

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

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO
MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO
PELOTAS**

WESLLEN MORAES VÖLZ

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester
CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Viter Magalhães Pinto

Porto Alegre – 2020

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

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO
MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO
PELOTAS**

WESLLEN MORAES VÖLZ

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester
CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Viter Magalhães Pinto

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes

Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Luiz Henrique Ronchi

Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas

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

Porto Alegre – 2020

CIP - Catalogação na Publicação

MORAES VÖLZ, WESLLEN
PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO
MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO PELotas /
WESLLEN MORAES VÖLZ. -- 2020.
59 f.
Orientador: EDINEI KOESTER.

Coorientador: VITER MAGALHÃES PINTO.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. Novo evento magmático no batólito de Pelotas,
cinturão Dom Feliciano. 2. Monzogranito pós-orogênico
com alto teor de cálcio alcalino alto k, fracamente
peraluminoso. I. KOESTER, EDINEI, orient. II.
MAGALHÃES PINTO, VITER, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RESUMO

O Granito Grupelli está localizado no distrito rural de Quilombo, Pelotas, RS, inserido no Batólito Pelotas, Cinturão Dom Feliciano. O granito estudado aflora numa área de ~2,5 km², representando uma série de pequenos corpos maciços, isótipos e intrusivos nos granitos do Complexo Pinheiro Machado, dominante na região. O Granito Grupelli é utilizado como rocha ornamental devido sua cor branca a cinza clara, de forma geral homogênea, indeformado. O granito estudado apresenta granulometria grossa a média, com exceção de veios aplíticos, de textura porfírica e hipidiomórfica, de composição modal monzogranítica. A caracterização geoquímica com alto teor de SiO₂ (71-75 %) e K₂O (5,08–5,65 %), baixos teores de FeO^t (1,71-1,93 %), MgO e TiO₂ (< 0,2 %), todos determinados em porcentagem em peso, indicam um granito fortemente evoluído, de caráter cálcio alcalino rico em K e fracamente peraluminoso. Seu magmatismo é do tipo I, relacionado a ambiente tectônico pós orogênico. Apesar de paralelo padrão de elementos terras raras (ETRs) ao magmatismo da Suíte Dom Feliciano (DFS) e Suíte Cerro Grande (CGS), apresenta inferior concentração de elementos terras raras pesadas e incipiente anomalia negativa de európio, indicando características geoquímicas que o distingue dos demais pulsos magmáticos do Batólito Pelotas. A rocha foi datada por método U-Pb SHRIMP em zircão, resultando numa idade de cristalização de 578 ± 3,9 Ma, Estes dados correlacionam o Granito Grupelli a evento magmático pós colisional, estágios finais do magmatismo félsico no Batólito Pelotas.

Palavras-chave: Dom Feliciano; Batólito Pelotas; Pós colisional; U-Pb idade em zircão

ABSTRACT

The ~ 2.5 km² Grupelli Granite is part of the neoproterozoic Pelotas Batholith in the Dom Feliciano Belt, and is located in the rural district of Quilombo, Pelotas, RS. The granite crops out along a NE–SW oriented fault zone as a series of small solid bodies that intrude the granites of the Pinheiro Machado Complex that dominate this region. The Grupelli Granite is widely used as an ornamental rock due to its extremely leucocratic appearance, combined with its homogeneous and undeformed nature. With the exception of aplite dykes, the studied granite is medium- to coarse-grained, with porphyritic and hypidiomorphic textures and a monzogranitic modal composition. Geochemically, it is characterized by high SiO₂ (71–75 wt.%) and K₂O (5.08–5.65 wt.%) contents combined with low FeO_t (1.71–1.93 wt.%), MgO and TiO₂ (< 0.2 wt.%) levels. This highly evolved granite has a K-rich calc-alkaline character, is weakly peraluminous, with an I-type affinity, and was formed in a post-orogenic tectonic environment. Although the rare earth element (REE) and other trace element patterns tend to parallel those in the ~600 Ma Dom Feliciano Suite (DFS) and the Cerro Grande Suite (CGS), magmatism, the Grupelli Granite presents significantly lower heavy REE concentrations and a small negative Eu anomaly. These geochemical characteristics distinguish it from the earlier magmatic pulses in the Pelotas Batholith. The Grupelli Granite was dated at 578 ± 3,9 Ma (U-Pb zircon SHRIMP), and this crystallization age places new constraints on the felsic post-collisional magmatism during the final stages of the evolution of Pelotas Batholith.

Keywords: Dom Feliciano; Pelotas Batholith; Post-collisional; Granite; U-Pb zircon age

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de localização do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense: (a) Continente Sul- americano; (b) unidades geotectônicas Pré-Cambrianas do Sul do Brasil e Uruguai, modificado de Hartmann et al., (2007); Philipp et al., (2016)..... 13
- Figura 2. (A) Mapa geológico geral da região de Monte Bonito; (B) Mapa de detalhe do Granito Grupelli com a indicação dos pontos analisados (círculos verdes). 13
- Figura 3. (A) Geographic location of the study area in relation to South America; (B) Precambrian geotectonic units in southern Brazil and Uruguay, modified from Hartmann et al. (2007); Oyhantçabal et al. (2011); Philipp et al. (2016).26
- Figura 4 . Geological map of the Grupelli granite and the surrounding hosts rocks, modified from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019); (B) Detail of the Grupelli Granite showing the sample locations.27
- Figura 5. Field aspects of the Grupelli Granite: (A) Overview of a granite wall in an abandoned quarry; (B) Aplitic dike of ~20 cm crosscutting the phaneritic granite. (C) Centimetric biotitic schlieren in sharp contact with the host granite. (D) Typical homogeneous isotropic texture with inequigranular sub-centimetric quartz, K-feldspar, and plagioclase crystals interspersed by biotite aggregates and magnetite-ilmenite.31
- Figura 6. Petrographic classification of representative samples of the Grupelli Granite in the Streckeisen (1973) QAP diagram.33
- Figura 7. Representative microphotographs of the Grupelli Granite. A) Quartz with wavy sector extinction and bulging recrystallization (BLG) (black arrow); B) K-feldspar and plagioclase crystals with BLG recrystallized edges (black arrows) C) Perthites and recrystallized grains of quartz and feldspar; D) Sub- to euhedral aggregates of opaque minerals and biotite occur along interstitial contacts between felsic minerals; E) SEM-BSE image with emphasis on Fe-chlorite (ripidolite) as an alteration product of biotite (black arrow); F) SEM- BSE image of aggregates ilmenite-apatite-zircon aggregates. G) Ternary feldspar diagram for showing representative analyses from the Grupelli Granite (Deer et al., 1992). Abbreviations: Qtz = Quartz; Kf = K-feldspar; Plg = Plagioclase; Bt = Biotite; Fe-Cl = Ferro-chlorite; Zr = Zircon; Ap = Apatite; Im = Ilmenite.34
- Figura 8. Geochemistry of Grupelli granite. A) SiO₂ vs K₂O diagram, Pecерillo and Taylor (1976); B) B-A plot, modified by Villaseca et al., (1998); C) R₁-R₂ plot, Batchelor and Bowden (1985). Geochemical data for the granitic suites in the Pelotas Batholith taken from Takehara and Laux (2019), Cruz (2019), and Philipp and Machado (2005).37
- Figura 9. Major element (wt.%) and selected trace element (ppm) variation diagrams versus SiO₂ for the Grupelli Granite (this work), the Cerro Grande Suite (CGS), and the Dom Feliciano Suite (DFS). CGS and DFS data from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019).38
- Figura 10. Chondrite-normalized REE patterns (left) and Spidergrams normalized to the Upper Continental Crust (UCC) (right). Chondrite composition from Boynton (1983); UCC composition from Taylor and McLennan (1995). Field data for CGS and DFS are taken from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019)..... 39
- Figura 11. Cathodoluminescence images of zircon crystals showing measurement spots and numbers (red dotted circles) and their respective ²⁰⁶Pb / ²³⁸U age in Ma. A- J) crystals with magmatic zoning; B) bipyramidal crystal with apatite inclusion; G)

crystal with incipient magmatic zonation; l) crystal with fracture perpendicular to magmatic zoning.....	43
Figura 12. U-Pb SHRIMP concordia diagram of the Grupelli Granite zircons. The concordia age of 578.0 ± 3.9 Ma is interpreted as the crystallization age.	45
Figura 13. A) Maniar and Piccoli (1989) diagram; B) SiO ₂ vs A/CNK diagram, White et al. (1986). Geochemical data for the granitic suites in the Pelotas Batholith taken from Takehara and Laux (2019), Cruz (2019), and Philipp and Machado (2005).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela 1. Major (wt.%) and trace element (ppm) data for the Grupelli Granite samples.	32
Tabela 2. Dados isotópicos de zircões da amostra GRUPELLI (Granito). Pbc = chumbo comum (corrigido usando ²⁰⁴ Pb medido). Disc. = discordância, Corr. = correlação. .	41
Tabela 3. Zircon U-Pb isotope data for the Grupelli Granite. Pbc = common lead (corrected using measured ²⁰⁴ Pb). Disc. = discordance (ù), Corr. = correlation.....	44

SUMÁRIO

PARTE I – Introdução ao tema e descrição do objeto de pesquisa do mestrado	10
1 Introdução.....	11
1.1 Localização e geologia regional	11
1.2 Geologia local	13
1.3 Correlação com o Batólito Pelotas (Suíte Dom Feliciano)	15
Referências	16
PARTE II – Artigo “ <i>Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt</i> ” submetido à revista “ <i>Journal of South American Earth Sciences</i> ”	21
PARTE III - Anexos.....	56
Carta de Submissão do artigo.....	57

Estrutura da dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo "*Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt*" submetido à revista "*Journal of South American Earth Sciences*". Sua organização compreende as seguintes partes principais:

Parte I: Introdução sobre o tema e descrição do objeto de pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a linha de pesquisa desenvolvida, o estado da arte sobre o tema da pesquisa;

Parte II: Artigo submetido a revista científica com corpo editorial permanente e revisores independentes, escritos pelo autor durante o desenvolvimento do mestrado;

Parte III: Anexos.

**PARTE I – Introdução ao tema e descrição do objeto de
pesquisa do mestrado**

1 Introdução

Os estudos geológicos conduzidos no último século no Rio Grande do Sul visaram à compreensão das unidades geológicas encontradas em campo. As informações geradas pelos mapeamentos sistemáticos permitiram um progresso no entendimento da geração das unidades petrotectônicas e dos processos de magmatismo, deformação, metamorfismo e sedimentação envolvidos (Chemale Jr., 2000). Entre essas porções está o Batólito Pelotas, que apesar de já ter sido mapeado em outros estudos, continua apresentando algumas lacunas, como: a ausência de estudos sobre as relações entre os diferentes litotipos; escassez de análises sobre a mineralogia destas rochas; melhor entendimento dos processos responsáveis pela petrogênese do plutonismo; compreensão das fontes envolvidas na gênese dessas rochas; entendimento/detalhamento do modo de alojamento dos corpos plutônicos ao longo das zonas de cisalhamento e carência de dados geocronológicos.

Diante do exposto, destacam-se alguns aspectos relevantes neste trabalho: (i) a realização de um mapeamento geológico, visando a individualização de granitoides na região de Pelotas, RS; (ii) a análise da petrográfica dessas rochas, buscando um melhor entendimento da gênese destas e, por fim, (iii) caracterização geoquímica e geocronológica de granitoides inseridos no contexto do Batólito de Pelotas.

1.1 Localização e geologia regional

A área estudada situa-se nos arredores do município de Pelotas (Figura 1), porção sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. Esta região abrange as folhas do Serviço Geográfico do Exército 1:50.000 Monte Bonito (SH.22-Y-D-IV-1), compreendida entre as latitudes 31°30' e 31°45' S, e as longitudes 52°15' e 52°30' W e Santa Silvania (SH.22-Y-D-I-3), compreendida entre as latitudes 31°15' e 31°30' S e as longitudes 52°15' e 52°30' W. Esta área dista aproximadamente 271 km da capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A área estudada situa-se no contexto do Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), inserido na porção meridional da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977). O ESRG foi formado e compartimentado durante a orogenia Brasileira-PanAfricana de idade Neoproterozoica relacionada a colagem orogênica entre os crátons Rio de la Plata, Kalahari e Congo (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Chemale Jr., 2000; Nardi,

2007; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2010; Philipp *et al.*, 2016). O ESGR (Figura 1) é composto por segmento do Cráton Rio de la Plata e pelo Cinturão Dom Feliciano. O Cinturão Dom Feliciano é formado por associações petroectônicas dispostas conforme a direção NE-SW, estendendo-se por mais de 1.200 km desde Punta del Este (Uruguai) até o nordeste do estado de Santa Catarina (Brasil).

A evolução do Cinturão Dom Feliciano envolveu a superposição de três eventos orogênicos (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Costa, 1997; Hartmann *et al.*, 2016; Chemale Jr. *et al.*, 1995; Chemale Jr., 2000; Saalman *et al.*, 2010), denominados por Philipp *et al.* (2016) como Passinho (0,89 – 0,86 Ga), São Gabriel (0,77 – 0,68 Ga) e Dom Feliciano (0,65 – 0,54 Ga). Em sua porção oriental, onde afloram as unidades estudadas no presente trabalho, predominam granitoides do denominado Batólito de Pelotas (Fragoso-César *et al.*, 1986), com evolução atribuída a um arco magmático continental, de idades entre 630-550 Ma e composição predominante cálcio-alcálica alto-K (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Babinski *et al.*, 1997; Philipp, 1998; Silva *et al.*, 1999). Este batólito é composto por corpos graníticos de diversas suítes intrusivas, como Pinheiro Machado, Erval, Cordilheira, Viamão, Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano, conforme Fragoso-César (1991) e Philipp (1998), além de corpos ígneos máficas a intermediárias intrusivas, que incluem o Gabro Passo da Fabiana (Fragoso-César, 1991; Barbosa *et al.*, 2018) e o Diorito Capim Branco (Wildner e Ramgrab, 1994), e diversos xenólitos centimétricos a quilométricos de rochas metamórficas denominados de septos do embasamento (Philipp e Machado, 2002; Chaves *et al.*, 2016; Tambara *et al.*, 2019).

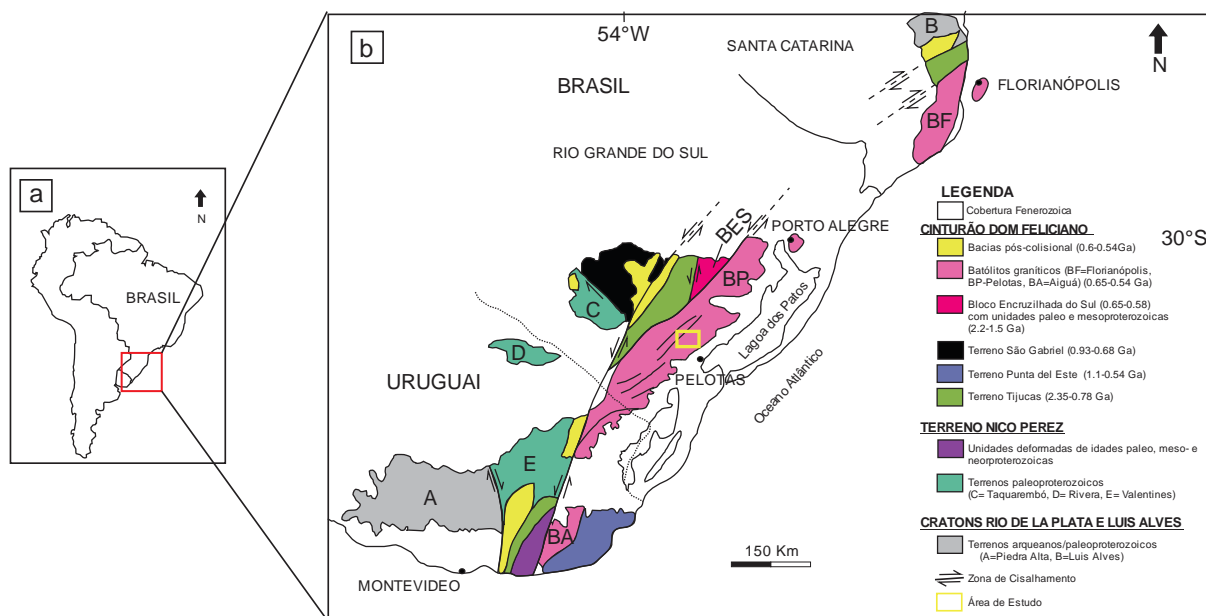


Figura 1. Mapa de localização do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense: (a) Continente Sul-americano; (b) unidades geotectônicas Pré-Cambrianas do Sul do Brasil e Uruguai, modificado de Hartmann *et al.* (2007); Philipp *et al.* (2016).

