



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Vinícius de Oliveira Monteiro Guimarães

**Mapeamento geológico-estrutural e análise de dados
aerogeofísicos aplicados à evolução estrutural dos Grupos Canastra e
Vazante na região de Vazante-MG**

Rio de Janeiro

2015

Vinícius de Oliveira Monteiro Guimarães

Mapeamento geológico-estrutural e análise de dados aerogeofísicos aplicados à evolução estrutural dos Grupos Canastra e Vazante na região de Vazante-MG

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio de Morisson Valeriano
Faculdade de Geologia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Adalene Moreira Silva
Instituto de Geociências – Universidade de Brasília

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

G963 Guimarães, Vinícius de Oliveira Monteiro.
Mapeamento geológico-estrutural e análise de dados aerogeofísicos aplicados à evolução estrutural dos Grupos Canastra e Vazante na região de Vazante-MG / Vinícius de Oliveira Monteiro Guimarães. – 2015.
136 f. : il.

Orientador: Cláudio de Morisson Valeriano.
Co-orientadora: Adalene Moreira Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia.

1. Mapeamento Geológico – Vazante (MG) – Teses. 2. Geologia estrutural – Vazante (MG) – Teses. 3. Fotografia aérea em Geologia – Teses. 4. Prospecção – Métodos geofísicos – Teses. I. Valeriano, Cláudio de Morisson. II. Silva, Adalene Moreira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. IV. Título.

CDU 551:528.067.4(815.1)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Vinícius de Oliveira Monteiro Guimarães

Mapeamento geológico-estrutural e análise de dados aerogeofísicos aplicados à evolução estrutural dos Grupos Canastra e Vazante na região de Vazante-MG

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Aprovada em Agosto de 2015.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Adalene Moreira Silva
Universidade de Brasília-UNB

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cláudio de Morisson Valeriano
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Alexis Rosa Nummer
Instituto de Agronomia-UFRuralRJ

Rio de Janeiro

2015

AGRADECIMENTOS

Nessa decisiva etapa de formação profissional e pessoal, gostaria de manifestar meus agradecimentos a meus familiares mais próximos, Márcio Monteiro Guimarães (pai), Valéria Santos de Oliveira (mãe) e em especial a minha namorada Renata Hiragra de Vasconcelos Cruz que sempre me incentivou.

Aos professores pesquisadores da região, em especial a Adalene Moreira Silva e demais que auxiliaram de boa vontade. Aos demais colegas de turma que apoiaram e encorajaram em diversos momentos.

À Votorantim Metais, pelo apoio logístico e financeiro que tornou esse trabalho possível. Aos geólogos Gustavo Oliveira Diniz, Basílio Botura Neto e Fernando Henrique Baia, agradeço toda a disposição em auxiliar durante a execução deste trabalho e as discussões enriquecedoras da área.

Um comentário direcionado aos demais funcionários, Juscelino Alves da Fonseca pelo suporte, ao geólogo Gustavo Catão pela companhia e principalmente ao Ueder e Sergio pela ajuda e postura em campo.

RESUMO

GUIMARÃES, Vinícius de Oliveira Monteiro. *Mapeamento geológico-estrutural e análise de dados aerogeofísicos aplicados à evolução estrutural dos Grupos Canastra e Vazante na região de Vazante-MG*. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

O objetivo desta dissertação de mestrado é compreender a evolução estrutural dos Grupos Vazante e Canastra, para atender esse propósito tem-se como ponto de partida o mapeamento geológico-estrutural na escala 1.50:000. Para a área em estudo, foram individualizados 4 unidades de mapeamento principais, levando-se em consideração critérios diagnósticos diferenciáveis em campo como: composição mineralógica, aspectos geomorfológicos, tipo de estruturas sedimentares, continuidade/geometria das unidades, controle topográfico e estrutural. Foram utilizados os produtos dos aerolevantamentos como ferramenta complementar para melhor definição do diagnóstico litoestrutural, destacando a continuidade/geometria das estruturas, suas possíveis relações com lineamentos magnéticos, zonas de falhas (mineralizadas ou não) e também como guia para o refinamento dos contatos geológicos. A compartimentação estrutural da área de estudo foi dividida em 4 fases principais de deformação (D1, D2, D3 e D4), relacionadas a um único evento orogênico, de idade brasileira. A definição dos eventos, fases, incrementos deformacionais exigiu repetitivas análises dos dados, distribuição espacial entre os mesmos e considerando-se as interpretações básicas das superposições entre as estruturas observadas em campo. A partir da hierarquização das estruturas mapeadas foi possível ter melhor compreensão da representatividade dos dados na escala de estudo e também abrangência das mesmas em um contexto regional. A utilização de microscopia teve importância crucial, pois auxiliou na melhor diferenciação das tramas texturais, compreensão acerca dos detalhes estruturais e subsidiou na definição dos critérios para hierarquização mais exata das fases de deformação que definiram o arcabouço estrutural. Contudo, as informações produzidas somaram para o melhor direcionamento de novos alvos de detalhamento, aprimoraram a elucidação das problemáticas estruturais abordadas bem como enfatizaram as vantagens da utilização de ferramentas aerogeofísicas na implementação das interpretações. A cartografia realizada refinou o acervo de dados acerca dos limites entre as unidades mapeadas bem como tornou possível à correlação das unidades de mapeamento com as unidades litoestratigráficas regionalmente consagradas pela literatura.

Palavras-Chave: Mapeamento. Geológico. Evolução. Estrutural. Aerogeofísica.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Vinícius de Oliveira Monteiro. *Geological and structural mapping and geophysical data analysis applied to the structural development of the Canastra and Vazante groups in Vazante -MG region*. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The purpose of this master thesis is to understand the structural evolution of Vazante and Canastra Groups, to serve this purpose has as a starting point the geological and structural mapping in scale 1:50:000. For the study area, were individualized 4 main mapping units, taking into account criteria differentiable diagnostics field as mineralogical composition, geomorphological aspects, kind of sedimentary structures, continuity / geometry of the units, topographical and structural control. The application of geophysical data for geological mapping has been systematically used to better understand the region in study. Thus, were used the products of aerial surveys as a complementary tool for better definition of litoestrutural diagnosis, highlighting the continuity / geometry of the structures , their possible relationships with magnetic lineaments, faults zones (mineralized or not) and also as a guide for the refinement of geological contacts. The structural subdivision of the study area was divided into four main phases of deformation (D1 , D2 , D3 and D4) , related to a single orogenic event of Brazilian age. The definition of events, stages, deformation increments required repetitive data analysis, spatial distribution between them and considering the basic interpretations of overlap between the structures observed in the field. From the hierarchy of the mapped structures it was possible to have better understanding of the data representation in the study of scale and scope thereof also in a regional context. The use of microscopy has crucial importance because it helped to better differentiation of textural arrangements, understanding of the structural details and subsidized in defining more accurate ranking of deformation phases that defined the structural compartments. However, the information produced totaled for better targeting of new targets of detail, improved the elucidation of structural problems addressed and emphasized the advantages of using airborne geophysical tools in the implementation of interpretations. The mapping performed refined the data collection about the limits between the mapped drives and made possible the correlation of the mapping units with the lithostratigraphic units regionally enshrined in literature.

KeyWords: Mapping. Geological. Evolution. Structural. Airbornegeophysics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo.....	14
Figura 2 –	Articulação das cartas topográficas 1:100.00 no estado de Minas Gerais.....	17
Figura 3 –	Principais vias de acesso.....	17
Figura 4 –	Mapa gerado após a fotointerpretação da área.....	21
Figura 5 –	Fluxogramas com as etapas do processamento executado.....	22
Figura 6 –	Uma das amostras orientadas usadas para a confecção das lâminas.....	23
Figura 7 –	Padrão Geomorfológico da área de estudo.....	26
Figura 8 –	Aspecto das drenagens formadas.....	27
Figura 9 –	Esboço tectônico da Faixa Brasília.....	28
Figura 10 –	Coluna estratigráfica do Grupo Canastra.....	32
Figura 11 –	Coluna estratigráfica do Grupo Vazante.....	36
Figura 12 –	Blocos diagramas esquemáticos.....	38
Figura 13 –	Imagem de satélite (<i>Spot</i>) com área de estudo destacada em vermelho.....	41
Figura 14 –	Fotografias ilustrando o aspecto das camadas pelíticas- Filito Carbonoso.....	43
Figura 15 –	Fotomicrografias.....	44
Figura 16 –	Aspecto homogêneo da ardósia.....	45
Figura 17 –	Fotomicrografias.....	46
Figura 18 –	Feições de dissolução apresentada pelos dolomitos.....	47
Figura 19 –	Fotomicrografias.....	48
Figura 20 –	Aspecto maciço da rocha.....	49
Figura 21 –	Fotomicrografias.....	49
Figura 22 –	Mapa de domínios Estruturais.....	52
Figura 23 –	Características das rochas.....	53
Figura 24 –	Aspecto da foliação S1//S0.....	54
Figura 25 –	Aspecto da foliação S2.....	55
Figura 26 –	Aspecto microscópico da foliação S2.....	55
Figura 27 –	Padrão de Lineação de interseção.....	56
Figura 28 –	Morfologia das dobras.....	57

Figura 29 – Aspecto dos veios.....	58
Figura 30 – Aspecto microscópico dos veios.....	58
Figura 31 – Aspecto da foliação S3.....	59
Figura 32 – Fotomicrografias com foliação S3.....	59
Figura 33 – Morfologia da lineação de crenulação.....	60
Figura 34 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	62
Figura 35 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	62
Figura 36 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	63
Figura 37 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	64
Figura 38 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	64
Figura 39 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	65
Figura 40 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	66
Figura 41 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	67
Figura 42 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	68
Figura 43 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	68
Figura 44 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	69
Figura 45 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	70
Figura 46 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	72
Figura 47 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	73
Figura 48 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	74
Figura 49 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	75
Figura 50 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	78
Figura 51 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	79
Figura 52 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	79
Figura 53 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	80
Figura 54 – Diagrama de Schmidt Lambert.....	81
Figura 55 – Mapa de amplitude do sinal analítico.....	87
Figura 56 – Mapa de primeira derivada vertical.....	89
Figura 57 – Mapa de derivada horizontal Dx.....	91
Figura 58 – Mapa de derivada vertical Dy.....	92
Figura 59 – Mapa de classes radiométricas.....	95
Figura 60 – Mapa do canal K.....	97
Figura 61 – Mapa de canal do U.....	99

Figura 62 – Mapa do canal do Th.....	100
Figura 63 – Mapa de composição ternária.....	102
Figura 64 – Mapa de domínios magnéticos.....	105
Figura 65 – Mapa de domínios magnéticos e geologia local.....	106
Figura 66 – Mapa de domínios gamaespectométricos.....	109
Figura 67 – Mapa de domínios gamaespectométricos e geologia local.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Evolução do Conhecimento Estrutural.....	40
Tabela 2 –	Caracterização das fases deformacionais.....	77
Tabela 3 –	Evolução Geotectônica.....	117

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	OBJETIVOS	16
1.1	Localização da Área	16
2	MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1	Materiais	18
2.1.1	<u>Dados Cartográficos</u>	18
2.1.2	<u>Dados Aerogeofísicos</u>	18
2.1.3	<u>Imagens de Satélite e Fotografias Aéreas</u>	19
2.1.4	<u>Lâminas Delgadas</u>	19
2.2	Métodos	19
2.2.1	<u>Trabalho Pré Campo</u>	20
2.2.1.1	Levantamento Bibliográfico.....	20
2.2.1.2	Fotointerpretação.....	20
2.2.1.3	Geração e Interpretação de Produtos de Aerogeofísica.....	21
2.2.2	<u>Trabalhos de Campo</u>	23
2.2.3	<u>Trabalhos Pós- Campo</u>	23
2.2.3.1	Estudos Petrográficos e Microtectônicos.....	23
2.2.3.2	Interpretação e Integração dos Dados.....	24
3	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	25
3.1	Pedologia	25
3.2	Geomorfologia	25
3.3	Hidrografia	26
3.4	Clima	27
4	GEOLOGIA DA REGIÃO DE VAZANTE	28
4.1	Grupo Canastra	29
4.1.1	<u>Formação Serra do Landim</u>	30
4.1.2	<u>Formação Paracatu</u>	31
4.1.3	<u>Formação Chapada dos Pilões</u>	31
4.2	Grupo Vazante	32
4.2.1	<u>Formação Retiro</u>	33

4.2.2	<u>Formação Rocinha</u>	33
4.2.3	<u>Formação Lagamar</u>	34
4.2.4	<u>Formação Serra do Garrote</u>	34
4.2.5	<u>Formação Serra do Poço Verde</u>	34
4.2.6	<u>Formação Morro do Calcário</u>	35
4.2.7	<u>Formação Serra da Lapa</u>	35
5	EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO ESTRUTURAL	37
5.1	Pinho (1990)	37
5.2	Freitas Silva e Dardenne (1992)	38
5.3	Rostirolla (2002)	38
5.4	Matumoto (2012)	39
6	LITOESTRATIGRAFIA DA ÁREA MAPEADA	41
6.1	Unidades de Mapeamento	41
6.1.1	<u>Filito Carbonoso com intercalações de Quartzito</u>	42
6.1.2	<u>Ardósia Vermelha Homogênea</u>	44
6.1.3	<u>Oodolomito Estromatolítico</u>	46
6.1.4	<u>Ardósia Carbonosa Preta Silicificada</u>	48
7	GEOLOGIA ESTRUTURAL	50
7.1	Arcabouço Estrutural	50
7.1.1	<u>Foliação S₁</u>	53
7.1.2	<u>Foliação S₂</u>	54
7.1.3	<u>Lineação de Interseção- L₂₋₁</u>	56
7.1.4	<u>Dobras- F₂</u>	56
7.1.5	<u>Veios</u>	57
7.1.6	<u>Foliação S₃</u>	58
7.1.7	<u>Lineação de Crenulação- L_c</u>	60
7.1.8	<u>Foliação S₄</u>	60
7.1.9	<u>Lineação de Crenulação</u>	60
7.2	Análises Geométricas nos Domínios Estruturais	61
7.2.1	<u>Domínio Canastra</u>	61
7.2.1.1	Subdomínio Norte.....	61
7.2.1.2	Subdomínio Oeste.....	63
7.2.2	<u>Domínio Vazante</u>	65

7.2.2.1	Subdomínio Serra do Garrote.....	66
7.2.2.2	Subdomínio Serra da Lapa.....	70
7.2.2.3	Subdomínio Morro do Calcário.....	73
7.3	Fases Deformationais	74
7.3.1	<u>Fase 1-D1</u>	75
7.3.2	<u>Fase 2-D2</u>	75
7.3.3	<u>Fase 3-D3</u>	75
7.3.4	<u>Fase 4 D4</u>	75
7.4	Evolução Tectono Estrutural	78
8	AEROGEOFÍSICA	82
8.1	Aeromagnetometria	83
8.1.1	<u>Tipos de Magnetismo</u>	84
8.1.1.1	Magnetismo Induzido.....	84
8.1.1.2	Magnetismo Remanescente.....	85
8.1.2	<u>Produtos Gerados</u>	85
8.1.2.1	Amplitude do Sinal Analítico- ASA.....	86
8.1.2.2	Derivada Vertical- DZ.....	88
8.1.2.3	Derivadas Horizontais DX e DY.....	90
8.2	Aerogamaespectrometria	93
8.2.1	<u>Produtos Gerados</u>	93
8.2.1.1	Classificação Supervisionada.....	94
8.2.1.2	Canal do K.....	96
8.2.1.3	Canais eU e eTh.....	98
8.2.1.4	Mapa Radiométrico Ternário- RGB (KThU).....	101
9	DOMÍNIOS LITOGEOFÍSICOS E UNIDADES DE MAPEAMENTO	103
9.1	Domínios Magnéticos	103
9.1.1	<u>Domínio I- Alto Magnético</u>	103
9.1.2	<u>Domínio II- Médio Alto Magnético</u>	104
9.1.3	<u>Domínio III- Médio Baixo Magnético</u>	104
9.1.4	<u>Domínio IV- Baixo Magnético</u>	104
9.2	Domínios Gamaespectrométricos	107
9.2.1	<u>Domínio I- Médio K, Médio U e Baixo Th</u>	107
9.2.2	<u>Domínio II- Médio K, Médio U e Baixo Th</u>	107

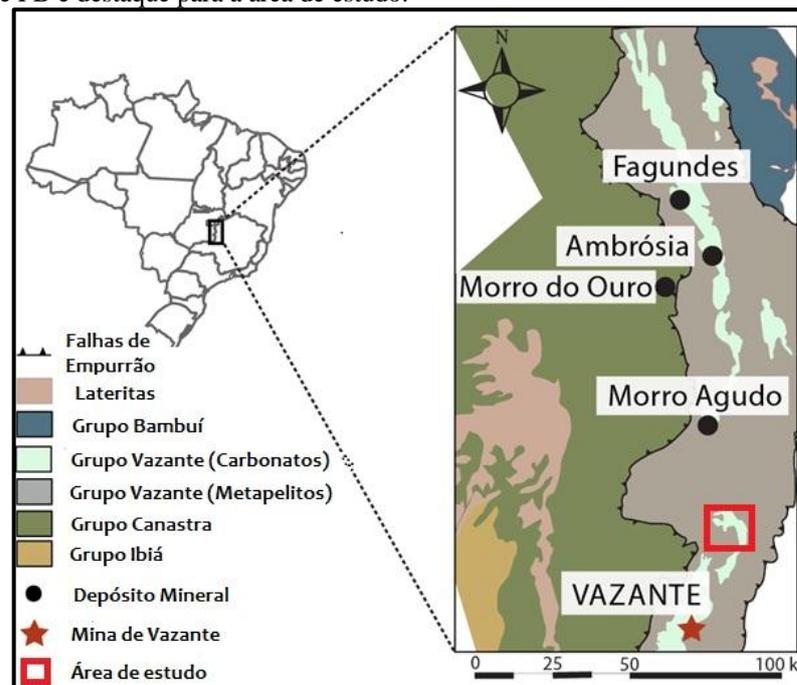
9.2.3	<u>Domínio III- Baixo K, Baixo U e Baixo Th.....</u>	108
9.2.4	<u>Domínio IV- Médio U, Médio Th e Alto K.....</u>	108
10	DISCUSSÕES.....	111
11	CONCLUSÕES.....	113
11.1	Correlação da Litoestratigrafia Local e Regional.....	114
11.2	Modelo Estrutural.....	115
11.3	Implicações de Aerogeofísica.....	118
	REFERÊNCIAS	119
	APÊNDICE A – Mapa de Pontos de Caminhamento.....	124
	APÊNDICE B – Mapa Geológico.....	126
	APÊNDICE C – Seções Geológicas.....	128
	APÊNDICE D – Mapa Estrutural.....	133

INTRODUÇÃO

Os Grupos Canastra e Vazante possuem uma história geológica complexa e tem sido estudada por diversos pesquisadores que produziram um grande volume de dados geológicos e adicionaram informações importantes para a compreensão do arcabouço geológico (Pinho, 1990; Freitas Silva & Dardenne 1992; Dardenne, 2000; Rostirolla *et al* 2002; Misi *et al* 2005; Monteiro *et al* 2006; Valeriano *et al* 2008; Rodrigues *et al.*2011 e Slezak *et al* 2014). Os avanços no entendimento da caracterização do arcabouço estrutural/geofísico são limitados pela carência de dados que adicionem informações de geologia de sub-superfície para correlação com a cartografia geológica.

A aplicação de dados aerogeofísicos para o mapeamento geológico vem sendo utilizada sistematicamente para o melhor entendimento da região em estudo (McGladrey, 2014). A ideia principal desta dissertação é investigar os problemas do arcabouço geológico de uma área com uma tectônica complexa, onde as ferramentas geológicas usuais não são suficientes. A região investigada neste trabalho compreende a porção sudeste de Minas Gerais e encontra-se adjacente a uma das mais importantes minas de zinco do mundo (Monteiro *et al* 2006), confirmando assim a importância do estudo (Figura 1).

Figura 1 – Limite das Unidades Estratigráficas na Faixa Paracatu Vazante, localização dos principais depósitos de Zn e PB e destaque para a área de estudo.



Fonte: adaptado de SLEZAK *et al*, 2014 in MCGLADREY, 2014.

O uso de métodos aerogeofísicos, tais como magnetometria e gamaespectrometria, fornecem subsídios na busca de parâmetros geofísicos que auxiliem a interpretação de zonas de fraturas/falhas e unidades geológicas. Os produtos derivados dos dados aerogeofísicos auxiliam na compreensão de feições estruturais regionais e locais, que favorecem o mapeamento de grandes estruturas e limites tectônicos, bem como variações laterais dentro das principais unidades (Reeves & Milligan, 1997; Lowe, 1999; Nabighian *et al.*, 2005)

O detalhamento geológico nas proximidades da cidade de Vazante-MG é essencial para o entendimento da distribuição espacial das unidades de mapeamento e o conhecimento acerca de controles tectono-estratigráficos na metalogênese. Sendo assim, para ter melhor acervo de dados que possibilitem definir limites mais precisos para o mapeamento, torna-se fundamental o uso da aerogeofísica como ferramenta auxiliar, sendo as implicações satisfatórias para o melhor arcabouço estrutural e litogeofísico.

1 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação de mestrado é compreender as evoluções estruturais dos Grupos Vazante e Canastra. Para atender esse propósito tem-se como ponto de partida o mapeamento geológico-estrutural na escala 1.50:000. A melhor caracterização do arcabouço geológico-geofísico da porção sul da Faixa Paracatu-Vazante é parte do escopo desse trabalho, viável através da utilização de técnicas de processamento, integração e interpretação de dados magnéticos/gamaespectrométrico.

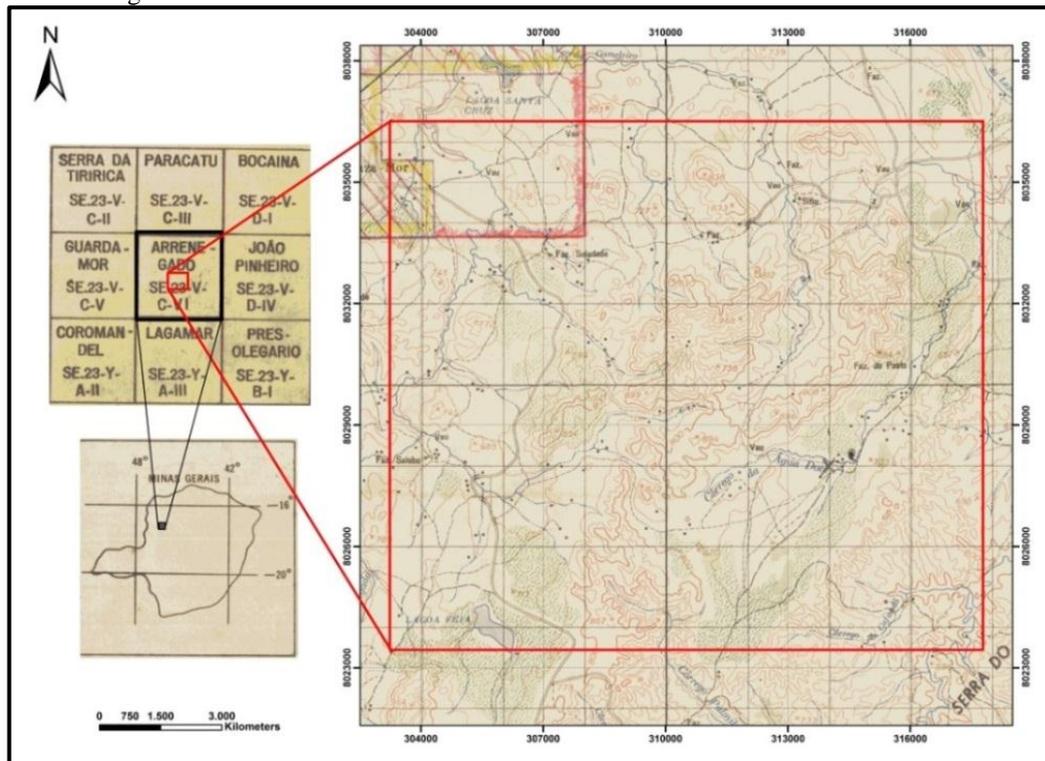
Para que essas metas fossem atingidas foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Mapear estruturas regionais, locais e relacionar aos dados aeromagnetométricos;
- ii) Caracterizar os diferentes domínios tectônicos através da interpretação dos produtos derivados de dados magnéticos e integrá-los com os dados geológicos de superfície;
- iii) Entender o comportamento dos radioelementos (K, eU e eTh) com base nos dados de gamaespectrometria, analisando sua distribuição e sua aplicação no mapeamento geológico;
- iv) Definição da litoestratigrafia local e correlação com as unidades reconhecidas regionalmente.

1.1 Localização da Área

A área mapeada se encontra especificamente entre as coordenadas UTM 8.023.453; 8.036.505 N e 303.241; 317.782 E, no município de Vazante, Minas Gerais (Figura 2).

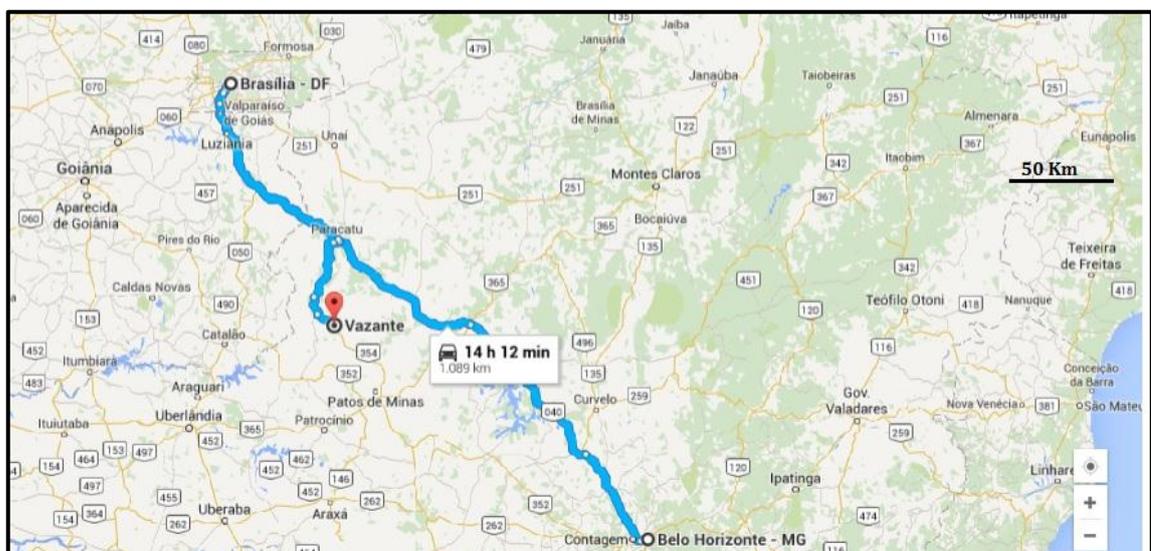
Figura 2 – Articulação das cartas topográficas 1:100.00 de Minas Gerais com destaque em preto para a folha Arrenegado aonde destacado em vermelho situa-se a área de estudo.



Fonte: Serviço Geográfico do Exército (SGE).

Os acessos são por Belo Horizonte, cerca de 500 km ou por Brasília, aproximadamente 350 km, ao longo da Rodovia BR-040 até o município de Paracatu e desse pela BR 354 até Vazante (Figura 3).

Figura 3 – Principais vias de acesso (BR040 e BR354) para o município de Vazante-MG destacadas em azul.



Fonte: Google Maps.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta dissertação de mestrado compreendem dados geológicos, dados aerogeofísicos e lâminas delgadas. Os métodos utilizados no mapeamento geológico, amostragem, na seleção de amostras para petrografia/microtectônica, processamento/interpretação de dados aerogeofísicos e fotointerpretação serão apresentados em conjunto bem como especificados no item 2.2 de trabalho.

Para melhor entendimento e compreensão do trabalho elaborado, foi realizada a divisão da pesquisa em fases de campo, escritório e laboratório, possibilitando o processamento mais adequado das informações que foram desenvolvidas para a elaboração da dissertação. Consistiu na aplicação de conceitos teóricos na aquisição e interpretação dos dados.

2.1 Materiais

2.1.1 Dados Cartográficos

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa foi a carta topográfica Arrenegado (SF-23-V-C-VI), realizada no ano de 1969 em escala 1:100.000 e proveniente do Serviço Geográfico do Exército (SGE). O acervo de dados geológicos (testemunhos de sondagens e base geológica) da empresa Votorantim Metais também foi utilizado como ponto de partida.

2.1.2 Dados Aerogeofísicos

O levantamento aeromagnetométrico e gamaespectrométrico da área de estudo foi realizado entre os meses de agosto e dezembro de 2000, pela empresa LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A (LASA), contratada pela Secretaria de Estado de Minas e Energia do

Governo de Minas Gerais (SEMA), sendo os dados cedidos pela COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS – CODEMIG. A altura média de vôo do aerolevante é de 100 m, com linhas realizadas na direção N30W e com espaçamento de 250 metros. As linhas de controle tiveram direção N60E, espaçadas de 2500 metros. A área total de recobrimento do levantamento é de cerca de 82.899 km de perfis e cerca de 18.618 km² de superfície (LASA, 2001).

2.1.3 Imagens de Satélites e Fotografias Aéreas

As imagens utilizadas são dos sensores *Spot* e *Landsat*, com cenas imageadas no ano de 2013, adquiridas respectivamente através do *Google Maps* e banco de dados da empresa Votorantim Metais. Os aerolevantes são dos anos de 1964 e 1965, foram realizados pelo SGE e as fotos aéreas também foram adquiridas através do banco de dados da empresa Votorantim Metais.

2.1.4 Lâminas Delgadas

Através das 26 amostras coletadas durante os trabalhos de campo, foram confeccionadas 26 lâminas delgadas, 15 orientadas e sendo todas utilizadas para o estudo.

2.2 Métodos

O desenvolvimento do projeto desta dissertação foi realizado em três etapas: trabalho pré-campo (escritório), trabalho de campo e trabalho pós-campo (laboratório).

2.2.1 Trabalho Pré-Campo

Nesta etapa foram desenvolvidas atividades com o intuito adquirir informações sobre a área de estudo e os assuntos abordados nesta dissertação, além de preparar material para desenvolvimento dos trabalhos de campo.

2.2.1.1 Levantamento Bibliográfico

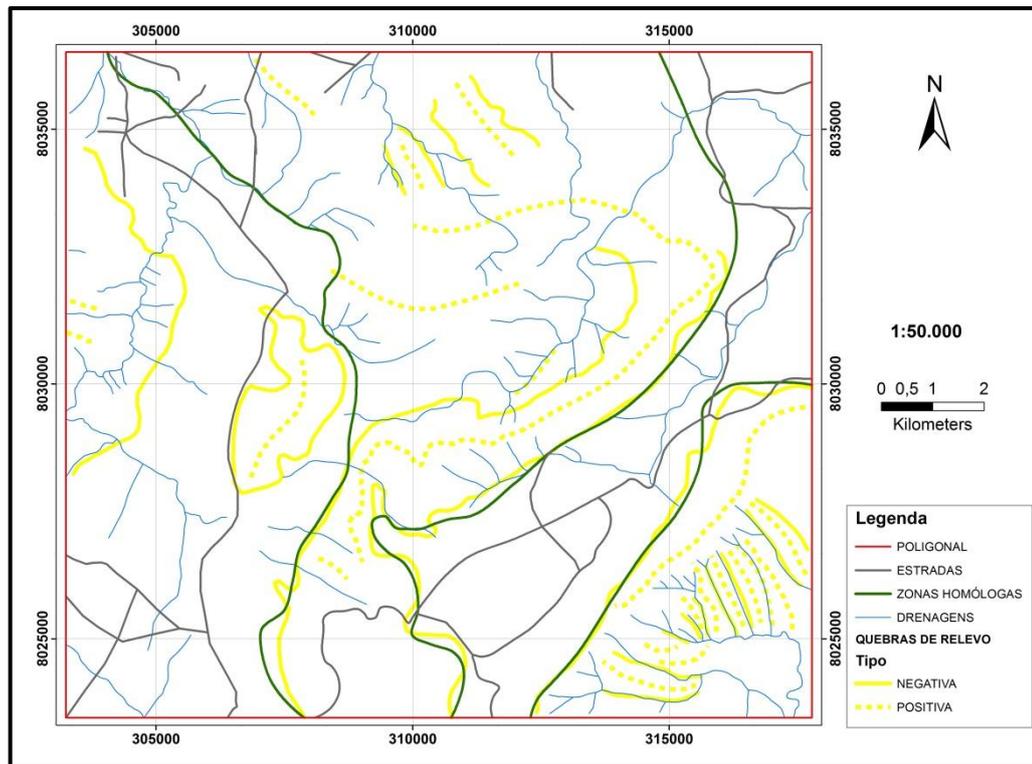
Foi realizado levantamento da produção científica da região, pesquisando artigos, dissertações e teses pertinentes a área e tema propostos. O desenvolvimento desta atividade auxiliou na adequação da escala de trabalho, utilizando para isso o conhecimento atual disponível acerca dos principais temas a serem detalhados.

2.2.1.2 Fotointerpretação

Esta etapa foi realizada utilizando-se imagens dos satélites Spot e Landsat, as cenas foram imageadas no ano de 2013 e disponibilizadas respectivamente através do *Google Earth* e banco de dados da empresa Votorantim Metais. As fotos aéreas também foram utilizadas, são dos anos de 1964 e 1965, realizadas pelo SGE e adquiridas através do banco de dados da empresa Votorantim Metais.

Em posse desses dados, foram feitas as interpretações levando-se em consideração os fatores geomorfológicos (padrão, densidade e tropia das redes de drenagens, orientação espacial dos alinhamentos de serras, definição de quebras positivas e negativas de relevo), geológicos (lineamentos estruturais, falhas e eixos de dobras) e assim produziram-se mapas de zonas homólogas (Meneses, 2004). O mapa foto interpretado (Figura 4) possibilitou um melhor planejamento dos caminhamentos a serem realizados na etapa de trabalhos de campo (Soares & Fiori 1976).

Figura 4 – Mapa gerado após a fotointerpretação da área.

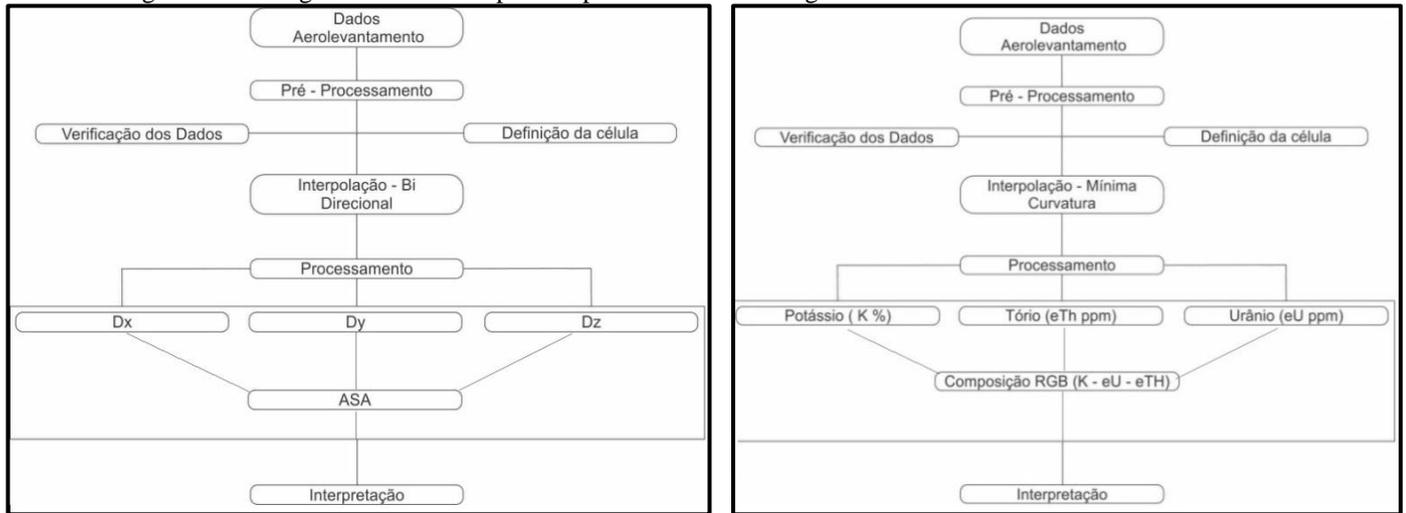


Fonte: O autor, 2015.

2.2.1.3 Geração e Interpretação de Produtos de Aerogeofísica

O processamento e utilização de dados de aerolevantamentos auxiliaram na definição de zonas/domínios magnéticos e gamaespectrométricos, os produtos foram gerados através do *Geosoft Oasis Montaj*. A utilização da Aerogeofísica foi ferramenta essencial para auxiliar na definição da estruturação geral da área e diferenciação de litofácies através das respostas radiométricas. A metodologia utilizada (Figura 5) para o tratamento e interpretação dos dados será descrita em maior detalhe no capítulo 8.

Figura 5 – Fluxogramas com as etapas dos processamentos aerogeofísicos executados.



Legenda: ASA-Amplitude do Sinal Analítico; DZ-1^o Primeira Derivada Vertical; DX e DY- Derivadas Horizontais.

Fonte: O autor, 2015.

2.2.2 Trabalhos de Campo

Nesta etapa do estudo foi desenvolvido o mapeamento geológico-estrutural da área de estudo com base em imagens de satélite na escala 1:25.000 e apresentados na escala 1:50.000 devido a baixa densidade de pontos com afloramentos rochosos. O mapeamento foi realizado em 2 campanhas de campo, a primeira campanha no período entre 20 de agosto a 5 de setembro de 2013, a segunda campanha no período entre 19 de Novembro e 02 de Dezembro de 2013. No total foram realizados 31 dias de campo e levantamento de 269 pontos. A aquisição dos dados referentes às unidades cartografadas e estruturas seguiu as diretrizes de técnicas para mapeamentos (Fry, 1984; Tucker, 1982 e McClay, 1987) a fim de se obter maior controle espacial das mesmas.

Visto que as rochas aflorantes na região apresentam avançado estágio de alteração, a avaliação dos diferentes tipos de solos nas áreas com maior densidade de afloramentos auxiliou a inferir unidades de mapeamento e contatos nas áreas de mais baixa densidade de afloramentos. Ao longo dos trabalhos de campo foram coletadas 26 amostras de rochas, sendo 15 orientadas, para confecção de lâminas delgadas.

2.2.3 Trabalhos Pós-Campo

Nesta etapa foram desenvolvidas atividades de tratamento e descrição dos dados obtidos nos trabalhos de campo.

2.2.3.1 Estudos Petrográficos e Microtectônica

Foram realizados estudos petrográficos e microtectônicos em 26 lâminas delgadas confeccionadas no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da FGEL. Desse total, 15 amostras eram orientadas (Figura 6). Estes estudos visam à melhor descrição de tramas texturais, paragênese mineral e principalmente relação dos aspectos microestruturais (crenulações, foliações, microfalhas, veios e etc) com as fases deformacionais (Passchier & Trouw 2005; Trouw *et.al.* 2010).

Figura 6 – Uma das amostras orientadas usadas para a confecção das lâminas.



Fonte: O autor, 2013.

2.2.3.2 Interpretação e Integração dos Dados

Essa etapa abrange a integração dos resultados obtidos através da elaboração de produtos específicos, tais como: mapa geológico-estrutural (Apêndice B) e mapas aerogeofísicos (Figuras 55 a 67) ambos digitalizados através do *Software Arcgis*; diagramas estereográficos (Figuras 34 a 54) produzidos com a utilização do *Software Openstereo*; secções geológicas (Apêndice C) digitalizadas através do *Software Coreldraw*; descrições petrográficas e microtectônicas (capítulos 6 e 7) para a elaboração do texto final desta dissertação.

3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.1 Pedologia

Os solos do Cerrado são de savana tropical, predominantemente com texturas arenosa, areno-argilosa, argilo-arenosa ou argilosa (Embrapa, 2006). Na área de estudos, ocorrem solos de cores variadas e com variações de todos esses tipos, sendo dois mais característicos, os de coloração avermelhada de intemperismo do substrato dolomítico e outro de coloração amarelada oriundos de substrato pelítico.

3.2 Geomorfologia

A topografia varia das cotas 600 a 900 m, com algumas regiões planas e muitos morros. A área é dominada por relevos característicos de antigos ambientes orogênicos, encontrando-se assim relevos de “cuesta” onde as encostas são controladas pelo mergulho das camadas. Os dolomitos condicionam paredões, nos quais são formadas drenagens muito profundas que somem no nada devido às dissoluções que geram cavernas, que são um tipo de relevo característico de regiões carbonáticas conhecido como cárstico. Também, encontram-se as dolinas (cavernas no solo geradas por dissolução). Além disso, camadas de litologias mais resistentes (quartzitos) sustentam os altos topográficos, formando escarpas (Figura 7).

Figura 7- Padrão Geomorfológico da área de estudo.



Fonte: O autor, 2013.

3.3 Hidrografia

O município de Vazante se encontra na sub-bacia do rio Paracatu, que pertence a Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. (Patrus *et al*, 2001). Geralmente, os rios são efêmeros, ou seja, com água durante as épocas de chuvas, com padrão consequente (seguem a inclinação das camadas) e subsequente (controlado pela estrutural, seguindo as linhas de fraqueza), com rios dentríticos, retificados (provavelmente segundo uma falha) ou meandrantés. As drenagens que se formam sobre substratos pelíticos (Figura 8) possuem água de boa qualidade química para o consumo humano e seguem as condições climáticas de cheias. Já as drenagens associadas ao substrato dolomítico são intermitentes e os processos de carstificação tornam as eventuais ocorrências de água quimicamente inapropriadas para o consumo humano.

Figura 8-Aspecto das drenagens formadas sobre o substrato geológico de natureza pelítica.



Fonte: O autor, 2013

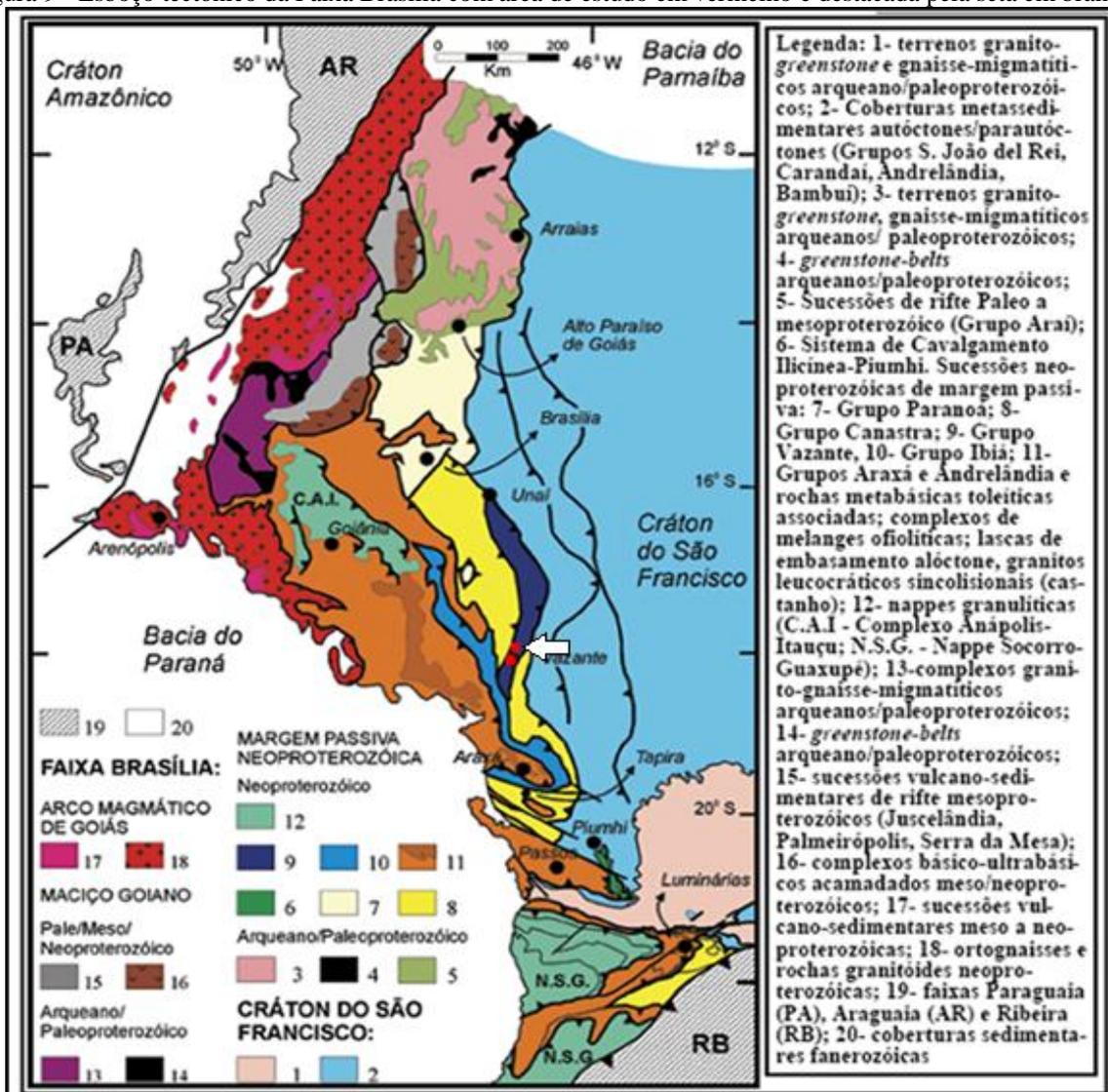
3.4 Clima

No período de agosto a dezembro é extremamente quente na região, com um intenso período de seca e eventuais períodos de chuvas (Embrapa, 2006). Essas características representam condições de clima predominantemente tropical sazonal ou continental, aonde as médias de temperaturas anuais chegam a 23°C. Os verões são chuvosos e invernos marcados por um longo período de seca.

4 GEOLOGIA DA REGIÃO DE VAZANTE

No segmento meridional do orógeno Brasília (Figura 9) um sistema de dobramentos e cavalgamentos (*fold-thrust belt*) se encontram sobrepostos ao domínio cratônico, este recoberto pelo Grupo Bambuí. No domínio externo deste cinturão, ocorrem quartzitos e filitos do Grupo Canastra, empurrados sobre metapelitos e metadolomitos do Grupo Vazante, sendo estas as unidades presentes na região de Vazante.

Figura 9 - Esboço tectônico da Faixa Brasília com área de estudo em vermelho e destacada pela seta em branco.



Fonte: VALERIANO, 2004.

Especificamente no noroeste de Minas Gerais, ocorre uma faixa de mineralizações conhecida como Faixa Paracatu-Vazante, compreendendo um dos maiores distritos zincíferos do Brasil (Monteiro *et al.* 2006), o que torna o mapeamento detalhado da região importante para entender a gênese das mineralizações e identificar novas áreas de interesse econômico.

4.1 Grupo Canastra

Compreende uma sequência de metassedimentos detríticos representados por quartzitos e filitos (Figura 10), estes últimos em grande parte carbonosos e com fácies carbonatadas subordinadas. Estas rochas encontram-se metamorizadas em fácies xisto verde (zona da clorita até granada) e apresentam idades modelo Sm-Nd (TDM) superiores a 1.9 Ga (Rodrigues *et al.*, 2008). O grupo Canastra foi inicialmente descrito por Barbosa *et al.* (1969) como um grupo de rochas metassedimentares supostamente originadas em contexto bacinal de margem passiva, com sedimentos provenientes de fontes antigas, possivelmente do Cráton do São Francisco.

Em 1984, Campos Neto sugeriu que as rochas do Grupo Canastra seriam correlacionáveis aos metassedimentos do Grupo Araxá, de forma que, embora possuam características sedimentológicas distintas os sedimentos do Grupo Canastra transicionam lateralmente, para parte dos sedimentos do Grupo Araxá. Este mesmo autor divide o grupo Canastra em três unidades:

- A unidade da base constituída por quartzitos com frequente quartzo filitos e intercalações centimétricas de filito cinza a hematita e de ilito esverdeado.
- A unidade intermediária representada por metapelitos na base, com topo formado por quartzitos, quartzo filitos e intercalações de filitos cinza à esverdeado.
- O topo formado por um quartzo–muscovita-clorita xisto sobreposto por um filito negro, piritoso com grafita.

Posteriormente, Pereira *et al.* (1994) individualizaram o Grupo Canastra em três subunidades mapeáveis, informalmente denominadas de formações inferior, intermediária e superior. A formação inferior é formada por filitos intercalados com quartzo-filito, quartzitos micáceos e ortoquartzitos. A formação intermediária é composta de quartzitos micáceos com

estruturas humockys de escalas métricas. Por fim, a formação do topo apresenta ortoquartzitos.

Tendo como base esses trabalhos supracitados, Freitas-Silva & Dardenne (1994) sugeriram um empilhamento estratigráfico a partir das litologias aflorantes no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. Segundo estes autores, o Grupo Canastra seria subdividido em dois subgrupos; Paracatu (base) e Serra dos Pilões (topo). O subgrupo Paracatu é constituído pelas formações Morro do Ouro e Serra da Anta, que são representados por um pacote de quartzo sericita-clorita filito carbonoso bandado com níveis centimétricos a métricos, de ortoquartzito de grão fino a médio sobreposto por um espesso pacote de sericita-quartzo-clorita filito cinza prateado, com intercalações centimétricas a decimétricas de quartzitos finos e filitos carbonosos.

O subgrupo Chapada dos Pilões é composto pelas formações Serra da Batalha e Serra da Urucânia. A primeira apresenta interdigitações de quartzo-sericita-clorita filito e quartzitos finos a médios maciços e/ou com estratificações cruzadas. A formação do topo é formada predominantemente por ortoquartzitos estratificados, que localmente, podem apresentar intercalações de filitos.

Por fim, a partir do trabalho de Dardenne (2000), no qual foi realizada uma revisão dos conhecimentos acerca da evolução da Faixa Brasília, Rodrigues (2008) definiu três formações para o Grupo Canastra: Formação Serra do Landim, Formação Paracatu e Formação Chapada dos Pilões. Atualmente, esta é a litoestratigrafia mais utilizada para a região estudada. As formações definidas por esta autora se encontram melhor detalhadas nos itens a seguir.

4.1.1 Formação Serra do Landim

A porção basal da unidade é constituída por margas e lentes de calcário que gradam para níveis de calci-filitos/calci-xistos, sendo as últimas os principais constituintes da unidade. No topo, de forma localizada, aparecem ocasionais lentes de quartzitos finos e nódulos de pseudo chert, sendo o contato com a Formação Paracatu do tipo tectônico. Freitas-Silva & Dardenne (1994) individualizaram dois membros que compõem a Formação Paracatu, sendo o membro basal, denominado Morro do Ouro, composto por filitos

carbonosos escuros com intercalações variadas de quartzitos finos. Já o Membro Serra da Anta é representado por espesso pacote de sericita filitos, com intercalações de filito carbonoso e quartzitos finos, sendo que os contatos entre os membros, assim como com as demais formações são tectonizados.

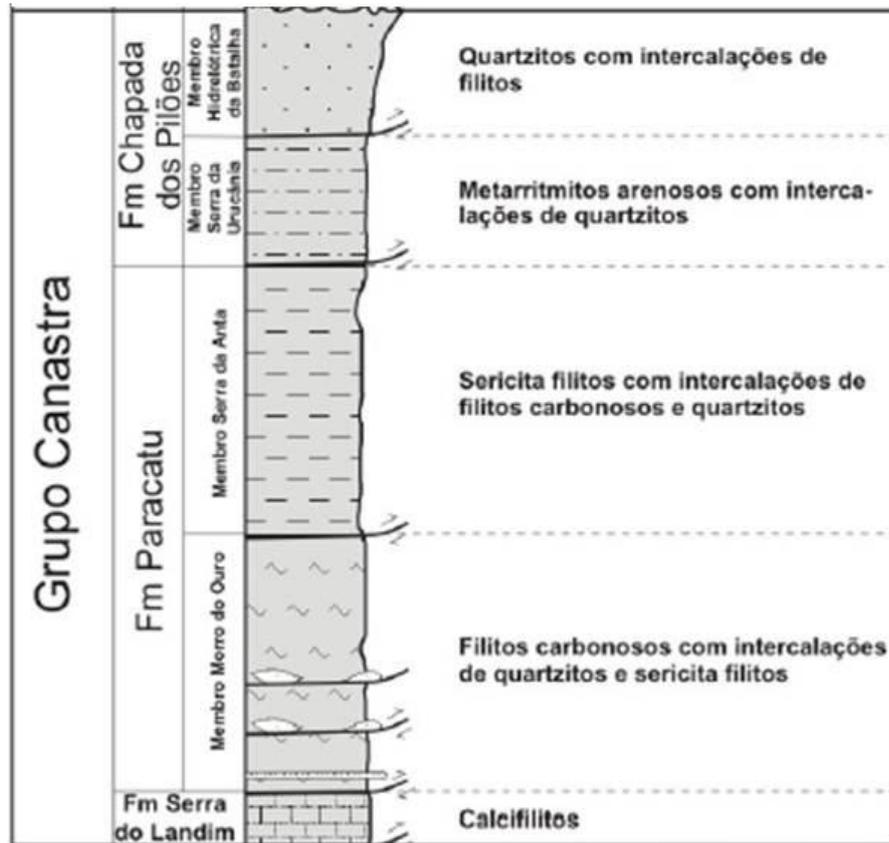
4.1.2 Formação Paracatu

A formação Paracatu é formada por filitos carbonosos cinza escuro com algumas intercalações ou lentes de quartzito branco. Essa formação é dividida em dois membros: Morro do Ouro e Serra da Anta. O primeiro corresponde à base e pode ser caracterizado pela presença de filitos carbonosos, cinza claro a cinza escuro, com intercalações de lentes de quartzitos que variam de milímetros a metros. Estas rochas hospedam as mineralizações do depósito Morro do Ouro. O membro Serra da Anta é formado por filito cinza a cinza claro (clorita-sericita-filito) com intercalações de filito carbonoso, metassilito e camadas de quartzito.

4.1.3 Formação Chapada dos Pilões

Esta unidade ocorre a oeste de Paracatu e Vazante e também é constituída de dois membros, com o pacote basal de metarritmitos arenosos com níveis de quartzito denominado Membro Serra da Urucânia. Já o pacote superior, predominantemente quartzítico com delgados níveis de filitos é denominado Membro Hidroelétrica Batalha.

Figura 10- Coluna estratigráfica do Grupo Canastra.



Fonte: RODRIGUES, 2008, p. 08. Adaptado pelo autor.

4.2 Grupo Vazante

A área de ocorrência do Grupo Vazante apresenta morfologia alongada e estreita (geometria lenticular) com aproximadamente 40 x 250 km, orientada na direção N-S. Este grupo é caracterizado por uma sequência de rochas pelíticas-carbonatadas que envolvem filitos, quartzitos, dolomitos algais, ardósias e metassiltitos, metamorfizados em condições de fácies xisto verde baixo. Definido como uma unidade litoestratigráfica importante (Figura 11) do cinturão Neoproterozóico Brasília, apresenta proveniência sedimentar com diferentes valores U-Pb ao longo da bacia, sendo as idades obtidas em Zircões detríticos variando de 936 a 3.049 Ma.

As fontes desses sedimentos são representadas por terrenos primordialmente Paleo/Mesoproterozóico, interpretados como um ambiente deposicional de margem passiva (Pimentel *et al.* 2001; Valeriano *et al.* 2004a). Devido ao amplo intervalo de idades obtidas

em zircões, a idade deste grupo e uma possível correlação ainda são questões em aberto. A presença de estromatólitos do tipo Conophyton, encontrados nas localidades de Cabeludo e Lagamar (MG), que apresentaram idades entre 1.650 e 950 Ma (Cloud & Dardenne 1973, Dardenne *et al.* 1976, Dardenne 2005) sugerem uma correlação com o Grupo Paranoá. Por outro lado, os diamictitos presentes na formação Retiro sugerem uma correlação com o Grupo Bambuí (Dardenne e Schobbenhaus 2001).

A primeira definição do grupo Vazante foi na qualidade de formação, incluída no Grupo Bambuí (Dardenne, 1978). A partir do contínuo estudo da área e conseqüente evolução do conhecimento geológico, diversos trabalhos (Madalosso & Valle, 1978; Pinho, 1990; Dardenne *et al.*, 1997 e 1998, Souza, 1997) determinaram que a unidade deveria ser elevada a categoria de Grupo, desta forma, constituída por sete formações (Dardenne, 2000), que serão descritas a seguir, da base para topo (Figura 12).

4.2.1 Formação Retiro

Consiste de níveis métricos de quartzito branco, localmente conglomerático, intercalado com níveis ardósianos. Ocorrem também horizontes restritos de diamictitos com seixos de quartzitos, calcários, dolomitos, metassiltitos e rochas graníticas em matriz pelítica, por vezes fosfatada.

4.2.2 Formação Rocinha

Sua porção basal é representada por seqüência rítmica arenopelítica, coberta por espesso pacote de ardósias e metassiltitos. Segue-se um pacote de ardósias cinza escuras, finas laminações fosfáticas que transicionam para um intervalo de fosfarenitos ricos em intraclastos e *pellets* (Souza, 1997 e Dardenne *et al.*, 1998).

4.2.3 – Formação Lagamar

A base da unidade é formada por conglomerados, quartzitos, metassiltitos e ardósias, sendo sobrepostos por brechas intraformacionais dolomíticas, cobertas por calcários cinza escuros, bem estratificados, com intercalações de brechas lamelares. No topo da unidade são localizados dolomitos estromatolíticos bihermais do gênero *Conophyton* (Cloud & Dardenne, 1973).

4.2.4 Formação Serra do Garrote

Esta unidade é formada por espesso pacote de ardósias cinza escura a cinza esverdeada, às vezes rítmica, carbonosas e com níveis ricos em pirita, com finas intercalações de quartzitos (Madalosso & Vale, 1978, Madalosso, 1980, Dardenne, 1978; Campos Neto, 1984; Dardenne *et al.*, 1997, 1998).

4.2.5 Formação Serra do Poço Verde

Esta é uma sequência dolomítica formada, da base para o topo, pelos membros: a) Morro do Pinheiro Inferior - dolomitos variando de cinza a rosados maciços ou com laminações microbiais, com níveis dolareníticos oncolíticos, de brechas intraformacionais e de estromatólitos colunares; b) Morro do Pinheiro Superior - dolomitos cinza escuro laminados, com estruturas de esteiras algais e *bird'seyes*, intercalados com camadas de dolarenitos, brecha intraformacionais e folhelhos carbonosos com pirita; c) Pamplona Inferior - metassiltitos, folhelhos e ardósias carbonosas intercalados com níveis de dolomitos com laminações algálicas e pequenas lentes de metarenitos finos a conglomeráticos; d) Pamplona Médio - dolomitos variando de cinza a rosa com laminações algais, intercalado com camadas de dolarenito, brecha intraformacionais e dolomitos estromatolíticos, lentes de folhelhos carbonosos também podem ocorrer.

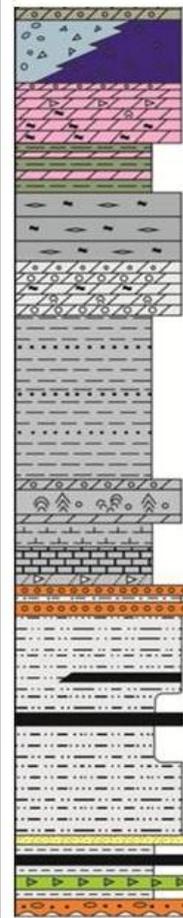
4.2.6 Formação Morro do Calcário

Esta sequência é predominantemente dolomítica constituída por biostromos e biohermas com laminações convexas, doloruditos, dolarenitos oolíticos e oncolíticos. Concentram-se doloruditos, possivelmente resultado do retrabalhamento dos biohermas estromatolíticos. Dardenne (2000) sugere que o pacote representa uma deposição contínua das formações Morro do Calcário e Serra do Poço Verde, não permitindo as individualizações, como ocorre na localidade seção tipo, em Vazante (MG).

4.2.7 Formação Serra da Lapa

A formação de topo do Grupo Vazante apresenta-se de forma distinta na região de Vazante, aonde ocorre como uma sequência de filitos carbonosos, metassiltitos carbonáticos, lentes de dolomitos (esteiras de cianobactérias, estromatólitos colunares e brechas intraformacionais) e níveis de quartzitos. Um nível diamictítico recentemente descrito na interfície das formações Morro do Calcário e Lapa (Brody *et al.*, 2004) associado a valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ levaram Azmy *et al.* (2006) a interpretar os carbonatos da formação como um depósito do tipo *cap carbonate*.

Figura 11 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante.

Coluna	Depósito Mineral	Descrição	Membro	Formação	Grupo
	Pb-Zn - Morro Agudo	L Bioerma estromatolítico, fácies de brecha e dolarenito	Pamplona Superior	Morro do Calcário	V A Z A N T E
	Zn - Vazante	K Dolomito rosa com laminações algais, nodulos de barita e gretas de contração	Pamplona Médio	Serra do Poço Verde	
		J Ardósia cinza e verde com intercalações de dolomito rosa	Pamplona inferior		
		I Dolomito cinza escuro com laminações algais e birds eyes	Morro do Pinheiro Superior		
		H Dolomito cinza claro a rosa com intercalações de brecha e dolarenito	Morro do Pinheiro Inferior		
		G Ardósia cinza		Serra do Garrote	
		F Bioerma estromatolítico Calcário cinza escuro Brecha dolomítica	Sumidouro	Lagamar	
		E Conglomerado	Arrependido	Rocinha	
	→ Fosforito 3- Lagamar	D Ritmito			
	→ Fosforito 2- Rocinha	C Ardósia cinza escura piritica e fosfática			
		B Ritmito			
	→ Fosforito 1- Coromandel → Diamictito	A Intercalações de quartzito, fosforito, diamictito e ardósia		Retiro	

Fonte: RODRIGUES, 2008, p. 13. Adaptado pelo autor.

5 EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO ESTRUTURAL

A evolução acerca do conhecimento estrutural na região de estudo foi promovida por diferentes autores (Tabela 1), existindo consenso quanto a existência de pelo menos 4 fases de deformação. Em trabalhos de escala local, como na Mina de Vazante, observa-se maior detalhamento e ocorrência de arcabouços estruturais mais complexos, porém, regionalmente algumas dessas fases ainda não foram bem esclarecidas. De modo geral, assume-se que as primeiras 3 fases (D1, D2 e D3) ocorrem em regime compressivo, através de mecanismos de cisalhamento simples como resposta a deformação de caráter progressivo. As fases seguintes, D4 e/ou D5 (de acordo com a compartimentação utilizada), são de caráter extensional, com acomodação dos esforços, movimentação dos blocos e também com evidências de tectônica direcional. Uma sexta e última fase- D6 é proposta por alguns autores. A seguir serão descritos os dados estruturais de cada um dos trabalhos tomados como base nesta dissertação.

5.1 Pinho (1990)

Definiu quatro fases de deformação que seguem:

- I. A primeira fase (D1), em regime transtensivo, reativa zonas de fraqueza do embasamento;
- II. A segunda fase (D2) apresenta caráter compressivo tangencial, desencadeando uma tectônica transcorrente;
- III. A terceira fase (D3) de encurtamento tectônico é marcada por falhas de empurrão;
- IV. Por último, uma fase (D4) de caráter extensional com alívio da compressão gerada na fase anterior, resultando em falhamentos normais e na acomodação dos blocos.

5.2 Freitas-Silva & Dardenne (1992)

Atribui a evolução a partir de um único evento orogenético, caracterizado por seis fases deformacionais, detalhadas abaixo:

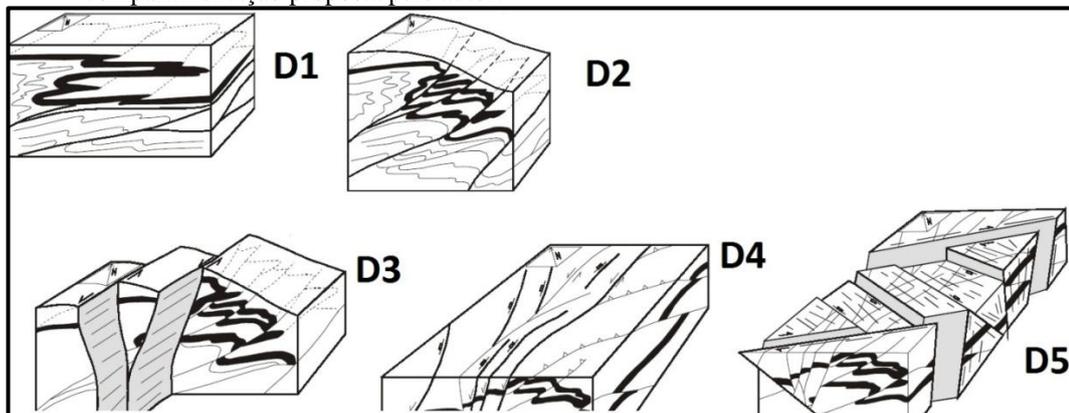
- I. D1 resultou em foliação de fluxo intraestratal (S1), orientando minerais micáceos paralelamente ao acamamento sedimentar (S0);
- II. D2 corresponde à foliação regional do tipo milonítica com planos S-C; D3 está relacionada à dobra em *Chevron* e falhamentos transcorrentes;
- III. D4 e D5 estão relacionadas à *kinks* e ondulações com incipiente clivagem espaçada;
- IV. D6 está representada por zonas de cisalhamento e falhamentos normais.

5.3 Rostirolla (2002)

Definiu cinco fases deformacionais listadas a seguir e ilustradas na Figura 12:

- I. D1 e D2 são resultados de deformação progressiva em regime dúctil (tectônica convergente), com empurrões e dobramentos com vergência para E-SE;
- II. D3 está associada à mineralização da mina de Vazante com controle exercido por falhas direcionais sinistras com *strike* NE. Associada a essa fase também ocorrem *Kink Bands* e Clivagem S3;
- III. D4 e D5 representam sistema distensional rúptil de direção NE que remobilizou o Zn;

Figura 12- Blocos diagramas esquemáticos que mostram a evolução estrutural de acordo com a compartimentação proposta pelo autor.



Fonte: ROSTIROLA, 2002. p. 62-66. Adaptado pelo autor.

5.4 Matumoto 2012

Definiu 6 fases de deformação, listadas abaixo:

- I. Clivagem ardosiana (S_1) paralela ao acamamento sedimentar (S_0);
- II. Clivagem espaçada (S_2) associadas a dobras apertadas NW-SE, oblíqua a clivagem ardosiana (S_1);
- III. Clivagem de crenulação espaçada (S_3) com ângulo de mergulho moderado a alto com *strike* NE-SW e Kink Bands associadas;
- IV. Falha Normal de Vazante;
- V. Dobras em zona de cisalhamento;
- VI. Dobras abertas de direção NW-SE;

A tabela 1 a seguir sintetiza os principais modelos estruturais para a região em estudo.

Tabela 1- Quadro Resumo com a evolução proposta e comparando a trabalhos anteriores.

Fases de Deformação	Pinho (1990)	Freitas Silva & Dardenne (1992)	Rostirola (2002)	Matumoto (2012)	Presente Trabalho
D1	Reativação de falhas profundas que atingem o embasamento	Foliação de fluxo intraestratal (S_1)	Clivagem ardosiana (S_1) paralela ao acamamento sedimentar (S_0), com dobras fechadas a isoclinais.	Clivagem ardosiana (S_1) paralela ao acamamento sedimentar (S_0)	Compactação do acamamento sedimentar- S_0 , que gera foliação de fluxo intraestratal do tipo clivagem ardosiana - S_1 paralela- $S_1//S_0$;
D2	Falhas Transcorrentes	Foliação Milonítica ($S-C$)	Clivagem espaçada (S_2) oblíqua a S_1	Clivagem espaçada de dobras apertadas NW-SE (S_2) oblíqua a clivagem ardosiana (S_1)	Falhas de Empurrão do Grupo Canastra sobre o Grupo Vazante. Formação de Clivagem espaçada- S_2 Oblíqua a $S_1//S_0$ (localmente paralela $S_2//S_1//S_0$) e ($S_2//PA$). Ocorrência de Lineação de Interseção- L_{2-1} ($S_2-S_1//S_0$)
D3	Falhas de Empurrão	Dobras em chevron e Falhamentos Transcorrentes	Zona de Falha de Vazante em sistema transcorrente sinistral com a formação de clivagem de crenulação com kinkBands associados (S_3)	Clivagem de crenulação espaçada (S_3) com ângulo de mergulho moderado a alto com strike NE-SW e KinkBands associadas	Clivagem de crenulação- S_3 com strike NW-SE que condiciona Kink Bands; Lineação de crenulação- L_c down-dip a S_2 .
D4	Falhas Normais	Clivagem Espaçada e KinkBands.	Falhas normais com direção NE	Falha de Vazante	Falha Normal-FN, Clivagem de crenulação - S_4 ; Lineação de Crenulação- L_4 .
D5	X	Clivagem Espaçada e KinkBands.	Dois sistemas de juntas, um N40-60W e outro EW	Dobras em zona de cisalhamento	X
D6	X	Zonas Cisalhamento	X	Dobras abertas de direção NW-SE	X

Fonte: O autor, 2015.

6 LITOESTRATIGRAFIA DA ÁREA MAPEADA

Nesse tópico será abordada a caracterização descritiva e também as interpretações faciológicas, das unidades de mapeamento observadas na área de estudo (Figura 13).

Figura 13 - Imagem de satélite (*Spot*) com área de estudo destacada em vermelho.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2013.

Após a avaliação das informações, foi mais consistente a correlação com as grandes unidades litoestratigráficas regionalmente consagradas pela literatura.

6.1 Unidades de Mapeamento

Para a área em estudo, foram individualizadas quatro unidades de mapeamento principais (Apêndice B), levando-se em consideração critérios diagnósticos diferenciáveis em

campo como: composição mineralógica, aspectos geomorfológicos, tipo de estruturas sedimentares, continuidade/geometria das unidades, controle topográfico e estrutural.

Essas unidades representam compartimentos tectônicos com características litológicas e de evolução geológico-estrutural distinta, embora parecidas e diacrônicas. Observam-se semelhanças também em relação ao metamorfismo.

6.1.1 Filito Carbonoso com intercalações de Quartzito

Essa unidade tem distribuição espacial de 53,9 km². Ocorrem pacotes psamíticos associados aos altos topográficos, na forma de morros de escala kilométrica (em porções onde se observa as quebras positivas do relevo afloram extensas lentes de quartzitos que sustentam as serras observadas). Nos vales (quebras negativas do relevo), aflora predominantemente rocha filítica com elevado conteúdo de material carbonoso.

Composicionalmente são constituídos por pacotes métricos de pelitos (predominantemente na fração argila, mas com conteúdo de silte) alternando-se a lentes centimétricas a decimétricas de material psamítico (variando da fração silte a areia muito fina). A ação de intemperismo físico nas litologias (Figura14) resulta na elevada quantidade de blocos e seixos rolados (relacionados ao quartzito). A alteração química (oxidação) promove variações de tonalidades escuras (variando em tons cinza) que se associam ao filito carbonoso e dificulta a diferenciação em campo em relação à outra unidade de mapeamento (nível ardosiano carbonoso silicificado).

Figura 14- Fotografias ilustrando os pacotes de composição mais arenosa-(A) Quartzito no ponto PV 219 (B) Quartzitos em maior detalhe no ponto PV 219 (C) Filito Carbonoso em maior detalhe no ponto PV 265(D). Filito Carbonoso no ponto PV 265.

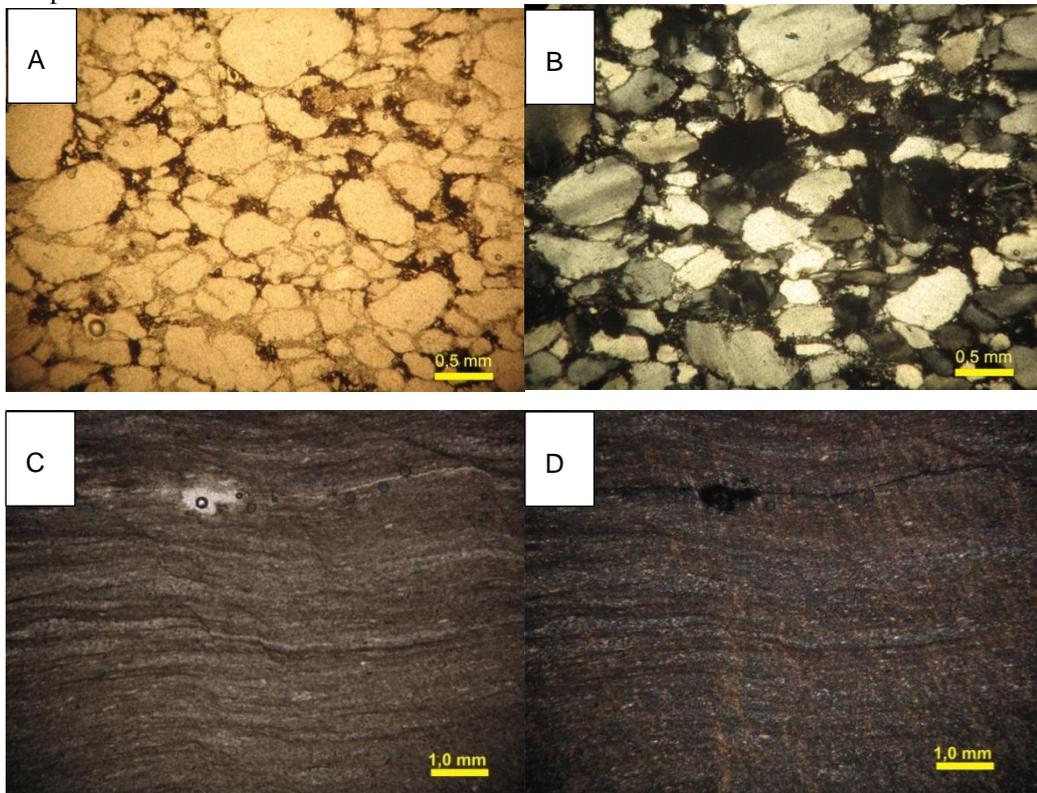


Fonte: O autor, 2013.

Microscopicamente, os quartzitos se apresentam com granulometria fina. Constituídos exclusivamente por cristais de quartzo submilimétricos a milimétricos de hábito angular a subarredondado com extinção ondulante, deformações cristalinas e com incipientes processos de recristalização. A textura varia de domínios clásticos (com contatos sinuosos e planares entre os grãos) a granoblásticos e também cataclasítica.

Já os filitos carbonosos apresentam granulometria variando de fina a média. Os minerais observados são: quartzo (cristais submilimétricos a milimétricos de hábito subangular a subarredondado); feldspato (plagioclásios submilimétricos a milimétricos com evidências de alterações do tipo sericitização), micas brancas, cloritas e opacos anédricos. As texturas são lepidoblástica e aparentemente milonítica (Figura 15).

Figura 15- Fotomicrografias evidenciando o domínio da lâmina delgada com textura granoblástica para os quartzitos (ponto PV 217) - (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. Para os filitos (ponto PV 235), destaque para a granulometria muito fina; (C) polarizadores paralelos; (D) polarizadores cruzados.



Fonte: Vinícius, 2014.

O contato desta unidade com as demais, no caso o Dolomito estromatolítico e a Ardósia Carbonosa Preta Silicificada é tectônico (Apêndice B), sendo balizado por falhas de cavalgamento, com padrão de deformação bem evidente e que será detalhado no capítulo 7 adiante. No que diz respeito às unidades descritas na literatura, o Filito Carbonoso com intercalações de quartzito pode ser correlacionado à Formação Paracatu pertencente ao Grupo Canastra.

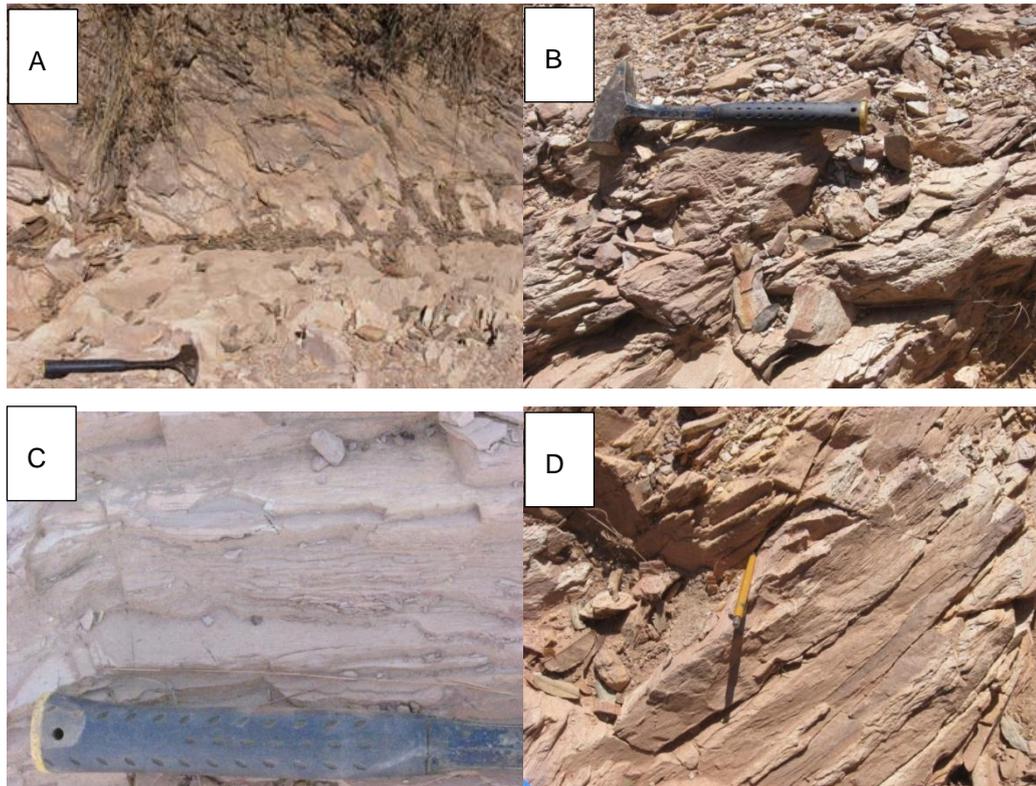
6.1.2 Ardósia Vermelha Homogênea

Essa unidade ocorre com distribuição espacial de 36,8km². Geomorfologicamente está associada a altos e baixos do relevo, não sendo observado controle topográfico. O contato com a unidade adjacente (OO Dolomito Estromatolítico) é do tipo abrupto, muitas vezes

observado em perfis de alteração expostos em ravinas e drenagens. O tipo de ocorrência observado (em cristas e vales) para essa litófácie apresenta geometria controlada estruturalmente por *trend* de dobras antiformais e sinformais de escala kilométrica. Esse padrão estrutural condiciona diferentes estágios de preservação das rochas, pois controla o nível de exposição das mesmas aos processos intempéricos.

Composicionalmente trata-se de material pelítico de natureza argilosa, sendo a litófácie cartografada de aspecto homogêneo (Figura 16) e classificada como metaargilito. Localmente ocorre alternância rítmica de pacotes centimétricos a métricos de silte e argila, porém, essas lentes não são representáveis na escala do mapa apresentado. O solo relacionado à alteração dessa unidade é extremamente delgado (Cambissolo).

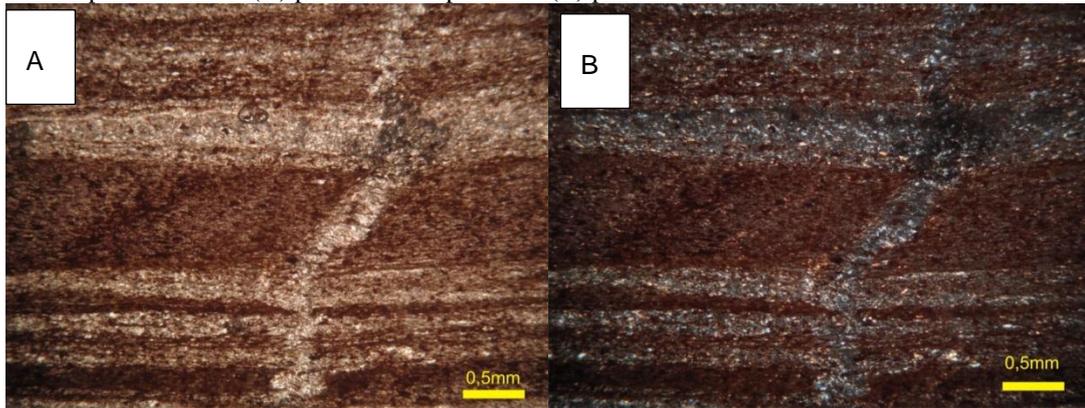
Figura 16- Diversas formas de ocorrência da Ardósia homogênea. (A) e (B) ponto PV 38, exibindo alto grau de fraturamento; (C) Ponto PV 190 em maior detalhe apresentando clivagem ardosiana, (D) Ponto PV 190 em menor escala.



Fonte: O autor, 2013.

Microscopicamente, é uma rocha de granulometria muito fina (Figura 17) com cristais subangulares a subarredondados apresentando-se estirados muito deformados pela foliação ardosiana. Observam-se minerais submilimétricos de quartzo, mica branca (sericita) e clorita, bem como opacos anédricos estirados ou arredondados.

Figura 17-Fotomicrografias da Ardósia Vermelha evidenciando a granulometria fina e aspecto textural da rocha no ponto PV 191. (A) polarizadores paralelos (B) polarizadores cruzados.



Fonte: O autor, 2014.

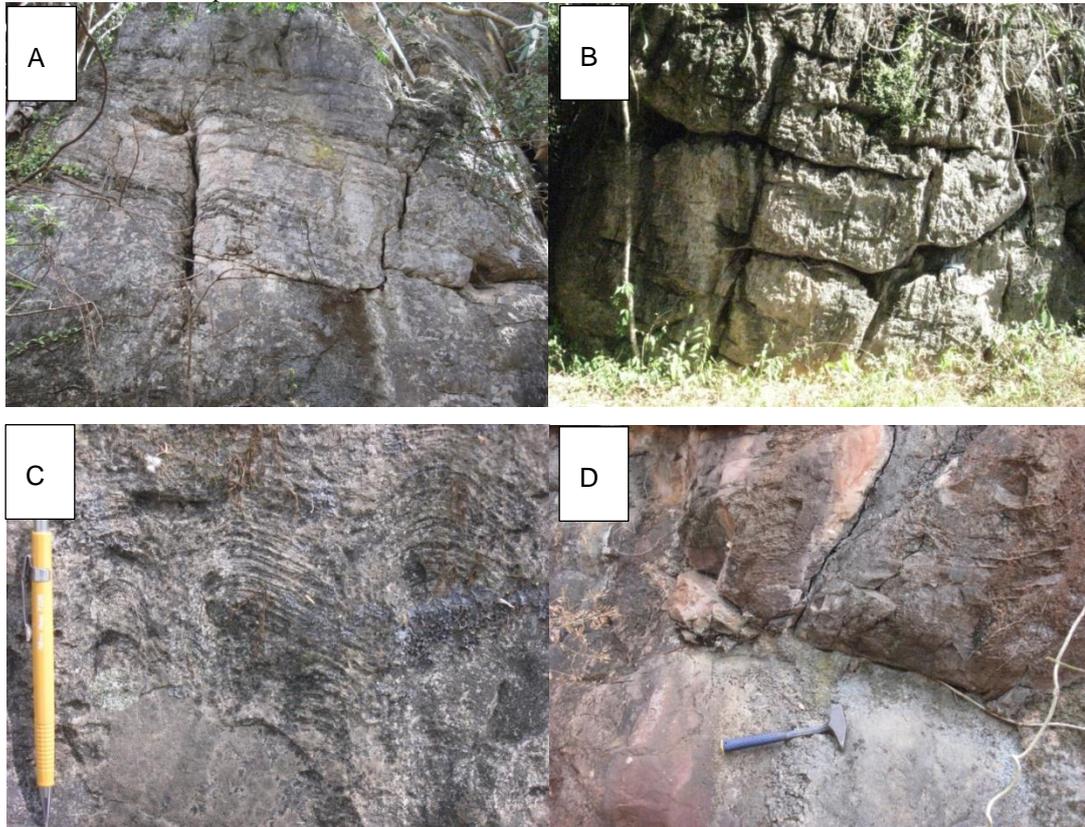
O padrão de deformação é extremamente complexo e será mais bem abordado adiante, no capítulo 7. No que tange a correlação com unidades regionais, a Ardósia Vermelha Homogênea é relacionada à Formação Serra do Garrote do grupo Vazante.

6.1.3 Oodolomito Estromatolítico

Essa unidade tem distribuição espacial de 72,7 km². Afloram sob a forma de morros testemunhos facilmente identificáveis devido à presença de vegetação típica (mata seca), que é representada por árvores de médio a grande porte e que ocorre em alta densidade. Geomorfologicamente apresenta gradiente topográfico significativo (~200m). De maneira comum, ocorrem feições de carstificação, dissolução de carbonato, brechação e localmente ocorre estromatólito colunar do tipo *conophyton* (Figura 18)

O contato desta unidade com as demais unidades pode ser de duas formas: tectônico, estando subposta através de uma falha de empurrão ao Filito Carbonoso com intercalações de Quartzito ou abrupto quando em contato com a Ardósia Vermelha Homogênea e Ardosia Carbonosa Preta Silicificada. Associado à litofácie ocorre solo com tonalidade marrom e textura argilosa. Esse material preenche o espaço gerado pela alteração das rochas carbonáticas mapeadas.

Figura 18- Diversos aspectos do Dolomito: (A) e (B) Feições de dissolução apresentada pelos dolomitos no ponto PV11; (C) estrutura sedimentar estromatolítica presente no ponto PV78 (D) aspecto levemente brechado do ponto PV85.

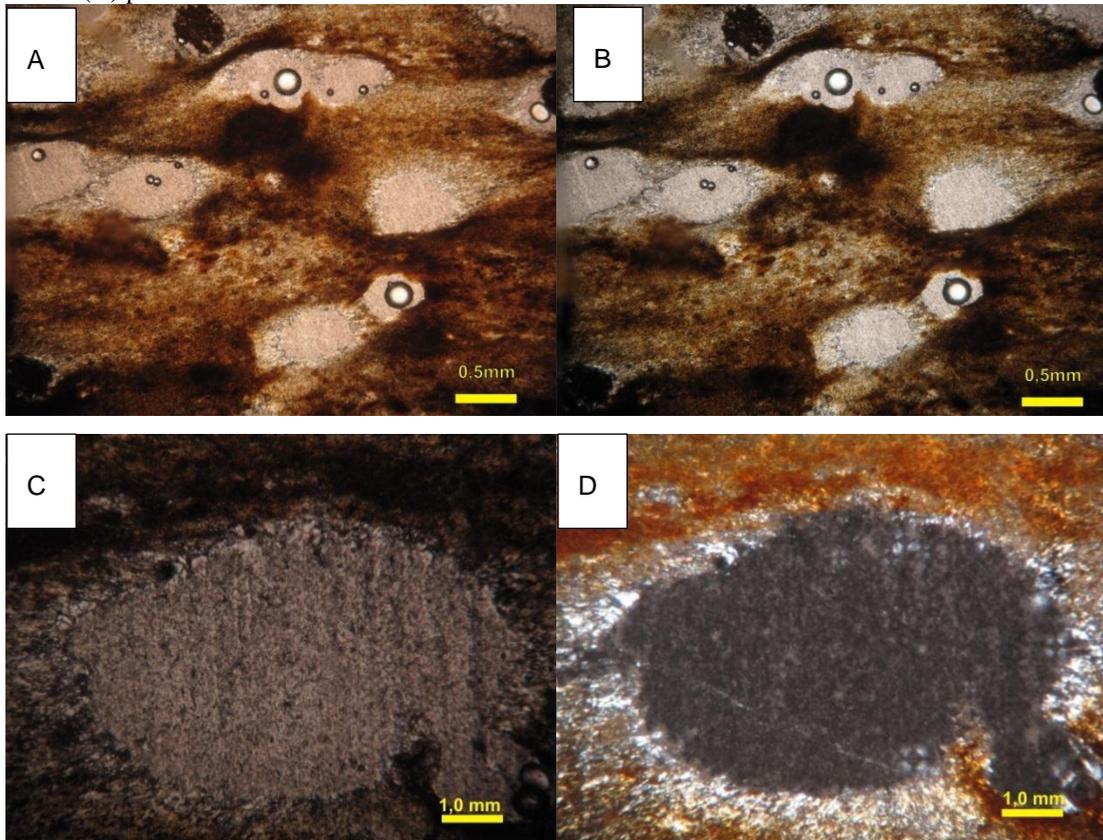


Fonte: O autor, 2013.

Dentre as feições primárias observadas, estão presentes algumas que lembram estruturas de esteiras algais, as quais estão condicionando a estratificação/laminação. Também, estão presentes níveis de sílica paralelos ou não ao acamamento sedimentar carbonático, veios de quartzo concordantes, discordantes a foliação principal e também evidências de sombra de pressão nos *ooides* (Figura 19).

Devido à maior grau de resistência consequente de suas características reológicas, essa litofácies exibe comportamento mais rúptil a deformação, que reflete em evidências eventuais, discretas e serão tratadas no capítulo 7 adiante. Em relação a uma possível associação com unidades existentes na literatura, a unidade OO Dolomito Estromatolítico pode ser correlacionada à Formação Morro do Calcário do Grupo Vazante.

Figura 19- Fotomicrografias do OO Dolomito Estromatolítico no ponto PV 254; (A) aspecto da rocha com polarizadores paralelos (B) polarizadores cruzado(C) Em maior detalhe com destaque para o box work de *ooïdes* e formação de sombra de pressão ao redor dos mesmos com polarizadores paralelos (D) polarizadores cruzados.

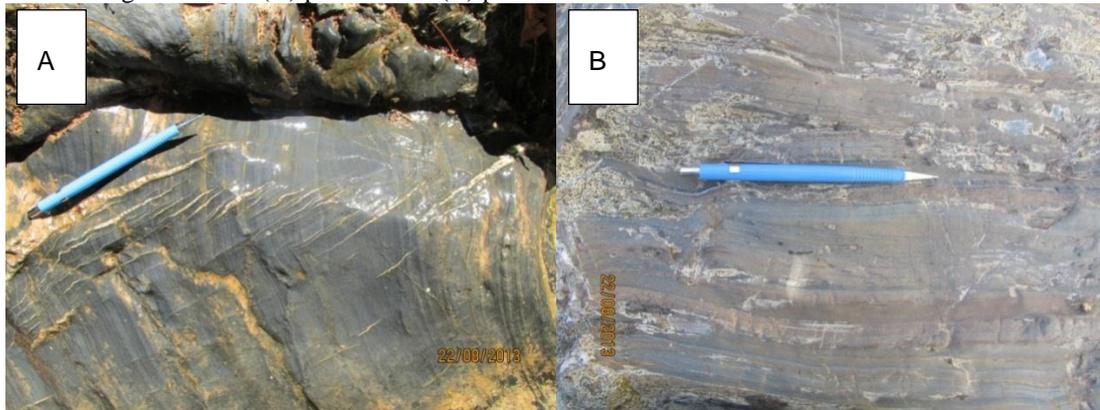


Fonte: O autor, 2014.

6.1.4 Ardósia Carbonosa Preta Silicificada

Essa unidade foi mapeada localmente, com distribuição areal de cerca de 26,6 Km². Sua ocorrência foi restrita a áreas de baixos topográficos, em quebras negativas do relevo (ao longo de drenagens). Exibe coloração escura (variando em tons de cinza), hábito maciço, maior resistência mecânica e elevada concentração de veios de quartzo que provavelmente estão associados à maior silicificação observada (Figura 20). Em escala de afloramento e também microscópica, pode ser observada estruturas proeminentes que serão analisadas a seguir no capítulo 8.

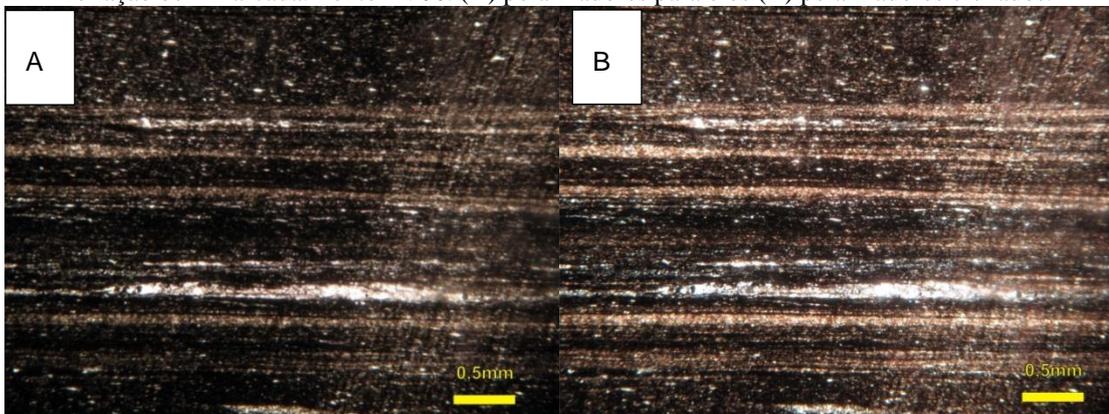
Figura 20- Aspecto maciço da ardósia carbonosa preta, que apresenta toponímia restrita apenas a algumas das drenagens da área (A) ponto PV05 (B) ponto PV06.



Fonte: O autor, 2013.

Microscopicamente, é uma rocha de granulometria muito fina com cristais subangulares a subarredondados muito deformados pela foliação ardosiana, apresentando-se estirados (Figura 21). Observam-se minerais submilimétricos de quartzo, mica branca (sericita) e clorita, bem como opacos anédricos estirados ou arredondados.

Figura 21- Fotomicrografias evidenciando a granulometria fina, aspecto textural da ardósia. Destaque para a foliação bem marcada. Ponto PV06. (A) polarizadores paralelos (B) polarizadores cruzados.



Fonte: O autor, 2014.

Em relação a uma possível correlação com as grandes unidades presentes na literatura, a Ardósia Carbonosa pode ser associada à Formação Serra da Lapa, unidade do topo do Grupo Vazante.