



UFRJ

Douglas Renato Lima da Silva

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA ZONA DE CISALHAMENTO DO LENHEIRO EM
SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS**

**Trabalho de Conclusão de Curso
Geologia**

UFRJ

Rio de Janeiro

Janeiro de 2017



UFRJ

Douglas Renato Lima da Silva

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA ZONA DE CISALHAMENTO DO LENHEIRO EM
SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia.

Orientador: André Ribeiro

Co-orientador: Felipe Nepomuceno de
Oliveira

UFRJ

Rio de Janeiro

Janeiro de 2017

Silva, Douglas Renato Lima

Mapeamento geológico da Zona de Cisalhamento do Lenheiro em São João del Rei, Minas Gerais / Douglas Renato Lima da Silva - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2017. XI, 37 pp.

Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2017.

Orientador: André Ribeiro, Co-orientador: Felipe Nepomuceno de Oliveira

1. Zona de Cisalhamento do Lenheiro 2. Formação Tiradentes 3. Orogênese Brasileira

Douglas Renato Lima da Silva

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA ZONA DE CISALHAMENTO DO LENHEIRO EM
SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia.

Orientador: André Ribeiro

Co-orientador: Felipe Nepomuceno de
Oliveira

Aprovada em:

Por:

Orientador: André Ribeiro (UFRJ)

Dra. Débora Barros Nascimento (UFRJ)

Prof. Dr. Rudolph Allard Johannes Trouw (UFRJ)

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por todo o apoio que me deram ao longo dos meus cinco anos de graduação em geologia, sei que não deve ter sido nada fácil. Agradeço meus amigos de república e Nicollas por toda a camaradagem e o bom humor nas situações mais difíceis que passamos, principalmente nos primeiros anos de moradia compartilhada. Agradeço meu amigo e professor André Ribeiro, que desde de meu primeiro ano de universidade vem me guiando com suas aulas, conversas, ensinamentos e esporros pelo caminho que escolhi, o caminho geológico.

Este presente trabalho foi realizado com a ajuda de diversos alunos, professores, motoristas e amigos da UFRJ, com quem aprendi e me diverti muito, a todos vocês eu digo – Muito obrigado.

Resumo

Na área estudada ocorrem filitos e gnaisses paleoproterozóicos do Cinturão Minerio, que constituem o embasamento das sucessões quartzíticas mesoproterozóicas da Formação Tiradentes e dos metapelitos neoproterozóicos (?) da Formação Prados. Concordante com a Formação Tiradentes ocorre uma unidade de quartzo xisto paleoproterozóico. A foliação no embasamento tem rumo NE-SW e mergulhos íngremes ($>70^\circ$) para SE, paralelos aos contatos litológicos. Nas formações Tiradentes e Prados o acamamento sedimentar mergulha cerca de 20° NE, passando a mergulhos íngremes para NW e SE definindo anticlinais e sinclinais com clivagem plano axial íngreme para SE. Estas dobras são parasíticas no flanco norte de uma estrutura maior, o Anticlinal do Lenheiro. Truncando os contatos litológicos internos na Tiradentes, a Formação Prados e as dobras ocorre a Zona de Cisalhamento do Lenheiro. Esta é uma estrutura de rumo NE-SW e mergulho íngreme para SE, que colocou o embasamento (bloco norte) em contato lateral subvertical com as formações Tiradentes e Prados (bloco sul). Foliação milonítica mergulhando para SE com lineação de estiramento de caimento suave para NE, planos S-C e e veios de quartzo sigmoidais registram movimento direcional destal reverso. Este movimento não é condizente com o rejeito vertical mínimo de mais de 500 metros que abateu o bloco sul e soergueu o embasamento a norte. Este rejeito é compatível com uma falha normal que abateu o bloco sul e soergueu o embasamento a norte. Assim, a zona de cisalhamento reflete a reativação desta falha normal, a Falha do Lenheiro. A reativação foi tardi-tectônica em relação deformação brasiliana que gerou dobras e clivagem nas formações Tiradentes e Prados. Dobras com planos axiais mergulhando para SE, vergência para NW, geometria e cinemática da zona de cisalhamento sugerem que estas estruturas foram geradas durante uma compressão NW-SE que pode ser relacionada aos campos de tensão da Faixa Ribeira.

Abstract

Paleoproterozoic phyllite and gneiss of the Mineiro Belt, a paleoproterozoic quartz schist unit, mesoproterozoic quartzite successions of the Tiradentes Formation and metapelite of the Prados Formation (Neoproterozoic ?) constitute 15 mappable units in the studied area. The main foliation in the basement units (Mineiro Belt) dips steeply to SE, parallel to the lithological contact. In the Tiradentes and Prados formations bedding dips ca. 20° NE, passing to steeply dips to NW and SE. This shift in bedding attitude defines anticlinal and synclinal folds with axial plane cleavage dipping steeply to the SE and axis with shallow plunge to NE. These are parasitic folds in the northern limb of the Lenheiro Anticline. The Lenheiro Shear Zone is an NE-SW striking structure dipping steeply to SE that truncates internal contacts in the Tiradentes Formation, the Prados Formation and the folds. The shear zone juxtaposed basement units and the Tiradentes and Prados formations in a subvertical contact, with the basement units in the footwall or the northern block. Milonitic foliation dipping steeply to SE and containing stretching lineation with low plunge to the NE, S-C plane and sigmoid vein quartz record reverse dextral movement. This is not consistent with the at least 500m displacement along the fault that uplifted the northern block with basement rocks. This movement can be related to an older normal fault, the Lenheiro Fault. Therefore, the Lenheiro Shear Zone can be interpreted as the reactivation of an older normal fault in metamorphic conditions. The folds with axial plane cleavage dipping steeply to SE and the geometry and kinematics of the shear zone suggest that these structures are contemporaneous and record a NW-SE compression related to the evolution of the Neoproterozoic Ribeira Belt.

Índice	
Capa	I
Agradecimentos	VI
Resumo	VII
Abstract	VIII
Índice de Figuras	XI
1. Introdução	01
1.1 Objetivo	01
1.2 Metodologia	01
1.3 Logística	01
1.4 Localização da área Estudada	02
1.5 Geoprocessamento	03
1.5.1. Pré campo	03
1.5.2. Pós campo	05
2. Geologia Regional	08
2.1 Cinturão Mineiro – embasamento	08
2.2 Sucessões Mesoproterozóicas e Neoproterozóicas	12
2.2.1 Formação Tiradentes.....	12
2.2.2 Formação Carandaí	12
2.2.3 Formação Barroso	13
2.2.4 Formação Prados	13
2.3 Deformação e Metamorfismo	13
3. Geologia da área - unidades de mapeamento	16
3.1 Embasamento	18
3.1.1 Clorita filito	18
3.1.2 Sericita filito	19
3.1.3 Quartzito	19
3.1.4 Metagranitóide	20
3.1.5 Ortognaisse grosso	20
3.1.6 Gnaisse fino	21
3.1.7 Pegmatitos	21
3.2 Quartzo xisto	21
3.3 Formação Tiradentes e Prados	21

3.3.1 Formação Tiradentes	21
3.3.1.1 Quartzito 1 – Sequência Tiradentes	21
3.3.1.2 Quartzito 2 – Sequência São José	21
3.3.1.3 Quartzito 3 – Sequência Tejuco	22
3.3.1.4 Metassiltito – Sequência Lenheiro	22
3.3.1.5 Quartzito 4 – Sequência Lenheiro	22
3.3.1.6 Quartzito 5 – Sequência Lenheiro	22
3.3.2 Metapelito – Formação Prados	22
3.4. Diques de metabasito	25
3.5. Veios de quartzo	25
3.6 Geologia Estrutural	26
3.6.1. Estruturas nas rochas do embasamento	26
3.6.2. Estruturas nas rochas das formações Tiradentes e Prados	28
3.6.3. Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro	30
4. Conclusões	33
5. Referências Bibliográficas	34
6. Anexos	37

Índice de figuras

Figura 1. Os limites da área (polígono) em mosaico de imagens <i>Worldview</i> , Google 2016.	2
Figura 2. Acesso a área desde o Rio de Janeiro BR-040 (laranja) e depois por Barbacena até São João del Rei pela BR-265 (amarelo). Imagem Landsat 8 – Google 2016.	2
Figura 3. Mosaico de imagens de satélite (<i>Worldview</i>) usadas como apoio de campo e aprimoramento de contatos litológicos levantados no campo.	3
Figura 4. Imagem <i>SRTM</i> com pixels de 30 metros (esquerda) e de 10 metros (direita).	4
Figura 5. Curvas de nível de modelo 10m (vermelho) e 30m de pixel (preto).	4
Figura 6. Imagens de satélite normal (esquerda) e com <i>hillshade</i> sotoposto e 30% de transparência mostrando efeito de profundidade (direita).	5
Figura 7. Mapas de campo scaneados e já georreferenciados no Arcgis 10.2.2.	5
Figura 8. Recorte do mapa digital semi-pronto com polígonos (cores) e linhas (contatos).	6
Figura 9. Recorte do mapa digital semi-pronto com imagem de satélite sotoposta aos polígonos e linhas para ajuste de contatos geológicos observados em campo.	6
Figura 10. Recorte do mapa digital semi-pronto – polígonos e linhas com medidas.	7
Figura 11. Localização da área de estudo em relação ao Cráton do São Francisco e Supergrupo Espinhaço.	9
Figura 12. Localização da área de estudo no Cinturão Mineiro. Segundo a figura a área inclui crosta paleoproterozóica não diferenciada e sequências supracrustais de 2.27 Ga (B). A Zona de Cisalhamento do Lenheiro (LSZ) não corresponde com a estrutura de mesma nome no presente trabalho; esta localiza-se entre a crosta paleoproterozóica não diferenciada e a Sequência <i>Rift</i> Mesoproterozóica. Legenda em português modificada do original em inglês da figura 1 de Teixeira et al., 2015.	9
Figura 13. Mapa geológico de São João del Rei com a área de estudo delimitada pelo polígono vermelho. Simplificado de Ribeiro et al., 2003.	10
Figura 14. Coluna estratigráfica das sucessões meso- e neoproterozóicas da região de São João del Rei. (Ribeiro et al., 2013).	11

<p>Figura 15. Mapa geológico de São João del Rei (SJR) segundo Ebert (1957a). 1 - Gabro, 2 - Paragneisses, metabasitos, ultrabasitos, 3 - Granodioritos, migmatitos. Formação Tiradentes: 4 - Quartzitos Inferiores, 5 - Siltitos e dolomitos, 6 - Quartzitos Superiores. Formação Carandaí: 7 - Quartzitos e 8 - Quartzito-filitos. Formação Barroso: 9 - Calcários e calco-filitos. Formação Prados: 10 - Metassiltitos. 11 - Diabásio (Triássico ?). 12 - Terciário e Pleistoceno. 13 - Falha de empurrão. 14 - Falha de gravidade. Simplificado de Ribeiro (1997).</p>	14
<p>Figura 16. Mapa geológico da área da Serra do Lenheiro, São João del Rei. Simplificado de Valeriano (1985) por Ribeiro (1997). Legenda: Sequência Inferior: 1- Gnaise bandado, 2- clorita-xisto, quartzito micáceo, quartzito ferruginoso, talco-tremolita-xisto, gnaise fino bandado, gondito, mármore, quartzito puro e sericita-filito, 3- quartzito-sericita-filito cinza, 4- granodiorito-gnaise, 5- metagabro. Sequência Superior: 6- Quartzito rico em estratificação cruzada e marcas de onda, com níveis métricos de metaconglomerado e intercalações centimétricas a métricas de filito esverdeado. 7- Ardósia branca a cinza, localmente com manchas de redução. 8- Quartzito micáceo de granulação fina, localmente com estratificação cruzada. 9- Metaconglomerado com intercalações métricas de quartzito com estratificação cruzada e filito subordinadamente. 10- Filito quartzoso de cor de alteração alaranjada. 11- Filito preto e quartzito fino em alternância milimétrica a centimétrica. 12- Biotita-carbonato-filito com níveis e lentes de mármore de espessura centimétrica a decamétrica. 13- Dique de metabasito. 14- Atitude da estratificação sedimentar. 15- Traço de plano axial de dobra antiformal.</p>	15
<p>Figura 17. Coluna estratigráfica da área de estudo.</p>	17
<p>Figura 18. Clorita filito e veios de quartzo paralelos a foliação subvertical exposto a norte da Falha do Lenheiro (GPS: 0575040/7665139).</p>	18
<p>Figura 19. Sericita filito formando cristas ao longo do morro logo a norte da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0573185 / 7664350).</p>	19
<p>Figura 20. Lajedo do Ortognaisse grosso com diques de pegmatito (faixas brancas) em pedreira desativada na parte norte da área (0580207 / 7670147).</p>	20
<p>Figura 21. Estratificação cruzada acanalada no quartzito 3, flanco norte da Serra do Lenheiro (0573408 / 7663673).</p>	23

Figura 22. Camadas delgadas de metassilito mergulhando para nordeste na parte sul da área (0574097 / 7663217)	23
Figura 23. Quartzito fino da Sequência Lenheiro mergulhando para NE na Serra do Lenheiro. (0574001 / 7663665)	24
Figura 24. Metaconglomerado e quartzito na Serra do Lenheiro (0574148 / 7664373).	24
Figura 25. Metapelito cinza mergulhando para SE na Serra do Lenheiro (0575598 / 7665060).	25
Figura 26. Estereograma de igual área mostrando polos de foliação principal nas rochas do embasamento, tanto filitos como gnaisses.	27
Figura 27. Camadas delgadas de gnaissse fino bandado definindo dobras isoclinais com alto plano axial de alto mergulho para SE paralelo a foliação principal no embasamento. S1-linha vermelha foliação antiga paralela as camadas; S2- linha amarela foliação plano axial nova. Canto sudoeste da área (0570405 / 7664392).	27
Figura 28. Flanco íngreme de dobra aberta parasítica do Anticlinal do Lenheiro em quartzito da Formação Tiradentes nas imediações da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0574524 / 7664602).	28
Figura 29. Estereogramas de igual área mostrando a atitude do acamamento sedimentar em dobras abertas no flanco norte do Anticlinal do Lenheiro (A e B, Anexo 1).	29
Figura 30: Estereograma de igual área mostrando o padrão SE da clivagem plano axial nas formações Tiradentes e Prados. Foram feitas 30 medidas – S1 médio 142/45.	29
Figura 31: Estereograma de igual área mostrando o padrão NE da lineação de interseção nas formações Tiradentes e Prados.	30
Figura 32. Lineação de estiramento sub-horizontal com caimento suave para NE, em quartzito na Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0571529 / 7663634).	31
Figura 33. Indicador cinemático do tipo S-C em quartzito na Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0571531 / 7663669).	31
Figura 34. Traço da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (amarelo tracejado) com embasamento a norte e quartzito da Formação Tiradentes a sul. A interpretação dos movimentos normal em amarelo e direcional dextral reverso em vermelho. Vista para SW do ponto 0574047 / 7664659.	32

Índice de anexos

Anexo 1 – Mapa Geológico	37
Anexo 2 – Seções Geológicas	37
Anexo 3 – Tabela de Pontos	37

1. Introdução

1.1 Objetivo

O objetivo do trabalho é entender a geometria e cinemática da Zona de Cisalhamento do Lenheiro, São João del Rei, com intuito de expandir o conhecimento sobre esta estrutura regional e a geologia do seu entorno.

1.2 Metodologia

A metodologia compreendeu etapas pré-campo, de campo e escritório. Durante o pré-campo foi feito o preparo da base cartográfica utilizada no mapeamento geológico, gerada a partir de modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), além do preparo e fotointerpretação de imagens de satélite (*Worldview*). Foi feito também estudo bibliográfico da geologia local e de conceitos sobre zonas de cisalhamento.

Na etapa de campo foi realizado o mapeamento geológico detalhado em escala 1:6.250 ao longo de uma faixa SW-NE, com 18 km de comprimento e 4km de largura, com a Falha-Zona de cisalhamento do Lenheiro aproximadamente no centro da faixa. Por fim, na etapa de escritório contatos litológicos e outros lineamentos visíveis em imagem de satélite foram aprimorados por meio de fotointerpretação. A correção de contatos realizada com o *Software ArcGis 10.2.2*. A metodologia utilizada nos procedimentos de preparação dos mapas base de campo e geológico digital está descrita no item 1.5.

Oito seções geológicas foram elaboradas a partir da projeção de atitudes de acamamento. Tal projeção foi feita ao longo do eixo beta (β) que é o polo do plano que melhor se ajusta a nuvem de atitudes em estereograma de igual área. A partir das seções geológicas foi montado um mosaico 3D para melhor entendimento da área.

1.3 Logística

Foram realizadas 3 campanhas de campo com cerca de 15 dias cada. Estas campanhas aconteceram durante os trabalhos de campo da disciplina Estágio de Campo I (IGL-U01), da qual foi monitor sob a supervisão do Professor André Ribeiro.

1.4 Localização da área estudada

A área localiza-se ao noroeste de São João del Rei, no sul do Minas Gerais (Fig. 1). O acesso do Rio de Janeiro é BR-040 até Barbacena e BR-265 até São João Del Rei (Fig. 2).



Figura 1. Os limites da área (polígono) em mosaico de imagens *Worldview*, Google 2016.

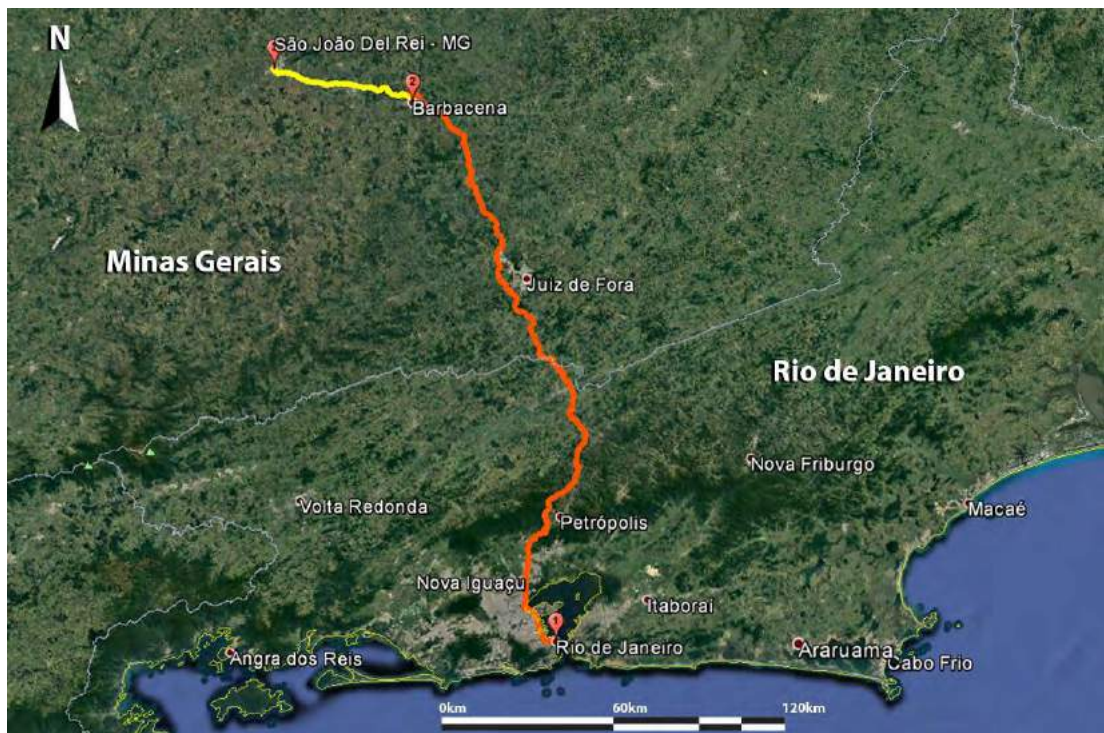


Figura 2. Acesso a área desde o Rio de Janeiro BR-040 (laranja) e depois por Barbacena até São João del Rei pela BR-265 (amarelo). Imagem Landsat 8 – Google 2016.

1.5. Geoprocessamento

O Geoprocessamento foi utilizado neste trabalho nas etapas pré-campo, de maneira a otimizar as saídas de campo, e pós campo na elaboração do mapa digital. Os *softwares* utilizados foram o ArcGis 10.2.2 e o CorelDraw X6.

1.5.1. Pré-campo

Nesta etapa foi feita a integração de mapas base, imagens de satélite e modelo digital de elevação (*SRTM*) resultando o mapa topográfico utilizado no campo e um mosaico de imagens de satélite com alta resolução espacial (*wordview*) obtidas pelo Google Earth.

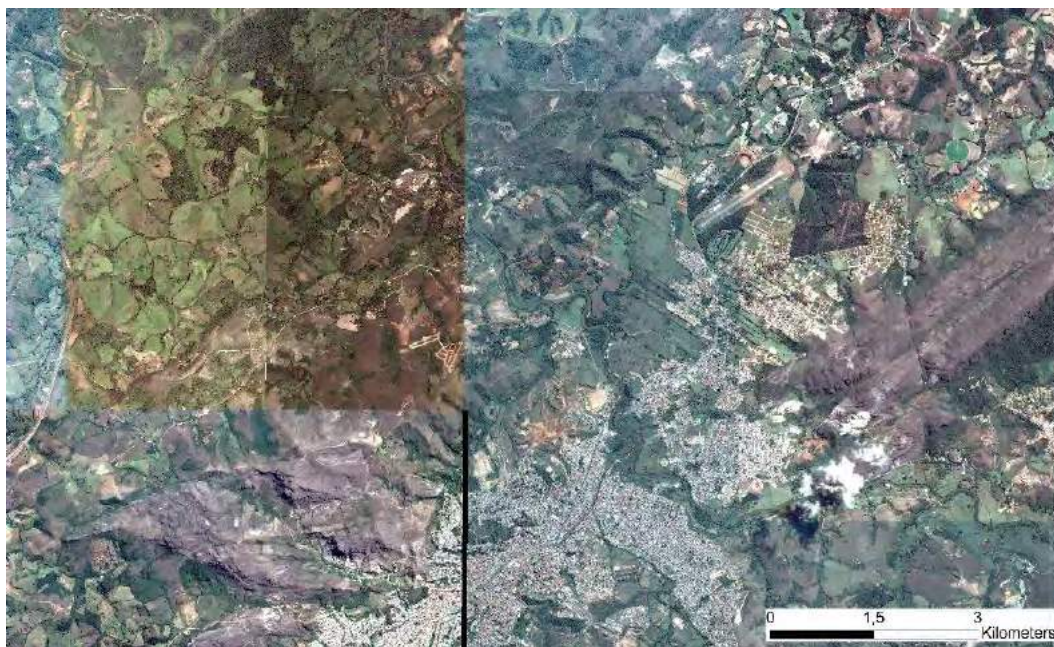


Figura 3. Mosaico de imagens de satélite (*wordview*) usadas como apoio de campo e aprimoramento de contatos litológicos levantados no campo.

O modelo digital de interferometria de radar *SRTM* foi utilizado para gerar curvas de nível do mapa base de campo. O modelo digital de elevação *SRTM* é uma imagem de radar com pixel original de 30m de aresta que contém dados de elevação atrelados aos pixels. O modelo foi adquirido gratuitamente no site (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Para maior definição e melhor visualização os pixels da imagem original foram reamostrados para 10m (Fig. 4).

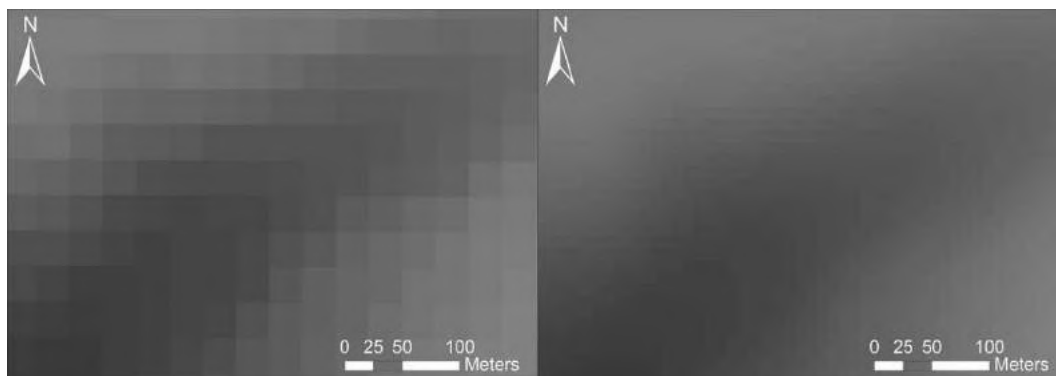


Figura 4. Imagem *SRTM* com pixels de 30 metros (esquerda) e de 10 metros (direita).

Com o modelo digital de elevação reamostrado foram geradas curvas de nível com intervalos de 10m e contornos suaves mais verossímeis com a topografia real (Fig. 5). O processo foi feito com o comando “*Spatial Analyst Tool>Surface>Contour*” no ArcGIS.



Figura 5. Curvas de nível de modelo 10m (vermelho) e 30m de pixel (preto).

Ainda com o *SRTM* reamostrado para pixel de 10m foi gerado modelo de relevo sombreado *hillshade*, o mesmo foi sotoposto a imagem de satélite (Fig. 6).

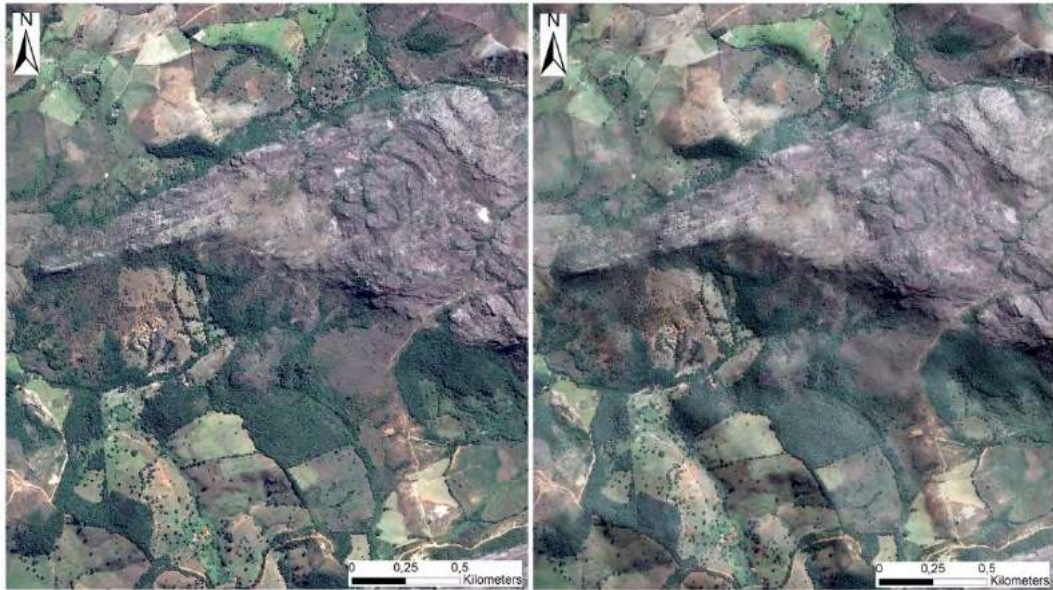


Figura 6. Imagens de satélite normal (esquerda) e com *hillshade* sotoposto e 30% de transparência mostrando efeito de profundidade (direita).