1.2 Geologia local

A geologia da área estudada (Figura 2) é constituída pela Suíte Pinheiro Machado intrudida por granitoides da Suíte Dom Feliciano, incluindo os granitos Cerro Grande e Arroio Moinho, além de corpos ígneos máficos e intermediários (Cruz, 2019).

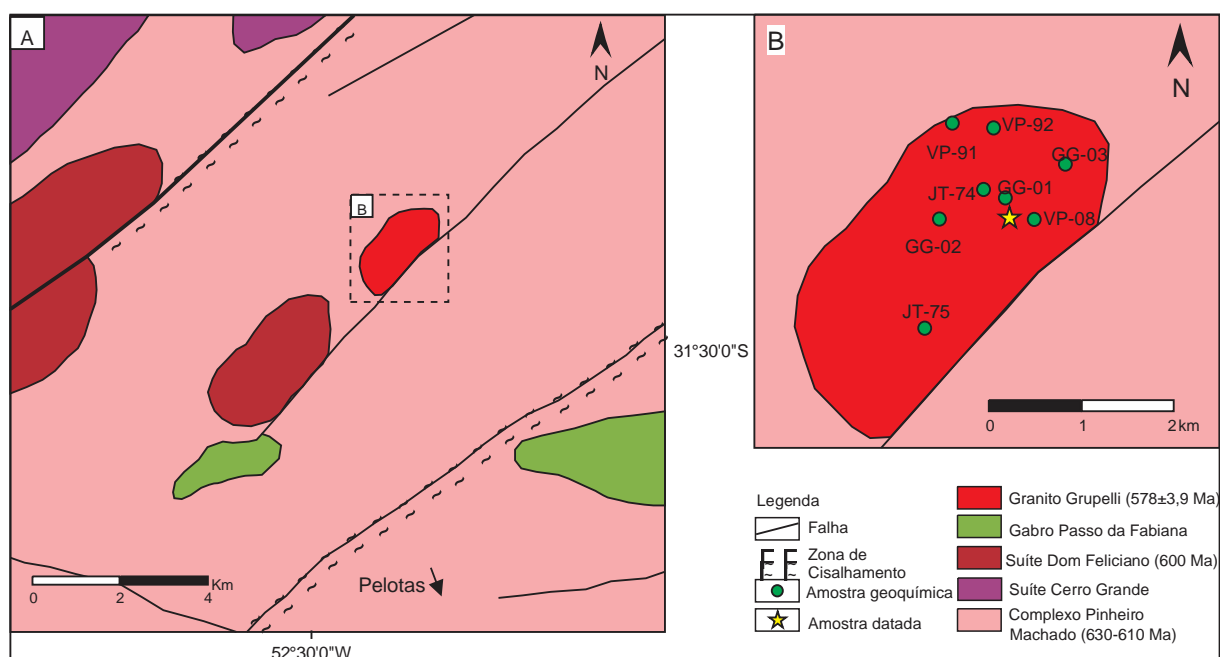


Figura 2. (A) Mapa geológico geral da região de Monte Bonito; (B) Mapa de detalhe do Granito Grupelli com a indicação dos pontos analisados (círculos verdes).

A Suíte Pinheiro Machado (SPM) (Fragoso-César *et al.*, 1986), também referenciado como Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado (Fragoso-César, 1991), constitui a unidade com maior volume de rochas no Batólito Pelotas ou Domínio Oriental do Escudo Sul-rio-grandense. Os corpos da SPM variam de dioritos, quartzo dioritos, tonalitos, granodioritos a monzogranitos, com uma maior concentração dos últimos termos (Cruz, 2019). Texturalmente são hipidiomórficos com arranjo inequigranular a equigranular com granulação média a grossa, localmente porfirítico (Philipp *et al.*, 1993).

Dentre as suítes do Batólito Pelotas, a SPM é a única que apresenta estruturas atribuídas a duas fases deformacionais. A primeira (D1) gerou uma deformação de baixa intensidade, marcada por uma foliação de baixo ângulo, com bandamento irregular e descontínuo marcado por *schlierens* de biotita acompanhados por uma incipiente orientação dos minerais máficos (Philipp, 1998; Campos, 2004). A segunda fase (D2) é marcada por zonas de alta intensidade de deformação (faixas miloníticas, com estruturas S-C) que obliteram parcialmente as estruturas anteriores, feições de recristalização dinâmica relacionada a essa fase incluem, extinção ondulante, formação de subgrãos, bem como sombras de pressão e mantos de recristalização nos limites dos minerais (Cruz, 2019).

Os levantamentos geoquímicos realizados na SPM (Philipp, 1990, Frantz e Nardi, 1992; Philipp *et al.*, 2003; Cruz, 2019) indicam caráter cálcio-alcálico de médio a alto-K; afinidade metaluminosa a fracamente peraluminosa; assinaturas químicas compatíveis com as encontradas em granitoides gerados em ambiente de arco magmático. Esta suíte apresenta idades U-Pb e Pb-Pb em zircão de 630 a 600 (Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 2002, 2003, Silva *et al.*, 1997; Cruz, 2019).

A Suíte Dom Feliciano (SDF) é composta por corpos graníticos pouco ou não deformados do Batólito Pelotas cuja estruturação tectônica está relacionada à colocação pós-tectônica ou reativação de zonas de cisalhamentos regionais (Tessari e Picada, 1965, Fragoso-César *et al.*, 1986).

Esta representa as últimas fases de atividade granítica no Batólito Pelotas, com predomínio de termos sienograníticos, tendo feldspato alcalino-granitos e quartzo sienitos como termos subordinados. Seus corpos apresentam assinatura geoquímica de rochas alcalinas com características pós-tectônicas de idade entre 600 e 550 Ma (e.g. Koester *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2015). A suíte inclui intrusões epizonais, que

podem estar relacionados a granitos do tipo-A ou a associações pós colisionais (Philipp, 1998).

1.3 Correlação com o Batólito Pelotas (Suíte Dom Feliciano)

Tessari e Picada (1965), através da relação entre os corpos graníticos pouco ou não deformados do Batólito Pelotas cuja estruturação tectônica está limitada a foliações localizadas, lineações de estiramento e catáclase, todas relacionadas à colocação pós-tectônica ou reativação de zonas de cisalhamentos regionais, realizaram o agrupamento de corpos com estas características no Complexo Granítico Dom Feliciano. Fragoso-César *et al.* (1986), considerando a homogeneidade petrográfica, litoquímica e isotópica existente entre os múltiplos plútons graníticos dessa unidade, redefiniram o complexo granítico como Suíte Granítica Dom Feliciano.

A SDF foi individualizada em duas fácies principais, a Fácies Cerro Grande, com predomínio de monzogranitos porfíricos a grossos e Fácies Serra do Erval, com predomínio de sienogranitos equigranulares (Ramgrab *et al.*, 1997; Wildner *et al.*, 2008).

Um das revisões mais recentes, Cruz (2019) eleva a Fácies Cerro Grande a condição de suíte (Suíte Cerro Grande), devido as suas rochas apresentarem um predomínio de termos monzograníticos grossos a porfíricos com características cálcio-alcálicos, diferentemente da Suíte Dom Feliciano onde predomina a composição sienogranítica e afinidade química cálcio-alcálica a alcálica.

A Suíte Cerro Grande, incluindo o Granito Arroio Moinho, assemelha-se sob ponto de vista geoquímico a Suíte Viamão, de característica sub-alcálica, cálcio-alcálica a shoshonítica, metaluminosa a peraluminosa e características condizentes com as de ambiente sin-colisional a tardi orogênico de um arco continental evoluído (Cruz, 2019).

Ainda, ocorrem dois corpos de rochas gabroicas intrusivas, consideradas como equivalentes a unidade Gabro Passo da Fabiana (Cruz, 2019), possivelmente relacionados aos eventos pós colisionais nos estágios finais do emplaceamento do magmatismo Dom Feliciano.

Devido à proximidade geográfica, a idade de $578 \pm 3,9$ Ma, interpretada como a idade de cristalização e posicionamento do Monzogranito Grupelli (Völz *et al.*, submetido), assim como o restrito intervalo composicional e a composição

extremamente diferenciada do Monzogranito Grupelli, neste trabalho realizou-se a correlação com a Suíte Dom Feliciano.

A Suíte Dom Feliciano, assim como o Monzogranito Grupelli, caracteriza-se por uma grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica, sendo que a presença de enclaves básicos e xenólitos das rochas encaixantes são restritas.

Em análises geoquímicas em rocha total, os dados obtidos mostram que as rochas da Suíte Dom Feliciano, assim como o Monzogranito Grupelli, caracterizam-se por elevados valores de SiO₂ (acima de 70 %), alto teor K₂O e de acordo com os diagramas geoquímicos são classificados como ferroso, de caráter álcali-cálcico a cálcio-alcálico e levemente peraluminosas. Nos diagramas multielementares apresentam forte anomalia de európio, fracionamento de elementos terras raras leves em relação aos pesados, além de anomalias negativas de Ba, Ta, Nb, Sr, P e Ti. Apresentam relativo enriquecimento em elementos de largo raio iônico em relação aos elementos de alto potencial iônico. Nos diagramas de discriminação de ambiente tectônico e áreas fontes as rochas da suíte mostram características de granitoides híbridos colocados em ambiente de arco vulcânico ou pós-colisionais (Völz *et al.*, submetido).

Referências

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8., 1977, Campina Grande. Atas... Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- Babinski M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann L.A., Silva L.C. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern. *Journal of South American Earth Sciences*, 10 (3-4), 1997. p. 263-274.
- Barbosa, L., Koester, E., Gastal, M. do C. Rochas intrusivas básicas no sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS: petrografia e geoquímica das associações I e II. *Geologia USP. Série Científica*, 18(2), 2018. p. 149-170.
- Campos, R. S. Caracterização geológica e petrográfica das principais jazidas de granitos ornamentais da região de Encruzilhada do Sul, RS. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências - UFRGS.

- Chaves, A. O., Porcher, C.C., Alves, J. V. Petrologia e isótopos de Sm-Nd da formação ferrífera bandada anfibolítica de Cristália (Minas Gerais-Brasil). *Comunicações Geológicas*. 2016. v. 103, p. 1-8.
- Chemale Jr., F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. e De Ros, L.F.(Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. Centro de Investigação do Gondwana/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 13-52.
- Chemale Jr., F., Babinski, M. U-Pb zircon dating of deformational events from the Neoproterozoic rocks in the Eastern Brazil. In: SBG, Simp. Nac. Est. Tectôn., 5, Gramado, Bol. Res. Expandidos, 1995. p.: 377-378.
- Costa, A. F. U., Fernandes, L.A., D. Estruturação das associações petrotectônicas do Escudo Sul-Rio-Grandense: caracterização geofísica através da magnetometria, gravimetria e gamaespectrometria. In: International Congress of The Brazilian Geophysical Society, 5, Rio de Janeiro. Abstracts... 1997. Rio de Janeiro: SBG.
- Cruz, R. F. da. Projeto Sudeste do Rio Grande do sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000; Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: CPRM, 2019. 173 p.: il. color.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koster, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Riograndense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico, *Revista Brasileira de Geociências*, 1995a .25(4): 351-374.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.LT., Koster, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. Evolução Tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo sul-riograndense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 1995b. 25(4):375-384
- Fragoso-césar, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani JR., Faccini, U.F. O Batólito de Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34: 1986, Goiânia. Anais... Goiânia: 1986. SBG, 3: 1322-1343.
- Fragoso Cesar, A.R.S. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 1991. 362 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Frantz, J. C., Nardi, L. V. S. Litoquímica e evolução de Granitóides Cálcico-Alcalinos da região leste do Escudo Sul-riograndense. Pesquisas, Porto Alegre, 1992. v. 19, n.1, p. 13-25.
- Hartmann, L. A., Chemale Jr., F., Philipp, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Ed.). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências, contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p.97-123.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F. Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2016. 88(1): 75-92.
- Koester E., Soliani Jr., E., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., Mcnaughton, N.J., Santos, J.O.S., Oliveira, L.D. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, southern Brazilian Journal of South American Earth Sciences, 14: 2001. p. 91-99.
- Nardi, L.V.S. Magmatismo granítico e evolução crustal do sul do Brasil. 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Eds. Roberto Iannuzzi & José Carlos Frantz. Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, Porto Alegre, 2007. 125-141.
- Oliveira, D. S., Sommer, C.A., Philipp, R. P., Lima, E. F., Basei, M. A. S. Post-collisional subvolcanic rhyolites associated to the Neoproterozoic Batholith Pelotas, Southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 2015. v.63, p.84-100.
- Philipp, R.P. Geologia e Petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS. 1990. 231f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- Philipp, R.P., Mesquita, M.J., Gomes, M.E.B., Almeida, D.P.M. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. Pesquisas 20 (1), 1993. p. 3-13.
- Philipp, R.P. A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. 1998. 255f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

- Philipp, R.P., Machado R. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas Suítes Graníticas do Batólito Pelotas, RS. Pesquisas, UFRGS, 29(1): 2002. p. 43-57.
- Philipp, R. P., Pimentel, M. M., Chemale Jr., F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. Brazilian Journal of Geology, São Paulo, 2016. v. 46, p. 83- 04.
- Ramgrab, G.E., Wildner, W., Camozzato, E. Mapa Geológico da Folha Porto Alegre SH.22-Y-B. Brasília, CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, 1997. 144f.
- Saalmann, K., Gerdes A., Lahaye Y., Hartmann L. A., Remus M. V. D., Laüfer A. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de La Plata craton, the prolonged brasiliano orogeny in southernmost Brazil. International Journal Earth Sciences, 2010. v.100, p.:355-378.
- Silva, L.C., Mcnaughton, N.J., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R. U-Pb (SHRIMP) geocronology in the Camboriú Complex and other gneisses from the basement of the Neoproterozoic southern Brazilian Granitic province, Brazil. In: SBG, International Symposium of Granitic Rocks and Associated Mineralization, II., Salvador, Boletim de Resumos Expandidos, 1997. p. 278-279.
- Silva, L.C., Hartmann, L.A., Mcnaughton, N.J., Fletcher, I.R. U-Pb zircon dating of Neoproterozoic granite magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. International Geology Review, 41: 1999. p. 531-551.
- Tambara, G. B., Koester, E., Ramos, R. C., Porcher, C. C., Vieira, D. T., Fernandes, L. A. D., Lenz, C. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcalino médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, 2019. v. 46, n. 2: e0769.
- Tessari, R.I., Picada, R.S. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul, RS. Boletim do DNPM/DFPM, 124: 1965. p. 1-147.
- Völz, W.M., Koester, E., Pinto, V.M., Debruyne, K., Cardozo, K., Vieira, D.T., Olmo-Barbosa L. Dal, Bastos, V.A. Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt. Journal of South American Earth Sciences. 2020. 40p. submetido.

- Wildner, W., Ramgrab, G., Lopes, R. da C., Iglesias, C. M. F. Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2008. CPRM, 1 DVD. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.
- Wildner, W., Ramgrab, G. E. O Diorito Capim Branco. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38.,1994, Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos... Balneário Camboriú: SBG, p.61-62.

PARTE II – Artigo “*Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt*” submetido à revista “*Journal of South American Earth Sciences*”

Highlights (for review)

- New magmatic event in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt
- The undeformed Grupelli Granite is widely used as an ornamental rock
- High K calc-alkaline, weakly peraluminous, post-orogenic monzogranite
- Crystallization age of 578.0 ± 3.9 Ma (U-Pb zircon SHRIMP)
- Considerably younger than ~ 600 Ma Dom Feliciano and Cerro Grande Suites

Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt

Wesllen Moraes Völz^a, Edinei Koester^b, Viter Magalhães Pinto^{c*}, David Debruyne^c, Emanuélle Cardozo^c, Daniel Triboli Vieira^a, Laércio Dal Olmo-Barbosa^a, Vivianne Andrade Bastos^a

(^a) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil.

(^b) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil.

(^c) Engenharia Geológica, Universidade Federal de Pelotas. Rua Gomes Carneiro, 02, CEP 96010-610, Pelotas, RS, Brasil.

* corresponding author

e-mail address: viter.pinto@gmail.com

Abstract.

The Pelotas Batholith forms the eastern portion of the neoproterozoic Dom Feliciano Belt and records the final stages of the neoproterozoic Brazilian–Pan-African orogeny. This granite-dominated region experienced a complex tectonomagmatic evolution, yet constraints on the nature and especially the timing of the different magmatic stages are still scarce. This study provides new geochemical and geochronological constraints on the Grupelli Granite, a post-deformational pluton located in the rural district of Quilombo, Pelotas, RS. This granite crops out as a series of small solid bodies along a NE–SW oriented fault zone, and intrudes the Pinheiro Machado Complex that dominates the central and eastern Pelotas Batholith. The studied granite is widely used as an ornamental rock due to its extremely leucocratic appearance. The Grupelli Granite is homogeneous, relatively undeformed, inequigranular and typically medium- to coarse-grained (1–5 mm), with porphyritic and hypidiomorphic textures. The modal composition is monzogranitic with 40–50% quartz, 19–25% K-feldspar, and 15% oligoclase, up to 10% biotite, 2–3% magnetite and ilmenite, and accessory chlorite, zircon, apatite, chalcopyrite, and pyrite. Geochemically, the Grupelli Granite is characterized by high SiO₂ (71–75 wt.%) and K₂O (5.08–5.65 wt.%) contents combined with low FeO_t (1.71–1.93 wt.%), MgO and TiO₂ (< 0.2 wt.%) levels. This highly evolved granite has a K-rich calc-alkaline character, is weakly peraluminous, with an I-type affinity. The combined data are consistent with formation in a post-orogenic tectonic

environment by reworking of mainly calc-alkaline sources, with a potential minor contribution of a metapelitic source. The low Sr-contents and concomitant high Ba/Sr ratios likely reflect plagioclase fractionation, while ilmenite fractionation may account for the pronounced negative Nb, Ta, and Ti anomalies. Although the rare earth element (REE) and other trace element patterns tend to parallel those in the ca. 600 Ma Dom Feliciano Suite and the Cerro Grande Suite magmatism, the Grupelli Granite presents significantly lower heavy REE (HREE) concentrations and a smaller negative Eu anomaly. The HREE depletion can be attributed to retention of zircon and/or garnet in the source. These geochemical characteristics distinguish it from the earlier magmatic pulses in the Pelotas Batholith. The Grupelli Granite was dated at 578.0 ± 3.9 Ma (U-Pb zircon SHRIMP), and is thus younger than the ca. 600 Ma Dom Feliciano and Cerro Grande suites. This crystallization age places new constraints on the felsic post-collisional magmatism during the final stages of the evolution of Pelotas Batholith.

Key words: Dom Feliciano; Pelotas Batholith; Post-collisional; Granite; U-Pb zircon age

1. Introduction

The Pelotas Batholith constitutes a NE-elongated block in the eastern region of the Dom Feliciano Belt, and is limited to the west by the Dorsal Canguçu Shear Zone or the Porto Alegre Suture and is covered by sediments from the Coastal Plain to the east (Fragoso-César *et al.*, 1986). The Pelotas Batholith is the central portion of a granitic province with a length of ~800 km and an average width of 150 km that extends from the state of Santa Catarina (Florianópolis Batholith) to the southern portion of Uruguay (Aiguá Batholith) (Fig. 3).

Several works characterize the Pelotas Batholith as a polyphasic and multi-intrusive plutonic complex that was generated during the collision of the Rio de La Plata Craton with the African Congo and Kalahari cratons. The Pelotas Batholith is divided into several igneous suites with ages between 640 and 550 Ma, and the placement and transport of the plutons is directly related to the action of regional shear zones (Fernandes *et al.*, 1992; Chemale Jr. *et al.*, 1995; Chemale Jr., 2000; Philipp *et al.*, 2002, 2003; Philipp and Machado, 2001; 2005).

The excellent exposure of this batholith in the region surrounding Pelotas owing to the occurrence of several deposits that expose the individual magmatic pulses and

their relationships, in addition to the presence of enclaves that possible remains of the basement present a unique opportunity to understand these processes. However, the genesis of the Pelotas Batholith is highly complex, and despite having been mapped by numerous studies, critical geochemical, mineralogical, and geochronological data, and data studying the relationships between the different lithotypes are still missing. More studies are needed (1) to improve the understanding of the processes responsible for protracted large-scale plutonism, (2) to understand the sources involved in the genesis of these rocks, (3) to understand and detail the mode of accommodation of plutonic bodies along the shear zones.

In view of the hiatuses mentioned above, some relevant aspects of this work are highlighted: (a) the geological characterization of a granitic intrusion (the Grupelli Granite) that is distinct from other plutons in this area and is used as an ornamental rock; (b) providing a more detailed subdivision of the magmatic phases in the Pelotas Batholith; (c) the mineralogical analysis is employed to improve the understanding of its petrogenesis and, finally, (d) geochemical and geochronological characterization of the Grupelli Granite inserted in the context of the magmatism of the Pelotas Batholith.

2. Geological setting

The studied area is located in the Sul-Rio-Grandense Shield (SRGS) that constitutes the southern portion of the Mantiqueira Province (Almeida *et al.*, 1981). The SRGS was formed and compartmentalized during the Neoproterozoic Brazilian–Pan-African orogeny related to collision between the Rio de la Plata, Kalahari and Congo cratons (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Chemale Jr., 2000; Nardi and Bitencourt, 2007; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2010; Philipp *et al.*, 2016). The SRGS consists of a segment of the Rio de la Plata craton and the Dom Feliciano Belt (Fig. 3). The Dom Feliciano Belt is formed by NE–SW-directed tectonic associations that extend for more than 1200 km from Punta del Este (Uruguay) to the northeast of the Santa Catarina state (Brazil).

The evolution of the Dom Feliciano Belt involved the superposition of three orogenic events (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Costa and Fernandes, 1997; Hartmann *et al.*, 2016; Chemale Jr. and Babinski, 1995; Chemale Jr., 2000; Saalman *et al.*, 2010), named by Philipp *et al.* (2016) as Passinho (0.89– 0.86 Ga), São Gabriel (0.77–0.68 Ga), and Dom Feliciano (0.65–0.54 Ga). Our study area lies in its eastern

portion, where granitoids of the Pelotas Batholith predominate (Fragoso-César *et al.*, 1986). These granitoids generally have high-K calc-alkaline compositions and are thought to record evolution in a continental magmatic arc between ca. 630–550 Ma (Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Babinski *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 1997; Philipp, 1998). The granites in this batholith are subdivided in several intrusive suites, including the Pinheiro Machado, Erval, Cordillera, Viamão, Encruzilhada do Sul and Dom Feliciano suites (e.g., Fragoso-César, 1991; and Philipp, 1998), in addition to mafic to intermediate intrusives, which include the Passo da Fabiana Gabbro (Fragoso-César, 1991) and the Capim Branco Diorite (Wildner and Ramgrab, 1994), and several centimeter-to-kilometer sized (mega)xenoliths and basement septa of metamorphic rocks (Phillip *et al.*, 2002; Ramos *et al.*, 2018; Tambara *et al.*, 2019).

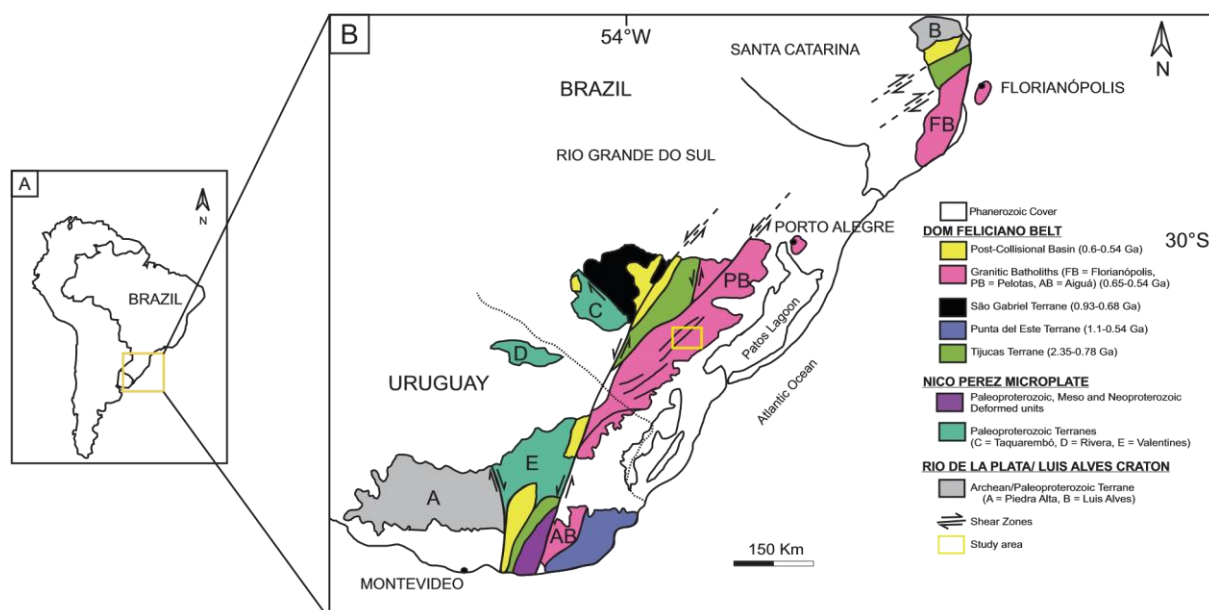


Figura 3. (A) Geographic location of the study area in relation to South America; (B) Precambrian geotectonic units in southern Brazil and Uruguay, modified from Hartmann *et al.* (2007); Oyhançabal *et al.* (2011); Philipp *et al.* (2016).

2.1 Local Geology

The geology of the study area (Fig. 4) consists of the Pinheiro Machado Complex intruded by syenogranitoids from the Dom Feliciano Suite and monzogranites from the Cerro Grande Suite, in addition to mafic and intermediate igneous bodies (Takehara and Laux, 2019, Cruz, 2019).

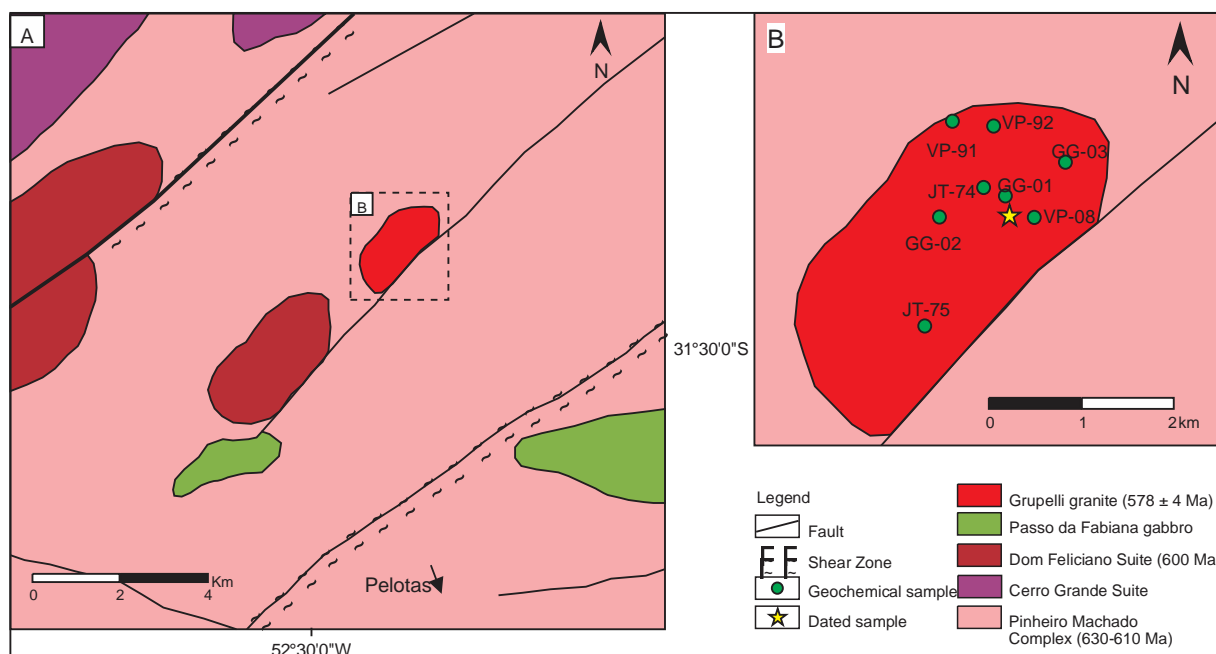


Figura 4 . Geological map of the Grupelli granite and the surrounding hosts rocks, modified from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019); (B) Detail of the Grupelli Granite showing the sample locations.

The Pinheiro Machado Complex (PMC) (Fragoso-César *et al.*, 1986), also referred to as Pinheiro Machado Granitic-Gneissic Complex (Fragoso-César, 1991), is the dominant unit in the Pelotas Batholith. The bodies of the PMS vary petrographically from diorites, quartz diorites, tonalites, and granodiorites to monzogranites, but the more felsic rocks predominate (Cruz, 2019). Texturally they are medium- to coarse-grained with hypidiomorphic inequigranular to equigranular, and locally porphyritic textures (Philipp *et al.*, 1993).

The PMC is the only suite that present structures attributed to two deformational phases. The first (D1) is generated a low-intensity deformation, marked by a low angle foliation, with irregular and discontinuous banding marked by biotite schlieren accompanied by a weak orientation of mafic minerals (Philipp, 1998; Campos, 2004). The second phase (D2) is marked by locally intense deformation with mylonitic bands showing S-C fabrics that partially obliterate the previous structures. Features of dynamic recrystallization related to this phase include wavy extinction, formation of sub-grains, as well as pressure shadows, and syntaxial overgrowths (Cruz, 2019).

Geochemically, the PMC rocks have a medium to high-K calc-alkaline character, metaluminous to weakly peraluminous compositions, and chemical signatures compatible with a magmatic arc environment (Philipp, 1990; Frantz and Nardi, 1992; Philipp *et al.*, 2003; Cruz, 2019). The U-Pb and Pb-Pb ages in zircons from this suite

indicate ages of 630 to 610 Ma (Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 2002, 2003; Silva *et al.*, 1997; Cruz, 2019).

The Dom Feliciano Suite (DFS) is composed of slightly deformed granitic bodies whose tectonic structure is related to post-tectonic placement or reactivation of regional shear zones (Tessari and Picada, 1966; Frago-César *et al.*, 1986). The age of this alkaline suite is ca. 600 Ma (e.g., Koester *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2015) and it represents the last phases of granitic activity in the Pelotas Batholith. The DFS predominantly consists of syenogranitic plutons with subordinate alkali feldspar granites and quartz-syenites with post-tectonic geochemical characteristics. This suite includes epizonal intrusions, which may be related to type-A granites or post-collisional associations (Philipp, 1998).

The DFS was subdivided into two distinct facies, the Cerro Grande Facies that predominantly consists of porphyritic to coarse-grained monzogranites and the Serra do Erval Facies that is dominated by equigranular syenogranites (Ramgrab *et al.*, 1997; Wildner *et al.*, 2008). Takehara and Laux (2019) recently elevated the Cerro Grande Facies to a suite based on their textural differences with the DFS and the calc-alkaline characteristics that contrast with the calc-alkaline to alkaline DFS syenogranites. This division is followed in the present work for comparative purposes with the new data presented here.

The Cerro Grande Suite, including the Arroio Moinho Granite, is geochemically similar to the Viamão Suite, with sub-alkaline, calc-alkaline to shoshonitic characteristics, metaluminous to peraluminous compositions and characteristics consistent with syn-collisional to late orogenic emplacement in an evolved continental arc setting (Takehara and Laux, 2019).

Two bodies of intrusive gabbroitic and dioritic rocks in this region are considered equivalents to the Passo da Fabiana Gabbro and the Capim Branco Diorite (Cruz, 2019). The agreement between the structures associated with these bodies and extensive regional lineaments associated with the host rocks suggest a link between the basic intrusives and the evolution and structural timing of the granitoids, possibly related to post-collisional events in the final stages of the Pelotas Batholith magmatism (Wildner *et al.*, 1994; Barbosa *et al.*, 2018).

3. Materials and Methods

For the present work, dozens of samples were collected during two field campaigns, collected in the Alto do Caixão hill, mainly in and around an abandoned quarry (WGS84: 31°28'44.19"S/ 52°28'59.34"W), in addition to the host rocks. Eight samples of the Grupelli Granite were selected for micro-petrographical, mineralogical, and geochemical analysis; and another sample for geochronological analysis.

The thin sections for optical microscopy were made in the Analytical Support and Sample Preparation Laboratory (NPA) of the Center for Studies in Petrology and Geochemistry (CPGq) at the Institute of Geosciences (IGeo) of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Petrographic analyses were performed using a Leica® polarization microscope equipped with a camera. Representative semi-quantitative Scanning Electron Microscope -Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) analyses of the main minerals were performed in with a JEOL-6610LV instrument (IGeo, UFRGS) using an acceleration voltage of 15kV and are listed in Table 1.

