

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**BARBARA VICTÓRIA REFFATTI ANDRADE**

**INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DO GNAISSE NETO RODRIGUES E SUA  
RELAÇÃO COM O COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL**

**Caçapava do Sul**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**BARBARA VICTÓRIA REFFATTI ANDRADE**

**INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DO GNAISSE NETO RODRIGUES E SUA  
RELAÇÃO COM O COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado na disciplina TCCII do curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

**Caçapava do Sul**

**2017**

R229i Reffatti Andrade, Barbara Victória  
INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DO GNAISSE NETO RODRIGUES  
E SUA RELAÇÃO COM O COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO  
SUL / Barbara Victória Reffatti Andrade.  
41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2017.  
"Orientação: Tiago Rafael Gregory".

1. Geologia. 2. Gnaiss Neto Rodrigues. 3. Complexo Granítico  
Caçapava do Sul. 4. Microestrutural. I.

|

BARBARA VICTORIA REFFATTI ANDRADE

INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL DO GNAISSE NETO RODRIGUES E SUA  
RELAÇÃO COM O COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado na disciplina TCCII do curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Área de concentração: Geologia Estrutural

Monografia defendida e aprovada em: 8 de dezembro de 2017

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory  
Orientador  
Universidade Federal do Pampa – Unipampa



---

Prof. Dr.ª Cristiane Heredia Gomes  
Universidade Federal do Pampa



---

Prof. Dr. Vinicius Matté

## AGRADECIMENTOS

Ok, 7 anos de Geologia e 1 de Geofísica geram muitos agradecimentos.

Agradeço primeiramente a minha família, meu norte, pelo amor incondicional que me deram desde o momento em que eu nasci até agora. A minha mãe, Marli por ter sua candura e sensibilidade tão particular, capaz de me acalmar e me alegrar mesmo nos momentos mais escuros e por ter coragem e resiliência que são forças motrizes para mim. A minha avó Hélia, por ter me ensinado o quanto devemos persistir e lutar por aquilo que queremos independente da idade, por ser uma fonte inesgotável de amor e inspiração para mim e por me proporcionar todos os dias, desde a minha infância até agora momentos e sentimentos tão maravilhosos que não cabem aqui, nem se eu escrevesse 500 páginas de agradecimentos. Ao meu pai, Heldo por ser exatamente quem ele é, essa mistura de carinho e brabeza, de compaixão e irônia. Pai, muitas vezes durante o curso eu fiquei furiosa por algumas coisas que tu me disse, mas hoje eu entendo que todas, em absoluto, foram para o meu bem. A minha irmã Lara, sou grata por tu ser tanto minha mana de sangue quanto de coração, tu me inspira com a tua determinação e dedicação há tudo que faz. Ao meu avô Armando, que já morreu mas ainda está bem vivo no meu coração. Vô, obrigada pela amizade, pelo amor e por ter sempre me incentivado a fazer uma graduação e por sempre ter dito que eu era capaz, mesmo quando todos diziam que eu não era.

Agradeço ao meu namorado José Rafael. Obrigada meu amor por ter me apoiado e me incentivado a correr atrás dos meus objetivos, por sentir orgulho de mim mesmo quando eu não consigo sentir. Por construir uma relação comigo embasada no companheirismo, amor e respeito. Independente do rumo que a vida tome, sempre serei grata a ti, por toda a ajuda e o amor que tu me deste e me dá.

Agradeço ao meu orientador Tiago Gregory. Obrigada Gregory, por toda a paciência, 'carcadas e elogios, principalmente pelas 'carcadas,' sem elas eu não teria aprendido muitas coisas. Obrigada por ter feito eu me apaixonar pela parte de microestrutural. Obrigada por ser esse professor, orientador e pessoa tão fantástica que és. Obrigada por ter me 'puxado' e incentivado a ir além do que eu achava que eram meus limites.

Meu muito obrigada também ao Lennon e a Sissa, sem a ajuda de vocês este trabalho jamais seria possível.

Agradeço as minhas irmãs, não de sangue, mas de coração Amanda (Fofa) e Kelly (Tiabaio). Muito obrigada gurias por terem me dado tanto amor, auxílio e suporte nesses 6 anos juntas. Vocês foram o maior presente que a Geologia me deu e tenho certeza que a coisa que sentirei mais saudades dessa época é poder ver os rostinhos de vocês todos os dias.

Muito obrigada também aos meus amigos Ana Paula (Paulinha), Bruno (Kanibal), Beatriz, Thamyz e Gilberto pela ajuda e apoio em diversos momentos da graduação. Também agradeço ao Saulo e a Fernanda por terem me acompanhado nos campos. Geologia é uma ciência que só é feita quando se existe união e companheirismo.

Agradeço também a minha psicóloga Solange, sem a ajuda dela acho que jamais teria conseguido chegar até aqui.

Por fim e em um momento bem egocêntrico (sim, eu sou). Agradeço a parte de mim que luta pelas coisas que quer, mesmo quando elas parecem difíceis ou impossíveis. Sempre foi essa parte que me fez levantar e dar a volta por cima mesmo nos momentos mais difíceis da minha trajetória na graduação. Deixo esse agradecimento como uma forma de lembrete para mim mesma, de que nunca deixe essa minha parte teimosa e cheia de vontade de atravessar obstáculos morrer.

## RESUMO

O Gnaisse Neto Rodrigues (GNR) localiza-se a sudeste do município de Caçapava do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Sua litologia é composta por monzogranitos, sienogranitos e granodioritos bandados. Através do mapeamento geológico-estrutural realizado na área, além do estudo petrográfico e de microestruturas, esperou-se corroborar à uma das duas hipóteses existentes sobre a origem do GNR: **(1)** o GNR seria uma porção do Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) muito deformada; **(2)** o GNR seria um protólito que teve participação ativa na geração dos magmas que deram origem ao CGCS. Através do mapeamento geológico e estrutural e da análise dos dados estruturais obtidos em campo, foi possível observar que as rochas do GNR se encontravam menos deformadas a sudoeste na área de estudo e mais deformadas a nordeste na área. Durante a etapa de análise microestrutural observou-se que o quartzo foi recristalizado dinamicamente, enquanto o K-feldspato e o plagioclásio foram deformados de forma rúptil. Como resultados dos estudos conseguiu-se comparar o GNR e o CGCS e delimitar condições de deformação para o GNR. Devido a isto, conclui-se que o GNR é uma porção do CGCS que foi deformada em uma zona de cisalhamento dúctil simples, sob condições térmicas entre 400°C à 500° C e que sua estrutura bandada foi gerada devido a paralelização das estruturas de bandamento composicional em uma zona de alta deformação. Frente à estas conclusões sugere-se que o termo gnaisse para as rochas da área de estudo não seja mais utilizado e adote-se o termo granitoides bandados, como sendo uma das fácies do CGCS.

**Palavras-chave:** Gnaisse Neto Rodrigues, Complexo Granítico Caçapava do Sul, petrologia, geologia estrutural.

## **ABSTRACT**

The Neto Rodrigues Gneiss (GNR) is located at southeast of the city of Caçapava do Sul, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The GNR lithology is composed for monzogranites, sienogranites and granodiorites disposed in layers. Two hypotheses about the origin of the GNR were proposed in previous works: (1) the GNR is a very deformed portion of the Caçapava do Sul Granite Complex (CSGC); or (2) the GNR is a protolite that had an active participation in the generation of the magmas that give rise to the CGCS. Through the geological and structural mapping and the the analysis of the structural data obtained in the field, it was possible to observe that the GNR rocks were less deformed to the southwest in the study area and more deformed to the northeast in the area. During the microstructural analysis it was observed that the quartz was recrystallized dynamically, while K-feldspar and plagioclase were deformed in a dull manner. As a consequence of our studies was possible to compare the GNR and the CGCS and to delimit conditions about the deformation for the GNR rocks. In this way, the conclusion is that the GNR is a portion of the CGCS that was deformed in a simple ductile shear zone, under thermal conditions between 400° C and 500° C, and that your layered structure was generated for the parallelization of the structures of compositional banding in a zone of high deformation. In view of these conclusions, it was suggested that the term gneiss for the rocks of the study area is no longer used and the term banded granitoids is adopted as one of the CGCS facies.

**Keywords:** Neto Rodrigues Gneiss, Caçapava do Sul Granitic Complex, petrology, strutural geology.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS:.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1) Objetivo Geral: .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2) Objetivo específico: .....</b>	<b>12</b>
<b>3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....</b>	<b>13</b>
<b>4 GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1) Província Mantiqueira .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2) Escudo Sul-rio-grandense.....</b>	<b>14</b>
<b>5 GEOLOGIA LOCAL.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1) Complexo Metamórfico Passo Feio.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2) Complexo Granítico Caçapava do Sul.....</b>	<b>19</b>
<b>5.3) Gnaiss Neto Rodrigues.....</b>	<b>20</b>
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1) Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>22</b>
<b>6.2) Mapeamento Geológico e Estrutural .....</b>	<b>22</b>
<b>6.2.1) Coleta de Amostras.....</b>	<b>23</b>
<b>6.3.1) Análise de Microestruturas .....</b>	<b>25</b>
<b>7 RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>7.3.1) Monzogranito.....</b>	<b>31</b>
<b>7.3.2) Sienogranito .....</b>	<b>33</b>
<b>7.2.3) Granodiorito .....</b>	<b>35</b>
<b>8 DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Miyashiro (1994), um gnaissé é caracterizado como uma rocha metamórfica que tem como protólito uma rocha sedimentar, metamórfica ou ígnea que foi submetida a um metamorfismo de alto grau nas fácies anfíbolito ou granulito (600°C a 1000°C, 6 a 8 Kbar, em torno de 35 Km abaixo da superfície), com uma mineralogia composta principalmente por mais de 20% de feldspato potássico (microclínio e/ou ortoclásio), plagioclásio (albita, oligoclásio, andesina), além de quartzo e biotita. Fisicamente, o gnaissé caracteriza-se por apresentar bandamento gnaissico e texturas granoblástica e porfiroblástica.

O GNR é caracterizado, segundo Nardi e Bitencourt (1989), como uma rocha de mineralogia predominantemente quartzo-feldspática, apresentando estruturas de bandamento gnáissico compostas por leucogranitos, granodioritos, tonalitos biotíticos e granitoides transicionais, sendo estes últimos predominantes na estrutura em comparação com as outras litologias presentes. O GNR tem idade ígnea de  $2448 \pm 7$  Ma, datada em zircão através do método U/Pb SHIRMP (REMUS *et al.*, 1996).

Duas hipóteses foram levantadas para a gênese do GNR. Nardi e Bitencourt (1989) sugerem que o GNR seria uma porção do Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) que foi submetida a um processo de intensa deformação dúctil. Tal suposição é sugerida pelos autores baseadas no fato de o GNR e a CGCS possuírem características petrológicas e mineralógicas semelhantes. Por outro lado, Remus *et al.* (1996) utilizam-se de dados isotópicos, petrológicos e mineralógicos de uma amostra de biotita granodiorito deformado para sugerir que o gnaissé é um possível protólito que teve participação na constituição dos magmas que deram origem ao CGCS. O método U/Pb SHIRMP em zircão é um dos métodos mais robustos de datação de rocha. Porém, considera-se no presente trabalho que a idade obtida para o GNR poderia ser resultante de zircões herdados, dada a alta resistência deste mineral a processos térmicos.

Dada as distintas conclusões apresentadas na literatura, o trabalho tem como objetivo visitar o GNR visando aumentar os conhecimentos relacionados a sua formação por meio de diferentes frentes de estudo, tais como: mapeamento geológico e estudo mineralógico e estrutural da rocha. Especificamente, pretende-se corroborar para uma das hipóteses já propostas ou propor uma terceira caso os resultados obtidos indiquem isto. Espera-se que os resultados tenham uma contribuição para parte do conhecimento científico dos processos geológicos que deram origem à porção centro-oeste do Escudo Sul-rio-grandense.

## **2 OBJETIVOS:**

### **2.1) Objetivo Geral:**

O presente trabalho tem como objetivo geral um estudo geológico-estrutural do Gnaiss Neto Rodrigues, com vistas a elucidar a sua relação com o Complexo Granítico Caçapava do Sul.

### **2.2) Objetivo específico:**

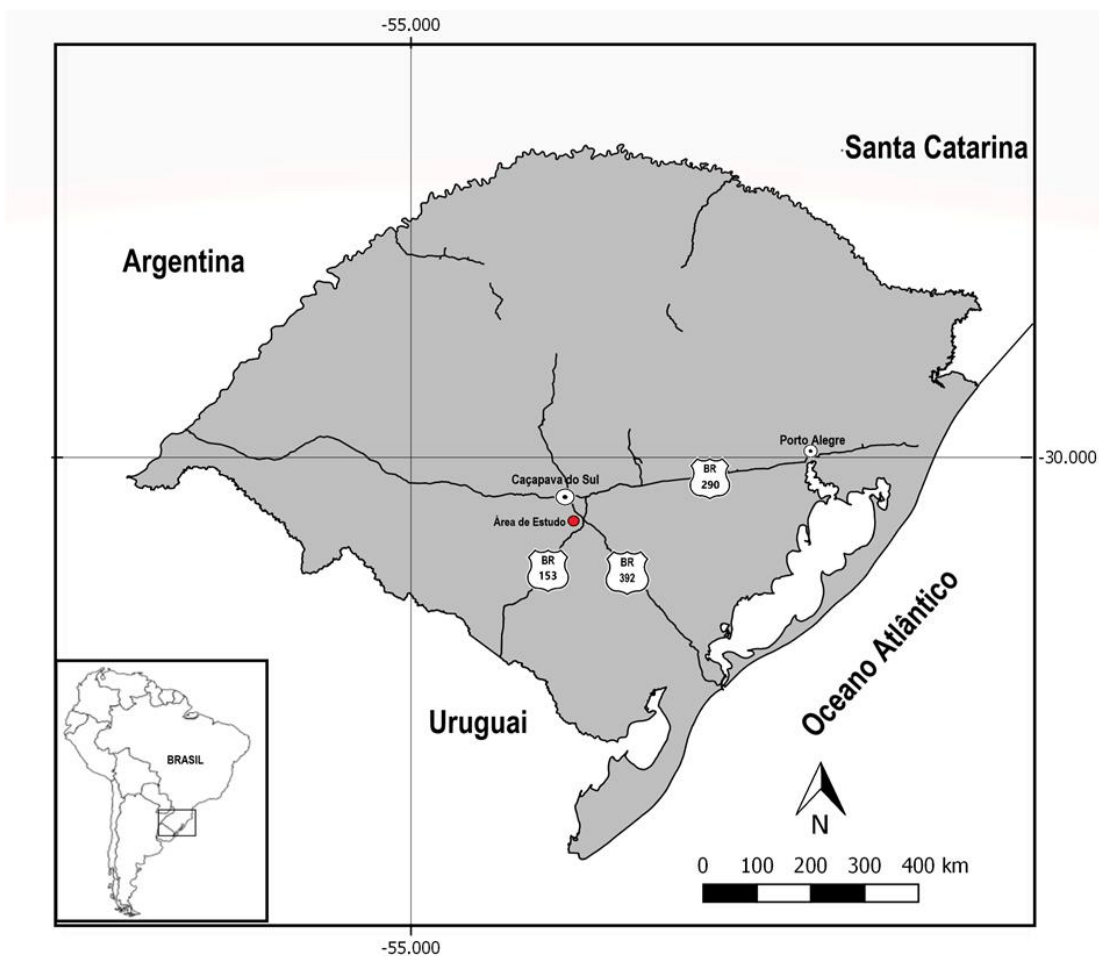
O trabalho tem como objetivo específico corroborar a uma das duas hipóteses já propostas na literatura relacionadas a gênese do Gnaiss Neto Rodrigues ou propor uma terceira hipótese para a sua origem.

### 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está localizada no município de Caçapava do Sul, porção centro sul do estado do Rio Grande do Sul (**Fig.1**). O acesso à área de estudo, a partir da capital Porto Alegre, pode ser realizado via rodovia BR-290 e posteriormente BR-392. As duas principais estradas secundárias que dão acesso à área estão localizadas respectivamente à 950m para norte do entroncamento entre a BR-392 e BR-153 e à 1350 m para sudoeste deste.

O relevo da área de estudo, bem como o de suas proximidades, pode ser definido como acidentado, com valores de altitude em torno de 150m à 180m. Os afloramentos de rocha estão localizados predominantemente em drenagens e junto ao corpo d'água denominado popularmente como 'Cachoeira Neto Rodrigues'.

**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo, com as principais vias de acesso.



**Fonte:** extraído e modificado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016).

## 4 GEOLOGIA REGIONAL

### 4.1) Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1977; HEILBRON *et al.*, 2004) compreende uma área de 700.000 Km<sup>2</sup> que se estende da Bahia até o Uruguai, sendo limitada a oeste pelas Províncias São Francisco, Tocantins e Paraná e a leste por bacias costeiras de margem continental. Esta província é definida como um sistema orogênico de idade neoproterozoica, constituída pelos Orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e pela zona de interferência entre os Orógenos Ribeira e Brasília. Entende-se como sistema orogênico como um conjunto de orógenos que evoluem de maneira diacrônica. Assumir que o processo orogênico formador da Província Mantiqueira é de caráter diacrônico significa que o sistema orogênico foi submetido, ao mesmo tempo em diferentes porções de sua extensão, a diferentes fases do Ciclo de Wilson.

Em termos de orógenos, este sistema seria representado ao sul do Brasil pelos orógenos São Gabriel e Dom Feliciano. Estes tiveram interveniência no desenvolvimento de parte do Escudo Sul-rio-grandense, bem como na evolução da porção oeste do Paleocontinente Gondwana.

### 4.2) Escudo Sul-rio-grandense

O segmento sul do Sistema Orogrênico Mantiqueira constitui grande parte da Província Geomorfológica denominada Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) por Carvalho (1932). O ESrg tem sua origem diretamente vinculada a dois ciclos orogênicos principais: o Transamazônico (2,26 – 2,00 Ga) e o Brasileiro/Panafricano (900-535 Ma) (HARTMANN *et al.*, 2007). Estes dois ciclos foram responsáveis pela geração e deformação da crosta continental. As atividades destes dois ciclos orogênicos resultaram na formação do ESrg.

O ESrg é subdividido conforme as suas características geológicas, estruturais, geotectônicas e isotópicas em quatro terrenos (HARTMANN *et al.*, 2007) (**Fig. 2**), que são representados de sul para norte por:

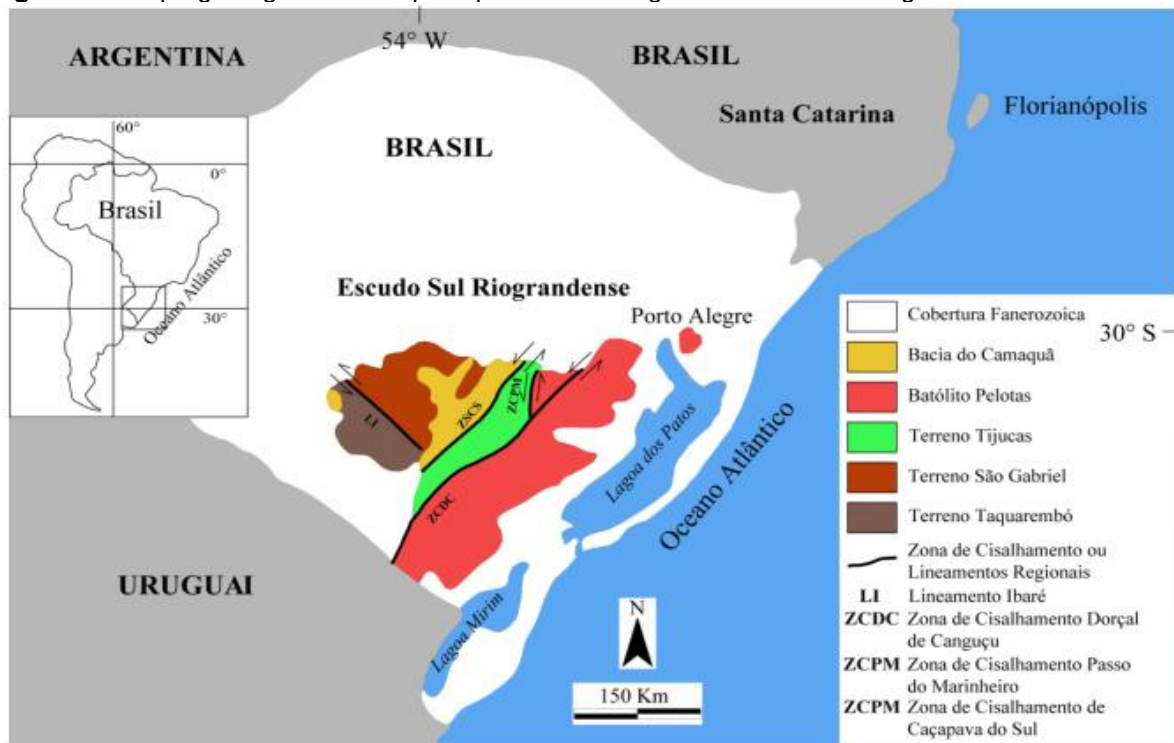
**Batólito Pelotas** – localiza-se na porção leste do ESrg e é limitado pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, que o separa do terreno neoproterozoico Tijucas (**Fig. 2**). Segundo Philipp *et al.* (2007), o Batólito Pelotas é composto por um complexo granítico e seis suítes intrusivas, tendo as rochas graníticas diversos enclaves de rochas máficas e também xenólitos de gnaisses tonalíticos e de rochas metassedimentares. Bitencourt e Nardi, (2000) afirmam que a geração do magmatismo neste batólito está vinculada a um ambiente pós-colisional, com alojamento de magmas em zonas de cisalhamento de cinemática predominantemente transcorrente.

**Terreno Tijucas** – é delimitado do Batólito Pelotas pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. Tem seu contato com o Terreno São Gabriel coberto por rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Camaquã (HARTMANN *et al.*, 2007) (**Fig.2**). Segundo Chemale Jr. (2000), o Terreno Tijucas é constituído por duas unidades geológicas metamorfisadas nas fácies xisto verde a anfibolito, que são: o Complexo Encantadas, composto por rochas granito-gnáissicas de idade paleoproterozoica, com idade ígnea em zircão pelo método U-Pb SHRIMP de 2.26 Ga a 2.1 Ga e idade metamórfica em zircão pelo método U-Pb SHRIMP de  $2045 \pm 10$  Ma; e o Complexo Porongos, representado por rochas supracrustais e plutônicas neoproterozoicas com idade ígnea em zircão de metarriolito pelos métodos SHRIMP e TIMS de 780-770 Ma. Para Chemale Jr. (2000), os dados isotópicos e de elementos traços de rochas metavulcânicas e metassedimentares sugerem retrabalhamento de um embasamento pré-Brasiliano neste terreno, o que indicaria a deposição em crosta continental distendida ou em arco magmático continental, com o retrabalhamento da crosta continental paleoproterozoica.

**Terreno São Gabriel** – Segundo Hartmann *et al.* (2007), este terreno é constituído por rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, plutônicas, gnaisses cálcio-alcalinos e associações de rochas interpretadas como ofiolitos. Dados petrológicos, estruturais e isotópicos indicam que o Terreno São Gabriel é o único terreno neoproterozoico de assinatura juvenil na parte sul da Província Mantiqueira (HEILBRON *et al.*, 2007) e que este representa um prisma acrecionário gerado durante o Neoproterozoico, com associações de ambientes de margem passiva, *back-arc*, ofiolitos e associações vulcanossedimentares e plutônicas de arco magmático (HARTMANN *et al.*, 2007).

**Terreno Taquarembó** – localiza-se na porção oeste do ESrg e é limitado do Terreno São Gabriel pelo Lineamento de Ibaré (**Fig.2**). O Terreno Taquarembó é composto por granulitos paleoproterozoicos e granitos neoproterozoicos, sendo interpretado por Hartmann *et al.* (2007) como um fragmento do Cráton Rio de La Plata.

**Figura 2** – Mapa geológico com as principais unidades geotectônicas do ESrg.



Fonte: extraído de BICCA (2013).



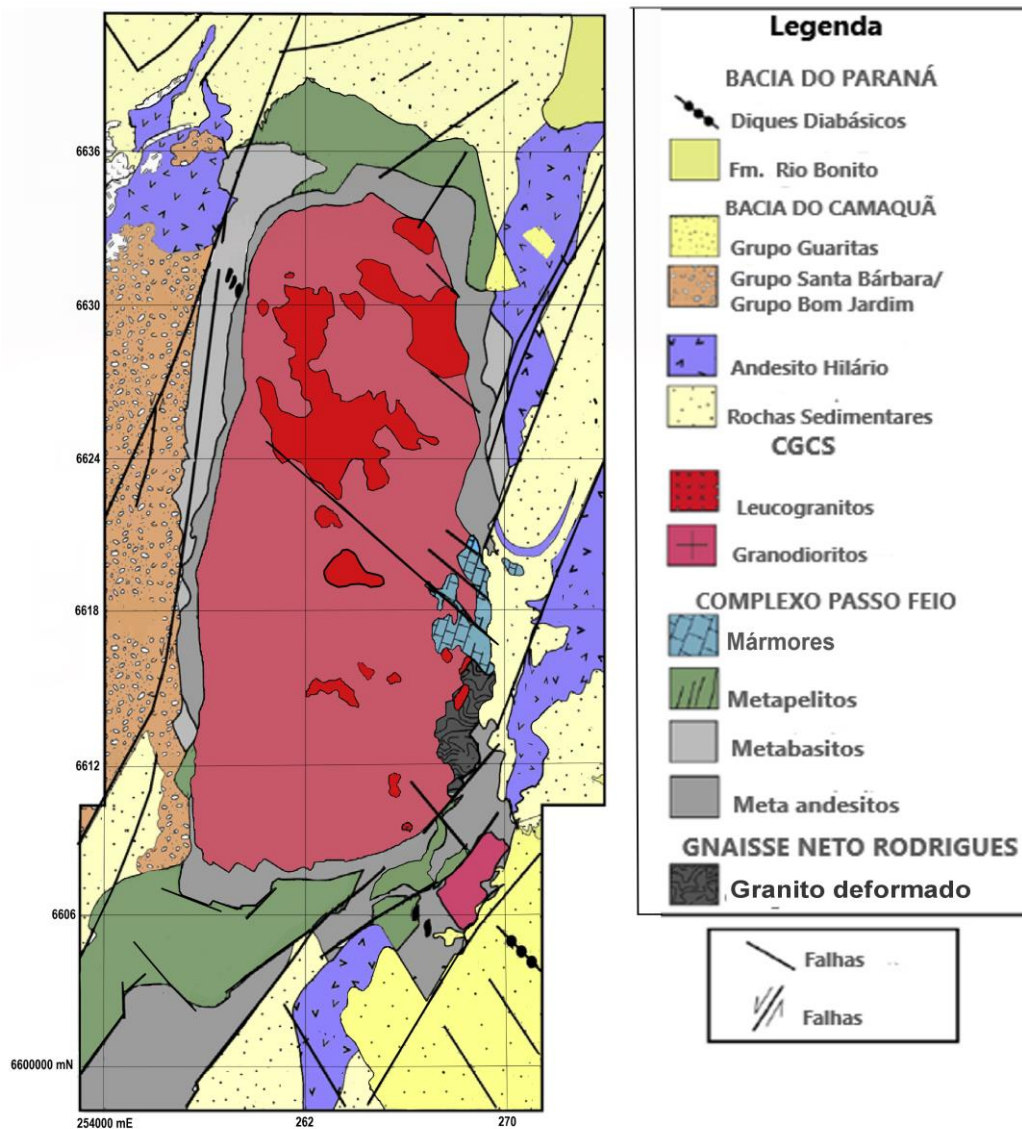
## 5 GEOLOGIA LOCAL

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF), o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) e o Gnaissé Neto Rodrigues (GNR) estão inseridos no domínio do Terreno São Gabriel do ESrg.

O GNR é circundado a leste pelas rochas do CGCS e a sul pelas rochas do CMPF (**Fig.3**).

Este item aborda as características litológicas e estruturais tanto do CGCS, do CMPF e do GNR, bem como dos processos envolvidos na formação destas unidades, além de descrever os principais trabalhos realizados na área do GNR ao longo dos anos.

**Figura 3** – Mapa da geologia local da área.



**Fonte:** extraído e modificado de Lopes *et al.* (2015).

### 5.1) Complexo Metamórfico Passo Feio

Bitencourt (1983) define o Complexo Metamórfico Passo Feio (**Fig.3**) como as rochas metamórficas que circundam o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS). O CMPF é composto por: metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas e metavulcânicas, mármore e rochas calcossilicatadas, quartzitos, xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizadas.

Bitencourt (1983) reconhece dois eventos de metamorfismo regional (M1 e M2) e três fases de deformação regional (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub>) registrados nas rochas do CMPF: **(1)** M1 compreende o evento de maior pico termal que atingiu a fácies anfibolito, zona da estauroлита. Em M1 a presença de andaluzita associada ao evento metamórfico sugere que o mesmo tenha sido de baixa pressão; **(2)** M2 compreende um evento retrogressivo de fácies xisto-verde. Este episódio está representado predominantemente nas rochas através da foliação S<sub>2</sub>. Nardi e Bitencourt (1989) consideram que a intrusão do CGCS foi simultânea ao evento M2; **(3)** os eventos deformacionais D1 e D2 ocorreram concomitantemente a M1 e M2. Já o evento deformacional D3 é reconhecido como responsável pela estrutura antiformal do CMPF, que tem como núcleo o CGCS.

A idade de geração do CMPF é pouco conhecida. Porém, as datações em K/Ar (SOLIANI, 1986) indicam que esta unidade metamórfica foi gerada entre 556 Ma (muscovitas) e 666Ma (microdiorito rocha total). Tickyj *et al.* (2004) obtiveram idades U/Th/Pb em mozanitas de 510 ± 68 Ma. No entanto, aqueles autores acreditam que a idade obtida é vinculada ao evento metamórfico M2.

## 5.2) Complexo Granítico Caçapava do Sul

Segundo Nardi e Bitencout (1989), o CGCS (**Fig.3**) é definido como um corpo de dimensões próximas à 250 Km<sup>2</sup>, orientado na direção N-S. É composto predominantemente por: **1**) biotita-granitoides: rochas de coloração cinza à rosada (quando intemperizadas) com altos teores de biotita, tendo allanita como mineral acessório; **2**) leucogranitoides: rochas de coloração rosada com baixo teor de minerais máficos; **3**) granitoides transicionais (grupo de granitoides caracterizados pela variação entre teores de minerais máficos e félsicos): rochas que possuem características intermediárias entre os tipos 1 e 2.

Segundo Nardi e Bitencourt (1989), são observáveis duas foliações no CGCS, uma principal e outra subordinada. Nos biotita-granitoides a foliação principal é ressaltada devido à abundância de minerais máficos orientados, acompanhada pelo achatamento e estiramento de quartzo e feldspatos. Nos leucogranitoides e granitoides transicionais a mesma foliação presente nos biotita-granitoides é observada atravessando contatos litológicos. A segunda foliação observada nas rochas graníticas é de caráter subordinado e corta a foliação principal.

Segundo Nardi e Bitencourt (1989), a principal foliação observável no CGCS é correlacionável com a foliação S<sub>2</sub> presente nas rochas do CMPF. Esta relação é indicada tanto pelo paralelismo entre a foliação principal do CGCS e a foliação S<sub>2</sub> do CMPF, o que é observado tanto em zonas de contato e em apófises, quanto em transformações mineralógicas compatíveis com a fácies xisto-verde, que caracterizam o evento de metamorfismo regional M2. Logo, aqueles autores consideram, devido a estas evidências, que a intrusão do CGCS foi sincrônica aos eventos metamórficos e deformacionais M2-D2.

O CGCS possui idade ígnea U/Pb em zircão de 561 ± 6 Ma (LEITE *et al.*, 1995) e é classificado geoquimicamente (NARDI; BITENCOURT, 1989; GASTAL; LAFON, 1998) como um granito de composição cálcio-alcálica de alto K, possivelmente com forte contribuição crustal (GASTAL; LAFON, 1998). Em relação à gênese do CGCS, esta é provavelmente associada ao magmatismo pós-colisional do Cinturão Ribeira (NARDI; BITENCOURT, 2007).

### 5.3) Gnaiss Neto Rodrigues

O Gnaiss Neto Rodrigues (GNR) (**Fig.3**) é definido como um gnaiss quartzo-feldspático composto por bandas gnáissicas constituídas por granodioritos, tonalitos, leucogranitos e granitoides transicionais (NARDI; BITENCOURT, 1989). Segundo Remus *et al.* (1996), a foliação milonítica e o bandamento gnáissico são as principais estruturas do GNR, tendo orientações de N10°E, com mergulho de 30° para SE, concordante com a foliação metamórfica das rochas encaixantes, representadas pelo Complexo Metamórfico Passo Feio. Estas estruturas possivelmente teriam origem relacionada a dois eventos posteriores à formação do GNR. Sua idade ígnea U/Pb em zircão é de  $2.448 \pm 7$  Ma (REMUS *et al.*, 1996).

Em relação à origem do GNR duas hipóteses foram levantadas: **(1)** Nardi e Bitencourt (1989), com base nas semelhanças petrológicas e mineralógicas existentes entre o CGCS e o GNR, relatam que o GNR seria uma porção do CGCS que foi submetida à intensa deformação; **(2)** Remus *et al.* (1996) explicam a origem do GNR embasados principalmente em dados geocronológicos e concluem que o GNR seria o protólito crustal que sofreu fusão parcial e teve participação na origem do CGCS. Segundo os últimos autores, o GNR pertence ao CMPF, em oposição ao sugerido por Nardi e Bitencourt (1989), que afirmam que o GNR é parte do CGCS.

Um dos primeiros trabalhos a mencionar o GNR é o de Nardi e Bitencourt (1989), cujo enfoque é o CGCS. Porém, o GNR é abordado de modo a comparar as suas semelhanças petrológicas e mineralógicas com as do CGCS.

Remus *et al.* (1996) utilizam análise de dados isotópicos U/Pb-SHRIMP em zircão para definir o GNR como uma das rochas mais antigas do sul do Brasil, dissertando sobre sua origem.

Em Remus *et al.* (2000), os autores estabelecem um modelo para a origem dos minerais de minério da Província Cuprífera de Caçapava do Sul através de análise isotópica e de morfologia de zircões. No modelo, fluídos magmáticos ricos em metais do CGCS lixiviaram rochas com conteúdo metálico do CMPF e posteriormente depositaram-se. O GNR não é enfoque desta pesquisa, mas dados geocronológicos deste são evidenciados, pois aqueles autores consideram o GNR como uma parte do CMPF.

Mais recentemente, o trabalho de Lopes *et al.* (2015) caracteriza a proveniência das rochas metassedimentares do CMPF. No trabalho, aqueles autores utilizam mapeamento geológico, análise geoquímica e dados isotópicos, além de consultas bibliográficas, para definir quais são as principais fontes de aporte sedimentar que geraram as rochas do CMPF. Segundo Lopes *et al.* (2015), o GNR seria uma destas fontes que erodiu e forneceu os sedimentos que formaram parte das rochas protólitas do CMPF.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma abordagem integrada entre revisão bibliográfica (etapa pré-campo), mapeamento geológico-estrutural (etapa de campo), descrição litológica e análise de microestruturas e de dados estruturais (etapa pós-campo), a fim de caracterizar o GNR de modo a corroborar com uma das duas hipóteses de origem anteriormente propostas ou ainda conceber uma terceira hipótese.

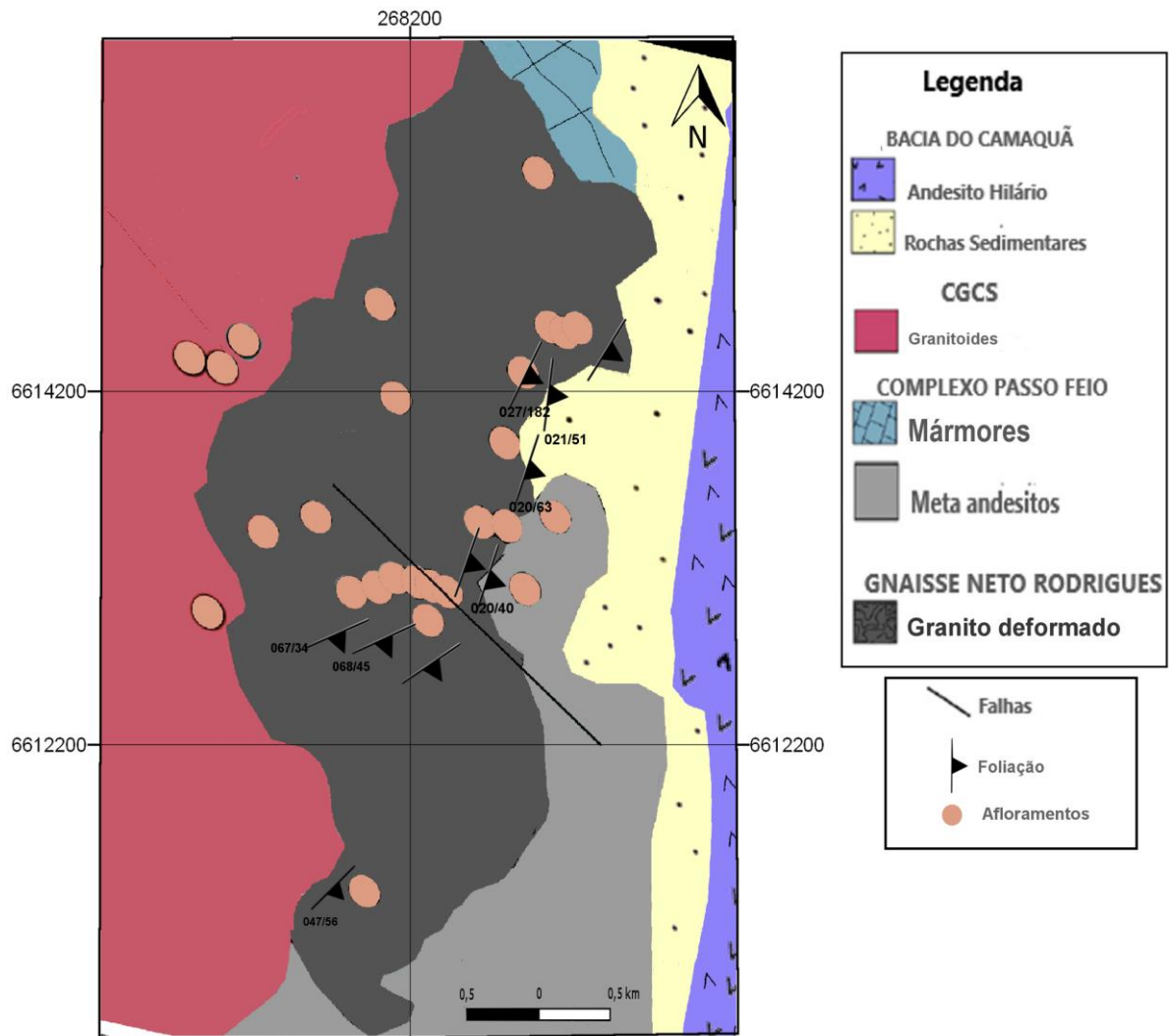
### 6.1) Revisão Bibliográfica

Esta etapa é baseada na compilação e análise dos trabalhos anteriormente publicados relacionados à área de estudo, tais como mapas geológicos, resumos, artigos, monografias, dissertações e teses. Esta etapa teve como objetivo obter embasamento teórico através dos estudos realizados anteriormente na área bem como avaliar os tipos de trabalhos e métodos aplicados na região. Este conhecimento foi fundamental para a delimitação e caracterização do problema e dos objetivos do trabalho, possibilitando novas abordagens de estudo, como a atualmente proposta.

### 6.2) Mapeamento Geológico e Estrutural

O mapeamento geológico e estrutural foi desenvolvido ao longo da área definida como GNR (**Fig. 4**) segundo os trabalhos de UFRGS – Instituto de Geociências (1999) e o de Lopes *et al.* (2015). Os trabalhos de campo realizados ao longo de diversos dias foram dedicados à observação, descrição litológica e estrutural, obtenção de dados estruturais, coleta de amostras e tomada de fotos de 26 afloramentos de rocha existentes na área de estudo. Esta etapa foi de extrema importância para a identificação de feições que caracterizassem possíveis eventos metamórficos e deformacionais que ocorreram no GNR.

**Figura 4** – Mapa geológico da área de estudo com os pontos realizados ao longo da etapa de mapeamento.



**Fonte:** extraído e modificado de Lopes *et al.* (2015)

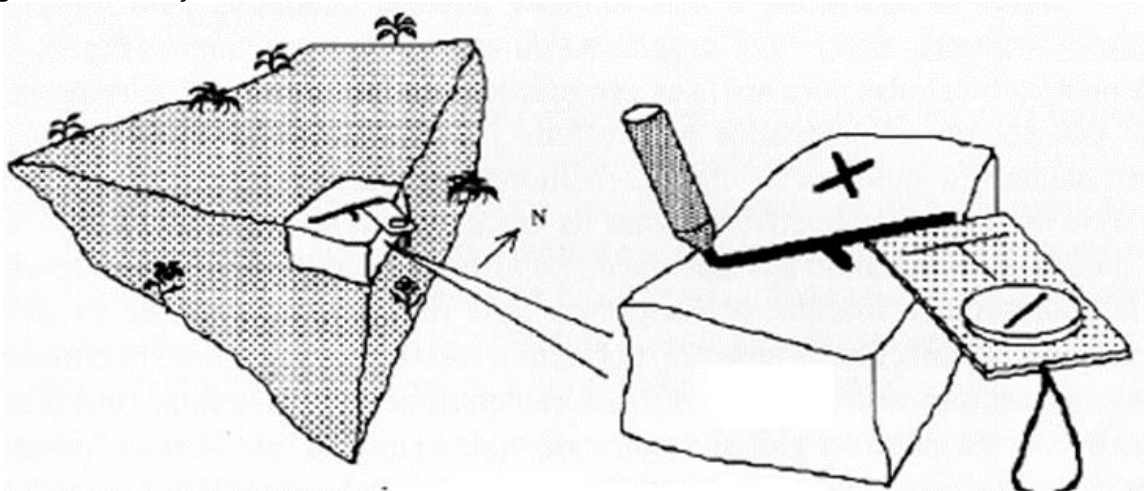
### 6.2.1) Coleta de Amostras

A coleta de amostras para descrição macroscópica e estudo de microestruturas foi elaborada coletando-as de forma orientada.

Uma amostra orientada preserva as informações espaciais de campo, importantes para reconstituir a disposição espacial das estruturas durante a etapa de descrição de amostra em nível microscópico. Junto com a análise petrográfica e de microestruturas, a sua orientação espacial original permite observar o sentido do movimento das estruturas tectônicas (*e.g.*, movimento sinistral ou dextral).

A coleta de amostras orientadas foi desenvolvida de maneira a atender os seguintes controles litológicos e estruturais (**Fig.5**): **(1)** marcava-se uma superfície de corte perpendicular à foliação e paralela à lineação; **(2)** no local marcado a amostra era removida e após realocada em sua posição original no afloramento; **(3)** posteriormente, através da utilização de uma bússola, media-se a atitude de uma das superfícies e anotava-se aquele dado. Por fim, marcava-se na rocha a face medida com um símbolo representativo do plano e do mergulho.

**Figura 5** – Ilustração de como orientar uma amostra.



Fonte: extraído de Passchier *et al.* (1993).

### 6.3) Etapa pós-Campo

A etapa pós-campo foi realizada em dois momentos. Em um primeiro, foram descritas em nível macroscópico as 25 amostras coletadas em diferentes pontos da área de estudo. Concomitante a isto foram confeccionados estereogramas com os dados estruturais obtidos e por último realizou-se a análise microestrutural em lâminas.

A descrição de amostras macroscópicas foi realizada com o auxílio de uma lupa e teve como objetivo identificar a textura, coloração, estruturas, mineralogia e forma dos cristais. Esta descrição teve como finalidade permitir a estimativa visual da mineralogia das rochas existentes na área de estudo e a posterior classificação segundo o Diagrama QAP (STRECKEISEN, 1967).

O tratamento estatístico e a representação em estereogramas de dados estruturais obtidos em campo de elementos planares e lineares foram realizados através do *software StereoNet™*.



### 6.3.1) Análise de Microestruturas

A análise de microestruturas buscou identificar em escala microscópica feições que indiquem possíveis eventos metamórficos e/ou deformacionais sofridos pela rocha, além de qual direção e sentido a deformação ocorreu. Dentre as feições características de deformação observáveis em microescala, podem-se citar: a formação de subgrãos e novos grãos por mecanismos de recristalização, a rotação de grãos, o deslocamento de grãos fraturados, fraturas intercristalinas e intragranulares, entre outras. Já as feições características de eventos metamórficos são: texturas características de rochas metamórficas (granoblástica, lepidoblástica, nematoblástica, entre outras), como a orientação de filossilicatos ou cristais prismáticos, a morfologia dos grãos (ameboides, poligonais ou interlobados) e o formato dos contatos (reto, serrilhado ou poligonal). Estas características são fundamentais para determinar as condições térmicas da deformação e do nível crustal em que ocorreram, bem como comparar diferentes tipos litológicos e relacioná-los.

Foram confeccionadas e analisadas 13 lâminas delgadas no Laboratório de Petrografia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). O corte para a confecção de lâminas petrográficas também foi realizado de modo perpendicular à foliação e paralelo à lineação, o que possibilita a avaliação da morfologia da foliação e variação da deformação, bem como visualização do máximo estiramento.

A análise das lâminas foi realizada sob um microscópio de luz transmitida da marca *Zeiss*, no Laboratório de Microscopia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

## 7 RESULTADOS

### 7.1) Caracterização Litológica

As litologias aflorantes na área de estudo são caracterizadas por monzogranitos, sienogranitos e granodioritos (**Fig.6**).

As estruturas de mesoescala comuns a todos os litotipos existentes na área de estudo são uma foliação e um bandamento (**Fig.7-a, b, c e d**).

A foliação das rochas estudada geralmente é desenvolvida e evidenciada pelo hábito lamelar dos minerais micáceos. Ocasionalmente, é bem desenvolvida em zonas que aparentam ter maior deformação, fato que se restringe ao afloramento de granodiorito localizado à nordeste da área e próximo da Cachoeira Neto Rodrigues (**Fig.4**). Neste, a estrutura geralmente tem ângulo médio de mergulho (20 a 63°), com direção principal NE-SW e mergulho para E.

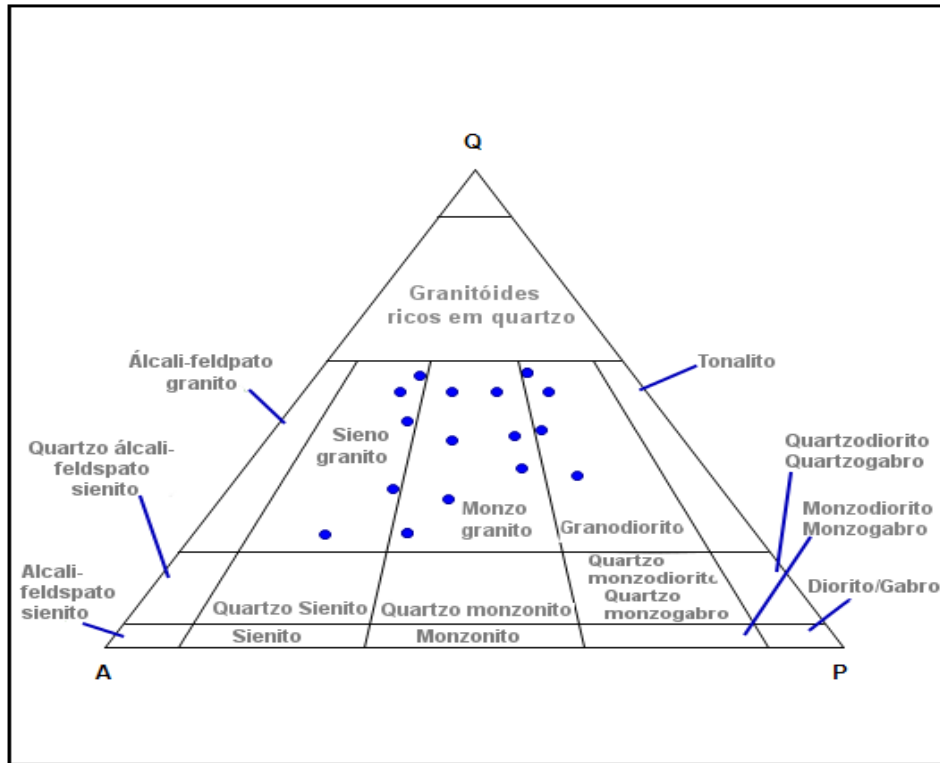
O bandamento é paralelo à foliação. As bandas, apesar de aparecerem em todos os litotipos, ora são incipientes em um e ora bem formadas em outro. A materialização desta estrutura em campo ocorre pela diferença de cores, caracterizada pela intercalação de aglomerados de minerais mais félsicos ou máficos e pela diminuição da granulometria dos minerais.

Os monzogranitos são a unidade mais expressiva na área de estudo, aflorando como lajeados no campo ou em drenagens e na Cachoeira Neto Rodrigues. Na maior parte dos afloramentos observados ocorrem intercalados a sienogranitos e em dois afloramentos a granodioritos. A rocha tem textura fanerítica e coloração rosada ou cinza-claro. A cor rosa é atribuída à quantidade de K-feldspato existente nas amostras, que é de 30% a 40%. A granulometria é predominantemente fina, porém em amostras de mão são observadas algumas porções de granulometria média. Os monzogranitos possuem estrutura bandada e as bandas têm cor rosa-claro e cinza-escuro (**Fig. 7-a e b**). As rosas possuem espessuras que variam de 1mm à 3 cm, enquanto as cinza-escuro tem espessuras de 1 mm a 2 cm. As bandas félsicas têm mineralogia composta por K-feldspato, plagioclásio e quartzo, enquanto as bandas mais máficas são compostas predominantemente por biotita, plagioclásio e quartzo. Nas bandas escuras, a foliação observada em todos os afloramentos de monzogranito destaca-se pela grande quantidade de biotita.

Os sienogranitos afloram como lajeados em drenagens. A rocha tem textura fanerítica, coloração rosada e granulometria predominantemente média e estrutura bandada. As bandas têm coloração rosada e cinza-escuro e ocorrem paralelas à foliação da rocha (**Fig. 7-c**). Em amostra de mão, as bandas rosadas apresentam espessura de 3 mm. Já as bandas escuras possuem espessuras entre 1 mm à 3mm. As bandas claras possuem mineralogia predominantemente composta por K-feldspato, plagioclásio e quartzo, enquanto as bandas escuras têm mineralogia composta por biotita, muscovita e clorita.

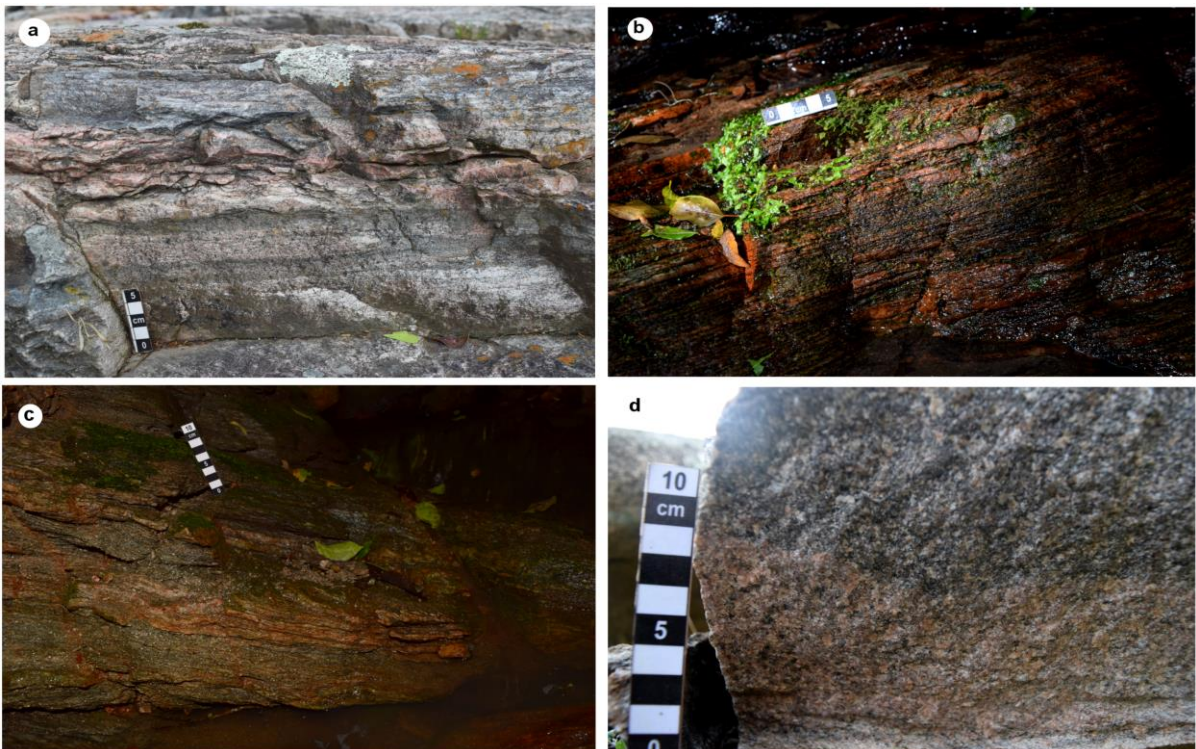
Os granodioritos são uma unidade menos expressiva na área de estudo, aflorando na forma de matacões no campo ou como lajeados em drenagens e na Cachoeira Neto Rodrigues. A rocha tem cor rosa, granulometria predominantemente fina, textura fanerítica, estrutura foliada e ocasionalmente bandada. As bandas, quando observadas, são incipientes, de cor cinza-escuro, espessuras de 1 mm a 5 mm, com mineralogia composta predominantemente de biotita, quartzo e clorita. No afloramento de rocha da Cachoeira Neto Rodrigues, a nordeste da área de estudo (**Fig.4**), o granodiorito ocorre intercalado ao monzogranito. Em outro afloramento, localizado a oeste na área de estudo e próximo ao contato com CGCS (**Fig.4**), os granodioritos ocorrem juntos aos monzogranitos (**Fig. 7-d**) em proporções semelhantes, o que também é verificado em amostra de mão. O contato entre as duas rochas é de limite difuso e ocorre de forma paralela à foliação. Devido a estas características, acredita-se que a coexistência das duas rochas em um mesmo afloramento é proveniente de uma variação composicional original de uma rocha ígnea plutônica. A variação composicional observada no afloramento é semelhante a vista nas rochas do CGCS em zonas de baixa deformação, além disso, a relação de coexistência entre granodioritos e monzogranitos, remete às características dos tipos transicionais observados no CGCS por Nardi e Bitencourt (1989). Outra evidência que deve ser levada em consideração é a proximidade do afloramento de granodioritos junto aos monzogranitos com a porção menos deformada do CGCS

**Figura 6** – Diagrama QAP (STRECKEISEN, 1967) realizado através de classificação visual da mineralogia das rochas existentes na área de estudo.



Fonte: extraído do software *RockWin*™.

**Figura 7** – Fotos da estrutura bandada da rocha. a) bandas rosas e cinza-escuro no afloramento de monzogranito; b) bandamento em afloramento de monzogranito; c) bandas rosas e cinza-claro em paralelas a foliação em afloramento de sienogranito d) bandamento composicional de granodiorito junto a monzogranito em região de baixa deformação.



Fonte: autora.

## 7.2) Estruturas de mesoescala

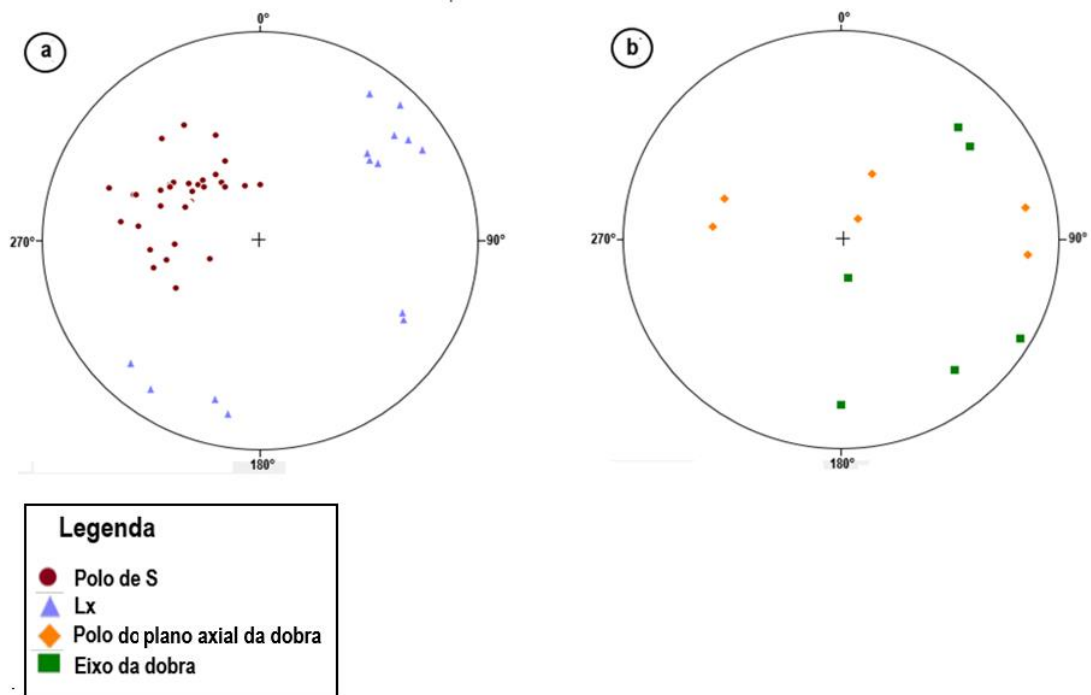
Todos os tipos litológicos observados em campo possuem estrutura de trama S>L (**Fig. 8 a e b**). Esta foliação secundária, de origem tectônica, é geralmente desenvolvida (**Fig.9-a e b**) e ocasionalmente bem desenvolvida (**Fig.9-c e d**). Estas estruturas planares são evidenciadas pela orientação das lamelas de mica (**Fig.9-a**). A foliação geralmente observada na área de estudo possui ângulo médio de mergulho (**Fig.8-a e 9-b**), entre 30 e 56°, com direção principal NE-SW, geralmente mergulhando para E (**Fig. 8-a**). Em menor proporção, esta estrutura planar apresenta baixo ângulo, entre 20 e 30°, com direção principal NE-SW e mergulho geralmente para S (**Fig. 8-a e 9-a**). É observado um único registro da foliação com ângulo alto, de 63°, com direção NNE-SSW e caimento para ESE (**Fig. 8-a e 9-d**). Todos os litotipos aflorantes possuem registros da foliação de baixo e/ou médio ângulo. Já o único registro da foliação de alto ângulo em campo ocorre em um dos afloramentos de granodiorito, que se encontra a nordeste na área de estudo e a poucos metros dos afloramentos da Cachoeira Neto Rodrigues (**Fig. 4 e 9-d**).

Na maior parte dos afloramentos não foi possível identificar e, por consequência, obter medidas da lineação. Quando observada, apresenta um caráter de estiramento, geralmente mal desenvolvida. Os afloramentos em campo onde a lineação apresenta-se melhor desenvolvida são em um afloramento de monzogranito, localizado a nordeste na área de estudo (**Fig. 4 e 10-a**), e em um outro de granodiorito, que ocorre a nordeste na área (**Fig.4 e 10-b**).

A partir da análise estereográfica, constata-se que a lineação de estiramento é de baixo *rake*, com caimentos de 10° à 37° para NNE ou NE, principalmente para NE, e em menor proporção de 15° à 22° para SW e de 25° e 27° para SE (**Fig.8-a**). A sua geometria caracteriza uma deformação sob regime transcorrente, com certa obliquidade.

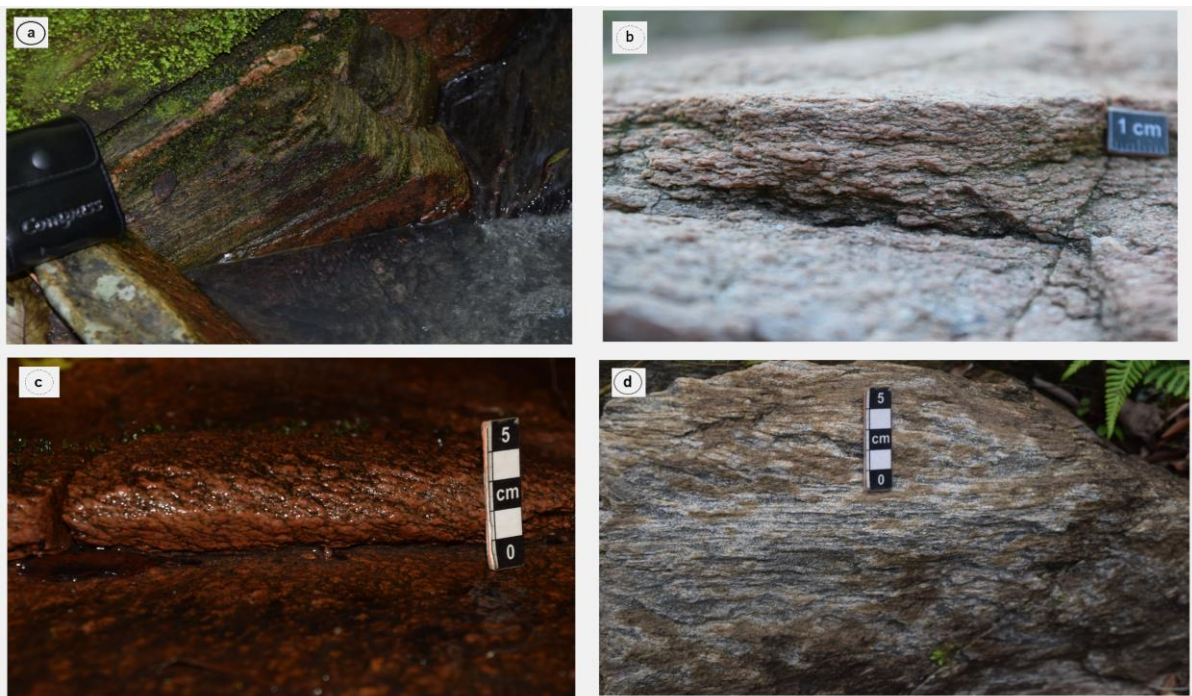
Foram observadas duas dobras em um afloramento de monzogranito intercalado com sienogranito. Uma das dobras é fechada, assimétrica e reclinada (**Fig.11-a**). O caimento do eixo é baixo e para SE. Já o plano axial tem direção NW-SE, com baixo mergulho para S (**Fig.8-b**). A outra dobra é simétrica e suave (**Fig.11-b**), com eixo baixo para SE e plano axial com direção N-S e alto mergulho W (**Fig.8-b**).

**Figura 8** – Estereogramas das estruturas (diagrama equiárea, hemisfério inferior). a) Polos dos planos da foliação tectônica e lineação de estiramento. b) Polos dos planos axiais das dobras e respectivos eixos.



Fonte: estereogramas gerados através do software StereoNett™.

**Figura 9** – Fotos de detalhe da foliação observada em alguns afloramentos. a) Foliação desenvolvida e de baixo ângulo de mergulho, evidenciada pela orientação das lamelas de micas, observada em afloramento de monzogranito. b) Foliação desenvolvida e de médio ângulo, observada em afloramento de monzogranito. c) Foliação bem marcada em afloramento de sienogranito. d) Foliação bem desenvolvida e de alto ângulo de mergulho em afloramento de granodiorito.



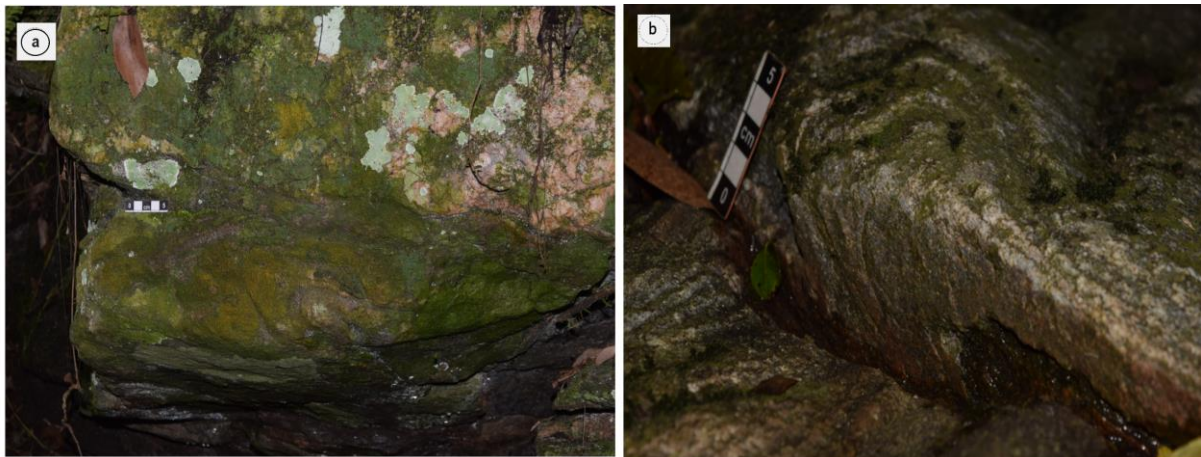
Fonte: autora.

**Figura 10** – Fotos de detalhe da lineação de estiramento ( $L_x$ ) quando bem desenvolvida. **a)**  $L_x$  em monzogranito. **b)**  $L_x$  em granodiorito.



**Fonte:** autora.

**Figura 11** – Fotos de detalhe das dobras observadas em afloramento de monzogranito intercalado com sienogranito. **a)** Dobra fechada, assimétrica e reclinada. **b)** Dobra simétrica e suave.



**Fonte:** autora.

### 7.3) Caracterização petrográfica e microestrutural

#### 7.3.1) Monzogranito

Esta rocha tem granulometria média e textura equigranular. Sua mineralogia é composta por quartzo (40%), K-feldspato (20%), plagioclásio (15%), biotita (15%), muscovita (5%), clorita (4%) e minerais opacos (1%) como acessórios.

O quartzo tem cristais subédricos à anédricos. É comum observar em cristais maiores novos grãos menores de quartzo e em menor proporção de biotita. São observados cristais envolvidos por subgrãos. Além disso, observa-se bandas compostas inteiramente por cristais de quartzo (**Fig. 12-a**), que geralmente são alongados, com extinção ondulante e formação de novos grãos, caracterizando *ribbons*. Também se observou agregados alongados paralelos à foliação de cristais de quartzo e plagioclásio, subédricos e anédricos, com granulometria fina, evidenciando recristalização dinâmica no quartzo e microestruturas rúpteis nos feldspatos.

O K-feldspato é de difícil identificação e esta só é possível devido à alteração para argilomineral. Os cristais são subédricos ou anédricos e geralmente estão fraturados, característica que é melhor evidenciada à luz natural. Localizadamente, observam-se subgrãos e novos grãos nas bordas dos cristais (**Fig.12-b**). Estruturas do tipo sigma são mal desenvolvidas (**Fig. 12-c, lâmina invertida**), com cauda indicando movimento sinistral.

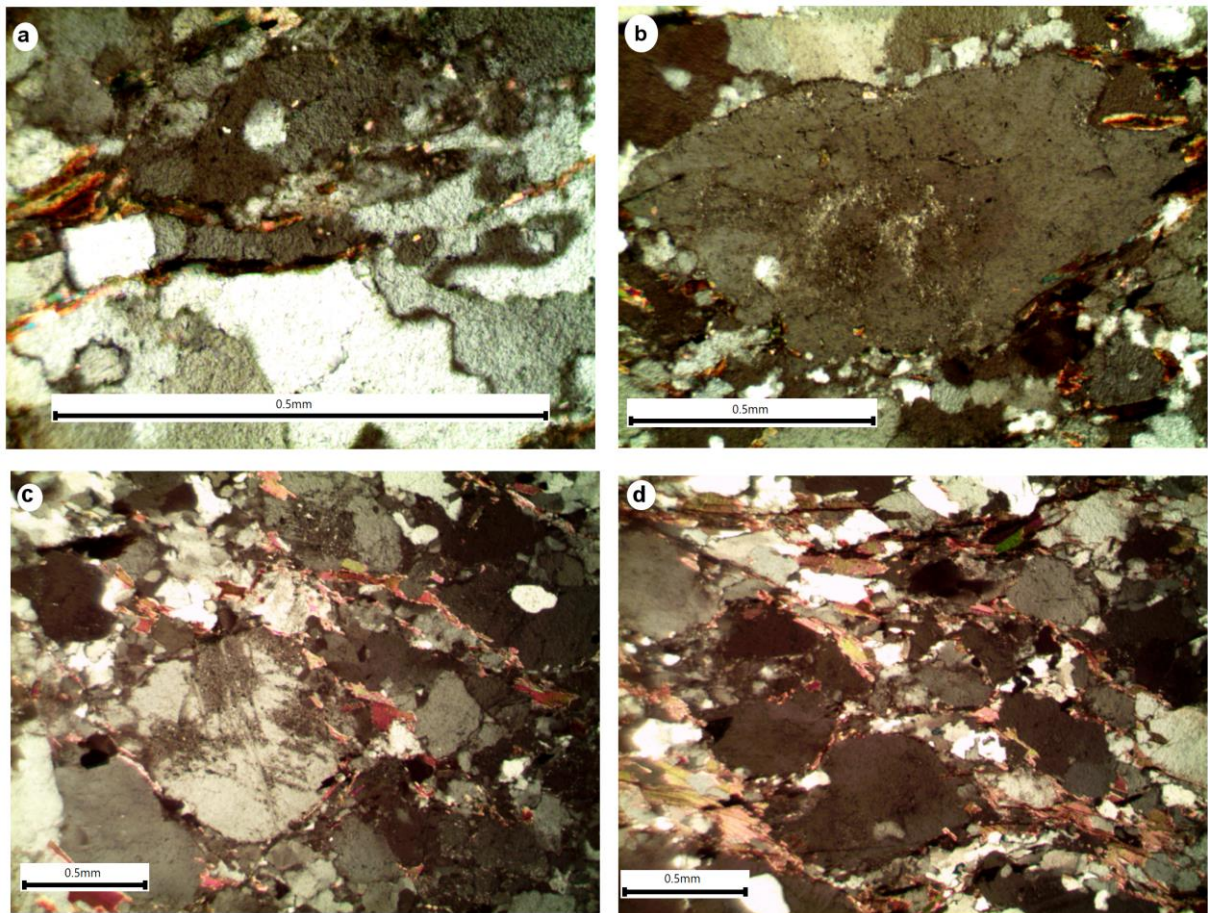
O plagioclásio é subédrico e geralmente apresenta macla polissintética descontínua e/ou mal desenvolvida e ocasionalmente bem desenvolvida. Foram observados subgrãos (**Fig.12-d**) e novos grãos restritos às bordas dos cristais. Ocasionalmente, observou-se cristais com sombra de pressão assimétrica indicando movimento sinistral.

A foliação é geralmente anastomosada e fraca e raramente milonítica (**Fig. 12-d**) e incipiente. Esta estrutura planar é marcada pela orientação dos minerais lamelares, que são biotita, clorita e muscovita. Estes minerais são geralmente subédricos. Algumas vezes os cristais de biotita são observados junto à cristais de quartzo em estruturas de sombra de pressão indicando movimento sinistral.

Os minerais opacos são subédricos à anédricos e geralmente têm granulometria fina. São frequentemente observados junto aos minerais lamelares, ou inclusos em cristais de biotita.



**Figura 12** – Aspecto petrográfico do monzogranito (lâmina invertida) a nicóis cruzados. **a)** banda de quartzo alongada e com recristalização dinâmica; **b)** cristal de feldspato envolto por subgrão; **c)** cristal de K-feldspato com estrutura do tipo sigma; **d)** foliação milonítica e incipiente.



Fonte: autora.

### 7.3.2) Sienogranito

Observou-se duas texturas distintas nas lâminas de sienogranito. Uma porfírica, com cristais de granulometria fina e porfiroclastos de granulometria média à grossa, e outra equigranular, na qual os cristais possuem granulometria predominantemente média.

A rocha de textura porfírica tem mineralogia composta por quartzo (40%), K-feldspato (30%), quartzo (15%), plagioclásio (10%), muscovita (3%) e minerais opacos (2%) como acessórios. Enquanto a de textura equigranular é composta por quartzo (40%), K-feldspato (25%), biotita (20%), plagioclásio (10%) e clorita (5%).

Na rocha com textura porfírica, os cristais de quartzo são anédricos à subédricos quando compõem a matriz da rocha e subédricos quando apresentam granulometria média ou grossa. Já na rocha de textura equigranular os cristais de quartzo são anédricos à subédricos. As microestruturas comuns observadas em cristais de quartzo, tanto no sienogranito com textura porfírica quanto com textura equigranular, são: bandas de cristais alongados com extinção frequentemente ondulante, com subgrãos e novos grãos no entorno de cristais de feldspatos (**Fig. 13-a**).

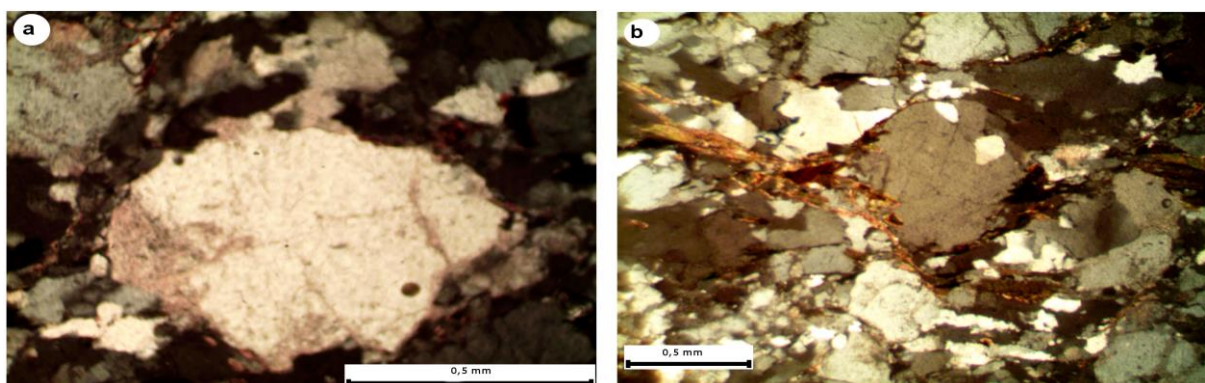
O K-feldspato, tanto na rocha com textura porfírica quanto na rocha com textura equigranular, é predominantemente subédrico e de granulometria média. Ocasionalmente são observados cristais fraturados e raramente são vistos subgrãos e novos grãos restritos às bordas dos cristais (**Fig. 13-a**). Geralmente, a identificação deste mineral é apenas possível devido a sua alteração em parte para argilomineral.

As características comuns apresentadas pelo plagioclásio nas no sienogranito são de que seus cristais são anédricos à subédricos e eventualmente são observadas maclas polissintéticas e seus cristais por vezes são envoltos por quartzo e biotita recristalizados (**Fig. 13-b**).

A foliação é anastomosada e incipiente em rocha de textura porfírita e anastomosada e fraca em rocha com textura equigranular. Esta estrutura planar é marcada pela orientação de minerais lamelares. Tanto os cristais de biotita, quanto de muscovita e clorita são subédricos.

Os minerais opacos são subédricos à euédricos, com granulometria de fina à média, raramente grossa.

**Figura 13** – Aspecto petrográfico do sienogranito (lâmina invertida) a nicóis cruzados. a) cristal de K-feldspato envolto por quartzo recristalizado; b) cristal de plagioclásio envolto por quartzo recristalizado e biotita.



Fonte: autora.

### 7.2.3) Granodiorito

O granodiorito tem textura equigranular, com cristais de granulometria predominantemente média. A mineralogia é composta por quartzo (40%), plagioclásio (20%), K-feldspato (10%), biotita (25%), clorita (3%) e minerais opacos como acessórios (2%).

O quartzo é anédrico à subédrico. Geralmente são observados subgrãos e novos grãos subédricos a anédricos (**Fig. 14-a**), provavelmente originados por recristalização dinâmica. São observadas bandas compostas inteiramente por cristais de quartzo e nelas são frequentemente visualizados cristais alongados, com extinção ondulante e recristalização dinâmica. Além disso, cristais de quartzo compõem, junto com plagioclásio, faixas alongadas paralelas a foliação onde se vê um comportamento de recristalização no quartzo e microestruturas rúpteis no plagioclásio.

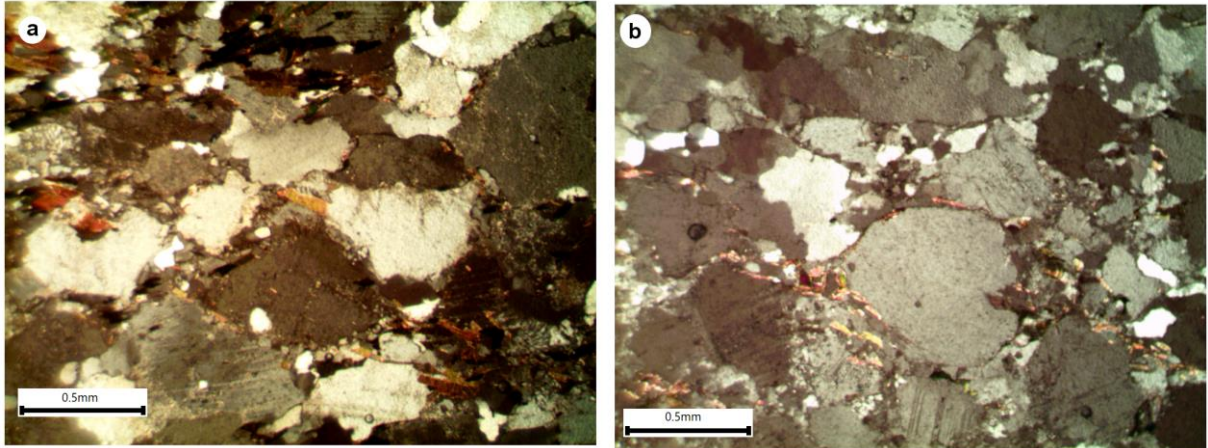
O plagioclásio é predominantemente subédrico. Porém, em menor proporção, são observados cristais anédricos e euédricos. Ocasionalmente ocorrem também como agregados junto ao quartzo e paralelos a foliação. Os cristais apresentam maclas polissintéticas, geralmente descontínuas e difusas, e ocasionalmente bem desenvolvidas. Eventualmente observa-se subgrãos e novos grãos arredondados nas bordas dos cristais. Seu comportamento frente à deformação é predominantemente rúptil, formando com o quartzo típicas estruturas manto e núcleo.

O K-feldspato é anédrico à subédrico. Os cristais deste mineral geralmente são observados fraturados e/ou com cristais de quartzo recristalizados ao seu redor (**Fig. 14-b**). A identificação do mineral em lâmina delgada é difícil, sendo apenas possível devido à alteração para argilomineral. Devido ao faturamento dos cristais de K-feldspato constata-se que o comportamento deste mineral frente à deformação é predominantemente rúptil.

A foliação nos granodioritos é espaçada, anastomosada, de incipiente à fraca, e marcada pela orientação preferencial de cristais lamelares de biotita e clorita. A biotita é subédrica à euédrica e é o principal mineral observado na foliação. Em menor proporção são vistos cristais de clorita. Cristais de biotita, com tamanho inferior a 0,5 mm, formam estrutura do tipo *mica-fish* indicando movimento sinistral.

Os minerais opacos geralmente são euédricos, de granulometria fina à média.

**Figura 14** – Aspecto petrográfico do granodiorito (lâmina invertida) a nicóis cruzados. **a)** Cristais de quartzo recristalizado englobando pequenos cristais de biotita; **b)** cristal de K-feldspato com cristais de mica e quartzo recristalizado ao seu redor;



Fonte: autora.

## 8 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos indicam que as características litológicas e mineralógicas das rochas estudadas são semelhantes às três fácies do CGCS definidas por Nardi e Bitencourt (1989). Dentre as fácies do CGCS, devem-se destacar principalmente os tipos transicionais, aos quais os autores daquele trabalho definem como um grupo de rochas que apresentam variação contínua nos teores de minerais félsicos e máficos, tendo como extremo félsico os granitoides leucocráticos e o extremo máfico os biotita granitoides.

Os monzogranitos, sienogranitos e granodioritos do GNR também possuem uma variação contínua nos teores de minerais félsicos e máficos, uma condição que se assemelha aos granitoides transicionais do CGCS. Também são observadas relações de campo semelhantes entre as rochas do GNR e as do CGCS do trabalho de Nardi e Bitencourt (1989). No CGCS, aqueles autores observam os tipos transicionais em contatos nítidos com os biotita granitoides ou associados aos leucogranitoides em campo. Já no GNR, a observação dos afloramentos em campo indica que o contato nítido ocorre na forma de bandamento composicional entre os granodioritos e monzogranitos que localizam-se a sudoeste na área de estudo e próximos ao CGCS (**Fig.4 e 7-d**). Já os monzogranitos e os sienogranitos, tais como as rochas do CGCS, ocorrem associados em uma relação que aparentemente é de caráter gradacional.

Os granodioritos observados no GNR têm características composicionais semelhantes aos biotita granitoides do CGCS definidos por Nardi e Bitencourt (1989). Essa semelhança destaca-se principalmente pelo alto teor de biotita observado nos granodioritos do GNR, que é de aproximadamente 25%. Além desta semelhança, outras são observadas. O conteúdo de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio dos granodioritos que ocorrem intercalados aos monzogranitos no GNR é análogo ao de uma amostra de biotita granitoide do estudo realizado por Nardi e Bitencourt (1989). Complementarmente, duas amostras de monzogranito do GNR possuem teores de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio compatíveis ao de uma amostra de granitoide leucocrático e outra de granitoide transicional analisados por Nardi e Bitencourt (1989) no CGCS.

A trama S>L das rochas do GNR, definida por uma foliação tectônica com direção principal NE-SW e mergulho principalmente de médio ângulo para E e em menor proporção de baixo ângulo para S, e lineação de estiramento de baixo *rake*, com caimento principalmente para NE, e em menor proporção para SW e SE, caracterizam uma deformação sob regime transcorrente, o que é também observado por Nardi e Bitencourt (1989).

Uma outra característica semelhante entre o GNR e o CGCS é a lineação de estiramento. Nardi e Bitencourt (1989) observaram que no CGCS o caimento da estrutura linear é raramente para SW, o que também acontece nas rochas do GNR. Registros da lineação com caimento para SW foram obtidos em um granitoide localizado na porção sudoeste na área de estudo, próximo ao contato com a porção sudeste do CGCS e em afloramentos de monzogranito na porção centro-sul do GNR.

O caráter heterogêneo da deformação sob as rochas do GNR foi observado tanto em mesoescala quanto em microescala. Em campo, a foliação apresentava-se desenvolvida e com baixo ângulo nas rochas localizadas a sudoeste na área de estudo e próximas ao contato com a porção menos deformada do CGCS (**Fig. 4**), para progressivamente bem desenvolvida e de médio ângulo a nordeste (**Fig. 4**). É importante frisar que as rochas que se localizam a nordeste na área de estudo são os monzogranitos intercalados a sienogranitos da Cachoeira Neto Rodrigues ou afloramentos próximos.

Em relação às microestruturas observadas, acredita-se que a formação de novos grãos, subgrão e *ribbons* no quartzo e estruturas do tipo sigma em K-feldspatos, estruturas do tipo manto-núcleo e faixas de agregados compostas por quartzo e plagioclásio paralelas à foliação, tenham sido originadas por processos de recristalização dinâmica sob regime de tensão em cisalhamento simples, já que estas microestruturas têm características semelhantes às definidas por Passchier e Trouw (2005).

A grande quantidade de feições de recristalização dinâmica observadas em cristais de quartzo, bem como a presença de *ribbons* inteiramente formadas por cristais deste mineral, indicam, segundo Passchier e Trouw (2005), condições térmicas de deformação entre 400°C e 500°C. O comportamento oblíquo do K-feldspato, que ora é observado fraturado, ora formando estruturas do tipo sigma, indicam, segundo Hills (2002) e Passchier e Trouw (2005), também condições térmicas de deformação que iniciaram a 400°C e foram até 500°C, uma vez que as microestruturas dos feldspatos são predominantemente rúpteis. A observação de cristais de K-feldspato fraturados é uma evidência interessante para delinear as condições térmicas em que as rochas do GNR foram submetidas durante a deformação, já que, segundo Passchier e Trouw (2005), feições fraturadas no K-feldspato são destruídas em temperaturas superiores a 500°C.

A foliação anastomosada, incipiente ou fraca observada, assemelha-se a estruturas planares descritas por Passchier e Trouw (2005) como produzidas através de cisalhamento simples. A orientação das lamelas de minerais micáceos que constituem a foliação indicam movimento sinistral. Caudas de recristalização de material rico em quartzo ao redor de cristais de feldspatos também indicam um movimento sinistral, assim como a variação da direção da foliação. Em zonas de mais baixa deformação, localizadas a sudoeste da área de estudo (**Fig. 4**), a direção é NE, enquanto que nas zonas de mais alta deformação, localizadas a nordeste da área, ela inflete para NNE (**Fig. 4**), indicando um giro anti-horário.

O caráter heterogêneo da deformação também foi observado durante a etapa de análise microestrutural. Todas as rochas observadas, independente da localização geográfica dos seus afloramentos na área do GNR, possuíam microestruturas em comum, como subgrãos, novos grãos, *ribbons* e faixas de minerais recristalizados paralelas à foliação. Porém, nas lâminas de monzogranitos, sienogranitos e granodioritos localizados a nordeste na área de estudo (**Fig. 4**), todas as microestruturas eram melhores desenvolvidas e sua observação mais recorrente, em comparação com as lâminas dos mesmos litotipos localizados a sudeste ou na porção centro-sul da área (**Fig. 4**). Além disso, também se observou mudanças nas características da foliação nas rochas mais a sudoeste da área. Geralmente esta estrutura planar em lâmina é anastomosada e incipiente, enquanto a nordeste, inclusive nas lâminas de monzogranito da Cachoeira Neto Rodrigues, a estrutura planar é anastomosada e bem marcada.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As feições observadas através da análise microestrutural levam a crer que a rocha foi deformada em intervalos de temperatura de baixos a médios, de 400°C a 500°C. Neste intervalo de temperatura a rocha é ainda capaz de preservar uma certa estrutura ígnea, definida principalmente pela textura equigranular e pela presença predominante de cristais subédricos observados em lâminas. Além disso, nestas condições térmicas, mecanismos de recristalização dinâmica e, por consequência, plásticos, atuam nos cristais de quartzo, enquanto a deformação nos cristais de K-feldspato e plagioclásio ainda é de caráter predominantemente rúptil.

A observação de microestruturas formadas por deformação predominantemente plástica (marcada pelo quartzo), somadas a uma foliação espaçada, anastomosada, incipiente ou fraca, e a observação tanto em mesoescala quanto em microescala de estruturas que indicam o caráter heterogêneo da deformação, levam a crer que as rochas do GNR foram deformadas em uma zona de cisalhamento simples, onde a deformação ocorreu principalmente de forma plástica.

As semelhanças observadas entre o GNR e o CGCS, tais como as relações de campo, a observação de uma lineação de estiramento com caimento para NE, a composição mineralógica e as litologias semelhantes, somadas à observação de um afloramento de granodiorito intercalado com monzogranito que tem características que remetem às rochas do CGCS na sua zona de baixa deformação, levam a considerar que o GNR é uma porção do CGCS que foi mais intensamente deformada, o que corrobora com o que foi proposto por Nardi e Bitencourt (1982) em contraposição ao que foi sugerido por Remus *et al.* (1996).

Em relação ao bandamento observado nas rochas do GNR, acredita-se que a geração desta estrutura ocorreu devido à paralelização das estruturas de bandamento composicional em uma zona de alta deformação. Isto é corroborado pela grande quantidade de microestruturas de recristalização observadas nos sienogranitos intercalados com monzogranitos que ocorrem a nordeste da área. Também é corroborado pela presença de rochas localizadas a sudoeste na área de estudo, que apresentam uma nítida estrutura de bandamento por variação composicional na zona de baixa deformação.



Levando em consideração de que o bandamento no GNR ocorreu devido a paralelização de estruturas de bandamento composicional em uma zona de alta deformação, bem como às semelhanças entre o GNR e o CGCS e de que em microescala observou-se que as rochas do GNR ainda possuem estrutura ígnea com um certo grau de preservação. Sugere-se que o termo Gnaiss não seja mais utilizado e adote-se o termo granitoides bandados, como sendo uma das fácies do CGCS.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de et al. Províncias Estruturais Brasileiras. Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, p.363-391, nov. 1977.

BICCA, Marcos Müller. **Tectônica e Proveniência do Grupo Santa Bárbara, Região de Minas do Camaquã, RS.** 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BITENCOURT, Maria de Fátima. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e Relação com o Corpo Granítico. **Atas do I Simpósio Sul-brasileiro de Geologia**, Porto Alegre, p.37-47, set. 1983.

BITENCOURT, Maria de Fátima; NARDI, Lauro Valentim Stoll. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.30, p.184 -187, 2000.

BIZZI, Luiz Augusto et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG.** Brasília: Cprm, 2003. 692 p. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Acervo/Geologia,-Tectonica-e-Recursos-Minerais-do-Brasil-\(textos,-mapas-&-SIG\)-790.html](http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Acervo/Geologia,-Tectonica-e-Recursos-Minerais-do-Brasil-(textos,-mapas-&-SIG)-790.html)>. Acesso em: 15 maio 2016.

CARVALHO, P. F. 1932. **Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, p. 1-72 (Boletim 66).

CHEMALE JR., F. (2000) Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, CIGO-UFRGS, p.13-52.

EVANGELISTA, Hanna Jordt. **Microestruturas de Rochas Metamórficas.** Ouro Preto, 2003. 30 p. (Apostila).

GASTAL, Maria do Carmo Pinto; LAFON, Jean Michel. Gênese e Evolução dos Granitóides Metaluminosos de Afinidade Alcalina da Porção Oeste do Escudo Sul Rio-grandense: Geoquímica e Isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 1, p.11-28, 28 mar. 1998.

HARTMANN, Léo Afraneo; CHEMALE JUNIOR, Farid; PHILIPP, Ruy Paulo. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: CIGO-UFRGS (Porto Alegre). **50 anos de Geologia**: Instituto de Geociências Contribuições. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, 2007. p. 97-124

HEILBRON, M. *et al.* Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, Virginio et al. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. Cap. 13. p. 180-223.

LOPES, Carina Graciniana et al. Provenance of the Passo Feio complex, Dom Feliciano Belt: Implications for the age of supracrustal rocks of the São Gabriel Arc, southern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, Brasil, v. 58, n. 9, p.9-16, 27 nov. 2014.

NARDI, Lauro Valentim Stoll; BITENCOURT, Maria de Fátima. Geologia, Petrologia e Geoquímica do Complexo Granítico Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 19, n. 2, p.153-169, jun. 1989.

PASSCHIER, C. W.; MYERS, J. S.; KRÖNER, A. **Geologia de Campo de Terrenos Gnáissicos de Alto Grau**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993. 185 p.

PASSCHIER, Cess W.; TROUW, Rudolph A. J. **Microtectonics**. 2. ed. Berlin: Springer, 2005. 353 p.

PHILIPP, Ruy Paulo; MACHADO, Romulo; CHEMALE JUNIOR, Farid. A Geração dos Granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: Evidências dos Isótopos de Sr e Nd e Implicações para o Crescimento Continental da Porção Sul do Brasil. In: CIGO-UFRGS. **50 anos de Geologia**: Instituto de Geociências Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 59-77.

REIS, Rafael. **Origem e Evolução dos Halos de Alteração Clorítica no Flanco Leste do Granito Caçapava**. 2016. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

REMUS, M. V. D. et al. SHRIMP U/Pb Zircon Dating At 2448 Ma Oldest Igneous Rock In The Southern Brazil: Identification of the Westernmost Border of Dom Feliciano Belt. **Symposium Of Archean Terranes Of South American Plataform**, Brasília, p.67-70, abr. 1996.

REMUS, M. V. D. et al. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, São Paulo, v. 13, p.191-216, jan. 2000.

TICKYJ, Hugo et al. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. **Journal Of South American Earth Sciences**, São Paulo, v. 16, p.699-713, jan. 2004.