



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências da Matemática e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

**Geologia estrutural de um afloramento de milonito
na base da Nappe Andrelândia, Neoproterozoico,
Campos Gerais, sul de Minas Gerais**

Trabalho Final de Curso
(IGL-U08)

JULIANA FERREIRA GODOT SOUZA

Orientadore: Prof. Dr. André Ribeiro
MSc. Douglas Renato Lima da Silva

Rio de Janeiro

Julho de 2018



UFRJ

JULIANA FERREIRA GODOT SOUZA

**Geologia estrutural de um afloramento de milonito
na base da Nappe Andrelândia, Neoproterozoico,
Campos Gerais, Sul de Minas Gerais.**

Trabalho Final de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. André Ribeiro

MSc. Douglas Renato Lima da Silva

Rio de Janeiro

Julho de 2018

JULIANA, Ferreira Godot Souza

Geologia estrutural de um afloramento de milonito na base da Nappe Andrelândia, Neoproterozoico, Campos Gerais, Sul de Minas Gerais. / Juliana Ferreira Godot Souza - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2018.
26 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Geociências, Departamento de
Geologia, 2018.

Orientadores: André Ribeiro; Douglas Renato Lima da Silva

1. Geologia. 2. Geologia Estrutural – Trabalho de Conclusão de Curso. I. André Ribeiro; Douglas Renato Lima da Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Geologia estrutural de um afloramento de milonito na base da Nappe Andrelândia, Neoproterozoico, Campos Gerais, Sul de Minas Gerais.

JULIANA FERREIRA GODOT SOUZA

**Geologia estrutural de um afloramento de milonito
na base da Nappe Andrelândia, Neoproterozoico,
Campos Gerais, sul de Minas Gerais**

Trabalho Final de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. André Ribeiro

MSc. Douglas Renato Lima da Silva

Aprovada em 26 de Julho de 2018.

Por:

Orientador: Dr. André Ribeiro

Banca: Dra. Débora Barros Nascimento

Banca: Dr. Gustavo Luiz Campos Pires

Suplente: Dra. Sílvia Regina de Medeiros

Rio de Janeiro

Julho de 2018

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram ou participaram de alguma forma da minha vida acadêmica ao longo desses cinco anos de graduação de Geologia.

Primeiramente, presto meus agradecimentos à minha família por todo o apoio, suporte e conselhos que me deram ao longo dessa jornada pela faculdade. Em especial: à minha irmã, Natália Ferreira Godot Souza, que foi minha maior fonte de força nesses anos; e ao meu pai, José Mário Godot Souza, que não pôde me acompanhar até o final desse longo caminho, mas que foi muito importante na escolha da minha vida acadêmica e sempre será a minha grande inspiração.

Também agradeço ao meu orientador André Ribeiro, pelo conhecimento passado, pela amizade e orientação neste trabalho e ao longo desses 5 anos de graduação.

Meus mais sinceros agradecimentos também ao, agora Doutorando, Douglas Renato da Silva, pelo apoio e ajuda em todos os momentos de dificuldade não só durante este trabalho e no campo, mas também por todos os anos de graduação.

Sem esquecer, agradeço ainda ao motorista da UFRJ, Vanderlei, pela disponibilidade, paciência e coragem para sempre nos levar ao campo, mesmo em condições adversas. Este trabalho não teria acontecido sem você.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os meus amigos e colegas da turma de Geologia de 2013 da UFRJ, a melhor do Fundão por todos os incentivos, conselhos e momentos trocados em todo o curso de graduação.

RESUMO

Este trabalho mostra a análise estrutural de um paragnaisse milonítico exposto em uma pedreira desativada na região de Campos Gerais, no sul de Minas Gerais. O paragnaisse ocorre na base de uma nappe neoproterozoica do Sistema de Nappes Andrelândia, localizada a sudoeste do Craton do São Francisco. O mapeamento detalhado em escala 1:2.000 e a análise estrutural revelaram quatro etapas de deformação com o seguinte registro: D1- foliação milonítica, lineação de estiramento E-W com baixo caimento para oeste e indicadores cinemáticos mostrando movimento tectônico de topo para leste; D2- dobras isoclinais com plano axial sub-horizontal, eixos com suave caimento para oeste e zonas de cisalhamento paralelas ao plano axial; D3- dobra aberta com plano axial íngreme para sul e eixo com suave caimento para oeste; D4- dobras abertas com plano axial de alto mergulho para sudeste e eixos de baixo caimento para nordeste e zonas de cisalhamento subverticais dextrais e sinistrais, com *tension vein* associados.

Palavras-chave: Geologia estrutural; paragnaisse milonítico; Campos Gerais.

ABSTRACT

A structural analysis of a mylonitic paragneiss was carried out at the base of a Neoproterozoic nappe of the Andrelândia Nappe System, southwest of the São Francisco Craton. The paragneiss crops out in a quarry nearby Campos Gerais, in southern Minas Gerais. Detailed mapping at 1:2.000 scale and structural analysis revealed four deformation steps. The first step (D1) generates a mylonitic foliation which contains an E-W stretching lineation. The lineation plunges at low angle to the west and shear sense structure records top to the east tectonic movement. The second step (D2) produced isoclinal folds with sub-horizontal axial planes and axes plunging at low angle to the west, parallel to the D1 stretching lineation. Open folds with steep south dipping axial planes and axes with low plunge to the west characterize the third deformation step, D3. D4 has been registered by open folds with steep axial planes dipping to the southeast e axes with low plunge to the northeast. It also produced vertical dextral and sinistral shear zones and associated tension veins.

Keywords: Structural Geology; mylonitic paragneiss; Campos Gerais.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área em relação ao Cráton do São Francisco e orógenos neoproterozoicos. Simplificado de Trouw <i>et al.</i> , 2013.....	1
Figura 2: Mapa geológico do sudoeste do Cráton do São Francisco e adjacências. Modificado e simplificado do Mapa de Minas Gerais, 1:1.000.000 (Pinto <i>et al.</i> , 2014)..	2
Figura 3: Localização da pedreira estudada (círculo vermelho) no mapa geológico da área de Campos Gerais e Campo do Meio de Silva <i>et al.</i> , 2018 (submetido).	4
Figura 4: Cortes perpendiculares a foliação do paragnaisse milonítico.	5
Figura 5: Localização aproximada da pedreira estudada (círculo vermelho) em imagem LandSat8 obtida em http://earthexplorer.usgs.gov	6
Figura 6: Acesso a área de estudo a partir da cidade do Rio de Janeiro pelas rodovias BR-040, BR-265 e BR-369. Fonte: Google Maps, 2017.....	7
Figura 7: Foliação milonítica e bandamento no paragnaisse. Fotomicrografia com luz polarizada.....	13
Figura 8: Lineação de estiramento com baixo caimento para oeste em quartzito, a sul da pedreira estudada.	14
Figura 9: Veio assimétrico de calcita (A) e porfiroclastos de feldspato do tipo sigma (B) indicando movimento tectônico de topo para leste.....	14
Figura 10: Foto (A) e esquema estrutural (B) mostrando a foliação milonítica D1 deformada em dobra isoclinal D2 e deslocadas por zonas de cisalhamento sin-D2. Dobras abertas e zonas de cisalhamento D3 deformam as estruturas pretéritas D2 e D1.	15

Figura 11: Charneira de dobra D3 com plano axial íngreme para sul, dobrando a foliação milonítica atribuída a etapa D1.....	16
Figura 12: Mapa estrutural em escala 1:2.000 sobre imagem de satélite do Google Earth. As medidas mostram a foliação principal D1 deformada em dobra D3.....	17
Figura 13: Dobras abertas da etapa D4 deformaram dobras isoclinais D2 e a foliação principal D1.	18
Figura 14: Zona de cisalhamento subverticais com <i>tension vein</i> da etapa D4.	18

Sumário

AGRADECIMENTO.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	4
1.2. Aspectos do afloramento.....	5
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	6
3. GEOLOGIA REGIONAL.....	8
3.1. O paragnaisse milonítico no contexto regional.....	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
5. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	12
6. CONCLUSÃO.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. INTRODUÇÃO

Na região de Campos Gerais, no sul de Minas Gerais, entre as nappes de Passos e Guaxupé, ocorrem rochas metaígneas e metassedimentares arqueanas e proterozoicas, agrupadas no Complexo Campos Gerais (Cavalcante *et al.*, 1979; Figs. 1 e 2). Estas rochas registram evidências de metamorfismo de facies granulito, anfíbolito e xisto verde, e variado grau de deformação, desde pouco deformadas até miloníticas. O metamorfismo e a deformação sin-tectônica são relacionados a evolução da parte sul do Orógeno Brasília, no intervalo 630-600 Ma (eg. Valeriano, 2017; Trouw *et al.*, 2013).

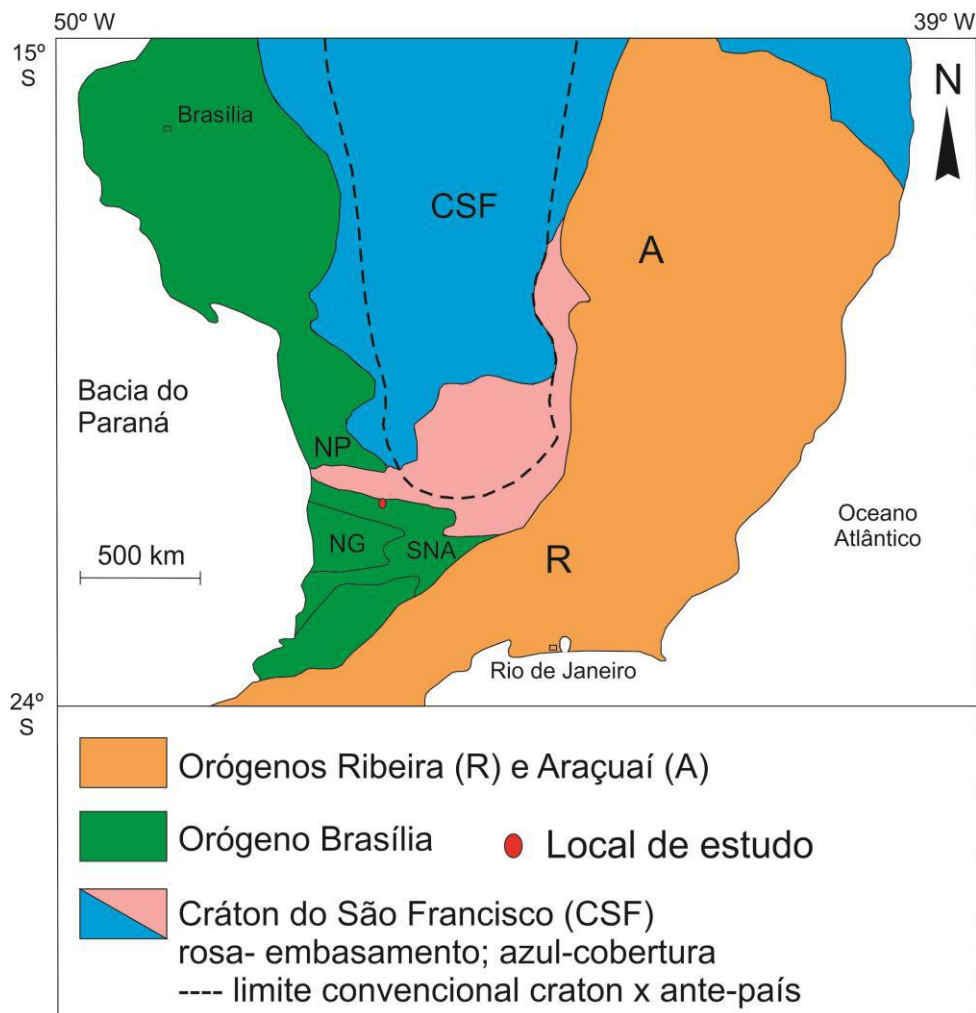


Figura 1. Localização da área em relação ao Cráton do São Francisco e orógenos neoproterozoicos. Nappes: NP- de Passos, NG- Guaxupé e SNA- Sistema de Nappes Andrelândia. Simplificado de Trouw *et al.*, 2013.

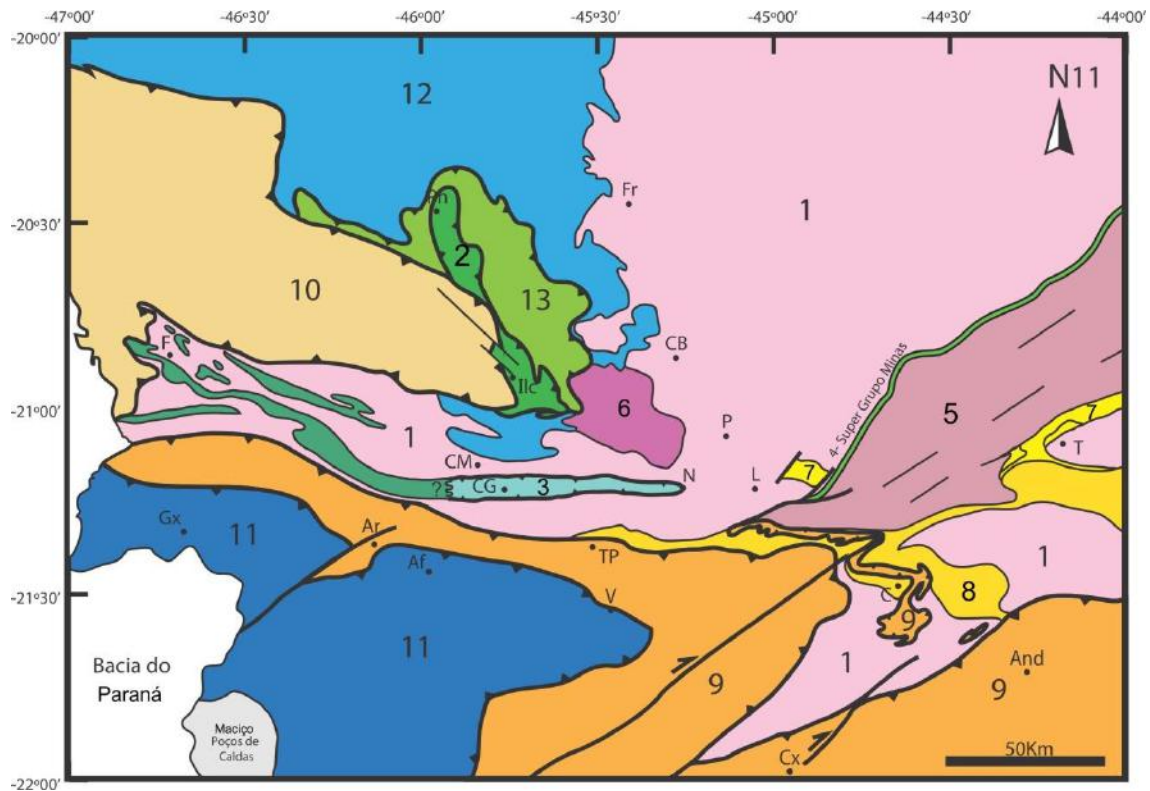


Figura 2. Mapa geológico do sudoeste do Cráton do São Francisco e adjacências. Modificado e simplificado do Mapa de Minas Gerais, 1:1.000.000 (Pinto *et al.*, 2014). 1- complexos gnáissicos e *greenstone belts*, incluindo o Complexo Campos Gerais (CCG); 2- *Greenstone Belt* Piumhi e unidades do Domínio Externo da Nappe de Passos (cf. Valeriano *et al.*, 2007). 3- Grupo Fortaleza de Minas; 4- Supergrupo Minas; 5- Cinturão Mineiro; 6- Granito Porto Mendes; 7- Formação Tiradentes, Formação Barroso e Formação Prados; 8- Grupo Andrelândia autóctone; 9- Sistema de Nappes Andrelândia; 10- Nappe de Passos com grupos Araxá e Andrelândia e fatias de ortognaisses do embasamento; 11- Nappe Socorro-Guaxupé; 12- Grupo Bambuí; 13- Formação Samburá. Localidades: F- Fortaleza de Minas, Gx-Guaxupé, Ar-Areado, Af-Alfenas, CG- Campos Gerais, CM- Campo do Meio, Ilc- Ilicínia, N- Nepomuceno, TP-Três Pontas, V- Varginha, L- Lavras, P- Perdões, CB- Campo Belo, Fr- Formiga, Ph-Piumhi, Cx- Caxambu, C- Carrancas, And- Andrelândia e T- Tiradentes.

Depois de Cavalcante *et al.* (1979) definir o Complexo Campos Gerais, Crosta *et al.* (1986), Szabó *et al.* (1993), Turbay *et al.* (2008), Turbay e Valeriano (2012) e Pinto *et al.* (2014) identificaram distintas unidades na parte oeste do complexo, a oeste de

Campo do Meio (CM na figura 2). Crosta *et al.* (1986) reconheceram quatro domínios: 1- granitos isolados, 2- gnaisses e paragnaisses, 3- migmatitos e 4- granito-*greenstone* com sequência vulcanossedimentar com metachert e BIF, rochas metaultramáficas e metamáficas e granitóide. Szabó *et al.* (1993) manteve os metagranitóides e gnaisses da parte norte como Complexo Campos Gerais, separando no sul o Complexo Petunia com três unidades: 1- gnaisse com intercalações de rochas metassedimentares, metamáficas e metaultramáficas, 2- sequência metaultramáfica-metassedimentar e 3- quartzo mica xistos. Turbay *et al.* (2008) e Turbay e Valeriano (2012) individualizaram corpos de ortognaisses e granitóides mesoarqueanos e de granito e tonalito paleoproterozóicos, mantendo o restante das associações no Complexo Campos Gerais. De Campo do Meio para leste (Fig. 2), encaixado em ortognaisses, foi definido o Granito Porto Mendes (Machado Filho *et al.*, 1983). Pinto *et al.* (2014) distinguiram duas grandes unidades, o Complexo Campos Gerais com ortognaisses de tipo TTG e granitóides associados, e o Grupo Fortaleza de Minas (Fig. 2).

Na parte leste do Complexo Campos Gerais, na região de Campos Gerais, ocorre uma sucessão com paragnaisse e intercalações de quartzito, xisto e anfibolito. Esta sucessão foi considerada arqueana e incluída no Grupo Fortaleza de Minas, Arqueano; e neoproterozóica fazendo parte dos grupos Carrancas (Campos Neto *et al.*, 2007) ou Andrelândia (Paciullo *et al.*, 2000, 2006; Ribeiro *et al.*, 2010). Segundo estes últimos a sucessão integra a Nappe Andrelândia do Sistema de Nappes Andrelândia (cf. e Trouw *et al.*, 2013). Na pedreira estudada ocorre um paragnaisse milonítico desta sucessão (Fig. 3).

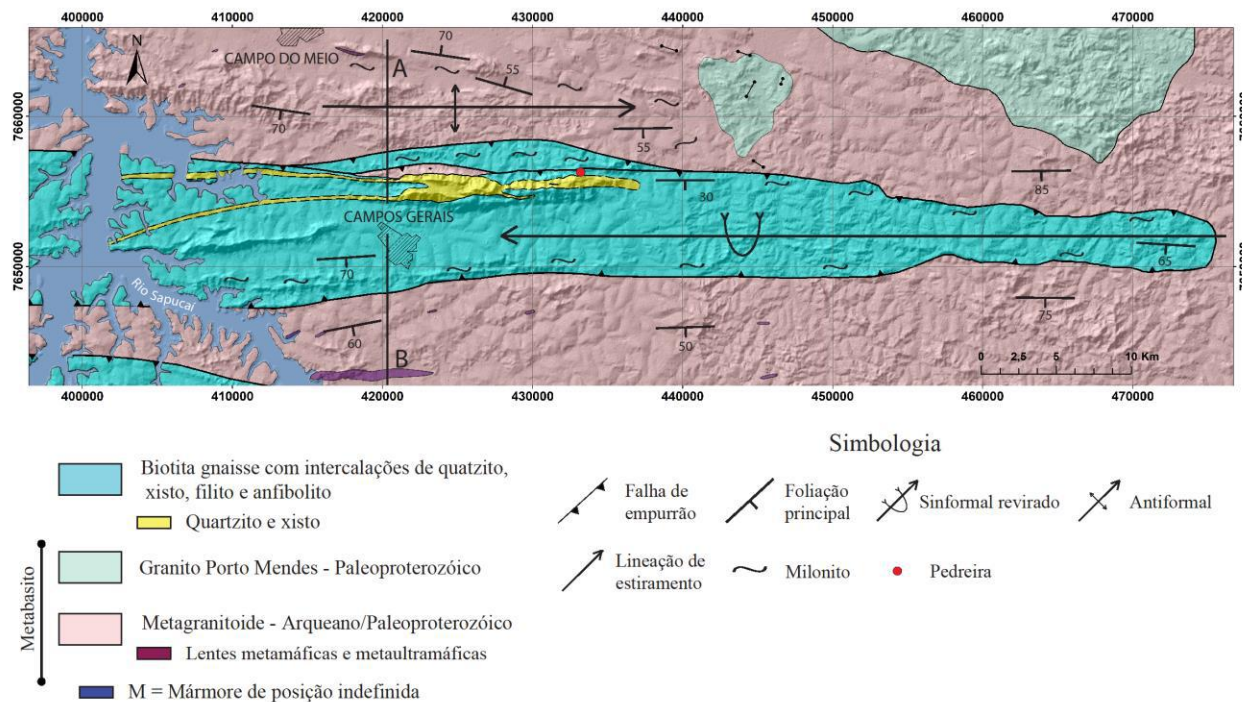


Figura 3. Localização da pedreira estudada (círculo vermelho) no mapa geológico da área de Campos Gerais e Campo do Meio de Silva *et al.*, 2018 (submetido).

1.1.Objetivo.

O objetivo da monografia é caracterizar a evolução estrutural de um paragnaisse milonítico exposto em uma pedreira desativada a nordeste da cidade de Campos Gerais. A finalidade é correlacionar os resultados obtidos em escala local com estruturas da área de Campos Gerais e auxiliar no entendimento da geologia estrutural do extremo sul do Orógeno Brasília Meridional.

1.2. Aspectos do afloramento

O afloramento estudado é uma pedreira desativada com cerca de 40.000 m² de afloramento contínuo. Cortes de orientações NW-SE e NE-SW e cerca de 5m de altura, expõem o paragnaisse e permitem a análise estrutural em três dimensões (Fig. 4).



Figura 4. Cortes perpendiculares a foliação do paragnaisse milonítico.

2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A pedreira estudada está localizada cerca de 17 km a nordeste de Campos Gerais, no sul de Minas Gerais (Fig. 5). Partindo do Rio de Janeiro pode ser alcançada seguindo pela BR-040 até Barbacena, BR-265 até Boa Esperança e BR-369 (Fig. 6).



Figura 5. Localização aproximada da pedreira estudada (círculo vermelho) em imagem LandSat8 obtida em <http://earthexplorer.usgs.gov>.

3. GEOLOGIA REGIONAL

Na região de Campos Gerais e adjacências as rochas podem ser agrupadas, simplificadamente, em 13 grandes associações litológicas, como mostra a figura 2. A associação mais antiga, predominantemente arqueana, é constituída por ortognaisses e metagranitóides e faixas do tipo *greenstone belt*. Rochas com idades arqueanas também são encontradas no *Greenstone Belt Piumhi* e no domínio externo da Nappe de Passos (cf. Valeriano *et al.*, 2000, 2004a e b, 2005, 2006a e b, 2007). Ocorre também o Grupo Fortaleza de Minas, uma faixa de rochas metassedimentares e metaígneas que se estende de Fortaleza de Minas até Nepomuceno (3 na figura 2). Porém, na área de Campos Gerais até Nepomuceno estas rochas foram consideradas como dos grupos Carrancas e Andrelândia (Campos Neto *et al.*, 2007; Paciullo *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2010). Seguindo cronologicamente as associações, há o Supergrupo Minas com rochas arqueanas a paleoproterozoicas, e o Cinturão Mineiro (Fig. 2) com faixas *greenstone* e rochas metaígneas do Paleoproterozoico (2.2-2.05Ga; eg. Campos *et al.*, 2003; Ávila *et al.*, 2010, 2014; Romano *et al.*, 2013). Ambas as associações afloram a leste da área em estudo. Cortando a associação 1 aflora o Granito Porto Mendes do Paleoproterozoico (ca. 2.0 Ga; Paciullo *et al.*, 2006). Sucessões metassedimentares de idade neoproterozoica ocorrem na Nappe de Passos e no Sistema de Nappes Andrelândia. Ortognaisses considerados como derivados de rochas plutônicas de arco magmático do Neoproterozoico ocorrem no lobo Guaxupé, da Nappe Socorro-Guaxupé (Fig. 2).

O conjunto de nappes mostrado na figura 2 (Nappe de Passos, Sistema de Nappes Andrelândia, lobo Guaxupé da Nappe Socorro-Guaxupé) é resultado de subducção e posterior colisão entre o paleocontinente São Francisco e a placa superior. A subducção e posterior colisão ocorreram no intervalo entre, aproximadamente, 700 e 630 Ma. Inicialmente desenvolveu-se na margem ativa da placa superior Paranapanema

(a oeste) um arco magmático tipo andino. A colisão subsequente ocorreu entre 630-600 Ma e gerou um conjunto de nappes com transporte tectônico de topo para leste (Campos Neto e Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000; Campos Neto *et al.*, 2004, 2007; Valeriano *et al.*, 2008; Campos Neto *et al.*, 2010; Trouw *et al.*, 2013; Valeriano, 2017). O domínio da placa superior é representado pela Nappe Socorro-Guaxupé (Campos Neto e Caby, 2000). O conjunto de de nappes inferiores forma o Sistema de Nappes Andrelândia (9 da figura 2). O paragnaisse estudado localiza-se nesse sistema de nappes e constitui a sucessão basal do Grupo Andrelândia segundo o conceito de Paciullo *et al.*, (2006).

3.1. O paragnaisse milonítico no contexto regional

Conforme visto no ítem anterior, existem divergências na literatura com relação a litoestratigrafia na porção sul do Orógeno Brasília Meridional, entre estas a posição do paragnaisse milonítico estudado. No mapa de Cavalcante *et al.* (1979) o paragnaisse faz parte do Complexo Campos Gerais, o qual agrupa também as rochas metaígneas plutônicas, vulcânicas e as rochas metassedimentares. Crosta *et al.* (1986) inclui o paragnaisse no Domínio dos Terrenos de Gnaisses e Paragnaises do Cinturão Jacuí-Bom Jesus da Penha e Szabó *et al.* (1993) o considera parte do Complexo Petúnia. Turbay *et al.* (2008) e Turbay & Valeriano (2012) propuseram a exclusão dos terrenos tipo *greenstone belt* e das sucessões de rochas metassedimentares do Complexo Campos Gerais, restringindo-o este às rochas plutônicas, essencialmente, metagranitóides. No entanto, no mapa apresentado por estes autores a área onde aflora o paragnaisse ainda é parte do Complexo Campos Gerais. No mapa de Pinto *et al.* (2014) o paragnaisse é considerado como parte do Grupo Fortaleza de Minas, do Mesoarqueano. Outra proposição, de Campos Neto *et al.* (2007) considera o paragnaisse, e os quartzitos e

metapelitos associados, como correlatos ao Grupo Carrancas (Neoproterozóico) do Sistema de Nappes Carrancas. Já para Paciullo *et al.* (2000; 2006) e Ribeiro *et al.* (2010) o paragnaisse é parte da Unidade São Vicente, sucessão basal do Grupo Andrelândia, Neoproterozóico. Além disso, consideram o paragnaisse parte da Nappe Andrelândia, do Sistema de Nappes Andrelândia de Trouw *et al.* (2013). Conforme a idade máxima de deposição, de ca. de 1.7 Ga, mostrada por Silva (2018) e Silva *et al.* (inédito) o paragnaisse também pode ser correlacionado ao Complexo São Vicente definido por Westin *et al.* (2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do trabalho foram quatro: i) atividades pré-campo; ii) trabalho de campo; iii) análise petrográfica; iv) interpretação de dados.

Durante as atividades pré-campo realizou-se um levantamento bibliográfico sobre a geologia da região e foi preparado o mapa base de campo na escala 1:2.000. Este foi feito utilizando imagens de satélite do Google Earth onde foram adicionadas, por meio do *software* Arcgis 10, curvas de nível de 10 em 10 metros extraídas a partir de modelo digital de elevação SRTM obtido do site da USGS.

O trabalho de campo foi realizado entre 11 e 15 de abril de 2017, com hospedagem em Campos Gerais e transporte para a pedreira em Toyota Bandeirante da UFRJ. Na pedreira foi feito um levantamento estrutural em escala 1:2.000 e coleta de 5 amostras orientadas para laminação.

Seis lâminas, quatro orientadas, foram preparadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A análise petrográfica em microscópio óptico de luz polarizada do modelo Carl Zeiss Axioplan 2 permitiu identificar mineralogia, texturas e microestruturas (falhas, dobras, indicadores cinemáticos) do paragnaisse milonítico.

Assim, com dados de campo e petrografia, foram reconhecidos o grau metamórfico, o sentido de movimento tectônico e a identificação e hierarquização de diferentes etapas de deformação. As conclusões foram comparadas com os dados e interpretações disponíveis na literatura acerca da geologia estrutural da região.

5. GEOLOGIA ESTRUTURAL

O paragnaisse estudado é uma rocha fina constituída por plagioclasio, epidoto, quartzo e biotita. Muscovita e K-feldspato ocorrem em baixa proporção (< 10%); titanita e granada são acessórios e carbonato, zircão e minerais opacos perfazem < 1% da rocha. Veios de quartzo e feldspato registram início de anatexia. Estes dados permitm inferir que a rocha alcançou a fácies anfibolito, na zona do início da anatexia. A foliação é milonítica bem definida com o quartzo indicando milonito de baixo grau. Os veios anatóticos também são miloníticos. Localmente ocorrem protomilonito e ultramilonito.

O paragnaisse contém estruturas que, para fins didáticos, podem ser atribuídas a quatro etapas de deformação dúctil distintas, aqui denominadas D1, D2, D3 e D4. As principais estruturas são foliação milonítica, dobras abertas até isoclinais, zonas de cisalhamento e indicadores cinemáticos como veios assimétricos e *tension vein*.

Etapa D1

O evento mais antigo, D1, é registrado por uma foliação milonítica deformada por D2, D3 e D4. Este evento deu origem a milonitos e localmente, protomilonito e ultramilonito (Fig. 7). A foliação milonítica mergulha < 15° para oeste e contém uma lineação de estiramento mal definida também com caimento em torno de < 15° para oeste. Nas vizinhanças da pedreira, em quartzitos intercalados no paragnaisse, ocorre lineação de estiramento com atitude em torno de 270/12 (Fig. 8). Indicadores cinemáticos como porfiroclastos de feldspatos e veios assimétricos de calcita registram transporte tectônico de topo para leste (Fig. 9).

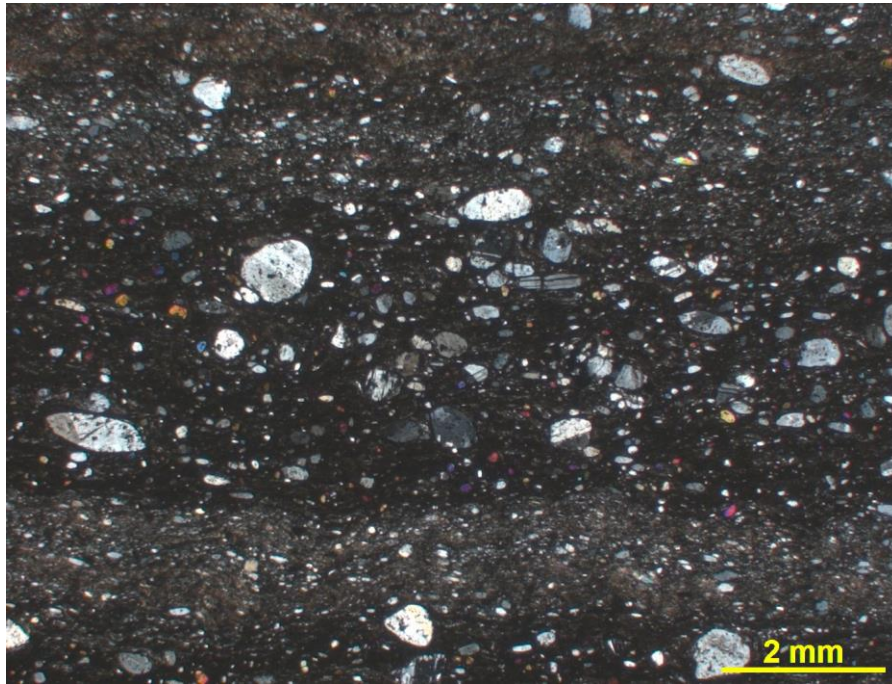


Figura 7. Foliação milonítica e bandamento no paragneisse. Fotomicrografia com luz polarizada.



Figura 8. Lineação de estiramento com baixo caimento para oeste em quartzito, a sul da pedreira estudada.

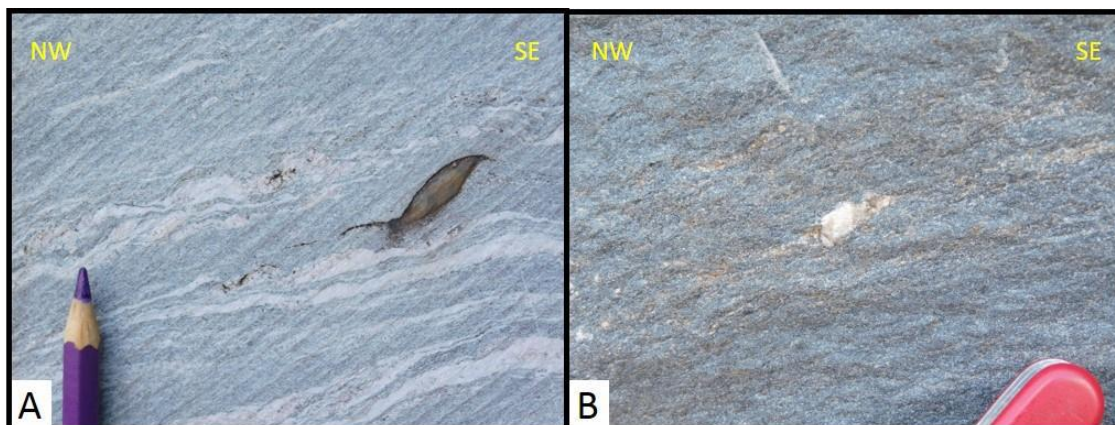


Figura 9. Veio assimétrico de calcita (A) e porfiroclastos de feldspato do tipo sigma (B) indicando movimento tectônico de topo para leste.

Etapas D2

A foliação milonítica encontra-se deformada em dobras isoclinais atribuídas ao segundo evento, D2. São dobras isoclinais assimétricas com plano axial de baixo mergulho para oeste e eixos de baixo caimento também para oeste (ca. 270/20; Fig. 10). Estas dobras exibem flancos adelgaçados e charneiras espessas. Localmente, ocorrem zonas de cisalhamento de baixo ângulo, paralelas ao plano axial das dobras isoclinais D2. Estas zonas exibem componente reverso com sentido de transporte tectônico leste (Fig. 10).

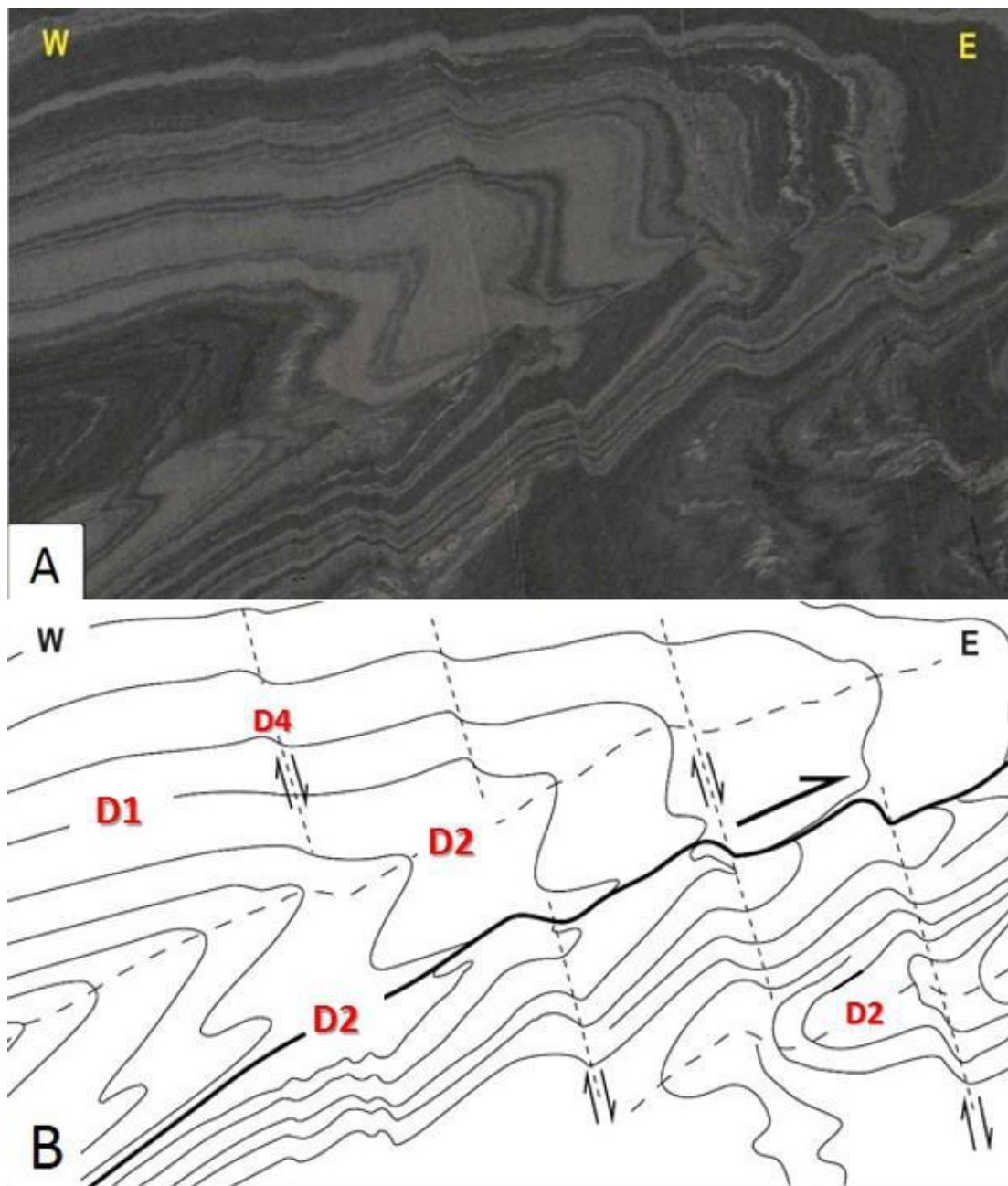


Figura 10. Foto (A) e esquema estrutural (B) mostrando a foliação milonítica D1 deformada em dobra isoclinal D2 e deslocadas por zonas de cisalhamento sin-D2. Dobras abertas e zonas de cisalhamento D3 deformam as estruturas pretéritas D2 e D1.

Etapa D3

As estruturas formadas nos eventos D1 (foliação milonítica) e D2 (dobras isoclinais e zonas de cisalhamento) foram deformadas pelo evento D3. Este consiste em uma dobra aberta com plano axial íngreme ($> 70^\circ$) para sul e eixo E-W de baixo caimento ($< 20^\circ$) para oeste, paralelo aos eixos das dobras isoclinais D2 (Fig. 11). A dobra D3 é mostrada também no mapa da pedreira (Fig. 12). Conforme os dados de geologia estrutural da área de Campos Gerais (cf. Silva, 2018; Silva et al, inédito) esta dobra D3 aberta pode ser apenas parte de uma zona de charneira de uma dobra D3 isoclinal de escala mesoscópica. Os eixos destas isoclinais aqui denominadas D2 e D3, são similares. No entanto elas são diferenciadas no mapa regional pela atitude do plano axial, sempre mergulhado íngreme para sul nas dobras D3 enquanto as dobras D2 apresentam atitude variada, até horizontal como na pedreira (Fig. 10).



Figura 11. Charneira de dobra D3 com plano axial íngreme para sul, dobrando a foliação milonítica atribuída a etapa D1.

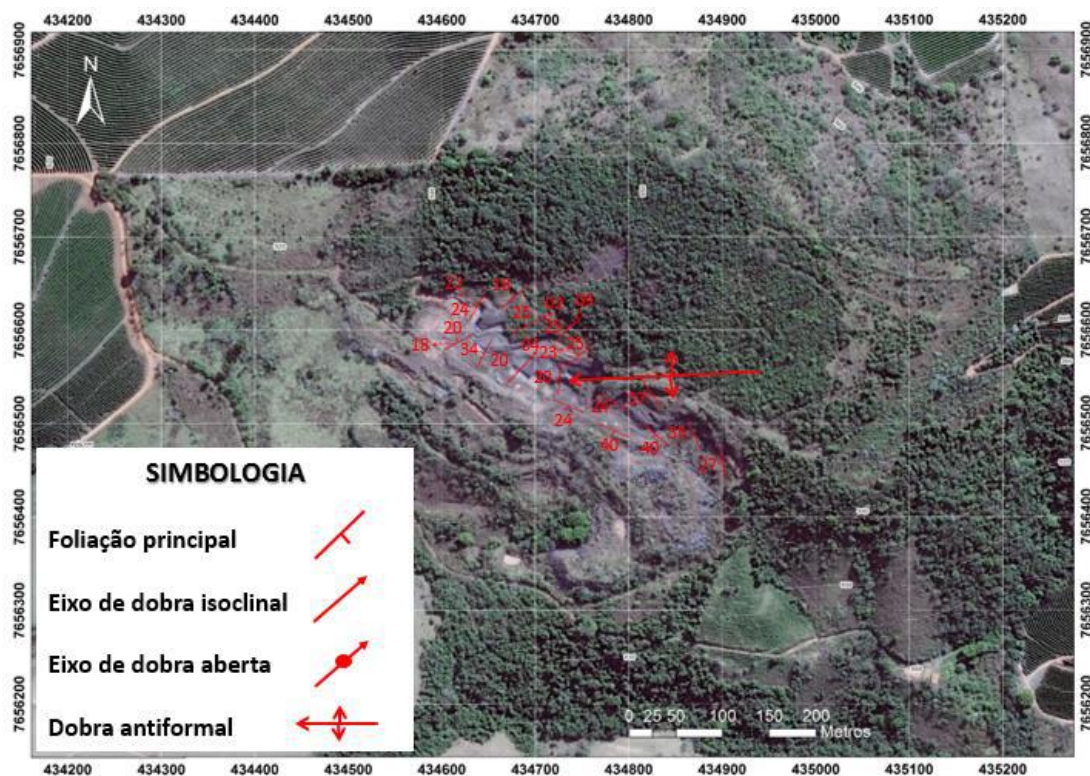


Figura 12. Mapa estrutural em escala 1:2.000 sobre imagem de satélite do Google Earth.

As medidas mostram a foliação principal D1 deformada em dobra D3.

Etapa D4

A etapa D4 compreende dobras abertas simétricas e assimétricas, zonas de cisalhamento e *tension vein* que deformam as estruturas D1, D2 e D3. As dobras possuem plano axial de alto mergulho ($> 80^\circ$) para sudeste e eixos de baixo caimento ($< 10^\circ$) para nordeste (Figs. 10 e 13). As zonas de cisalhamento são centimétricas, subverticais, de rumo NE-SW ou NEE-SWW e subparalelas ao plano axial das dobras deste evento (Fig. 14). Associadas a essas zonas de cisalhamento, ocorrem comumente *tension gashes veins* que indicam movimento normal oblíquo dextral ou sinistral (Fig. 14).



Figura 13. Dobras abertas da etapa D4 deformaram dobras isoclinais D2 e a foliação principal D1.



Figura 14. Zona de cisalhamento subverticais com *tension vein* da etapa D4.

6. CONCLUSÃO

A distribuição regional do paragnaisse evidencia que o afloramento estudado situa-se na base da Nappe Andrelândia, do Sistema de Nappes Andrelândia. As características do quartzo (extinção ondulante e recristalização incipiente) indicam milonito de baixo grau. A presença de oligoclasio, biotita, localmente granada e veios antéticos sugerem facies anfíbolito, início da antexia.

A existência de ótimos cortes na pedreira estudada e a foliação milonítica bem definida no paragnaisse permitiram distinguir quatro etapas de deformação, D1, D2, D3 e D4.

Analisando as estruturas geradas em cada etapa, é possível inferir uma evolução tectônica relacionando as três primeiras. Primeiramente, houve o desenvolvimento da foliação milonítica assim como da lineação de estiramento E-W contida nela (etapa D1). Indicadores cinemáticos sin-D1 apontam que nesta etapa houve movimento tectônico de topo para leste. Possivelmente, a continuidade do movimento deu origem às dobras isoclinais D2 e em seguida ao redobramento que gerou as dobras D3. Essa interpretação de uma deformação contínua se deve a coincidência das atitudes e mergulhos dos eixos das dobras D2 e D3 e da lineação de estiramento. Assim, consideramos que as três etapas de deformação fazem parte de um mesmo evento tectônico. Este pode ser correlacionado com o que deu origem a Nappe Andrelândia, no sul do Orógeno Brasília. Durante a colocação da nappe se formaram milonitos provavelmente em atitude subhorizontal. Com a continuação do movimento, as rochas constringidas por outros pacotes rochosos acima, abaixo e aos lados, podem ter sido geradas as dobras D2 e D3 que deformam o milonito. Estes eventos podem ter sido praticamente simultâneos: geração de milonito, dobramento e subsequente redobramento.

Por fim, a última etapa de deformação encontrada na pedreira (D4) possui plano axial, eixo e morfologia claramente distintas das anteriores e é considerada como parte de um evento tectônico posterior. Estruturas análogas às registradas em D4 são encontradas em rochas por todo o sul de Minas Gerais e refletem um evento regional de compressão NW-SE.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, C.A.; Teixeira, W.; Cordani, U.G.; Moura, C.A.; Pereira, R.M. 2010. Rhyacian (2.23–2.20 Ga) juvenile accretion in the southern São Francisco craton, Brazil: Geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, Mineiro belt. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 29, p. 464–482.
- Ávila, C.A.; Teixeira, W.; Bongiorno, E.M.; Dussin, I.A.; Vieira, T.A.T. 2014. Rhyacian evolution of subvolcanic and metasedimentary rocks of the southern segment of the Mineiro belt, São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, vol. 243, p. 221-251.
- Campos, J.C.S.; Carneiro, M.A.; Basei, M.A.S. 2003. U-Pb evidence for Neoproterozoic crustal reworking in southern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75:497–511.
- Campos Neto, M.C. and Caby, R.. 1999. Neoproterozoic High-Pressure Metamorphism And Tectonic Constraint From The Nappe System South Of The São Francisco Craton. Southeast Brazil. *Precambrian Research*, Amsterdam, vol. 97, n. 0, p. 3-26.
- Campos Neto, M.C. and Caby, R. 2000. Terrain accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: petrologic and structural constraints. *Tectonics*, vol. 19, n. 4, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Vlach, S.R.F.; Caby, R.; Szabó, G.A.J.; Vasconcelos, P. 2004. Migração de Orogêneses e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE – Brasil. *Geol. USP Ser. Cient.*, vol.4, p. 13-40.

- Campos Neto, M.C.; Janasi, VOL.A.; Basei, M.A.S.; Siga Junior, O. 2007. Sistema de Nappes Andrelândia, setor oriental: Litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 37, n. 4, p. 47-60.
- Campos Neto, M.C.; Cioffi, C.R.; Moraes, R.; Motta, R.G.; Siga Jr, O.; Basei, M.A.S. 2010. Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. *Precambrian Research*, vol. 180, p. 125-142.
- Cavalcante, J.; Cunha, H.C.S.; Chieregatti, L.A.; Kaefer, L.Q.; Rocha, J.M.; Daitx, E.C.; Coutinho, M.G.N.; Yamamoto, K.; Drumond, J.; Rosa, D.B.; Ramalho, R. 1979. Projeto Sapucaí, estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, Relatório Final de Geologia. DNPM/CPRM, 229p., Brasília.
- Crosta, A.P.; Choudhuri, A.; Szabó, G.A.J.; Schrank, A. 1986. Relações entre tipos litológicos e suas estruturas regionais nos terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do sudoeste de Minas Gerais. 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, vol. 2, p.710-721.
- Machado Filho, L. et al. Geologia. In: Brasil, DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF-23 Rio de Janeiro e SF-24 Vitória, Rio de Janeiro, 1983 (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- Paciullo, F.VOL.P.; Ribeiro, A.; Andreis, R.R.; Trouw, R.A.J. 2000. The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasília belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 30, p. 200-202.
- Paciullo et al. 2006. Carta geológica: folha Nepomuceno, SF-23-V-D-III. [Rio de Janeiro]: CPRM; UFRJ, 2006. Escala 1:100.000.

- Pinto, C. P. et al., 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais 1:1.000.000, CODEMIG, CPRM.
- Ribeiro et al. 2010. Carta geológica: folha Alfenas, SF.23-V-D-II. [Rio de Janeiro]: CPRM; UFRJ, 2010. Escala 1:100.000.
- Romano, R.; Lana, C.; Alkmim, F.F.; Stevens, G.S.; Armstrong, R. 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco Craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, vol. 224, p. 143–159.
- Silva, D.R.L. Complexo Campos Gerais e Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio em suas áreas tipo no sul do Cráton do São Francisco, sul de Minas Gerais: reinterpretação com base em geologia de campo e geocronologia U-Pb. 2018. 77p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, D.R.L.; Ribeiro, A.; Trouw, R.A.J.; Nascimento, D.B.; Dussin, I. A. (inédito). Complexo Campos Gerais e Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio em suas áreas tipo no sul do Cráton do São Francisco, sul de Minas Gerais: reinterpretação com base em geologia de campo e geocronologia U-Pb. Submetido ao Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ.
- Szabó, G.A.J.; Roig H.L.; Schrank, A.; Choudhuri, A. 1993. Duas faixas lito-estruturais distintas e o limite das Províncias Tocantins e Mantiqueira, entre Alpinópolis e Nova Resende. In: II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, SBG, Salvador, p. 272-274.
- Trouw, R.A.J.; Heilbron, M.; Ribeiro, A.; Paciullo, F.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Tupinambá, M.; Andreis, R.R. 2000. The central segment of the Ribeira

- Belt. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos D.A. (Eds.). Tectonic Evolution of South America. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p. 287-310.
- Trouw, R.A.J.; Peternel, R.; Ribeiro, A.; Heilbron, M.; Vinagre, R.; Duffles, P.; Trouw, C.C.; Fontainha, M.; Kussama, H. 2013. A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 48, p. 43-57.
- Turbay, C.VOL.G.; Valeriano, C.M.; Rossi, A.; Rocha e Silva, VOL.G.M. 2008. Geologia do Complexo Campos Gerais ao sul de Alpinópolis, sudoeste de Minas Gerais. *Geonomos*, vol. 16, n. 2, p. 79 – 90.
- Turbay, C.VOL. G.; Valeriano, C.M. 2012. Litogeoquímica do Complexo Campos Gerais e granitoides intrusivos, Arqueano/Paleoproterozoico, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 42, p. 663-689.
- Valeriano, C.M.; Simões, L.S.A.; Teixeira, W.; Heilbron, M. 2000. Southern Brasília belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasiliano orogeny. *Revista Brasileira de Geociências*, Rio de Janeiro, vol. 30, n.1, p. 295-299.
- Valeriano, C. M.; Dardene, M. A.; Fonseca, M.A.; Simões, L. S. A.; Seer, H.J. 2004a. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: Virginio Mantesso Neto; Andreia Bartorelli; Celso Dal Ré Carneiro; Benjamim Bley de Brito Neves. (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano - Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca Ed., pp. 575-592.
- Valeriano, C.M.; Machado, N.; Simonetti, A.; Valladares, C.S.; Seer, H.J.; Simões, L.S.A. 2004b. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil):

sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research*, Amsterdam, vol. 130, n.1/4, p. 27-55.

Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Duarte, B.P.; Ragatky, D.; Palermo, N. 2005. O

Embasamento Paleoproterozóico alóctone na Faixa Brasília Meridional: uma janela para o embasamento oculto da margem continental sanfranciscana. In: III Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, Salvador. Short Papers - III Simpósio sobre o Cráton do São Francisco. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia- Núcleo Bahia-Sergipe. vol. 1., p. 259-262.

Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Trouw, R.A.J.; Paciullo, F.; Vol, P.; Simoes, L.S.A.; Szabo, G.A.J.; Heilbron, M.; Duarte, B. P.; Tupinamba, M.A.S.; Turbay, C.; Vol, G.T. 2006a. Mapa Geológico da Folha Alpinópolis - escala 1:100.000. In: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Brasília.

Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Trouw, R.A.J.; Paciullo, F.; Vol, P.; Simoes, L.S.F.; Heilbron, M.; Duarte, B.P.; Rossi, A.; Rangel C.; Roig, H.L.; Palermo, N. 2006b. Mapa Geológico da Folha Guapé. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Programa Geologia do Brasil, 2006, 1 mapa, col. Escala 1:100.000.

Valeriano, C.M.; Pereira, R.M.; Almeida, J.C.H.; Duarte, B.P.; Turbay, C.; Rossi, A.; Gontijo, A.; Ribeiro, A.; Nogueira, J.R.; Heilbron, M.; Castro C.; Falcão, T.C.; Silva, G.M.R. 2007. Nota Explicativa das Folhas Alpinópolis (SF.23-V-B-V) e Guapé (SF.23-V-B-IV) 1:100.000, Minas Gerais. 1. ed. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2007. vol. 1, 116p.

- Valeriano, C.M.; Pimentel, M.; Heilbron, M.; Trow, R.A.J.; Almeida, J.C. 2008. Tectonic evolution of the Brasília belt, central Brazil, and early assembly of Gondwana. *Geological Society Special Publication*, vol. 294, p. 197-210.
- Valeriano, C.M. 2017. The Southern Brasilia Belt. In: Heilbron, M.; Cordani, U.G.; Alkmim, F.F. (Eds.). *São Francisco Craton, Eastern Brazil Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*. Springer, vol. 1, p. 277-302.
- Westin, A.; Campos Neto, M.C.; Hawkesworth, C.J.; Cawood, P.A.; Dhuimec, B.; Delavault, H. 2016. A paleoproterozoic intra-arc basin associated with a juvenile source in the Southern Brasilia Orogen: Application of U–Pb and Hf–Nd isotopic analyses to provenance studies of complex areas. *Precambrian Research*, vol. 276, p. 178–193.