Geochemical analyses were performed at the Acme Analytical Laboratories (Vancouver, Canada). The major, minor elements, and selected trace element analysis was performed by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) after fusing 0.2 g of sample with lithium metaborate (LiBO_2) and digestion with diluted nitric acid. The rare earth and refractory elements (e.g., La, Ce, Ba, and Nb) were analyzed by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) also after fusing 0.2 g of sample with lithium metaborate (LiBO_2) and digestion in nitric acid. The base metals and precious metals (e.g., Mo, Cu, Ni, Zn, and Pb) were analyzed by ICP-MS using a separate 0.5 g aliquot digested in aqua regia. The loss on ignition (LOI) was calculated using the difference in weight of the sample after heating to 1000 °C. The analytical data obtained are listed in Table 2. The geochemical analyses were performed using the Geochemical Data Toolkit software (Janoušek *et al.*, 2006).

To determine the age of crystallization of Grupelli Granite, a sample was collected near the homonymous village (WGS84: 32°22'54.34"S/ 52°29'30.89"W) and prepared for the U-Pb zircon isotope analysis with the Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP). The sample selected for geochronological analysis is a representative, massive, medium-grained equigranular monzogranite with biotite as the main mafic mineral and $M' < 3$, and was processed at the Center for Studies in Petrology and Geochemistry (CPGq), IGeo, UFRGS. The U-Pb SHRIMP analysis was performed at

the Center for Geochronological Research (CPGeo) of the Institute of Geosciences (IGc) of the University of São Paulo (USP).

The Grupelli Granite sample was prepared following conventional procedures, which include crushing, grinding, and sieving fractions between 63 and 500 mesh. The 90 mesh fraction was used to separate the zircons, from which about 100 zircon crystals were selected and mounted in osco resin. Cathodoluminescence images were subsequently made using a model FEI Quanta 250 scanning electron microscope (SEM). The U-Pb zircon isotopes data were obtained with secondary ion mass spectrometry (SIMS) using a SHRIMP ion mass spectrometer. Details of the analytical procedures and calibration procedure can be obtained from Stern (1997), Williams (1998), and Sato *et al.* (2014). The Pb content was calibrated against the TEMORA-2 crystal standard (Black *et al.*, 2014). The decay constant and the current $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ ratio used in the calculations were taken from Steiger and Jäger (1977). The age calculated in the concordance diagram was calculated using the averages of 10 points belong to the same zircon generation, based on the cathodoluminescence data. The ages were calculated using the Isoplot software (Ludwig, 2008).

4. Results

4.1 Field aspects

The Grupelli Granite crops out as a series of topographically elevated NE–SW oriented elongated ellipses in a 2.5 km² area. The whitish-to-light-gray granites appear as large boulders and walls in abandoned quarries (Fig. 5A), and are sometimes cross-cut by aplitic dikes (Fig. 5B). The granites contain rare centimetric schlieren consisting of biotite aggregates with preferential NE–SW orientations (Fig. 5C), but are typically medium-to coarse grained (1–5 mm), inequigranular and isotropic (Fig. 5D). They are in intrusive contact with deformed granite rocks affected by ductile-brittle shear zones with NE–SW direction.

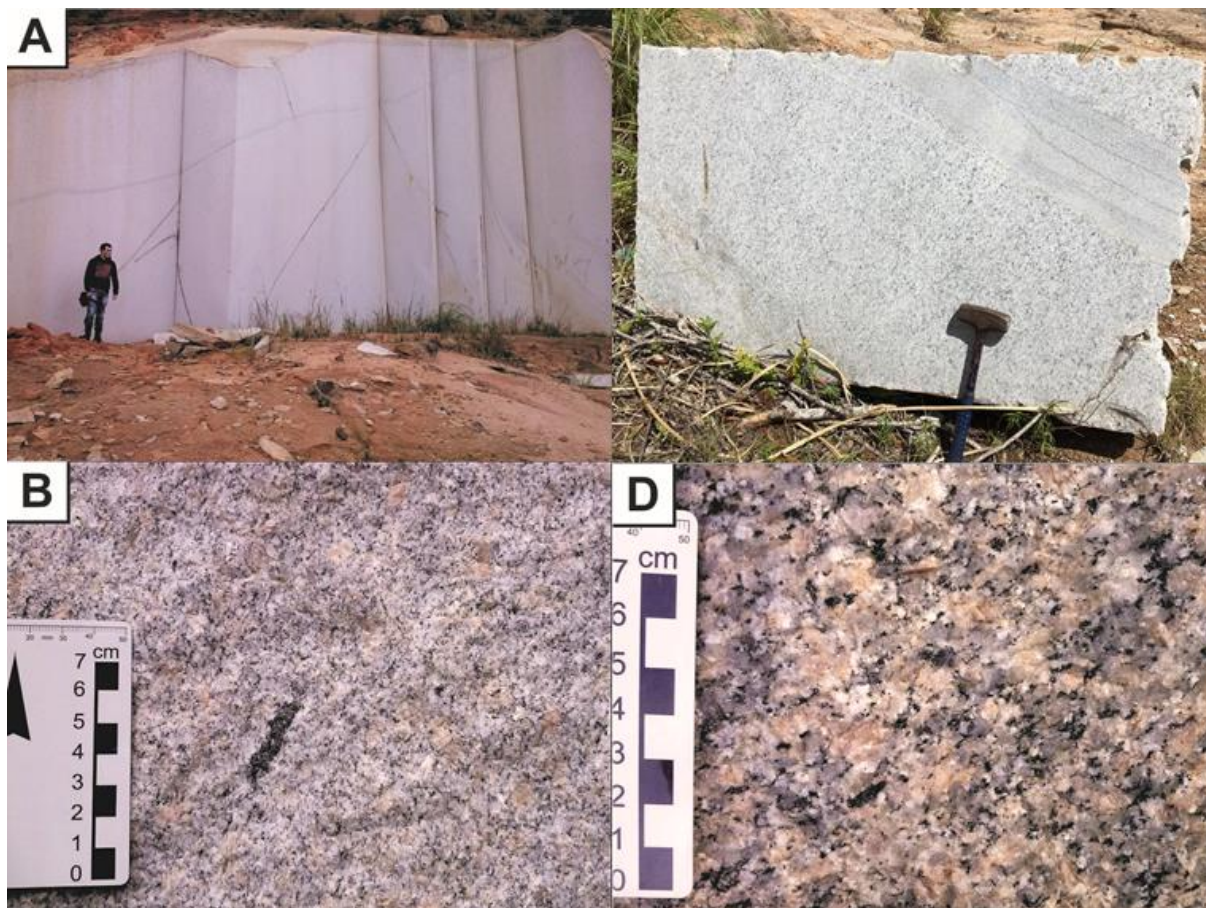


Figura 5. Field aspects of the Grupelli Granite: (A) Overview of a granite wall in an abandoned quarry; (B) Aplitic dike of ~20 cm crosscutting the phaneritic granite. (C) Centimetric biotitic schlieren in sharp contact with the host granite. (D) Typical homogeneous isotropic texture with inequigranular sub-centimetric quartz, K-feldspar, and plagioclase crystals interspersed by biotite aggregates and magnetite-ilmenite.

4.2 Petrography

The petrographic study was carried out using eight thin sections, in which the semi-quantitative modal and chemical mineral content was analyzed using SEM-EDS (Tab. 1). The monzogranites are medium-grained, inequigranular (1–5 mm), show isotropic textures, and are essentially composed of quartz, potassium feldspar, plagioclase, and biotite. Point counting indicated that the compositional variation is limited, corroborating the field observations. The main constituents are 40–50 % quartz, 19–25 % K-feldspar, and approximately 15 % plagioclase in all samples. The samples were classified as monzogranites in the QAP diagram (Streckeisen, 1973) (Fig. 6). Biotite is the main mafic mineral, and can reach up to 10 % of the rock volume.

Tabela 1. Tabela 1. Major (wt.%) and trace element (ppm) data for the Grupelli Granite samples.

Sample	VP-08	VP-91	VP-92	GG-1	GG-2	GG-3	JT-74	JT-75
SiO ₂ (wt%)	77.15	74.62	76.25	75.68	76.44	75.13	75.26	76.35
Al ₂ O ₃	11.76	12.37	12.13	12.11	11.87	12.55	12.35	11.98
Fe ₂ O ₃ *	1.75	1.92	1.93	1.71	1.86	1.81	1.79	1.85
MgO	0.14	0.16	0.17	0.08	0.13	0.21	0.16	0.15
CaO	0.75	0.75	0.76	0.75	0.74	0.78	0.77	0.76
Na ₂ O	2.7	2.98	2.83	3.24	2.77	3.05	2.92	2.88
K ₂ O	5.19	5.65	5.44	4.87	5.34	5.55	5.21	5.11
TiO ₂	0.16	0.15	0.17	0.08	0.14	0.2	0.15	0.14
P ₂ O ₅	0.03	0.04	0.05	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04
MnO	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0.01	0.013	0.01	0.01	0.01
LOI	0.2	0.1	0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4
Sum	99.87	98.78	99.87	98.75	99.85	99.76	98.97	99.70
Ba (ppm)	317	369	312	337	320	318	342	358
Co	1.8	1.6	2	1.4	2.2	2.2	1.3	1.9
Cu	4	24.5	3.9	5	8.1	6	14.2	11.5
Ga	11.3	12.6	13.7	14.5	12.5	14.6	13.4	12.8
Hf	2.8	2.8	3.7	2.08	3.8	2.17	2.9	3.4
Nb	5.3	3.9	4.8	4.24	4.1	4.6	4.9	4.77
Ni	111.3	12	89	13	50	19	66	97
Rb	112.9	98.7	112.8	141.3	114.6	134.4	125.5	131.2
Sr	59.8	60.8	60.7	55.9	66.9	70.7	67.8	63.6
Ta	0.4	0.1	0.2	0.15	0.1	0.1	0.2	0.2
Th	11.2	9.5	12.6	17.8	10.1	9.5	12.3	11.9
U	0.9	0.5	1.1	1.38	0.8	1.32	0.9	0.8
Y	5.3	5.2	6.3	4.98	5.3	5.56	5.4	5.2
Zr	103.6	114.2	117.6	95.3	119.4	129.8	124.5	118.8
La	49.1	40.3	50.4	35.8	45.5	36.1	48.6	43.4
Ce	101.1	82.7	103.7	90.3	95	99.1	101.2	97.5
Pr	10.91	8.97	11.3	9.33	9.76	9.4	10.2	9.3
Nd	38	30	37.7	31	30.9	36.4	36.8	34.5
Sm	4.64	4.19	5.03	4.4	4.31	4.9	5.01	4.86
Eu	0.85	0.86	0.87	0.89	0.87	0.88	0.87	0.89
Gd	2.61	2.36	2.67	2.79	2.33	2.58	2.63	2.61
Tb	0.24	0.22	0.26	0.24	0.23	0.24	0.26	0.25
Dy	1.01	1.06	1.28	1.2	1.1	1.13	1.21	1.2
Ho	0.15	0.14	0.18	0.2	0.19	0.18	0.17	0.16
Er	0.56	0.48	0.54	0.49	0.46	0.51	0.53	0.51
Tm	0.07	0.07	0.09	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08
Yb	0.47	0.42	0.59	0.5	0.51	0.5	0.53	0.51
Lu	0.11	0.09	0.09	0.07	0.1	0.1	0.09	0.1

LOI = loss on ignition. Fe₂O₃* = total iron.

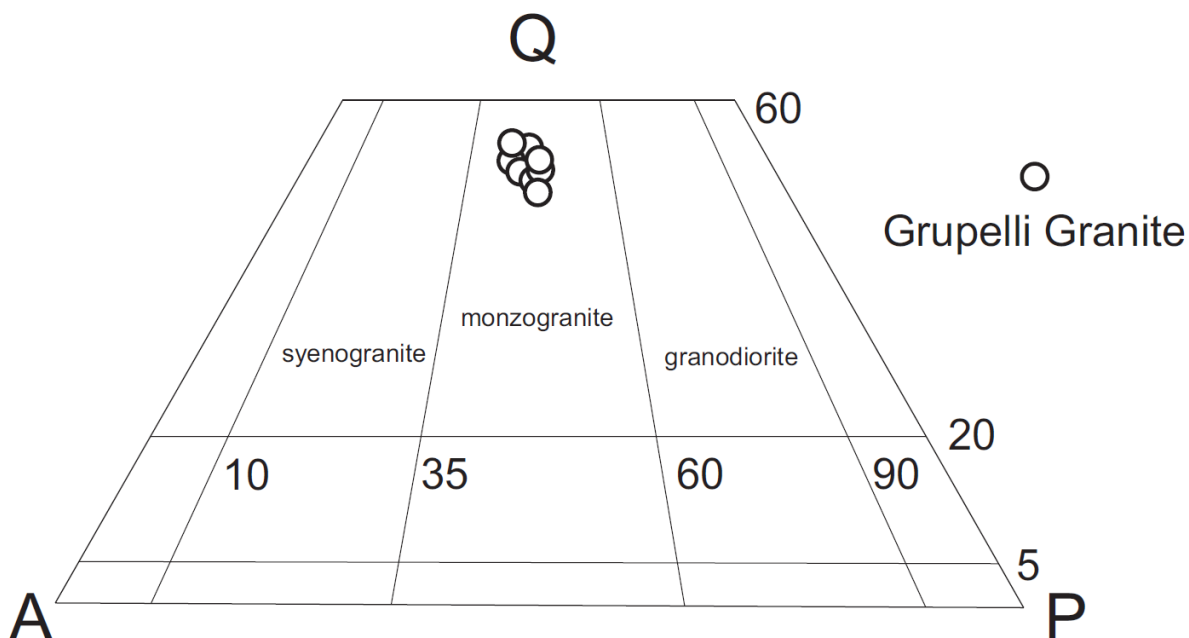


Figura 6. Petrographic classification of representative samples of the Grupelli Granite in the Streckeisen (1973) QAP diagram.

The accessory mineral phases are opaque minerals (2–3 %), zircon, and apatite (1 %), and white mica is the dominant secondary mineral, followed by chlorite (< 0.5 %). The opaque minerals identified in reflected light are mainly ilmenite and magnetite, alongside accessory pyrite and chalcopyrite.

Quartz occurs as subhedral to anhedral crystals, and are rimmed by syntaxial overgrowths. This mineral sometimes also occurs as fine-grained (< 1 mm) recrystallized aggregates, with serrated contacts, grain boundary migration and an orthogonal sub-generation, forming the wavy sector extinction. Such features correspond to the recrystallization in the bulging stage (BLG) (Passchier and Trouw, 2005) (Fig. 7A). Quartz contacts with other minerals are generally irregular.

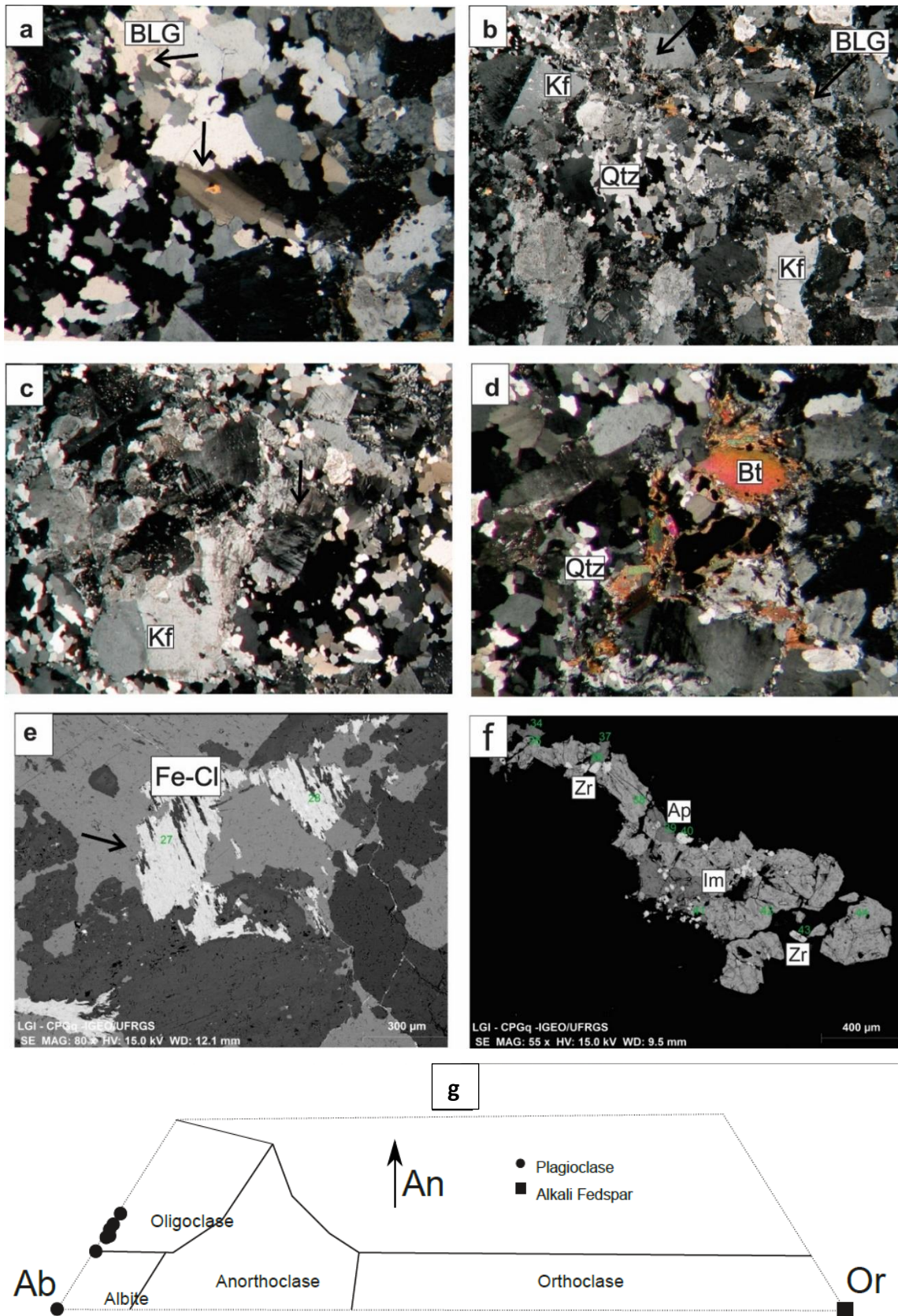


Figura 7. Representative microphotographs of the Grupelli Granite. A) Quartz with wavy sector extinction and bulging recrystallization (BLG) (black arrow); B) K-feldspar and plagioclase crystals with BLG recrystallized edges (black arrows) C) Perthites and recrystallized grains of

quartz and feldspar; D) Sub- to euhedral aggregates of opaque minerals and biotite occur along interstitial contacts between felsic minerals; E) SEM-BSE image with emphasis on Fe-chlorite (ripidolite) as an alteration product of biotite (black arrow); F) SEM- BSE image of aggregates ilmenite-apatite-zircon aggregates. G) Ternary feldspar diagram for showing representative analyses from the Grupelli Granite (Deer *et al.*, 1992). Abbreviations: Qtz = Quartz; Kf = K-feldspar; Plg = Plagioclase; Bt = Biotite; Fe-Cl = Ferro-chlorite; Zr = Zircon; Ap = Apatite; Im = Ilmenite.

The K-feldspar is sub- to anhedral, medium-grained (1–2.5 mm), and shows are both Tartan and Carlsbad twins, both associated with perthitic, myrmekitic and synneusis textures, and sericitization. The grain boundaries are recrystallized and form irregular contacts (Fig. 7B, C). Plagioclase occurs predominantly as fine-grained (< 1 mm) sub- to anhedral crystals and shows irregular, sinuous contacts, with BLG recrystallization (Fig. 7B,C), and is locally replaced by clay group minerals. Biotite occurs as inequigranular sub- to euhedral crystals with an average size of 1 mm. This mineral is mainly associated with mafic aggregates and opaques (ilmenite, magnetite, and pyrite), and is sometimes found in interstitial contacts (Fig. 7D). Biotite crystals in some thin sections show incipient preferential orientations, and are sometimes altered to ripidolite, a Fe-rich mineral of the chlorite group (Fig. 7E). Opaque minerals are found as sub- to euhedral grains associated with biotite. Zircon and apatite form sub- to euhedral small prismatic crystals (~0.1–0.15 mm) that typically occur in aggregates (Fig. 7F). White mica and chlorite occur as anhydrous crystals with irregular contacts.

Ten points were analyzed with SEM-EDS and the mineral formula were calculated on the basis of 32 oxygens (Deer *et al.*, 1992). Plagioclase shows continuous normal chemical zoning with oligoclase (An_{10–15}) in the center evolving towards pure albite (Ab₁₀₀) at the rims (Fig. 7G). Pure orthoclase (Or₁₀₀) predominated in our SEM-EDS analyses (n = 7; Fig. 7G).

4.3 Geochemistry

The results of the whole rock geochemical analyses are listed in Table 2. The Grupelli Granite is characterized by a high SiO₂ content (74–77 wt. %) and ~5 wt % K₂O, while Al₂O₃, FeO_t, TiO₂, and MgO-levels are extremely low, reflecting the highly evolved nature of this granite. The minor and trace element composition exhibits limited variation, except for Ni (12–111 ppm) and Cu (4–24 ppm). The other trace elements were generally homogeneous and generally present in low concentrations, such as Sr (56–70 ppm), Y (5–6 ppm), and Yb < 1 ppm.

The SiO₂ versus K₂O diagram by Peccerillo and Taylor (1976) indicates that the Grupelli Granite samples have high-K calc-alkaline compositions (Fig. 8A), aluminum saturation indices (ASI) around 1.00–1.05 indicating weakly peraluminous compositions (Fig. 8B), and the samples plot in the field of I-type granitoids in the A / CNK vs SiO₂ diagram (Fig. 8C) (White *et al.*, 1986).

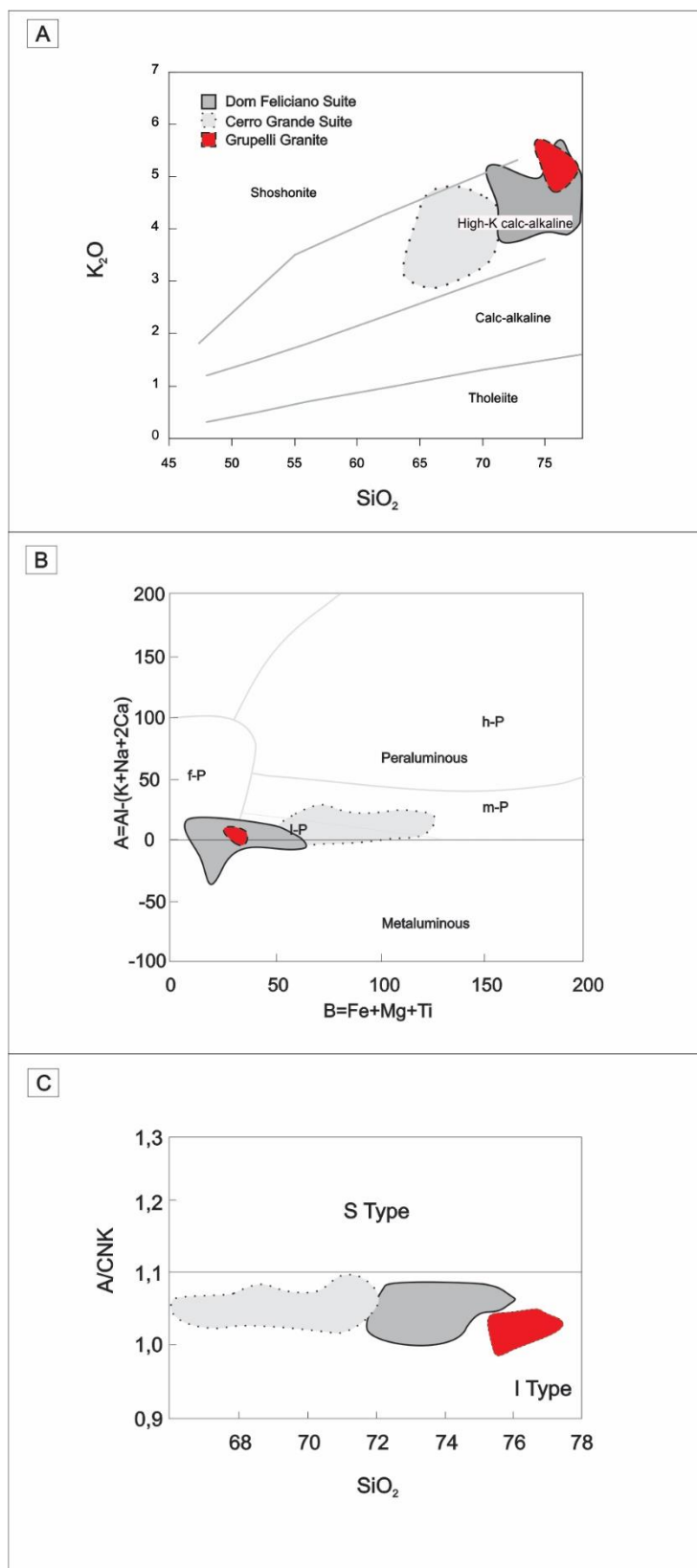


Figura 8. Geochemistry of Grupelli Granite. A) SiO₂ vs K₂O diagram, Pecерillo and Taylor (1976); B) B-A plot, modified by Villaseca *et al.* (1998); C) R₁-R₂ plot, Batchelor and Bowden (1985). Geochemical data for the granitic suites in the Pelotas Batholith taken from Takehara and Laux (2019), Cruz (2019) and Philipp and Machado (2005).

The major and trace element compositions of the Grupelli Granite samples are presented alongside Serro Grande Suite and Dom Feliciano Suite data from Phillip and Machado (2005), Cruz (2019) and Takehara and Laux (2019), with the objective of comparing the granites studied in this work with those found in the surrounding region. Relative to these other suites, the Grupelli Granite is enriched in SiO_2 , K_2O , and Na_2O , and depleted in the other major elements (Fig. 9A–F). In addition, the incompatible trace element contents of the Grupelli Granite are generally lower than in the aforementioned suites (Fig. 9I–L).

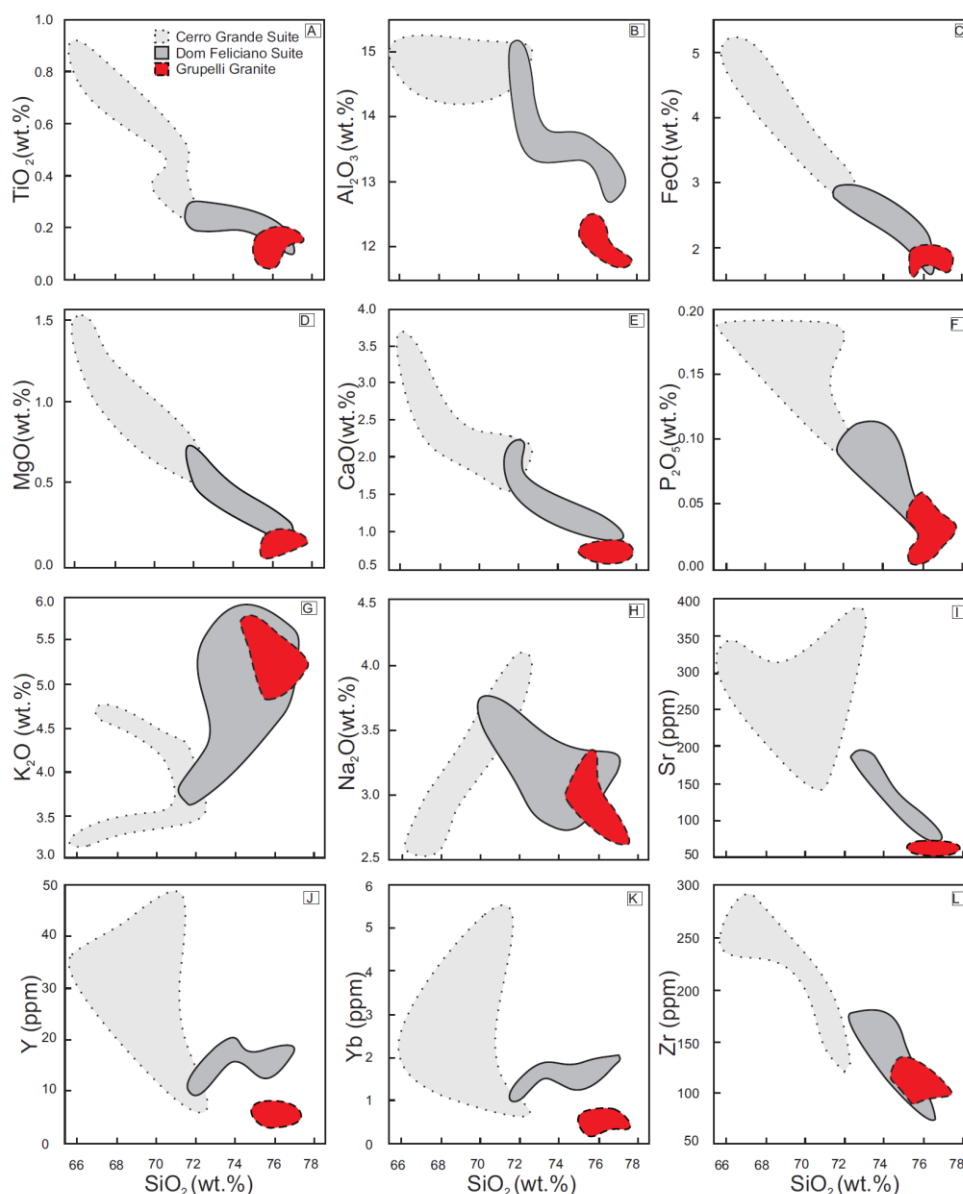


Figura 9. Major element (wt.%) and selected trace element (ppm) variation diagrams versus SiO_2 for the Grupelli Granite (this work), the Cerro Grande Suite (CGS), and the Dom Feliciano Suite (DFS). CGS and DFS data from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019).

The mantle-incompatible trace elements of the Grupelli Granite are plotted in the Upper Continental Crust (UCC)-normalized spidergram (Fig. 10A). The Grupelli Granite samples show pronounced negative Nb, Ta, Sr and P, with smaller negative Ba, U, Ti, U anomalies and low HREE contents. Most of the other (e.g., K, Rb, Zr, Hf, and Th) plot fairly close to the crustal composition in Figure 10A, and show minor compositional variation. The more pronounced negative Sr, Nb, Ta, P and U anomalies in the Grupelli Granite distinguish this pluton from the Cerro Grande and Dom Feliciano suites (Fig. 10A).

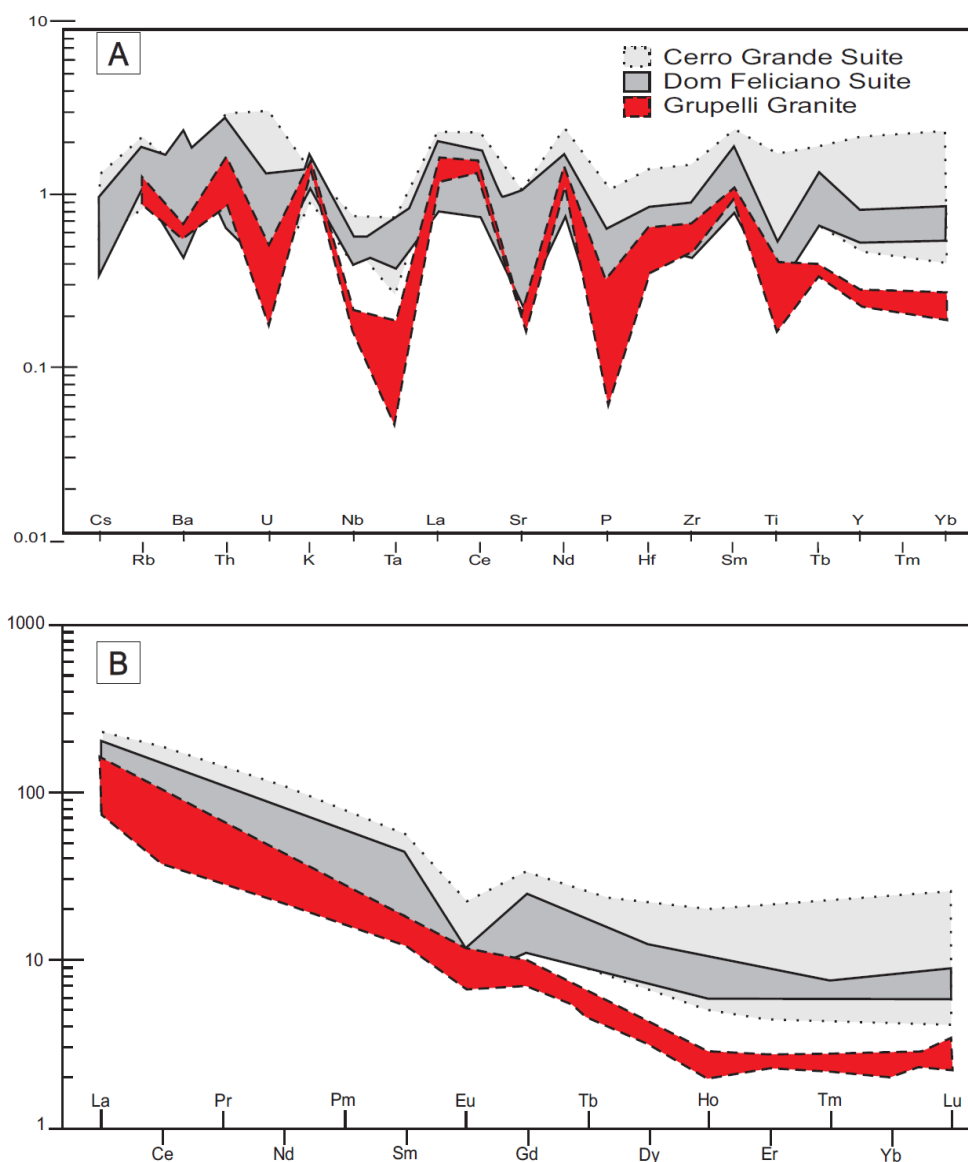


Figura 10. Chondrite-normalized REE patterns (left) and Spidergrams normalized to the Upper Continental Crust (UCC) (right). Chondrite composition from Boynton (1983); UCC composition from Taylor and McLennan (1995). Field data for CGS and DFS are taken from Takehara and Laux (2019) and Cruz (2019).

The REE compositions of the Grupelli Granite are plotted relative to Boyton's chondrite composition (1983) (Fig. 10B). The Grupelli Granite samples show a typical LREE-enriched trend alongside a depletion in HREE, with low to moderate La_N / Yb_N ratios (48.3–70.4) and small negative Eu anomalies (Eu/Eu^* : 0.73–0.84). The Eu anomalies are calculated as $Eu_N / [(Sm_N + Gd_N) / 2]$. The more pronounced HREE-depletion and smaller negative Eu anomalies distinguish the Grupelli Granite from the Serro Grande and Dom Feliciano suites (Fig. 10B).

Tabela 2. Dados isotópicos de zircões da amostra GRUPELLI (Granito). Pbc = chumbo comum (corrigido usando ^{204}Pb medido). Disc. = discordância, Corr. = correlação.

<i>spot</i>	U ppm	Th ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	^{206}Pb ppm	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	± %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	± %	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	± %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Idade (Ma)	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Idade (Ma)	1 σ	% Disc.	Erro corr.
GRUPELLI - 9.1	123	74	0.62	4.54	10	0.759	18.1	0.0903	1.2	0.0610	18.0	558	6	556	9	+13	0.065
GRUPELLI - 4.1	28	34	1.24	3.78	2	0.737	17.2	0.0912	1.8	0.0586	17.1	562	10	563	9	-2	0.107
GRUPELLI - 1.1	72	106	1.52	2.79	6	0.750	10.5	0.0918	1.7	0.0592	10.4	566	9	566	9	+1	0.160
GRUPELLI - 6.1	103	91	0.91	5.94	8	0.761	25.6	0.0928	1.7	0.0595	25.6	572	9	572	10	+2	0.065
GRUPELLI - 10.1	55	29	0.54	1.43	4	0.766	8.4	0.0928	1.3	0.0598	8.3	572	7	572	8	+4	0.160
GRUPELLI - 7.1	150	203	1.40	0.65	12	0.765	4.3	0.0938	1.0	0.0591	4.2	578	5	578	6	-1	0.228
GRUPELLI - 8.1	219	202	0.95	1.45	18	0.790	3.6	0.0941	0.9	0.0609	3.5	580	5	579	5	+9	0.263
GRUPELLI - 2.1	73	49	0.69	0.59	6	0.764	4.4	0.0944	1.2	0.0587	4.2	581	7	582	7	-5	0.269
GRUPELLI - 3.1	382	226	0.61	0.57	31	0.796	2.3	0.0952	0.9	0.0606	2.1	586	5	586	5	+7	0.375
GRUPELLI - 5.1	1330	471	0.37	0.01	110	0.779	10	0.0958	0.8	0.0589	0.5	590	5	590	5	-5	0.838

4.4 Geochronology

Zircon crystals are generally elongated, well-developed euhedral bipyramids with lengths of 150–250 μm and aspect ratios around 2: 1, up to 3: 1 in some cases. The crystals are usually translucent colorless to pale yellow, and sometimes fractured or even broken, and may contain apatite inclusions. In the cathodoluminescence images (Fig. 11), most crystals exhibit regular and continuous oscillatory magmatic zoning. A few crystals do not show zoning. Inherited nuclei were not observed. The results of the U-Pb analyzes are listed in Table 3. The errors are presented in 1 sigma (1σ). The $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages vary between 558 ± 6 and 590 ± 5 Ma. A concordant age of 578.0 ± 3.9 Ma was obtained in the concordia diagram (Fig. 12) ($n = 10$; MSWD = 0.56).

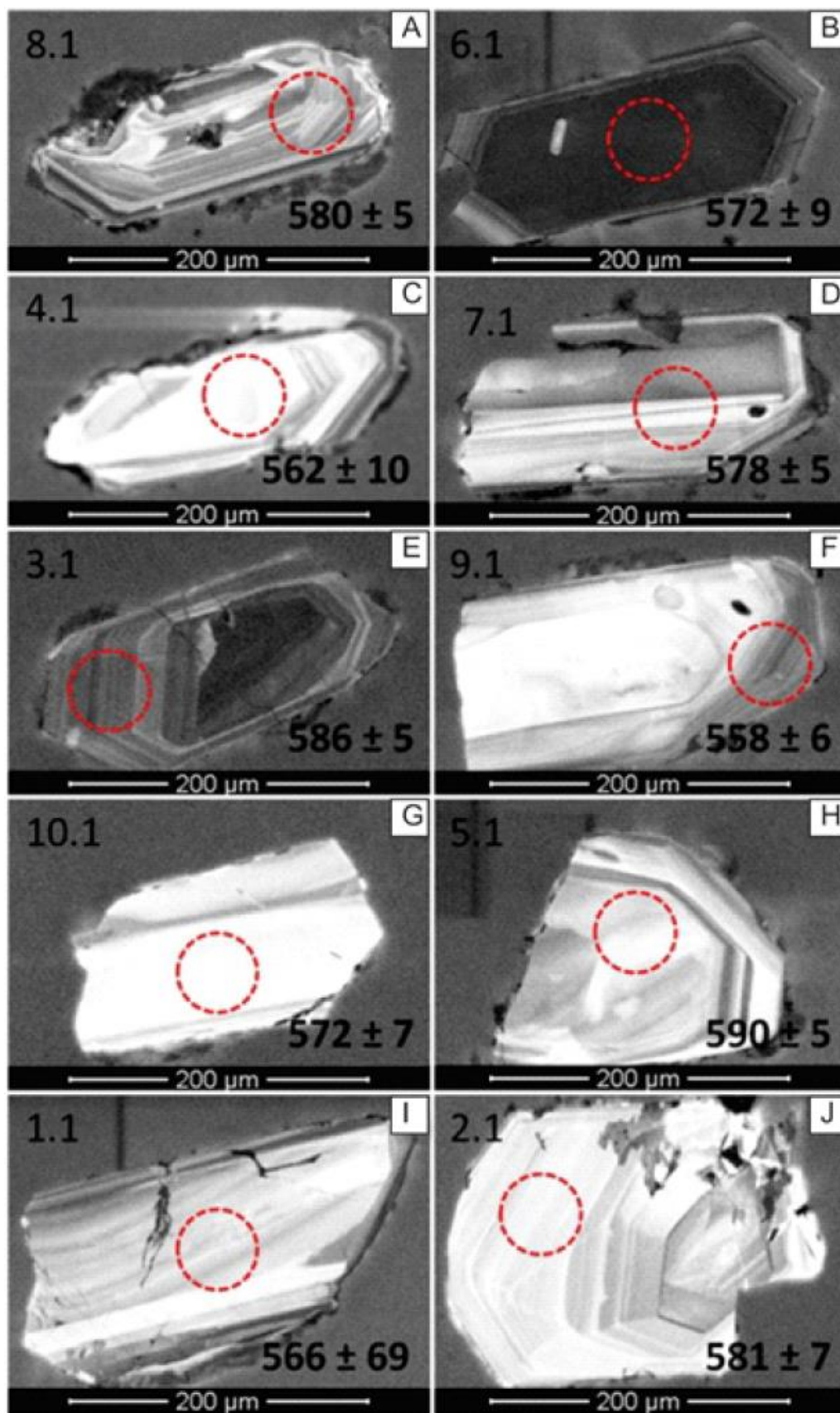


Figura 11. Cathodoluminescence images of zircon crystals showing measurement spots and numbers (red dotted circles) and their respective $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ age in Ma. A-J) crystals with magmatic zoning; B) bipyramidal crystal with apatite inclusion; G) crystal with incipient magmatic zonation; I) crystal with fracture perpendicular to magmatic zoning.

Tabela 3. Zircon U-Pb isotope data for the Grupelli Granite. Pbc = common lead (corrected using measured ^{204}Pb). Disc. = discordance (\dot{u}), Corr. = correlation.

spot	U ppm	Th ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	^{206}Pb ppm	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	\pm %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	\pm %	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	\pm %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age (Ma)	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Age (Ma)	1 σ	% Disc.	Error corr.
GRUPELI - 9.1	123	74	0.62	4.54	10	0.759	18.1	0.0903	1.2	0.0610	18.0	558	6	556	9	+13	0.065
GRUPELI - 4.1	28	34	1.24	3.78	2	0.737	17.2	0.0912	1.8	0.0586	17.1	562	10	563	9	-2	0.107
GRUPELI - 1.1	72	106	1.52	2.79	6	0.750	10.5	0.0918	1.7	0.0592	10.4	566	9	566	9	+1	0.160
GRUPELI - 6.1	103	91	0.91	5.94	8	0.761	25.6	0.0928	1.7	0.0595	25.6	572	9	572	10	+2	0.065
GRUPELI - 10.1	55	29	0.54	1.43	4	0.766	8.4	0.0928	1.3	0.0598	8.3	572	7	572	8	+4	0.160
GRUPELI - 7.1	150	203	1.40	0.65	12	0.765	4.3	0.0938	1.0	0.0591	4.2	578	5	578	6	-1	0.228
GRUPELI - 8.1	219	202	0.95	1.45	18	0.790	3.6	0.0941	0.9	0.0609	3.5	580	5	579	5	+9	0.263
GRUPELI - 2.1	73	49	0.69	0.59	6	0.764	4.4	0.0944	1.2	0.0587	4.2	581	7	582	7	-5	0.269
GRUPELI - 3.1	382	226	0.61	0.57	31	0.796	2.3	0.0952	0.9	0.0606	2.1	586	5	586	5	+7	0.375
GRUPELI - 5.1	1330	471	0.37	0.01	110	0.779	1.0	0.0958	0.8	0.0589	0.5	590	5	590	5	-5	0.838

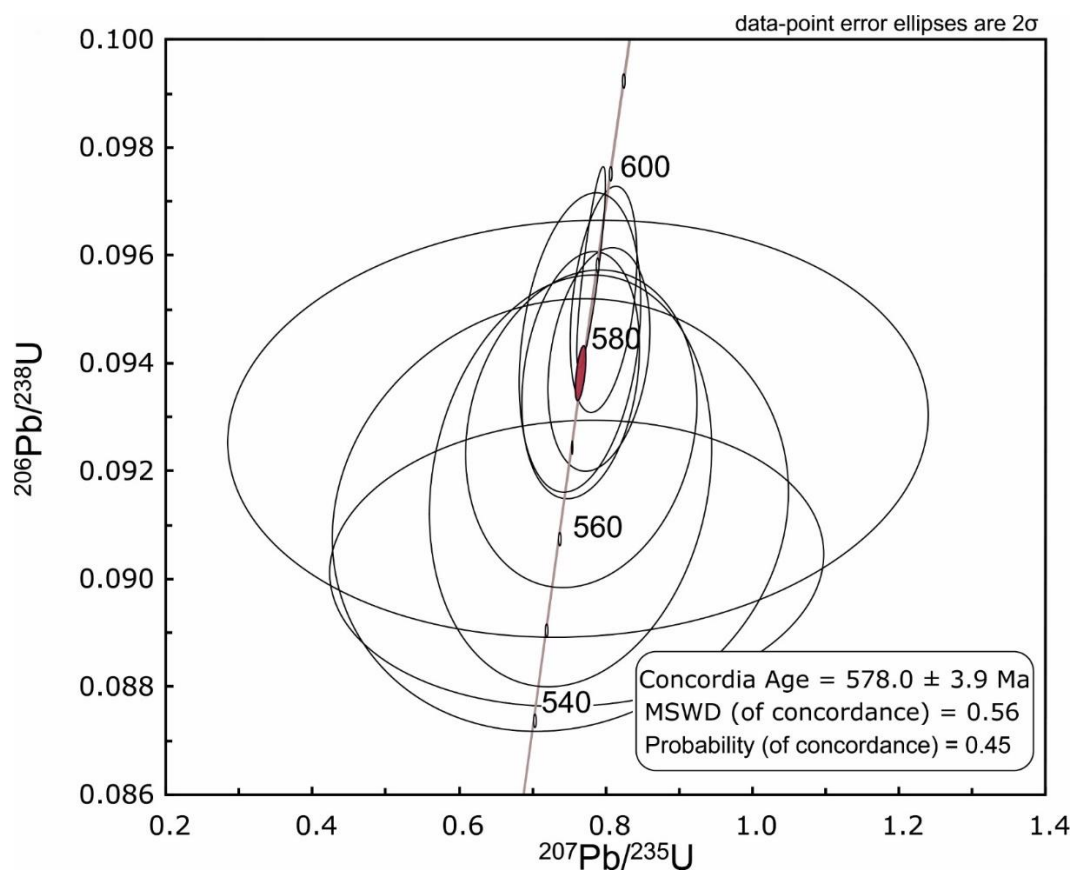


Figura 12. U-Pb SHRIMP concordia diagram of the Grupelli Granite zircons. The concordia age of 578.0 ± 3.9 Ma is interpreted as the crystallization age.

5. Discussion

In the established geotectonic framework for the Pelotas Batholith (Philipp *et al.*, 2016), the Ediacaran age of the Grupelli Granite (578.0 ± 3.9 Ma) corresponds to the late post-collisional stage, assuming the Pinheiro Machado Complex as an arc-related event (630 Ma). The following sections discuss its geochemical and geotectonic significance and its correspondence with other similar magmatism in the Pelotas Batholith.

5.1 Geochemistry of the Grupelli Granite

The analyzed Grupelli Granite samples have high-K calc-alkaline compositions (Fig. 8A), are weakly peraluminous (ASI 1.00–1.05; Fig. 8B) and show I-type characteristics (Fig. 8C). The low Ga/Al ratios of the Grupelli Granite ($1.82\text{--}2.26 \times 10^{-4}$) in conjunction with the lack of pronounced HFSE enrichments preclude A-type affinities (Whalen *et al.*, 1987). The pronounced negative Nb, Ta, Sr and P, with smaller

negative Ba, U, Ti, U anomalies and low HREE contents in the UCC-normalized spidergram (Fig. 10A) are the most characteristic features of the Grupelli Granite. The HREE depletions indicate a probable retention of zircon and/or garnet in the source, likely with no amphibole in the residue. Similar HREE depletions have been found in other post-collisional high-K calc-alkaline leucogranites (e.g., Griffin *et al.*, 2000; He *et al.*, 2019), and have been attributed to garnet in the residue (He *et al.*, 2019). Plagioclase fractionation Grupelli Granite can account for the small negative Eu anomalies (e.g., Rollinson, 1993).

The observed enrichment in alkali elements (K, Rb) combined with the depletion in alkali earth elements (Ca, Ba, and especially Sr), the presence of biotitic schlieren, and the weakly peraluminous composition suggest that dehydration melting of a metapelitic source contributed to the magma source. However, the Rb contents of the Grupelli Granite (98.7–141.2 ppm) are too low to be consistent with muscovite dehydration melting (e.g., He *et al.*, 2019), and preclude a significant contribution of a metapelitic source. The combination of the pronounced negative Sr anomaly, the small negative Ba anomaly (Fig. 10), and the concomitant high Ba/Sr ratios (4.5–6.07) can be accounted for by fractionation of plagioclase, since Ba is much less compatible in plagioclase than Sr (e.g., Rollinson, 1993, Sylvester, 1998; Zhu *et al.*, 2009). The low P contents of the Grupelli Granite (0.01–0.05 wt.% P₂O₅) are consistent with the low P solubility in metaluminous and weakly peraluminous melts (Wolf and London, 1994). Finally, ilmenite fractionation can account for the negative Ti, Nb, and Ta anomalies (Fig. 10; Zhu *et al.*, 2009) and the supracrustal Nb/Ta ratios of 25–40 may be attributed to rutile fractionation (e.g., Schmidt *et al.*, 2004).

5.2 Tectonic environment and origin

Diverse geotectonic diagrams indicate a post-orogenic tectonic environment for Grupelli Granite (Fig. 12), corroborating the observed field characteristics, such as the alignment along the main regional shear zones and the relatively undeformed nature of the granite. Associations of highly fractionated high-K calc-alkaline felsic I-type granites (e.g., the Grupelli Granite) and alkaline granites formed in post-collisional environments are found world-wide, and are typically associated with diffused extension and/or shear zones (e.g., Sylvester, 1989; Griffin *et al.*, 2000; He *et al.*, 2019). Such post-collisional granites show affinities with within-plate anorogenic

alkaline granites alongside characteristics of volcanic arc and syn-collisional granites (Sylvester, 1989). Contributions from both arc and syn-collisional sources likely have been involved in the generation of such calc-alkaline granites in post-collisional settings (Pearce *et al.*, 1984; Griffin *et al.*, 2000). The spidergram signature of the Grupelli Granite is characterized by negative anomalies of Nb, Ta, Sr, P, and Ti (Fig. 11A), and is indeed consistent with reworking of sources formed in active margin setting (e.g., Pearce, 1982; Pearce *et al.*, 1990; Hawkesworth *et al.*, 1993). It seems likely that the Grupelli Granite reworked the deeper portions of the surrounding Pinheiro Machado Complex, which is characterized by calc-alkaline compositions consistent with a magmatic arc terrane (Philipp, 1990; Frantz and Nardi, 1992; Philipp *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2018; Cruz, 2019).

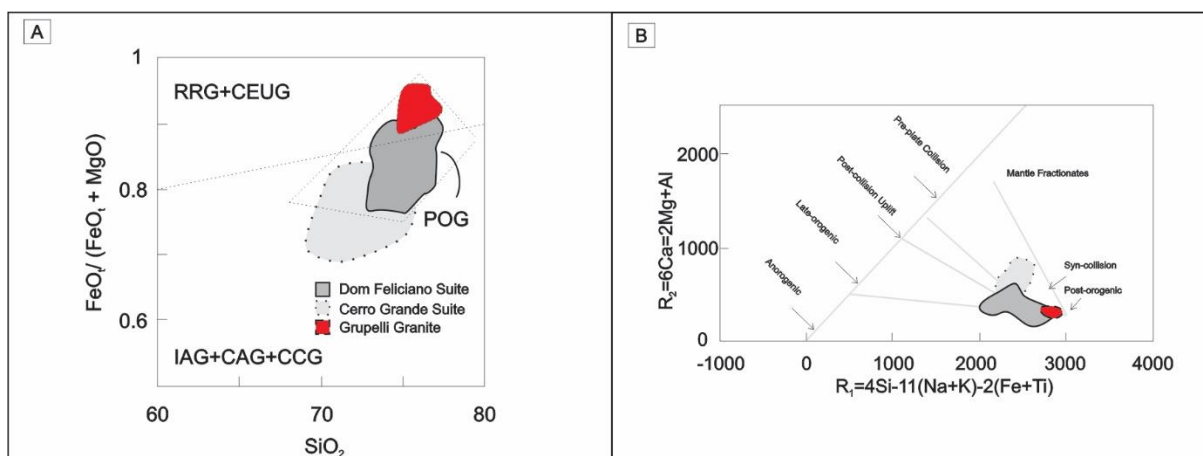


Figura 13. A) Maniar and Piccoli (1989) diagram; B) SiO₂ vs A/CNK diagram, White *et al.* (1986). Geochemical data for the granitic suites in the Pelotas Batholith taken from Takehara and Laux (2019), Cruz (2019) and Philipp and Machado (2005).

5.3 Comparison with the Pelotas Batholith magmatism

The intrusion of the relatively undeformed Grupelli Granite within the deformed granitoids of the Pinheiro Machado Complex, the alignment along a regionally pervasive NE–SW structure, combined with the consistent petrographic and geochemical characteristics (Fig. 10 A,B), indicate a close affinity with the post-collisional Dom Feliciano magmatism. The Dom Feliciano Suite was recently redefined in two suites, the monzogranitic Cerro Grande (CGS) and the syenogranitic Dom Feliciano (DFS) (Takehara and Laux, 2019). Despite having a monzogranitic composition such as CGS, the Grupelli Granite is geochemically distinct from this suite, evidenced by the high K₂O and the depletion in several major and trace elements and HREE, as shown in Figures 8, 9, and 10. The geochemical composition in Grupelli

Granite roughly parallels the trace elements and rare earth elements pattern of the CGS and DFS (Fig. 10.A,B), but is distinguished by the HREE depletion and the incipient Eu anomaly.

Geochronological data constraining the timing of the CGS and DFS are currently scarce. The Arroio Moinho Granite is considered part of the CGS by Takehara and Laux (2019) and gave an age of 595 ± 1 Ma (U-Pb zircon TIMS; Babinski *et al.*, 1997). Although the DFS is volumetrically important within the Pelotas Batholith, only two U-Pb zircon ages are available: one age of 600 ± 3 Ma (SHRIMP; Koester *et al.*, 2001) and another age of 600 ± 9 Ma (TIMS; Philipp *et al.*, 2016). The geochemical data of the Grupelli Granite and the new crystallization age of 578.0 ± 3.9 Ma provided in this work clearly indicate that the Grupelli Granite marks a new post-orogenic pulse in the Pelotas Batholith, placing new constraints on the cessation of felsic magmatism within the giant Pelotas Batholith.

6. Conclusion

The Grupelli Granite intrudes the Pinheiro Machado Complex of the Pelotas Batholith in the Neoproterozoic Dom Feliciano Belt. This homogeneous and relatively undeformed granite crops out as a series of NE–SW elongated ellipses aligned along the main regional shear and fracture zones in an area of 2.5 km². The Grupelli Granite is a white to light gray monzogranite that is widely used as an ornamental rock, and consists essentially of quartz, K-feldspar, plagioclase, and biotite. Geochemically, the Grupelli Granite is characterized by a siliceous high-K calc-alkaline and weakly peraluminous composition, with pronounced depletions in alkali earth elements (especially Sr) and Nb-Ta, a depletion in HREE, and small negative Eu anomalies. The geochemical characteristics are consistent with post-collisional type-I granites that rework the calc-alkaline rocks in the Pinheiro Machado Complex, with a potential contribution of a metapelitic source. Our new U-Pb zircon SHRIMP age of 578.0 ± 3.9 Ma is interpreted as the crystallization age of Grupelli Granite. Therefore, the emplacement of Grupelli Granite may be related to a regional extensional phase that reactivates the pre-existing shear zones in a post-collisional setting. The combined geochemical and geochronological data set the Grupelli Granite apart from the ~600 Ma Dom Feliciano and Cerro Grande suites. The discovery of a younger geochemically

distinct magmatic pulse in the Pelotas Batholith places new constraints on the cessation of the felsic post-collisional magmatism in the Dom Feliciano Belt.

Acknowledgements

This research was supported by the following grant: CNPq/PQ-2 (processo 307378/2017-9).

References

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito-Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Reviews* 17, 1-29. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9)
- Babinski, M. Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A., Silva, L.C., 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the neoproterozoic granitic-gneissic Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 10 (3), 263-274. doi: 10.1016/S0895-9811(97)00021-7
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985. Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. *Chemical Geology* 48, 43-55. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90034-8](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(85)90034-8)
- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundil, R., Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S., Foudoulis, C., 2004. Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology* 205, 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>
- Barbosa, L.D.O., Koester, E., Gastal, M. do C.P., 2018. Rochas intrusivas básicas no sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS: petrografia e geoquímica das associações I e II. *Geol. USP. Série Científica* 18, 149–170. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-125442>
- Boynton, W.V., 1983. Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, 63-114.

- Chemale Jr., F., Babinski, M., 1995. U-Pb Zircon Dating of Deformational events from neoproterozoic rocks in eastern Brazil. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5. Gramado. Boletim de Resumos Expandidos, Porto Alegre, CPGq/CPGEO-UFRGS, p.377-378.
- Chemale Jr., F., 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-Riograndense. In: Holz, M; De Ros, L. F. (Ed.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-CIGO, p.13-52.
- Costa, A.F.U., Fernandes, L.A.D., 1997. Estruturação das associações petrotectônicas do escudo sul-rio-grandense: caracterização geofísica através da magnetometria, gravimetria e gamaespectrometria. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 5, Rio de Janeiro. Abstracts. Rio de Janeiro: SBGf.
- Cruz, R., 2019. Relatório Final Projeto Sudeste do Rio Grande do sul: escalas 1:250.000 e 1:100,000; estado do Rio Grande do Sul, CPRM, 173 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals, 2nd ed., Longman, London, 696pp.
- Fernandes, L.A.D., Tomassi, A., Porcher, C.C., Koester, E., Kraemer, G., Scherer, C.M.S., Menegat, R., 1992. Granitóides Brasileiros Precoces do Cinturão Dom Feliciano: caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. Pesquisas 19 (2), 195- 215.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E., 1995a. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Riograndense: Parte I - urna contribuição a partir do registro geológico, Revista Brasileira de Geociências 25(4), 351-374.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E., 1995b. Evolução Tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo sul-riograndense: Parte II - urna contribuição a partir das assinaturas geofísicas. Revista Brasileira de Geociências 25(4), 375-384.
- Fragoso-César, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr., R., Faccini, U.F., 1986. O Batólito de Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34: 1986, Goiânia. Anais, Goiânia: SBG 3, 1322-1343.

- Fragoso-César, A.R.S., 1991. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 362 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Frantz, J.C., Nardi, L.V.S., 1992. Litoquímica e evolução de Granitóides Cálcico-Alcalinos da região leste do Escudo Sul-riograndense. *Pesquisas* 19 (1), 13-25.
- Griffin, T.J., Page, R.W., Sheppard, S., Tyler, I.M., 2000. Tectonic implications of Palaeoproterozoic post-collisional, high-K felsic igneous rocks from the Kimberley region of northwestern Australia. *Precambrian Research* 101, 1–23. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(99\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(99)00084-4)
- Hartmann, L.A., Chemale Jr, F., Philipp, R.P., 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. In: Ianuzzi, R.; Frantz, J.C. (Ed.). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências, contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 97-123.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F., 2016. Integrated evaluation of the geology, aerogamaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88, 75–92. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140495>
- Hawkesworth, C.J., Gallagher, K., Hergt, J.M., Mcdermott, F., 1993. Mantle slab contributions in arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 21, 175-204. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.21.050193.001135>
- He, X., Tan, S., Zhou, J., Liu, Z., Zhao, Z., Yang, S., Zhang, Y., 2019. Identifying the leucogranites in the Ailaoshan-Red River shear zone: Constraints on the timing of the southeastward expansion of the Tibetan Plateau. *Geoscience Frontiers* (in press) <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.07.008>
- Janoušek, V., Farrow, C.M. Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47, 1255-1259. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl013>
- Koester, E., Soliani Jr., E., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., Santos, J.O.S., Oliveira, L.D., 2001. SHRIMP U-Pb age for the emplacement of the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre suture, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 91-99.
- Ludwig, K.R., 2008. Isoplot 3.70, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, Geochronology Center, Special Publication 4, 76p.

- Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101 (5), 635–643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0635:TDOG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0635:TDOG>2.3.CO;2)
- Nardi, L.V.S., Bitencourt, M.F., 2007. Magmatismo granítico e evolução crustal do sul do Brasil. 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Eds. Iannuzzi, R. and Frantz, J.C.. Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, Porto Alegre, 125-141.
- Oliveira, D.S., Sommer, C.A., Philipp, R.P., Lima, E.F., Basei, M.A.S., 2015. Post-collisional subvolcanic rhyolites associated to the Neoproterozoic Batholith Pelotas, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 63, 84-100. Doi: 10.1016/j.jsames.2015.05.009
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., 2011. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences* 100, 201–220. <https://doi.org/10.1007/s00531-010-0580-8>
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Berlin, Springer, 353 p.
- Pearce, J.A., 1982: Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks* (R.S. Thorpe, ed.). John Wiley & Sons, Chichester, U.K. p. 525-548.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in east-ern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44, 189–229. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90018-B](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90018-B)
- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63–81. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00384745>
- Philipp, R.P., 1990. Geologia e petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS. 1990. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Philipp, R.P. 1998. A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. São Paulo. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em

- Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 269p.
- Philipp, R.P., Machado, R., 2001. Estratigrafia e significado tectônico das suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (3), 257-266.
- Philipp, R.P., Machado, R., 2005. The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 19 (4), 461-478. 10.1016/j.jsames.2005.06.010
- Philipp, R.P., Mesquita, M.J.M., Gomes, M.E.B., Almeida, D.D.P., 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. *Pesquisas* 20 (1), 3-13.
- Philipp R.P., Machado R., Nardi L.V.S., Lafon J.M., 2002. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão de geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências* 32 (2) 277-290.
- Philipp, R.P., Machado, R., Chemale Jr., F., 2003. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. *Geologia USP, Série Científica* 3, 71-84.
- Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Chemale Jr, F., 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology* 46, 83-104.
<https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150016>
- Ramgrab, G.E., Wildner, W., Camozzato, E., 1997. (Org.) Porto Alegre, folha SH.22-Y-B: estado do Rio Grande do Sul. Brasília: CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.
- Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L., 2018. Insights on the Evolution of the Arroio Grande ophiolite (Dom Feliciano belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences* 86, 38–53. doi: 10.1016/j.jsames.2018.06.004
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman, London, 352p.
- Saalman, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L. A., Remus, M. V. D., Laufer, A., 2010. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de La Plata craton, the

- prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences* 100, 355-378. doi: 10.1007/s00531-010-0564-8
- Sato, K., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., Siga Jr., O., Onoe, A.T., de Souza, M.D., 2014. Microsonda Iônica de Alta Resolução e de Alta Sensibilidade (SHRIMP IIe/MC) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Brasil: método analítico e primeiros resultados. *Revista do Instituto de Geociências – USP* 14 (3), 3–18.
- Schmidt, M. W., Dardon, A., Chazot, G., Vannucci, R., 2004. The dependence of Nb and Ta rutile–melt partitioning on melt composition and Nb/Ta fractionation during subduction processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 226 (3-4), 415–432. doi:10.1016/j.epsl.2004.08.010
- Silva, L. C., Hartmann, L. A., McNaughton, N. J., Fletcher, I. R., 1997. SHRIMP U/Pb zircon dating of Neoproterozoic granitic magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. *International Geology Review* 41 (6), 531-551. <https://doi.org/10.1080/00206819909465156>
- Steiger, R.H., Jäger, E., 1977. Sub commission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36 (3), 359-362. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90060-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90060-7)
- Stern, R. A., 1997. The GSC Sensitive High-Resolution Ion Microprobe (SHRIMP): analytical techniques of zircon U-Th-Pb age determinations and performance evaluation. In: *Radiogenic Age and Isotopic Studies: report 10; Geological Survey of Canada, Current Research 1997-F*, 1-31.
- Streckeisen, A., 1973. Plutonic rocks: classification, nomenclature recommended by the ISGS (Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks). *Geotimes*, Alexandria 18 (10), 26-30.
- Sylvester, P.J., 1989, Post-collisional alkaline granites: *Journal of Geology* 97, 261–280. doi:10.1086/629302
- Sylvester, P.J., 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos* 45, 29–44. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00024-3)
- Takehara, L., Laux, J.H., 2019. Relatório Final: Área de Relevante Interesse Mineral Integração geológica-geofísica e recursos minerais Batólito Pelotas e Terreno Tijucas; Escala 1:500,000, estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 186 p.

- Tambara, G.B., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., Vieira, D.T., Lenz, C., Fernandes, L.A.D., 2019. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcálico médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências* 46 (2), 1-21.
- Tessari, R.I., Picada, R.S., 1966. Geologia da quadrícula de Encruzilhada do Sul. *Boletim DFFPM, Rio de Janeiro* 124, 1-147.
- Villaseca, C., Barbero, L., Rogers, G., 1998. Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. *Lithos*, 43, 55-79. doi: 10.1016/S0024-4937(98)00002-4.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95, 407–419. <http://dx.doi.org/10.1007/BF0040220>
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., 1994. O Diorito Capim Branco. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., 1994, Balneário Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos. Balneário Camboriú: SBG*, 61-62.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C., Iglesias, C.M.F., 2008. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750,000. CPRM, Porto Alegre.
- Williams, I.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* 7, 1-35.
- White, A.J.R., Clemens, J.D., Holloway, J.R., Silver, L.T., Chappell, B.W., 1986. S-type granites and their probable absence in southwestern North America. *Geology* 14, 115-118. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14<115:SGATPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14<115:SGATPA>2.0.CO;2)
- Wolf, M. B., London, D., 1994. Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanism. *Geochimica Cosmochimica Acta* 58, 4127-4145. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90269-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90269-0)
- Zhu, D.C., Mo, X.X., Wang, L.Q., Zhao, Z.D., Niu, Y., Yang, C.Y., Zhou, Y.H., 2009. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Zayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes. *Science in China Series D: Earth Sciences* 52(9), 1223-1239. doi: 10.1007/s11430-009-0132-x

PARTE III - Anexos

Carta de Submissão do artigo**Journal of South American Earth Sciences****Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite:
new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas
Batholith, Dom Feliciano Belt**

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Keywords:	Dom Feliciano; Pelotas Batholith; Post-collisional; Granite; U-Pb zircon age
Corresponding Author:	viter pinto Universidade Federal de Pelotas Pelotas, Brazil
First Author:	Wesllen Moraes Völz
Order of Authors:	Wesllen Moraes Völz
	Edinei Koester, PhD
	viter magalhães pinto
	David Debruyne, PhD
	Emanuëlle Soares Cardozo
	Daniel Triboli Vieira, PhD
	Laércio Dal Olmo- Barbosa
	Vivianne Andrade Bastos

Abstract:	<p>The Pelotas Batholith forms the eastern portion of the neoproterozoic Dom Feliciano Belt and records the final stages of the neoproterozoic Brazilian–Pan-African orogeny. This granite-dominated region experienced a complex tectonomagmatic evolution, yet constraints on the nature and especially the timing of the different magmatic stages are still scarce. This study provides new geochemical and geochronological constraints on the Grupelli Granite, a post-deformational pluton located in the rural district of Quilombo, Pelotas, RS. This granite crops out as a series of small solid bodies along a NE–SW oriented fault zone, and intrudes the Pinheiro Machado Complex that dominates the central and eastern Pelotas Batholith. The studied granite is widely used as an ornamental rock due to its extremely leucocratic appearance. The Grupelli Granite is homogeneous, relatively undeformed, inequigranular and typically medium to coarse-grained (1–5 mm), with porphyritic and hypidiomorphic textures. The modal composition is monzogranitic with 40–50% quartz, 19–25% K-feldspar, and 15% oligoclase, up to 10% biotite, 2–3% magnetite and ilmenite, and accessory chlorite, zircon, apatite, chalcopyrite, and pyrite. Geochemically, the Grupelli Granite is characterized by high SiO₂ (71–75 wt.%) and K₂O (5.08–5.65 wt.%) contents combined with low FeO_t (1.71–1.93 wt.%), MgO and TiO₂ (< 0.2 wt.%) levels. This highly evolved granite has a K-rich calc-alkaline character, is weakly peraluminous, with an I-type affinity. The combined data are consistent with formation in a postorogenic tectonic environment by reworking of mainly calc-alkaline sources, with a potential minor contribution of a metapelitic source. The low Sr-contents and concomitant high Ba/Sr ratios likely reflect plagioclase fractionation, while ilmenite fractionation may account for the pronounced negative Nb, Ta, and Ti anomalies. Although the rare earth element (REE) and other trace element patterns tend to parallel those in the ca. 600 Ma Dom Feliciano Suite and the Cerro Grande Suite magmatism, the Grupelli Granite presents significantly lower heavy REE (HREE) concentrations and a smaller negative Eu anomaly. The HREE depletion can be attributed to retention of zircon and/or garnet in the source. These geochemical characteristics distinguish it from the earlier magmatic pulses in the Pelotas Batholith. The Grupelli Granite was dated at 578.0 ± 3.9 Ma (U-Pb zircon SHRIMP), and is thus younger than the ca. 600 Ma Dom Feliciano and Cerro Grande suites. This crystallization age places new constraints on the felsic post-collisional magmatism during the final stages of the evolution of Pelotas Batholith.</p>
Suggested Reviewers:	Luana Moreira Florisbal, PhD

	<p>Prof, Universidade Federal de Santa Catarina luana.florisbal@ufsc.br Expert in elemental and isotopic geochemistry, U-Pb geochronology of mafic and felsic rocks, syntectonic magmatism, post-collisional magmatism, shear zones, magma rheology and granite genesis.</p>
	<p>Cristine Lenz, PhD Prof, Universidade Federal de Sergipe crislenz@yahoo.com.br Expert in geotectonics, geochronology, and geochemistry (amongst other areas)</p>
	<p>Marly Babinski, PhD Prof, Universidade de Sao Paulo babinski@usp.br Expert in geochronology and Isotopic geology applied to studies of crustal evolution (amongst other areas).</p>
	<p>Pedro Oyhantçabal, PhD Prof., Universidad de la Republica Uruguay oyhantca@fcien.edu.uy Expert in granitic magmatism, tectonics, geochemistry, geochronology, and the geology of the Dom Feliciano Belt and adjacent areas.</p>
Opposed Reviewers:	

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Dear Editor,

The present manuscript focuses on the Neoproterozoic evolution of the Pelotas Batholith in the eastern part of the Dom Feliciano Belt that formed during the Pan-African-Brazilian Orogeny. The proposed subdivisions of the Pelotas Batholith into various granitic suites are in constant flux, mainly because the available geochronological data are presently insufficient to constrain the complex evolution of this granite-dominated region. This paper provides new geochronological and geochemical data on the Grupelli Granite, a highly evolved post-collisional high-K calc-alkaline granite in the Pelotas Batholith. Our geochemical data shows that this post-collisional granite is formed mainly by reworking of calc-alkaline sources, similar to those of the calc-alkaline rocks in the Pinheiro Machado Complex that hosts the Grupelli Granite. Such highly evolved post-collisional granites are frequently followed by alkaline (granitic) magmatism, which has been recognized in the Pelotas Batholith, but no ages have been published.

Our U-Pb zircon SHRIMP age of 578 ± 4 Ma is currently the youngest age for any felsic pluton in the Pelotas Batholith. This pluton is clearly younger than the post-collisional ~600 Ma Dom Feliciano and Cerro Grande Suites in the Pelotas Batholith, extending the duration of felsic magmatism in this giant granite province. Our findings thus place new constraints on the nature and timing of magmatism during the final stages of the Pan-African-Brazilian Orogeny.

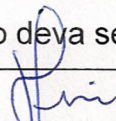
Best regards,

Wesllen, Edinei, Viter, David, Emanuëlle, Daniel, Laércio, Viviane.

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO MONZOGANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO PELOTAS”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Wesllen Moraes Völz
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Luiz Henrique Ronchi
Data: 06/03/2020
Conceito: A
PARECER:
<p>A apresentação do trabalho é muito boa com apenas pequenos e poucos erros de digitação. A dissertação está muito bem estruturada de acordo com os padrões científicos consagrados em geologia e em torno de um artigo científico submetido a revista internacional de qualidade. Foi organizada em duas partes, conforme a praxe do PPGGEO/UFRGS, a primeira fornece um breve enquadramento geológico que se resume ao essencial da complexa geologia do escudo Sul-Rio-Grandense, mas que remete o leitor à uma extensa bibliografia sobre o tema. Destaca-se positivamente a figura 2, mapa geológico geral da região de Monte Bonito, onde estão localizadas as amostras analisadas. Não fica claro se essas amostras são as mesmas que possuem lâminas delgadas, o que também não está explícito na figura 6 do artigo científico. Algumas feições geográficas adicionais como drenagem e/ou estradas poderiam facilitar a leitura e compreensão. Nesta primeira parte são considerados como objetivos aspectos como mapeamento geológico, petrografia e geoquímica. Destaca-se a preocupação em correlacionar o granito Grupelli com o Batólito Pelotas inserindo-o na Suíte Dom Feliciano, apesar da idade mais jovem de $578,0 \pm 3,9$ Ma (U-Pb zircon SHRIMP) apresentada no artigo. Seria interessante ter inserido nessa primeira parte informações que, por sua exigência de objetividade, não são normalmente apresentadas em artigos científicos, mas que foram importantes na realização do trabalho. Desta maneira haveria um registro de todas as atividades como dificuldades normais do mapeamento, critérios de seleção de amostras, descrições petrográficas e</p>

possíveis variações mineralógicas e/ou faciológicas detectadas no granito Grupelli. A segunda parte, o artigo científico, está bem redigido em inglês não apresentando dificuldades que possam comprometer a compreensão do trabalho. Tenho dúvidas sobre a pertinência no título da expressão “cessation of felsic magmatism”, me parecendo mais adequado “waning of felsic magmatism” ou “final stage of felsic magmatism” ou “closing stages”. O resumo (*abstract*) é completo e corretamente redigido. Os objetivos do artigo são mais bem apresentados e mais abrangentes do que sugerido na primeira parte, enfatizando a caracterização geológica, mineralógica, geoquímica e geocronológica do granito Grupelli e buscando sua individualização petrológica e petrogenética no contexto do magmatismo do Batólito Pelotas. São objetivos ambiciosos para um mestrado, mas cientificamente pertinentes, refletindo a alta qualificação dos orientadores. A geologia regional (*geologic setting*) está adequadamente resumida permitindo uma compreensão adequada ao leitor sem conhecimento especializado na região. Porém o item 2.1, supostamente de Geologia Local, continua tratando o mapa da figura 4 em termos bibliográficos de Geologia Regional. O item 3 descreve apropriadamente os métodos de trabalho e poderia ser completado com uma informação sobre os critérios de seleção das amostras. Pelo mapa da figura 4 as amostras estão localizadas principalmente na porção norte do granito, existe alguma razão específica para isso? As descrições petrográficas e geoquímicas estão bem feitas e o número de amostras, considerando a homogeneidade do granito, parece apropriado. Os resultados geocronológicos constituem a informação mais relevante por estar bem enquadrada em informações de campo e laboratório. As consequências e significado do conjunto de informações obtido são discutidas e bem argumentadas no item 5 conduzindo a conclusões coerentes que constituem uma contribuição original e importante para a geologia regional. É meu parecer que a dissertação deva ser aprovada com conceito A.

Assinatura:



Data: 06/03/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO PELOTAS"

Área de Concentração: Geoquímica

Autor: Wesllen Moraes Völz

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinadora: Profa. Dra. Cristiane Heredia Gomes

Data: 27/03/2020

Conceito: A (EXCELENTE)

PARECER:

A DISSERTAÇÃO DE MESTRADO REPRESENTA EXCELENTE CONTRIBUIÇÃO PARA O ENTENDIMENTO DA GEOLOGIA DA ÁREA TRABALHADA, EM ESPECIAL, PARA A CARACTERIZAÇÃO DO MONZOGRANITO GRUPELLI. É UM TRABALHO DE DETALHE, ONDE A PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA, E GEOCRONOLOGIA REPRESENTAM UM DOCUMENTO DE VALOR INESTIMÁVEL QUE ENRIQUECE A DISSERTAÇÃO. OS DADOS PRODUZIDOS NESTE TRABALHO IRÃO SERVIR DE BALIZADORES PARA OS QUE DESEJAREM TRABALHAR NA ÁREA E PARA OS DEMAIS INTERESSADOS EM GRANITOÍDES. AINDA DENOTA GRANDE ENVOLVIMENTO DO ALUNO NO CUMPRIMENTO DAS ETAPAS QUE COMPÕEM UMA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

CRÉDITO QUE O ALUNO DESENVOLVEU UM TRABALHO DE GRANDES QUALIDADE E AVANÇOU BASTANTE NO ENTENDIMENTO DE GRANITOÍDES NA REGIÃO DE PELOTAS-RS. A DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA PELO ALUNO ESTÁ BEM ESCRITA, TEM FLUIDEZ, TEM CREDÊNCIA DE IDEIAS E DE CONTEÚDOS CIENTÍFICOS.

NESTE SENTIDO, PROCUREI PARA PARABENIZAR O ALUNO, SEU ORIENTAR E SEU CO-ORIENTADOR, PELA EXCENTE CONTRIBUIÇÃO E AGRADEÇO A OPORTUNIDADE E O PRIVILÉGIO DE TER PARTICIPADO DESTA AVALIAÇÃO.

Cristiane Gomes

Cristiane Heredia Gomes

Professora Adjunta

SIAPE 20492963

UNIPAMPA-Caçapava do Sul

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO PELOTAS”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Wesllen Moraes Völz
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer
Data: 13/03/2020
Conceito: A
PARECER:
<p>A dissertação de mestrado do Sr. Wesllen Moraes Völz, intitulada “PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO MONZOGRANITO GRUPELLI, SUDESTE DO BATÓLITO PELOTAS” tem como objetivos principais o estudo petrológico e geocronológico do Granito Grupelli e sua correlação com o magmatismo granítico tardio do Batólito Pelotas.</p> <p>A dissertação está estruturada seguindo as normas do PPGGEO desta Universidade, no qual um artigo foi submetido a periódico científico indexado e corresponde ao capítulo principal do trabalho.</p> <p>A obra é complementada por uma parte introdutória, constituída de Introdução, Geologia Regional, Geologia Local e Correlação com o Batólito Pelotas.</p> <p>Em termos formais, a dissertação está bem organizada, apresenta uma redação correta e todas as figuras e tabelas são pertinentes e editadas com uma resolução adequada. Os capítulos introdutórios são claros e bem desenvolvidos e apresentam as informações básicas de uma dissertação de mestrado. Isso permite uma leitura dinâmica e preparatória para a compreensão o restante da obra</p> <p>A Introdução apresenta a temática a ser desenvolvida na dissertação, bem como os objetivos propostos e a organização do trabalho. Embora os objetivos estejam inseridos no texto introdutório, eles ficaram difusos e sem destaque. Como todo trabalho formal de conclusão de uma pesquisa, me parece que o item OBJETIVOS, mereceria um destaque especial, na forma de um subcapítulo da Introdução. Neste item deveriam estar os objetivos gerais, de forma clara e sintética, seguidos dos objetivos específicos. Da mesma forma, sente-se a falta na parte introdutória de MATERIAIS E MÉTODOS. Embora eles estejam no artigo submetido, seria interessante dar um maior desenvolvimento e destaque no corpo da dissertação.</p> <p>O capítulo de Geologia Regional apresenta o contexto tectônico e geológico regional, onde está inserido a área foco da pesquisa. A Geologia Local, de certo modo, também poderia ser considerada como regional, devido a abrangência das unidades geológicas apresentadas. Em termos de geologia local, propriamente dita, poucos detalhes são apresentados. Uma pequena observação ou imprecisão foi constatado em relação a área do granito observável no mapa (em torno de 6 km²) e o escrito nos resumos e artigo (2,5 km²). Mas, de um modo geral estes itens foram redigidos de maneira clara e sintética, apresentando uma evolução do</p>

conhecimento sobre as temáticas abordadas.

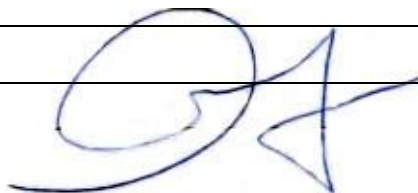
O artigo científico *“Geochemistry and U-Pb (SHRIMP) geochronology of Grupelli Granite: new constraints on the cessation of felsic magmatism in the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt”* foi submetido a revista *“Journal of South American Earth Sciences”* e constitui o capítulo principal da dissertação. Tem a autoria do mestrando, com a participação de outros membros do grupo de pesquisa, destacando-se os orientadores. O artigo tem como objetivos os próprios da dissertação e traz um bom volume de dados de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos. Os resultados e interpretações são corretos e deixam pouquíssima margem para imprecisões e discussões, demonstrando que todos os objetivos propostos foram atingidos.

As referências bibliográficas são pertinentes, atualizadas e apresentadas com formatação correta.

Em síntese, pode-se constatar através desta obra científica que o Sr. Wesllen Moraes Völz atingiu plenamente todos os objetivos propostos para uma dissertação de mestrado que é o de utilizar diferentes técnicas e métodos na resolução de problemas geológicos.

Face a esta análise, sou de parecer positivo e considero a dissertação em análise plenamente aprovada.

Assinatura:



Data: 13/03/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: