



**Daniel Triboli Vieira**

**PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE  
PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA  
ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO  
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Porto Alegre, 2015

**Daniel Triboli Vieira**

**PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE  
PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA  
ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO  
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

DANIEL TRIBOLI VIEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luana Moreira Florisbal

Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Porto Alegre, 2015

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

### **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vieira, Daniel Triboli

Petrologia do Granito Chasqueiro, um estudo integrado de petrografia, análise estrutural, geoquímica e geologia isotópica (U-Pb, Lu-Hf) na região de Arroio Grande, SE do Escudo Sul-Rio-Grandense . / Daniel Triboli Vieira. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [104 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Edinei Koester

1. Petrologia 2. Granito Chasqueiro 3. U-Pb 4. Lu-Hf I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

---

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

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

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

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação (Mestrado) PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE, elaborado por DANIEL TRIBOLI VIEIRA como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências. Geologia.

**Comissão Examinadora:**

Prof. Dr.

---

Nome do Professor (a)

Prof. Dr.

---

Nome do Professor (a)

Prof. Dr.

---

Nome do Professor (a)

*Para Ari Vieira*  
*Hilda Vieira*  
*Italo Triboli*  
*Herondina Triboli*  
*meus Avós.*

## **AGRADECIMENTOS**

Meus mais sinceros agradecimentos ao meu orientador Edinei Koester por acreditar no meu trabalho e me auxiliar na elaboração deste projeto, ao grupo de professores do curso de Geologia que me ensinaram passo a passo essa ciência maravilhosa e aos colegas do grupo de estudos de Arroio Grande (CGG) que foram a minha família nos longos dias de campo. Aos meus pais, Roberto e Lara, meu irmão Rafael e minha companheira Simara obrigado por todo amor, carinho, apoio e dedicação prestados ao longo desta jornada.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo privilégio de cursar e concluir este curso e ao Instituto de Geociências e ao CNPq pelo apoio financeiro sem o qual este trabalho não seria possível.

Os longos períodos de tempo podem  
realizar aquilo que nós, com a nossa visão  
limitada do tempo, consideramos  
impossível.

***Charles Lyell [1797-1875]***

## RESUMO

O Granito Chasqueiro aflora como campos de matacões e lajeados que em planta formam um corpo alongado segundo N50° E com área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> localizada no sul da porção oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense. Constitui-se de monzo a sienogranito, leucocrático de cor cinza-claro e textura porfirítica com megacristais de K-feldspatos em matriz equigranular, hipidiomórfica grossa, composta por quartzo, K-feldspato, plagioclásio, biotita, hornblenda, opacos (magnetita, hematita) e acessórios (zircão, titanita, apatita e alanita). Os megacristais atingem proporções modais entre 30 a 60 % e variam entre 4 e 8 cm que junto com os minerais máficos da matriz evidenciam uma foliação de fluxo magmático subvertical bem desenvolvida que transaciona lateralmente para uma foliação tectônica nos bordos do granito próximo as zonas de cisalhamento onde ocorrem extensas faixas marcadas por intensa deformação dúctil e geração de protomilonitos. O granito apresenta enclaves máficos microgranulares de composição diorítica apresentando diferentes formas e tamanhos. Geoquimicamente é caracterizado por um magmatismo subalcalino do tipo cálcio-alcálico alto potássio, metaluminoso a levemente peraluminoso, com assinatura característica de granitos gerados em ambiente pós-colisional. Processos de fusão crustal, mistura de magmas e cristalização fracionada são sugeridos para a sua evolução. Análises geocronológicas obtidas pelo método U-Pb (LA-ICPMS) e geoquímica isotópica de Lu-Hf (LA-ICPMS) em zircões do granito indicaram, respectivamente, idade de cristalização 574 ± 3 Ma e valores negativos para ε<sub>Hf</sub> sugerindo assim uma relação do granito com o evento deformacional D2 e fontes magmáticas predominantemente crustais com participação de componente mantélico subordinado.

**Palavras-chave:** Petrologia, Granito Chasqueiro, U-Pb, Lu-Hf, Escudo Sul-Rio-Grandense



## **ABSTRACT**

### **PETROLOGY OF CHASQUEIRO GRANITE, AN INTEGRATED STUDY WITH PETROGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS, GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC STUDIES (U-Pb, Lu-Hf) IN THE ARROIO GRANDE REGION, SOUTHEASTERN SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD**

Chaqueiro Granite emerges as boulders fields and slabs that in plant form an elongated body at N50° E with an area of approximately 400 km<sup>2</sup> located at the southernmost portion of the eastern Sul-Rio-Grandense Shield, RS. It consists of monzo the syenogranite, light gray and leucocratic porphyritic texture with megacrystals K-feldspar in a coarse equigranular hypidiomorphic matrix, composed of quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite, hornblende, opaque minerals and accessories. The modal megacrystals reach proportions between 30 and 60 % and range from 4 and 8 cm together with mafic minerals of the matrix showing a subvertical magmatic foliation and a tectonic foliation prominent in the borders marked by intense ductile deformation and protomylonite generation. Another important aspect of the Chaqueiro Granite is the presence of microgranular mafic enclaves of dioritic composition ubiquitous in the granite, having different shapes and sizes. Geochemically the granite is characterized as a slightly expanded acid sequence formed by a sub-alkaline magmatism of calc-alkaline type with high potassium, metaluminous to lightly peraluminous, with characteristic signature of granites generated in post-collisional tectonic setting. Geochronological analyzes obtained by the U-Pb method (LA-ICPMS) and isotope geochemistry of Lu-Hf (LA-ICPMS) in zircons presenting, respectively, crystallization age  $574 \pm 3$  Ma and negative  $\epsilon_{\text{Hf}}$  which suggest a granite relationship with deformational event D2 and supporting a magmatic crustal sources with subordinate mantle component.

**Keywords:** Petrology, Chaqueiro Granite, U-Pb, Lu-Hf, Sul-Rio-Grandense Shield

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Bt</b>	Biotita
<b>CDF</b>	Cinturão Don Feliciano
<b>ESGR</b>	Escudo Sul-Rio-Grandense
<b>GC</b>	Granito Chasqueiro
<b>GTF</b>	Granito Três Figueiras
<b>LN</b>	Luz natural
<b>Mag</b>	Magnetita
<b>Pl</b>	Plagioclásio
<b>Qtz</b>	Quartzo
<b>Tit</b>	Titanita
<b>Kf</b>	K-feldspato
<b>ZCAG</b>	Zona de Cisalhamento Arroio Grande
<b>ZCAY</b>	Zona de Cisalhamento Airosa Galvão

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1- Localização da área de estudo com a situação geográfica, vias de acessos a área de estudo (Fonte: *Google Maps* acessado em 07/03/2015). \_\_\_\_\_ 16**

**Figura 2- Mapa geológico simplificado 1:250.000 da área de estudo com a distribuição dos afloramentos descritos e coletas das amostras. \_\_\_\_\_ 25**

**Figura 3- imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão da amostra CH1 com localização das análises de U-Pb (círculos amarelos, *spot* 30  $\mu\text{m}$ ) e análises de Lu-Hf (quadrados vermelhos, *spot* 55  $\mu\text{m}$ ). \_\_ 29**

## SUMÁRIO

<b>1. CAPÍTULO I</b>	<b>14</b>
1.1. Introdução	14
1.2. Localização da área de estudo	15
1.3. Abordagem temática	16
1.4. Associações de magmas máficos e ácidos contemporâneas	18
1.5. Magmatismo neoproterozoico pós-colisional no sul do Brasil	20
<b>2. CAPÍTULO II</b>	<b>22</b>
2.1. Métodos analíticos	22
2.2. Revisão bibliográfica	22
2.3. Sensoriamento remoto	23
2.4. Mapeamento geológico e análise estrutural	23
2.5. Petrografia e análises de microestruturas	25
2.6. Litoquímica	26
2.7. Análises isotópicas U-Pb e Lu-Hf	27
<b>3. CAPÍTULO III</b>	<b>30</b>
3.1. Artigo submetido à revista <i>Brazilian Journal of Geology</i> .	30
<b>4. CAPÍTULO IV</b>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
4.1. Conclusões	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
<b>5. Referências</b>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO A presente dissertação, intitulada “PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE”. O Capítulo I é subdividido em: 1.1. Introdução, 1.2. Localização da área de estudo, 1.3. Tópicos referentes ao tema principal 1.4. Magmatismo neoproterozoico pós-colisional no sul do Brasil; No Capítulo II é apresentada a metodologia usada nesta dissertação sendo subdividido em 2.1. Métodos analíticos, 2.2. Revisão bibliográfica, 2.3. Sensoriamento remoto, 2.4. Mapeamento geológico e análise estrutural, 2.5. Petrografia e análise microestrutural, 2.6. Litoquímica, 2.7. Análises isotópicas U-Pb e Lu-Hf. No Capítulo III é apresentado o artigo científico, cujo manuscrito foi submetido à revista *Brazilian Journal of Geology* com o título “PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE”; No Capítulo IV são apresentadas as conclusões.

## 1. CAPÍTULO I

### 1.1. Introdução

No Rio Grande do Sul foram realizados diversos trabalhos de cunho petrográfico, geoquímico e isotópico para a caracterização de diversas ocorrências de rochas graníticas nas porções central e ocidental do Escudo Sul-Rio-Grandense. No entanto a porção oriental apesar de interessantes por apresentar registro de varias rochas magmáticas ácidas a básicas com alojamento de grande parte desses corpos condicionados por zonas de cisalhamento de caráter transcorrentes com *trends* NE- SW é pouco estudada sob esse tipo de caracterização geológica, tendo como principais referencias trabalhos de cunho regionais.

O Granito Chasqueiro alvo deste trabalho está situado na porção oriental do Cinturão Dom Feliciano (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997) área que corresponde em partes ao Batólito Pelotas, termo definido por Fragoso César *et al.* (1986) sendo caracterizado em trabalhos regionais, como um granito de composição monzo a sienogranítica, leucocrático de cor cinza-claro e textura porfirítica com megacristais de K-feldspatos em matriz equigranular, hipidiomórfica grossa e foliação milonítica nos bordos que aflora como proeminentes campos de matacões e extensos lajeados que em planta formam

um corpo alongado na direção 050-230 com área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> (Trainini, 1987; Philipp, 1990, 1991, 1998; Philipp *et al.*, 2002).

O objetivo deste estudo é gerar dados que embasem a discussão da origem, diversidade e o controle tectônico do magmatismo que originou o Granito Chasqueiro por meio de uma revisão e discussão com base em um estudo petrológico integrado. Para tal, foram obtidos novos dados geológicos, petrográficos, geoquímicos, isotópicos (Lu-Hf) e geocronológicos (U-Pb) para a investigação e proposição de um modelo de geração e evolução deste magmatismo, procurando entender a relação entre as fontes crustais e mantélicas, processos de diferenciação magmática e a influência da atividade tectônica em sua gênese.

## **1.2. Localização da área de estudo**

O Granito Chasqueiro aflora a noroeste do município de Arroio Grande/RS que fica a 365 km da capital Porto Alegre, com acesso principal pela estrada RS-602 junto a BR-116 conforme a Figura 1. As cartas topográficas do exército de escala 1:50.000 utilizadas nesse estudo foram as cartas SI.22-V-A-II-1 (Eerval), SI.22-V-A-II-2 (Arroio Grande), SI.22-V-A-II-3 (Presidente Barbosa), SI.22-V-A-II-4 (Várzea Alegre) e SI.22-V-A-III-1 (Matarazzo).

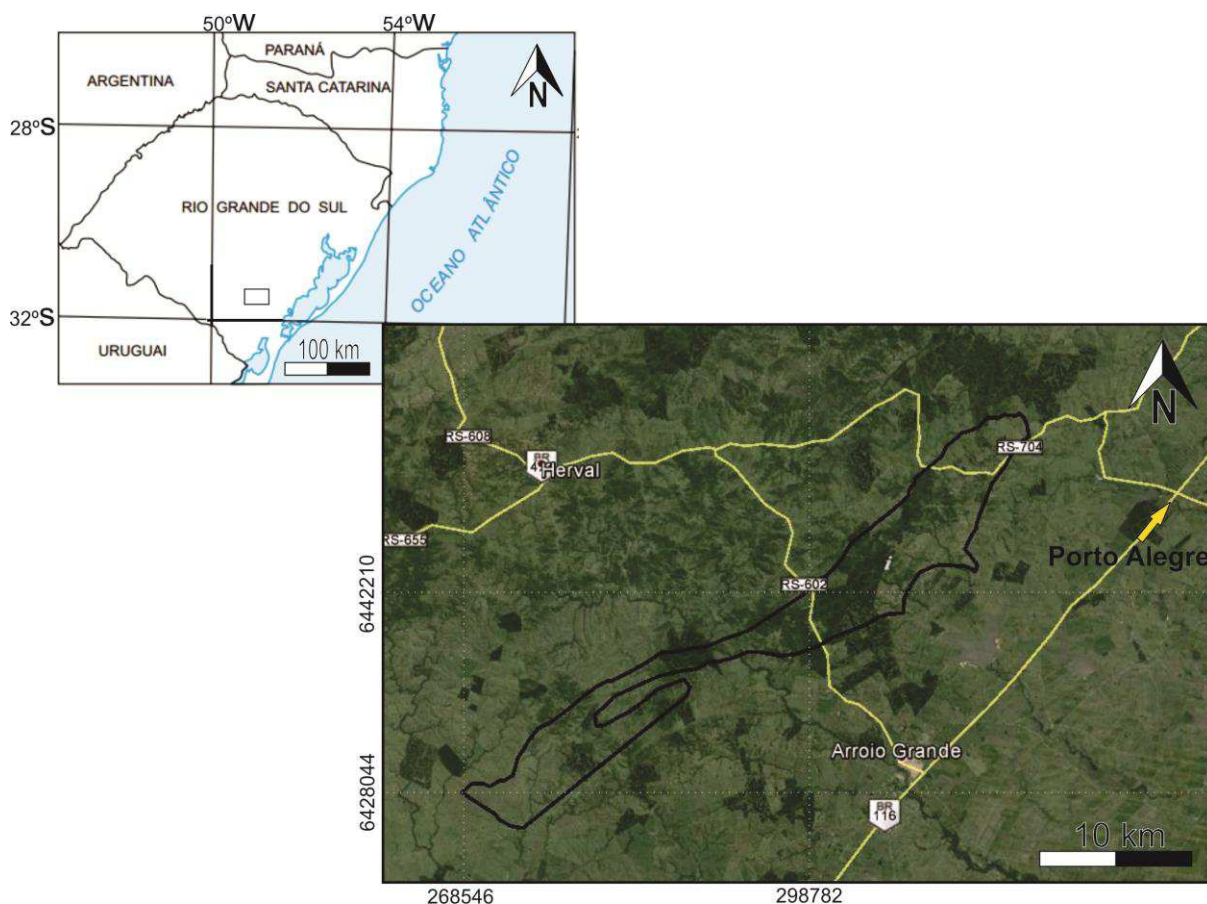


Figura 1- Localização da área de estudo com a situação geográfica, vias de acesso e indicação do corpo do Granito Chasqueiro como indicado (Fonte: *Google Maps* acessado em 07/03/2015).

### 1.3. Abordagem temática

As rochas graníticas são as mais abundantes na crosta continental e podem se originar a partir de fontes diversas, como manto, crosta, ou mistas, com contribuição em proporções variadas de crosta e manto (Barbarin, 1990; 1999, Pitcher, 1993; Pearce *et al.*, 1984; Frost *et al.*, 2001, Vigneresse, 2004). A ascensão dos granitos da crosta inferior e seu alojamento em níveis crustais mais rasos é o principal mecanismo de diferenciação da crosta continental (Bitencourt, 1996).



Durante a ascensão na litosfera, os magmas graníticos podem atravessar uma espessura significativa da crosta e por este motivo os seus produtos finais, os granitos, constituem uma ferramenta de grande potencial para a investigação indireta da constituição da própria crosta e das fontes das quais se originaram, cujos vestígios podem estar registrados em xenólitos aprisionados pelo magma durante sua ascensão ou nas assinaturas geoquímicas e isotópicas das rochas.

O magmatismo granítico e a orogênese estão frequentemente associados em tempo e espaço. Esta conexão ocorre em uma variedade de ambientes tectônicos como arcos de margem continental e de ilhas oceânicas, em zonas de colisão intercontinental, ou ainda em regiões afetadas por tectônica extensional, como riftes continentais e complexos de núcleo metamórfico (Pearce *et al.*, 1984; Barbarin, 1990, 1999; Pitcher, 1993).

Diversos autores propõem que o alojamento dos granitos pode ser considerado como controlado tectonicamente (sintectonicamente), se a trama deformacional dos granitos for consistente com o padrão de deformação regional, ou controlado pela pressão do magma se a trama for independente do padrão de deformação regional (pós-tectonicamente, Vigneresse, 1995). Desta forma ao se estabelecer as relações de alojamento dos granitos com as rochas encaixantes, juntamente com a obtenção da idade de cristalização destes corpos, tem-se, indiretamente, a cronologia da deformação de uma dada área. Vigneresse (1995, 2004) propõe que todos os granitos *sensu lato* são sintectônicos porque eles precisam de deformação para serem gerados, desta forma os granitos podem ser considerados como objetos tectônicos como falhas e dobras. Como objetos tectônicos, os granitos refletem as condições sob as quais eles foram alojados; cada regime ou tipo de deformação induz uma morfologia específica em cada *plúton*. Estudar os granitos significa, então, compreender os processos de evolução da dinâmica crustal. Apesar da correlação entre o alojamento dos granitos e deformação com eventos tectônicos regionais ser um desafio, tendo em vista que as rochas graníticas nem sempre desenvolvem tramas deformacionais em escala mesoscópica (Mamtami *et al.*, 2005; Archanjo *et al.*, 2008; Bueno *et al.*, 2009), estudar os granitos é particularmente interessante porque eles podem apontar para as diferenças na deformação da litosfera continental sendo marcadores espaciais

e temporais dos eventos deformacionais (Ferre *et al.*, 2002). Por estes diversos motivos, optou-se pelo estudo petrológico do Granito Chasqueiro utilizando diversas ferramentas.

#### **1.4. Associações de magmas máficos e ácidos contemporâneas**

Em meados das décadas de 80 e 90, diversos autores (Lameyre, 1988; Barbarin, 1990; Vielzeuf *et al.*, 1990) começam a apontar os processos geradores de rochas graníticas exclusivamente vinculados a fusão crustal como de um papel secundário na geração dos grandes volumes de rochas graníticas e por consequência da própria crosta, mostrando a importância da participação de fontes mantélicas na gênese de granitos. A participação do manto na gênese de granitos é ora apontada apenas como a fonte de calor que propicia a fusão da crosta, ora como efetivamente participante como matéria. Já no final da década de 90, os trabalhos publicados passam a vincular os granitoides a fontes primárias mantélicas (Bonin *et al.*, 1998; Bitencourt & Nardi, 2000; Chappell & White, 2001).

A vinculação de granitoides às séries magmáticas, como sugerido por Lameyre & Bowden (1982) e posteriormente por Nardi (1986) leva a abordagem dos granitos como produtos evoluídos de magmas primários de caráter definido pelas séries e, assim, traz um papel essencial na análise conjunta de associações félsicas e máficas ao entendimento da gênese e evolução do magmatismo granítico. Considerando fontes mantélicas como contribuintes de matéria e não apenas de calor para a geração do magmatismo graníticos que perfaz grande parte da crosta, postula-se também que a mesma pode ser construída a partir de acreção vertical (Nardi & Bitencourt, 2007). Contudo, embora muitos avanços tenham sido alcançados, um dos maiores problemas na construção de um modelo evolutivo para as rochas ígneas reside no fato de que muitas vezes não conseguimos distinguir se os magmas sofreram modificação de sua composição na fonte ou durante a ascensão, ou mesmo durante o posicionamento. Os mecanismos de hibridização podem ocorrer em diferentes estágios da geração e evolução magmática até o

posicionamento final. Segundo Chen *et al.* (2002), a interação entre líquidos derivados do manto e da crosta, envolvendo mistura em graus variáveis, é o mecanismo capaz de produzir grandes corpos de magma híbrido em profundidade. Evidências dessa relação de coexistência entre magmas básicos e ácidos podem ser obtidas por meio da associação de enclaves microgranulares e diques máficos sinplutônicos com os granitoides, bem como pela identificação de rochas de composição híbrida sincrônicas ao magmatismo granítico. O controle estrutural também é importante nos processos de geração, ascensão e posicionamento dos magmas graníticos e também tem sido alvo de grandes debates na literatura. A ascensão e cristalização de magmas graníticos ocorre em diferentes regimes tectônicos. Dado que as fontes dos magmas são fortemente controladas pela tectônica, em cada regime tectônico fontes e condições estruturais são essenciais na definição da tipologia de rocha granítica gerada. Assim, a elucidação destas relações desenvolvidas entre fonte e atividade tectônica é essencial para a compreensão da gênese e evolução dos magmas graníticos.

O estudo das estruturas magmáticas geradas em uma determinada rocha é importante para o entendimento dos mecanismos de geração e evolução do magma que lhe deu origem. Estruturas magmáticas como enclaves máficos microgranulares, *schlieren* máficos e alinhamento dimensional de cristais, podem ser utilizadas no entendimento dos processos mecânicos e químicos que ocorreram durante a história de cristalização de uma rocha, definindo a dinâmica do fluxo magmático e do posicionamento do corpo. Dado que as estruturas primárias geradas por fluxo de um sistema magmático indicam um ambiente dinâmico e permitem a correlação dos diferentes mecanismos ocorrentes em sua evolução, podem-se utilizar as mesmas para estabelecer uma cronologia reológica.

Assim, estudos integrados de campo, com detalhamento estrutural, petrografia, geoquímica de elementos traços e isotópica pode colaborar para a construção de um modelo consistente de geração e evolução dos magmas sintectônicos, bem como elucidar as relações tempo-espaço desenvolvidas no magmatismo posicionado nos diferentes segmentos das zonas de cisalhamento e, conseqüentemente, contribuir de forma integrada para a caracterização e compreensão dos diferentes segmentos crustais.

## **1.5. Magmatismo neoproterozoico pós-colisional no sul do Brasil**

O período pós-colisional é definido como aquele que se segue a uma colisão maior concomitante ao pico do metamorfismo regional de alta pressão. A principal característica deste período é a grande movimentação dos terrenos ao longo de megazonas de cisalhamento, com o soerguimento de isotermas regionais deprimidas devido à subducção de grandes placas oceânicas, gerando fontes quentes e imóveis por um período de subducção precedente, acompanhada por rápidas modificações da temperatura em níveis crustais e mantélicos. Todos esses eventos resultam de um processo colisional precedente, justificando o uso da expressão pós-colisional (Liégeois, 1998). O magmatismo gerado neste tipo de ambiente é principalmente de caráter cálcio-alcalino alto-K, com rochas shoshoníticas e granitoides peraluminosos e alcalinos a peralcalinos subordinados (Harris *et al.*, 1986; Liégeois, 1998). Harris *et al.* (1986) enfatiza ainda o amplo espectro de magmas gerados no ambiente pós-colisional, incluindo desde magmas com características de arco, indicativos do começo do período, até magmas do tipo intraplaca, sugestivos da progressão do processo de cratonização

No sul do Brasil o magmatismo neoproterozoico pós-colisional possui estreita relação com a tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro que é registrada em um cinturão orogênico com dimensões continentais e orientação predominante NE-SW denominado Cinturão Dom Feliciano o qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). Este cinturão se estende por aproximadamente 1.200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina.

A geração e intrusão dos magmas neste estágio foi controlada em grande parte pela atividade das zonas de cisalhamento dúctil as quais foram responsáveis pela locação de corpos graníticos, bem como pela impressão de tramas magmáticas e tectônicas (Frantz & Remus, 1986; Philipp, 1990, 1998; Gomes, 1990; Mesquita, 1991; Fernandes *et al.*, 1992; Bitencourt & Nardi, 2000; Philipp *et al.*, 2002, Philipp & Machado, 2002 entre outros). Segundo Bitencourt & Nardi (2000) o caráter transilitosférico das zonas de cisalhamento

que ocorrem no cinturão facilitou a ascensão e posicionamento de um importante volume de fusões mantélicas, gerando significativa presença de magmas básicos a intermediários representados por enclaves microgranulares, diques sinplutônicos e corpos dioríticos e gabroicos sincrônicos ao magmatismo pós-colisional.

## 2. CAPÍTULO II

### **2.1. Métodos analíticos**

Para a obtenção dos resultados nesta pesquisa, foram utilizadas técnicas de investigação geológica compatíveis com o objetivo de gerar dados que embasem a discussão da origem, diversidade e o controle tectônico do magmatismo que originou o Granito Chasqueiro. Neste capítulo serão detalhados todos os procedimentos utilizados para a obtenção de dados que possibilitaram a compreensão do contexto geológico em que o granito se insere.

### **2.2. Revisão bibliográfica**

Foi realizado um levantamento bibliográfico preliminar de artigos científicos, boletins, periódicos, relatórios técnicos de empresas, trabalhos de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado, cartas topográficas, mapas geológicos, fotografias aéreas e imagens de satélite. Foi a primeira de todas as etapas a ser iniciada e foi uma das últimas a ser finalizada devido à constante evolução de ideias e hipóteses referentes ao tema estudado. O

levantamento de dados disponíveis na bibliografia possibilitou um relatório prévio da litologia e do comportamento estrutural do granito.

### **2.3. Sensoriamento remoto**

A interpretação das imagens de satélite e fotografias aéreas tem como objetivo identificar os padrões de macroformas do relevo, os principais lineamentos e feições geomorfológicas da área de estudo, bem como as possíveis áreas com afloramentos a serem visitados nas etapas de campo, resultando em uma investigação geológica e geográfica indireta da área.

O sensoriamento remoto foi realizado com a integração dos mapas geológicos realizados por Trainini (1987), Philipp (1990, 1991, 1998), Costa (1997), Philipp & Machado (2002), Wildner *et al.* (2005) e Ramos & Koester (2014) junto com a interpretação utilização de imagens orbitais dos sensores ASTER em diferentes composições falsa-cor (RGB), de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), fotografias aéreas em escala 1:60.000, cartas topográficas do exército SI.22-V-A-II-1 (Eralv), SI.22-V-A-II-2 (Arroio Grande), SI.22-V-A-II-3 (Presidente Barbosa), SI.22-V-A-II-4 (Várzea Alegre), SI.22-V-A-III-1 (Matarazzo) em escala 1:50.000 e mapas aerogeofísicos (Wildner *et al.*, 2005) formando assim um banco de dados com uso Sistema de Informações Geográficas (SIG) contendo as principais feições geológicas de grande escala e suas inter-relações bem como os principais limites do corpo granítico .

### **2.4. Mapeamento geológico e análise estrutural**

A campanha de campo contou com a realização de perfis de carro e a pé para o mapeamento geológico, coleta de amostras, análise estrutural e dos aspectos petrográficos, construção de seções geológicas e croquis dos afloramentos representativos do Granito Chasqueiro. Nesta campanha de

campo foram descritos 52 afloramentos que foram somados aos afloramentos descritos por Ramos & Koester (2014) conforme observado na Figura 2.

O detalhamento estrutural da área de estudo foi feito por meio da descrição dos afloramentos com boas exposições do granito sendo feita a tomada de fotografias de feições representativas, caracterização petrográfica e medidas de estruturas como foliações e lineações. As medidas foram coletadas utilizando bússolas *Brunton*® equipadas com clinômetro e com declinação magnética corrigida conforme instruções das cartas topográficas do exército. As medições foram feitas com a notação de “trama” e “mão esquerda” e tratadas estatística e geometricamente por meio de estereogramas, com o auxílio do *software* Stereo32®.

A coleta de amostras em campo priorizou amostras sem alteração sendo devidamente orientadas para análise petrográfica, análises químicas de rocha total e isotópica. Efetuou-se também, em todos os afloramentos visitados, coleta das coordenadas geográficas por meio de equipamentos de Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca *Garmin*® *Etrex*, além da documentação por meio de fotografias com uma câmera *Nikon*® *D90* e croquis dos afloramentos chaves. Todas as coordenadas estão georreferenciadas na Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), *datum* Córrego Alegre.



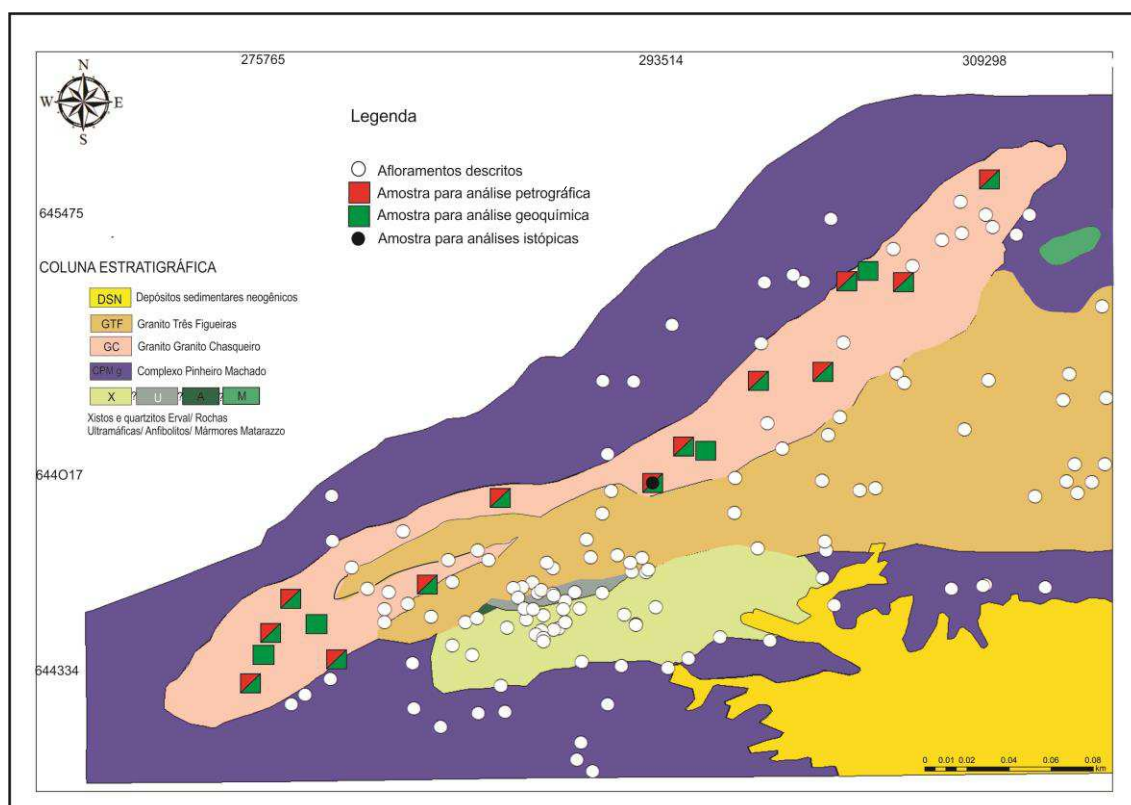


Figura 2 - Mapa geológico simplificado 1:250.000 da área de estudo com a distribuição dos afloramentos descritos e coletas das amostras.

## 2.5. Petrografia e análises de microestruturas

Foram realizadas descrições macroscópicas e microscópicas com objetivo de identificar os constituintes minerais, texturas e estruturas presentes nas rochas estudadas. As análises macroscópicas de 18 amostras de mão foram realizadas com o uso de lupa binocular em laboratório. Microscopicamente foram descritas 12 lâminas delgadas. As amostras foram fotografadas e submetidas à classificação modal visual com auxílio de um microscópio de polarização *Leica*<sup>®</sup> com câmera fotográfica acoplada. Este método foi executado colocando as lâminas fixas em um *charriot* acoplado à platina do microscópio petrográfico, avançando 2 mm na horizontal por 1 mm na vertical, recobrendo um campo retangular de 3,0 cm na horizontal por 2,0 cm na vertical, totalizando cerca de 500 pontos por lâmina.

