 206Pb/238U | 1s(Ma) | | |
| PF-01 | | | | | | | | | | | | | |
| 03_ZR_1 | 0,376249 | 6,296814 | 2,661445 | 0,378735 | 2,181212 | 1964,86 | 27,20097 | 2018,011 | 23,32035 | 2070,371 | 38,62518 | 105,3699 | |
| 04_ZR_2 | 0,294086 | 8,660841 | 1,735347 | 0,421707 | 1,54922 | 2333,936 | 13,38679 | 2302,971 | 15,79651 | 2268,224 | 29,6232 | 97,18452 | |
| 05_ZR_3 | 0,426947 | 9,131047 | 1,607093 | 0,440938 | 1,38987 | 2348,094 | 13,79377 | 2351,226 | 14,70744 | 2354,838 | 27,41729 | 100,2872 | |
| 06_ZR_4 | 0,212911 | 4,349521 | 2,64239 | 0,303226 | 1,737292 | 1697,296 | 36,6895 | 1702,805 | 21,81491 | 1707,285 | 26,05778 | 100,5886 | |
| 09_ZR_5 | 0 | 20,59879 | 1,969042 | 0,556105 | 1,691756 | 3298,15 | 15,80902 | 3119,904 | 19,06765 | 2850,515 | 38,97392 | 86,42769 | |
| 10_ZR_6 | 0 | 7,671266 | 1,632432 | 0,36986 | 1,50019 | 2350,795 | 11,0003 | 2193,242 | 14,6639 | 2028,743 | 26,11115 | 86,3003 | |
| 11_ZR_7 | 0 | 4,593045 | 1,513137 | 0,310827 | 1,446517 | 1751,873 | 8,126776 | 1748,006 | 12,61713 | 1744,775 | 22,11134 | 99,59479 | |
| 12_ZR_8 | 0 | 5,212187 | 2,236592 | 0,303189 | 1,957203 | 2024,29 | 19,17463 | 1854,61 | 19,05426 | 1707,104 | 29,35353 | 84,33099 | |
| 16_ZR_10 | 0 | 33,25896 | 3,254463 | 0,733929 | 2,809878 | 3610,865 | 25,18059 | 3588,311 | 32,0807 | 3548,043 | 76,67054 | 98,26021 | |
| 17_ZR_11 | 0 | 5,480372 | 3,539622 | 0,365094 | 3,501258 | 1780,576 | 9,478242 | 1897,525 | 30,39464 | 2006,275 | 60,3649 | 112,6756 | |
| 18_ZR_12 | 0 | 15,93291 | 3,949655 | 0,575456 | 3,875961 | 2832,777 | 12,38687 | 2872,782 | 37,73571 | 2930,185 | 91,26485 | 103,4386 | |
| 21_ZR_13 | 0 | 14,01718 | 2,028522 | 0,459845 | 1,306102 | 2988,568 | 24,97386 | 2750,87 | 19,22569 | 2438,872 | 26,52161 | 81,6067 | |
| 22_ZR_14 | 0 | 4,764203 | 2,348753 | 0,285018 | 2,169753 | 1974,432 | 16,02335 | 1778,613 | 19,71143 | 1616,586 | 31,02358 | 81,87599 | |
| 23_ZR_15 | 0 | 2,292145 | 2,336662 | 0,188524 | 1,033092 | 1386,425 | 40,24258 | 1209,869 | 16,5192 | 1113,376 | 10,56371 | 80,30552 | |
| 24_ZR_16 | 0 | 38,45142 | 4,618579 | 0,836282 | 3,535561 | 3633,113 | 45,50229 | 3731,604 | 45,70756 | 3917,762 | 103,7982 | 107,8349 | |
| 29_ZR_17 | 0 | 12,03871 | 1,293655 | 0,489794 | 1,103068 | 2636,791 | 11,2259 | 2607,425 | 12,12813 | 2569,786 | 23,37802 | 97,45883 | |
| 30_ZR_18 | 0 | 2,354897 | 1,301576 | 0,213504 | 1,130156 | 1196,877 | 12,73354 | 1229,041 | 9,27667 | 1247,457 | 12,81802 | 104,226 | |
| 31_ZR_19 | 0 | 9,856192 | 1,298354 | 0,462502 | 0,827608 | 2396,988 | 17,01608 | 2421,42 | 11,96891 | 2450,595 | 16,87175 | 102,2364 | |
| 35_ZR_21 | 0 | 3,06191 | 1,314846 | 0,247973 | 1,081011 | 1416,045 | 14,31325 | 1423,215 | 10,06392 | 1428,013 | 13,84674 | 100,8452 | |
| 36_ZR_22 | 0 | 5,68243 | 1,341394 | 0,35267 | 1,187351 | 1908,737 | 11,20647 | 1928,702 | 11,58206 | 1947,335 | 19,95602 | 102,0222 | |
| 38_ZR_24 | 0 | 9,266634 | 2,261165 | 0,41342 | 0,978754 | 2482,524 | 34,3715 | 2364,725 | 20,72316 | 2230,538 | 18,45491 | 89,84963 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 43_ZR_25 | 0 | 24,89567 | 2,378779 | 0,64417 | 2,267388 | 3364,598 | 11,23113 | 3304,133 | 23,22099 | 3205,388 | 57,26615 | 95,26809 |
| 46_ZR_28 | 0 | 1,845419 | 4,504986 | 0,149087 | 4,138186 | 1420,74 | 34,02717 | 1061,796 | 29,6669 | 895,8437 | 34,61108 | 63,05471 |
| 52_ZR_30 | 0 | 5,420322 | 2,318786 | 0,351781 | 2,19574 | 1828,085 | 13,51309 | 1888,073 | 19,87736 | 1943,099 | 36,83541 | 106,2915 |
| 53_ZR_31 | 0 | 8,267259 | 4,12799 | 0,390202 | 4,093444 | 2387,099 | 9,074118 | 2260,738 | 37,39201 | 2123,765 | 74,06597 | 88,96846 |
| 54_ZR_32 | 0 | 6,405843 | 2,854877 | 0,405042 | 2,423689 | 1875,225 | 27,19747 | 2033,07 | 25,07374 | 2192,214 | 45,04077 | 116,9041 |
| 57_ZR_33 | 0 | 8,492326 | 3,0395 | 0,467413 | 2,172684 | 2121,719 | 37,23837 | 2285,103 | 27,61125 | 2472,206 | 44,61318 | 116,519 |
| 59_ZR_35 | 0 | 5,370193 | 3,391217 | 0,366794 | 3,044611 | 1734,935 | 27,39271 | 1880,113 | 29,02838 | 2014,299 | 52,67077 | 116,1023 |
| 60_ZR_36 | 0 | 4,312867 | 2,144465 | 0,306603 | 1,830356 | 1661,21 | 20,68547 | 1695,823 | 17,67609 | 1723,967 | 27,68765 | 103,7778 |
| 64_ZR_38 | 0 | 2,530146 | 1,31547 | 0,223764 | 1,126549 | 1245,698 | 13,30216 | 1280,743 | 9,573347 | 1301,733 | 13,27886 | 104,4983 |
| 65_ZR_39 | 0 | 8,363526 | 1,474947 | 0,44807 | 1,312988 | 2168,862 | 11,71083 | 2271,231 | 13,37693 | 2386,669 | 26,19001 | 110,0424 |
| 70_ZR_42 | 0,294086 | 8,342079 | 3,228489 | 0,484619 | 3,081677 | 2026,607 | 17,04526 | 2268,903 | 29,27251 | 2547,352 | 64,8471 | 125,6954 |
| 72_ZR_44 | 0,212911 | 7,029633 | 1,893549 | 0,412082 | 1,398662 | 2010,587 | 22,64654 | 2115,184 | 16,83229 | 2224,433 | 26,31205 | 110,636 |
| 75_ZR_45 | 0 | 6,024829 | 4,288808 | 0,371401 | 3,448759 | 1920,866 | 45,71132 | 1979,439 | 37,3487 | 2035,99 | 60,20877 | 105,9934 |
| 77_ZR_47 | 0 | 11,23375 | 2,637394 | 0,343529 | 2,111548 | 3101,076 | 25,18842 | 2542,72 | 24,59065 | 1903,626 | 34,80454 | 61,38598 |
| 81_ZR_49 | 0 | 4,726101 | 4,668027 | 0,313978 | 3,853871 | 1785,607 | 48,00665 | 1771,879 | 39,12076 | 1760,253 | 59,36447 | 98,58012 |
| 88_ZR_54 | 0 | 3,848782 | 1,532322 | 0,295143 | 1,416064 | 1519,678 | 11,04043 | 1603,013 | 12,3501 | 1667,181 | 20,80254 | 109,7062 |
| 89_ZR_55 | 0 | 3,134009 | 1,39828 | 0,262711 | 1,299795 | 1349,846 | 9,947913 | 1441,08 | 10,76348 | 1503,696 | 17,4328 | 111,3976 |
| 96_ZR_60 | 0 | 2,590742 | 3,43256 | 0,230848 | 1,573346 | 1230,992 | 59,87275 | 1298,024 | 25,14711 | 1338,943 | 19,02237 | 108,7695 |
| PF-02 | | | | | | | | | | | | |
| 04_ZR_02 | 0,294086 | 29,42158 | 4,142144 | 0,72662 | 3,017945 | 3437,142 | 44,05363 | 3467,688 | 40,67611 | 3520,812 | 81,87289 | 102,4343 |
| 05_ZR_03 | 0,426947 | 4,596542 | 1,700454 | 0,282144 | 1,612141 | 1928,534 | 9,688829 | 1748,641 | 14,18098 | 1602,153 | 22,86944 | 83,0762 |
| 10_ZR_06 | 0 | 26,37687 | 2,04385 | 0,727329 | 1,879222 | 3264,896 | 12,64264 | 3360,612 | 19,99486 | 3523,455 | 51,00961 | 107,9194 |
| 11_ZR_07 | 0 | 11,4672 | 1,409652 | 0,509368 | 1,287545 | 2489,878 | 9,669936 | 2561,914 | 13,16528 | 2653,931 | 28,01027 | 106,5888 |
| 12_ZR_08 | 0 | 10,4907 | 3,274258 | 0,473048 | 2,096296 | 2464,527 | 42,48915 | 2479,096 | 30,35294 | 2496,912 | 43,39691 | 101,3141 |
| 15_ZR_09 | 0 | 9,950482 | 2,99005 | 0,454574 | 2,887165 | 2442,487 | 13,16536 | 2430,201 | 27,58794 | 2415,554 | 58,16455 | 98,89731 |
| 16_ZR_10 | 0 | 28,00756 | 3,425336 | 0,632187 | 3,371422 | 3576,132 | 9,305824 | 3419,36 | 33,58127 | 3158,231 | 84,17958 | 88,31416 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 17_ZR_11 | 0 | 11,12181 | 1,844064 | 0,501494 | 1,19493 | 2464,566 | 23,72646 | 2533,387 | 17,17963 | 2620,213 | 25,72781 | 106,3154 |
| 22_ZR_14 | 0 | 22,12095 | 1,584215 | 0,622812 | 1,399393 | 3232,087 | 11,71222 | 3189,053 | 15,39013 | 3121,098 | 34,62155 | 96,56603 |
| 23_ZR_15 | 0 | 10,2475 | 1,944223 | 0,473051 | 1,705918 | 2424,812 | 15,81876 | 2457,375 | 17,98614 | 2496,927 | 35,3156 | 102,974 |
| 24_ZR_16 | 0 | 9,147302 | 2,009242 | 0,439923 | 1,363021 | 2355,071 | 25,21881 | 2352,854 | 18,39097 | 2350,296 | 26,84468 | 99,79727 |
| 28_ZR_18 | 0 | 25,22688 | 2,138094 | 0,601184 | 1,970736 | 3492,438 | 12,82417 | 3317,038 | 20,88207 | 3034,607 | 47,69939 | 86,89079 |
| 29_ZR_19 | 0 | 10,55206 | 2,786155 | 0,502485 | 2,748517 | 2371,964 | 7,783421 | 2484,504 | 25,84122 | 2624,465 | 59,25559 | 110,6452 |
| 30_ZR_20 | 0 | 8,608585 | 2,230094 | 0,424468 | 1,253984 | 2312,379 | 31,64544 | 2297,464 | 20,28735 | 2280,729 | 24,08809 | 98,63129 |
| 33_ZR_21 | 0 | 24,09707 | 1,153161 | 0,665483 | 0,998771 | 3262,485 | 9,069416 | 3272,327 | 11,24246 | 3288,415 | 25,72652 | 100,7948 |
| 34_ZR_22 | 0 | 8,91486 | 2,222533 | 0,422194 | 2,11537 | 2381,336 | 11,61584 | 2329,324 | 20,29112 | 2270,432 | 40,48161 | 95,34275 |
| 36_ZR_24 | 0 | 11,75799 | 2,470275 | 0,503966 | 2,202554 | 2549,86 | 18,73484 | 2585,326 | 23,11671 | 2630,82 | 47,57822 | 103,175 |
| 40_ZR_26 | 0 | 19,19465 | 2,0068 | 0,551881 | 1,656271 | 3198,952 | 17,91909 | 3051,65 | 19,36769 | 2832,991 | 37,96964 | 88,55998 |
| 41_ZR_27 | 0 | 5,052373 | 4,115299 | 0,346386 | 3,929868 | 1728,039 | 22,42066 | 1828,147 | 34,88197 | 1917,319 | 65,1759 | 110,9534 |
| 42_ZR_28 | 0 | 6,228707 | 1,528542 | 0,361587 | 1,301357 | 2027,873 | 14,19758 | 2008,489 | 13,37348 | 1989,693 | 22,27832 | 98,11722 |
| 45_ZR_29 | 0 | 36,29429 | 1,365096 | 0,787514 | 1,198636 | 3636,709 | 10,00023 | 3674,509 | 13,48929 | 3744,244 | 34,04194 | 102,9569 |
| 46_ZR_30 | 0 | 10,52659 | 1,942506 | 0,460082 | 1,387876 | 2517,104 | 22,83863 | 2482,263 | 18,01271 | 2439,921 | 28,19207 | 96,93367 |
| 47_ZR_31 | 0 | 10,74004 | 1,901127 | 0,500952 | 1,7664 | 2407,223 | 11,94387 | 2500,894 | 17,65945 | 2617,884 | 38,00462 | 108,7512 |
| 48_ZR_32 | 0 | 21,29853 | 2,849417 | 0,602825 | 1,876103 | 3223,772 | 33,84752 | 3152,278 | 27,63499 | 3041,212 | 45,48626 | 94,33706 |
| 53_ZR_33 | 0 | 10,05144 | 1,694082 | 0,456978 | 1,56982 | 2450,645 | 10,77331 | 2439,519 | 15,64493 | 2426,199 | 31,74023 | 99,00248 |
| 54_ZR_34 | 0 | 22,6912 | 4,109689 | 0,600607 | 3,53172 | 3329,122 | 32,89726 | 3213,792 | 39,96771 | 3032,281 | 85,42991 | 91,08353 |
| 55_ZR_35 | 0 | 10,3895 | 2,98608 | 0,484977 | 2,964128 | 2405,905 | 6,141718 | 2470,114 | 27,65803 | 2548,908 | 62,4046 | 105,9438 |
| 56_ZR_36 | 0 | 9,504521 | 1,726892 | 0,425938 | 1,499548 | 2474,963 | 14,45275 | 2387,984 | 15,86533 | 2287,378 | 28,87515 | 92,4207 |
| 61_ZR_39 | 0 | 20,30993 | 1,945045 | 0,616037 | 1,212814 | 3114,065 | 24,21198 | 3106,232 | 18,82287 | 3094,129 | 29,80355 | 99,3598 |
| 62_ZR_40 | 0 | 15,16044 | 4,042207 | 0,508567 | 1,860791 | 2952,628 | 57,91787 | 2825,371 | 38,50411 | 2650,509 | 40,43891 | 89,76781 |
| 65_ZR_41 | 0,376249 | 10,70589 | 1,54123 | 0,470865 | 1,416615 | 2506,55 | 10,2129 | 2497,936 | 14,31251 | 2487,355 | 29,23438 | 99,23422 |
| 66_ZR_42 | 0,294086 | 8,951516 | 1,183003 | 0,408627 | 1,046503 | 2443,772 | 9,338677 | 2333,071 | 10,80496 | 2208,642 | 19,56995 | 90,3784 |
| 71_ZR_45 | 0 | 10,83717 | 2,811062 | 0,508497 | 2,564184 | 2397,114 | 19,59399 | 2509,26 | 26,13174 | 2650,209 | 55,72003 | 110,5583 |
| 72_ZR_46 | 0 | 10,5292 | 1,433104 | 0,470683 | 1,310413 | 2479,17 | 9,786435 | 2482,493 | 13,28935 | 2486,555 | 27,03558 | 100,2979 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 73_ZR_47 | 0 | 9,651583 | 2,8846 | 0,483202 | 2,798535 | 2286,195 | 12,03461 | 2402,1 | 26,53994 | 2541,199 | 58,77295 | 111,1541 |
| 74_ZR_48 | 0 | 11,09849 | 1,620403 | 0,487177 | 1,153845 | 2509,845 | 19,13196 | 2531,432 | 15,09335 | 2558,452 | 24,36633 | 101,9366 |
| 77_ZR_49 | 0 | 7,87296 | 4,174223 | 0,365423 | 4,107013 | 2415,561 | 12,66556 | 2216,59 | 37,60755 | 2007,827 | 70,85538 | 83,12051 |
| 80_ZR_52 | 0 | 6,169816 | 1,570446 | 0,365551 | 1,154164 | 1991,67 | 18,93667 | 2000,183 | 13,72199 | 2008,434 | 19,9171 | 100,8417 |
| 85_ZR_55 | 0 | 12,7278 | 2,771667 | 0,484906 | 2,611888 | 2745,347 | 15,24879 | 2659,718 | 26,09296 | 2548,598 | 54,98335 | 92,83339 |
| 89_ZR_57 | 0 | 6,835105 | 4,265284 | 0,363092 | 2,375958 | 2183,64 | 61,6333 | 2090,282 | 37,78141 | 1996,813 | 40,7989 | 91,44424 |
| PF-09 | | | | | | | | | | | | |
| 008-Z5 | 0,629025 | 4,473045 | 1,736827 | 0,293816 | 0,663548 | 1806,243 | 29,17913 | 1725,984 | 14,41321 | 1660,572 | 9,713907 | 96,21019 |
| 009-Z6 | 0,311371 | 7,96467 | 1,05522 | 0,418461 | 1,027672 | 2202,788 | 4,159189 | 2227,031 | 9,519332 | 2253,488 | 19,54384 | 101,188 |
| 010-Z7 | 0,615643 | 26,30263 | 0,705199 | 0,675164 | 0,512138 | 3377,054 | 7,561285 | 3357,855 | 6,898208 | 3325,778 | 13,30631 | 99,04472 |
| 014-Z9 | 0,348369 | 7,382849 | 1,140353 | 0,4155 | 1,059792 | 2082,615 | 7,408247 | 2158,895 | 10,19768 | 2240,016 | 20,05394 | 103,7575 |
| 015-Z10 | 0,272749 | 6,32766 | 0,469452 | 0,361859 | 0,429584 | 2054,41 | 3,342112 | 2022,294 | 4,116223 | 1990,981 | 7,358235 | 98,45162 |
| 016-Z11 | 1,497016 | 6,343801 | 1,466192 | 0,362658 | 0,544336 | 2055,014 | 24,03123 | 2024,528 | 12,86025 | 1994,762 | 9,338913 | 98,52973 |
| 017-Z12 | 0,283453 | 3,039597 | 0,476444 | 0,242236 | 0,405137 | 1446,752 | 4,774559 | 1417,622 | 3,640157 | 1398,313 | 5,09279 | 98,63793 |
| 018-Z13 | 0,239098 | 4,489921 | 0,571985 | 0,295269 | 0,486537 | 1804,122 | 5,468781 | 1729,11 | 4,749929 | 1667,807 | 7,149769 | 96,45464 |
| 019-Z14 | 1,203212 | 2,656828 | 2,88629 | 0,227936 | 0,491402 | 1304,951 | 54,24335 | 1316,542 | 21,07242 | 1323,672 | 5,923901 | 100,5416 |
| 020-Z15 | 0,954437 | 7,226849 | 1,003565 | 0,39976 | 0,751398 | 2112,935 | 11,66601 | 2139,821 | 8,951397 | 2167,935 | 13,83357 | 101,3138 |
| 026-Z19 | 0,393905 | 6,727112 | 1,284705 | 0,359912 | 0,853427 | 2171,226 | 16,73117 | 2076,19 | 11,35651 | 1981,757 | 14,56029 | 95,45163 |
| 027-Z20 | 0,440693 | 6,752229 | 0,660671 | 0,364963 | 0,562945 | 2153,421 | 6,036887 | 2079,485 | 5,843001 | 2005,654 | 9,703132 | 96,4496 |
| 028-Z21 | 0,257104 | 8,826466 | 0,521917 | 0,407567 | 0,447579 | 2424,334 | 4,553558 | 2320,231 | 4,760156 | 2203,79 | 8,354463 | 94,9815 |
| 029-Z22 | 0,292618 | 11,74757 | 0,47856 | 0,470378 | 0,42018 | 2663,278 | 3,795096 | 2584,495 | 4,478031 | 2485,22 | 8,66506 | 96,15882 |
| 033-Z24 | 0,339195 | 6,169782 | 0,536968 | 0,354896 | 0,469597 | 2044,101 | 4,602428 | 2000,178 | 4,691829 | 1957,935 | 7,929376 | 97,88804 |
| 034-Z25 | 0,487917 | 4,255854 | 0,551715 | 0,289052 | 0,439127 | 1745,246 | 6,117892 | 1684,868 | 4,536154 | 1636,792 | 6,347677 | 97,1466 |
| 035-Z26 | 0,185932 | 6,249121 | 0,502024 | 0,356378 | 0,450329 | 2059,307 | 3,914699 | 2011,352 | 4,394279 | 1964,981 | 7,627424 | 97,69451 |
| 036-Z27 | 0,327396 | 22,6399 | 0,944582 | 0,601223 | 0,796737 | 3323,973 | 7,945741 | 3211,591 | 9,185408 | 3034,762 | 19,28487 | 94,49403 |
| 037-Z28 | 0,279386 | 7,169651 | 0,510054 | 0,381308 | 0,435359 | 2181,611 | 4,624777 | 2132,737 | 4,545069 | 2082,39 | 7,747307 | 97,63932 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 038-Z29 | 0,467585 | 11,01293 | 0,592915 | 0,453128 | 0,434091 | 2618,093 | 6,720284 | 2524,226 | 5,519201 | 2409,145 | 8,726011 | 95,44096 |
| 039-Z30 | 0,673547 | 22,89578 | 0,673484 | 0,613825 | 0,497792 | 3309,078 | 7,112024 | 3222,523 | 6,552265 | 3085,301 | 12,20547 | 95,74177 |
| 046-Z34 | 0,828667 | 6,116399 | 0,993726 | 0,354621 | 0,779813 | 2030,103 | 10,90355 | 1992,59 | 8,672257 | 1956,625 | 13,15997 | 98,1951 |
| 047-Z35 | 0,496795 | 4,257854 | 1,133959 | 0,287031 | 0,494628 | 1758,946 | 18,65873 | 1685,255 | 9,324158 | 1626,678 | 7,111108 | 96,52416 |
| 048-Z36 | 0,343136 | 9,472381 | 0,50123 | 0,424457 | 0,425961 | 2475,124 | 4,457914 | 2384,872 | 4,603418 | 2280,681 | 8,182243 | 95,63116 |
| 053-Z39 | 0,279277 | 1,779512 | 0,684217 | 0,169095 | 0,573947 | 1103,615 | 7,447338 | 1038,001 | 4,44791 | 1007,124 | 5,35145 | 97,02534 |
| 054-Z40 | 0,23334 | 5,751819 | 0,733918 | 0,338515 | 0,593279 | 2003,549 | 7,671471 | 1939,191 | 6,348363 | 1879,522 | 9,672354 | 96,92302 |
| 055-Z41 | 0,869726 | 6,117947 | 0,583642 | 0,354129 | 0,510789 | 2033,009 | 4,996911 | 1992,81 | 5,093628 | 1954,283 | 8,611136 | 98,06667 |
| 060-Z46 | 0,938046 | 7,024766 | 1,491878 | 0,378756 | 0,526786 | 2157,736 | 24,12529 | 2114,568 | 13,17474 | 2070,471 | 9,401861 | 97,91459 |
| 063-Z47 | 0,200747 | 19,63058 | 1,313865 | 0,565959 | 0,552511 | 3194,63 | 18,85706 | 3073,335 | 12,69411 | 2891,207 | 12,87252 | 94,07391 |
| 064-Z48 | 0,410393 | 2,330929 | 1,154746 | 0,204692 | 0,675685 | 1259,537 | 18,30293 | 1221,761 | 8,205029 | 1200,479 | 7,400961 | 98,25807 |
| 065-Z49 | 0,360397 | 6,013303 | 1,20499 | 0,339268 | 0,621541 | 2078,226 | 18,17433 | 1977,772 | 10,49069 | 1883,146 | 10,14993 | 95,21553 |
| 067-Z51 | 0,23995 | 3,459848 | 0,488963 | 0,262049 | 0,424201 | 1543,021 | 4,571661 | 1518,114 | 3,851615 | 1500,316 | 5,678005 | 98,82765 |
| 069-Z53 | 1,426268 | 6,483072 | 0,892893 | 0,372441 | 0,7389 | 2046,359 | 8,857322 | 2043,604 | 7,854713 | 2040,875 | 12,9261 | 99,86647 |
| 070-Z54 | 1,704624 | 6,020553 | 1,143595 | 0,34663 | 0,746869 | 2042,479 | 15,30881 | 1978,821 | 9,957888 | 1918,487 | 12,39311 | 96,95099 |
| 075-Z57 | 0,648786 | 4,572723 | 2,256013 | 0,300478 | 1,145013 | 1805,551 | 34,86807 | 1744,31 | 18,62473 | 1693,679 | 17,11526 | 97,09738 |
| 077-Z59 | 0,467564 | 26,55044 | 0,798611 | 0,686961 | 0,755819 | 3364,658 | 4,026402 | 3367,029 | 7,814632 | 3371,014 | 19,84098 | 100,1184 |

Appendix2 – U-Pb isotopic data from PF-03 by SRHIMP.

| Spot | Isotopic Ratios | | | | | | | | | | Ages | | | | | | | | |
|--------------|----------------------------------|-------|--------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|------|-------|-------------------|------|-----|-------------------|---|-----|-----------|
| | % ²⁰⁶ Pb _c | ppm U | ppm Th | ²³² Th / ²³⁸ U | ppm ²⁰⁶ Pb* | ppm ²⁰⁷ Pb* | ±% | ²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U | ±% | ²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U | ±% | (1) | ²⁰⁶ Pb | ± | (1) | ²⁰⁷ Pb | ± | (1) | Conc. (%) |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PF-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,1 | 0,00 | 29 | 36 | 1,29 | 8,26 | 0,1131 | 1,7 | 5,23 | 2,5 | 0,3356 | 1,9 | 1866 | ±30 | 1849 | ±30 | 99 | | | |
| 2,1 | 0,17 | 267 | 242 | 0,94 | 32,3 | 0,06815 | 1,4 | 1,321 | 1,8 | 0,1406 | 1,2 | 847,8 | ±9,2 | 873 | ±28 | 103 | | | |
| 3,1 | 0,19 | 316 | 222 | 0,73 | 39,2 | 0,06823 | 1,3 | 1,358 | 1,8 | 0,1443 | 1,2 | 868,9 | ±9,7 | 876 | ±26 | 101 | | | |
| 4,1 | 0,15 | 238 | 161 | 0,70 | 29,2 | 0,06855 | 1,4 | 1,348 | 1,8 | 0,1426 | 1,2 | 859,4 | ±9,6 | 885 | ±29 | 103 | | | |
| 5,1 | 0,04 | 95 | 51 | 0,55 | 42,3 | 0,1868 | 0,66 | 13,36 | 1,5 | 0,5186 | 1,3 | 2693 | ±29 | 2714 | ±11 | 101 | | | |
| 6,1 | 0,07 | 458 | 166 | 0,37 | 69,2 | 0,07792 | 0,79 | 1,89 | 1,4 | 0,1759 | 1,1 | 1044 | ±11 | 1145 | ±16 | 109 | | | |
| 8,1 | 0,00 | 112 | 47 | 0,43 | 48,7 | 0,1841 | 0,61 | 12,81 | 1,5 | 0,5049 | 1,4 | 2635 | ±30 | 2690 | ±10 | 102 | | | |
| 9,1 | 0,08 | 239 | 101 | 0,44 | 27,3 | 0,06714 | 1,5 | 1,23 | 1,9 | 0,1329 | 1,2 | 804,5 | ±9,2 | 842 | ±30 | 104 | | | |
| 11,1 | 0,20 | 200 | 103 | 0,53 | 22,9 | 0,0662 | 1,7 | 1,211 | 2,2 | 0,1326 | 1,3 | 802,5 | ±9,9 | 814 | ±36 | 101 | | | |
| 13,1 | 0,13 | 183 | 177 | 1,00 | 21,5 | 0,068 | 1,7 | 1,284 | 2,1 | 0,1369 | 1,3 | 827,1 | ±9,8 | 869 | ±35 | 105 | | | |
| 15,1 | 0,06 | 836 | 389 | 0,48 | 92,4 | 0,06751 | 0,73 | 1,197 | 1,3 | 0,1286 | 1,1 | 779,8 | ±7,9 | 854 | ±15 | 109 | | | |
| 17,1 | 0,07 | 62 | 64 | 1,07 | 23,6 | 0,16 | 1 | 9,72 | 2,2 | 0,4406 | 2 | 2353 | ±39 | 2456 | ±17 | 104 | | | |
| 22,1 | 0,08 | 239 | 322 | 1,39 | 30,3 | 0,06826 | 1,4 | 1,387 | 1,9 | 0,1474 | 1,3 | 886 | ±11 | 876 | ±29 | 99 | | | |
| 23,1 | 0,45 | 71 | 69 | 1,01 | 19,4 | 0,109 | 1,7 | 4,78 | 2,3 | 0,3182 | 1,5 | 1781 | ±24 | 1784 | ±32 | 100 | | | |
| 24,1 | 0,05 | 585 | 84 | 0,15 | 70,5 | 0,06676 | 0,83 | 1,291 | 1,4 | 0,1402 | 1,1 | 845,9 | ±8,7 | 830 | ±17 | 98 | | | |
| 25,1 | 0,35 | 66 | 58 | 0,92 | 28,6 | 0,1844 | 10 | 12,86 | 1,8 | 0,5057 | 1,6 | 2638 | ±34 | 2693 | ±17 | 102 | | | |
| 26,1 | 0,06 | 289 | 143 | 0,51 | 36,4 | 0,0677 | 1,2 | 1,369 | 1,7 | 0,1466 | 1,2 | 881,9 | ±9,7 | 859 | ±25 | 97 | | | |
| 27,1 | 0,19 | 118 | 40 | 0,35 | 14,9 | 0,0683 | 2,7 | 1,383 | 3 | 0,1468 | 1,4 | 883 | ±12 | 879 | ±55 | 100 | | | |
| 28,1 | 0,00 | 203 | 122 | 0,62 | 24,4 | 0,06672 | 1,3 | 1,286 | 1,8 | 0,1398 | 1,2 | 843,5 | ±9,8 | 829 | ±27 | 98 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|------|------|---------|------|-------|-----|--------|-----|-------|------|--------|------|-----|
| 29,1 | 0,64 | 91 | 67 | 0,76 | 10,1 | 0,0662 | 3,7 | 1,17 | 4 | 0,1281 | 1,5 | 777 | ±11 | 814 | ±78 | 105 |
| 31,1 | 0,21 | 471 | 419 | 0,92 | 54,2 | 0,067 | 1,6 | 1,235 | 1,9 | 0,1336 | 1,1 | 808,5 | ±8,5 | 838 | ±32 | 104 |
| 35,1 | 0,34 | 247 | 211 | 0,88 | 27,8 | 0,0659 | 2 | 1,187 | 2,4 | 0,1307 | 1,3 | 791,7 | ±9,4 | 803 | ±43 | 101 |
| 36,1 | 0,33 | 530 | 407 | 0,79 | 66,3 | 0,0677 | 1,5 | 1,355 | 1,9 | 0,1451 | 1,1 | 873,6 | ±9,3 | 860 | ±32 | 98 |
| 37,1 | 0,11 | 964 | 172 | 0,18 | 390 | 0,18579 | 0,34 | 12,06 | 1,1 | 0,4709 | 1,1 | 2488 | ±22 | 2705,3 | ±5,5 | 108 |
| 39,1 | 0,03 | 1832 | 247 | 0,14 | 225 | 0,06757 | 0,47 | 1,33 | 1,1 | 0,1427 | 1 | 860 | ±8,4 | 855,5 | ±9,8 | 99 |
| 40,1 | 0,23 | 246 | 41 | 0,17 | 30,8 | 0,07069 | 1,2 | 1,413 | 1,7 | 0,145 | 1,2 | 873 | ±9,8 | 948 | ±25 | 108 |
| 45,1 | 0,22 | 106 | 61 | 0,60 | 48,9 | 0,2303 | 0,66 | 17,03 | 1,5 | 0,5364 | 1,3 | 2768 | ±30 | 3054 | ±10 | 109 |
| 47,1 | 0,46 | 139 | 88 | 0,65 | 15,5 | 0,0659 | 3,2 | 1,172 | 3,5 | 0,129 | 1,4 | 782,1 | ±10 | 803 | ±68 | 103 |
| 50,1 | 1,48 | 156 | 75 | 0,49 | 31,9 | 0,0857 | 4,1 | 2,76 | 4,4 | 0,2335 | 1,5 | 1353 | ±18 | 1332 | ±80 | 98 |
| 51,1 | 4,42 | 254 | 145 | 0,59 | 31 | 0,0667 | 6,8 | 1,25 | 7 | 0,1359 | 1,3 | 821 | ±10 | 828 | ±140 | 101 |
| 52,1 | 0,09 | 163 | 134 | 0,85 | 47,3 | 0,12406 | 0,76 | 5,79 | 1,4 | 0,3385 | 1,2 | 1879 | ±20 | 2015 | ±13 | 107 |
| 57,1 | 6,77 | 231 | 245 | 1,09 | 29,2 | 0,0665 | 10 | 1,26 | 10 | 0,1372 | 1,5 | 829 | ±11 | 821 | ±210 | 99 |
| 58,1 | 0,10 | 119 | 126 | 1,09 | 14,1 | 0,0684 | 2,6 | 1,302 | 3,1 | 0,1381 | 1,6 | 834 | ±12 | 880 | ±54 | 105 |
| 59,1 | 0,13 | 267 | 80 | 0,31 | 75,4 | 0,11348 | 0,69 | 5,144 | 1,4 | 0,3287 | 1,2 | 1832 | ±19 | 1856 | ±13 | 101 |
| 61,1 | 0,11 | 70 | 29 | 0,43 | 27,1 | 0,1721 | 1,1 | 10,74 | 1,8 | 0,4528 | 1,5 | 2408 | ±29 | 2578 | ±19 | 107 |
| 62,1 | 0,00 | 121 | 82 | 0,70 | 15,2 | 0,0703 | 1,6 | 1,409 | 2,1 | 0,1453 | 1,4 | 875 | ±11 | 937 | ±33 | 107 |
| 65,1 | 0,06 | 498 | 279 | 0,58 | 58,4 | 0,06779 | 0,88 | 1,277 | 1,4 | 0,1366 | 1,1 | 825,5 | ±8,5 | 862 | ±18 | 104 |
| 66,1 | 0,07 | 294 | 94 | 0,33 | 35,6 | 0,06813 | 1,3 | 1,323 | 1,8 | 0,1408 | 1,2 | 849,4 | ±9,7 | 872 | ±26 | 103 |
| 69,1 | 0,11 | 554 | 428 | 0,80 | 68,5 | 0,06851 | 1,1 | 1,357 | 1,6 | 0,1437 | 1,1 | 865,5 | ±9,1 | 884 | ±22 | 102 |
| 70,1 | 0,06 | 259 | 152 | 0,61 | 77,3 | 0,12767 | 0,65 | 6,11 | 1,3 | 0,3471 | 1,2 | 1921 | ±19 | 2066 | ±11 | 107 |

BIBLIOGRAFIA

ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.; FONSECA, M.A., 2001 . Assembly West Gondwana in the Neoproterozoic: Clues from the São Francisco craton region, Brazil. *Geology*, Boulder, Colorado, v. 29, n.4, p. 319-322.

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.

ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Strucutural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, 17:1-29.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; HARTMANN, L.A.; VAN SCHUMUS, W.R.; SILVA, L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology* 24, 439-442.

BERTOTTI, A. L., 2009. Metodologia Lutécio/Hafnio em zircão: Geoquímica e aplicações. Exame de qualificação apresentado como requisito para obtenção do Título de Doutor em Geociências – UFRGS.

BITENCOURT. M.F. 1983. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 161p.

BOURDONET, B., TURNER, S., HENDERSON, G. M., LUNDSTROM, C. C., 2003. In: U-series Geochemistry. Vol 52, Cap1.

CHEMALE Jr., F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*, Editora UFRGS, Porto Alegre, pp. 13-52.

CHEMALE JR., F ; HARTMANN, L. A. ; SILVA, L. C., 1995. Stratigraphy and Tectonism of Precambrian to Early Paleozoic Units In Southern Brazil And Uruguay - Excursion Guide Book. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. XVIII, n.42, p. 5-117.

FEDO, C. M., SIRCOMBE, K. N., RAINBIRD H. R., 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; *Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. V. 53; cap 10.

FERNANDES, L.A.; TOMMASI, A. & C.C. PORCHER. 1992. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Science*, 5(1): 77-96.

FINCH, R. J., HANCHAR, J. M., 2003. Structure and Chemistry of Zircon and Zircon-Group Minerals. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53; cap 1.

HARTMANN, L.A.; PHILIPP, R.P.; SANTOS, J.O.S.; Mc NAUGHTON, N. 2011. Time frame of 753-680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazil. *Gondwana Research*, v.19: 84-99.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R.P.; 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J.C. (Eds). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências, Porto Alegre, 97-123.

HARTMANN, L.A.; LEITE, J.A.D.; SILVA, L.C.; REMUS, M.V.D.; MCNAUGHTON, N.J. ; GROVES, D.I; FLETCHER, I.R.; SANTOS, J. O.; VASCONCELLOS, M.A.Z, 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences* , Austrália, v. 47, n.5, p. 829-844.

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A., NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V., 2004 (a). Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Org.), *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 203-234.

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A., NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V., 2004 (b). Brasileiro orogens in southeast and south Brazil: The 750-550 Ma Brasileiro Event of South America: In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackpacher, P. (Eds), *The 750-550 Ma Brasileiro Event of South America*, *Journal of the Virtual Explorer (Electronic Edition)*, 17, p. 4.

KOSLER, J., SYLVESTER, P. J., 2003. Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53; cap 9.

LEITE, J.A.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., CHEMALE JR., F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International Geology Review*, 40 (8): 688-705.

LENA, L.O.F. 2013. A evolução do arco magmático neoproterozóico São Gabriel, porção sul da província Mantiqueira, baseado em idades U-Pb SHIRIMP e LA-ICP-MS e valores de $\delta^{18}O$ em zircões detríticos. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. Dissertação mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS – BR.

MACHADO, N.; KOPPE, J.C. & HARTMANN, L.A. 1990. A late Proterozoic U-Pb age for the Bossoroca Belt, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 3 (2/3): 87-89.

NEIS, L.P. 2013. Geoquímica de metacarbonatos do Escudo Sul-Rio-Grandense Na Região De Caçapava Do Sul E Arroio Grande, RS. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Url.: <http://hdl.handle.net/10183/95521>

OYHANTÇABAL, P., SIEGESMUND, S., WEMMER, K., 2010. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, v.100, p. 201-220.

PHILIPP, R.P.; LUSA, M.; BASEI, M.A.S.; HARTMANN, L.A.; SANTOS, J.O.S. 2014. Oldest age of magmatism in the Passinho arc in the southwestern portion of Gondwana, Rio Grande do Sul, Brazil. IX South American Symposium on Isotope Geology, Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, Resumo.

REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (2000):191-216.

REMUS, M.V.D.; MCNAUGHTON, N.J.; HARTMANN, L.A.; KOPPE, J.C.; GROVES, D.I.; PINTO, V.M. 1999. Gold in the Neoproterozoic Juvenile Bossoroca Volcanic Arc of Southernmost Brazil: Isotopic Constraints on Timing and Sources. *Journal of South American Earth Sciences*, Grã Bretanha, v. 12, p. 349-366.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO FILHO, P.M.; TESSARI, R.I. 1966. *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 127, 232 p.

RIBEIRO, M., 1970. Geologia da folha de Bom Jardim: Rio Grande do Sul- Brasil. In: Boletim: Divisão de Geologia e Mineralogia. Brasília, 247: 1-142.

SAALMANN, K.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; KOESTER, E. & CONCEIÇÃO, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian Research*, 136: 159-175.

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 of the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 136, p. 203-240.

SILVA FILHO, B.C. & MATSDORF, M. 1987. Análise estrutural dos metamorfitos da borda Oeste do Granito Caçapava, Caçapava do Sul: Implicações geológicas locais e regionais. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3, 1987, Curitiba. Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, 1:197-222.

TICKYJ, H., HARTMANN, L.A., VASCONCELLOS, M.A.Z., PHILIPP, R.P. & REMUS, M.V.D. 2004. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *J. of South American Earth Sciences*, 16: 699-713.

UNISINOS, 1979-1. Mapeamento geológico de parte das Folhas de Ibaré e Três Cerros – RS, Trabalho de conclusão.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1998. Projeto Caçapava do Sul: mapeamento geológico 1:25.000 1998.

ANEXOS

ANEXO A – Histórico Escolar completo do Aluno

30/6/2014

<https://www1.ufrgs.br/Posgraduacao/InformacoesAluno/HistoricoCurso.php?Cod=&Imprime=1>

CARINA GRACINIANA LOPES

143838

Lista das atividades de ensino do aluno avaliadas pelo curso.

HISTÓRICO CURSO
GEOCIÊNCIAS - Mestrado Acadêmico - 01/03/2013

| Período Letivo | Código | Disciplina | Créditos | Conceito | Situação |
|----------------|----------|--|----------|----------|-----------|
| 2013/02 | GEB87-03 | TEMAS ESPECIAIS EM GEOLOGIA DO PETRÓLEO: Elementos da sismoestratigrafia | 1 | FF | Reprovado |
| 2013/02 | GEB87 01 | TEMAS ESPECIAIS EM GEOLOGIA DO PETRÓLEO: Sistema Petrolífero | 1 | B | Aprovado |
| 2013/02 | GEB87-02 | TEMAS ESPECIAIS EM GEOLOGIA DO PETRÓLEO: Vulcanismo aplicado ao Petróleo | 1 | A | Aprovado |
| 2013/02 | GEB00114 | Trajetórias de P-T-t em cinturões orogênicos | 4 | A | Aprovado |
| 2013/01 | GEB00052 | Geologia Estrutural de rochas intrusivas - estrut. magmáticas e subsolid | 5 | A | Aprovado |
| 2013/01 | GEP00048 | Geoquímica das rochas graníticas | 5 | A | Aprovado |
| 2013/01 | GEB00101 | Proveniência de Arenitos | 3 | C | Aprovado |
| 2013/01 | GEP92-52 | T.E. Em Geoquímica - MICROTTECTÔNICA Inglês em 06/12/2013 | 6 | A | Aprovado |
| | | | - | - | - |

Totais

Créditos cursados com aprovação neste Curso: 25
 Total: 25

ANEXO B – Relatório semestral do aluno PFRH 1º semestre



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

RELATÓRIO SEMESTRAL DE ATIVIDADES DO BOLSISTA ALUNO DE RETENÇÃO

| 1 – INFORMAÇÕES CADASTRAIS | |
|---|--|
| Nº Relatório 001 | Nº Matrícula do Bolsista no PFRH |
| Período do Relatório De <u>01 / 03 / 2013</u> a <u>31 / 07 / 2013</u> | |
| Nome Completo (sem abreviação) CARINA GRACINIANA LOPES | Data de início da Bolsa <u>01 / 03 / 2013</u> |
| Instituição / Sigla UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL / UFRGS | |
| Título do Programa Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGGeo | |
| Curso MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – CONCENTRAÇÃO EM GEOQUÍMICA | Período do Curso (e.g. 2º, 3º etc.) 2013/01 A 2014/02 |
| 2 – INDICADORES DE FLUXO ACADÊMICO | |
| Disciplinas obrigatórias aos bolsistas (currículo mínimo do programa) cursadas ou em curso | |
| Disciplinas cursadas fora da instituição <ul style="list-style-type: none"> • Minicurso Magmatismo e Ambientes Tectônicos.UFMT. Cuiabá-MT. Ministrado por Prof. Dr. Eberhard Wernick (UNESP) | |
| Atividades de Pesquisa ou Serviços Tecnológicos relacionados ao curso | |
| Atividades de ensino desenvolvidas | |
| Atividades de extensão (participação em congressos, seminários, workshops) desenvolvidas <ul style="list-style-type: none"> • XIV SNET – SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS. Chapada dos Guimarães – MT. (Apresentação oral). • 8 SSG – 8º Simpósio Sulbrasileiro de Geologia. Porto Alegre – RS. (Participante) | |
| 3 – INDICADORES DE FLUXO PROFISSIONAL | |
| Contatos externos com empresas relacionadas à área do curso | |
| Contatos externos com Instituições de ensino e pesquisa relacionadas à área do curso | |
| Contatos virtuais com profissionais ligados à área do curso (participação ativa em redes, grupos de discussão (chat), listas especializadas n internet). Nomear: | |
| 4 – INDICADORES DE AVALIAÇÃO | |
| Sendo (1) o menor valor (Baixo) e (5) o maior valor (Alto), como você avalia a contribuição acadêmica do Programa para sua permanência no curso, em relação ao: | |
| a) Conteúdo dos cursos | 3 |
| b) Coerência da grade curricular oferecida | 3 |
| c) Contribuição acadêmica do Programa (conteúdo dos cursos, coerência da grade curricular oferecida, etc) | 3 |
| d) Contribuição dos recursos de pesquisa do Programa para sua permanência no curso | 3 |
| e) Impacto do relacionamento com os seus colegas bolsistas para sua permanência no curso | 3 |
| f) Impacto do seu relacionamento com o Coordenador do Programa para sua permanência no curso | 3 |



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

5 – OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Levante e comente pontos objeto deste relatório em questão, que julgue relevante para a melhoria do programa, e que na sua opinião não estão cobertos pelas categorias e temas apresentados nos itens anteriores desse formulário. Seja breve e conciso.

ANEXO C – Relatório semestral do aluno PFRH 2º semestre



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

RELATÓRIO SEMESTRAL DO BOLSISTA ALUNO

| 1 – INFORMAÇÕES CADASTRAIS | | | |
|---|-----------------------------------|---|---------------------|
| Nº Relatório 002 | Nº Matrícula do Bolsista no UFRGS | Modalidade da Bolsa: (Gra, MSc, DSc I, DSc II) MSc | |
| Período do Relatório Segundo semestre de 2013 | | | |
| Nome Completo (<i>sem abreviação</i>) CARINA GRACINIANA LOPES | | Data de início da Bolsa <u>01 / 03 / 2013</u> | |
| Instituição / Sigla Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS | | | |
| Título do Programa Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências - PRH-PB 215 | | | |
| Curso Pós Graduação em Geociências – Especialização em Geoquímica | | Período do Curso (e.g. 1º, 7º etc.) 2º semestre | |
| 2 – INDICADORES DE FLUXO ACADÊMICO | | | |
| Disciplinas obrigatórias aos bolsistas (currículo mínimo do programa) cursadas ou em curso <ul style="list-style-type: none"> Temas especiais em geologia do petróleo: Sistemas petrolíferos; Vulcanismo aplicado ao petróleo. | | | |
| Disciplinas cursadas fora da instituição <ul style="list-style-type: none"> 312096 Geologia de Isótopos Estáveis (Unb) 312207 Geologia do Precambriano Brasileiro (Unb) | | | |
| Atividades de Pesquisa ou Serviços Tecnológicos relacionados ao curso | | | |
| Atividades de ensino desenvolvidas | | | |
| Atividades de extensão (participação em congressos, seminários, workshops) desenvolvidas | | | |
| 3 – INDICADORES DE FLUXO PROFISSIONAL | | | |
| Contatos externos com empresas relacionadas à área do curso | | | |
| Contatos externos com Instituições de ensino e pesquisa relacionadas à área do curso | | | |
| Contatos virtuais com profissionais ligados à área do curso (participação ativa em redes, grupos de discussão (chat), listas especializadas na internet). Nomear: | | | |
| 4 – INDICADORES DE FLUXO ACADÊMICO-PROFISSIONAL | | | |
| Estágio de desenvolvimento do Plano de Trabalho de Pesquisa Elaboração do artigo e tese de mestrado – em andamento. | | | |
| 5 – PROBLEMAS E BARREIRAS ENCONTRADAS | | | |
| Logísticos | | | |
| Acadêmicos | | | |
| Financeiros | | | |
| 6 – INDICADORES DE RESULTADOS (<i>Indique a quantidade de publicações</i>) | | | |
| Publicações Nacionais | Individual | Colaboração Interna | Colaboração Externa |
| Peer – reviewed | | | |
| Outras | | | |



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

| | | | |
|----------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| Difusão | | | |
| Boletins Técnicos | | | |
| Publicações Internacionais | Individual | Colaboração Interna | Colaboração Externa |
| Peer – reviewed | | | |
| Outras | | | |
| Difusão | | | |
| Boletins Técnicos | | | |

7 – INDICADORES DE AVALIAÇÃO

Sendo (1) o menor valor (Baixo) e (5) o maior valor (Alto), como você avalia a contribuição acadêmica do Programa para sua permanência no curso, em relação ao:

| | |
|--|---|
| a) Conteúdo dos cursos | 3 |
| b) Coerência da grade curricular oferecida | 3 |
| c) Contribuição acadêmica do Programa (conteúdo dos cursos, coerência da grade curricular oferecida, etc) | 3 |
| d) Contribuição dos recursos de pesquisa do Programa para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa (caso o estágio de seu plano de trabalho de pesquisa justifique) | 5 |
| e) Impacto do seu relacionamento com o Coordenador do Programa para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa | 3 |
| f) Impacto do seu relacionamento com seu orientador para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa | 4 |

8 – OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Levante e comente pontos objeto deste relatório em questão, que julgue relevante para a melhoria do programa, e que na sua opinião não estão cobertos pelas categorias e temas apresentados nos itens anteriores desse formulário. Seja breve e conciso.

| |
|--|
| |
|--|

ANEXO D – Relatório semestral do aluno PFRH meses Jan e Fev 2014



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

RELATÓRIO SEMESTRAL DO BOLSISTA ALUNO

| 1 – INFORMAÇÕES CADASTRAIS | | | |
|---|----------------------------------|---|--|
| Nº Relatório 003 | Nº Matrícula do Bolsista no PFRH | Modalidade da Bolsa: (Gra, MSc, DSc I, DSc II) MSc | |
| Período do Relatório 01/2014 a 02/2014 | | | |
| Nome Completo (sem abreviação) CARINA GRACINIANA LOPES | | | Data de início da Bolsa <u>01 / 03 / 2013</u> |
| Instituição / Sigla Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS | | | |
| Título do Programa Programa de Formação de Recursos Humanos - PFRH | | | |
| Curso Pós Graduação em Geociências – Especialização em geoquímica | | Período do Curso (e.g. 1º, 7º etc.) 3º semestre | |
| 2 – INDICADORES DE FLUXO ACADÊMICO | | | |
| Disciplinas obrigatórias aos bolsistas (currículo mínimo do programa) cursadas ou em curso | | | |
| Disciplinas cursadas fora da instituição | | | |
| Atividades de Pesquisa ou Serviços Tecnológicos relacionados ao curso | | | |
| Atividades de ensino desenvolvidas | | | |
| Atividades de extensão (participação em congressos, seminários, workshops) desenvolvidas | | | |
| 3 – INDICADORES DE FLUXO PROFISSIONAL | | | |
| Contatos externos com empresas relacionadas à área do curso | | | |
| Contatos externos com Instituições de ensino e pesquisa relacionadas à área do curso | | | |
| Contatos virtuais com profissionais ligados à área do curso (participação ativa em redes, grupos de discussão (chat), listas especializadas na internet). Nomear: | | | |
| 4 – INDICADORES DE FLUXO ACADÊMICO-PROFISSIONAL | | | |
| Estágio de desenvolvimento do Plano de Trabalho de Pesquisa Finalização do artigo e dissertação | | | |
| 5 – PROBLEMAS E BARREIRAS ENCONTRADAS | | | |
| Logísticos | | | |
| Acadêmicos | | | |
| Financeiros | | | |
| 6 – INDICADORES DE RESULTADOS (Indique a quantidade de publicações) | | | |
| Publicações Nacionais | Individual | Colaboração Interna | Colaboração Externa |
| Peer – reviewed | | | |
| Outras | | | |
| Difusão | | | |
| Boletins Técnicos | | | |



Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos - PFRH
Nível Superior Ref. PRH nº 215 (X) PB () ANP

| Publicações Internacionais | Individual | Colaboração Interna | Colaboração Externa |
|----------------------------|------------|---------------------|---------------------|
| Peer – reviewed | | | |
| Outras | | | |
| Difusão | | | |
| Boletins Técnicos | | | |

7 – INDICADORES DE AVALIAÇÃO

Sendo (1) o menor valor (Baixo) e (5) o maior valor (Alto), como você avalia a contribuição acadêmica do Programa para sua permanência no curso, em relação ao:

| | |
|--|---|
| a) Conteúdo dos cursos | 3 |
| b) Coerência da grade curricular oferecida | 3 |
| c) Contribuição acadêmica do Programa (conteúdo dos cursos, coerência da grade curricular oferecida, etc) | 3 |
| d) Contribuição dos recursos de pesquisa do Programa para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa (caso o estágio de seu plano de trabalho de pesquisa justifique) | 4 |
| e) Impacto do seu relacionamento com o Coordenador do Programa para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa | 3 |
| f) Impacto do seu relacionamento com seu orientador para a realização do seu Plano de Trabalho de Pesquisa | 4 |

8 – OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Levante e comente pontos objeto deste relatório em questão, que julgue relevante para a melhoria do programa, e que na sua opinião não estão cobertos pelas categorias e temas apresentados nos itens anteriores desse formulário. Seja breve e conciso.

| |
|--|
| |
|--|

| ANEXO I |
|---|
| Título da Dissertação/Tese: |
| "Análise de U-Pb por LA-ICP-MS e SHRIMP em zircões detríticos do Complexo Passo Feio, terreno São Gabriel: implicações geotectônicas para a evolução do Cinturão Dom Feliciano" |
| Área de Concentração: GEOQUÍMICA |
| Autor: Carina Graciniana Lopes |
| Orientador: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp |
| Examinador: Prof. Dr. Léo Afraneo Hartmann |
| Data: 31/7/2014 |
| Conceito: A (Excelente) |
| PARECER: |
| <p>A dissertação de mestrado é de boa qualidade, está bem organizada, e contém um artigo científico submetido ao Journal of South American Earth Sciences. Apresenta o objetivo de: "...expandir o conhecimento da proveniência ... dos metassedimentos do Complexo Passo Feio...", que foi alcançado. O texto faz boa avaliação da metodologia utilizada.</p> <p>São apresentados resultados isotópicos U-Pb de zircões detríticos de quatro amostras de xistos pelíticos do Complexo Passo Feio, terreno São Gabriel, Rio Grande do Sul. Esse é um volume elevado de dados de alta qualidade, obtidos em três laboratórios distintos.</p> <p>O meu parecer é "A", devido às características positivas da dissertação de mestrado, principalmente o treinamento da mestranda no uso de técnicas sofisticadas para a busca da solução de problemas geológicos complexos.</p> <p>Verifico, no entanto, alguns problemas na dissertação.</p> <p>O <i>abstract</i> do artigo científico está redigido em inglês de má qualidade. Os co-autores poderiam ter corrigido o inglês do texto do <i>abstract</i>. O texto do artigo tem inglês de melhor qualidade, mas poderia ser melhorado.</p> <p>O principal problema da dissertação consiste no entendimento incorreto de que a idade mais jovem de zircão encontrada em uma amostra detrítica seja um indicativo da idade aproximada da deposição na bacia. Com base nessa interpretação incorreta, a autora propõe uma longa evolução para o preenchimento da bacia precursora do Complexo Passo Feio. "The maximum depositional age for this sedimentary sequence is ca. 1104 Ma, ..., and the other is ca. 774 Ma." (Texto adaptado por mim.) É bem conhecido que zircões detríticos somente fornecem a idade da área-fonte e não da deposição na bacia. Se o sistema sedimentar, principalmente rios, tiverem acesso aos detritos de uma região uniforme, o resultado será a deposição de zircões de apenas uma fonte (uma idade). Para deixar claro, essa fonte poderia ter idade de 2,75 Ga e a bacia de deposição ter idade de 550 Ma. Se acessarem uma área complexa, serão depositados zircões</p> |



de várias ou muitas idades.

A dissertação apresenta informações muito significativas, incluindo as idades mais antigas de zircões da porção sul do Escudo Brasileiro e mesmo de todo o escudo. A obtenção de idades neoproterozóicas (803 Ma) em zircões detríticos na amostra PF-03 no extremo sudeste do complexo, somada à idade de 774 Ma obtida por Remus et al. (2000) no extremo noroeste sugere que a bacia de deposição foi somente uma e não duas. Mesmo no extremo norte do complexo, a autora encontrou uma amostra com a idade de zircão mais jovem em 1104 Ma.

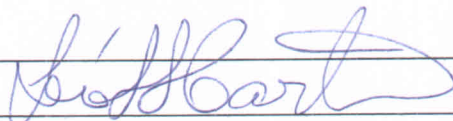
A mescla tectônica de unidades geológicas supracrustais parece provável no complexo. No entanto, a autora não apresentou evidências nesse sentido. Seria necessário encontrar e datar minerais diagenéticos (por exemplo, xenotima) para conhecer mais acuradamente a idade da deposição dos sedimentos.

Recomendo que a autora considere a idade de 774 Ma (Remus et al., 2000) como sendo a idade mais velha possível para a bacia de deposição do Complexo Passo Feio. Somente uma bacia deposicional pode ser reconhecida no Complexo Passo Feio, com base nos dados obtidos. Recomendo, ainda, que a autora continue os estudos nos cristais de zircão datados, principalmente com a obtenção de imagens BSE e CL de boa qualidade. Essas imagens irão possibilitar o entendimento da estrutura interna dos cristais, para a datação do metamorfismo. Um esforço inicial para a datação do metamorfismo foi feito por Remus et al. (2000) e posteriormente Hartmann et al. (2011), que pode ser consolidado mediante um esforço mais intenso por parte da autora. A autora também pode optar por separar e datar zircões dos basaltos do complexo (apesar das dificuldades do procedimento), e com isso datar a idade do vulcanismo da bacia.

Com base nos dados obtidos, não foi alcançado o objetivo mais amplo de *"... contribute to a better understanding of tectonic setting of this basin and the geological evolution of São Gabriel Arc system of the Dom Feliciano Belt."*

Um detalhe. Evitar sempre o uso de palavras do tipo "certainly", pois não são científicas. "(i) *the first phase certainly was deposited at the Rio de la Plata or...*"

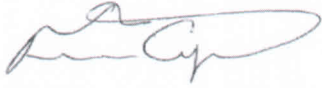
Assinatura:



Data: 31/7/2014

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

| ANEXO I | |
|---|------------------|
| Título da Dissertação/Tese: | |
| "Análise de U-Pb por LA-ICP-MS e SHRIMP em zircões detríticos do Complexo Passo Feio, terreno São Gabriel: implicações geotectônicas para a evolução do Cinturão Dom Feliciano" | |
| Área de Concentração: GEOQUÍMICA | |
| Autor: Carina Graciniana Lopes | |
| Orientador: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp | |
| Examinador: Prof. Dr. Farid Chemale Junior | |
| Data: 27 de setembro de 2014 | |
| Conceito: "B" | |
| PARECER: | |
| <p>A presente dissertação aborda a proveniência das unidades metassedimentares do Complexo Metamórfico Passo Feio, o qual faz parte do Terreno São Gabriel, Cinturão Dom Feliciano, Rio Grande do Sul. Os dados são de boa qualidade e trazem informações importantes para os modelos geológicos do Neoproterozóico no sul do Brasil.</p> <p>A dissertação apresenta alguns problemas no que se refere: (i) ao texto da parte inicial (início ao capítulo 2) em que há citações bibliográficas indevidas (ex.: Alkmim et al., 2001, cujo tema tratado no artigo não confere à afirmação descrita); (ii) às citações bibliográficas no texto, sem estar nas referências bibliográficas; (iii) ao capítulo de Estado da Arte que está um tanto sumarizado e, ao mesmo tempo, não há a lista das referências bibliográficas utilizadas; (iv) ao manuscrito submetido ao Journal of South American Earth Sciences que deveria ter uma descrição melhor das amostras estudadas (como por exemplo: um estudo estratigráfico, petrográfico e geoquímico) para auxiliar naqueles aspectos de correlação estratigráfica entre as amostras estudadas e futuros trabalhos na região; (v) deve-se também salientar que deveria haver obtenção de número maior de idades U-Pb, visto que as quatro amostras mostram diferenças no padrão de distribuição das idades de zircão.</p> | |
| Assinatura:  | Data: 27/09/2014 |
| Ciente do Orientador: | |
| Ciente do Aluno: | |

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"Análise de U-Pb por LA-ICP-MS e SHRIMP em zircões detríticos do complexo passo feio, terreno São Gabriel: implicações geotectônicas para a evolução do cinturão Dom Feliciano"

Área de Concentração: GEOQUÍMICA

Autor: **Carina Graciniana Lopes**

Orientador: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Examinador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

Data: 30 de Setembro de 2014

Conceito: REGULAR

PARECER:

o parecer está sendo encaminhado no documento que anexo ao presente.

Instituto de Geociências – Universidade do Rio Grande do Sul
Dissertação de Mestrado: Carina Graciniana Lopes

“Análises de U-Pb por LA-ICP-MS e SHRIMP de zircões detríticos do Complexo Passo Feio, Terreno São Gabriel: implicações geotectônicas para evolução do Cinturão Dom Feliciano”.

Parecer de Umberto G. Cordani

A dissertação de Mestrado encaminhada por Carina G. Lopes apresenta dados geocronológicos novos e originais, de grande importância para o conhecimento das possíveis fontes deposicionais de algumas rochas metassedimentares que compõem o Complexo Passo Feio, um dos componentes do Terreno São Gabriel, na parte NW do Rio Grande do Sul.

Pelo que consta do resumo da dissertação, os dados factuais que constam do trabalho envolvem análises de zircões detríticos de quatro amostras. Três delas revelaram proveniência somente de fontes Meso + Paleoproterozóicas e Arqueanas, enquanto que a quarta incluía fontes Neoproterozóicas. Com base nos resultados dessa última amostra, o Complexo Passo Feio foi confirmado de idade Neoproterozóica e apresentaria uma evolução tectônica iniciando como margem passiva (do continente Rio de La Plata?), terminando como retro-arco da Orogênese Passinho, a qual seria responsável pelo fechamento do Oceano Goiás-Farusiano.

A dissertação apresenta um capítulo de geologia regional. Nele se descreve o Cinturão Dom Feliciano (CDF), que inclui o Sistema orogênico São Gabriel, do qual faz parte o Complexo metamórfico Passo Feio. Este é considerado como uma unidade tectônica coerente, metamorfoseada por volta de 700 Ma (Remus et al., 2000), que seria parte integrante da orogênese Passinho, a qual inclui arcos magmáticos juvenis, intra-oceânicos. Nesse capítulo o CDF foi caracterizado como formado pela colisão entre os cratons Kalahari e Rio de La Plata, o que levaria ao fechamento do Oceano Adamastor, e não do Oceano Goiás-Farusiano, como exposto no resumo do trabalho. Esta contradição aparente precisaria ser explicada.

Com relação à parte metodológica, a caracterização do método U-Pb encontra-se mal formulada, visto que são descritos, resumidamente, diagramas Concordia que nem são usados no trabalho. Além disso quase nada consta a respeito do método U-Pb SHRIMP.

O trabalho foi desenvolvido tendo como núcleo um manuscrito submetido à revista *Journal of South American Earth Sciences (SAMES)*, que forma o capítulo 3 da dissertação. Seu título é: *“Provenance of the Passo Feio Complex, Dom Feliciano Belt: implication for the tectonic setting of deposition, age of the São Gabriel Arc, and origin of the Paleoarchean detrital zircons (3.3 – 3.63 Ga)”*. Esse artigo encontra-se em processo de avaliação pela SAMES. Em vista disso, meu parecer é dado como se eu fosse um dos *referees* do manuscrito, para que os comentários e sugestões possam ser considerados na preparação de uma versão modificada do trabalho para o SAMES.

Parecer sobre o capítulo 3 da dissertação.

A meu ver, as discussões e as conclusões do trabalho são muito restritas, e deixaram de ser abordados diversos pontos que poderiam enriquecer o artigo. Algumas sugestões são incluídas abaixo:

1 – Sobre a figura 1A – Esta figura tem que ser mais bem explicada no texto, visto que inclui o limite entre o Craton do Rio de La Plata e o Terreno São Gabriel, ao longo da Zona de cisalhamento de Ibaré, e também o limite destas duas unidades com o Cinturão Dom Feliciano (CDF), ao longo da Zona de



cisalhamento Sierra Ballena. Esta última trunca o Lineamento de Ibaré, indicando tratar-se de feição tectônica mais nova. Com efeito, o CDF é considerado como tendo sido afetado pelo evento principal da orogênese Brasiliana, por volta de 600-650 Ma. No texto sugerimos incluir algo sobre os oceanos Goiás-Farusiano e Adamastor, bem como os cratons do Rio de La Plata, Kalahari e possivelmente Paranapanema.

2 – O Complexo Passo Feio, no texto, é descrito or vezes como “sequência”, “bacia” ou “formação”. No histórico menciona-se Saalman et al. (2005), que caracterizam o complexo como uma associação de diferentes unidades tectônicas. A meu ver, isto é plenamente suportado pelos resultados do presente trabalho, em que os histogramas de proveniência das amostras analisadas são muito diferentes entre si. No texto, as unidades analisadas são consideradas como pertencentes à mesma unidade supracrustal de idade neoproterozóica. Pode ser, mas faltam considerações a respeito das possíveis correlações litoestratigráficas. Por exemplo, as amostras PF-01, PF-02 e PF-09 não incluem zircões detríticos com idade abaixo de 1000 Ma. Essas rochas poderiam ser mais antigas do que a PF-03, especialmente a PF-02 cujos zircões mais novos são do Paleoproterozóico.

3 – A respeito do Granito Caçapava do Sul – O artigo para o SAMES menciona Remus et al. (2000), que reportam uma única datação U-Pb SHRIMP de 562 ± 8 Ma. Em verdade a idade apresentada como a do batólito, que foi obtida em uma única amostra da extremidade oriental do batólito, está longe de ser consensual. A datação feita por esses autores está representada por um diagrama Concordia repleto de análises discordantes, e muitos zircões herdados. Por outro lado, o batólito de Caçapava, como um todo, inclui desde sienogranitos até tonalitos, com fácies petrográficas e unidades geoquímicas bem diferentes entre si, o que indica a existência de pulsos magmáticos em eventos sucessivos. Por exemplo, os dados Rb-Sr de Sartori e Kawashita (1985), muitos dos quais de boa qualidade analítica, e posteriormente a sistematização feita na tese de Doutorado de Enio Soliani (1986), mostram claramente a complexidade da evolução tectônica temporal da unidade, durante um intervalo de tempo de pelo menos 50 Ma.

4 – Nos gráficos da figura 3 foram incluídos apenas os pontos concordantes. Por outro lado, cerca de um terço das análises apresentaram-se discordantes. A meu ver, é necessário que todos os pontos sejam incluídos em diagramas Concordia, visto que esses diagramas podem indicar importantes relações entre as idades das fontes e os eventos tectônicos regionais. Por exemplo, deveriam aparecer retas-discórdia indicando perdas de Pb relacionadas com eventos de diferentes idades no Meso ou Neoproterozóico.

5 – Nas conclusões do trabalho considera-se como mais importante o aparecimento de zircões arqueanos. Para mim isto é apenas descritivo e tem pouca relevância para a evolução tectônica regional. Com efeito, Arqueano aparece com cerca de 20% dos zircões nas quatro amostras analisadas, uma boa parte deles com idade superior a 3000 Ma. Concordo que regiões contendo rochas aflorantes com essas idades são poucas em território brasileiro. Possivelmente as fontes dos zircões detríticos antigos estariam nas áreas cratônicas do embasamento soterradas pelas bacias sedimentares, como a do Paraná. Trazê-los de uma região distante como a parte leste do Craton do Kalahari (Núcleo do Kaapvaal) é muito especulativo e a meu ver improvável.

6 – Os gráficos da figura 3 têm que apresentar as mesmas escalas verticais, para permitir comparação imediata. As amostras PF-02 e PF-03 já estão aproximadamente na mesma escala, mas a PF-01 tem que ser reduzida (os picos deverão praticamente desaparecer), e a PF-09 tem que ser aumentada. Além disso é necessário apresentar também o histograma da amostra CERR-wt (Remus et., 2000), que a meu ver é indispensável para as interpretações do trabalho. Esse histograma deverá indicar feições praticamente idênticas às da amostra PF-03.

7 – Os zircões neoproterozóicos da amostra PF-03 merecem comentários interpretativos detalhados. Verificando os dados analíticos que aparecem no apêndice 2 da dissertação, as suas idades (apenas aquelas concordantes) indicam um intervalo de tempo de aproximadamente 100 Ma, de ~ 780 a ~ 880 Ma. Acresce que as idades parecem formar quatro agrupamentos com aproximadamente 780, 815, 850 e 880 Ma. Por essa tabela, a idade do zircão mais antigo é 886 Ma, e não 948 Ma como está no texto do artigo. É possível que o valor de 948 Ma tenha sido o mais velho apresentado pela amostra CERR-

wt, daí a importância da colocação do histograma dessa amostra na figura 3. De qualquer forma, a proveniência da PF-03 seria do Terreno São Gabriel, e os quatro agrupamentos de idade devem corresponder a eventos magmáticos relacionados com o Arco magmático Passinho.

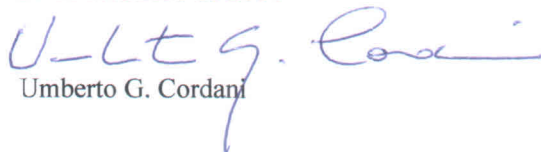
8 – A região de proveniência da amostra PF-03 (e também da amostra CERR-wt), que apresentam grande maioria de zircões do Neoproterozóico, quase seguramente deve ser o Terreno São Gabriel. Os granitóides que pertencem ao CDF, como o Batolito de Pelotas, não estão representados nos histogramas. Isto pode significar que as bacias em que se formaram as supracrustais do Complexo passo Feio já existiam por ocasião da colisão do CDF, e teriam relação com um relevo anterior, possivelmente gerado durante a formação do Arco magmático Passinho, conforme indicado acima.

9 – Em seu conjunto, as amostras PF-01, PF-02 e PF-09 possuem cerca de 50% de zircões detríticos do Paleoproterozóico, e cerca de 20% de zircões arqueanos. As fontes mais antigas das amostras PF-01 e PF-02 (2400 Ma e arqueanas) são as mesmas, e as da amostra PF-09 possuem um pico mais novo, de 2000 Ma. A meu ver, isso indica proveniência de um continente paleoproterozóico com núcleos arqueanos, que poderia ser tanto o Craton do Rio de La Plata, como o Congo-São Francisco ou até o Paranapanema. O Craton do Kalahari seria menos provável, visto que ele possui em sua parte ocidental uma enorme área de idade Grenvilliana.

10 – Sobre as idades deposicionais máximas. Sem considerar as duas amostras em que aparecem as idades neoproterozóicas (cujo mínimo está por volta de 780 Ma), as idades máximas das amostras PF-01, PF-02 e PF-09 são representadas por apenas 1-2 grãos, entre os cerca de 60 zircões analisados em cada amostra. A meu ver isso indicaria a presença de fontes pontuais, que não cobrem regiões maiores, possivelmente devidas à existência de intrusões intra-placa com suficiente relevo, mas com exposição restrita. A amostra PF-01 apresenta dois zircões com cerca de 1200 Ma, a amostra PF-02 apresenta um único zircão com 1730 Ma, e a amostra PF-09 apresenta um único zircão com 1100 Ma.

Em conclusão, o artigo contém dados geocronológicos originais importantes, trazendo elementos que melhoram o conhecimento regional. Entretanto, a meu ver, a parte mais importante e original do trabalho não é o aparecimento de zircões detríticos arqueanos, mas é a existência de agrupamentos de idade na amostra PF-03, que se referem à longa evolução tectônica neoproterozóica do Terreno São Gabriel. Esses dados foram pouco explorados nas interpretações da autora, e o texto da dissertação deveria ser complementado para eliminar ou diminuir as diversas fraquezas apontadas na presente análise. Entendo que os comentários e sugestões oferecidos acima podem ser utilizados para preparar uma versão mais consistente do artigo submetido pra publicação no SAMES.

30 de setembro de 2014


Umberto G. Cordani