1.5.2. Pós-campo

Na etapa pós-campo foi feito o georreferenciamento do mapa de campo com a ferramenta “Add XY” e adição de 124 pontos de coordenada conhecida do *SRTM* (Fig. 7).

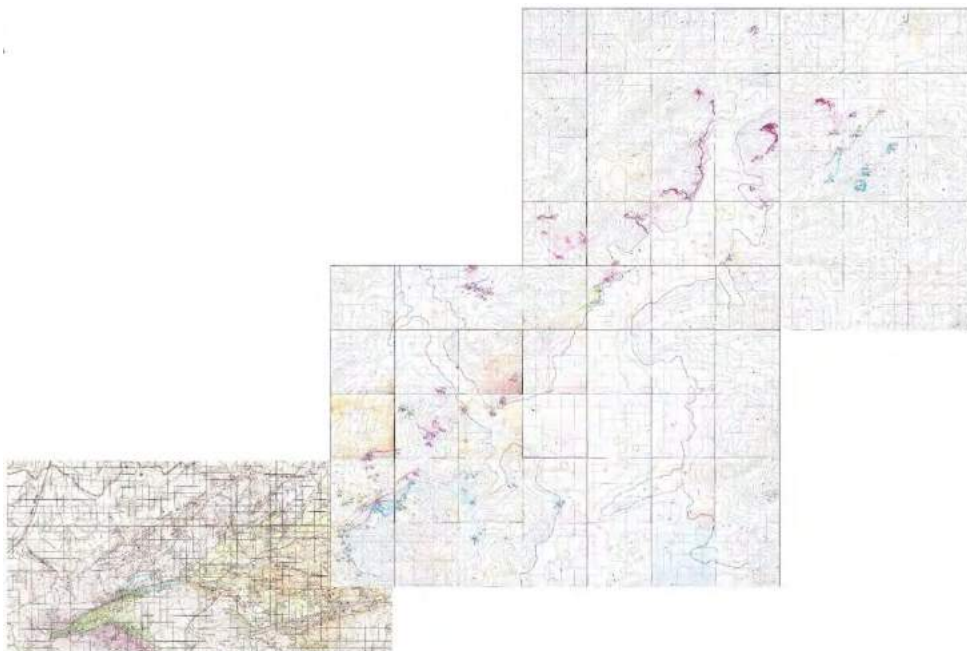


Figura 7. Mapas de campo scaneados e já georreferenciados no Arcgis 10.2.2.

Após o georreferenciamento o mapa foi vetorizado através de polígonos e linhas mostrando a área de cada unidade de mapeamento e seus contatos (Fig. 8). O mosaico de imagens foi usado para o refino e aprimoramento dos contatos observados em campo (Fig 9).

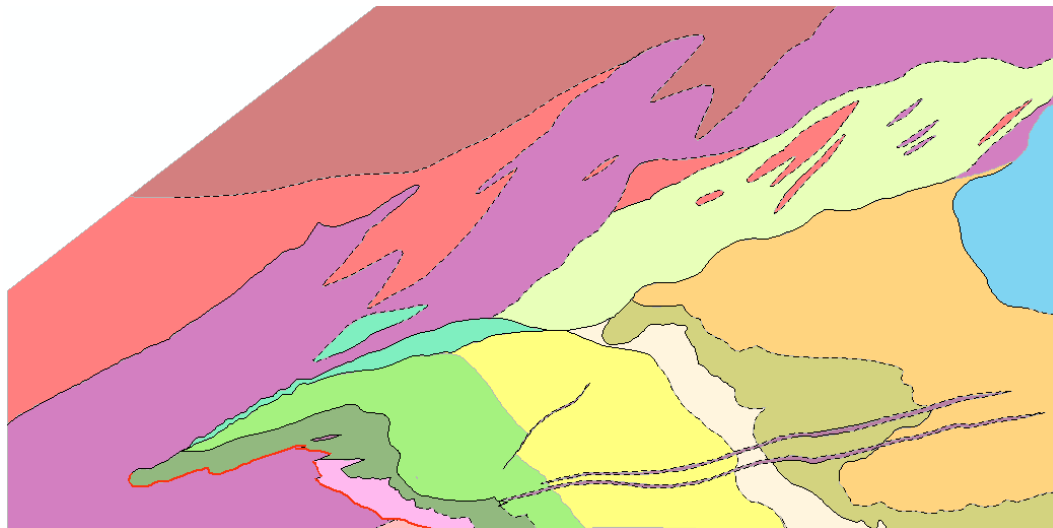


Figura 8. Recorte do mapa digital semi-pronto com polígonos (cores) e linhas (contatos).



Figura 9. Recorte do mapa digital semi-pronto com imagem de satélite sotoposta aos polígonos e linhas para ajuste de contatos geológicos observados em campo.

Posteriormente as medidas estruturais foram adicionadas ao mapa (Fig. 10) porém, uma diminuição do número de medidas se fez necessária afim de manter um bom visual no mapa final. A totalidade de medidas está representada nos estereogramas (Figs. 29a e b). Símbolos estruturais e cartográficos, coluna estratigráfica, e legenda foram adicionadas com o software CorelDraw X6.

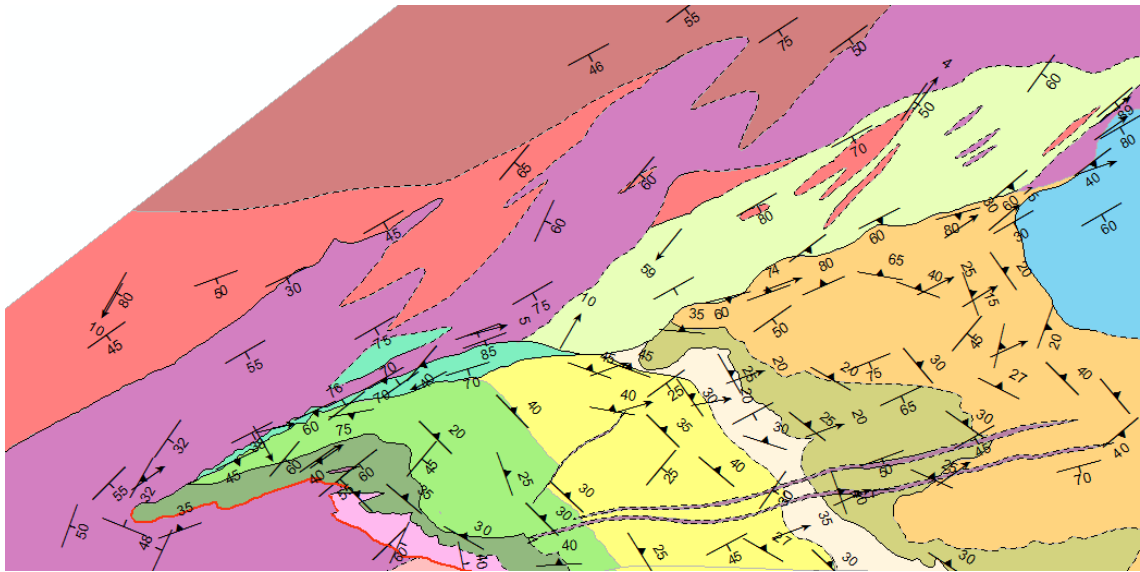


Figura 10. Recorte do mapa digital semi-pronto – polígonos e linhas com medidas.

As oito Seções geológicas foram escaneadas e posteriormente digitalizadas no software CorelDraw X6 com a mesma escala horizontal do mapa geológico (1:6250), e sem exagero vertical (Anexo 2).

2. Geologia Regional

A área de estudo situa-se na borda sul do Cráton do São Francisco (Fig. 11), região onde afloram o Cinturão Mineiro, Paleoproterozóico (Fig. 12; Teixeira et al., 1998, 2000) capeado em discordância por unidades mesoproterozóicas das formações Carandaí, Tiradentes e Barroso, correlacionadas ao Supergrupo Espinhaço (Fig. 11). Aflora também a Formação Prados de provável idade neoproterozóica (Ribeiro et al., 2013) e, ao sul área sucessões neoproterozóicas do Grupo Andrelândia (cf. Trouw et al., 2013; Fig. 13). Debritos de provável idade cenozoica, relacionados a atividade neotectônica cobrem localmente as unidades precambrianas (Figs.13 e 14; Ribeiro et al. 2003).

2.1 Cinturão Mineiro - embasamento

O Cinturão Mineiro é o embasamento das sucessões meso- e neoproterozóicas da região. Este cinturão é interpretado como gerado durante a evolução e amalgamação de arcos magmáticos intra-oceânicos paleoproterozóicos (Fig. 12; Ávila et al., 2010). O cinturão se dispõe em uma faixa NE-SW com predomínio de mergulhos íngremes para SE. Inclui sucessões de rochas metassedimentares e metaígneas típicas de *greenstone belt* e corpos ígneos ácidos, intermediários e básicos, vulcânicos, subvulcânicos e plutônicos, a maioria interpretados de ambiente de arco magmático intra-oceânico (Ávila et al., 2010). Ocorrem variados tipos de metapelitos (filitos, xistos), de gondito e formação ferrífera. As rochas de origem ígnea são metafelsitos, metandesitos e metabasitos vulcânicos e subvulcânicos, e metaultramáficas incluindo metaperidotito, metakomatitito, serpentinito, clorita e anfibolitito. Estas rochas metaígneas dão origem também a diversos tipos de filitos e xistos como quartzo xistos e filitos, xistos verdes, talco xisto, clorita xisto, anfibólio xisto e termos transicionais entre estes extremos. Encaixados nas faixas tipo *greenstone* ocorrem ortognaisses e metagranitóides graníticos até tonalíticos, metagabro, metadiorito, em grande parte vinculados a evolução de arco magmático (Teixeira et al., 2000; Ávila et al., 2010).

Pelo menos dois pulsos metamórficos regionais foram registrados no Cinturão Mineiro. O mais antigo atingiu fácies anfibolito inferior a médio sendo caracterizado pela associação Mg-hornblenda/Fe-hornblenda + oligoclásio ou andesina ± clorita ± epidoto ± biotita ± illmenita O pulso mais novo é retrógrado e gerou associações minerais típicas de fácies xisto verde e anfibolito inferior contendo actinolita ± albita ± epidoto ± biotita ± esfena (Ávila, 2000; Ávila et al., 2008). Como já mencionado, a foliação metamórfica no cinturão tem rumo NE-SW e alto mergulho para SE e, localmente, para NW.

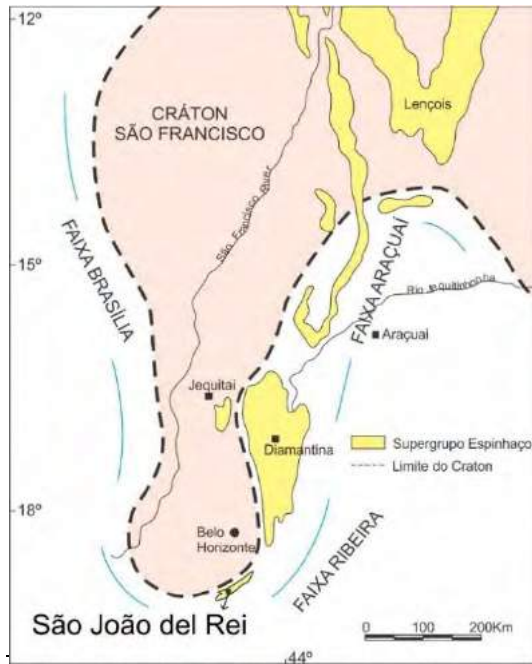


Figura 11. Localização da área de estudo em relação ao Cráton do São Francisco e Supergrupo Espinhaço, simplificado de Ribeiro et al. (2013).

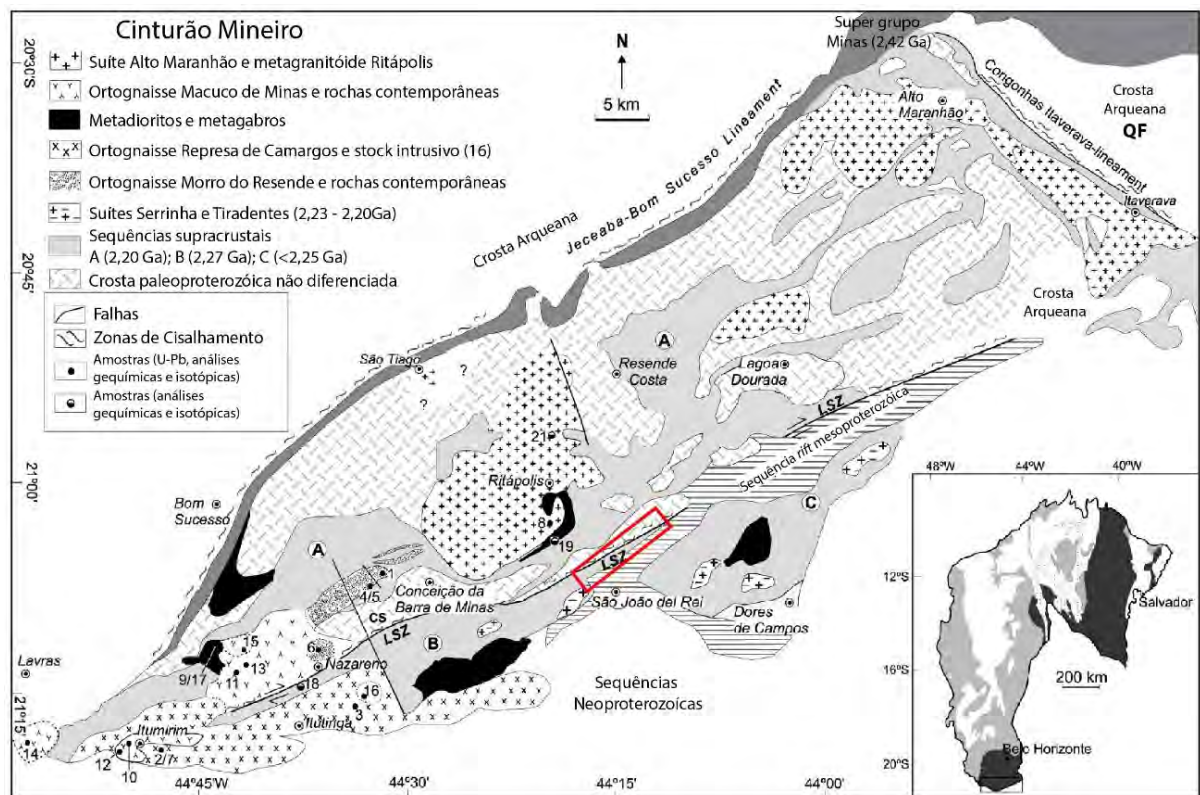


Figura 12. Localização da área de estudo no Cinturão Mineiro. Segundo a figura a área inclui crosta paleoproterozóica não diferenciada e sequências supracrustais de 2.27 Ga (B). A Zona de Cisalhamento do Lenheiro (LSZ) não corresponde com a estrutura de mesma nome no presente trabalho; esta localiza-se entre a crosta paleoproterozóica não diferenciada e a

Sequência *Rift* Mesoproterozóica. Legenda em português modificada do original em inglês da figura 1 de Teixeira et al., 2015.

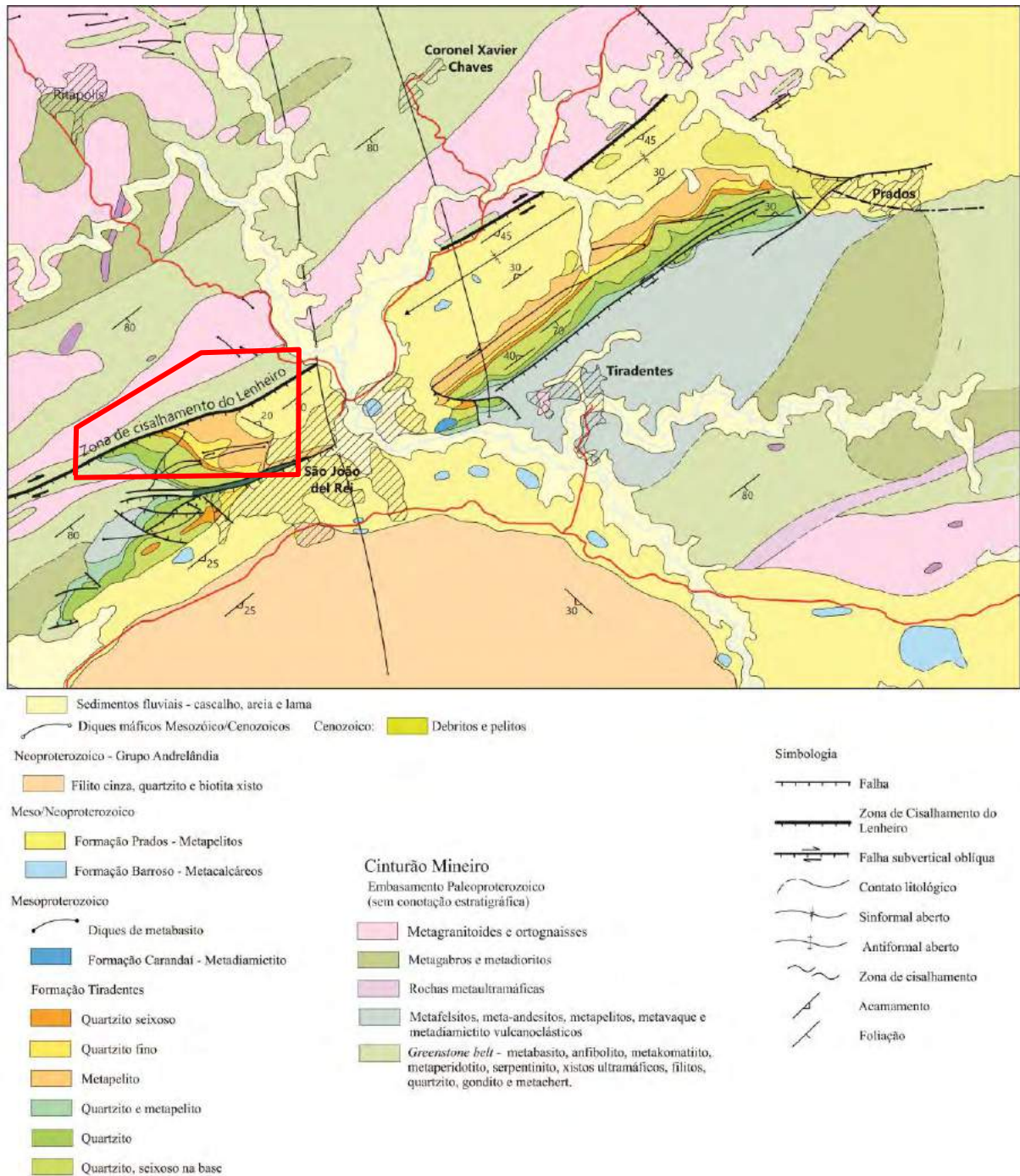


Figura 13. Mapa geológico de São João del Rei com a área de estudo delimitada pelo polígono vermelho. Simplificado de Ribeiro et al., 2003.

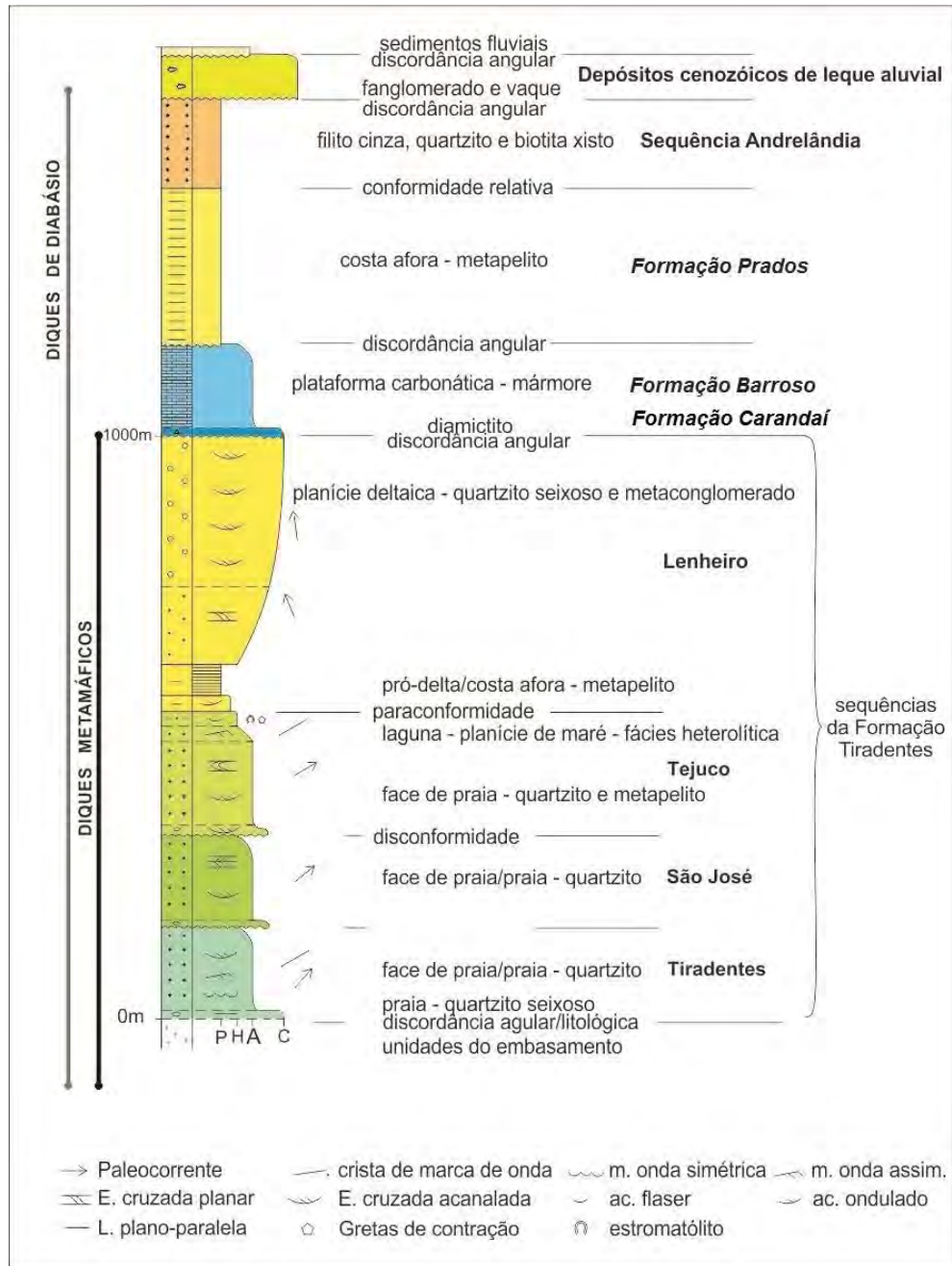


Figura 14. Coluna estratigráfica das sucessões meso- e neoproterozóicas da região de São João del Rei. (Ribeiro et al., 2013).

2.2 Sucessões Mesoproterozóicas e Neoproterozóicas

Trata-se das formações Tiradentes e Carandaí, do Mesoproterozóico, Formação Barroso de idade indefinida, meso- ou neoproterozóica, e Formação Prados possivelmente neoproterozóica. Ao sul da área ocorrem quartzitos e xistos neoproterozóicos do Grupo Andrelândia (Figs. 13 e 14). Estas sucessões cobrem unidades do Cinturão Mineiro.

2.2.1 Formação Tiradentes

A Formação Tiradentes é uma sucessão quartzítica com 1000m de espessura, idade em torno de 1.5Ga, correlacionável ao intervalo médio do Supergrupo Espinhaço (Ribeiro et al., 2013). A formação foi definida por Leonardos (1940) e depois dividida por Ebert (1957) em três membros: quartzitos inferiores, siltitos e dolomitos, e quartzitos superiores (Fig. 15). Valeriano (1985) subdividiu o membro superior em quartzito fino e metaconglomerado (Fig. 16), divisão adotada por Noce (1987). Andreis et al. (1989a, b) dividiram a formação em duas sequências de plataforma rasa: basal composta pelos primeiros 300m de quartzitos e de topo com quartzitos, metapelitos, quartzitos finos e, no topo, quartzitos seixosos. Ribeiro et al. (2003) reconheceram três discordâncias internas na formação que levaram a identificação de quatro sequências, da base para o topo denominadas de Tiradentes, São José, Tejuco e Lenheiro (Fig. 14). As rochas na Formação Tiradentes preservam estruturas sedimentares primárias tais como marcas de onda e estratificação cruzada, o que permitiu interpretar paleoambientes deposicionais. Segundo Ribeiro et al. (2003) as duas primeiras sequências contêm associações de litofácies de plataforma rasa (praia e face de praia). A Sequência Tejuco é uma sucessão progradacional com quartzitos de face de praia/submaré sobrepostos por fácies heterolítica com gretas de ressecamento, e localmente estromatólitos que registram ambiente de inter-maré. A Sequência Lenheiro é uma sucessão constituída, da base para o topo por metapelito, quartzito fino e quartzito seixoso, interpretada como um delta de rio entrelaçado.

2.2.2 Formação Carandaí

A Formação Carandaí (Leonardos, 1940), é uma sucessão com metadiamicritos e filitos que ocorrem em lentes de até 30m de espessura em discordância sobre o embasamento e as formações Barroso e Tiradentes (Ribeiro et al., 2003). A formação foi interpretada como produto de depósitos glaciais (Leonardos, 1940; Karfunkel e Noce, 1983) e depósitos de fluxo

de detritos associados a falhas (Ribeiro et al., 2003). A idade mínima para os depósitos na borda oeste da Serra de São José foi estimada em 1379 ± 6 Ma (Ribeiro et al., 2013).

2.2.3 Formação Barroso

A Formação Barroso (Ebert, 1957a) é uma sucessão de rochas carbonáticas com até 200m de espessura e idade indefinida, Meso- ou Neoproterozóico. A sucessão ocorre desde Carandaí para sudoeste até a região de São João Del Rei e aflora também na região de Lavras. Seus afloramentos em geral são janelas rodeadas por metapelitos da Formação Prados. Esta formação assenta em discordância litológica sobre o embasamento e em discordância angular sobre a Formação Tiradentes. Mármore cinza, cinza azulado ou brancos ocorrem em acamamento tabular delgado a espesso, formando sucessões de até 10m de espessura que são intercaladas por metapelitos argilitos e metamargas (Ribeiro et al, 2013).

2.2.4 Formação Prados

A Formação Prados (Ebert, 1957a) de provável idade neoproterozóica ocorre em discordância litológica sobre o embasamento e discordância angular sobre as formações Tiradentes e Barroso. A formação é uma sucessão pelítica com pelo menos 500m de espessura formada por laminas e camadas delgadas de metargilitos e metassiltitos cinzentos e esverdeados (Ribeiro et al., 2003). Esta formação pode registrar a deposição em uma calha *rift* de rumo NE-SW relacionada a Bacia Andrelândia, uma margem passiva neoproterozóica (Ribeiro et al., 2013).

2.3 Deformação e Metamorfismo

A deformação e metamorfismo impressos nas sequencias meso- e neoproterozóicas são relacionadas a orogênese brasileira que formou dobras abertas com clivagem de mergulho íngreme para SE e eixos com caimento para NE e SW (Valeriano, 1985; 1986). A vergência das dobras para NW e a clivagem plano axial sugerem um encurtamento NW-SE, relacionado com a evolução da Faixa Ribeira na área. Cianita em veios de quartzo e metapelitos, escasso cloritóide e a recristalização de micas em quartzitos e metapelitos caracterizam o metamorfismo em fácies xisto verde (Valeriano, 1985; Ribeiro, 1997).

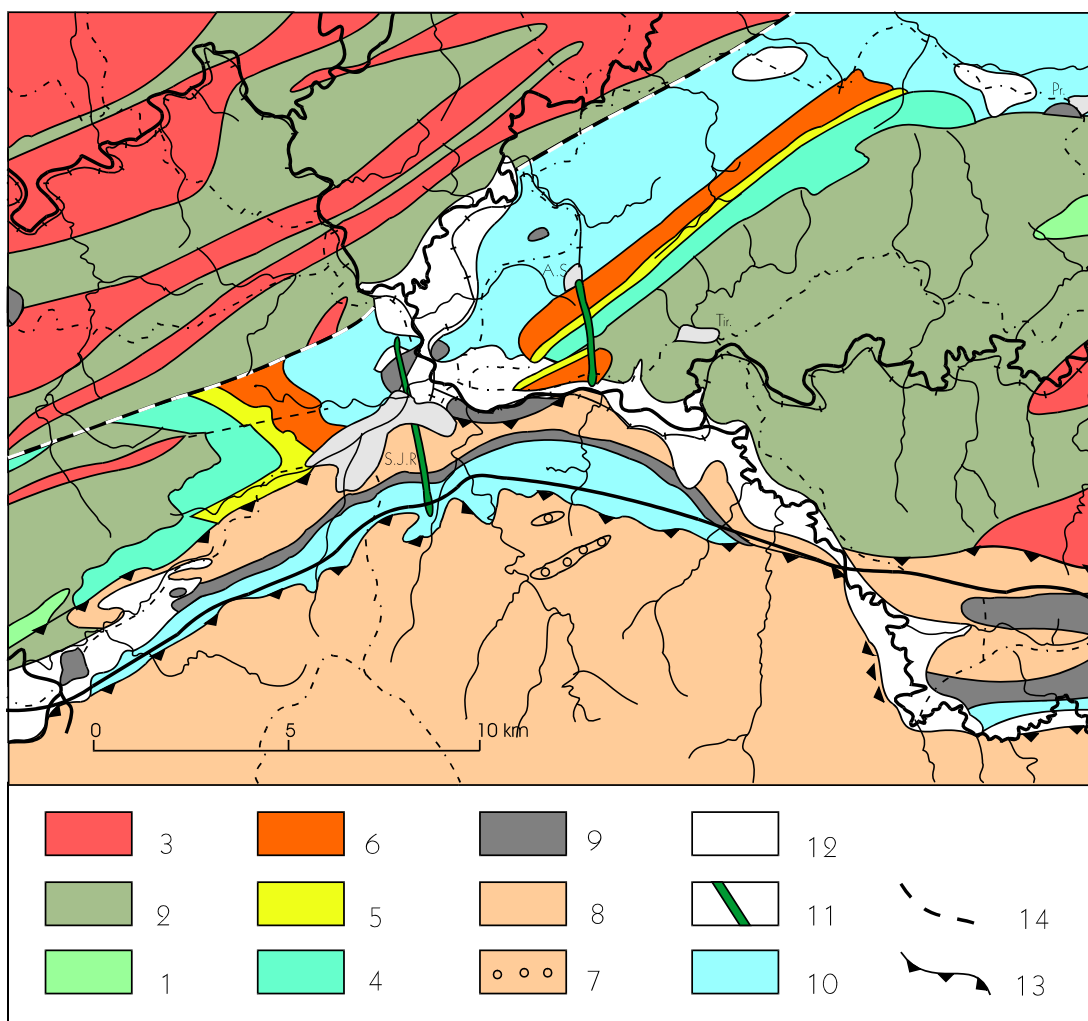


Figura 15. Mapa geológico de São João del Rei (SJR) segundo Ebert (1957a) e posteriormente simplificado por Ribeiro (1997). 1- Gabro, 2 - Paragnaisses, metabasitos, ultrabasitos, 3 - Granodioritos, migmatitos. Formação Tiradentes: 4 - Quartzitos Inferiores, 5 - Siltitos e dolomitos, 6 - Quartzitos Superiores. Formação Carandaí: 7 - Quartzitos e 8 - Quartzito-filitos. Formação Barroso: 9 - Calcários e calco-filitos. Formação Prados: 10 - Metassiltitos. 11 - Diabásio (Triássico?). 12 - Terciário e Pleistocênio. 13 - Falha de empurrão. 14 - Falha de gravidade

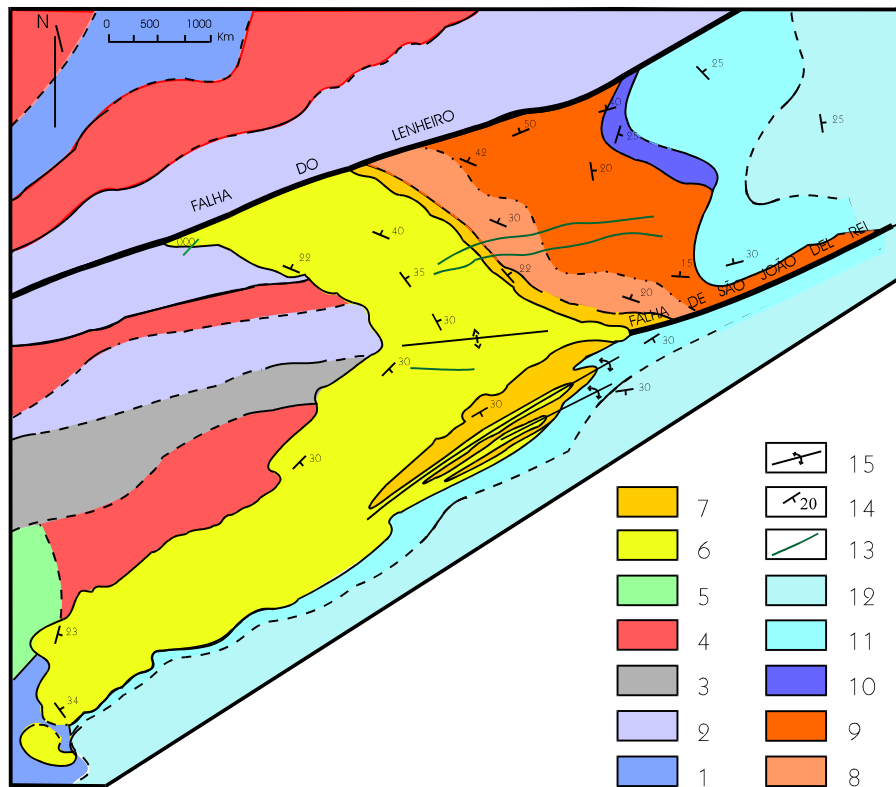


Figura 16. Mapa geológico da área da Serra do Lenheiro, São João del Rei. Valeriano (1985) modificado por Ribeiro (1997). Legenda: Sequência Inferior: 1- Gnaiss bandado, 2- cloritaxisto, quartzito micáceo, quartzito ferruginoso, talco-tremolita-xisto, gnaiss fino bandado, gondito, mármore, quartzito puro e sericita-filito, 3- quartzo-sericita-filito cinza, 4- granodiorito-gnaiss, 5- metagabro. Sequência Superior: 6- Quartzito rico em estratificação cruzada e marcas de onda, com níveis métricos de metaconglomerado e intercalações centimétricas a métricas de filito esverdeado. 7- Ardósia branca a cinza, localmente com manchas de redução. 8- Quartzito micáceo de granulação fina, localmente com estratificação cruzada. 9- Metaconglomerado com intercalações métricas de quartzito com estratificação cruzada e filito subordinadamente. 10- Filito quartzoso de cor de alteração alaranjada. 11- Filito preto e quartzito fino em alternância milimétrica a centimétrica. 12- Biotita-carbonato-filito com níveis e lentes de mármore de espessura centimétrica a decamétrica. 13- Dique de metabasito. 14- Atitude da estratificação sedimentar. 15- Traço de plano axial de dobra antiformal.

3. Geologia da área - unidades de mapeamento

Foram reconhecidas quinze unidades de mapeamento na área estudada (Anexo 1). O Cinturão Mineiro, aqui denominado também embasamento, está representado por seis unidades: Clorita filito, Sericita filito, Quartzito, Gnaiss fino, Ortognaisse grosso e Metagranitóide. Acima do embasamento ocorrem quartzito xisto, seis unidades da Formação Tiradentes e a Formação Prados. Diques de metabasito cortam estas unidades, exceto a Formação Prados (Fig. 17 e Anexo 1). Além das unidades de mapeamento ocorrem veios de quartzo e no embasamento pegmatitos, especialmente no ortognaisse.

A área mapeada, incluindo embasamento e as formações Tiradentes e Prados, foi alvo de estudos de Valeriano (1985) e Ribeiro et al. (2003, 2013). Parte da área foi também mapeada em detalhe por alunos de Estágio de Campo 1 do curso de Geologia da UFRJ.

A área mapeada foi alvo de estudos de Valeriano (1985), Ribeiro (1997) e Ribeiro et al. (2003, 2013) e, especificamente sobre o embasamento, estudos de Ávila (2000), Ávila (2007, 2010) e Teixeira et al. (2013), entre outros. A área foi também alvo de estágios de campo da disciplina Estágio de Campo 1 do curso de Geologia da UFRJ nos anos 1990 e 2000. Além disso trabalhos de prospecção mineral foram realizado por alunos do curso de Geologia da UFRJ (cf. Souza, J.F.G. et al., 2016). Apesar destes trabalhos, o mapa aqui apresentado é distinto, pois não incorpora dados de mapas anteriores. Além disso as interpretações sobre geommetria e cinemática da zona de cisalhamento do Lenheiro é uma contribuição nova a geologia da região.

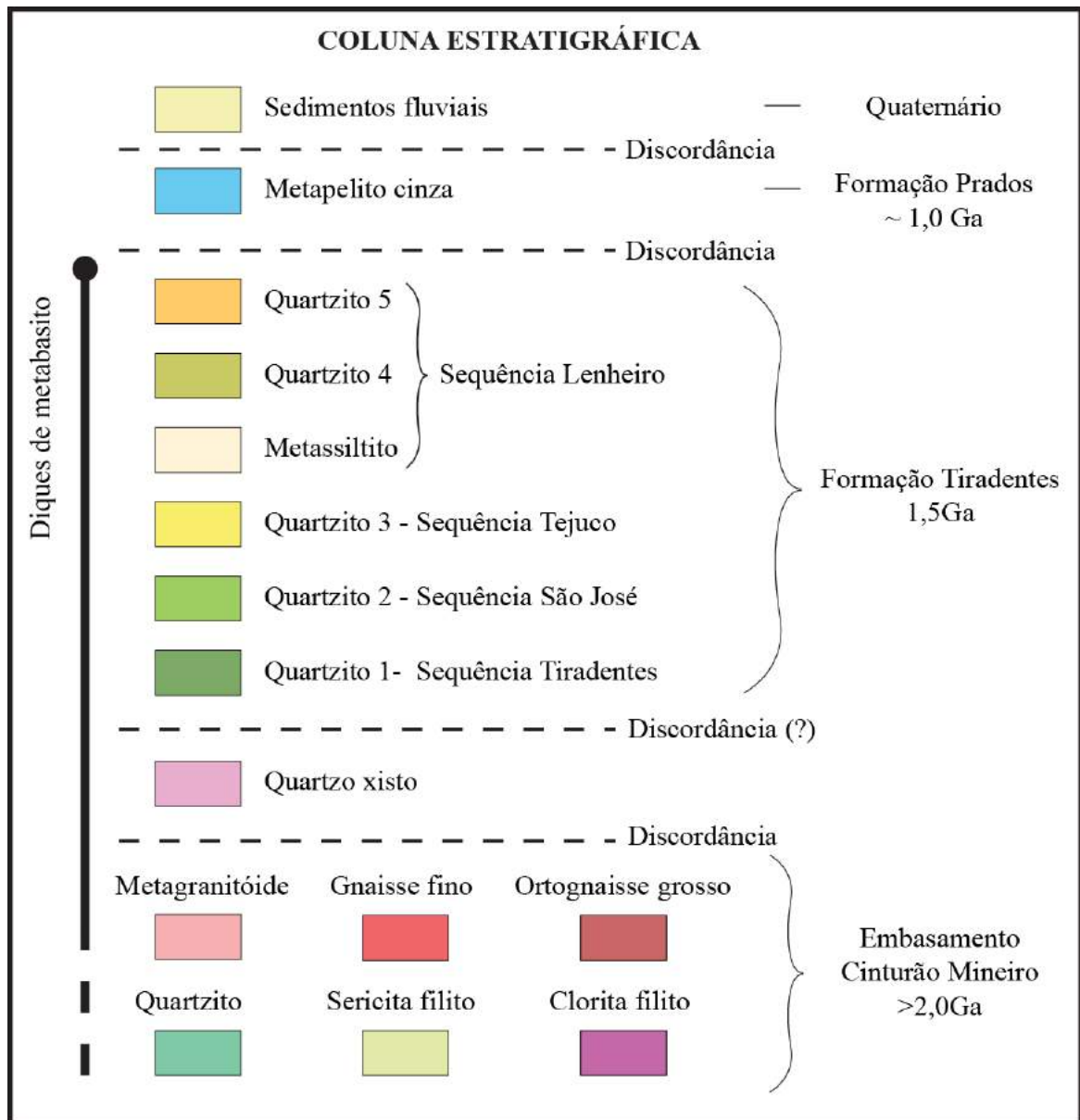


Figura 17. Coluna estratigráfica da área de estudo.

3.1 Embasamento

As unidades do embasamento formam faixas NE-SW (Anexo 1) e o substrato de uma paisagem colinosa suave com cristas alongadas segundo o traço da foliação principal NE-SW. Em geral, as rochas estão intemperizadas, porém, os gnaisses aparecem frescos em lajedos.

Ocorrem clorita filito, sericita filito, quartzito, gnaiss fino, ortognaiss grosso e metagranitóide. Os filitos e o quartzito fazem parte de uma sucessão na qual Valeriano (1985) inclui também gondito, quartzito ferruginoso, clorita xisto, talco-tremolita-xisto e mármore. O gnaiss fino bandado corresponde ao Gnaiss bandeado de granulação fina de Valeriano (1985). O ortognaiss grosso faz parte do Metagranitóide Fé (Ávila, 2000) com idade de 2191 ± 9 Ma (Teixeira et al., 2008). O metagranitóide corresponde ao Granodiorito Brumado de Baixo de Ávila et al. (2007), um corpo que forneceu idade de 2218 ± 4 Ma (Ávila et al., 2010).

3.1.1 Clorita filito

É uma rocha esverdeada contendo clorita e proporções acessórias de quartzo e magnetita (< 1 mm). Localmente a magnetita pode ser abundante, alcançando cerca de 10%. Ocorre em afloramentos rasteiros esverdeados (Fig. 18) ou alterados com cores avermelhadas ou roxas.



Figura 18. Clorita filito e veios de quartzo paralelos a foliação subvertical exposto a norte da Falha do Lenheiro (GPS: 0575040/7665139).

3.1.2 Sericita filito

O sericita filito ocorre em pequenos afloramentos rasteiros ou forma cristas alinhadas no rumo NE-SW (Fig. 19). É composto por sericita e quartzo, com magnetita e outros minerais escuros (turmalina, minerais opacos?) acessórios.



Figura 19. Sericita filito formando cristas ao longo do morro logo a norte da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0573185 / 7664350).

3.1.3 Quartzito

Esta unidade ocorre ao longo da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro em lentes com no máximo trinta metros de espessura intercaladas no clorita filito. É constituída por quartzito fino a médio (1-3mm) rico em mica esverdeada e quantidades acessórias de minerais escuros (turmalina, opacos). Ocorrem frequentes intercalações de lâminas micáceas e com clorita e gradação para sericita filito e clorita-filito.

3.1.4 Metagranitóide

Trata-se uma rocha maciça com foliação pouco desenvolvida e textura equigranular média, com K-feldspato, quartzo, biotita e quantidades acessórias de epidoto e magnetita. A unidade faz parte do Granodiorito Brumado de Baixo, definido por Ávila et al., 2007.

3.1.5 Ortognaisse grosso

O ortognaisse grosso (Fig. 20) forma um corpo de rumo NE-SW com dezenas de quilômetros de comprimento (Anexo 1) que é o Ortognaisse Fé. Na área estudada predomina uma rocha equigranular grossa (5-30mm) com quartzo, microclina, plagioclásio e biotita. Localmente ocorrem fenocristais de microclina e/ou plagioclásio. Epidoto e outros minerais acessórios -mica branca, allanita, clorita, zircão, carbonato, hornblenda verde, fluorita, apatita e minerais opacos, foram descritos por Ávila (2000) e Teixeira et al. (2008).



Figura 20. Lajedo do Ortognaisse grosso com diques de pegmatito (faixas brancas) em pedreira desativada na parte norte da área (0580207 / 7670147).

3.1.6 Gnaiss fino

Ocorre no sudoeste da área e encaixado no sericita filito e no clorita filito. É um gnaiss fino, maciço ou com bandamento definido por leitos tabulares delgados cinzentos, compostos por variável proporção de quartzo, feldspatos e biotita. Corresponde ao “Gnaiss bandeado de granulação fina” descrito por Valeriano (1985).

3.1.7 Pegmatitos

Corpos de pegmatitos contendo quartzo e K-feldspato e menor proporção de muscovita grossa ocorrem encaixados no Ortognaiss grosso e no Gnaiss fino.

3.2 Quartzo xisto

Trata-se de xisto com muscovita e quartzo em afloramentos semi-frescos e saprólitos no extremo sul da área. O xisto é coberto em aparente concordância pela Formação Tiradentes e cobre, em discordância angular o clorita filito e o metagranitóide Brumado de Baixo.

3.3 Formações Tiradentes e Prados

3.3.1 Formação Tiradentes

A Formação Tiradentes está representada por seis unidades, sendo feita abaixo uma breve descrição de sua ocorrência na área de estudo.

3.3.1.1 Quartzito 1 – Sequência Tiradentes

O quartzito 1 forma cristas e escarpas na parte sudoeste da área (Anexo 1). É uma sucessão com aproximadamente 100 metros de espessura medidos nas seções geológicas. Foram observados quartzitos em camadas delgadas a espessas aparentemente maciças, em camadas delgadas com marcas de onda ou laminação plano-paralela e em camadas médias a espessas com estratificação cruzada acanalada e planar. Corpos de metaconglomerado quartzítico e quartzito seixoso ocorrem localmente na base da sucessão.

3.3.1.2 Quartzito 2 – Sequência São José

O quartzito 2 é uma sucessão também com cerca 100 metros de espessura, que forma escarpas e lajedos. Predominam camadas espessas (30-100cm) e muito espessas (1-2m) de quartzitos maciços (?) o que permite distinguir a unidade dos quartzitos 1 e 3.

3.3.1.3 Quartzito 3 – Sequência Tejuco

Com cerca de 100 metros de espessura, é formada por quartzitos em camadas delgadas com estratificação cruzada e, em muitos locais com intercalações de metapelitos (Fig. 21).

3.3.1.4 Metassiltito – Sequência Lenheiro

Trata-se de uma sucessão com aproximadamente 20m de espessura. A sucessão é formada por camadas tabulares delgadas de metassiltitos brancos a acinzentados (Fig. 22). Predominam camadas maciças, localmente ocorrem camadas com microlaminação cruzada. Em alguns afloramentos foram encontradas manchas de redução e pirita limonitizada.

3.3.1.5 Quartzito 4 – Sequência Lenheiro

Com cerca de 120m de espessura, é formado por quartzitos finos, friáveis, em camadas delgadas a espessas, maciças ou com estratificação cruzada (Fig. 23).

3.3.1.6 Quartzito 5 – Sequência Lenheiro

Forma uma sucessão com cerca de 150 metros de espessura constituída por quartzito grosso, muitas vezes seixoso e metaconglomerados finos quartzíticos. Estas rochas aparecem em camadas de 30 a 50cm espessura maciças, com laminação plano-paralela ou com estratificação cruzada acanalada (Fig. 24).

3.3.2. Metapelito – Formação Prados

Trata-se de metargilito cinzento em lamínas e camadas delgadas formando sucessões de espessuras mínimas métricas (Fig. 25). Localmente ocorre metassiltito com microlaminação cruzada. Em alguns afloramentos ocorre pirita limonitizada de até 2cm de comprimento.



Figura 21. Estratificação cruzada acanalada no quartzito 3, flanco norte da Serra do Lenheiro (0573408 / 7663673).



Figura 22. Camadas delgadas de metassiltito mergulhando para nordeste na parte sul da área (0574097 / 7663217)



Figura 23. Quartzito fino da Sequência Lenheiro mergulhando para NE na Serra do Lenheiro. (0574001 / 7663665).



Figura 24. Metaconglomerado e quartzito na Serra do Lenheiro (0574148 / 7664373).



Figura 25. Metapelite cinza mergulhando para SE na Serra do Lenheiro (0575598 / 7665060).

3.4. Diques de metabasito

Na área ocorrem diques de metabasitos maciços, esverdeados, que gradam a filito esverdeados. Porém, na maioria dos afloramentos as rochas estão muito alteradas com diversas cores (vermelha, laranja, amarela). Estas rochas formam diques subverticais com rumo NE-SW, encaixados nas rochas do embasamento e na Formação Tiradentes, dois deles mapeáveis (Anexo 1).

3.5. Veios de quartzo

Veios de quartzo com espessuras milimétricas a decimétricas e comprimentos até métricos ocorrem encaixados nas rochas do embasamento e formações Tiradentes e Prados. No embasamento a maioria dos veios observados são subverticais concordantes com a foliação principal. Nas formações Tiradentes e Prados predominam veios com direção NNW-SSE e alto mergulho para NE ou SW. Veios subverticais NE-SW ocorrem associados aos diques de metabasito. Ao longo da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro ocorrem muitos veios de quartzo, alguns alcançando espessuras cerca de 4 metros de largura e 10 de comprimento.

3.6 - Geologia Estrutural

A principal estrutura da área é a Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro. A Falha do Lenheiro é uma falha normal de rumo NE-SW e mergulho íngreme para SE, que soergueu o embasamento Paleoproterozóico (bloco norte, Cinturão Mineiro) e rebaixou as unidades a sul, (bloco sul, embasamento e formações Tiradentes e Prados). Assim, ao longo da falha as unidades do embasamento e das formações Tiradentes e Prados ocorrem em contato lateral, subvertical. Durante a orogênese brasileira a falha foi reativada em condições metamórficas, dando origem a uma zona de cisalhamento direcional dextral reversa. A estrutura é considerada então uma falha normal reativada como zona de cisalhamento. Por tal razão neste trabalho é denominada de Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro. Para entender a estrutura é necessário entender a geologia estrutural da área como um todo.

3.6.1. Estruturas nas rochas do embasamento

Nas rochas do embasamento predomina uma foliação de rumo NE-SW e mergulhos íngremes para SE (Fig. 26). Esta foliação é uma clivagem filítica ou xistosidade fina nos filitos e quartzito, uma xistosidade reta no gnaisse fino e irregular ou anastomosada entre cristais de feldspatos e, às vezes, mal definida no ortognaisse e no metagranitóide. Localmente, nos filitos e quartzito foi observado que a foliação principal é uma clivagem de crenulação muito apertada. Também localmente, no gnaisse fino bandado foi observado uma foliação plano axial de dobras isoclinais, paralela à foliação principal (Fig. 27). Portanto, é provável que a foliação principal nas rochas do embasamento registre, pelo menos, uma segunda fase de deformação regional. A foliação nos filitos seria uma clivagem de crenulação transposta e no gnaisse fino bandado uma xistosidade relacionada, pelo menos, a uma segunda fase de deformação. As raras crenulações e dobras da suposta segunda fase tem plano axial paralelo a foliação principal (média 144/56, Fig. 26) e eixos íngremes ($> 50^\circ$) para SW ou SE (Fig. 27).

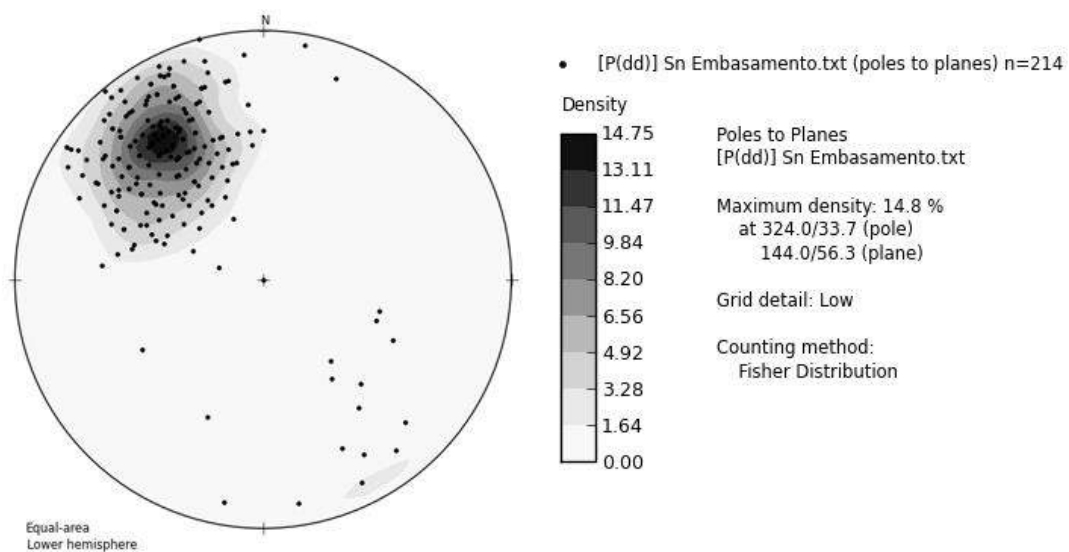


Figura 26. Estereograma de igual área mostrando polos de foliação principal nas rochas do embasamento, tanto filitos como gnaisses.

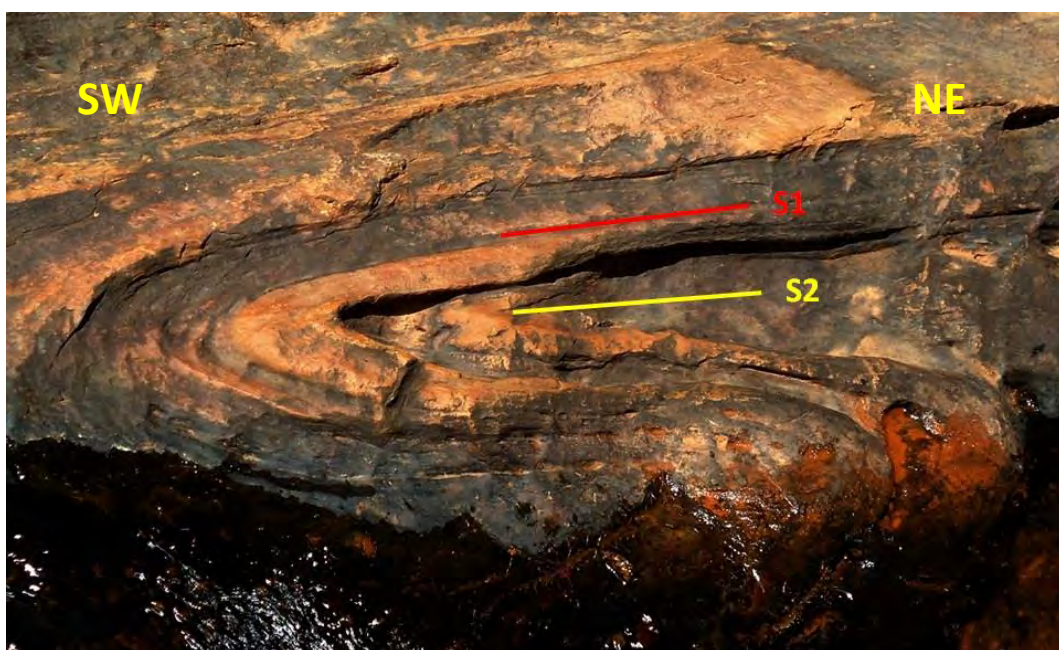


Figura 27. Camadas delgadas de gnaissse fino bandado definindo dobras isoclinais com plano axial de alto mergulho para SE paralelo a foliação principal no embasamento. S1-linha vermelha foliação antiga paralela as camadas; S2- linha amarela foliação plano axial nova. Canto sudoeste da área (0570405 / 7664392).

3.6.2. Estruturas nas rochas das formações Tiradentes e Prados.

Nas rochas das formações Tiradentes e Prados o acamamento sedimentar mergulha cerca de 20° para NE na parte sul da área (Anexo 1 e 2), passando a norte para mergulhos íngremes para NW e SE (Fig. 28). A atitude das camadas define assim anticlinais e sinclinais (Fig. 29 e anexo 2) com clivagem plano axial íngreme (Fig. 30) para SE e com lineação de interseção acamamento x clivagem paralela a eixos de baixo caimento (10°) para NE (Fig. 31). Estas dobras são parasíticas do Anticlinal do Lenheiro e do Sinclinal de Águas Santas (Fig. 5). No entanto flancos de dobras ficam mais inclinados devido ao arraste nas imediações da Zona de Cisalhamento do Lenheiro (Fig. 20). A vergência para NW e a clivagem plano axial para SE sugerem um encurtamento NW-SE que pode ser relacionado a evolução da Faixa Ribeira.



Figura 28. Flanco íngreme de dobra aberta parasítica do Anticlinal do Lenheiro em quartzito da Formação Tiradentes nas imediações da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0574524 / 7664602).

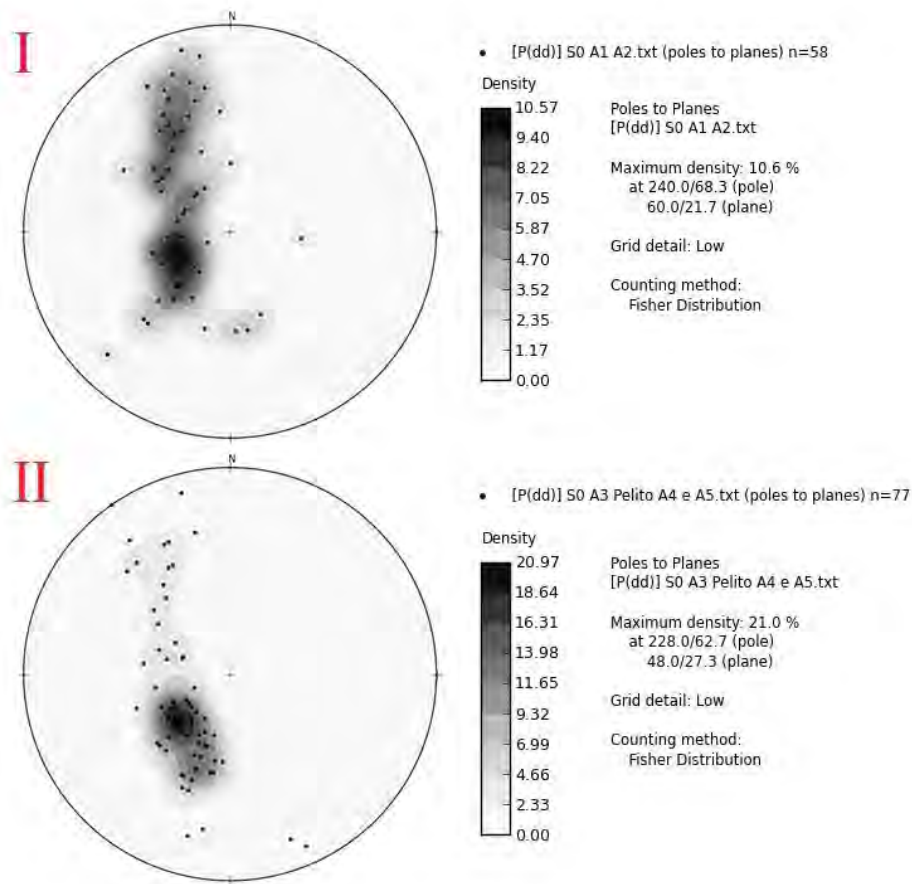


Figura 29. Estereogramas de igual área mostrando a atitude do acamamento sedimentar em dobras abertas no flanco norte do Anticlinal do Lenheiro (I medidas realizadas em unidades abaixo da unidade metassiltito e II, acima desta unidade, Anexo 1).

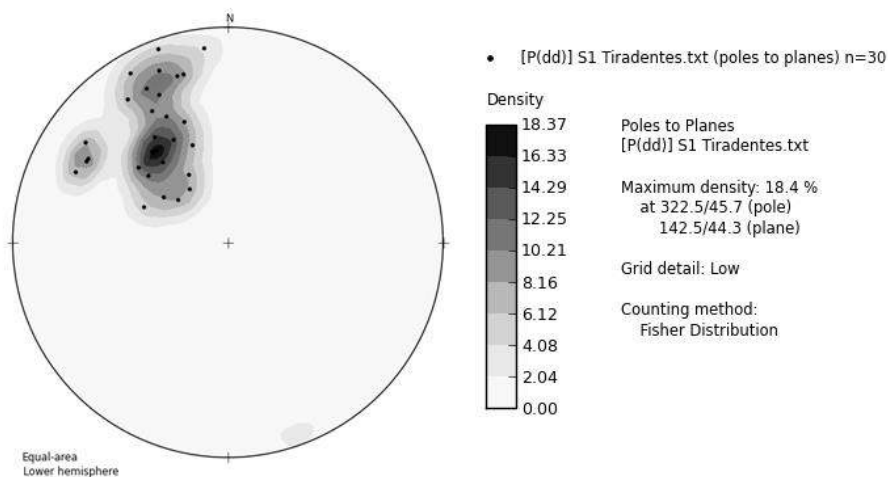


Figura 30: Estereograma de igual área mostrando o padrão de mergulho para SE da clivagem plano axial nas formações Tiradentes e Prados. Foram feitas 30 medidas – S1 médio 142/45.

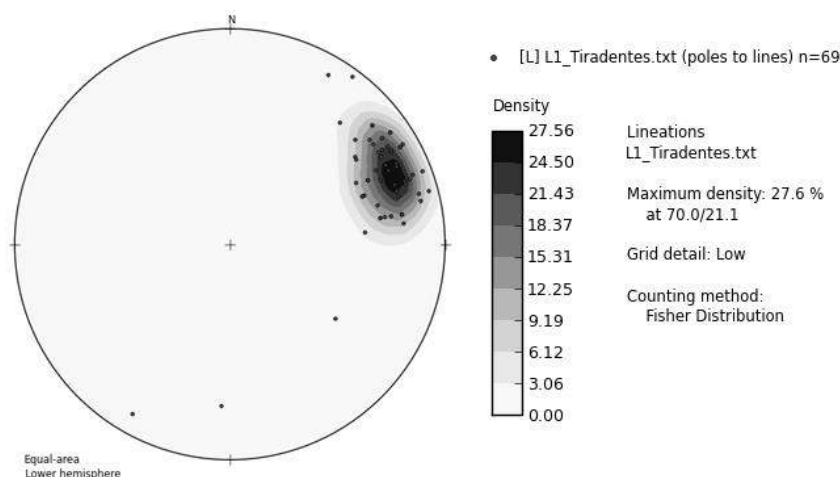


Figura 31: Estereograma de igual área mostrando o padrão de caimento para NE da lineação de interseção nas formações Tiradentes e Prados.

3.6.3. Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro

A Zona de Cisalhamento do Lenheiro é uma estrutura de direção NE-SW que mergulha íngreme ($>70^\circ$) para SE. Separa em contato lateral subvertical o embasamento das formações Tiradentes e Prados. Trunca o contato entre embasamento e Formação Tiradentes, trunca os contatos internos entre as unidades desta formação e o contato entre as formações Tiradentes e Prados. Trunca também sinclinais e anticlinais parasíticos no flanco norte do Anticlinal do Lenheiro (Anexos 1 e 2). O arraste na zona de cisalhamento modificou a atitude original dos flancos das dobras parasíticas, que ficaram mais inclinados e até invertidos, com alto mergulho para SE paralelo a própria zona de cisalhamento. Ao longo da estrutura ocorre foliação milonítica íngreme para SE e lineação de estiramento subhorizontal com caimento suave ($<10^\circ$) para NE (Fig. 32). Estas feições indicam movimento oblíquo com componente principal direcional. Veios de quartzo assimétricos e estruturas tipo S-C com topo para leste (Fig. 33) registram movimento dextral.

Os dados de campo permitem considerar a estrutura como uma zona de cisalhamento direcional dextral reversa. Entretanto, este movimento dextral reverso, com lineação de baixo ângulo, não é compatível com o rejeito vertical de mais de 500 metros (cf. Anexo 2) que abateu o bloco sul e soergueu a bloco norte a da estrutura colocando as formações Tiradentes e Prados lado a lado com unidades do embasamento. Logo, a Zona de Cisalhamento do Lenheiro é produto da reativação de uma falha normal regional, a Falha do Lenheiro (Fig. 34). A reativação se deu de maneira tardi-tectônica em relação a deformação brasileira que gerou o dobramento e clivagem nas formações Tiradentes e Prados.



Figura 32. Lineação de estiramento sub-horizontal com caimento suave para NE, em quartzito na Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0571529 / 7663634).



Figura 33. Indicador cinemático do tipo S-C em quartzito na Zona de Cisalhamento do Lenheiro (0571531 / 7663669).



Figura 34. Traço da Falha-Zona de Cisalhamento do Lenheiro (amarelo tracejado) com embasamento a norte e quartzito da Formação Tiradentes a sul. A interpretação dos movimentos normal em amarelo e direcional destal reverso em vermelho. Vista para SW do ponto 0574047 / 7664659.

5. Conclusões

Nos trabalhos de campo foram reconhecidas 16 unidades mapeáveis na escala 1:6.250. Uma discordância separa filitos e gnaisses paleoproterozóicos do Cinturão Mineiro (embasamento) de sequências quartzíticas mesoproterozóicas da Formação Tiradentes e metapelitos neoproterozóicos (?) da Formação Prados. Diques de metabasito cortam estas unidades, exceto a Formação Prados. As rochas do embasamento ocorrem em faixas subverticais NE-SW com foliação de mesmo rumo NE-SW e mergulhos íngremes para SE. Esta foliação é uma clivagem de crenulação transposta nos filitos e xistosidade nos gnaisses. Concordante com a Formação Tiradentes, ocorre uma unidade composta por quartzo xisto. A Formação Tiradentes é representada por cinco sucessões de quartzitos e uma de metapelito branco, a Formação Prados por metapelitos cinzentos. As rochas destas formações definem dobras assimétricas abertas com clivagem plano axial mergulhando ca. 45° SE e eixo com caimento de ca. 10° para NE. Estas dobras ocorrem no flanco norte de uma estrutura regional, o Anticlinal do Lenheiro. Uma estrutura regional, a Zona de Cisalhamento do Lenheiro, trunca as dobras, contatos litológicos internos nas formações Tiradentes e Prados, e a discordância com o embasamento. Foliação milonítica mergulhando para SE com lineação de estiramento de caimento suave (< 10°) para NE, planos S-C com topo para E e veios de quartzo assimétricos registram movimento direcional dextral reverso, em condições metamórficas. Este movimento dextral reverso, com lineação de baixo ângulo associada, não é compatível com o rejeito vertical mínimo de mais de 500 metros que abateu o bloco sul e soergueu o embasamento a norte da estrutura, colocando as formações Tiradentes e Prados lado a lado com este embasamento. Este rejeito vertical deve ser relacionado a uma falha normal que soergueu o embasamento e abateu as sucessões metassedimentares, hoje a sul da falha. Logo, a Zona de Cisalhamento do Lenheiro é produto da reativação de uma falha normal regional, a Falha do Lenheiro. A reativação foi tardi-tectônica em relação de deformação brasileira que gerou dobras e clivagem nas formações Tiradentes e Prados. Dobras com planos axiais para SE, vergência para NW, geometria e cinemática da zona de cisalhamento sugerem que estas estruturas foram geradas durante uma compressão NW-SE que pode ser relacionada aos campos de tensão da Faixa Ribeira.

6. Referências Bibliográficas

- ANDREIS, R.R.; PACIULLO, F.V.P. & RIBEIRO, A. (1989b) Caracterização preliminar de Ciclos Depositionais Proterozóicos do Sudeste de Minas Gerais (Folhas Barbacena e Divinópolis, 1:250.000), Simpósio de Geologia do Sudeste 1, Boletim de Resumos: 101-102. Rio de Janeiro, RJ.
- ANDREIS, R.R.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. (1989a) Ciclos deposicionais no Proterozóico das Folhas Barbacena e Divinópolis (setor sul), 1:250.000. Simpósio de Geologia do Sudeste 1, Boletim de Resumos: 97-98, Rio de Janeiro, RJ.
- ÁVILA, C.A., 2000. Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João Del Rei, Minas Gerais. PhD Thesis, DG-UFRJ, Rio de Janeiro, 401 p.
- ÁVILA, C.A., BARRUETO, H.R., VALENÇA, J.G., RIBEIRO, A., PEREIRA, R.M., 2007. Petrografia e evolução magmática da Suíte Serrinha, porção meridional do Cráton São Francisco, Estado de Minas Gerais, Brasil. Arquivos do Museu Nacional 65, 59– 81.
- ÁVILA, C.A., CHERMAN, A.F., VALENÇA, J.G., 2008. Dioritos Brumado e Rio Grande: geologia e relação com o metamorfismo paleoproterozóico do Cinturão Mineiro, borda meridional do Craton São Francisco, Minas Gerais. Arquivos do Museu Nacional 67, 248–277.
- ÁVILA, C.A., TEIXEIRA, W., CORDANI, U.G., MOURA, C.A.V., 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, Mineirobelt. J. S. Am. Earth Sci. 29, 464–482.
- EBERT, H. (1957a) Aspectos principais da geologia de São João del Rei, Estado de Minas Gerais. Relatório inédito da PROSPEC, 120p. Publicado "in memoriam" pela SBG, Núcleo São Paulo. Publicação 12/1984: 1-71.
- EBERT, H. (1957b) Beitrag sur Gliederung des Prakambriums in Minas Gerais. Geol. Rundschau, 45: 471-521.
- FOSSON, H. Geologia Estrutural/Haakon Fossen; tradução Fábio R. D. de Andrade - São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

- KARFUNKEL, J.; NOCE, C.M. & HOPE, A. (1983) A Formação Carandaí no centro-sul de Minas Gerais: gênese, ambiente de deposição e correlações. Anais do Simpósio de Geologia de Minas Gerais 2, Boletim 3: 30-37. Belo Horizonte, MG.
- LEONARDOS, O.H. (1940) Tilito Metamórfico de Carandaí, Minas Gerais. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.12 (4): 243-259. Rio de Janeiro, DF.
- RIBEIRO, A., 1997. Estratigrafia e paleoambientes nas sucessões metassedimentares proterozoicas das serras do Lenheiro e São José, São João del Rei, Sul de Minas Gerais. Unpublished Doctor Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (167 pp.).
- RIBEIRO, A., ÁVILA, C.A., VALENÇA, J.G., PACIULLO, F.V.P., TROUW, R.A.J., 2003A. Geologia da Folha São João del Rei 1:100.000. In: Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Trouw, R., Heilbron, M. (Eds.), Projeto Sul de Minas, Etapa I: Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro. Companhia Mineradora de Minas Gerais, pp. 521–622.
- RIBEIRO, A., W. TEIXEIRA, I.A. DUSSIN, C.A. ÁVILA, D. NASCIMENTO, 2013. U–Pb LA-ICP-MS detrital zircon ages of the São João del Rei and Carandaí basins: New evidence of intermittent Proterozoic rifting in the São Francisco paleocontinent. *Gondwana Research* 24 (2013) 713–726
- SOUZA, J.F.G, RIBEIRO, A., MEDEIROS S.R. Fonte do ouro nas sucessões proterozóicas adjacentes a Falha do Lenheiro, São João del Rei, Minas Gerais. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre - RS. Anais. São Paulo - SP: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.
- TEIXEIRA, W., ÁVILA, C.A., CORDANI, U.G., MARTINS, V.T.S., VALENÇA, J.G., 2005. Dados isotópicos (U/Pb, Pb/Pb, Sm/Nd, Rb/Sr) do plutonismo paleoproterozóico do Cinturão Mineiro, porção meridional do Cráton São Francisco: implicações tectônicas. In: III Simpósio do Cráton do São Francisco, Salvador, vol. 1, pp. 174– 177.
- TEIXEIRA, W., ÁVILA, C.A., NUNES, L.C., 2008. Nd–Sr isotopic geochemistry and U–Pb geochronology of the Fé granitic gneiss and Lajedo granodiorite: implications for Paleoproterozoic evolution of the Mineiro belt, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geologia USP, Série Científica*, 8, pp. 53–74.

- TEIXEIRA, W., SABATÈ, P., BARBOSA, J., NOCE, C.M., CARNEIRO, M.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress., pp. 101–137.
- TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; NUTMAN, A.P. & SATO, K., 1998. Poliphase archean evolution in the Campo Belo Metamorphic Complex, southern São Francisco Cráton, Brazil: shrimp and U-Pb zircon evidence. *Journal of South American Earth Science*, Oxford, 11(3):279-289.
- TEIXEIRA W., ÁVILA C. A., DUSSIN I. A., CORRÊA NETO A. V., BONGIOLO E. M., SANTOS J.O, BARBOSA N. S., 2015. A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U–Pb–Hf and geochemical evidences. *Precambrian Research* 256 (2015) 148–169.
- TROUW R.A.J., PETERNEL R., RIBEIRO A., HEILBRON M., VINAGRE R., DUFFLES P., TROUW C. C., FONTAINHA M., KUSSAMA H.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* 48 (2013) 43e57
- VALERIANO, C.M. (1985) *Geologia estrutural e estratigrafia do Grupo São João del Rei*. Dissertação de mestrado, 83 p., inédito, IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- VALERIANO, C.M. (1986) *Geologia estrutural e estratigrafia do Grupo São João del Rei, na região de São João del Rei, MG*. Congresso Brasileiro de Geologia 34, v.2: 999-1014. Goiânia, GO.

MAPA GEOLÓGICO DA ZONA DE CISALHAMENTO DO LENHEIRO E ADJACÊNCIAS SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS

Monografia de graduação - anexo 1
Douglas Renato Lima da Silva
Departamento de Geologia - UFRJ
Janeiro de 2017

UNIDADES DE MAPEAMENTO

Sedimentos fluviais – cascalho, areia e lama. — Discordância

FORMAÇÃO PRADOS (1,0 Ga?)

Metapelite cinza – Ocorre em lamina e camadas delgadas formando sucessões de espessuras métricas. — Discordância

FORMAÇÃO TIRADENTES (1,5 Ga)

Quartzito 5 – quartzito grosso seixoso e metaconglomerado fino, em camadas de 30 a 50cm espessura maciças, com laminação plano-paralela ou estratificação cruzada acanalada.

Quartzito 4 – quartzito fino friável em camadas delgadas a espessas, maciças ou com estratificação cruzada.

Metassilito – metassilito branco a cinza em camadas tabulares delgadas maciças, localmente com microlaminação cruzada.

Quartzito 3 – quartzito em camadas delgadas com estratificação cruzada, localmente intercalações de metapelitos.

Quartzito 2 – quartzito em camadas espessas (30-100cm) e muito espessas (1-2m) de quartzitos maciços (?).

Quartzito 1 – quartzito em camadas delgadas com marcas de onda ou laminação plano-paralela e em camadas médias a espessas com estratificação cruzada acanalada e planar. Corpos de metaconglomerado quartzítico e quartzito seixoso ocorrem localmente na base da sucessão. — Discordância ?

Quartzito xisto – xisto com muscovita e quartzo em afloramentos semi-frescos e saprólitos. — Discordância

EMBASAMENTO (CINTURÃO MINEIRO, > 2,0 Ga)

Gnaiss fino – rocha maciça ou com bandamento tabular delgado cinzento definido por variável proporção de quartzo, feldspato e biotita.

Ortognaisse grosso – rocha equigranular grossa (5-30mm) com quartzo, microclina, plagioclásio e biotita. Localmente ocorrem fenocristais de microclina e/ou plagioclásio.

Metagranitóide – rocha maciça equigranular média, com k-feldspato, quartzo e biotita, com foliação pouco desenvolvida.

Sericita filito – rocha fílitica composta por sericita e quartzo, localmente com magnetita.

Quartzito – quartzito rico em mica esverdeada e intercalação de sericita e clorita filito.

Clorita filito – rocha esverdeada contida de clorita e em menor proporção magnetita.

SIMBOLOGIA

Falha Normal

Movimentação dextral

Contato litológico

Contato litológico inferido

Anticlinal

Sinclinal

Acamamento Sedimentar

Foliação metamórfica

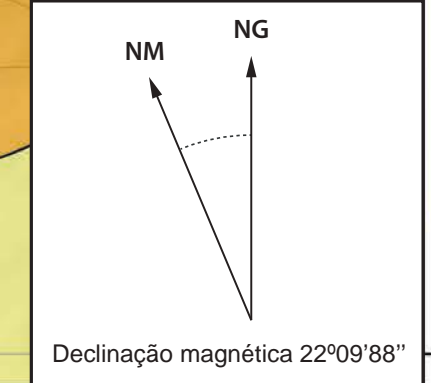
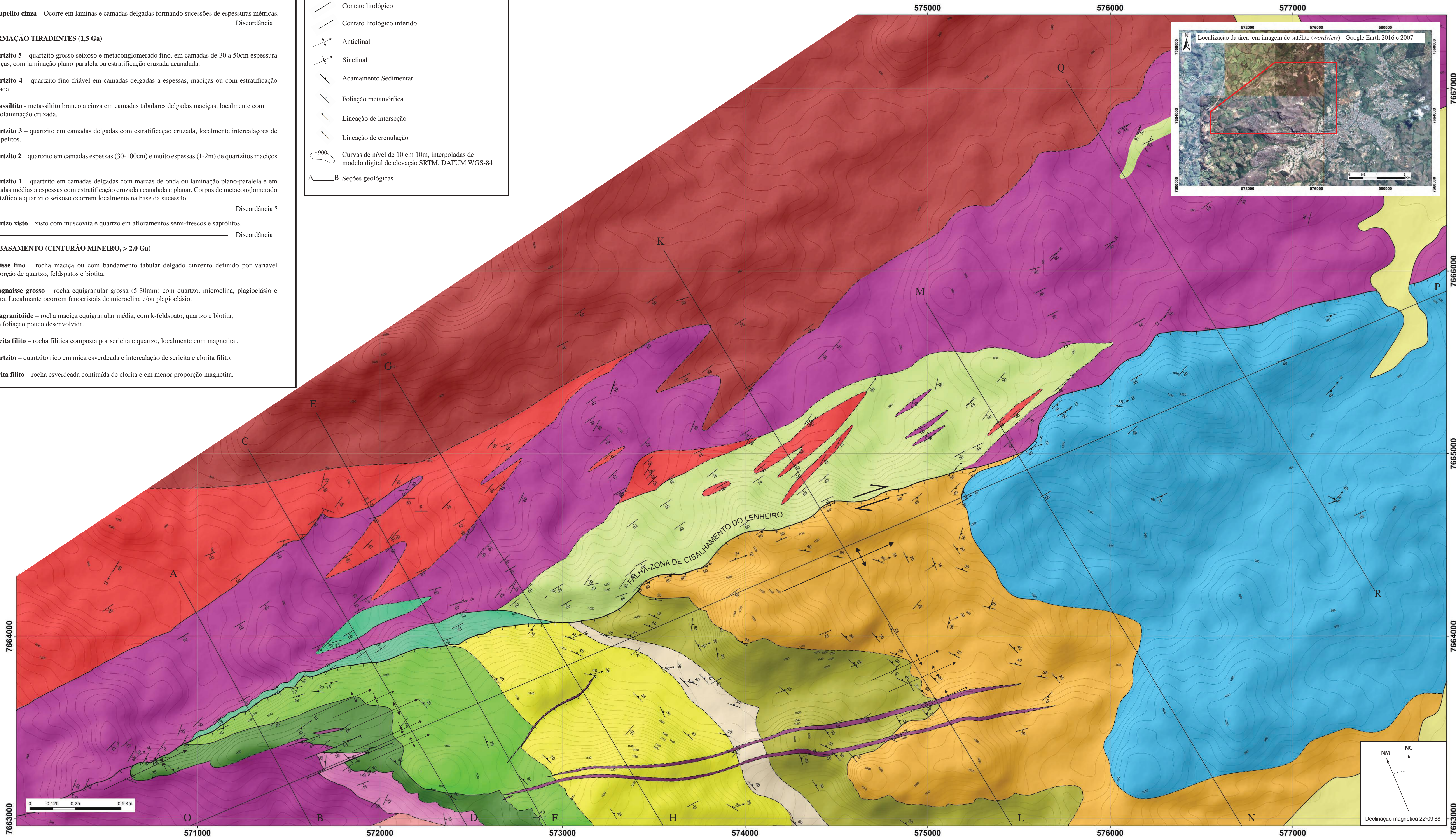
Lineação de interseção

Lineação de crenulação

900 Curvas de nível de 10m, interpoladas de modelo digital de elevação SRTM. DATUM WGS-84

A—B Seções geológicas

Diques de metabasito – rochas maciças ou fíliticas esverdeadas.



SEÇÕES GEOLÓGICAS NA ZONA DE CISALHAMENTO DO LENHEIRO E ADJACÊNCIAS

SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS

Monografia de graduação - anexo 2

Douglas Renato Lima da Silva

Departamento de Geologia - UFRJ

Janeiro de 2017