As amostras foram classificadas segundo o diagrama QAP de Streckeisen (1976) e a determinação do teor de anortita do plagioclásio pelo

método ótico de Michel-Lévy. O estudo das microestruturas usou-se as revisões de Passchier & Trouw (2005).

A etapa de preparação das amostras ocorreu junto ao laboratório de apoio analítico e preparação de amostras do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nesta etapa foi fundamental uma escolha de amostras frescas, e escolha correta do corte no plano XZ, para que informações importantes para análise microestrutural e sentido de movimento não sejam perdidas.

## **2.6. Litoquímica**

Neste projeto foi realizada a preparação de 20 amostras no Laboratório de Preparação de Amostras do IGEO da UFRGS, envolvendo as seguintes etapas (i) lavagem das amostras, (ii) moagem das amostras em prensa hidráulica, (iii) moagem das amostras em moinho de bolas, (iv) redução da granulometria das amostras em gral de ágata até a obtenção da fração pó, (v) pesagem de 50 g de amostra em balança analítica com quatro casas decimais de precisão, (vi) acondicionamento e envio das amostras para o *Acme Analytical Laboratories Ltda.*, no Canadá, para análise em rocha total de elementos maiores por ICP e de elementos traços por ICP-MS.

Os dados geoquímicos podem ser divididos em elementos maiores e elementos traço. Cada um desses grupos fornece informações importantes sobre a origem de uma suíte de rochas em questão (Rollinson, 1993). Para este trabalho, serão analisados os elementos maiores, que são os elementos predominantes em análises de rochas, e possuem concentração expressa em porcentagem por massa (wt %) dos óxidos, e os elementos traços que são aqueles com concentração menor que 0,1 %, e suas concentrações são expressas em partes por milhão (ppm), ou partes por bilhão (ppb). Os dados obtidos foram tratados no software GCDKit<sup>®</sup>, e gerados gráficos de classificação geoquímica e ambientes tectônicos.

## 2.7. Análises isotópicas U-Pb e Lu-Hf

As análises isotópicas tiveram como objetivos combinar medidas isotópicas *in situ* de U-Pb e Lu-Hf em um mesmo cristal de zircão, de modo a fornecer informações respectivas sobre a idade de cristalização magmática do Granito Chasqueiro e das possíveis fontes crustais e mantélicas. As análises foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS (LGI) com uso do *Thermo Finnigan Neptune* seguindo os métodos descritos por Bertotti *et al.* (2011).

A preparação das amostras a serem utilizadas nos estudos de geocronologia U-Pb em zircão foi realizada no IGEO/UFRGS envolvendo as seguintes etapas

- 1) Limpeza superficial da amostra de rocha, usando uma escova e jato de ar comprimido;
- 2) Separação uma parte da amostra para a confecção de uma lâmina petrográfica;
- 3) Fragmentação da amostra na prensa hidráulica para obtenção de fragmentos com menores que 5 cm (seixo);
- 4) Passagem destes seixos no britador de mandíbulas até que a maior parte fique com tamanho aproximado de grânulo (~4 mm);
- 5) Peneiramento em malha de 5 mm para obter uma fração menor;
- 6) Moagem da fração menor do que 5 mm no moinho de discos;
- 7) Peneiramento em malha de 0,5 mm para obtenção de uma fração menor ainda - as frações maiores do que 0,5 mm foram guardadas para eventuais usos futuros.
- 8) Processo de decantação para retirada do material leve que fica em suspensão;
- 9) Por meio de bateia ocorreu a concentração da fração mais pesada.
- 10) Foi adicionado álcool na amostra concentrada (para acelerar a desumidificação) e colocada em estufa a cerca de 80° C por cerca de 6 h, para sua secagem;
- 11) Com o uso do separador isodinâmico Frantz, foi separado toda a fração altamente magnética.

12) Com a fração menos magnética foi feita a concentração em placa de Petri dos minerais mais pesados – com uso de álcool de concentração 92° INPM e pipeta de Pasteur foi retirada as frações mais leves – o processo seguiu o mesmo principio da bateia, mas em escala reduzida. O concentrado de minerais pesados foi lavado com acetona para acelerar a desumidificação e deixar os grãos separados – o concentrado foi colocado em estufa a 80 °C por cerca de 6 h;

14) Confeção da pastilha de *Molné*, onde os grãos de zircão foram selecionados com o auxílio de lupa binocular e colocados sobre uma fita adesiva dupla face em área demarcada;

15) Nesta etapa foi feita a resinagem com gotas de resina epóxi e catalisador sobre os grãos de zircão, dentro de um milimétrico cilindro plástico.

16) Uma vez endurecida a resina, foi retirado a fita sobre os grãos de zircão e lixou-se a face até alcançar os grão. O processo foi feito com lixa 2.500 e o polimento com pasta diamantada.

Após a confecção do *mount* foi feito o imageamento do mesmo em microscópio eletrônico de varredura (MEV). As imagens de elétrons retro-espalhados (BSE – *back scattering images*) e imagens de catodoluminescência são importantes na realização de estudos geocronológicos pontuais de U-Pb e Lu-Hf em zircão por LA-MC-ICP-MS, pois permitem uma melhor visualização das diversas estruturas internas, como zonações, zonas de reabsorção e fraturas, bem como o planejamento e otimização dos pontos a serem analisados. Os cristais de zircão selecionados são representativos das diferentes populações encontradas na amostra e todas as características físicas como forma, hábito, geometria das zonações, entre outras, foram documentados para auxiliar na escolha dos locais onde foram alocados os pontos e auxílio na interpretação dos dados obtidos (Figura 3) sendo os dados tratados com o programa ISOPLOT 3.75 (Ludwig, 2012).

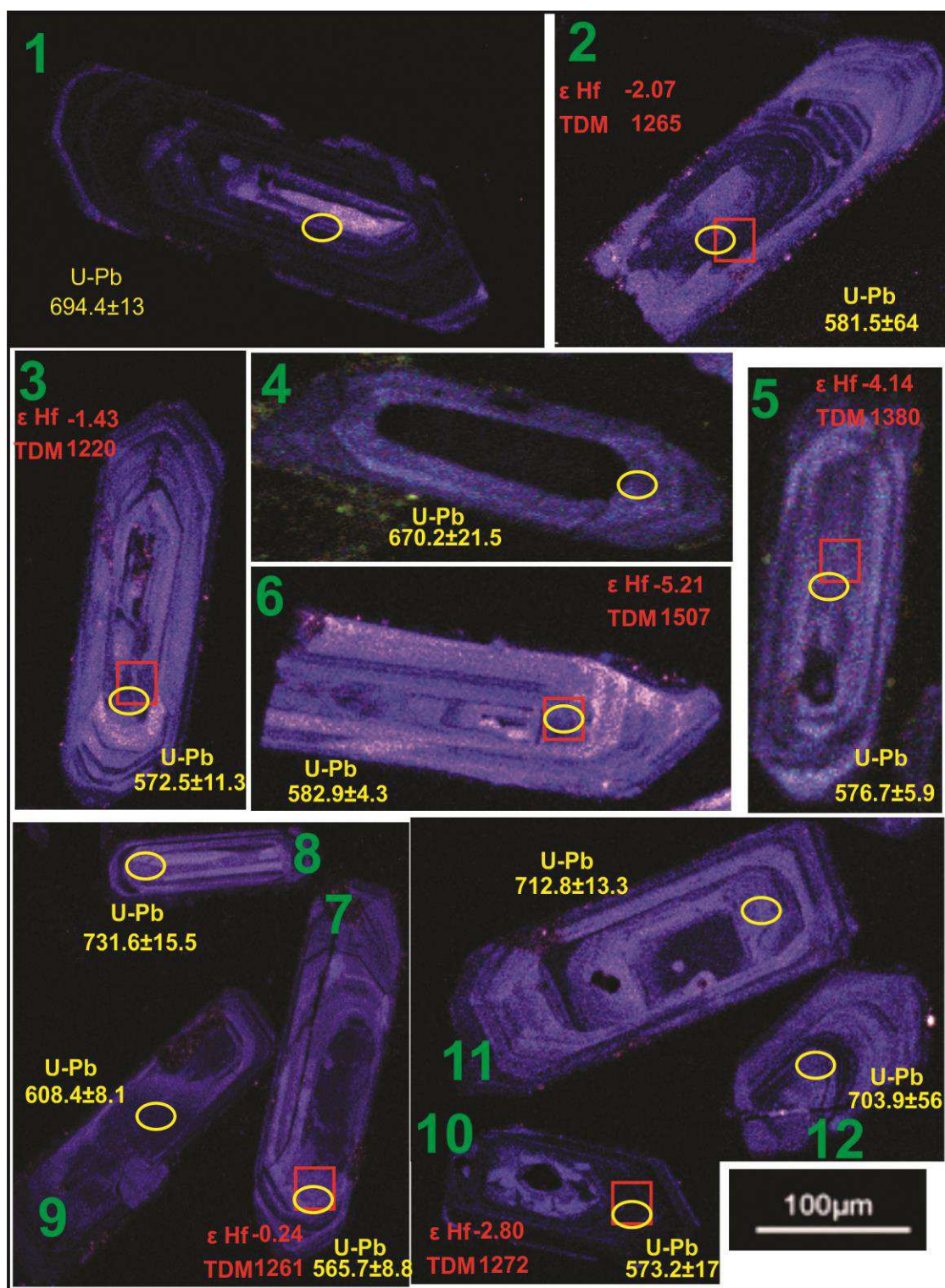


Figura 3- imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão da amostra CH1 com localização das análises de U-Pb (círculos amarelos, *spot* 30 μm) e análises de Lu-Hf (quadrados vermelhos, *spot* 55 μm).

### 3. CAPÍTULO III

#### 3.1. Artigo submetido à revista *Brazilian Journal of Geology*



## Submission Confirmation



Thank you for your submission

**Submitted to**

Brazilian Journal of Geology

**Manuscript ID**

BJGEO-2015-0041

**Title**

PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE

**Authors**

Vieira, Daniel

Koester, Edinei

Bertotti, Anelise

**Date Submitted**

30-Oct-2015

[Author Dashboard](#)

© Thomson Reuters | © ScholarOne, Inc., 2015. All Rights Reserved.

ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.

ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

# BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY

**PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO  
INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL,  
GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA  
REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-  
GRANDENSE**

Journal:	<i>Brazilian Journal of Geology</i>
Manuscript ID	BJGEO-2015-0041
Manuscript Type:	Original articles
Date Submitted by the Author:	30-Oct-2015
Complete List of Authors:	Vieira, Daniel; UFRGS, PPGGeo Koester, Edinei; UFRGS, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências Bertotti, Anelise; UFS, Núcleo de Geologia
Keyword:	Petrology, Chasqueiro Granite, U-Pb, Lu-Hf, Sul-Rio-Grandense Shield

SCHOLARONE™  
Manuscripts

1  
2  
3 **PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO**  
4  
5 **INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL,**  
6  
7  
8 **GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISÓTOPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO**  
9  
10  
11 **DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**  
12

13  
14 Daniel Triboli VIEIRA\*<sup>1</sup>, Edinei KOESTER<sup>2</sup>, Anelise L. BERTOTTI<sup>3</sup>  
15  
16

17  
18  
19 1 Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGeo), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do  
20 Sul, Caixa Postal 15001, CEP: 91500-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: danieltriboli@hotmail.com

21  
22 2 Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento  
23 Gonçalves 9500, Prédio 43126 Sala 202, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: koester@ufrgs.br

24  
25 3 Núcleo de Geologia, Universidade Federal de Sergipe - Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av. Marechal  
26 Rondon, s/n Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão, Aracaju, SE, Brasil. E-mail: aneber79@gmail.com  
27  
28  
29

30 **Resumo**—O Granito Chasqueiro aflora como campos de matacões e lajeados que em planta formam um corpo  
31 alongado segundo N50°E com área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> localizada no sul da porção oriental do Escudo  
32 Sul-Rio-Grandense. Constitui-se de monzo a sienogranito, leucocrático de cor cinza-claro e textura porfirítica  
33 com megacristais de K-feldspatos em matriz equigranular, hipidiomórfica grossa, composta por quartzo, K-  
34 feldspato, plagioclásio, biotita, hornblenda, minerais opacos e acessórios. Os megacristais atingem proporções  
35 modais entre 30 a 60 % e variam entre 4 e 8 cm que junto com os minerais máficos da matriz evidenciam uma  
36 foliação de fluxo magmático subvertical bem desenvolvida que transaciona lateralmente para uma foliação  
37 tectônica nos bordos do granito próximo as zonas de cisalhamento onde ocorrem extensas faixas marcadas por  
38 intensa deformação dúctil e geração de protomilonitos. O granito apresenta enclaves máficos microgranulares de  
39 composição diorítica apresentando diferentes formas e tamanhos. Geoquimicamente é caracterizado por um  
40 magmatismo subcalino do tipo cálcio-alcalino de alto potássio, metaluminoso a levemente peraluminoso, com  
41 assinatura característica de granitos gerados em ambiente pós-colisional. Processos de fusão crustal, mistura de  
42 magmas e cristalização fracionada são sugeridos para a sua evolução. Análises geocronológicas obtidas pelo  
43 método U-Pb (LA-ICPMS) e geoquímica isotópica de Lu-Hf (LA-ICPMS) em zircões do granito indicaram,  
44 respectivamente, idade de cristalização 574 ± 3 Ma e valores negativos para εHf sugerindo assim uma relação do  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60



1  
2  
3  
4 granito com o evento deformacional D2 e fontes magmáticas predominantemente crustais com participação de  
5  
6 componente mantélico subordinado.

7  
8 **Palavras-chave:** Petrologia, Granito Chasqueiro, U-Pb, Lu-Hf, Escudo Sul-Rio-Grandense

9  
10 **Abstract** – PETROLOGY OF CHASQUEIRO GRANITE, AN INTEGRATED STUDY WITH  
11  
12 PETROGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS, GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC STUDIES (U-Pb, Lu-Hf)  
13  
14 IN THE ARROIO GRANDE REGION, SOUTHEASTERN SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD. Chasqueiro  
15  
16 Granite emerges as boulders fields and slabs that in plan form an elongated body at N50°E with an area of  
17  
18 approximately 400 km<sup>2</sup> located at the southernmost portion of the eastern Sul-Rio-Grandense Shield, RS. It  
19  
20 consists of monzonitic syenogranite, light gray and leucocratic porphyritic texture with megacrystals K-feldspar  
21  
22 in a coarse equigranular hypidiomorphic matrix, composed of quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite,  
23  
24 hornblende, opaque minerals and accessories. The modal megacrystals reach proportions between 30 and 60 %  
25  
26 and range from 4 and 8 cm together with mafic minerals of the matrix showing a subvertical magmatic foliation  
27  
28 and a tectonic foliation prominent in the borders marked by intense ductile deformation and protomylonite  
29  
30 generation. Another important aspect of the Granite Chasqueiro is the presence of microgranular mafic enclaves  
31  
32 of dioritic composition ubiquitous in the granite, having different shapes and sizes. Geochemically the granite is  
33  
34 characterized as a slightly expanded acid sequence formed by a sub-alkaline magmatism of calc-alkaline type  
35  
36 with high potassium, metaluminous to lightly peraluminous, with characteristic signature of granites generated in  
37  
38 post-collisional tectonic setting. Geochronological analyzes obtained by the U-Pb method (LA-ICPMS) and  
39  
40 isotope geochemistry of Lu-Hf (LA-ICPMS) in zircons presenting, respectively, crystallization age 574 ± 3 Ma  
41  
42 and negative ε<sub>Hf</sub> which suggest a granite relationship with deformational event D2 and supporting a magmatic  
43  
44 crustal sources with subordinate mantle component.

45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
**Keywords:** Petrology, Chasqueiro Granite, U-Pb, Lu-Hf, Sul-Rio-Grandense Shield

## 1. INTRODUÇÃO

No Escudo Sul-Rio-Grandense foram realizados diversos trabalhos de cunho petrográfico, geoquímico e isotópico para a caracterização de inúmeras ocorrências de rochas graníticas (Vasquez, 1997; Gastal & Lafon, 1998; Phillip *et al.*, 2002; Fontana *et al.*, 2012). No entanto a porção oriental do escudo apesar de apresentar inúmeros granitoides que variam de ácidos a básicos com alojamento por vezes condicionado por zonas de cisalhamento de caráter transcorrente é pouco estudada sob esse tipo de caracterização geológica, tendo como principais referências trabalhos de cunho regionais (Trainini, 1987; Philipp, 1990, 1991, 1998; Wildner *et al.*, 2005).

O Granito Chasqueiro é um destes granitoides situados na porção oriental do Cinturão Dom Feliciano (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997) sendo caracterizado em trabalhos regionais, como um granito de composição monzo a sienogranítica, leucocrático de cor cinza-claro e textura porfirítica com megacristais de K-feldspatos em matriz equigranular, hipidiomórfica grossa e foliação milonítica nos bordos.

O principal objetivo deste trabalho é gerar dados que fundamentem a discussão da origem, diversidade e o controle tectônico do magmatismo que originou o Granito Chasqueiro por meio de uma revisão e discussão com base em um estudo petrológico integrado. Para tal, foram obtidos novos dados geológicos, petrográficos, geoquímicos, isotópicos (Lu-Hf) e geocronológicos (U-Pb) para a investigação e proposição de um modelo de geração e evolução deste magmatismo, procurando entender a relação entre as fontes crustais e mantélicas, processos de diferenciação magmática e a influência da atividade tectônica em sua gênese.

## 2. ÁREA, MATERIAIS E MÉTODOS

O Granito Chasqueiro aflora como proeminentes campos de matações e extensos lajeados em uma área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> a noroeste da cidade de Arroio Grande/RS que fica a 365 km da capital Porto Alegre. O granito se encontra no contexto geológico do Cinturão Dom Feliciano, desenvolvido no Neoproterozoico durante a Orogenia Brasileira - Panafricana, a qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004) se estende por

1  
2  
3  
4 28 aproximadamente 1.200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa  
5  
6 29 Catarina está estruturado em três unidades geotectônicas principais, ocidental, central e oriental  
7  
8 30 (Fig.1), delimitadas a partir de descontinuidades geofísicas de escala continental (Fernandes *et al.*,  
9  
10 31 1995; Costa, 1997). A porção oriental ou domínio leste do Cinturão Dom Feliciano, onde se  
11  
12 32 desenvolveu este trabalho, se equivale em partes ao Batólito Pelotas, termo definido por Fragoso César  
13  
14 33 *et al.* (1986) para designar um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico, cujo magmatismo teve  
15  
16 34 duração de cerca de 70 Ma (entre 630 Ma e 560 Ma) representando o período pós-colisional na porção  
17  
18 35 leste do sul do Brasil (Philipp *et al.*, 2002). A formação do batólito resulta da adição de distintos  
19  
20 36 processos tectônicos durante o Ciclo Brasileiro/Pan-africano e se postulam para a mesma modelos que  
21  
22 37 envolvem a subducção de litosfera oceânica em margem continental espessa (Figueiredo *et al.*, 1990;  
23  
24 38 Philipp, 1990; Fragoso Cesar, 1991; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000), colisão continental (Hartmann  
25  
26 39 *et al.*, 2000; Philipp & Machado, 2002) e reativação de fontes mantélicas modificadas em períodos  
27  
28 40 tardi a pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 1993, 2000).

30  
31 41 “inserir Figura 1”

32  
33 42 No batólito foram caracterizadas seis suítes graníticas denominadas de Pinheiro Machado,  
34  
35 43 Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e uma sienítica, a Suíte Piquiri  
36  
37 44 (Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2001). Essas suítes são constituídas essencialmente por rochas  
38  
39 45 graníticas, comumente ocorrendo corpos básicos e enclaves máficos microgranulares, os quais  
40  
41 46 apresentam relações de contato indicativas de mistura química e física com os líquidos de composição  
42  
43 47 granítica. A Suíte Pinheiro Machado é cálcio-alcalina, médio a alto-K, metaluminosa a fracamente  
44  
45 48 peraluminosa. A Suíte Viamão tem afinidade cálcio-alcalina alto-K e caráter metaluminoso a  
46  
47 49 fracamente peraluminoso, que difere da Suíte Cordilheira que possui caráter exclusivamente  
48  
49 50 peraluminoso. Os sienitos da Suíte Piquiri têm afinidade shoshonítica, enquanto os granitos da Suíte  
50  
51 51 Encruzilhada do Sul são alcalinos e metaluminosos. Na sua ampla maioria, os corpos graníticos da  
52  
53 52 Suíte Dom Feliciano são cálcio-alcalin alto-K, com elevado grau de diferenciação ( $\text{SiO}_2$  entre 75 e  
54  
55 53 78 %).

1  
2  
3  
4 54 A área de estudo fica localizada na porção leste do Batólito Pelotas (Fig. 2) e teve a sua  
5  
6 55 estratigrafia redefinida por Ramos & Koester (2014), sendo as rochas mais antigas a associação  
7  
8 56 metamórfica composta por anfibolitos, xistos magnesianos, pelíticos e mármore denominadas como  
9  
10 57 Complexo Ofiolítico Arroio Grande que outrora fora classificada como pertencente à unidade Septos  
11  
12 58 do Embasamento. Os Septos do Embasamento ocorrem na área de estudo como xenólitos gnáissicos  
13  
14 59 de formas arredondadas a subarredondadas, com dimensões centimétricas a métricas (0,20 a 3 m) nas  
15  
16 60 rochas encaixantes do Granito Chasqueiro denominadas como Complexo Pinheiro Machado que  
17  
18 61 compõe uma expressiva área na porção leste do batólito sendo constituído por granitoides cinzentos  
19  
20 62 equigranulares a porfiríticos de composição predominantemente granodiorítica, com idades U-Pb em  
21  
22 63 zircão de  $610 \pm 5$  e  $612 \pm 2$  Ma (Babinski *et al.*, 1997). Esse complexo é interpretado como granitoides  
23  
24 64 de margem continental ativa com evolução associada à subducção de crosta oceânica sob margem  
25  
26 65 continental espessada (Philipp *et al.*, 2002).

27  
28 66 O Granito Chasqueiro é intrudido em suas porções nordeste e sudeste pelo Granito Três  
29  
30 67 Figueiras  $558 \pm 57$  Ma (U-Th-Pb, Tickyj *et al.*, 2004) um granito de composição predominantemente  
31  
32 68 sienogranítica com textura equigranular tendo como principal característica a presença de biotita e  
33  
34 69 muscovita. O contato entre essas litologias é caracterizado por frequentes porções milonitizadas  
35  
36 70 marcadas pelo estiramento e deformação dos cristais de ambos os granitos. Ao sudeste da área de  
37  
38 71 estudo ocorre à presença das rochas vulcânicas do Grupo São Bento que ocorrem principalmente na  
39  
40 72 forma de diques. Recobrando as rochas ígneas, ocorrem as coberturas sedimentares Cenozoicas da  
41  
42 73 planície costeira.

43  
44 74 Philipp (1990, 1991 e 1998) e Fernandes *et al.* (1990, 1992, 1993) propuseram a justaposição  
45  
46 75 final das rochas do domínio oriental como resultado de movimentações sucessivas ocorridas ao longo  
47  
48 76 das zonas de cisalhamento (dúctil e rúptil /dúctil) onde foram afetadas por três eventos de deformação  
49  
50 77 (do mais antigo para o mais novo): D1, D2 e D3.

51  
52 78 O evento D1 foi responsável pela geração de zonas de cisalhamento dúcteis de baixo ângulo  
53  
54 79 com direção geral N35-50°E e mergulhos suaves para W e está preservado nas rochas do Complexo  
55  
56 80 Pinheiro Machado. O evento deformacional D2 está preservado em todas as rochas do domínio  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 81 oriental. Caracteriza-se pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo com  
5  
6 82 extensão de dezenas a centenas de quilômetros e espessura da ordem de centenas de metros. Nelas, as  
7  
8 83 faixas de milonitos e protomilonitos podem chegar até cerca de 4 km de largura.  
9

10 84 Segundo Machado *et. al.*(1995) e Philipp (1998), a área de estudo é afetada pelo evento D2  
11  
12 85 que gerou falhamentos com disposições NE-SW, sendo que o principal é um sistema de deformação  
13  
14 86 dúctil de alto ângulo, com direção N50-80°E a E-W e condições dúcteis de alta temperatura,  
15  
16 87 denominada de Zona de Cisalhamento Arroio Grande (ZCAG). A ZCAG parece conectar-se ao sul  
17  
18 88 com outro sistema de deformação dúctil de alto ângulo, com direção E-W denominada Zona de  
19  
20 89 Cisalhamento Airosa Galvão (ZCAY). Essas zonas de cisalhamento são responsáveis pela  
21  
22 90 milonitização e forma alongada das litologias presentes na região e estão fortemente relacionados à  
23  
24 91 ascensão e alojamento dos corpos graníticos Chasqueiro e Três Figueiras. O evento D3 caracterizado  
25  
26 92 como rúptil-dúctil, foi responsável pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamento subverticais de  
27  
28 93 menor expressão, com espessuras métricas a decamétricas, de orientação N10-20° E a N6-80° E sendo  
29  
30 94 evidenciado nas rochas vulcânicas do Grupo São Bento.  
31

32 95 “inserir Figura 2”  
33  
34 96  
35

36 97 A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi empregada em três fases,  
37  
38 98 em que a primeira fase contou com a revisão e compilação de dados existentes sobre a região de  
39  
40 99 estudo e campanha de campo com realização de perfis de carro e a pé para o mapeamento geológico,  
41  
42 100 coleta de amostras, análises estruturais, construção de seções geológicas e croquis dos afloramentos  
43  
44 101 representativos do Granito Chasqueiro.  
45

46 102 Na segunda fase, as amostras coletadas em campo foram analisadas por meio de microscopia  
47  
48 103 óptica com auxílio de microscópio de polarização *Leica*® com câmera fotográfica acoplada,  
49  
50 104 microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia por dispersão de energia (MEV-EDS) e  
51  
52 105 análises isotópicas integradas de U-Pb e Lu-Hf em cristais de zircão por ablação a laser seguindo a  
53  
54 106 metodologia apresentada por Bertotti *et al.* (2011) ambas análises foram realizadas no Laboratório de  
55  
56 107 Geologia Isotópica do Instituto de Geociências, UFRGS e seus dados tratados com *software ISOPLOT*  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 108 3.75 (Ludwig, 2012). As análises geoquímicas de elementos traço e elementos maiores foram  
5  
6 109 realizadas no *Activation Laboratories Ltd.*, Ontario, Canadá e os dados tratados com o *software*  
7  
8 110 *GCDkit* (Janoušek *et al.*, 2006). Por fim a terceira fase contou com interpretação e integração dos  
9  
10 111 dados e escrita do manuscrito.  
11  
12 112

### 13 14 113 3. RESULTADOS

#### 15 16 17 114 3.1. Petrografia do Granito Chasqueiro

18  
19  
20 115 O Granito Chasqueiro varia sua composição entre monzogranítica e sienogranítica com M'  
21  
22 116 variando entre 4 % e 7 % tendo como sua principal característica uma textura porfírica constituída  
23  
24 117 por megacristais hipidiomórficos de K-feldspatos com tamanho médio de 4,0 cm podendo chegar a 8,0  
25  
26 118 cm. Os megacristais de K-feldspatos compõem 30 % a 60 % da rocha e estão imersos em uma matriz  
27  
28 119 hipidiomórfica equigranular grossa (5 a 8 mm) constituída por K-feldspato, plagioclásio, quartzo,  
29  
30 120 biotita± anfibólios. Os alinhamentos de forma dos megacristais de K-feldspatos junto com o  
31  
32 121 alinhamento dos minerais máficos que compõem a matriz evidenciam uma foliação ígnea bem  
33  
34 122 desenvolvida (Fig. 3A) que transaciona lateralmente para uma foliação milonítica nas bordas do  
35  
36 123 granito (Fig. 3B).

37  
38 124 Outra característica do Granito Chasqueiro é a presença disseminada por toda extensão do  
39  
40 125 corpo granítico de rochas máficas que ocorrem como enclaves microgranulares com dimensões que  
41  
42 126 variam de 0,2 cm até 80 cm apresentando formas variadas predominantemente arredondadas à sub-  
43  
44 127 arredondadas, embora raramente haja a presença de corpos subangulosos. Os contados dos enclaves  
45  
46 128 com o granito em geral são irregulares, lobados a crenulados com reentrâncias ocupadas pelo material  
47  
48 129 do granito, ocorrendo por vezes à captura mecânica de fenocristais de K-feldspatos da rocha  
49  
50 130 hospedeira. Em sua maioria, os enclaves encontram-se alinhados a foliação do granito, tendo nestes  
51  
52 131 casos formas alongadas e lenticulares (Fig. 3C), petrograficamente são caracterizados como dioritos a  
53  
54 132 quartzo dioritos de textura hipidiomórfica equigranular fina a média a base de quartzo, plagioclásio,  
55  
56 133 K- feldspato, biotita e anfibólio. O caráter sincrônico do magmatismo básico associado ao granito  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 134 Chasqueiro é evidenciado pela presença localizada de processos de *mingling* e *mixing*, gerando  
5  
6 135 localmente rochas híbridas mesocráticas de textura porfírica marcada pelos fenocristais de K-  
7  
8 136 feldspato com bordos arredondados imersos em uma matriz equigranular fina a média a base de  
9  
10 137 quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita e anfibólio (Fig. 3D).

11  
12 “inserir Figura 3”  
13

14 139 No microscópio, o granito apresenta textura porfírica com fenocristais de feldspatos alcalinos  
15  
16 140 em uma matriz equigranular grossa composta por feldspatos alcalinos, plagioclásio, quartzo, biotita e  
17  
18 141 raros anfibólio. A paragênese acessória está representada por alanita, epidoto, titanita, apatita, zircão e  
19  
20 142 opacos; clorita, sericita, argilo-minerais e saussorita constituem os produtos de alteração.

21  
22 143 As composições de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio foram estimadas a partir da  
23  
24 144 contagem modal obtidas em laminas petrográficas e recalculadas para 100% e classificadas segundo  
25  
26 145 Strekeisen/IUGS (1976), seus resultados e o diagrama Q-A-P são mostrados na tabela 1 e plotados na  
27  
28 146 figura 4.

29  
30 147 “inserir Tabela 1”  
31

32 148 “inserir Figura 4”  
33

34 149 O K-feldspato é a fase mineral dominante ocorrendo na forma de megacristais euédricos com  
35  
36 150 dimensões de até 7,0 mm segundo seu eixo maior por vezes com bordas cominuídas ou quebradas e  
37  
38 151 exibem geminações do tipo dupla macla albita + periclina em grade e do tipo Carlsbad. As maclas, por  
39  
40 152 vezes, são mais desenvolvidas nas bordas dos cristais onde ocorre concentração da deformação,  
41  
42 153 evidenciada por uma textura do tipo mortor formando agregados policristalinos constituídos por  
43  
44 154 subgrãos e novos grãos de K-feldspatos. Comumente ocorrem inclusões de plagioclásio, quartzo,  
45  
46 155 biotita e opacos formando uma textura poiquilítica (Fig. 5A). Geralmente os cristais de K-feldspatos  
47  
48 156 apresentam intercrescimentos pertíticos, com lamelas sódicas em filmes e flâmulas. Outras  
49  
50 157 características observadas nos cristais de K-feldspato são a zonação marcada por inclusões de  
51  
52 158 plagioclásios que se dispõem de forma paralela as bordas do cristal, marcando seus antigos contornos  
53  
54 159 (Fig. 5B) e fraturas longitudinais preenchidas por quartzo e carbonatos. Os feldspatos alcalinos que  
55  
56 160 constituem a matriz possuem um tamanho máximo de 3,0 mm com formas euédricas a subédricas  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 161 ocorrendo localmente formas anédricas provenientes de recristalização. Evidências de processos de  
5  
6 162 alteração, como argilização e sericitização, são comuns tanto nos megacristais como nos feldspatos da  
7  
8 163 matriz.

9  
10 164 Os cristais de plagioclásio se dispõem na matriz onde são principalmente hipidiomórficos,  
11  
12 165 classificados como oligoclásio com  $An_{24-22}$  (método ótico de Michel-Lévy), e com tamanhos que vão  
13  
14 166 de 2,0 a 4,0 mm, usualmente apresentam maclas polissintéticas e zonação. Os cristais de plagioclásio  
15  
16 167 ocorrem também como inclusões nos megacristais de K-feldspatos onde os cristais variam de  
17  
18 168 euédricos a subédricos e frequentemente zonados (Fig. 5B). Alguns cristais da matriz desenvolvem  
19  
20 169 textura mirmequíticas nas interfaces de contato com fenocristais de K-feldspato (Fig. 5C), sendo estas  
21  
22 170 de tipos texturais variados, predominando o tipo bulbosa de Phillips (1980). São observadas feições de  
23  
24 171 processos pós-magmáticos em alguns cristais de plagioclásio como sericitização, argilização e  
25  
26 172 saussuritização.

27  
28 173 O quartzo ocorre como cristais xenomórficos de tamanhos variados com cristais de até a 2,0  
29  
30 174 mm possuindo em geral contatos irregulares e extinção ondulante. O quartzo ocorre também como  
31  
32 175 inclusões globulares nos megacristais de K-feldspatos e também como subgrãos que envolvem os  
33  
34 176 megacristais de K- feldspatos.

35  
36 177 A biotita ocorre como lamelas hipidiomórficas de até 2,5 mm exibindo contatos retos a  
37  
38 178 serrilhados de cor marrom, por vezes avermelhadas (oxidadas), e fortemente pleocróicas. Inclusões de  
39  
40 179 zircão, apatita, titanita epidoto e alanita são comuns bem como a ocorrência de um processo de  
41  
42 180 cloritização incipiente em algumas lamelas.

43  
44 181 O anfibólio é o mineral máfico secundário e não ocorre em todas as amostras apresenta-se  
45  
46 182 como cristais hipidiomórficos em média de 1,2 mm, de cor verde e com pleocroísmo em tons verde  
47  
48 183 amarelado/amarronzado. Geralmente o anfibólio encontra-se em desequilíbrio, sendo transformado em  
49  
50 184 biotita ou na forma de núcleos reliquiares com relevo destacado e clivagens a  $120^0$  dentro da biotita.

51  
52 185 Foram observados dois tipos texturais de titanita. A titanita I, interpretada como primária/  
53  
54 186 magmática, apresenta-se em cristais idiomórficos, losangulares a prismáticos alongados, coloração  
55  
56 187 marrom clara, contatos retos, com tamanho oscilando da ordem de 0,4- 4,0 mm (Fig. 5D). A titanita II



1  
2  
3  
4 188 forma coroas finas e irregulares sobre cristais de minerais opacos, usualmente xenomórficos,  
5  
6 189 marcando processo de esfenitização destes. Esta titanita é interpretada como tardi-magmática, produto  
7  
8 190 de alteração dos minerais opacos pela ação de fluidos deutéricos (Fig. 5E).  
9

10 191 A alanita ocorre como cristais isolados idiomórficos a hipidiomórficos de cor amarela á  
11  
12 192 castanha que, por vezes zonados e/ou metamictizados com tamanho de cristais que variam de 0,2 mm  
13  
14 193 a 1 mm. Localmente observa-se no contato da alanita com a matriz félsica o desenvolvimento de  
15  
16 194 fraturas radiais. Estas fraturas resultam da expansão da alanita, em um estágio pós-cristalização da  
17  
18 195 rocha, decorrente da radiação provocada pelos elementos radioativos da mesma (Fig. 5F). Os cristais  
19  
20 196 de epidoto são idiomórficos a hipidiomórficos, prismáticos, por vezes em seções hexagonais, com  
21  
22 197 tamanhos no geral  $\leq 1,0$  mm, incolores a levemente coloridos em tons de amarelo claro, com cores  
23  
24 198 fortes de birrefringência, sendo comum ocorrem como coroas/franjas finas e irregulares sobre cristais  
25  
26 199 de alanita (Fig. 5F).  
27

28 200 “inserir Figura 5”  
29

30 201 Os minerais opacos ocorrem como cristais em geral  $< 1,5$  mm e foram caracterizados por meio  
31  
32 202 de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). O  
33  
34 203 mineral opaco predominante é a magnetita que foi interpretada como mineral primário/magmático,  
35  
36 204 que ocorre em seções losangulares, quadráticas e/ou hexagonais, até cristais xenomórficos com finas e  
37  
38 205 irregulares coroas de titanitas e como inclusões em alanita, biotita, quartzo, plagioclásio, K-feldspatos  
39  
40 206 e titanita, e podem apresentar inclusões de zircão. A hematita, que ocorre essencialmente como  
41  
42 207 lamelas submilimétricas que se desenvolvem da borda para o centro dos cristais de magnetita  
43  
44 208 caracterizando um processo de martitização. (Fig. 6).  
45

46 209 A apatita ocorre na forma de cristais  $< 0,5$  mm usualmente em seções prismáticas finas e  
47  
48 210 inclusas geralmente em feldspatos e biotita. O zircão ocorre como cristais euédricos zonados, com  
49  
50 211 seções prismáticas  $< 0,3$  mm inclusos geralmente em feldspatos e biotita. As inclusões de zircões em  
51  
52 212 biotitas são geralmente evidenciadas pela presença de halos pleocróicos.  
53

54 213

55 214 “inserir Figura 6”  
56  
57  
58  
59  
60

215

216 *3.2. Petrografia dos enclaves máficos microgranulares*

217 Os enclaves máficos microgranulares ocorrem de formas e tamanhos variados intimamente  
218 associados ao Granito Chasqueiro e apresentam uma variação litológica, com dominância de dioritos e  
219 subordinadamente quartzo dioritos. Em geral essas rochas são melanocráticas com texturas que  
220 variam de equigranular fina á média. Muitas vezes os enclaves definem relações típicas de mistura de  
221 magmas com o granito hospedeiro como a presença de xenocristais de K-Feldspatos imersos nas  
222 rochas dioríticas e contatos interdigitados e difusos entre as duas litologias.

223 A mineralogia principal é caracterizada por cristais xenomórficos de quartzo (0,05 a 1 mm)  
224 que ocupam espaços intersticiais de forma anédrica com extinção ondulante e possuem contatos retos  
225 á lobados. O plagioclásio (0,3 a 4 mm) por vezes maclado apresenta usualmente zonação normal com  
226 núcleos cálcicos mais alterados (saussuritização e carbonatação) e contados retos e nítidos quando em  
227 contato com o quartzo e minerais máficos e difuso com os cristais de K- Feldspatos. O K-feldspato  
228 (0,05 a 1,2 mm) ocorre como cristais micropertíticos subédricos, sendo mais representativos nos  
229 termos quartzo dioríticos, quando atingem até 15 % modal. A biotita é o principal mineral máfico e  
230 ocorre na forma de lamelas orientadas (0,5 a 0,9 mm) ou associada ao anfibólio possuindo forte  
231 pleocroísmo marrom ou verde. O anfibólio da família das hornblendas (0,3 a 0,7 mm) ocorre na forma  
232 de cristais hipidiomórficos de cor verde a marrom escuro. Os minerais acessórios são representados  
233 por cristais de titanita (0,1 e 0,3 mm) de hábito prismáticos e origem magmática ou de forma anédrica  
234 cujas relações de contato indicam formação a partir da desestabilização de biotita e hornblenda, apatita  
235 (até 0,4 mm) de forma acicular, incluída em quartzo, feldspatos, biotita, hornblenda e titanita, e cristais  
236 euédricos de zircão (< 0,05 mm) que por diversas vezes ocorrem inclusos nas biotitas. Os minerais  
237 opacos (magnetita e hematita) variam de subédricos a anédricos, comumente associados à  
238 desestabilização de biotita, hornblenda e titanita com predomínio da magnetita sobre a hematita.

239 Ocorrem de maneira esparsa fenocristais arredondados de quartzo e de plagioclásio. Esses  
240 fenocristais são interpretados como pertencentes ao granito e capturados mecanicamente evidenciando

1  
2  
3  
4 241 um contexto de mistura de magmas, em que os fenocristais são parcialmente dissolvidos com a  
5  
6 242 mudança na composição do magma gerando bordas arredondadas e formação de subgrãos (Fig. 7 A e  
7  
8 243 B).

9  
10 244 “inserir Figura 7”  
11  
12 245

### 13 14 246 *3.3. Análise estrutural e microestrutural*

15  
16  
17 247 A porção central do Granito Chasqueiro preserva foliação de fluxo magmático com trama S =  
18  
19 248 L, onde a foliação e a lineação são evidenciadas pelo alinhamento dimensional dos megacristais de  
20  
21 249 feldspato alcalino, conferindo à rocha uma foliação subvertical NE-SW e uma lineação sub-horizontal  
22  
23 250 com direção decaimento predominantemente SW ou NE do eixo maior dos cristais (Figuras 8A e B)

24  
25 251 “inserir Figura 8”  
26

27 252 A foliação magmática transaciona lateralmente para uma foliação tectônica de borda, onde  
28  
29 253 ocorrem faixas decamétricas em que a deformação dúctil é predominante. A intensidade de  
30  
31 254 deformação nestas zonas leva à formação de rochas deformadas plasticamente, ainda que possa  
32  
33 255 ocorrer alguma deformação frágil, sendo a maioria da deformação acomodada nos cristais, por  
34  
35 256 deformação intracristalina e recristalização dinâmica. Segundo Passchier & Trouw (2005) a  
36  
37 257 classificação adotada para os termos intensamente deformados do Granito Chasqueiro foi feita com  
38  
39 258 base na comparação entre os minerais originais e novos minerais, sendo a principal ocorrência de  
40  
41 259 rochas com 10 a 50% de novos cristais classificadas como protomilonitos.

42  
43 260 “inserir Figura 9”  
44

45 261 Os protomilonitos são caracterizados pela diminuição na granulometria principalmente dos  
46  
47 262 megacristais de K-feldspatos em relação à matriz. Os megacristais de K-feldspatos adquirem formas  
48  
49 263 de *augen*, devido à rotação dos grãos, sendo formadas zonas de sombra de pressão e caudas de  
50  
51 264 recristalização assimétricas (Fig. 9 A- B). Por vezes os porfiroblastos apresentam comportamento  
52  
53 265 rúptil perante a deformação (comportamento mais frágil do que a matriz que apresenta um  
54  
55 266 comportamento dúctil) fraturando de acordo com o sentido dos esforços tectônicos (Fig. 10)

56  
57 267 “inserir Figura 10”  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 268 Ao microscópio foram observadas feições de deformação nos porfiroblastos de K-feldspato  
5  
6 269 como formação de caudas de recristalização assimétricas (Fig. 11 A), deslocamento de maclas e  
7  
8 270 fraturas irregulares restritas ao interior dos grãos bem como o desenvolvimento de pertitas em chamuscas  
9  
10 271 e intercrescimentos mirmequíticos. A presença na matriz de novos grãos de K-feldspato com extinção  
11  
12 272 ondulante e dupla macla indica que a deformação prosseguiu deformando esses novos grãos após sua  
13  
14 273 formação. Nos plagioclásios é observadas feições de deformação como extinção ondulante, formação  
15  
16 274 de subgrãos e maclas de deformação com terminações afuniladas muitas vezes encurvadas (Fig. 11 B)  
17  
18 275 ou deslocadas devido à ocorrência de bandas de deslocação (*kinkbands*). A deformação intracristalina  
19  
20 276 nos cristais de quartzo é evidenciada pela forte extinção ondulante e intensa recristalização por *bulging*  
21  
22 277 e migração de limite de grão com formação de *ribbons* e agregados policristalinos com contatos  
23  
24 278 oblíquos constituindo uma extinção do tipo tabuleiro de xadrez (Fig. 11C- D). Localmente são  
25  
26 279 observados contatos retos entre os cristais de quartzo caracterizando uma textura granoblástica  
27  
28 280 poligonal. A alanita e a titanita possuem comportamento rígido frente à deformação o que ocasiona em  
29  
30 281 fraturamento e/ou rotação dos cristais. As biotitas gradam para agregados devido ao acúmulo de  
31  
32 282 tensão, o que indica que a energia de deformação plástica contribuiu para o processo de nucleação e  
33  
34 283 crescimento de novos grãos, esses agregados apresentam formas que variam de irregulares a alongados  
35  
36 284 (Fig. 11E).

37  
38  
39 285 “inserir Figura 11”

40  
41 286 Nos termos deformados os agregados de biotita e os cristais estirados de quartzo sofrem  
42  
43 287 inflexão no sentido horário da foliação ígnea marcando uma foliação milonítica que possui uma  
44  
45 288 direção preferencial NNE-SSW com mergulhos subverticais ora para SE, ora para NW. A inflexão  
46  
47 289 desses minerais anteriormente orientados na foliação ígnea para a milonítica e a deformação  
48  
49 290 rotacional, nos cristais de K-feldspato torna o par S-C evidente (Fig.9 C e Fig.11 F). Associada a essa  
50  
51 291 foliação tectônica ocorre uma lineação de estiramento do quartzo com caimento sub-horizontal, ora  
52  
53 292 para NE, ora para SW. Próximo à borda do granito é observado um aumento do *strain* caracterizado  
54  
55 293 pelo movimento ao longo da foliação ígnea causando a curvatura dos planos milonítica, que tendem a  
56  
57 294 se paralelizar com o aumento da deformação fato que evidencia a heterogeneidade da deformação.  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 295 3.4. Análise geoquímica  
5  
6

7 296 Determinações de elementos maiores e traços, incluindo elementos terras raras, foram  
8  
9 297 realizadas em treze amostras representativas do Granito Chasqueiro, quatro dos enclaves máficos  
10  
11 298 microgranulares e quatro dos termos híbridos. Os dados obtidos (Tab. 2) foram tratados para geração  
12  
13 299 de diagramas de classificação química, diagramas do tipo *Harker* de elementos maiores e traços,  
14  
15 300 diagramas multielementares e *spider* de elementos terras raras bem como os diagramas de  
16  
17 301 classificação tectônica.

18  
19 302 “inserir Tabela 2”  
20

21 303 O Granito Chasqueiro possui teores de SiO<sub>2</sub> variando de 68% a 74,9% e valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre  
22  
23 304 12 a 14%, em peso. Os teores de álcalis são elevados (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) variando de 7 a 9 % em peso, e  
24  
25 305 razão Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O, variando de 0,5 a 0,7% e teores de MgO, FeO<sub>(t)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e CaO são relativamente  
26  
27 306 baixos no granito não ultrapassando 4%. Os enclaves mostram teores de SiO<sub>2</sub> variando de 52 a 65 % e  
28  
29 307 valores relativamente altos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 15 a 16 %. Os teores de álcalis em comparação com o  
30  
31 308 granito são mais baixos variando de 6 a 7 % e a razão Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O em torno de 0,8%, já os teores de  
32  
33 309 MgO, FeO<sub>(t)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e CaO são mais elevados do que os encontrados no granito. Os termos  
34  
35 310 híbridos apresentam como o esperado valores intermediários de SiO<sub>2</sub> variando 62 a 69% com valores  
36  
37 311 de álcalis variando de 6 a 8% e a razão Na<sub>2</sub>O/ K<sub>2</sub>O em torno de 1,0 % e teores de MgO, FeO<sub>(t)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
38  
39 312 TiO<sub>2</sub> e CaO são valores próximos aos encontrados nas amostras do granito.

40  
41 313 Nos diagramas de classificação para rochas plutônicas TAS (Cox *et al.*, 1979) o qual  
42  
43 314 discrimina rochas das séries subalcalina e alcalina e utiliza como parâmetros a comparação, os teores  
44  
45 315 de SiO<sub>2</sub> x teores de K<sub>2</sub>O + NaO mostra que os litotipos possuem afinidade com as série subalcalina  
46  
47 316 potássica. A proximidade com o eixo (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no diagrama ternário AFM proposto por  
48  
49 317 Irvine & Baragar (1971) indica magmatismo subalcalino do tipo cálcio-alcalino (Fig. 12A- B).

50  
51 318 “inserir Figura 12”  
52

53 319 Os diagramas do tipo *Harker* permitem analisar o comportamento dos elementos químicos ao  
54  
55 320 longo da evolução magmática. Estes diagramas para elementos maiores exibem tendências de variação  
56  
57 321 coerentes com correlações lineares negativas entre SiO<sub>2</sub> e os elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO<sub>(t)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>,  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 322 MgO, CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O Na<sub>2</sub>O não apresenta variação significativa com a sílica, enquanto os valores de  
5  
6 323 K<sub>2</sub>O são sempre elevados com certa correlação positiva (Fig. 13).

7  
8 324 “inserir Figura 13”

9  
10 325 A observação do comportamento de elementos traços como o Rb, Ba, Sr, Zr, La e Ce em  
11  
12 326 relação a SiO<sub>2</sub> apresentam uma correlação negativa com o aumento do teor de SiO<sub>2</sub> ao contrário do Rb  
13  
14 327 e Y que revelam uma correlação positiva com a elevação dos teores de sílica. O comportamento dos  
15  
16 328 elementos maiores e traços mostram a ocorrência dos termos híbridos que apresentam um  
17  
18 329 comportamento intermediário entre os extremos (enclaves e o granito), com uma tendência de  
19  
20 330 acompanhamento aos termos graníticos (Fig. 14).

21  
22 331 “inserir Figura 14”

23  
24 332 O índice de Shand em sua forma modificada por Maniar & Piccoli (1989) ilustrado na Figura  
25  
26 333 15A posiciona as rochas estudadas próximas da linha limítrofe entre os campos das rochas  
27  
28 334 metaluminosas e peraluminosas com índice de saturação em alumina entre 1 e 1,1 sendo classificadas  
29  
30 335 como fracamente peraluminosas no diagrama B-A modificado por Villaseca *et al.* (1998) conforme a  
31  
32 336 Figura 15B. A natureza cálcio- alcalina de alto potássio do granito é sugerida pelo diagrama K<sub>2</sub>O  
33  
34 337 versus SiO<sub>2</sub> (Fig. 15C), com os campos de Piccerillo & Taylor (1976), é notado que os enclaves  
35  
36 338 plotam no campo das rochas de afinidade shoshonítica, porém os mesmos não apresentam as  
37  
38 339 características geoquímicas deste tipo de magmatismo como os sugeridos por Nardi (1986) o elevado  
39  
40 340 teor de potássio dos enclaves pode ser explicada pela sua interação com o granito hospedeiro.

41  
42 341 “inserir Figura 15”

43  
44 342 Os elementos terras raras (ETR) são utilizados como indicadores de processos petrogenéticos,  
45  
46 343 como a cristalização fracionada em rochas ígneas (White, 2013). O enriquecimento ou  
47  
48 344 empobrecimento destes elementos está relacionado com as fases minerais cristalizadas durante a  
49  
50 345 evolução do magma e com as características da sua fonte (Gil, 2010). A análise das concentrações dos  
51  
52 346 elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas foram normalizadas pelos valores dos meteoritos  
53  
54 347 condriticos. Conforme o diagrama de distribuição dos elementos terras raras, normalizados pelo  
55  
56 348 condrito de Boynton (1984) as amostras apresentam padrões similares, apresentando em geral

1  
2  
3  
4 349 enriquecimentos dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesadas. A  
5  
6 350 relação ETR-leves/ETR-pesados é maior nos enclaves e termos híbridos e menores no granito.  
7  
8 351 Segundo White (2013) o enriquecimento em ETR leves ocorre devido à incorporação preferencial dos  
9  
10 352 ETR pesados na fração líquida, sendo este padrão típico de rochas ígneas crustais. As razões de  
11  
12 353  $Eu/Eu^*$  (concentração de európio/ európio esperado) são dadas pela equação  $Eu_N/[(Sm_N+Gd_N)/2]$ , com  
13  
14 354 valores em torno de entre 0,09 e 0,53 para as amostras do Granito Chasqueiro, evidenciando uma  
15  
16 355 anomalia fortemente negativa característica de granitos altamente fracionados pela diferenciação  
17  
18 356 magmática. Para os termos híbridos a anomalias negativas Eu é menor com  $Eu / Eu^*$  variando entre  
19  
20 357 0,49 e 0,69 já as rochas máficas (enclaves) demonstram pequenas anomalias negativas e positivas de  
21  
22 358 Eu com  $Eu/ Eu^*$  1,10 a 1,54 (Fig. 16A).

23  
24 359 “inserir Figura 16”

25  
26 360 Para comparação das rochas analisadas em relação à distribuição dos elementos menores e  
27  
28 361 terras raras nos diagramas multielementares (*spidergrams*), as amostras foram normalizadas aos  
29  
30 362 valores do condrito de Thompson (1982) mostram concentrações dos elementos litófilos de grande  
31  
32 363 raio iônico (LILE) com enriquecimento de Cs, Rb, Th, K e anomalias negativa de Nb, com transição  
33  
34 364 nos teores de Ba, desde padrões enriquecidos nos enclaves, para depletados nos granitos. Nos  
35  
36 365 elementos de alto potencial iônico (HFSE), observa-se um enriquecimento em La, Ce, com anomalias  
37  
38 366 negativas de Sr, P e Ti que aumentam na medida em que os termos fracionam. Observa-se ainda uma  
39  
40 367 leve anomalia negativa de Zr para os termos graníticos e o enriquecimento de Nd em todas as amostras  
41  
42 368 (Fig. 16B).

43  
44 369 No diagrama discriminante para ambientes tectônicos (Pearce *et al.*, 1984), as rochas  
45  
46 370 estudadas distribuem-se entre os campos dos granitos sin-colisionais, granitos de arco vulcânico e  
47  
48 371 intraplaca (Fig. 17A), seguindo os parâmetros sugeridos por Harris *et al.* (1986) com base no conteúdo  
49  
50 372 Hf-Rb-Ta, para discriminar diferentes ambientes tectônicos as amostras apresentam similaridade com  
51  
52 373 granitos de arco vulcânico (Fig. 17B). Já o os diagramas de Whalen *et al.* (1987) as amostras se  
53  
54 374 concentram na transição dos granitos do tipo-A, I e S, o que as discrimina de granitos médio a alto-K  
55  
56 375 relacionados a arcos magmáticos típicos (Fig. 17C).

1  
2  
3  
4 376 “inserir Figura 17”

5  
6 377 *3.5. Análises isotópicas (U-Pb –Lu-Hf)*

7  
8  
9 378 As análises isotópicas tem como objetivo a datação absoluta pelo método U-Pb em zircões do  
10  
11 379 Granito Chasqueiro, integrado com o uso do método Lu-Hf por LA-MC-ICP-MC como importante  
12  
13 380 ferramenta isotópica para estudos sobre as fontes geradoras do granito. A amostra analisada foi  
14  
15 381 coletada em uma pedreira situada a 1,3 km a leste da cidade de Arroio Grande/ RS (coordenadas  
16  
17 382 UTM: S-6440355 e E-0297323) e por meio de análises de microscopia ótica e eletrônica foi possível  
18  
19 383 observar duas populações distintas de zircões. A população mais comum é representado por cristais  
20  
21 384 prismáticos menores (80-120  $\mu\text{m}$ ) com bordas arredondadas a sub-arredondadas. A segunda  
22  
23 385 população é definida por cristais prismáticos maiores (150-200  $\mu\text{m}$ ), alongados com extremidades  
24  
25 386 bipiramidais a sub-arredondadas (Fig. 18).

26  
27  
28 387 “inserir Figura 18”

29  
30 388

31  
32 389 As duas populações apresentam um marcante zoneamento oscilatório característico de zircões  
33  
34 390 ígneos não havendo presença de bordas de recristalização, conforme esperado por tratar-se de uma  
35  
36 391 rocha ígnea sem processos metamórficos superimpostos e nem corrosão ou porosidades, características  
37  
38 392 estas de grãos quando submetidos à forte hidrotermalismo conforme Corfu *et al.* (2003). Os resultados  
39  
40 393 obtidos para os 12 zircões analisados são apresentados na tabela 3 e no diagrama concórdia. O  
41  
42 394 intercepto inferior do diagrama mostra uma idade de  $574 \pm 3$  Ma interpretada como a idade de  
43  
44 395 cristalização do Granito Chasqueiro, já a idade de  $1526 \pm 140$  referente ao intercepto superior pode ser  
45  
46 396 interpretada como de zircões herdados (Fig.19).

47  
48  
49 397 “inserir Tabela 3”

50  
51 398 “inserir Figura 19”

52  
53 399  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60



1  
2  
3  
4 400 As análises *in situ* de Lu-Hf foram efetuadas em 6 zircões conforme a tabela 4, com valores  
5  
6 401 obtidos para  $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$  entre -5.21 a -0.24 e idades modelos que se enquadraram entre 1,1 a 1,5 Ga. Na  
7  
8 402 figura 20, os resultados das análises são ilustrados por meio de diagramas, mostrando os valores de  
9  
10 403  $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$  e da razão inicial  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  em relação as idades de cristalização destes zircões. As áreas  
11  
12 404 sombreadas indicam a tendência de evolução isotópica em sistema fechado sendo projetada para a  
13  
14 405 curva de evolução do manto empobrecido (DM) conforme Goodge & Vervoort (2006). Os valores de  
15  
16 406  $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$  são homogêneos próximos à zero sugerindo contribuição crustal com presença de um magma  
17  
18 407 mantélico juvenil e reduzida residência crustal. Assim, as idades TDM obtidas podem ser interpretadas  
19  
20 408 como a idade de formação dos zircões indicando uma mistura de zircões de idades Mesoproterozoico e  
21  
22 409 Paleoproterozoicas.

23  
24  
25 410 “inserir Tabela 4”

26  
27 411 “inserir Figura 20”

28  
29 412

#### 30 31 32 413 4. DISCUSSÕES

##### 33 34 35 414 4.1. Quanto ao posicionamento

36  
37 415 Características estruturais observadas no Granito Chasqueiro tais como a forma alongada do  
38  
39 416 corpo segundo a direção geral da zona de cisalhamento Arroio Grande N 45°E, o paralelismo entre as  
40  
41 417 foliações ígneas e tectônicas e o caráter subvertical de ambas sugerem que o posicionamento do corpo  
42  
43 418 se deu em um regime de deformação regional regido por transcorrência, onde o magma aproveitou os  
44  
45 419 planos das rochas encaixantes para a sua intrusão. O paralelismo entre a lineação mineral observada  
46  
47 420 nas porções de baixa deformação e a lineação de estiramento nas porções deformadas junto às bordas  
48  
49 421 do corpo, bem como o caráter subhorizontal de ambas, indica que o movimento ascendente do magma  
50  
51 422 foi seguido de movimentos horizontais condicionados por esforços tectônicos dextrais como  
52  
53 423 observado em diferentes indicadores cinemáticos. A constância do sentido observado nos indicadores  
54  
55 424 cinemáticos indica que o campo tensional permaneceu constante durante o posicionamento do corpo e  
56  
57 425 subsequente deformação no estado sólido. A influência do campo tensional após o estágio magmático

1  
2  
3  
4 426 pode ser evidenciada pela presença de duas foliações contemporâneas que formam um par S-C que  
5  
6 427 esteve ativo durante seu posicionamento, porém a foliação tectônica persistiu após o estágio  
7  
8 428 magmático no mesmo sentido e com o resfriamento do magma, gerando estruturas cada vez mais  
9  
10 429 rúpteis até equilibrar-se com a temperatura da encaixante.

#### 11 12 13 430 *4.2. Quanto à cristalização e caracterização do magma*

14  
15  
16 431 A partir da mineralogia ígnea preservada foi estabelecida a ordem de cristalização dos  
17  
18 432 minerais utilizando o critério de inclusões. Assim, os minerais acessórios apatita, zircão e a titanita-I  
19  
20 433 são os mais precoces, representando a fase *liquidus* do sistema, posteriormente a magnetita seguida da  
21  
22 434 paragênese máfica anfibólio, biotita e epidoto idiomórfico prontamente ocorre à cristalização da  
23  
24 435 paragênese félsica com o plagioclásio precedendo o K-feldspato e o quartzo. A alanita não foi  
25  
26 436 interpretada como parte da fase de cristalização precoce, pois esse mineral costuma concentrar  
27  
28 437 elementos incompatíveis presentes nas fases finais dos magmas ácidos, a titanita II, hematita e o  
29  
30 438 epidoto anédrico são considerados como processos de substituição da magnetita e a alanita. Como  
31  
32 439 fases tardias de transformações/alterações *subsolidus* têm-se a formação de mica branca e clorita.

33  
34  
35 440 A cristalização de fases minerais hidratadas como hornblenda e biotita, ainda em etapas  
36  
37 441 precoces de diferenciação magmática, indica que os magmas geradores do Granito Chasqueiro eram  
38  
39 442 subsaturados em água. A presença da associação titanita + magnetita + quartzo junto com a presença  
40  
41 443 marcante de alanita com coroa de epidoto indicam que o magma progenitor era relativamente oxidado  
42  
43 444 com um provável aumento na fugacidade de oxigênio durante a cristalização, com condições de mais  
44  
45 445 alta fugacidade nos estágios finais de cristalização sendo caracterizado pelas frequentes texturas de  
46  
47 446 esfenitização e de martitização das magnetitas.

48  
49  
50 447 A presença constante de mirmequitas nas rochas estudadas, notadamente desenvolvidas nas  
51  
52 448 bordas dos cristais maiores de plagioclásio em contato com feldspato potássico, processos de  
53  
54 449 saussuritização e cloritização refletem um volume de fluidos tardi-magmáticos ricos em voláteis  
55  
56 450 (Wones, 1989; Galindo *et al.*, 2012).

1  
2  
3  
4 451 Rosenberg & Stünitz (2003) em estudos experimentais em agregados de quartzo atestam que a  
5  
6 452 migração de limite de grão se dá a altas temperaturas, enquanto a recristalização por *bulging* ocorre a  
7  
8 453 baixas temperaturas de deformação, inferindo temperaturas de mais de 400°C para a migração de  
9  
10 454 limite de grão e o intervalo de 200-300°C para a recristalização por *bulging*. Stipp *et al.* (2002) relata  
11  
12 455 em estudos experimentais que o padrão tabuleiro de xadrez marca condições de altas temperaturas, da  
13  
14 456 ordem de aproximadamente 650°C. A presença de subgrãos nas bordas dos cristais de feldspatos e  
15  
16 457 recristalização por rotação de subgrão são feições deformacionais que requerem temperaturas elevadas  
17  
18 458 na ordem de 550°C, pois esses minerais possuem uma grande célula unitária e baixo coeficiente de  
19  
20 459 difusão (Tullis, 1982; Fitz Gerlad & Stunitz, 1993). Pelo fato da preservação de estruturas e texturas  
21  
22 460 típicas de rochas ígneas, como cristais de quartzo ígneo e ausência de minerais metamórficos, conclui-  
23  
24 461 se que esta deformação é de caráter magmático e que a mesma se dá ao longo da cristalização. Sendo  
25  
26 462 assim as microestruturas de mais alta temperatura estariam associadas aos estágios iniciais de  
27  
28 463 cristalização e resfriamento do magma, as de baixa temperatura estariam associadas aos estágios pós-  
29  
30 464 cristalização e resfriamento. Comparando este intervalo com o obtido a partir da saturação do zircônio  
31  
32 465 por meio do geotermômetro desenvolvido por Watson & Harrison (1983) levando em conta que o  
33  
34 466 zircão é uma das fases mais precoces na cristalização do magma, é natural que o geotermômetro do Zr  
35  
36 467 forneça temperaturas mais elevadas, as quais podem ser inferidas como a temperatura mínima do  
37  
38 468 *líquidus* estimando assim que o Granito Chasqueiro cristalizou ente 650 e 811°C.

41  
42 469 Estimativas barométricas para definir a profundidade de segregação das rochas estudadas são  
43  
44 470 semi-quantitativas e, conseqüentemente, os minerais que podem ser usados para cálculos  
45  
46 471 termobarométricos passam por consideráveis modificações, uma vez que a relação cristal-líquido  
47  
48 472 modifica-se através da crosta. Uma maneira de estimar os valores da profundidade de segregação dos  
49  
50 473 magmas é comparar o conteúdo normativo Q-Ab-Or dos granitos com o Q-Ab-Or mínimo para  
51  
52 474 diferentes pressões (Anderson & Cullers, 1978; Anderson & Bender, 1989). Apesar dos processos de  
53  
54 475 cristalização fracionada o conteúdo normativo Q-Ab-Or projetado das amostras do granito e dos  
55  
56 476 enclaves fornece uma aproximação preliminar sobre a profundidade de geração dos seus magmas  
57  
58 477 precursores, onde é possível deduzir que os magmas geradores do granito formaram-se a  
59  
60

1  
2  
3  
4 478 profundidades máximas de 7 kbar, correspondendo a 24 km de profundidade, enquanto parte dos  
5  
6 479 magmas máficos formaram-se a maiores profundidades, ultrapassando 10 kbar (35 km) conforme a  
7  
8 480 figura 21.  
9

10  
11 481 “inserir Figura 21”  
12  
13

#### 14 482 4.3. Quanto à idade de cristalização do Granito Chasqueiro

15  
16  
17 483 Dados geocronológicos obtidos neste trabalho pelo método U-Pb por LA-MC-ICP-MC  
18 484 sugerem uma idade de cristalização de  $574 \pm 3$  Ma (MSWD = 0,95) valor de idade compatível com  
19  
20 485 dados obtidos por Philipp *et al.* (2002) de  $575 \pm 8$  Ma (Pb- Pb no método TIMS). A idade do granito  
21  
22 486 indica um alojamento durante os estágios finais da Orogênese Brasileira/Pan-africana onde se destaca  
23  
24 487 o importante papel na geração e posicionamento do magmatismo granítico desempenhado pelas zonas  
25  
26 488 de cisalhamento transcorrentes dúcteis de alto ângulo. A correlação dos dados estruturais com os  
27  
28 489 dados geocronológicos obtidos e os disponíveis na literatura permitem estabelecer um alojamento  
29  
30 490 sincrônico do granito com as zonas de cisalhamento dúcteis regionais de alto ângulo (ZCAG e ZCAY)  
31  
32 491 Sin-D<sub>2</sub> de idade 610-570 Ma sugeridas por Philipp *et al.* (2002).  
33  
34  
35  
36  
37

#### 38 492 4.4. Geoquímica e ambiente tectônico

39  
40  
41 493 O estudo geoquímico classificou o magmatismo que originou o Granito Chasqueiro como de  
42  
43 494 caráter ácido, subalcalino, do tipo cálcio-alcálico de alto potássio, de natureza metaluminosa a  
44  
45 495 levemente peraluminosa. A tendência observada nos diagramas de *Harker* sugere que as rochas  
46  
47 496 estudadas são cogenéticas e representam a evolução de duas unidades magmáticas distintas.  
48

49  
50 497 Os padrões de elementos terras raras mostraram um padrão característicos de participação  
51  
52 498 crustal no processo de formação do magma granítico onde as rochas cálcico-alcálicas, são  
53  
54 499 enriquecidas em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados e  
55  
56 500 apresentam anomalias do Eu negativas sendo mais acentuadas no granito, moderadas nos termos  
57  
58 501 híbridos e baixas a positivas nos enclaves sugerindo a segregação e concentração localizada de  
59  
60

1  
2  
3  
4 502 plagioclásio nessas rochas. Os padrões obtidos nos diagramas multielementares mostram teores em  
5  
6 503 geral elevados para elementos do tipo LILE e elementos terras raras leves. As anomalias de Th e Ba  
7  
8 504 indicam a participação crustal no processo de geração dos magmas, enquanto que a presença de baixas  
9  
10 505 razões La/Nb em todas as amostras é uma feição sugestiva de magmatismo gerado em zonas de  
11  
12 506 subducção ou a partir de protólitos com esta característica como indicado por Thompson *et al.* (1984).

13  
14  
15 507 O ambiente tectônico pós-colisional é indicado para as rochas estudadas conforme o diagrama  
16  
17 508 discriminante de Pearce *et al.* (1984) onde é possível observar que as amostras se concentram no  
18  
19 509 limite entre os granitos sin-colisionais, granitos de arco vulcânico e intraplaca nesta posição ocorre a  
20  
21 510 superposição dos clássicos granitos pós-colisionais fanerozoicos do mundo descritos por Pearce *et al.*  
22  
23 511 (1984). Harris *et al.* (1986) enfatizam que o magmatismo tardi- a pós-colisional constitui suítes cálcio-  
24  
25 512 alcalino a alcalinas com características geoquímicas similares ao magmatismo de arco magmático  
26  
27 513 maduro e intraplaca, respectivamente. Para estes autores, as suítes cálcio-alcalinas são geradas a partir  
28  
29 514 da fusão da cunha do manto enriquecido em elementos de grande raio iônico (LIL), mas estes magmas  
30  
31 515 são provavelmente modificados por contaminação com fusões da crosta inferior que, por sua vez, são  
32  
33 516 o resultado do relaxamento termal desta porção da crosta.

#### 34 35 36 37 517 4.5. Quanto aos processos magmáticos

38  
39  
40 518 A fusão parcial de materiais crustais é um mecanismo viável para origem do Granito  
41  
42 519 Chasqueiro, conforme os dados isotópicos apresentados que fornecem informações sobre a natureza  
43  
44 520 das fontes magmáticas predominantemente crustais com participação de componente mantélico  
45  
46 521 subordinado. Dados geoquímicos como a grande variação nos conteúdos de  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  e dos padrões  
47  
48 522 terras raras corroboram com o processo de fusão crustal, os parâmetros sugeridos pela Villaseca *et al.*  
49  
50 523 (1998), os granitos com biotita e alanita (IP), são possíveis produtos de fusão parcial de sequências  
51  
52 524 ígneas quartzo-feldspática, fato esse que implicaria no aumento da peraluminosidade. As idades  
53  
54 525 modelo  $T_{DM}$  obtidas pelo método Lu- Hf de 1,2 a 1,5 Ga bem como os valores de negativos de  $\epsilon Hf_{(t)}$   
55  
56 526 e as idades interpretadas como de zircões herdados pelo método U- Pb sugerem fusão de uma crosta  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 527 Mesoproterozoica a Paleoproterozoica derivada de um protólito ígneo a base de quartzo, feldspato  
5  
6 528 como provável contribuição crustal do magma que originou o Granito Chasqueiro.

7  
8 529 As observações de campo, análises petrográficas, geoquímicas e isotópicas sugerem a  
9  
10 530 coexistência de magmas distintos onde feições indicativas de que diversos pulsos de magma máfico  
11  
12 531 (enclaves máficos) permaneceram como líquido até o emplacamento do granito hospedeiro  
13  
14 532 caracterizando um processo de *mingling* onde os magmas mantêm as suas identidades iniciais durante  
15  
16 533 a mistura. Já a incorporação mecânica de minerais do granito hospedeiro pelos enclaves máficos bem  
17  
18 534 como a interação dos enclaves com a hospedeira granítica formando rochas híbridas caracterizam  
19  
20 535 processos de mistura (*mixing*). Os diagramas de *Harker* mostram *trends* retilíneos e contínuos,  
21  
22 536 indicativos da existência de dois magmas de composições diferentes, reforçando a participação do  
23  
24 537 processo de mistura de magmas (Vieira Jr., 1990; Wilson, 1993).

25  
26 538 É proposto que os pulsos de injeção de magma máfico na câmara magmática granítica foram  
27  
28 539 multiepisódicos, pois são identificados enclaves em diferentes estágios de interação com a rocha  
29  
30 540 granítica, apresentando diferentes formas e granulação indicando terem sido posicionados em  
31  
32 541 diferentes estágios de cristalização do granito hospedeiro. Sendo assim os primeiros pulsos foram  
33  
34 542 misturando-se homogeneamente com magmas graníticos onde a taxa de cristalização era reduzida e  
35  
36 543 contraste de viscosidade entre ambos os magmas era menor gerando assim rochas híbridas félsicas.  
37  
38 544 Posteriormente os pulsos formariam misturas cada vez mais heterogêneas com o sistema magmático  
39  
40 545 hibridizado, já em estado avançado de cristalização formando assim os enclaves máficos.

41  
42 546 O processo mais importante para a evolução do Granito Chasqueiro é o fracionamento cristal-  
43  
44 547 líquido que é tipicamente significativo nos sistemas de geração e evolução de granitos do tipo cálcio  
45  
46 548 alcalinos devido às altas temperaturas e grande proporção de fundidos que caracterizam tais magmas  
47  
48 549 durante seu alojamento. No caso do Granito Chasqueiro, os diagramas geoquímicos apontam para o  
49  
50 550 processo de cristalização fracionada, constatação reforçada petrograficamente pela ocorrência zonação  
51  
52 551 composicional em cristais de feldspatos, zircão e alanita e também pelos padrões apresentados nos  
53  
54 552 diagramas do tipo *Harker* onde a correlação negativa do  $Al_2O_3$  e CaO apontam fracionamento de  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 553 feldspatos da mesma forma correlações negativas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , indicam que houve  
5  
6 554 fracionamento em minerais como a titanita, anfibólios, biotita e apatita.

7  
8 555 As variações de Rb, Sr e Ba são geralmente usadas para estimar o grau de fracionamento e  
9  
10 556 discorrer sobre os processos petrogenéticos que controlaram a evolução de um corpo (Hanson,  
11  
12 557 1989). Os teores de Rb tendem a crescer ao longo da evolução do Granito Chasqueiro mostrando  
13  
14 558 correlação positiva com  $\text{SiO}_2$  e um *trend* horizontalizado nos enclaves. Os conteúdos de Sr e Ba são  
15  
16 559 muito baixos no Granito Chasqueiro, apresentando um comportamento inverso ao do Rb. Segundo  
17  
18 560 Wedepohl (1974) em líquidos silicáticos o Sr se concentra fundamentalmente em plagioclásios de  
19  
20 561 composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico) e subordinadamente no feldspato  
21  
22 562 potássico. A separação do plagioclásio deve ter conduzido o empobrecimento de Sr no líquido e a  
23  
24 563 cristalização tardia do feldspato potássico deve ter contribuído para acentuar essa tendência. O mesmo  
25  
26 564 autor mostra que o Ba é admitido mais facilmente no feldspato potássico e nas micas, mas teores  
27  
28 565 significativos podem ocorrer em plagioclásios. No granito a diminuição dos teores de Ba está  
29  
30 566 provavelmente ligado ao fracionamento dos feldspatos e biotita que consumiram em diferentes  
31  
32 567 proporções a maior parte do Ba existente de tal modo que, quando da cristalização do granito o líquido  
33  
34 568 magmático estava muito empobrecido neste elemento. O enriquecimento de Y em relação ao conteúdo  
35  
36 569 de sílica encontrado no granito estudado sugere que fases máficas ricas em Y contribuíram para a  
37  
38 570 elevada concentração desse elemento nas fases líquidas do fundido, como sugerido por Sylvester  
39  
40 571 (1989). Assim é possível sugerir que fontes relativamente enriquecidas em fases máficas portadoras de  
41  
42 572 Y podem ter contribuído para o elevado conteúdo desse elemento bem como o baixo fracionamento de  
43  
44 573 fases ricas em Y, como hornblenda, também foi fundamental para manter a concentração elevada de Y  
45  
46 574 no líquido. O sistemático decréscimo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com o aumento de  $\text{SiO}_2$  sugere que o fracionamento  
47  
48 575 dos silicatos ferromagnesianos primários também foi fator importante no desenvolvimento da variação  
49  
50 576 composicional do granito.

51  
52  
53 577 O padrão dos elementos terras raras observado para as rochas estudadas mostra uma anomalia  
54  
55 578 positiva em relação aos elementos terras raras leves e uma nítida anomalia negativa de Eu. O  
56  
57 579 enriquecimento em terras raras leves pode ser um reflexo da onipresença de titanita e alanita no  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 580 granito, ou alternativamente, ao fracionamento de minerais ricos em terras raras pesados, como o  
5  
6 581 zircão. O empobrecimento em Eu sugere o fracionamento de feldspatos com a diferenciação  
7  
8 582 magmática. Os espectros multielementares do Granito Chasqueiro são caracterizados por um  
9  
10 583 enriquecimento em relação à composição do condrito, exceto em alguns elementos que apresentam  
11  
12 584 anomalias negativas como Sr, P, Ti e Zr possivelmente condizentes com o fracionamento dos  
13  
14 585 feldspatos, apatita, titanita e zircão respectivamente.

#### 18 586 4.6. Quanto ao modelo de evolução petrogenética

20  
21 587 Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam que o alojamento do granito foi  
22  
23 588 controlado pelas zonas de cisalhamento transcorrentes dúcteis de alto ângulo sin-D2 que o bordejam  
24  
25 589 exercendo controle tectônico efetivo na geração, ascensão e colocação do Granito Chasqueiro, abrindo  
26  
27 590 espaço e diminuindo a pressão confinante sugerindo assim, um enraizamento profundo para essas  
28  
29 591 estruturas de modo a facilitar a fusão do manto superior originando o magmatismo básico (máfico).  
30  
31 592 Durante a ascensão dos magmas básicos devido as suas altas temperaturas fundiram a base da crosta  
32  
33 593 inferior, provocando a segregação dos líquidos graníticos. A tectônica exercida pelas zonas de  
34  
35 594 cisalhamentos facilitou o processo de mistura de magmas, promovendo a homogeneização do sistema  
36  
37 595 que continuou evoluindo por meio da cristalização fracionada.

38  
39  
40 596 De acordo com Brandon *et al.* (1996) a dissolução do epidoto é um processo que ocorre de  
41  
42 597 forma relativamente rápida assim, considerando-se a preservação desse mineral na rocha granítica  
43  
44 598 alojada na crosta superior pode ser admitida uma rápida colocação do magma ao longo de zonas de  
45  
46 599 cisalhamento. Outro fato que indica uma reduzida residência crustal são os valores de  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  próximos  
47  
48 600 à zero. A partir dos dados expostos, foi proposto um modelo na figura 21 condizente com uma etapa  
49  
50 601 de relaxamento crustal com geração de falhamentos em ambiente pós-colisional.

52  
53 602 “inserir Figura 21”

54  
55 603

56  
57 604



605 **5. CONCLUSÕES**

606 O Granito Chasqueiro varia de sienito a monzogranitos e possui um caráter ácido,  
607 subalcalino, do tipo cálcio-alcalino de alto potássio, de natureza metaluminosa a levemente  
608 peraluminosa que teve sua cristalização a  $574 \pm 3$  Ma com alojamento sincrônico a zona de  
609 cisalhamento dúctil regional de alto ângulo Arroio Grande relacionada ao evento tectônico D2. O  
610 granito possui relações de mistura homogênea e heterogênea com magmas básicos contemporâneos. A  
611 verificação de diferentes tipos de mistura sugere que a participação do componente básico foi  
612 importante e contínua durante todo o processo de cristalização e posicionamento do granito. Todavia  
613 algumas características como enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos  
614 elementos terras raras pesados, aumento da peraluminosidade e valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  negativos próximos a  
615 0, sugerem para o granito uma geração a partir de uma fonte predominantemente crustal com participação  
616 mantélica subordinada. O principal mecanismo de evolução é o processo de cristalização fracionada,  
617 fato que pode ser observado nos diagramas geoquímicos e pela presença de cristais zonados de zircão,  
618 plagioclásio, feldspato potássico e alanita, denotando a presença desse processo desde o começo da  
619 cristalização do magma granítico.

620 **Agradecimentos**

621 Aos revisores pelas críticas e sugestões na revisão do manuscrito. Ao PPGGeo/UFRGS, FAPERGS e  
622 CNPq pelo apoio de infraestrutura e financiamento do projeto.

623

624 **Referências**

625 Anderson, J.L. & Bender, E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in  
626 the southwestern United States of America. *Lithos*, 1/7/705, 23:19-52.

627

628 Anderson, J.L. & Cullers, R.L. 1978. Geochemistry and evolution of the Wolf River Batholith, a Late  
629 Precambrian rapakivi massif in North Wisconsin, USA. *Precambrian Research*, 7:287-324.

630

- 1  
2  
3  
4 631 Babinski, M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A., Silva, L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd  
5  
6 632 geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal*  
7  
8 633 *of South American Earth Sciences*, 10(3/4): 263-274.  
9  
10 634  
11  
12 635 Batchelor, R. A. & Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using  
13  
14 636 multicationic parameters. *Chemical Geology* V. 48, 43-55.  
15  
16 637  
17  
18 638 Brandon, A.D., Creaser, R.A., Chacko, T. 1996. Constraints on rates of granitic magma transport from  
19  
20 639 epidote dissolution kinetics. *Science*, 271: 1845-1848  
21  
22 640  
23  
24 641 Bertotti, A. L., Chemale Jr., F., Kawashita, K. 2013. Lu-Hf em Zircão por LA-ICP-MS: Aplicação em  
25  
26 642 Gabro do Ofiolito de Aburrá, Colômbia. *Pesquisas em Geociências*, 40(2):117-127.  
27  
28 643  
29  
30 644 Bitencourt, M.F.A.S & Nardi, L.V.S. 1993. Late to Post-collisional Brasiliano granitic magmatism in  
31  
32 645 southern most Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65:3-16.  
33  
34 646  
35  
36 647 Bitencourt, M. F.A. S. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the  
37  
38 648 Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):186-189.  
39  
40 649  
41  
42 650 Boynton, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: P. Henderson.  
43  
44 651 *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, p 63-114.  
45  
46 652  
47  
48 653 Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F.  
49  
50 654 *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, V. 1, p.13-52.  
51  
52 655  
53  
54 656 Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O., Kinny, P. 2003. *Atlas of Zircon Textures*. Reviews in  
55  
56 657 *Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469-500.  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4 658  
5  
6 659 Costa, A.F.U. 1997. *Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-*  
7  
8 660  *cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre, 291p. Tese de Doutorado em Geociências,  
9  
10 661 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
11  
12 662  
13  
14 663 Cox, K. G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks* George Allen &  
15  
16 664 Unwin. London, 450 pp.  
17  
18 665  
19  
20 666 De La Roche., H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and  
21  
22 667 plutonic rocks using R1 R2- diagram and major element analyses – its relationships with current  
23  
24 668 nomenclature. *Chemical Geology*, V. 29, 183–210.  
25  
26 669  
27  
28 670 Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer,  
29  
30 671 G., Ramgrab, G. E., Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo  
31  
32 672 Sul-Rio-Grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira*  
33  
34 673  *de Geociências*, 25(4): 375-384.  
35  
36 674  
37  
38 675 Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C. 1990. Esboço estrutural de parte do Batólito Pelotas –  
39  
40 676 Região de Quitéria-Capivarita. *Acta Geológica Leopoldensia*, 13 (30): 117-138.  
41  
42 677  
43  
44 678 Figueiredo M.C.H., Fragoso Cesar, A.R.S., Kronberg, B.I. 1990. Litogeoquímica das principais  
45  
46 679 unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE*  
47  
48 680  *GEOLÓGIA*, 36. Natal. *Anais...*, Natal: SBG, 1990, v. 4, p. 1623-1738.  
49  
50 681  
51  
52 682 Fontana, E., Nardi, L.V.S., Bitencourt, M.F. A. S., Knijnik, D.B. 2012. Caracterização geoquímica e  
53  
54 683 petrogenética dos Granitoides Arroio Divisa, região de Quitéria, Rio Grande do Sul. *Geologia USP*,  
55  
56 684 12(3): 33-56.  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4 685

5  
6 686 Fragoso César, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr., E., Faccini, U.F. 1986. O Batólito Pelotas  
7  
8 687 (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO*  
9  
10 688 BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. *Anais...Goiânia, SBG, V.3, p.1322-1343.*

11 689

12  
13  
14 690 Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., Frost, C. D. A. 2001.

15  
16 691 Geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, V. 42, n. 11, p. 2033-2048.

17 692

18  
19  
20 693 Galindo, A.C., Silva, F.C.A., Souza, Z.S. 2012. Química Mineral de leucomicrogranitos

21  
22 694 Neoproterozoicos do Domínio Rio Grande do Norte. *Geochimica Brasiliensis*, 26: 19-28.

23 695

24  
25  
26 696 Gastal, M. C. P. & Lafon, J. M., 1998. Gênese e evolução dos granitoides metaluminosos de afinidade

27  
28 697 alcalina da porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb.

29  
30 698 *Revista Brasileira de Geociências*, 28(1), 11-28

31 699

32  
33  
34 700 Gill, R. 2010. Granitic rocks. In. (Ed). *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Oxford: Wiley-

35  
36 701 Blackwell, p. 241-290.

37 702

38  
39  
40 703 Gomes, M. E. B. 1990. *Petrologia do Granito Arroio Moinho (Canguçu, RS)- Geoquímica e*

41  
42 704 *Deformação*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências,

43  
44 705 Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 209p.

45 706

46  
47  
48 707 Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus, M.V.D. 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio

49  
50 708 Grande do Sul. *In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre,

51  
52 709 edição CIGO/UFRGS, p.79-118.

53 710

54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4 711 Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone  
5  
6 712 magmatism. – In: Coward, M. P. – Ries, A. C. (eds): *Collision Tectonics*, 67–81, Geological Society  
7  
8 713 Special Publications 19. London  
9  
10 714  
11  
12 715 Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C., Trouw, R.A.J. 2004. A Província  
13  
14 716 Mantiqueira. In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). *O*  
15  
16 717 *desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando*  
17  
18 718 *Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, ed. Beca, p.203-234.  
19  
20 719  
21  
22 720 Hirth, G. & Tullis, J. 1992. Dislocation creep regimes in quartz aggregates. *Journal of Structural*  
23  
24 721 *Geology*, 14:145-159.  
25  
26 722  
27  
28 723 Irvine, T. N. & Baragar, W. R. 1971. A guide to the chemical classification of the common igneous  
29  
30 724 rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.  
31  
32 725  
33  
34 726 Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock Geochemical Data in  
35  
36 727 Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCD kit). *Journal of Petrology*, 47(6),  
37  
38 728 p. 1255-1259.  
39  
40 729  
41  
42 730 Le Maitre, R.W. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Oxford,  
43  
44 731 Blackwell, 193p.  
45  
46 732  
47  
48 733 Ludwig, K.R. 2012. ISOPLOT 3.75, a geochronological toolkit for Microsoft Excel: *Berkeley*  
49  
50 734 *Geochronology Center Special Publication*, 75p.  
51  
52 735  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

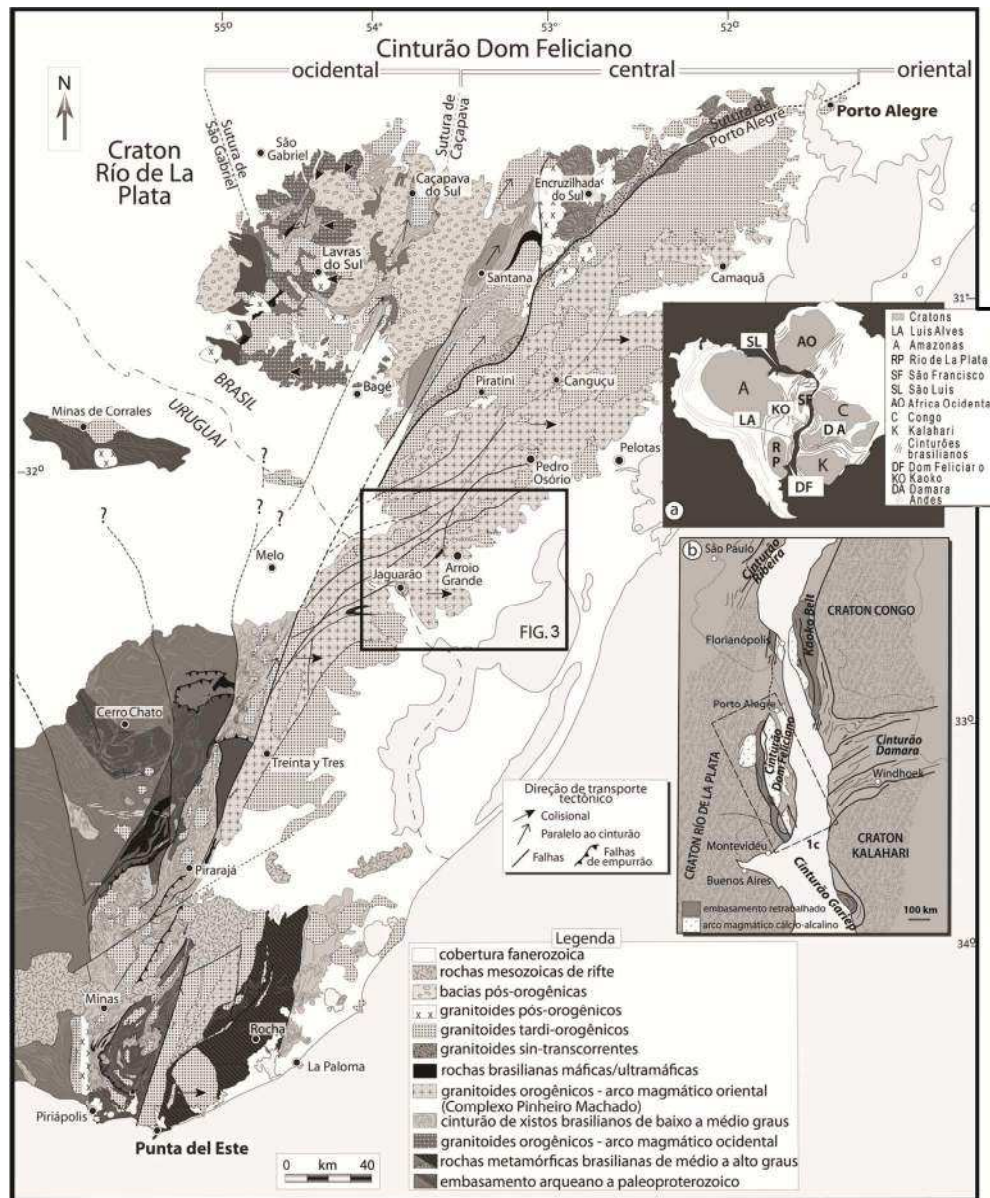
- 1  
2  
3  
4 736 Machado, R., Philipp, R.P., Mello, F. 1995. Reconhecimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto  
5  
6 737 ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito Pelotas, RS. V SIMPÓSIO  
7  
8 738 NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, Gramado, *Boletim de Resumos Expandidos*, p.52-53.  
9  
10 739  
11  
12 740 Maniar, P.D. & Piccoli, P.M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America*  
13  
14 741 *Bulletin*. V. 101,p. 635-643, 1989.  
15  
16 742  
17  
18 743 Masquelin, H., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Porcher, C.C., McNaughton, N.J. 2012. The Cerro Olivo  
19  
20 744 Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International Geology*  
21  
22 745 *Review*, 54: 1161- 1183.  
23  
24 746  
25  
26 747 Passchier, C.W. & Trouw, R.A 2005. *Microtectonics*. Berlin: Springer, 366 p.  
27  
28 748  
29  
30 749 Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the  
31  
32 750 tectonic interpretation of granitic rocks: *Journal of Petrology*, V. 25, p. 956-983.  
33  
34 751  
35  
36 752 Peccerillo, A. & Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the  
37  
38 753 Kastamonu area, Northern Turkey. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63–81.  
39  
40 754  
41  
42 755 Phillips, E.R. 1980. On Polygenetic Myrmekyte. *Geological Magazine*.177 (1): 29-36p.  
43  
44 756  
45  
46 757 Philipp R.P. 1990. *Geologia e petroquímica dos granitoides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS*.  
47  
48 758 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Dissertação de  
49  
50 759 Mestrado, 231p.  
51  
52 760  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4 761 Philipp R.P. 1991. Geologia dos granitoides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS: uma contribuição  
5  
6 762 ao reconhecimento estratigráfico do Setor Oriental do Escudo Sul-Riograndense. *Acta Geológica.*  
7  
8 763 *Leopoldinense*, V. XIV, 33:71-128.  
9  
10 764  
11  
12 765 Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São  
13  
14 766 Paulo, 255p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.  
15  
16 767  
17  
18 768 Philipp, R.P. & Machado, R. 2002. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados  
19  
20 769 nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas*, 29(1): 43-57.  
21  
22 770  
23  
24 771 Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S., Lafon, J.M. 2002. O magmatismo granítico  
25  
26 772 neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional.  
27  
28 773 *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.  
29  
30 774  
31  
32 775 Ramos, R.C. 2011. *Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS*.  
33  
34 776 Porto Alegre, 94p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências,  
35  
36 777 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
37  
38 778  
39  
40 779 Ramos, R.C. & Koester, E. 2012. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio  
41  
42 780 Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41(1):25-38.  
43  
44 781  
45  
46 782 Rosenberg, C.L. & Stünitz, H. 2003. Deformation and recrystallization of plagioclase along  
47  
48 783 temperature gradient: an example from the Bergell tonalite. *Journal of Structural Geology*, 25, 389-  
49  
50 784 408.  
51  
52 785  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4 786 Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner R., Schmid, S.M. 2002. The eastern Tonale fault zone: a “natural  
5  
6 787 laboratory for crystal plastic deformation of quartz over temperature range from 250 to 700°C. *Journal*  
7  
8 788 *of Structural Geology*, 24, 1861-1884. 65  
9  
10 789  
11  
12 790 Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews* 4, 1–33.  
13  
14 791  
15  
16 792 Thompson, R.N. 1982. Magmatism of the British Tertiary province. *Scottish Journal of Geology*, 18,  
17  
18 793 49-107.  
19  
20 794  
21  
22 795 Tullis, J. 1983. Deformation of feldspars. In: Ribbc, P.H. (Ed.), *Feldspar Mineralogy*. Miner. Sot.  
23  
24 796 Am., Washington, DC, pp. 297–323.  
25  
26 797  
27  
28 798 Tullis, J. & Yund, R.A 1991. Diffusion creep in feldspar aggregates: experimental evidence. *Journal*  
29  
30 799 *of Structural Geology*, 13:987-1000.  
31  
32 800  
33  
34 801 UFRGS, 1972. *Geologia das Folhas Arroio Grande, Erval, Basílio e Cerro Chato*. Porto Alegre.  
35  
36 802 Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade  
37  
38 803 Federal do Rio Grande do Sul.  
39  
40 804  
41  
42 805 Trainini, M.D.R, 1987. Projeto Mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais,  
43  
44 806 *Folhas SI-22Jaguarão-Rio Grande. Escala 1:250,000*, Brasil, Convênio DNPITI CPRM,  
45  
46 807 2V.  
47  
48 808  
49  
50 809 Vasquez, M.L. 1997. *Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul- RS*.  
51  
52 810 Porto Alegre, 195 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio  
53  
54 811 Grande do Sul.  
55  
56 812  
57  
58  
59  
60



- 1  
2  
3  
4 813 Vieira Jr., N. 1990. Processos Magmáticos: II- Métodos de Quantificação. *Pesquisas Geociências*,  
5  
6 814 Porto Alegre. v. 17, nº 1/2, p. 53-61.  
7  
8 815  
9  
10 816 Villaseca, C., Barbero, L., Herreros, V., 1998. A re-examination of the typology of peraluminous  
11  
12 817 Granite types in intracontinental orogenic belts. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth*  
13  
14 818 *Sciences*, 89, 113-119.  
15  
16 819  
17  
18 820 Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics  
19  
20 821 discrimination and petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 95, 407e419.  
21  
22 822  
23  
24 823 Watson, E.B. & Harrison, T. M. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a  
25  
26 824 variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, V. 64, p. 295-304, 1983.  
27  
28 825  
29  
30 826 Wedepohl, K.H., 1974. *Handbook of Geochemistry*. Springer, Berlin.92p.  
31  
32 827  
33  
34 828 White W. M. 2013. *Geochemistry*. 668pp  
35  
36 829  
37  
38 830 Wildner, W., Ramgrab, G.E.; Lopez, R. da C., Iglesias, C.M. da F. *Mapa Geológico do Estado do Rio*  
39  
40 831 *Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 mapa color., 110 x 166 cm. Escala 1:750.000. (Projeto  
41  
42 832 Mapas Estaduais – PME). CD-ROM.  
43  
44 833  
45  
46 834 Winter, J. D. 2001. *An introduction to igneous and metamorphic petrology* (Vol. 697). Prentice Hall,  
47  
48 835 2010 - Science - 702 pg.  
49  
50 836  
51  
52 837 Wones, D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks.  
53  
54 838 *American Mineralogist*, 74: 744-749  
55  
56  
57  
58  
59  
60



46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

Figura 1. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) Mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) Localização do Cinturão Dom Feliciano e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana. (Modificado de Masquelin et al., 2012). 407x487mm (96 x 96 DPI)

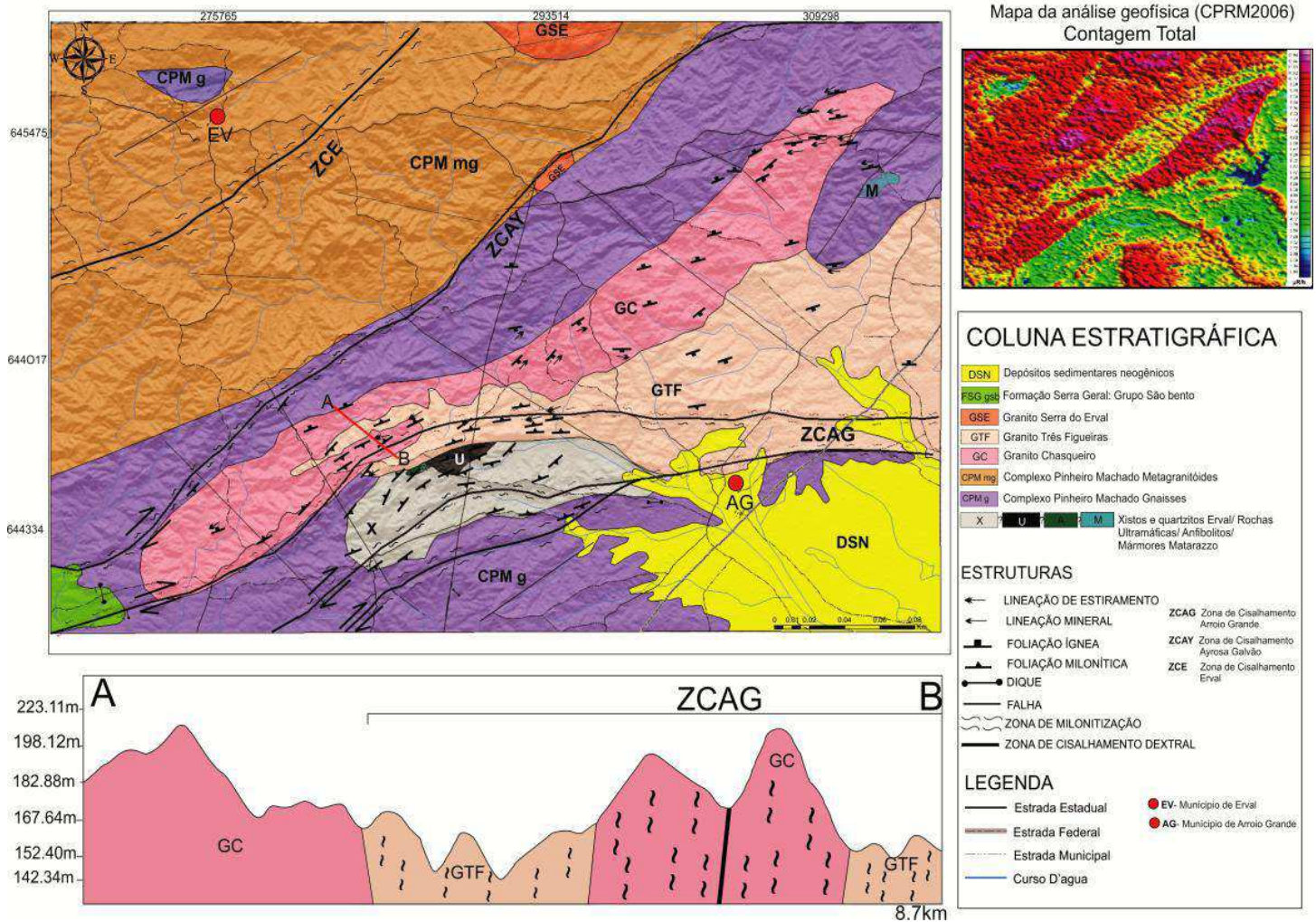


Figura 2. Mapa geológico da região de Arroio Grande (modificado de Wildner et al., 2005 e Philipp, 1998), seção geológica esquemática A-B com exagero vertical 2 x 1 e mapa geofísico de contagem total (CT). 295x205mm (300 x 300 DPI)

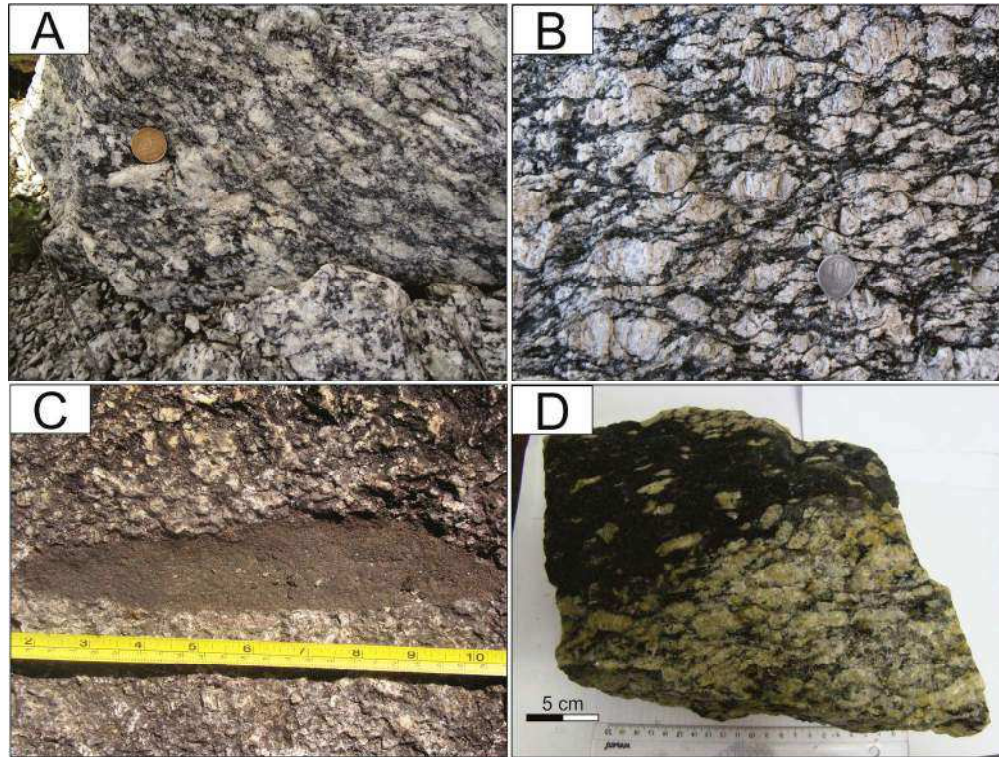


Figura 3. A) Granito Chasqueiro com foliação magmática marcada pela orientação de forma dos K-feldspatos hipidiomórficos; B) Granito Chasqueiro com foliação milonítica marcada pelos cristais de K-feldspatos com formato de augen e minerais máficos da matriz; C) Enclave microgranular caracterizado como um quartzo diorito equigranular de textura fina de forma elipsoidal e contatos retos segundo a foliação do granito hospedeiro caracterizando um processo de mingling ; D) Amostra de mão com megacristais de K-feldspatos capturados mecanicamente caracterizando um processo de mixing  
177x134mm (300 x 300 DPI)

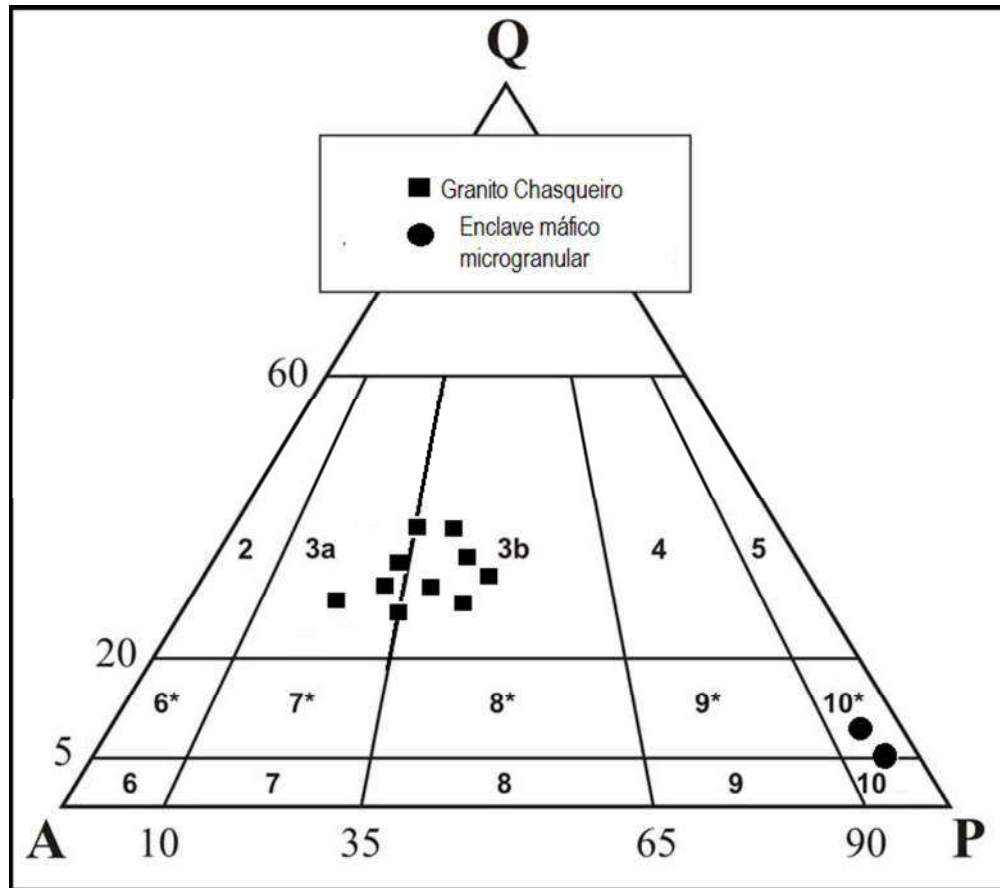


Figura 4. Diagrama QAP de Streckeisen (1976) mostrando a classificação modal das amostras.  
 Q = quartzo, A = feldspato alcalino e albita ( $An < 5\%$ ) e P = plagioclásio ( $An > 5\%$ ).

196x173mm (96 x 96 DPI)

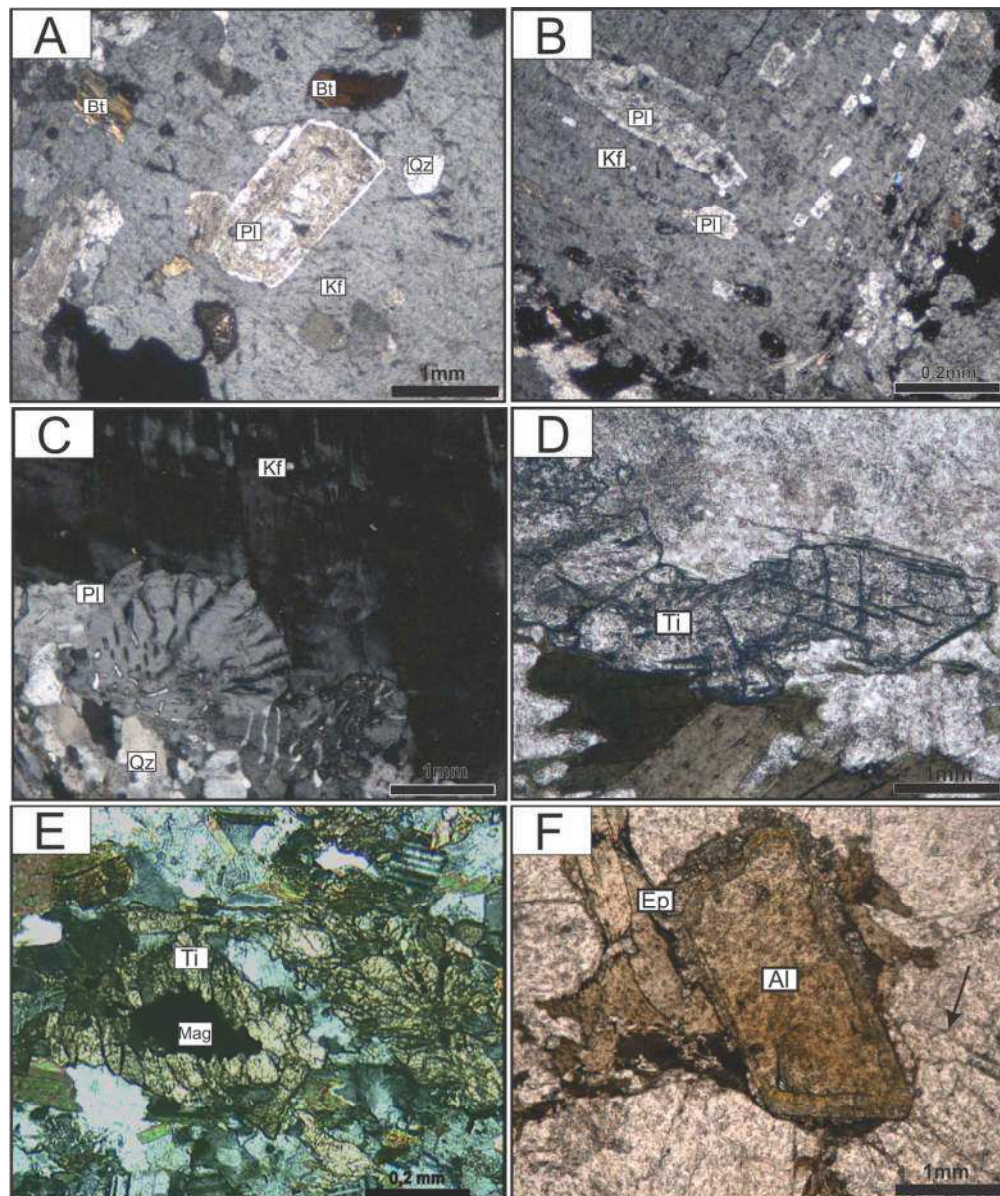
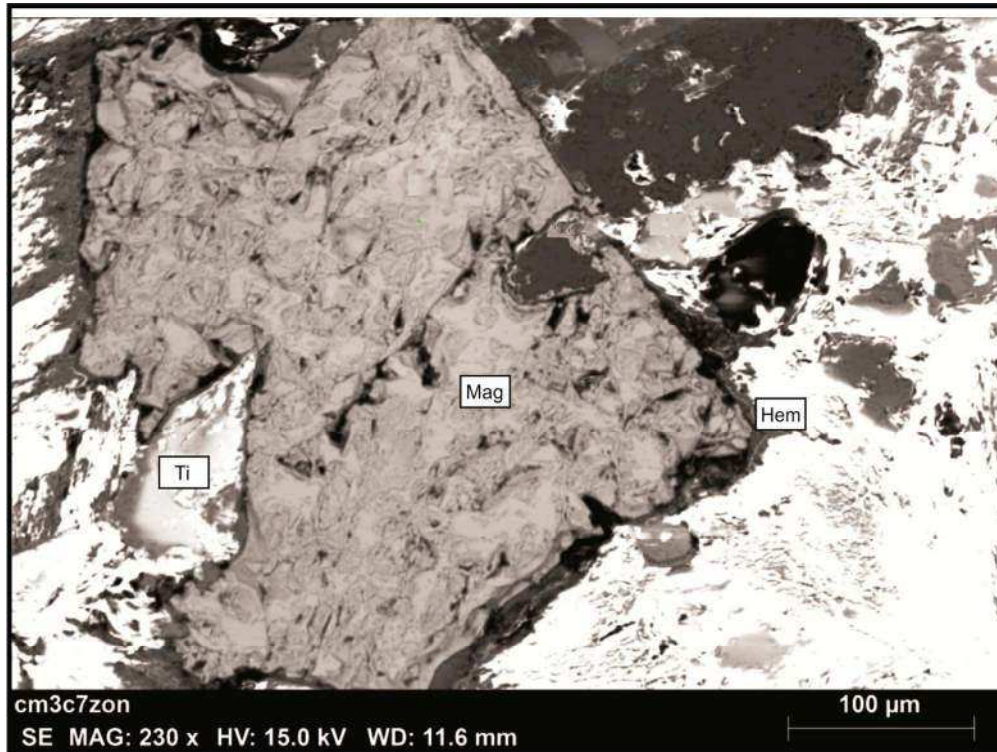


Figura 5. Fotomicrografias do Granito Chasqueiro: A) aspecto geral da lâmina CH1 em nicóis cruzados e aumento de 5 x mostrando as inclusões de biotita (Bt), quartzo (Qt) e plagioclásio (Pl) em cristal de K-feldspato (Kf) ; B) Zonação em cristal de Kf evidenciada pelas inclusões de Pl na lâmina CH-1, nicóis cruzados e aumento de 2,5 x; C) Textura mirmequítica na interface de contato do Pl com fenocristais de Kf , nicóis cruzados e aumento de 5x; D) Cristal subédrico de titanita (Ti), luz natural e aumento de 5 x; E) Magnetita (Mag) circundado por cristais de titanita (Ti) caracterizando uma textura coronítica, nicóis cruzados e aumento de 2,5 x; F) Cristal de alanita (Al) circundado por epidoto (Ep) caracterizando uma textura coronítica, seta preta indicando fraturas radiais, luz natural e aumento de 5 x.  
179x214mm (200 x 200 DPI)



32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

Figura 6. Imagem de elétrons retro-espalhados obtidas em microscópio eletrônico de varredura mostrando as análises de EDS das principais fases minerais identificadas.  
103x77mm (300 x 300 DPI)

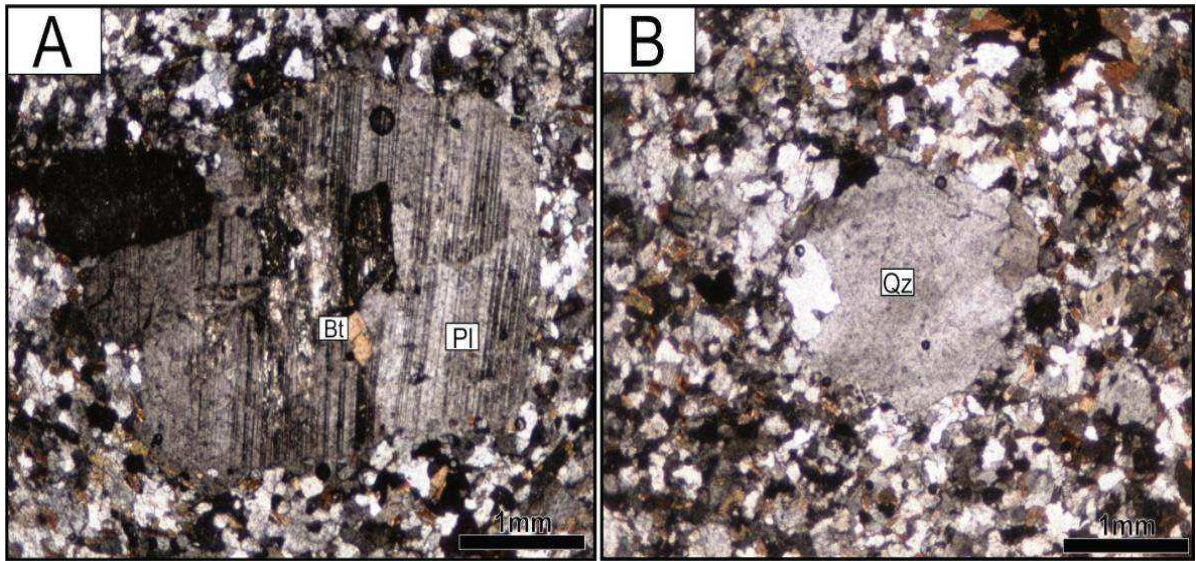


Figura 7. A) Fotomicrografia da amostra CH32b mostrando um fenocristal de plagioclásio (Pl) arredondado com formação de subgão e inclusão de biotita (bt), em nicóis cruzados com aumento de 5x; B) Fotomicrografia da amostra CH1M mostrando um fenocristal de quartzo (Qt) arredondado com formação de subgãos, em nicóis cruzados com aumento 5x.

202x97mm (300 x 300 DPI)



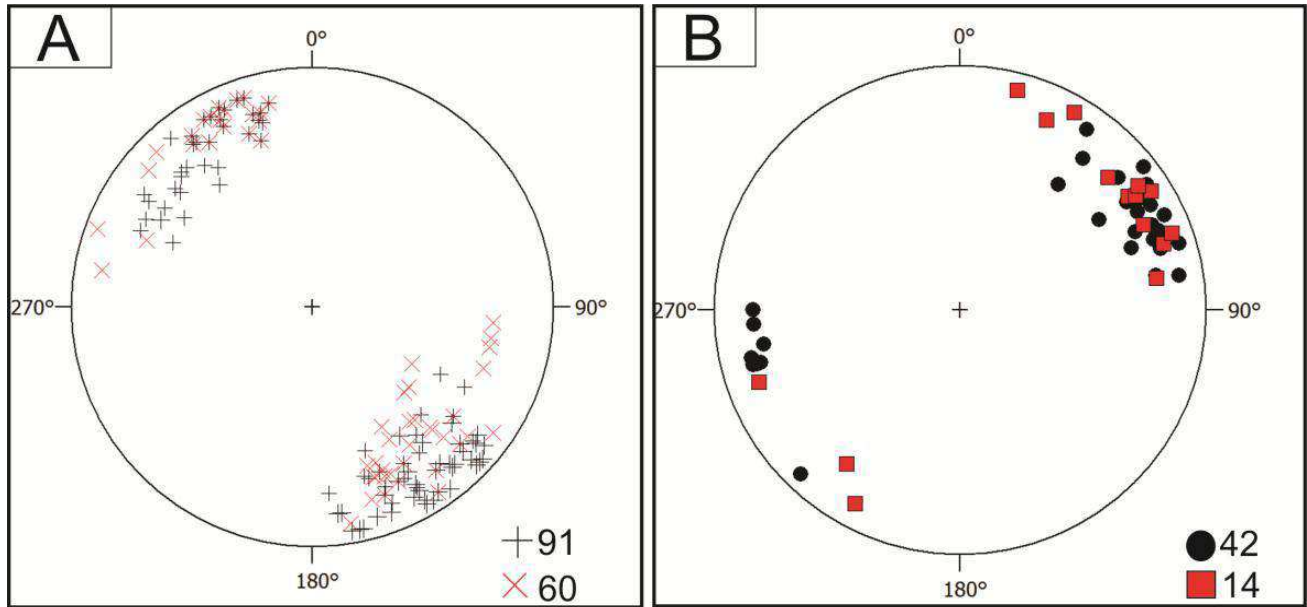


Figura 8. Representações estereográficas (hemisfério inferior) das estruturas do Granito Chasqueiro. A) cruz - pólos da foliação magmática, X - pólos da foliação tectônica; B) Circulo - lineação mineral, quadrado - lineação de estiramento.

151x113mm (300 x 300 DPI)

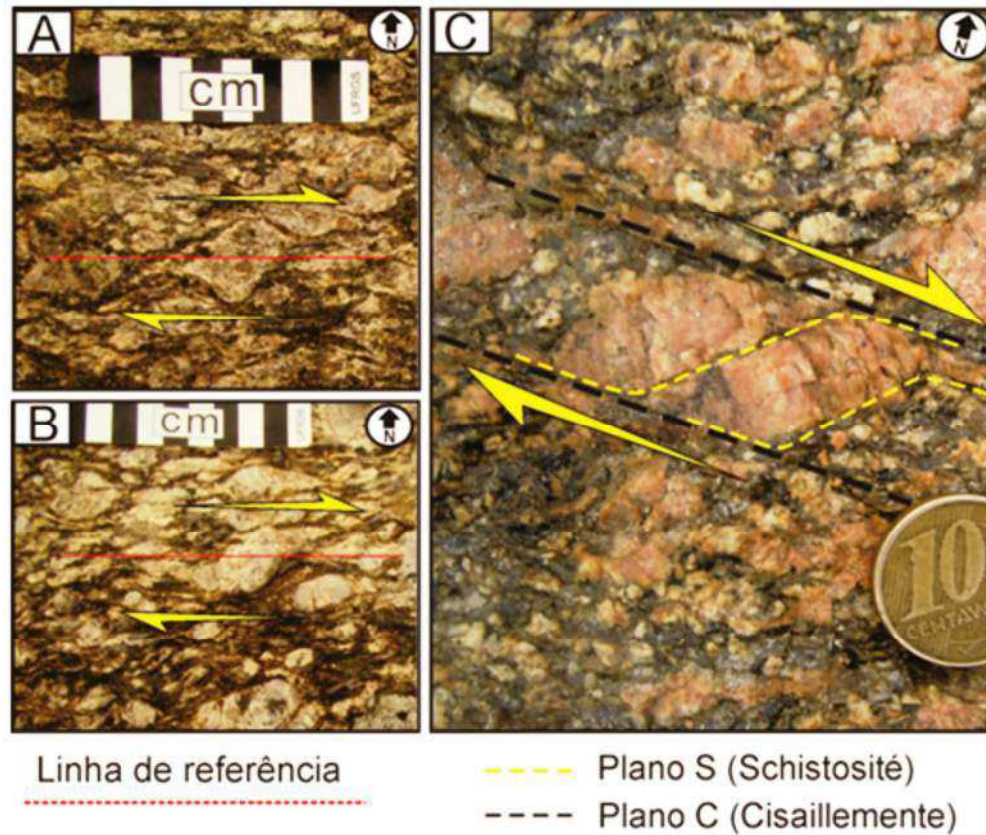


Figura 9. A) e B) detalhe dos megacristais de K-feldspatos com caudas de recristalização assimétricas indicando um movimento dextral para os esforços tectônicos; C) Detalhe do par S-C indicando um movimento dextral para os esforços tectônicos.  
 140x119mm (300 x 300 DPI)

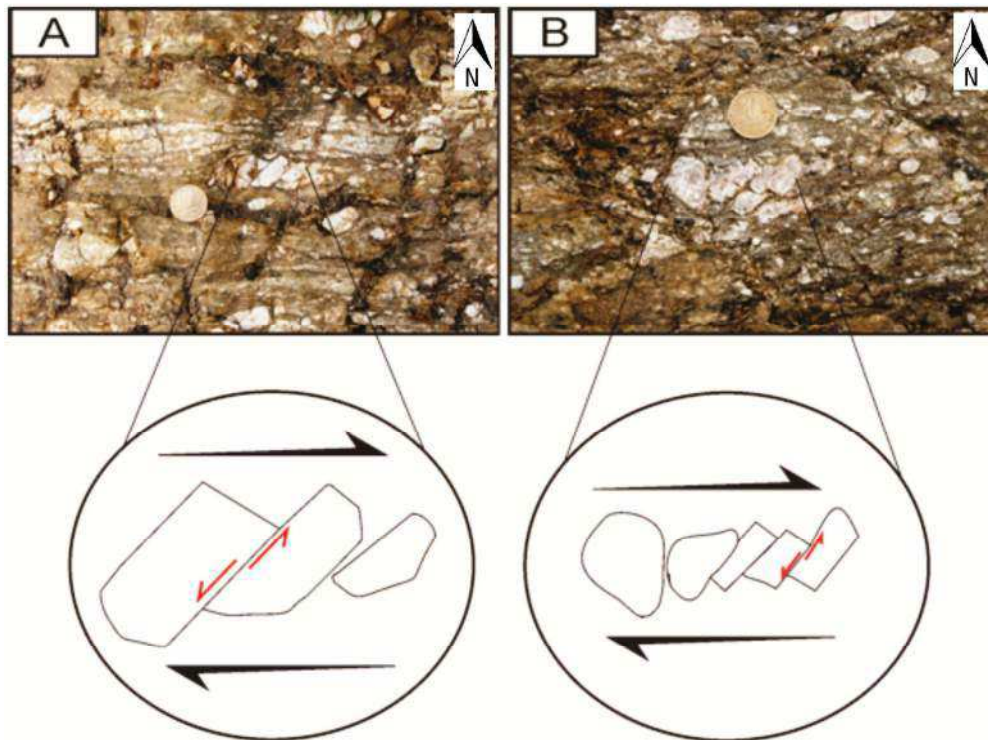


Figura 10. Detalhe do comportamento rúptil de alguns fenocristais de K-feldspatos perante aos esforços tectônicos.

151x113mm (300 x 300 DPI)

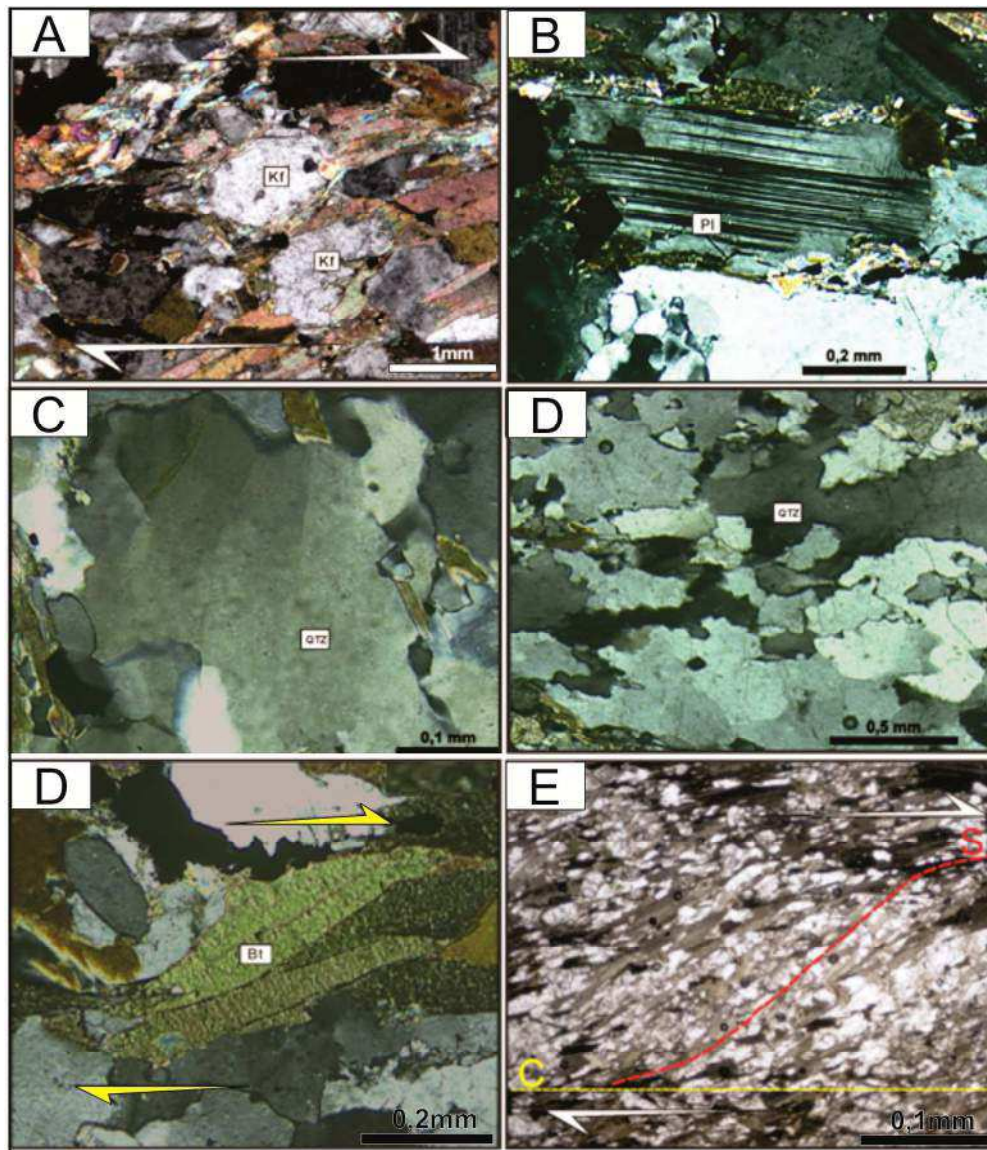


Figura 11. Fotomicrografia da amostra PF 55 A) detalhe dos augen de K-feldspatos (Kf) com caudas de recristalização assimétricas, em nicóis cruzados com aumento de 5x; B) detalhe de um cristal de plagioclásio (Pl) com maclas de deformação com terminações afuniladas e encurvadas, em nicóis cruzados com aumento de 5x; C) detalhe de um cristal de quartzo (Qt) com extinção do tipo tabuleiro de xadrez, em nicóis cruzados com aumento de 2,5x; D) detalhe da intensa recristalização por bulging e migração de limite de grão nos cristais da matriz, em nicóis cruzados com aumento de 2,5x; E) detalhe do agregado de biotita (Bt) com forma alongada (micafish), em nicóis cruzados com aumento de 5x; F) detalhe do par S-C em microescala, em luz natural com aumento de 2,5x.  
183x210mm (300 x 300 DPI)

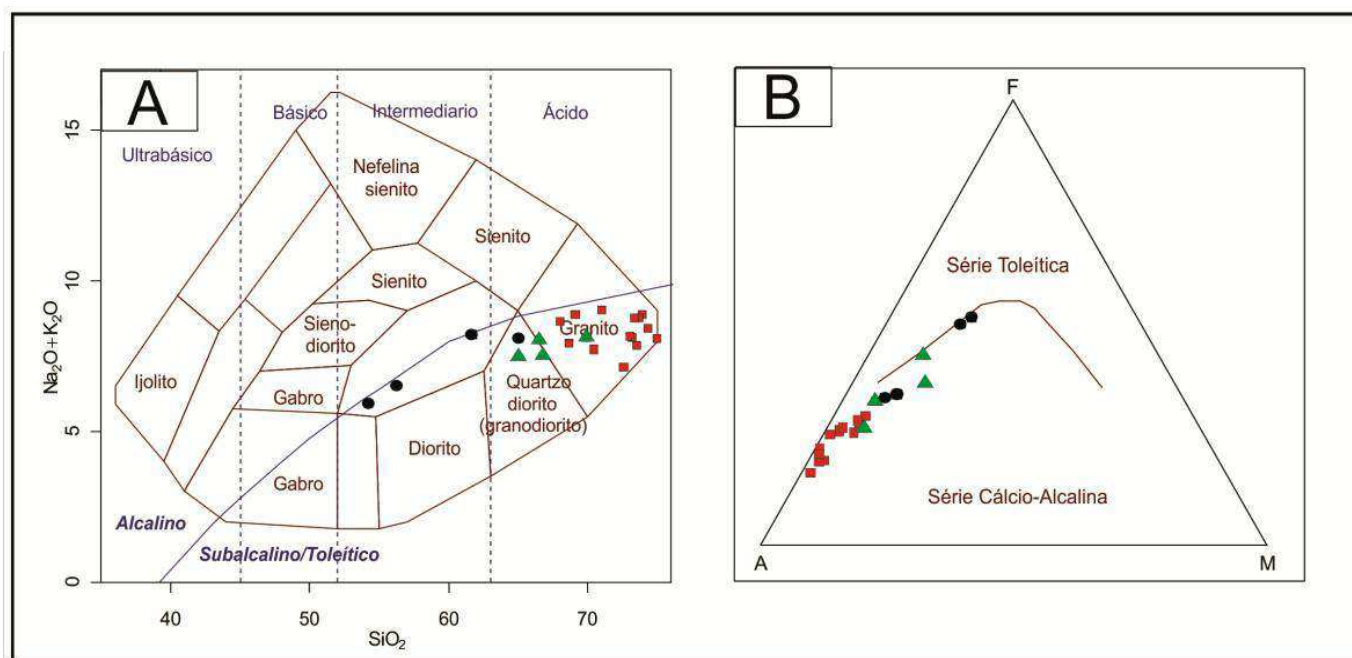


Figura 12. A) Distribuição das rochas estudadas no diagrama de classificação para rochas plutônicas TAS (Cox et al., 1979); B) Distribuição das rochas estudadas no diagrama discriminatório AFM modificado de Irvine & Baragar (1971). Quadrados correspondem às amostras do granito, triângulos correspondem aos termos híbridos e os círculos aos enclaves máficos.

202x97mm (300 x 300 DPI)

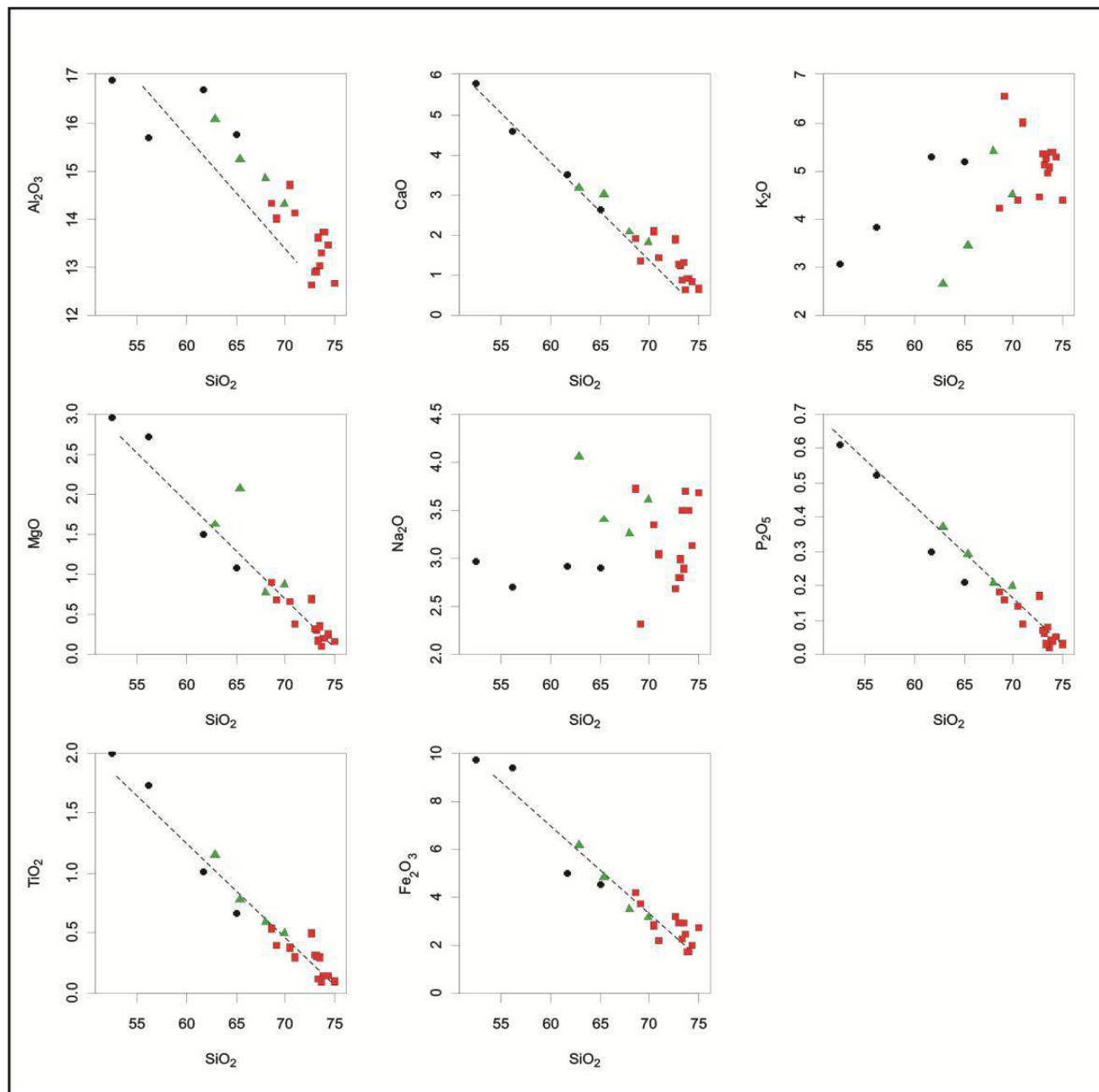


Figura 13. Distribuição das rochas estudadas nos diagramas binários (Harker) mostrando o comportamento dos elementos maiores em função de SiO<sub>2</sub>. Legenda conforme a figura 12  
206x213mm (150 x 150 DPI)

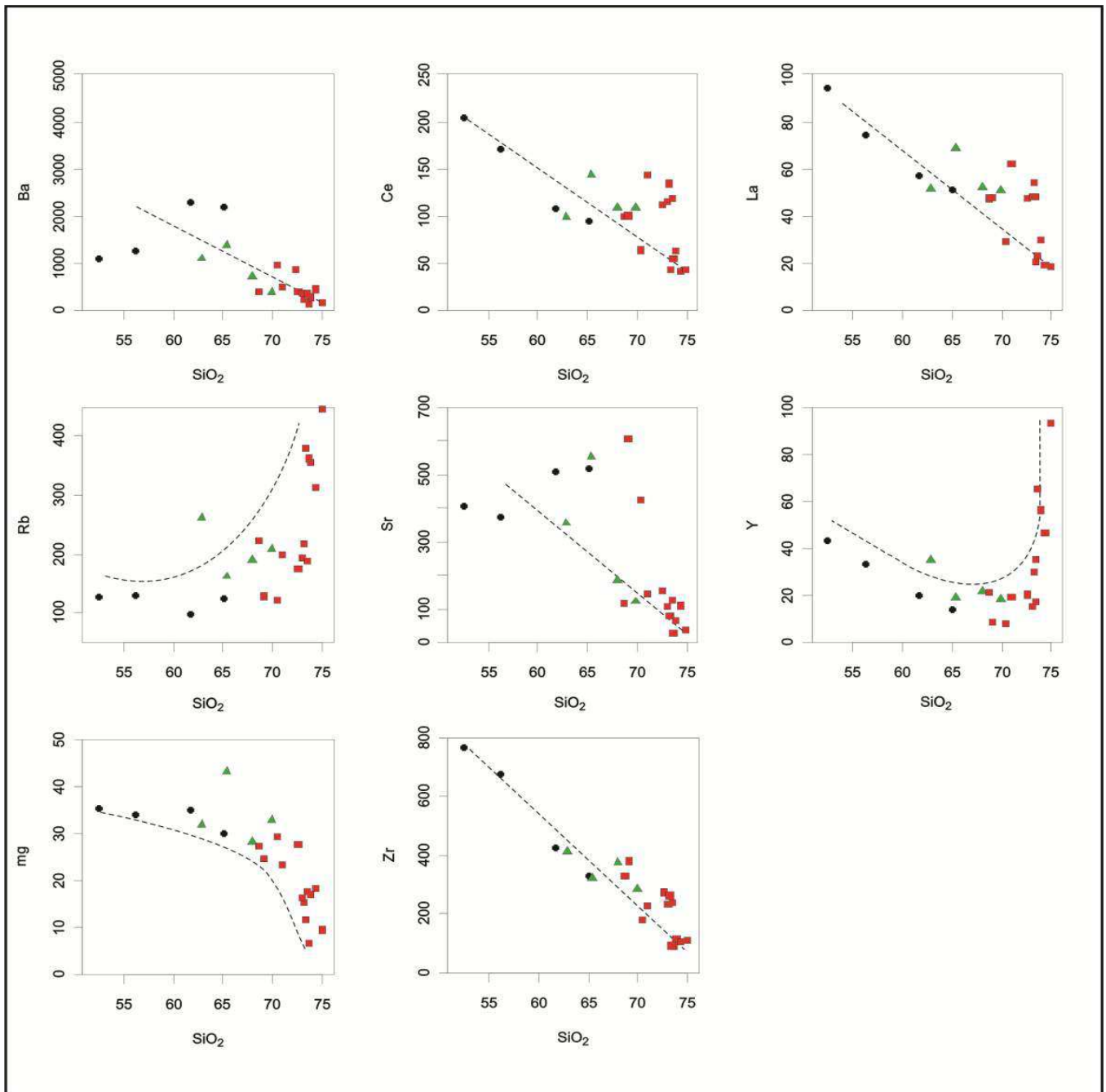


Figura 14. Distribuição das rochas estudadas nos diagramas binários (Harker) mostrando o comportamento dos elementos traço em função de SiO<sub>2</sub>. Legenda conforme a figura 12.  
205x217mm (300 x 300 DPI)

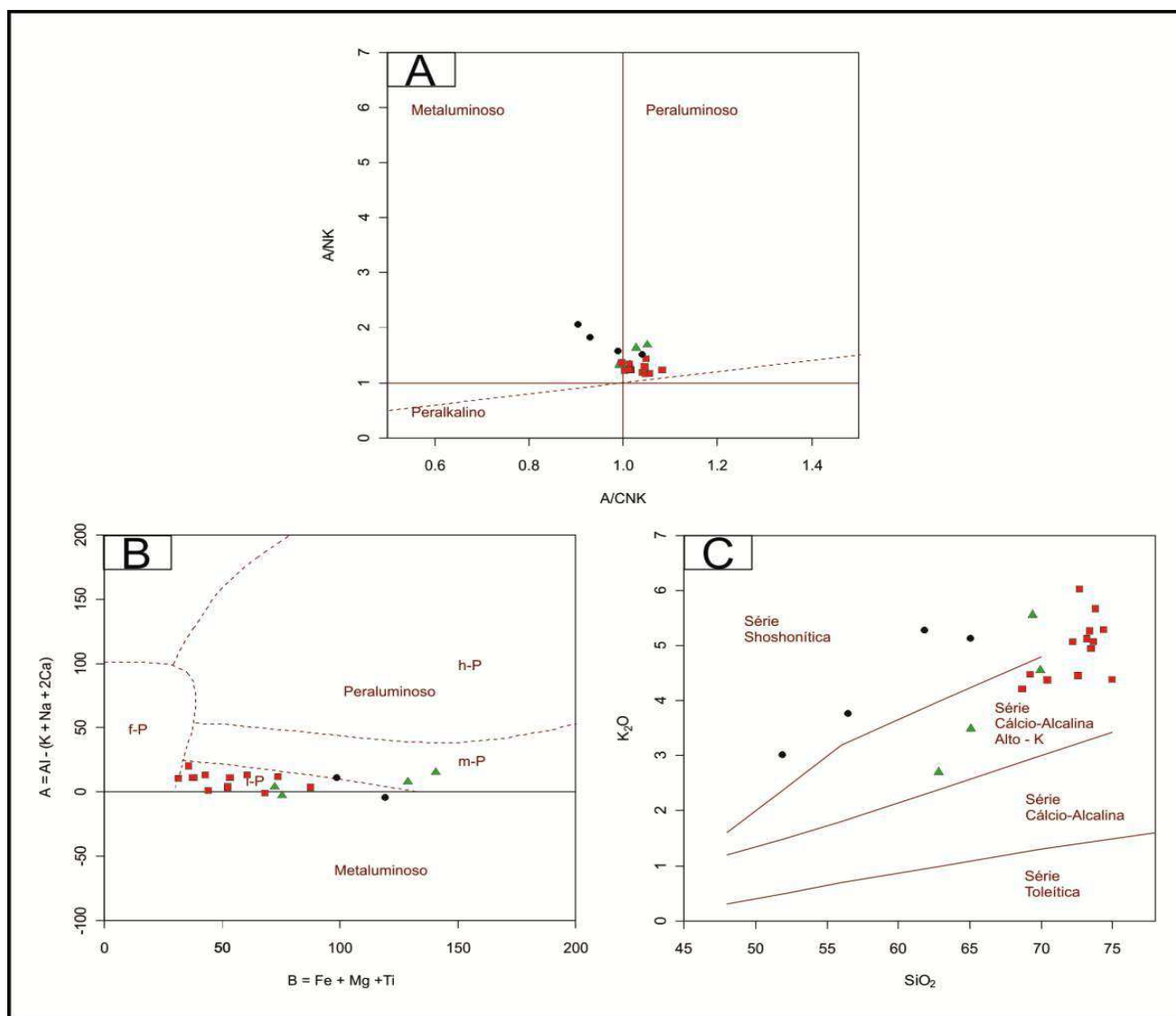


Figura 15. A) Distribuição das rochas estudadas no diagrama A/NK versus A/CNK com os campos de Maniar & Piccoli (1989), baseado no Índice de Shand (1943).; B) Distribuição das rochas estudadas no diagrama de classificação modificado de Villaseca et al. (1998) ; C) Distribuição das rochas estudadas no diagrama SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O com os campos de Le Maitre (1989). Legenda conforme a figura 12.

162x151mm (300 x 300 DPI)



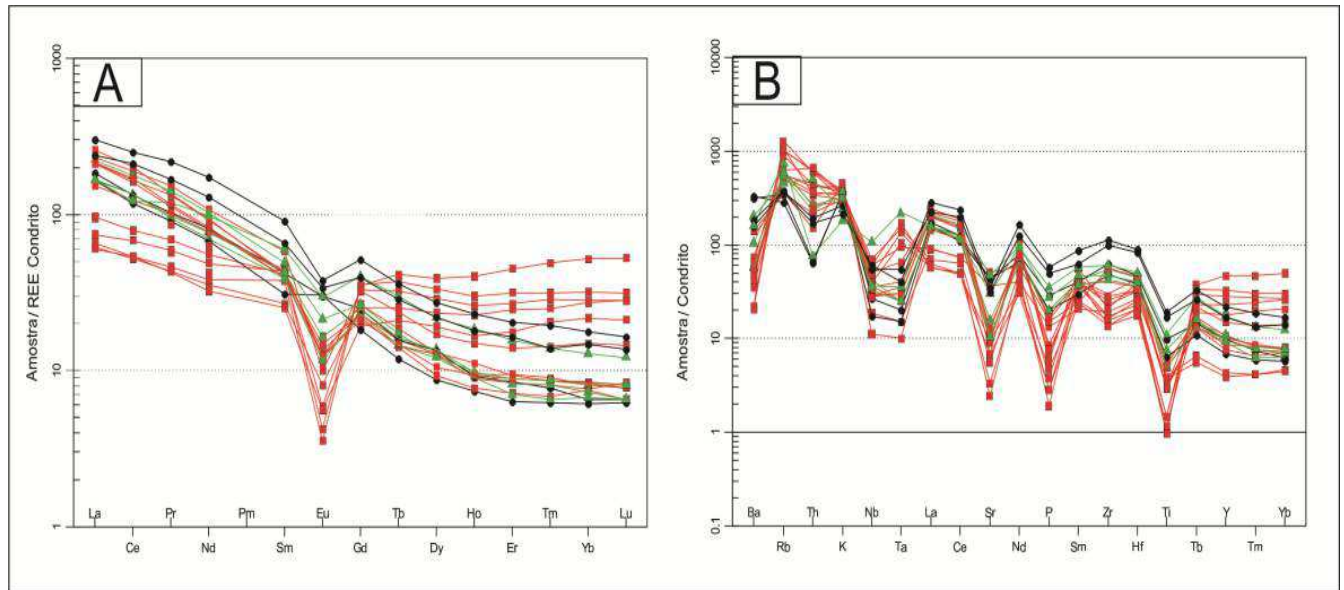


Figura 16. A) Diagrama de distribuição dos elementos terras raras, normalizados aos valores do condrito de Boynton (1984); B) Diagramas multielementar (spidergram), normalizado aos valores do condrito de Thompson (1982). Legenda conforme a figura 12.  
209x78mm (300 x 300 DPI)

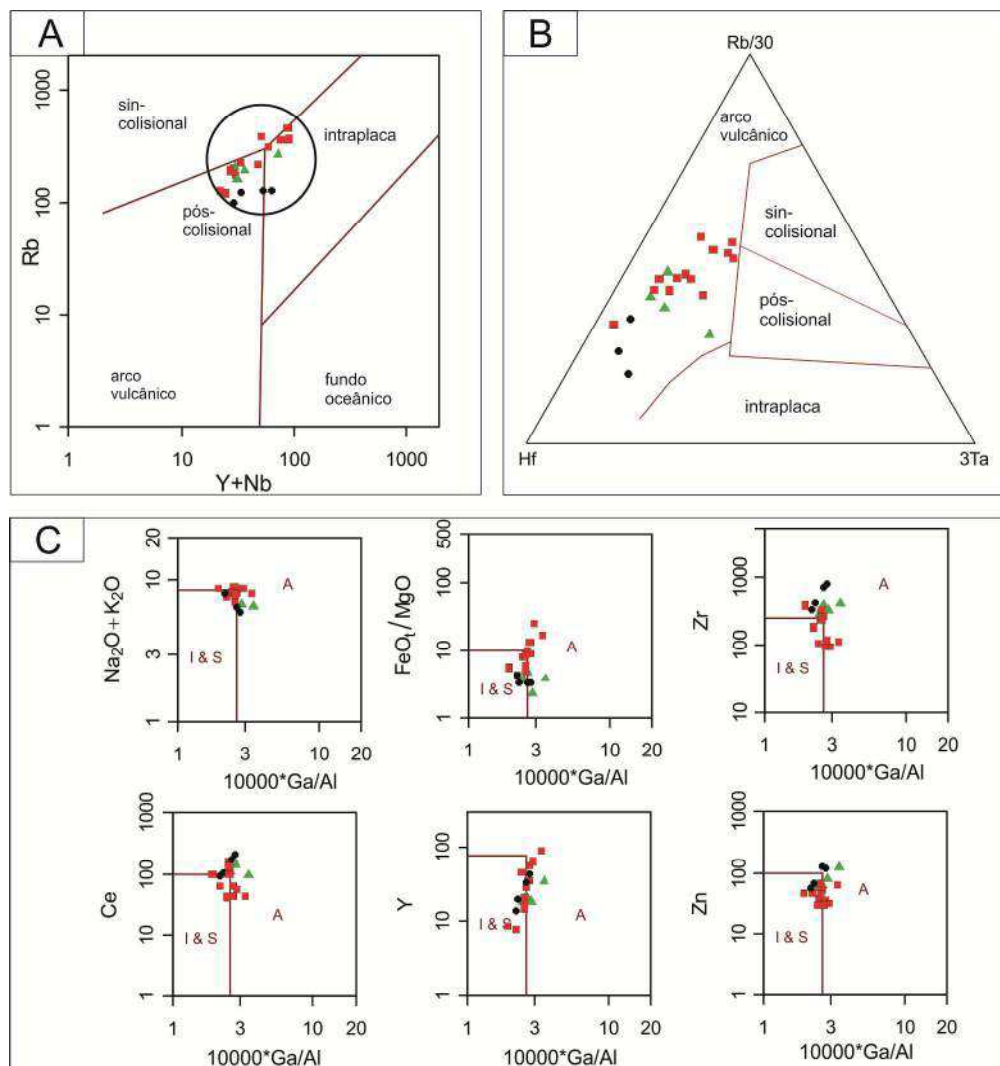


Figura 17. Distribuição das rochas estudadas nos diagramas: A) Diagrama discriminante de ambiente tectônico com os campos de Pearce (1984); B) Diagrama discriminante de ambiente tectônico de Harris (1986) ilustrando a afinidade das rochas estudadas com os ambientes sin (grupo 2)- a pós colisionais (grupo 3), intra-placa (IP) e arco vulcânico (AV); C) Diagrama de classificação de granitos do tipo-A de Whalen et al. (1987). Legenda conforme a figura 12.  
209x222mm (300 x 300 DPI)

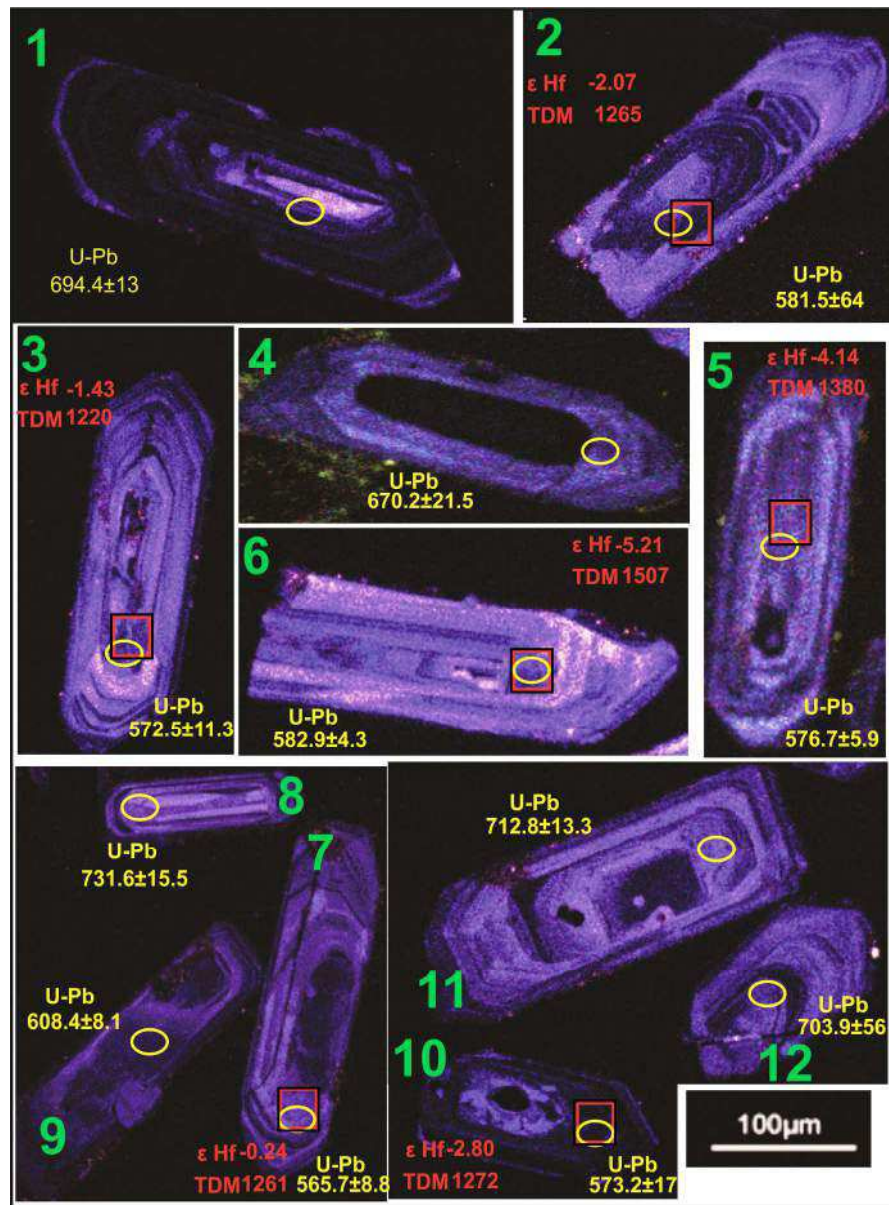


Figura 18. Imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão da amostra CH1 com localização das análises de U-Pb (círculos amarelos, spot 30 μm) e análises de Lu-Hf (quadrados vermelhos, spot 55 μm). 463x625mm (96 x 96 DPI)

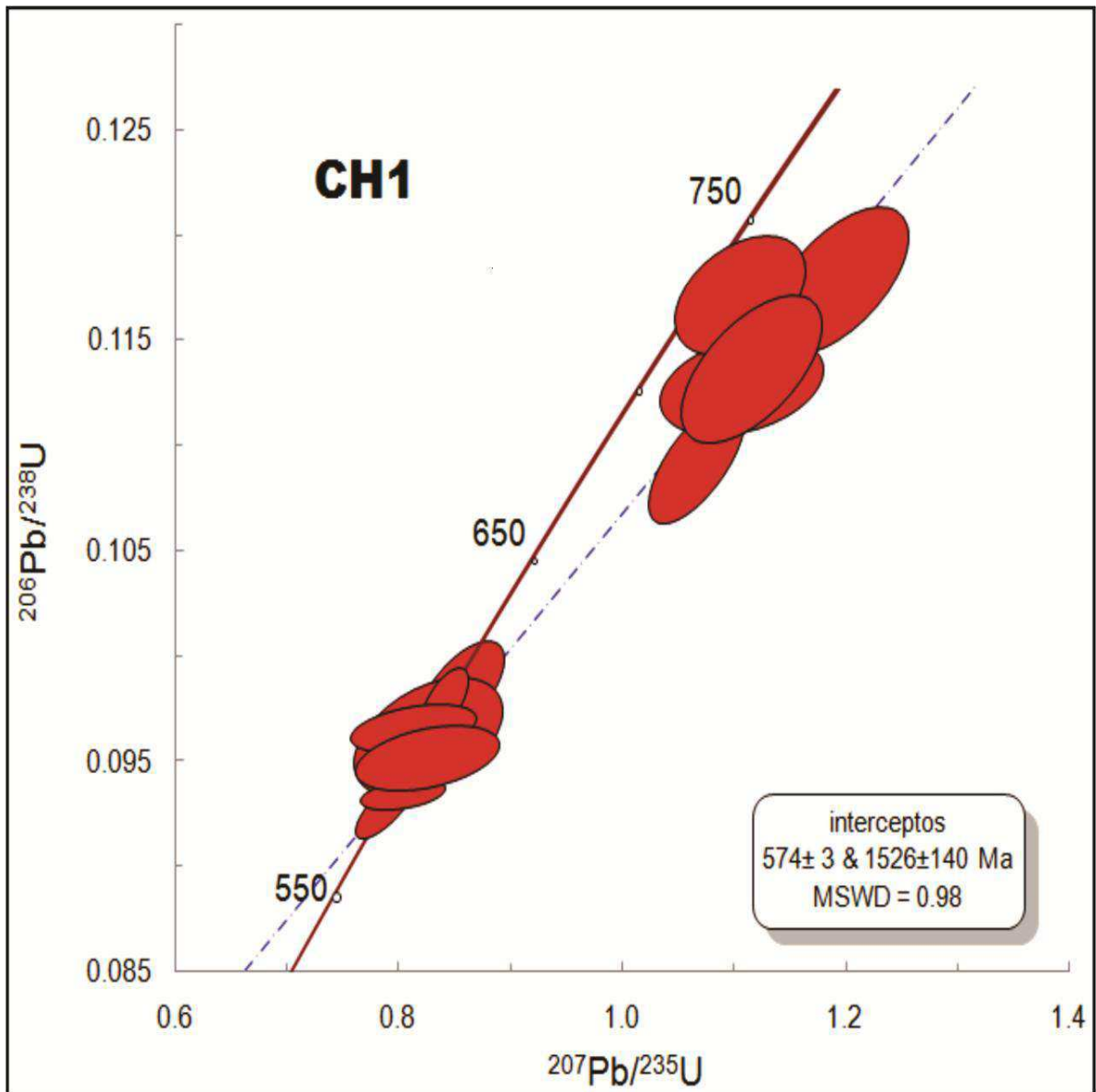


Figura 19. Diagrama de Concórdia para zircões do Granito Chasqueiro amostra CH1.  
463x625mm (96 x 96 DPI)

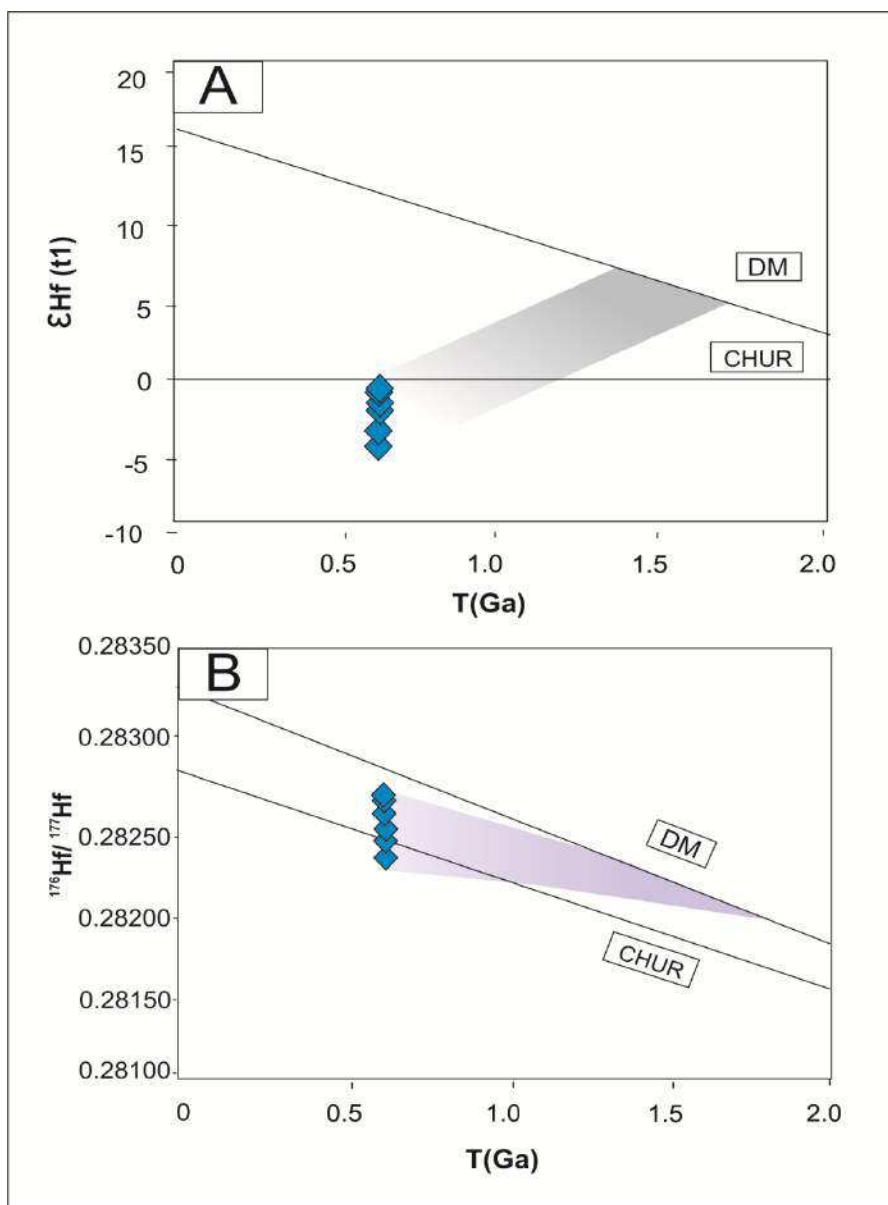


Figura 20. A) Diagrama de evolução dos valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ ; B) diagrama da evolução isotópica de Hf. As áreas sombreadas indicam a tendência de evolução para o granito.  
133x196mm (300 x 300 DPI)

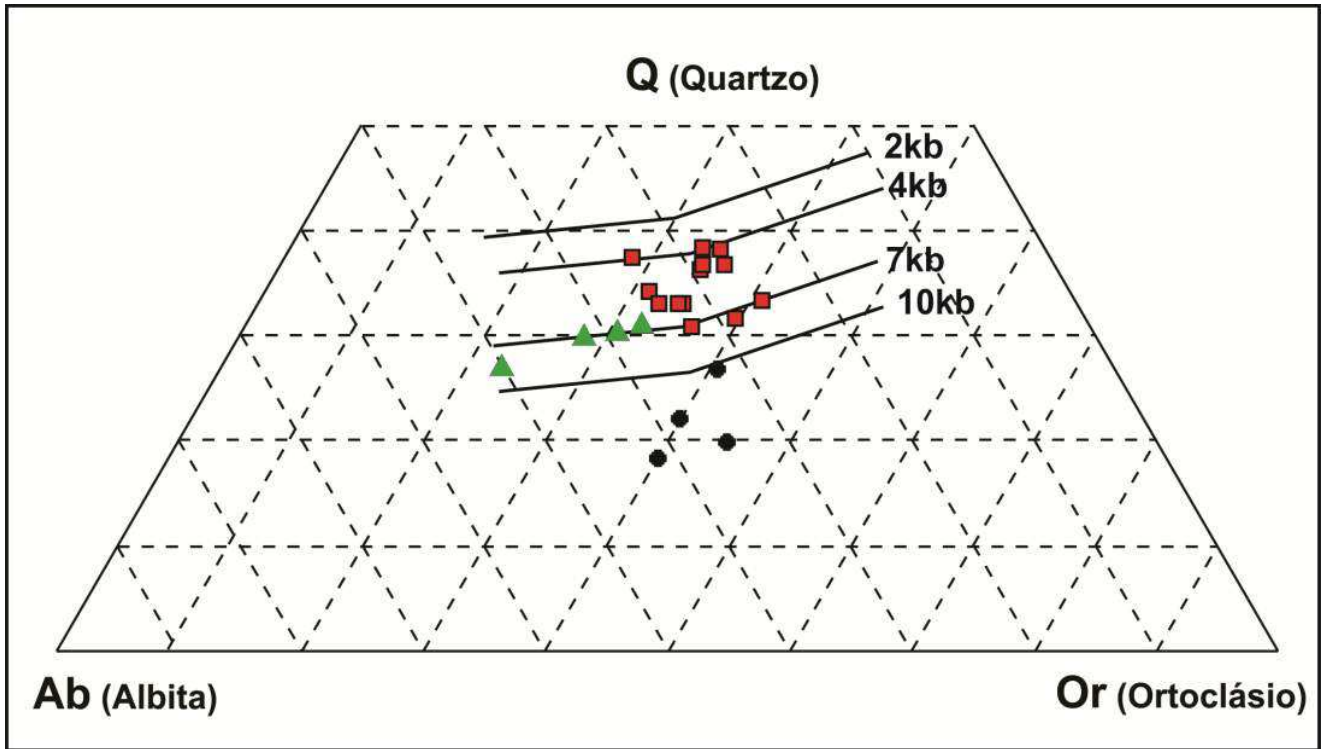


Figura 21. Distribuição das rochas estudadas no diagrama Q-Ab-Or modificado de Anderson & Cullers (1978). Quadrados vermelhos correspondem às amostras do granito, Quadrados verdes correspondem aos termos híbridos e os Quadrados pretos aos enclaves máficos.

209x78mm (300 x 300 DPI)

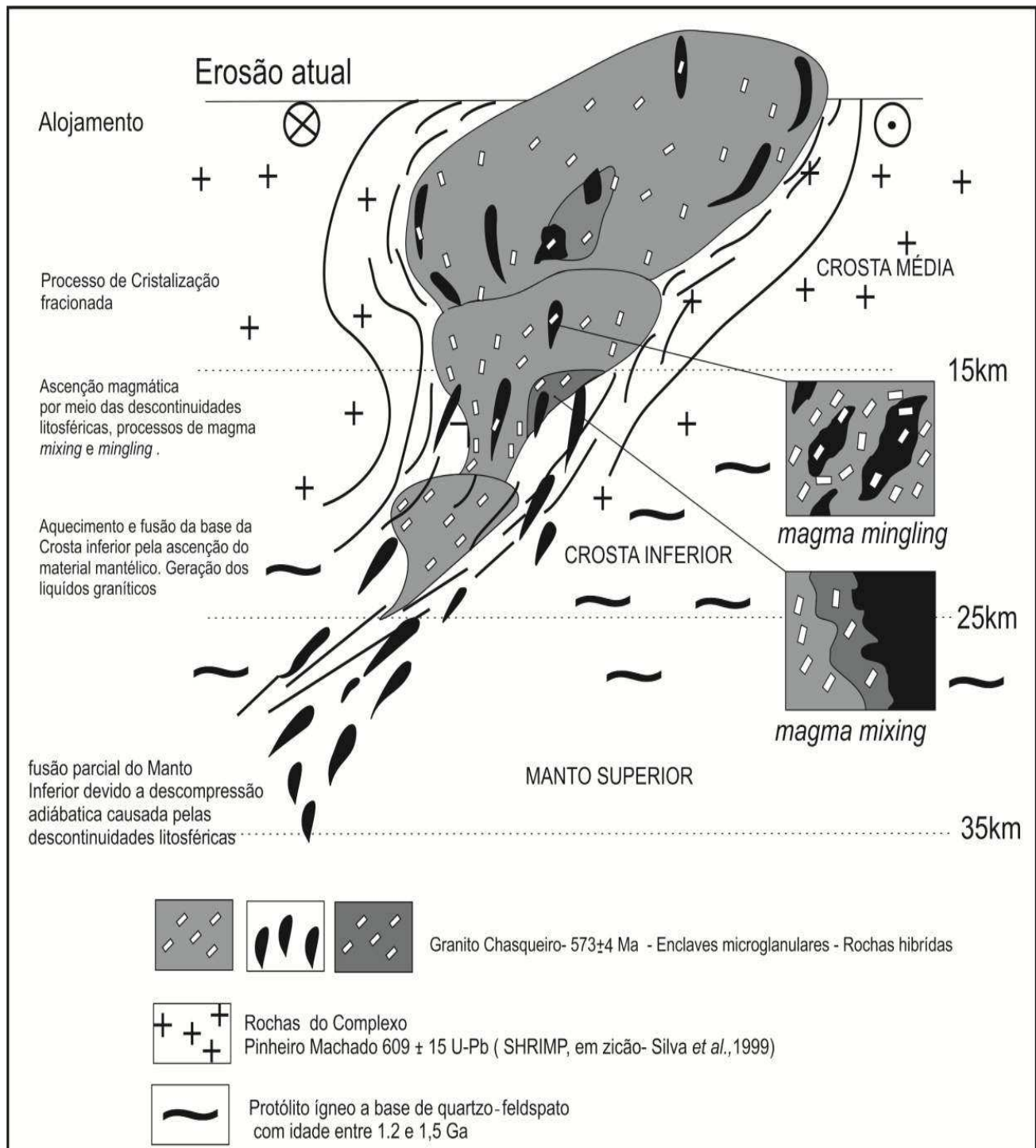


Figura 22. Modelo evolutivo do Granito Chasqueiro.

469x625mm (96 x 96 DPI)

Tabela 1. Resultados da contagem modal visual por pontos

CH1					CH5				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Qtz	130	19.93865	21.069692	617	Quartzo	211	39.587242	42.8862	625
Kf	272	41.717791	44.084279		Kf	221	41.463415	44.9187	
Pl	215	32.97546	34.846029		Pl	193	36.210131	39.2276	
Bt	27	4.1411043			Bt	76	14.258912		
anf	7	1.0736196			anf	0	0		
Acessórios	1	0.1533742			Acessórios	2	0.3752345		
Total	652				Total	703			
CH1-H					PF-74				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Qtzo	103	17.944251	20.436508	504	Quartzo	223	41.838649	45.3252	467
Kf	211	36.759582	41.865079		Kf	174	32.645403	35.3659	
Pl	190	33.101045	37.698413		Pl	70	13.133208	14.2276	
Bt	52	9.0592334			Bt	55	10.318949		
anf	17	2.9616725			anf	0	0		
Acessórios	1	0.174216			Acessórios	2	0.3752345		
Total	574	100			Total	524			
CH12					CH3				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Quartzo	120	22.514071	24.390244	473	Quartzo	121	22.701689	24.5935	492
Kf	201	37.711069	40.853659		Kf	201	37.711069	40.8537	
Pl	152	28.517824	30.894309		Pl	170	31.894934	34.5528	
Bt	29	5.4409006			Bt	29	5.4409006		
anf	11	2.0637899			anf	11	2.0637899		
Acessórios	1	0.1876173			Acessórios	1	0.1876173		
Total	514				Total	533			



CH14					CH19				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Quartzo	130	24.390244	26.422764	547	Qtz	133	20.398773	21.5559	648
Kf	230	43.15197	46.747967		Kf	282	43.251534	45.705	
Pl	187	35.084428	38.00813		Pl	233	35.736196	37.7634	
Bt	21	3.9399625			Bt	13	1.993865		
anf	13	2.4390244			anf	5	0.7668712		
Acessórios	1	0.1876173			Acessórios	1	0.1533742		
Total	582				Total	667			
CH1-M					CH32				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Quartzo	190	35.64728	38.617886	550	Quartzo	211	39.587242	42.8862	549
Kf	70	13.133208	14.227642		Kf	185	34.709193	37.6016	
Pl	290	54.409006	79.234		Pl	153	28.705441	31.0976	
Bt	70	13.133208			Bt	77	14.446529		
anf	0	0			anf	7	1.3133208		
Acessórios	1	0.1876173			Acessórios	2	0.3752345		
Total	621				Total	635			

CH32B					CH27				
Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP	Minerais	Quantidade	%	QAP	Total QAP
Quartzo	221	41.463415	44.918699	577	Quartzo	111	20.825516	22.561	454
Kf	185	34.709193	37.601626		Kf	190	35.64728	38.6179	
Pl	171	32.082552	34.756098		Pl	153	28.705441	31.0976	
Bt	89	16.697936			Bt	31	5.8161351		
anf	10	1.8761726			anf	10	1.8761726		
Acessórios	4	0.750469			Acessórios	1	0.1876173		
Total	680				Total	496			

Tabela 2. Teores de elementos maiores, menores e traço do Granito Chasqueiro, Termos híbridos e Enclaves máficos .

	Granito Chasqueiro								
	CH1	CH3	CH07	CH09A	CH12	CH15	CH17	CH19	CH37
SiO <sub>2</sub>	70.97	72.58	70.42	73.90	74.35	74.96	73.63	73.37	73.21
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.50	0.38	0.15	0.15	0.10	0.10	0.12	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.12	12.63	14.71	13.74	13.46	12.67	13.30	13.61	12.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.47	3.57	3.15	1.95	2.21	3.01	2.75	2.53	3.26
MnO	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.08	0.07	0.06	0.05
MgO	0.38	0.69	0.66	0.20	0.25	0.16	0.10	0.17	0.30
CaO	1.42	1.89	2.09	0.90	0.85	0.66	0.64	0.87	1.23
Na <sub>2</sub> O	3.04	2.68	3.34	3.50	3.13	3.68	3.69	3.50	2.99
K <sub>2</sub> O	6.00	4.46	4.38	5.38	5.30	4.39	5.07	5.27	5.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.17	0.14	0.04	0.05	0.03	0.02	0.03	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
LOI	1.0	0.6	0.5	0.1	0.1	0.2	0.6	0.4	0.4
V	14	40	35	14	11	<8	<8	<8	19
Co	2.8	5.3	5.0	1.6	2.0	1.5	1.9	1.5	2.0
Ni	<20	<20	2.9	1.1	1.9	2.0	2.4	1.9	2.0
Cu	3.7	10.2	8.4	2.4	1.8	2.2	1.7	2.8	2.8
Zn	38	50	46	36	30	64	32	29	53
Ga	56.1	51.0	51.3	59.7	51.6	66.6	61.2	58.5	52.8
Rb	199.5	174.0	121.7	354.9	314.0	446.3	362.6	379.2	218.4
Sr	142.6	151.9	423.3	65.3	109.4	39.0	28.3	78.5	80.4
Y	19.4	20.3	7.8	56.2	46.3	92.9	65.0	35.2	29.9
Zr	228.9	273.6	181.4	117.9	107.7	112.2	93.6	93.4	263.8
Nb	10.1	10.1	6.6	21.3	13.8	21.2	24.6	16.6	17.6
Ba	508	395	971	281	445	152	141	293	242
Pb	5.9	3.5	5.3	11.0	5.7	13.8	14.3	9.4	6.5
Th	17.6	14.2	9.3	26.7	18.5	24.9	25.9	14.7	28.1
La	80.2	65.7	29.4	30.0	19.2	18.6	23.0	20.4	72.3
Ce	163.1	130.6	64.0	63.6	41.8	43.5	55.1	43.1	153.7
Nd	56.2	47.9	25.2	33.2	21.2	22.9	29.0	19.3	64.6
Sm	8.06	7.69	3.84	8.01	5.21	7.34	8.48	4.95	11.37
Eu	0.99	1.08	0.81	0.43	0.59	0.26	0.31	0.41	0.73
Tb	0.69	0.74	0.29	1.54	1.20	1.95	1.75	1.00	1.12
Yb	1.58	1.70	1.02	5.84	5.69	10.85	6.64	4.52	3.12
Lu	0.27	0.25	0.17	0.90	0.90	1.69	1.01	0.68	0.47
Sc	4	6	3	4	3	6	4	4	5
Cs	2.7	6.7	3.5	7.9	12.4	10.6	5.2	11.5	6.1
Hf	6.5	7.1	5.3	4.6	4.1	5.1	4.1	3.5	7.9
Ta	0.7	0.6	0.3	1.9	2.1	3.4	3.0	2.7	1.3

			Termos híbridos					Enclaves máficos	
PU41	CH27	CH41	CH1-H	CH05	CH39M	PF52	PF47B	CH 01 - M	CH38
73.49	69.10	73.06	68.00	69.90	68.66	65.37	62.85	61.72	65.06
0.30	0.40	0.32	0.59	0.50	0.54	0.78	1.15	1.01	0.66
13.04	14.01	12.90	14.85	14.31	14.32	15.24	16.09	16.68	15.74
3.26	4.14	3.23	3.91	3.54	4.69	5.40	6.86	5.52	5.04
0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.08	0.14	0.07	0.07
0.35	0.68	0.32	0.77	0.87	0.89	2.07	1.62	1.49	1.08
1.30	1.37	1.28	2.08	1.82	1.90	3.03	3.18	3.50	2.63
2.89	2.32	2.80	3.26	3.60	3.72	3.40	4.05	2.91	2.90
4.95	6.55	5.36	5.40	4.51	4.22	3.45	2.65	5.30	5.18
0.08	0.16	0.07	0.21	0.20	0.18	0.29	0.37	0.30	0.21
<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	0.008	0.003	<0.002	<0.002
0.2	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7	1.0	1.1
19	37	17	33	34	40	77	81	82	57
2.8	5.0	2.4	5.2	5.3	5.8	11.1	11.9	11.6	8.6
1.7	2.6	1.5	<20	<20	5.9	26.0	5.3	<20	6.0
2.7	50.2	2.9	20.2	7.7	10.3	21.9	7.6	13.9	7.1
40	45	45	60	57	67	81	121	66	56
52.2	42.9	51.6	61.5	55.2	57.9	68.7	88.5	60.6	54.3
188.0	128.5	193.4	190.9	209.5	222.3	162.1	262.4	98.5	123.3
124.5	605.7	106.0	184.1	121.9	115.0	554.0	354.6	508.9	515.1
17.4	8.6	15.1	21.9	18.3	21.3	19.0	34.8	19.8	13.8
238.8	380.5	235.8	374.6	286.9	328.2	323.8	414.6	425.3	327.4
9.8	3.9	12.4	14.8	11.6	12.7	12.7	37.6	9.3	6.1
350	4818	368	717	398	386	1397	1100	2308	2177
5.2	8.1	5.2	4.7	4.7	4.7	4.8	2.6	4.4	6.9
15.5	6.3	19.1	9.6	11.4	11.0	21.1	3.2	2.7	2.8
66.5	47.8	66.5	52.1	50.9	47.5	69.1	51.9	57.1	51.2
137.5	100.6	134.3	109.2	108.8	99.4	143.4	98.8	107.6	94.7
49.8	37.6	55.3	46.2	41.7	46.6	61.3	58.6	49.2	40.9
7.74	4.89	8.36	8.32	7.57	8.58	9.56	11.72	8.16	5.99
0.90	1.22	0.91	1.20	0.85	0.92	1.57	2.18	2.20	2.25
0.70	0.34	0.67	0.77	0.69	0.88	0.82	1.42	0.74	0.56
1.73	0.98	1.56	1.69	1.40	1.76	1.52	2.69	1.35	1.27
0.25	0.16	0.21	0.26	0.21	0.26	0.21	0.39	0.21	0.20
4	3	4	7	6	6	9	15	9	8
3.5	1.6	4.0	1.8	4	4.1	4.4	23.3	1.6	2.4
6.6	9.1	6.4	9.0	7.3	8.6	8.0	10.1	9.3	7.7
0.6	0.2	0.8	0.5	0.5	0.5	0.7	6.3	0.4	0.3

CH32	CH32B
52.47	56.22
2.00	1.73
16.90	15.68
10.79	10.44
0.16	0.16
2.95	2.71
5.79	4.57
2.96	2.70
3.07	3.81
0.61	0.52
0.003	0.003
1.9	1.1
185	164
20.1	21.1
11.6	9.9
8.1	14.5
121	129
74.1	65.4
128.1	130.1
406.8	371.5
43.0	33.2
766.2	673.6
21.2	19.4
1097	1267
4.1	4.1
7.1	8.1
94.1	74.6
203.7	170.6
103.8	78.0
17.56	12.79
2.78	2.48
1.71	1.36
3.72	3.08
0.53	0.44
23	20
1.8	1.4
17.8	16.4
0.8	1.1

Tabela 3. Os resultados das análises U-Pb, LA-MC-ICP-MS in situ em zircões da amostra CH1

AMOSTRAS	f(206)%	Th/U	6/4 ratio	7/6 ratio	1s(%)	7/5 ratio	1s(%)	6/8 ratio	1s(%)	Rho
CH1-1	0.10	0.43	1132	0.07635	6.1	1.1973	6.4	0.11374	2.1	0.32
CH1-2	0.05	0.26	3665	0.05835	0.9	0.7594	1.5	0.09439	1.1	0.76
CH1-3	0.08	0.32	2121	0.06947	4.0	0.9384	4.4	0.09796	2.0	0.44
CH1-4	0.47	0.25	3713	0.07121	3.5	1.0757	4.9	0.10956	3.4	0.69
CH1-5	0.54	0.16	3317	0.06122	7.2	0.7900	7.4	0.09359	1.6	0.40
CH1-6	0.03	0.32	6909	0.06760	2.8	0.8820	3.3	0.09463	1.7	0.50
CH1-7	0.02	0.25	1275	0.06015	1.5	0.7608	2.2	0.09173	1.6	0.89
CH1-8	1.38	0.35	2274	0.06436	4.8	1.0665	5.3	0.12018	2.2	0.42
CH1-9	0.06	0.29	2992	0.05973	1.7	0.8152	2.2	0.09898	1.4	0.63
CH1-10	2.29	0.24	7815	0.06733	5.9	0.7413	9.7	0.07985	7.8	0.80
CH1-11	0.59	0.19	2991	0.07024	4.7	1.1039	5.9	0.11397	3.5	0.60
CH1-12	0.22	0.10	8224	0.06955	4.1	0.9499	4.2	0.09905	1.0	0.41

7/6 age	1s(Ma)	7/5 age	1s(Ma)	6/8 age	1s(Ma)	Conc (%)
899.2	121.8	799.3	35.6	694.4	13.6	82.89
543.0	20.4	573.7	6.5	581.5	6.4	107.08
912.8	82.0	692.0	11.8	572.5	11.3	96.00
963.4	72.2	741.5	25.7	670.2	21.5	99.56
646.9	155.2	591.2	13.2	576.7	5.9	98.15
856.2	58.7	642.1	15.6	582.9	4.3	98.07
609.1	32.9	574.5	9.8	565.7	8.8	92.89
753.6	102.1	737.0	27.9	731.6	15.5	97.08
593.9	36.4	605.4	10.0	608.4	8.1	102.43
747.9	121.9	563.2	42.1	573.2	17.0	97.41
935.5	96.8	755.2	31.4	712.8	13.3	74.38
915.2	84.2	678.1	20.8	703.9	5.6	76.52

Tabela 4 .Os resultados das análises Lu-Hf, LA-MC-ICP-MS in situ em zircões da amostra CH1.

Amostras	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	Erro (1 SD)	$\epsilon$ Hf (0)	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (t1)	$\epsilon$ Hf (t1)	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_t$ chur
CH1-2	0.001433	0.282368	0.00026	-14.30	0.282352	-2.07	0.282410
CH1-3	0.000737	0.282384	0.00020	-13.74	0.282376	-1.43	0.282416
CH1-5	0.003217	0.282333	0.00028	-15.53	0.282298	-4.14	0.282415
CH1-6	0.000952	0.282182	0.00018	-20.86	0.282169	-5.21	0.282316
CH1-7	0.000986	0.282352	0.00041	-14.87	0.282341	-2.80	0.282420
CH1-10	0.001052	0.282361	0.00021	-14.53	0.282348	-0.24	0.282355



$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (DM)	Idade U/Pb (Ma)	T DM (Ma)	T DM Crustal
0.282805	581	1265	1610
0.282812	572	1220	1563
0.282811	576	1380	1736
0.282696	582	1507	1926
0.282817	565	1272	1645
0.282741	573	1261	1563

## 1. CAPÍTULO IV

### 1.1. Conclusões

O Granito Chasqueiro varia de sienito a monzogranitos e possui um caráter ácido, subalcalino, do tipo cálcio-alcalino alto potássio, de natureza metaluminosa a levemente peraluminosa que teve sua cristalização a  $574 \pm 3$  Ma com alojamento sincrônico as zonas de cisalhamento dúcteis regionais de alto ângulo Arroio Grande e Airosa Galvão relacionadas ao evento tectônico D<sub>2</sub>. O granito possui relações de mistura homogênea e heterogênea com magmas básicos e ácidos, indicativo da contemporaneidade entre os mesmos. A mistura sugere que a participação do componente básico foi importante e contínua durante todo o processo de cristalização e posicionamento do granito, todavia as análises geoquímicas e isotópicas sugerem para o Granito Chasqueiro uma geração a partir de uma fonte crustal de idade Mesoproterozoica a Paleoproterozoica derivada de um protólito ígneo a base de quartzo e feldspato tendo contribuição mantélica de forma subordinada. A frequente presença de cristais zonados de plagioclásio, feldspato potássico, alanita e zircão denotam junto com os dados geoquímicos a importância do processo de cristalização fracionada na evolução magmática do granito. A presença da associação titanita + magnetita + quartzo junto com a presença de alanita com coroa de epidoto indicam que

o magma progenitor era relativamente oxidado com um provável aumento na fugacidade de oxigênio durante a cristalização, com condições de mais alta fugacidade nos estágios terminais de cristalização sendo evidenciada pelas frequentes texturas de esfenitização e de martitização das magnetitas. Dados termobarométricos apontam condições de pressão da ordem de 4-7 kbar para geração do magma granítico e acima de 10 kbar para o magmatismo máfico, indicando profundidades de 24 a 35 km, respectivamente, e condições de temperatura de cristalização entre 650 - 811 °C.

A dissolução do epidoto é um processo que se dá de forma relativamente rápida. Assim, considerando-se a preservação desse mineral na rocha granítica alojada na crosta superior pode ser admitida uma rápida colocação do magma ao longo de zonas de cisalhamento. Outro fato que indica uma reduzida residência crustal são os valores de  $\epsilon Hf_{(t)}$  próximos à zero. Os dados expostos são condizente com uma etapa de relaxamento crustal com geração de falhamentos profundos em ambiente pós-colisional.

Baseado nos resultados obtidos e apresentados nesta dissertação algumas sugestões de trabalhos futuros, como o detalhamento geológico, geoquímico e isotópico (datação e petrologia) do Granito Chasqueiro e suas encaixantes a fim de melhorar o entendimento geológico da granitogênese presente na região sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense.

## 2. REFERÊNCIAS

Archanjo, C.J., Hollanda, M.H.B.M., Rodrigues, S.W.O., Neves, B.B.B. & Armstrong, R. (2008). Fabrics of pre and syntectonic granite plutons and chronology of shear zones in the Eastern Borborema Province, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 30:310-326.

Barbarin, B. (1990). Granitoids: main petrogenetic classification in relation to origin and tectonic setting. *Geological Journal*, 25:227–238.

Barbarin, B. (1999). A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46:605–626.

Bertotti, A. L., Chemale Jr., F. & Kawashita, K. (2013). Lu-Hf em Zircão por LA-ICP-MS: Aplicação em Gabro do Ofiolito de Aburrá, Colômbia. *Pesquisas em Geociências*, 40(2):117-127.

Bitencourt, M.F. (1996). *Granitóides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento*. Porto Alegre, 310 p. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. (2000). Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):186-189.

Bonin, B., Azzouni-Sekkal, A., Bussy, F. & Ferrag, S. (1998). Alkali-calcic and alkaline postorogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings. *Lithos*, 45:45-70.

Bueno, J.F., Oliveira, E.P., McNaughton, N. & Laux, J.H. (2009). U-Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil, and implications for the timing and duration of continental collision. *Gondwana Research*, 15:86-97.

Chappell, B. W., & White, A. J. R. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48(4):489-500.

Chen, B., Jahn, B-M. & Wei, C. (2002). Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: trace element and Nd-Sr isotope evidence. *Lithos*, 60:67-88.

Costa, A.F.U. (1997). *Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre, 291p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. (1995). Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4):375-384.

Ferre, E., Gleizes, G. & Caby, R. (2002). Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: *a synthesis*. *Precambrian Research*, 114:199-219.

Fragoso César, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani, Jr., E. & Faccini, U.F. (1986). O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34, 1986, Goiânia. *Anais... Goiânia, SBG*, v.3, p.1322-1343

Frantz, J.C. & Remus, M.V.D. (1986). Geologia da região de Canguçu-Torrinhas, RS: caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34, Goiânia, *Anais... v. 2*, Goiânia, SBG, p. 931-947

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. & Frost, C.D. (2001). A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42(11):2033-2048.

Gomes, M.E.B., (1990). *Petrologia do Granito Arroio Moinho (Canguçu, RS)-Geoquímica e Deformação*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 209p

Harris, N.B.W.; Pearce, J.A. & Tindle, A.G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *In: Coward, M.P. & Ries, A.C. (eds), Collision Tectonics*, Geological Society Special, publ.19, p.67-81.

Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C. & Trouw, R.A.J. (2004). A Província Mantiqueira. *In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, ed. Beca, p.203-234.

Lameyre, J. & Bowden, P. (1982). Plutonic rock type series: discrimination of various granitoids series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 14:169-186.

Lamayre, J., Vauchelle, L.E., & Durandau, J. (1988). A. Compared characteristics and tectonic settings of leucogranites and cordierite granodiorites: two contrasted groups of peraluminous granitoids. 28<sup>th</sup> International *Geology Congress*. Washington, D.C., 2: 254-255

Liégeois, J.P. (1998). Preface - Some words on the post-collisional magmatism. *Lithos*, 45:xv–xvii.

Ludwig, K.R. (2012). ISOPLOT 3.75, a geochronological toolkit for Microsoft Excel: *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 75p.

Mantami, M.A. & Greiling, R.O. (2005). Granite emplacement and its relation with regional deformation in the Aravalli Mountain Belt (India) — inferences from magnetic fabric. *Journal of Structural Geology*, 27:2008-2029.

Mesquita, M.J.M. (1991). *Petrografia dos granitóides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Piratini - Quitéria), RS*. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, 242p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nardi, L.V.S. (1986). As rochas granitóides da série shoshonítica. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:3-10.

Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. (2007). Magmatismo granítico e evolução crustal do sul do Brasil. In: *50 Anos de Geologia*, IGEO-UFRGS. Porto Alegre, 125-141.

Passchier, C.W. & Trouw, R.A. (2005). *Microtectonics*. Berlin, Springer, 366p, 2 ed.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4):956-983.

Philipp R.P. (1990). *Geologia e petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, 231p.

Philipp R.P. (1991). Geologia dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS: uma contribuição ao reconhecimento estratigráfico do Setor Oriental do Escudo Sul-Riograndense. *Acta Geológica Leopoldense*, 14(33):71-128.

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

Philipp, R.P. & Machado, R. (2002). Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas*, 29(1): 43-57.

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 da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2):277-290.

Pitcher, W.S. (1979). The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *Journal of the Geological Society*. London. 136:627-662.

Pitcher, W.S. (1993). *The Nature and Origin of Granite*. Black Academic & Professional. Londres: Chapman & Hall, 321 p.

Ramos R.C. & Koester E. (2014). Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41(1):25-38.

Rollinson, H.R. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Singapore, Pearson Education, 352p.

Streckeisen, A.L. (1976). To each plutonic rock, its proper name. *Earth Sciences Reviews*, 12:1-33.



Trainini, M, D.R. (1987). *Projeto Mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais, Folhas SI-22 Jaguarão-Rio Grande*. Escala 1:250,000, Brasil, Convênio DNPITI CPRM, 2v.

Vielzeu, F.D., Clemens, J.D., Pin, C. & Moinet, E. (1990). Granites, granulites and crustal differentiation. In: *D. Vielzeuf and P. Vidal Editors, Granulites and Crustal Differentiation*, Kluwer, Dordrecht, 600 pp.

Vigneresse, J.L. (1995). Control of granite emplacement by regional deformation. *Tectonophysics*, 249:173-186.

Vigneresse, J.L. (2004). A new paradigm for granite generation: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 95:11–22.

Wildner, W., Ramgrab, G. E., Lopez, R. da C. & Iglesias, C. M. da F. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, (2005). 1 mapa color., 110 x 166 cm. Escala 1:750.000. (Projeto Mapas Estaduais – PME). CD-ROM.

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

“PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISOTÓPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE”

Área de Concentração: **Geoquímica**

Autor: **Daniel Triboli Vieira**

Orientador: **Prof. Dr. Edinei Koester**

Examinador: **Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp**

Data:

Conceito: **A**

PARECER:

O MESTRADO APRESENTADO REPRESENTA UMA IMPORTANTE CONTRIBUIÇÃO PARA O ENTENDIMENTO DA EVOLUÇÃO DO BASTO LITO PELOTAS, E PRINCIPALMENTE PARA O ENTENDIMENTO DO PAPEL DAS ZONAS DE CISCALHAMENTO DUCTIS NA GERAÇÃO E NO CONTROLE DO MAGMATISMO GRANÍTICO.

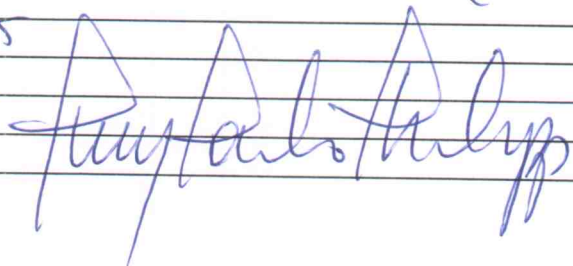
O AUTOR APRESENTOU UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, GEOLOGIA ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA, GEOCROMOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA. OS RESULTADOS, OBTIDOS A PARTIR DE UMA METODOLOGIA MODERNA, SÃO EXCELENTES E ESTÃO SUSTENTADOS PELOS DADOS APRESENTADOS.

O MODELO PETROLÓGICO CONGREGA TODOS OS DADOS OBTIDOS DE UMA FORMA OBJETIVA, APRESENTANDO UMA VISÃO SUSTENTADA DOS DADOS PETROLÓGICOS.

O CONJUNTO DA PESQUISA ESTÁ ASSOCIADO COM UM TEXTO MUITO BEM ESCRITO COM FLUIDEZ E COM POUCOS ERROS GRAMATICAIS.

PELO CONJUNTO DOS DADOS E PELA APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DO MODELO PETROLÓGICO O RESULTADO É EXLENTE (NOTA A)

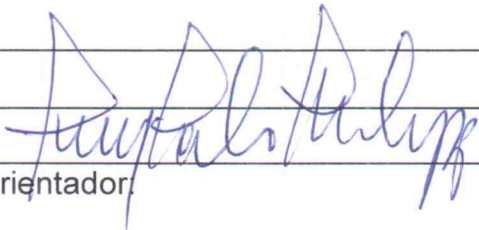
08/12/2015



## SUGESTÕES E CORREÇÕES AO ARTIGO:

- pg. 3, linha 3: Philipp  
pg. 3, linha 9: ... e' um destes... substituir  
pg. 3, linha 24: Anão Grande, RS  
pg. 4, linha 32: Fregoso Cesar  
pg. 6, linha 99: tirar: de cano e a pé  
pg. 18, linha 400: em 6 zircões  
pg. 19, linha 434: epulato em coroa e metamorfo  
pg. 21, linha 479: tirar eclusas metálicas, o  
diagrama e' p/rochas graníticas  
pg. 22, linha 507: falar sobre a idade do met.  
regional (colúrio) e' isso que define o pto-ool.  
pg. 23, linha 531: empicamento => posicionamento  
pg. 26, linha 606, 607: tirar ácido e substância  
lmo, não precisa dizer  
pg. 36: dizer MAGNETOMETRICO, notar varia  
res foliação/lineação  
pg. 39: não e' uma text. coronítica, e' metem.  
pg. 41: Subgrão  
pg. 42: o que significa o \*?  
pg. 50: spreader ficaria melhor contra o O/B.  
pg. 51: tirar os eclusas do Pearson, o dia  
grama e' para granitos, (Whalen, then).

Assinatura:



Data:

08/12/15

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

**"PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA ISOTÓPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE"**

Área de Concentração: **Geoquímica**

Autor: **Daniel Triboli Vieira**

Orientador: **Prof. Dr. Edinei Koester**

Examinador: **Profa. Dra. Luana Moreira Florisbal**

Data: 13 de janeiro de 2016

Conceito: **A (EXCELENTE)**

### PARECER:

A dissertação de mestrado tem como tema principal a petrogênese do Granito Chasqueiro. Tem como centro uma revisão conceitual, a descrição das metodologias utilizadas e também um manuscrito submetido à *Brazilian Journal of Geology*. Merece destaque a revisão conceitual, que é de nível bastante elevado para um mestrado, pois aborda temas relevantes à realização da pesquisa com profundidade e maturidade bastante claras. Outro ponto alto da dissertação é a capacidade de integrar uma diversidade de dados e formular, não apenas uma conclusão compatível com os mesmos, mas também um modelo geológico evolutivo. Além disso, o tema abordado na dissertação versa sobre questões importantes para a compreensão do magmatismo neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-Grandense, sobretudo no que tange ao magmatismo sintectônico posicionado em zonas de cisalhamento transcorrentes.

O trabalho como um todo está bem escrito e apresentado, embora existam alguns erros de redação (ex, pág. 20, *locação*), datilografia (ex., no resumo, *transaciona*), figuras (citação equivocada no detalhe da figura 1), adjetivações (ex, no resumo, *intensa* deformação dúctil), ausência de citação de autores (ex, muitas frases da revisão conceitual sem citação do autor e no manuscrito Pg.5, L58), mas que não desmerecem em nada a qualidade do trabalho apresentado, mas que devem ser revisadas, sobretudo para a publicação do artigo submetido.

Quando consideramos a ampla gama de ferramentas utilizadas e dados gerados, típicos de uma tese de doutorado (embora em menor densidade) e o tratamento a eles oferecidos (em geral em nível de excelência), não tenho dúvidas em atribuir o nível do trabalho como Excelente. Também ressalto o esforço e o mérito logrado com o mesmo que o autor obteve com a pesquisa bibliográfica bem embasada, o que lhe oportunizou a realização do trabalho de forma exemplar.

A seguir teço alguns comentários, críticas, sugestões e considerações sobre os principais aspectos abordados na pesquisa e espero que os mesmos sejam utilizados para reflexão e aprimoramento do trabalho.

**RESUMO:** O resumo está muito centrado em aspectos mesoscópicos e deixa de lado grande parte do trabalho de petrografia e microestruturas, aspectos de litoquímica importantes e sequer cita o intervalo de valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  ou mesmo as interpretações decorrentes destes valores (idades TDMs rehomogeneizadas). Também, ao final, faz uma correlação com um evento deformacional  $D_2$  que ficou deslocado no texto. Assim, acho que o resumo não reflete de fato todo o trabalho que será apresentado e poderia ser revisado. Outras observações mais específicas com relação ao resumo são:

O autor fala em "intensa deformação dúctil e geração de protomilonitos", se a deformação dúctil fosse intensa de fato seriam observados milonitos a ultramilonitos (problema de adjetivação).

O autor coloca uma relação direta (causa-efeito) entre a idade U-Pb e os dados negativos de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  com um evento deformacional  $D_2$ , o que fica muito vago no contexto do resumo. A idade na verdade pode relacionar o Granito Chasqueiro (GC) com o evento deformacional  $D_2$  rum contextomais amplo, mas os dados de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  se relacionam na verdade com a fonte do magmatismo e não com o evento.

**ABSTRACT:** Sugiro a troca da palavra *emerges* por *outcrops*.

**FIGURA 1:** A figura 1 não é ilustrativa da área de estudo e nem dos acessos à mesma. Poderia ser melhor trabalhada, mostrando diferentes níveis de zoom, seja no *Google Maps*, seja em um mapa geológico de ampla escala com a localização da área.

**ABORDAGEM TEMÁTICA:** A revisão conceitual é sem dúvida um ponto alto do trabalho. Está muito bem redigida e focalizada, abordando grande parte dos temas que a dissertação abrange. Constitui a base sólida para a pesquisa que foi realizada, pois faz uso de conceitos bem fundamentados e utiliza bibliografia adequada. Contudo, em alguns pontos, é notável a ausência de citação do autor que elaborou a idéia.

**CAPITULO II:** O capítulo II está bem redigido e apresenta de forma sucinta os métodos utilizados para elaboração da dissertação. Contudo, seguem alguns comentários específicos:

**2.3. Sensoriamento Remoto:** O autor cita que o "sensoriamento remoto foi realizado com a integração dos mapas geológicos...". Isso não é sensoriamento remoto, mas sim atividades de SIG. A parte de sensoriamento remoto se restringe à análise e utilização das imagens posteriormente citadas no texto seguinte.

**2.4. Mapeamento Geológico e análise estrutural:** "...perfis de carro e a pé" poderiam ser substituídos por perfis regionais e locais.

"...coleta de amostras, análise estrutural e dos aspectos petrográficos..." com certeza na etapa de mapeamento o autor não fez nenhuma análise petrográfica, pode ter feito uma coleta, mas não uma análise.

Não fica claro se o autor descreveu os 52 afloramentos ou se este é o número total de afloramentos descritos (afloramentos descritos no presente estudo+pontos integrados de trabalhos anteriores). Também não foi informado quantos dias de campo foram realizados.

No segundo parágrafo a "caracterização petrográfica" é novamente citada como uma atividade de campo.

No terceiro parágrafo: "...as amostras foram devidamente orientadas para análise petrográfica, análises químicas de rocha total e isotópica". A orientação das amostras não é relevante para análises químicas e isotópicas. Talvez não exista a intenção de dizer isso, mas com vírgula simples separando os diferentes tipos de análise, a frase fica mal compreendida.

A **figura 2**, que mesmo sendo um mapa geológico simplificado, é muito importante pois contém as unidades geológicas e os pontos amostrados, está pequena e mal distribuída no espaço da figura. Legenda, escala e UTMs estão quase ilegíveis. Também não há referência ao autor do mapa (ou ele foi elaborado pelo autor da dissertação?). Também devem ser colocadas as marcas fiduciais das UTMs.

**2.5. Petrografia e análise de microestruturas:** Dado que é um granito porfírico com megacristais muito grandes, fico na dúvida se 500 pontos por lâmina não vão refletir apenas a composição da matriz. No caso de granitos porfíricos, é de bom tom fazer mais de uma lâmina quando se pretende fazer contagem modal em lâmina delgada, ou mesmo fazer estimativas em diferentes escalas ou compostas, onde se consideram chapas grandes para a contagem dos megacristais e a contagem em lâmina petrográfica para a matriz.

A **figura 3** não cabe onde foi apresentada e poderia ser removida. É um item que fala sobre todas as etapas de preparação das amostras de zircão, não há porque ilustrar apenas uma destas tantas etapas.

CAPITULO III - ARTIGO SUBMETIDO: O artigo está bem redigido, concatena dados e interpretações em ordem lógica, está bem ilustrado e chega a conclusões compatíveis com os dados utilizados. Contudo, algumas sugestões são aqui elencadas a seguir para que os autores possam refletir ou mesmo corrigir alguns pontos:

O item 2 "**Área, Materiais e Métodos**" poderia ser desmembrado em dois, separando a geologia da área da metodologia utilizada. Além de deixar o texto mais fluido, itens curtos e bem definidos são sempre melhores do que itens longos e que misturam diferentes tipos de dados, o que torna a leitura menos atrativa.

A **figura 1** tem uma indicação de **Fig. 3** que está errada. **Deve indicar a figura 2.**

A partir daqui os comentários serão feitos indicando página (P) e linha (L) do artigo para facilitar a localização das sugestões:

P5, L58: não há referência ao autor que denomina as unidades como "Septos do Embasamento".

P5, L63: não há referência a qual método U-Pb foi utilizado (ID-TIMS).

P5, L67: idem ao comentário acima, mas neste caso não cita nem o mineral utilizado para datação (monazita). Inclusive, faltou a referência do TICKYJ ET AL na lista de referências).

A **figura 2** está com os mesmos problemas já citados nos outros mapas: ausência de marcas fiduciais nas UTMS, escalas e legendas ilegíveis, difícil visualização de símbolos de foliação ígnea e milonítica (o que é um ponto muito discutido ao longo do artigo e que deve ser facilmente visualizado no mapa). Talvez se utilizar do recurso de cor fique mais fácil de visualizar. No perfil as escalas (vertical e horizontal devem ser melhoradas e o exagero informado no rodapé).

P6, L99: mesmo comentário do "perfil de carro e a pé" já citado.

P7, L120: "biotita±anfíbólios", tem mais de um anfibólio?

P7-8: o segundo parágrafo do item "Petrografia do Granito Chasqueiro" só contém uma frase sobre petrografia (L130-133), logo está deslocado neste item pois versa sobre feições mesoscópicas.

A **tabela 1** mostra que o anfibólio ocorre em quantidades traço e acho de bom tom ressaltar isso no texto. Ainda com relação a tabela 1 e a figura 4 (derivada dos resultados da Tab. 1), volto a fazer o questionamento da representatividade da contagem de 500 pontos por lâmina e como foram considerados os megacristais, que conforme apontado pelo autor, perfazem de 30-60% da rocha.

Nas legendas das figuras 5 e 7, dado que todas as microfotografias foram todas tomadas com nicois cruzados, ao invés de falar em cada item descritivo (a,b,c,...), coloca uma frase final dizendo algo do tipo: todas fotomicrografias obtidas com nicois cruzados. Fica mais enxuto.

Tenho sérias dúvidas sobre a necessidade da figura 6 no manuscrito. Acho que vocês poderiam pensar em remove-la, já que o manuscrito já contém muitas figuras e as revistas costumam restringir número de figuras.

P13, L268: Porfiro**blastos** de K-feldspato? Blastese= metamorfismo, mas não estamos falando de um granito?

**Análise geoquímica:** A dissertação gerou dados completos e obtidos em um bom laboratório para o conjunto de rochas estudado. Os diagramas utilizados para as discussões são, em geral, adequados e permitem focalizar as discussões. Contudo, a relação existente entre termos máficos, graníticos e híbridos fica somente apresentada de forma superficial e poderia ser melhor explorada, já que depois é esta relação (mistura de magmas) que conduz grande parte das interpretações, inclusive do significado das idades TDM<sub>HF</sub>.

P14-16: existem muitas inconsistências nesta parte que poderiam ser melhoradas para a publicação final do artigo. A tabela com os dados geoquímicos deve ser toda revisada com relação a Algarismos significativos e números depois da vírgula utilizado para cada elemento (questões relativas a precisão de cada método utilizado e de determinação para cada elemento). Também sugiro que os elementos sejam apresentados numa ordem mais "formal ou típica". Veja modelos de tabelas onde os elementos são separados por categorias, maiores, traços (mas dentro deste grupo tem os HFSE, os LILE, etc que ficam agrupados) e depois os

ETR. No texto se fala mais de uma vez em teor de FeO<sub>t</sub>, mas este dado não foi apresentado, apenas o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que depreendo eu que seja o valor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total. Na P16, L353, remover a explicação do que significa o Eu/Eu\*. A discussão dos ETRs é muito simplificada. O diagrama de ETRs poderia ser melhor explorado, inclusive mostrando que o grupo do GC é muito heterogêneo e se divide em pelo menos dois comportamentos, que podem ser ilustrados pelas diferentes razões (La/Yb)<sub>N</sub>. Se as heterogeneidades nos ETR do GC forem melhor exploradas isso facilita/fortalece a discussão sobre fracionamento magmático do final do artigo. Também aqui é demonstrado o comportamento intermediário entre os polos mafico e felsico do grupo híbrido, que sequer é ressaltada. Não entendo o porque da normalização pelos valores condriticos de Thompson no *spidergram*? Sugiro os valores dos granitos do Pearce ou mesmo o manto primitivo, mas condrito para *spidergrams* é nada convencional, logo deixa o significado das anomalias positivas e negativas algo frágil.

**Análises isotópicas:** este item apresenta de forma bastante sucinta os dados isotópicos obtidos para a dissertação. Seguem os comentários com relação a este item:

P17: sugiro que, quando vocês mostram o mapa geológico da figura 2, adicionar no mapa um ponto, estrela ou qualquer outro símbolo de destaque para mostrar o ponto de coleta da amostra com dado de geocron. O recurso visual e espacial é muito importante para este tipo de dado.

Com relação à figura 18, a primeira coisa que me ocorre é: porque fazer só um ponto por cristal, mesmo vendo algumas estruturas que denunciam centro e borda? Especialmente nos cristais 2, 6, 11 e 12. Nos cristais 11 e 12, os núcleos deram idades mais antigas, o que justifica a execução de pontos na borda dos cristais para verificação se os mesmos poderiam ser correlatos a idade de geração do GC. A segunda coisa que me ocorre é: porque obter dados Lu-Hf somente nos pontos onde há as idades interpretadas como de cristalização? Por que não fazer pontos de Lu-Hf nestes núcleos herdados mais antigos (~700 Ma)? Se há núcleos mais antigos, logo idades TDM<sub>Hf</sub> ainda mais antigas poderiam ter sido encontradas, sugerindo fontes ainda mais antigas ou uma evolução policíclica para este granito.

Por que o intercepto superior é interpretado como a idade dos zircões herdados? Nenhuma idade de ~ 1.5 Ga foi identificada nos núcleos dos zircões. Por outro lado, alguns pontos forneceram idades de ~700 Ma e este dado é completamente ignorado. Em nenhum momento ele é citado ou discutido. Seriam estes dados resultado de perda em Pb da então fonte de ~1500 Ma?

Por que as idades TDM obtidas seriam produto de mistura de fontes de idades meso- e paleoproterozóicas? Vocês não acham que, se isso for factível, vocês teriam encontrado núcleos herdados com estas idades?

**Discussões:** As discussões do artigo estão muito bem elaboradas e refletem o domínio dos autores do tema. A apresentação dos distintos tópicos de conclusão em itens curtos e específicos ficou excelente e tornou possível a compreensão da diversidade de temas e dados abordados. O fechamento das discussões com a proposição de um modelo ilustrado está também de parabéns. Contudo, existem alguns pontos que poderiam ser melhorados:



No item que discute a idade do Granito Chasqueiro é apresentada uma relação espacial e temporal (dados estruturais e geocronológicos) com o evento deformacional D<sub>2</sub>. Esta correlação fica vaga e frágil, dado que não foi bem explorada no início do trabalho. A ela é dada uma importância elevada, já que até no resumo esta correlação aparece, mas em nenhum momento estes eventos são discutidos com a profundidade devida para que no final se faça uma correlação assim tão imediata.

Nos itens de geoquímica e processos magmáticos e na discussão dos processos magmáticos fica sempre ressaltada uma origem crustal para o Granito Chasqueiro. Contudo, nestes itens e em muitas outras passagens da dissertação, é também ressaltada a presença de sucessivas adições de magma básico à câmara, inclusive em várias etapas. Ao mesmo tempo, o caráter fortemente fracionado do Granito Chasqueiro é amplamente discutido. Os dados de Hf apontam para um amplo intervalo (-0.24 a -5.21). Não foram verificadas variadas heranças nos cristais de zircão, apenas heranças neoproterozóicas (~700Ma). Tudo isso pode indicar um componente crustal mais destacado, contudo existem outras hipóteses viáveis e que poderiam ser consideradas:

1) Se, o GC é produto de um magma mantélico que se diferenciou gerando produtos mais evoluídos e que, posteriormente, se mistura com algumas adições do mesmo magma máfico e ainda recebe adição de fusão crustal, isso poderia explicar a variação do  $\epsilon_{\text{Hf}}$ , a ausência de uma enorme diversidade de heranças no cristal de zircão (e sim a bipolaridade de idades apenas neoproterozóicas), bem como a tendência a peraluminosidade do GC ilustradas na fig 15. Os altos teores de ETRL são facilmente compreendidos neste cenário, afinal os termos máficos (digo máficos porque nem básicos são mais) também tem altos conteúdos de ETRL. Ressalto ainda aqui o deslocamento dos termos menos diferenciados no diagrama AFM, que caem sobre a linha dos magmas toleíticos e o deslocamentos dos termos máficos mais diferenciados, híbrido e GC para o campo das rochas não toleíticas na fig. 12B, o que poderia ainda indicar a vinculação do granito a componentes originalmente toleíticos e que tiveram sua composição modificada por adição de fusões crustais.

2) Como apontado pelo autor em sua revisão conceitual, é comum a geração de fusão da cunha do manto no cenário pós colisional, que pode ainda ter ou não adição de fusão crustal. Se adotarmos esta hipótese, podemos ter a fusão da cunha do manto, o que explica o magmatismo máfico sincrônico ser de afinidade toleítica (quando menos afetado) e ter alto conteúdo de LILE e ETRL. Um pena não conhecermos os dados de Lu-Hf deste material. Considerando que este material é o que irá se diferenciar para gerar parte do volume que perfaz o GC (e não precisa ser minoritário), isso explica a assinatura geoquímica do GC, assim como o conteúdo de água inicial (estimado pela presença de fases hidratadas, epidoto primário e alanita), as mudanças nas condições de fugacidade do magma do GC relatadas, a ausência de múltiplas heranças nos cristais de zircão e a variação do  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (mais próximo de 0 quando mais próximo da fonte e mais negativo conforme mais contaminado). Não é descartada a hipótese de pequenas adições crustais, o que é condizente tanto com o ambiente pós colisional quanto com a multiplicidade de fontes que podem ser ativadas durante o deslocamento de megazonas de cisalhamento.

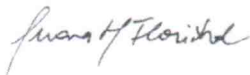
O mais importante é perceber que, no mesmo cenário, a adição de crosta ser predominante ou minoritária, é algo difícil de reconstruir, pois há como se fechar o modelo sabendo que existiu

interação crosta-manto, já evidenciada no campo e talvez impossível de ser reconstituída em porcentagens por outros dados.

Este tipo de dúvida é tão persistente, que no item CONCLUSÕES do artigo, há a seguinte passagem que deixa margem à dúvida: "O granito possui relações de mistura homogênea e heterogênea com magmas básicos contemporâneos. A verificação de diferentes tipos de mistura sugere que a **participação do componente básico foi importante e contínua durante todo o processo de cristalização e posicionamento do granito**. Todavia **algumas características** como o enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados, aumento da peraluminosidade e valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  negativos próximos a 0, sugerem para o granito uma geração a partir de uma fonte **dominantemente crustal com participação mantélica subordinada**". Esta hipótese é absolutamente viável, mas não é a única. Existem muitas outras formas de se explicar as "algumas características" geoquímicas e isotópicas que fazem o GC ser interpretado como gerado essencialmente por fusão crustal. Como tu mesmo sugeres nas tuas conclusões da dissertação, tua dissertação está feita e alguns detalhamentos devem trazer mais algumas luzes a este tema que, até a conclusão deste trabalho, estava quase que totalmente as cegas.

Enfim, as discussões sobre petrogênese nos termos acima, bem como as que me foram suscitadas ao ler a dissertação, são já típicas de teses de doutorado, e somente são aqui destacadas e discutidas devido à riqueza do trabalho que tive o prazer de analisar. Por fim, deixo aqui meus parabéns ao mestrando, orientador e co-autores do trabalho, e o desejo de muito sucesso na vida profissional.

Assinatura:



Data: 13/01/016

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

PETROLOGIA DO GRANITO CHASQUEIRO, UM ESTUDO INTEGRADO DE  
PETROGRAFIA, ANÁLISE ESTRUTURAL, GEOQUÍMICA E GEOLOGIA  
ISOTÓPICA (U-Pb, Lu-Hf) NA REGIÃO DE ARROIO GRANDE, SE DO ESCUDO  
SUL-RIO-GRANDENSE”

Área de Concentração: **Geoquímica**

Autor: **Daniel Triboli Vieira**

Orientador: **Prof. Dr. Edinei Koester**

Examinador: **Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira**

Data: 24/01/16

Conceito: B (BOM)

PARECER:

A dissertação de Daniel Triboli Vieira representa uma importante contribuição ao entendimento da evolução dos granitos do Neoproterozoico da região de Arroio Grande, SE do Escudo Sul-rio-grandense. Ao estudar o Granito Chasqueiro com um enfoque multidisciplinar através da aplicação de várias metodologias, o autor conseguiu uma visão integrada dos complexos processos de formação, evolução e colocação do magma granítico.

O documento tem uma linguagem clara, de fácil leitura, mas apresenta erros gramaticais e de digitação, que podem ser corrigidos em uma revisão minuciosa. Está bem estruturado, inclusive o artigo científico que está incluído na dissertação, e bem ilustrado. Algumas figuras apresentam baixa definição, como o mapa de localização (Fig. 1) e as imagens de catodoluminescência de cristais de zircão (Fig. 18). A bibliografia de apoio parece adequada e atualizada. Contudo, acho que faltou uma discussão comparativa com outros granitos similares que ocorrem na região, a partir de dados disponíveis na literatura.

Seguem alguns comentários e sugestões sobre temas mais específicos.

- No mapa de pontos geológicos (pg. 25), observa-se um importante número de afloramentos nas unidades encaixantes do Granito Chasqueira que foram descritos, no entanto, essas rochas praticamente não foram tratadas no trabalho. Qual a razão, então, de terem sido descritos?
- É informado que 18 amostras foram analisadas macroscopicamente e apenas 12 foram descritas microscopicamente, mas as análises litoquímicas foram realizadas em 20 amostras. É altamente aconselhado que todas as amostras que forem analisadas quimicamente sejam previamente descritas microscopicamente;
- No item sobre as análises isotópicas, falta descrição das condições utilizadas durante as medidas espectrométricas. No artigo, também falta informar os métodos aplicados nas análises litoquímicas;

AM

ficou claro como se conseguiu executá-la em rochas com cristais tão grandes (grãos de até 8 cm). As lâminas delgadas tinha tamanho tradicional ou eram maiores?

- Faltou informar a composição do plagioclásio dos enclaves máficos;
- Ainda em relação a esses enclaves, é dito que eles apresentam "pequenas anomalias negativas e positivas de Eu", mas os valores são todos  $>1$ !
- Os diagramas discriminantes de ambientes tectônicos (Fig. 17) não são muito adequados, uma vez que os campos definidos pelas amostras estudadas são intermediários ou se superpõem a diferentes ambientes. Além disso, há conflito entre o ambiente pós-colisional proposto para o granito estudado com base no diagrama de Pearce et al. (1984) e o diagrama de Harris (1986), onde nenhuma amostra se enquadra nesse tipo de ambiente. A legenda da figura 17 precisa ser revista;
- As análises U-Pb que indicam a idade de 1526 Ma são interpretadas com sendo de cristais herdados de zircão. Esses grãos apresentam feições (internos ou externas) que sugerem a existência de componentes mais antigos, como núcleos herdados? Quais as diferenças desses grãos em comparação com os cristais de 574 Ma? As duas populações descritas na amostra analisada apresentam alguma diferença em termos isotópicos?
- No item 4.4 do artigo, é dito que "a tendência observada nos diagramas de Harker sugere que as rochas estudadas são cogenéticas e representam a evolução de duas unidades magmáticas distintas". Entendo *rochas cogenéticas* como tendo mesma fonte e mesma idade, hipótese que não é defendida pelo autor em suas conclusões. Não seria melhor dizer que são apenas rochas contemporâneas?
- A relação dos enclaves máficos com as rochas graníticas não está clara e a proposta de que "as altas temperaturas do magma básico fundiram a base da crosta inferior" necessita ser averiguada, assim como o comportamento similar dos dois grupos de rocha nos diversos diagramas apresentados. Fica a sugestão de testes de modelamentos geoquímicos envolvendo elementos traço, bem com análises U-Pb e Lu-Hf nos cristais de zircão dos enclaves máficos.

Por fim, considero que o documento apresentado atente o requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências e o considero APROVADO com o conceito B (BOM).

Assinatura:

*Marcos Pio Assunção*

Data:

24/01/16

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: