



IG | Instituto de Geociências

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL
PROJETO MARA ROSA - GO
SUBÁREA IV**

Arthur Souza do Amaral

Matheus Costa Bracioli

Yuri Rafael Pereira Weissel Patrocínio Silva

Campus Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília-DF, Brasil

Instituto de Geociências

Universidade de Brasília

Fevereiro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Geociências

MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL
PROJETO MARA ROSA - GO
SUBÁREA IV

Arthur Souza do Amaral
Matheus Costa Bracioli
Yuri Rafael Pereira Weissel Patrocínio Silva

*Relatório submetido ao Instituto de Geociências
como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia*

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas, IG/UnB _____

Orientador

Profa. Dra. Adalene Moreira Silva , IG/UnB _____

Examinadora Interna

Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges, IG/UnB _____

Examinador Interno

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Geociências

MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL
PROJETO MARA ROSA - GO
SUBÁREA IV

Arthur Souza do Amaral
Matheus Costa Bracioli
Yuri Rafael Pereira Weissel Patrocínio Silva

Coordenador

Prof. Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira

Vice-Coordenadora

Profª. Dra. Maria Emilia Schutesky Della Giustina

Orientadores

Prof. Dr. Elton Luiz Dantas

Prof. Dr. Guilherme de Oliveira Gonçalves

Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas

Profª. Dra. Natalia Hauser

Profª. Dra. Roberta Mary Vidotti

Prof. Dr. Valmir Silva Souza

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha mãe Sandra Amaral, que a partir de um certo momento da minha vida precisou exercer o papel de pai e mãe ao mesmo tempo. Agradeço pela força transmitida nos melhores e piores momentos da minha vida, sou grato por todo o apoio financeiro e, principalmente, emocional. Todos esses fatores foram primordiais para a minha formação, não somente como Geólogo, mas também como homem. Agradeço ao meu irmão Heitor Amaral e a toda minha família que, direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação.

Sou grato à minha namorada Jéssica Lorranna que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigado, todo o amor do meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Obrigado por estar comigo em momentos bons e ruins, tristes e felizes, mas sempre com o apoio emocional de que tudo iria dar certo. Sem você ao meu lado o trabalho não seria concluído.

Agradeço à Universidade de Brasília que me proporcionou viver momentos únicos ao lado de professores e colegas, que acabaram se tornando amigos. Sou imensamente grato ao professor José Eloi, por todo o esforço e dedicação para que eu e mais alguns colegas pudéssemos realizar este trabalho. Ao parceiro, mentor e amigo Lucas Teles, que sempre foi muito paciente e esteve disponível para tirar dúvidas a respeito de diversas matérias. Não poderia me esquecer também dos meus parceiros Miguel Oliveira, Heitor Augusto e todos os colegas e amigos do Projeto Santa Cruz, que fizeram de tudo para finalizar esta jornada complicada, porém, bem sucedida.

Ao professor Claudinei Oliveira e à professora Maria Emília, pela coordenação, e a todos os outros professores orientadores diretamente envolvidos neste Trabalho Final, sendo de suma importância para a sua execução. Sou muito grato ao meu amigo de longa data Murilo Faccioli e ao meu amigo Felipe Alves, os quais pude compartilhar diversos momentos do curso por meio da realização de matérias e trabalhos de campo. Por fim, sou grato aos meus parceiros e amigos de grupo, Matheus Bracioli e Yuri Silva, que foram de primordial importância para a confecção do trabalho como um todo, além de salvar boas risadas e contornar as dificuldades da melhor maneira possível. A todos o meu muito obrigado.

Arthur Souza do Amaral

A toda minha família, em especial meu pai Renato, minha mãe Sonia e minhas avós (Sonia e Vó Cida) que se ofereceram para apoiar um sonho tão distante que chegava a superar 600km. Me ajudaram em tudo, não me deixaram passar fome, sempre demonstraram apoio, confiança, carinho e saudade. Eu amo vocês, se cheguei até hoje é por causa de vocês e sempre terei o maior orgulho do mundo em dizer que vocês são minha família. Obrigado.

Aos meus colegas de área, Arthur, o mago dos desenhos que sabe questionar absolutamente tudo, fazendo com que tudo que eu faça evolua ao máximo, foi companheiro de guerra, presente e leal. Meu primo Yuri Mão na Graxa, que cresceu comigo, hoje é um irmão, sabe resolver problemas e criar hipóteses melhor do que ninguém, tem um pensamento genial para geologia e sabe dirigir um Santana melhor do que ninguém, obrigado por terem me ajudado chegar até aqui.

As meninas superpoderosas (Luiza, Fabi e Carol) que me ajudaram a amadurecer como aluno e como pessoa, com puxões de orelha e implicâncias que me tornaram mais responsável, além de sempre estarem presentes como amigas desde o primeiro semestre. Ao meu amigo João Carlos, que me acolheu como amigo, colega de quarto e conselheiro.

A todos meus professores, em especial os que me acolheram além do campo acadêmico e me trataram como igual, um amigo. A professora Roberta Vidotti, que incentivou, se importou e dedicou tudo que podia para formar os melhores profissionais possíveis. Ao coordenador Claudinei pela oportunidade e dedicação neste projeto, além das inspirações e frases de efeitos. Faço também um destaque especial ao meu orientador de iniciação científica Tiago Luis Reis Jalowitzki, responsável por influenciar e guiar meu avanço como pessoa, atribuindo responsabilidades que eu jamais imaginava ser capaz de assumir, oferecendo absolutamente todo tipo de ajuda, hoje, além de meu orientador, o considero meu amigo.

A todos os técnicos do IG, em especial ao Mendes que foi responsável por nos ensinar sobre a natureza e nos conduzir pelas jornadas como estudantes de geologia e também ao meu grande amigo Jairo, que sempre nos atende na guarita do IG com um sorriso no rosto, uma história pra contar e uma arte para mostrar.

A minha namorada, Graciella, que sempre me manteve positivo e confiante, aguentou e suportou a distância sem nunca ter deixado de demonstrar amor e carinho. Eu te amo. Jamais teria chegado aqui sem o auxílio proporcionado pelo sistema de assistência estudantil da UnB, então deixo aqui registrado meu muito obrigado à Universidade de Brasília que ofereceu tudo e mais um pouco para que meu sonho pudesse se realizar. Espero um dia estar à altura de todos que me acompanharam e ainda vão continuar me acompanhando nessa e nas próximas jornadas.

Pressure is a privilege.

Matheus Costa Bracioli

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Osvaldo e Antonina por me incentivar e apoiar nessa caminhada, não medindo esforços para me proporcionarem as melhores condições tornando possível o sonho de ser geólogo. Vocês são minha inspiração e motivo de querer ser melhor todo dia, muito obrigado por depositarem em mim tanta confiança, amor e carinho. Sou imensamente grato a vocês!

Os esforços feitos pelos meus pais seriam em vão sem um grupo de exímios professores, pacientes e sempre dispostos, com muita vontade de ensinar. Um muito obrigado aos mestres que tem a difícil tarefa de ensinar. Transmitir o conhecimento é uma arte, muitos dos ensinamentos foram além de conselhos de professor para aluno, foram ensinamentos de amigo para amigo, e que me tornaram uma pessoa e profissional melhores. Eu nunca vou esquecer de vocês e assim como quando eu precisei, e vocês estavam lá, eu vou estar à disposição para quando precisarem. Quando sobrar um lugar no carro ou ônibus, naquelas viagens de geólogo com carro dando defeito e pneu estourando, não se esqueçam de mim, e principalmente, não esqueçam de me chamar para o bar!

Olhando para trás parece que foi muito rápido, mas é agora que começou. O embasamento para continuar a trilha sem fim de um geólogo, sempre a estudar e se perguntando o porquê das coisas, as vezes sem entender exatamente como, quando e onde, mas sabendo qual caminho seguir para descobrir os segredos e longa história do nosso planeta Terra.

A dedicatória especial vai para minha companheira Fabiana, amor da minha vida, por me ajudar em todas as ocasiões, sendo meu porto seguro em todas ocasiões, me atuando e me ensinando a ser melhor cada dia, sendo sempre muito amorosa e carinhosa. As brigas e desentendimentos servem para entender que tudo é pequeno quando se tem um propósito maior, e perceber o quanto é bom estar juntos e amar alguém. Obrigado, sem você a vida seria muito difícil e sem graça.

Aos colegas de faculdade, irei sentir saudades, o dia a dia nos faz colocar uma viseira e só olhar para frente as vezes esquecemos de aproveitarmos nosso momento e ser felizes enquanto fazemos o que gostamos, mas eu garanto que se tiver com tempo e por perto eu chamo para tomar aquela gelada e é claro divagar sobre a geologia e falar dos perrengues de campo. Um muito obrigado a vocês também, os quais tive um prazer e honra de compartilhar sala e momentos inesquecíveis nesse ciclo que se fecha.

Yuri Rafael Pereira Weissel Patrocínio Silva

RESUMO

O Projeto Mara Rosa tem como caráter ser o Trabalho Final de Graduação em Geologia, realizado no ano de 2022 por alunos da Universidade de Brasília (UnB). O produto final deste Projeto é o mapa geológico, na escala 1:25000, percorrendo uma área de aproximadamente 645 km^2 , localizado na porção norte do Estado de Goiás, próximo ao município de Mara Rosa. A participação ocorre com 29 alunos, distribuídos em 11 áreas, e 9 professores. A área está inserida no Cráton São Francisco, na Zona Interna da Faixa Brasília, na porção do Arco Magmático de Goiás. No período de nove meses, ocorreu, em etapas pré-campo, o levantamento bibliográfico preliminar, processamento de imagens orbitais e de dados aerogeofísicos, que corroborou para as informações a respeito das estruturas e petrográficas que seriam vistas em campo. A partir disso, pôde-se interpretar todos os produtos gerados em conjunto com os dados obtidos em campo, o que possibilitou a criação de hipóteses e sugestões sobre eventos deformacionais, metamorfismo, evolução geológica e tectônica e potencial econômico da região. Por fim, os produtos finais do Projeto Mara Rosa foram a formulação do mapa geológico e estrutural integrado e do presente relatório, caracterizando os aspectos geológicos, as litologias, a geologia estrutural, a potencial econômica e a evolução tectônica da área.

Palavras-chaves: Zona Interna, Faixa de Dobramentos Brasília, Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, Mara Rosa, Campi-norte, Arco Magmático de Goiás.

ABSTRACT

The Mara Rosa Project is the degree completion report developed during the year of 2022, by geology students of Universidade de Brasília (UnB). The final product of this Project is a geological map, at a scale of 1:25000, covering an area of approximately 645 square kilometers area, located in the northern portion of the State of Goiás, close to the municipality of Mara Rosa. Participation takes place with 29 students, distributed in 11 areas, and 9 teachers. The area is inserted in the São Francisco Craton, in the Internal Zone of the Brasília Belt, in the portion of the Goiás Magmatic Arc. In the period of nine months, there was, in pre-field stages, the preliminary bibliographic survey, processing of orbital images and aerogeophysical data, which corroborated the information regarding the structures and petrographics that would be seen in the field. From this, it was possible to interpret all the products generated together with the data obtained in the field, which allowed the creation of hypotheses and suggestions about deformational events, metamorphism, geological and tectonic evolution and economic potential of the region. Finally, the final products of the Projeto Mara Rosa were the formulation of the integrated geological and structural map and the present report, characterizing the geological aspects, lithologies, structural geology, economic potential and tectonic evolution of the area.

Key-words: Internal Zone, Brasília Belt, Vulcanosedimentary Sequence Santa Terezinha, Vulcanosedimentary Sequence Mara Rosa, Mara Rosa, Campinorte, Goiás Magmatic Arc.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.2	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	2
1.3	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	3
1.3.1	CLIMA.....	3
1.3.2	RELEVO.....	4
1.3.3	VEGETAÇÃO.....	9
1.3.4	SOLOS.....	11
1.3.5	HIDROGRAFIA.....	13
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
1.4.1	PRÉ-CAMPO.....	15
1.4.2	CAMPO.....	16
1.4.3	PÓS-CAMPO.....	18
2	GEOLOGIA REGIONAL.....	19
2.1	UNIDADES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS.....	19
2.1.1	PROVÍNCIA TOCANTINS.....	19
2.1.2	MACIÇO DE GOIÁS.....	25
2.1.3	ARCO MAGMÁTICO DE GOIÁS.....	25
2.2	UNIDADES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS ASSOCIADAS A ÁREA DE ESTUDO.....	29
2.2.1	SEQUÊNCIA CAMPINORTE.....	30
2.2.2	SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR CAMPINORTE - PP2C.....	30
2.2.3	ARCO MAGMÁTICO MARA ROSA.....	31
2.2.4	SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR MARA ROSA.....	32
2.2.5	ORTOGNAISSES TONALÍTICOS.....	33
2.2.6	SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR SANTA TEREZINHA.....	34
2.2.7	SUÍTE AMAROLÂNDIA - NP3γ3AM.....	35
2.2.8	INTRUSÕES TARDI A PÓS-OROGÊNICAS.....	35
2.2.9	ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS E MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS.....	36

3	SENSORIAMENTO GEOLÓGICO E GEOFÍSICA AÉREA	37
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	SENSORIAMENTO REMOTO	37
3.3	AEROGEOFÍSICA	47
3.3.1	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	47
3.3.2	CARACTERÍSTICAS DO AEROLEVANTAMENTO.....	48
3.3.3	PROCESSAMENTO DE DADOS	49
3.3.4	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	54
3.3.5	INTERPRETAÇÃO DA SUBÁREA IV.....	61
4	1. GEOLOGIA DO PROJETO MARA ROSA	70
4.1	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	70
4.1.1	ARCO MAGMÁTICO CAMPINORTE.....	70
4.1.2	ARCO MAGMÁTICO MARA ROSA.....	73
4.1.3	GRUPO SERRA DA MESA	76
4.1.4	INTRUSIVAS TARDI A PÓS-TECTÔNICAS	76
5	GEOLOGIA LOCAL	78
5.1	LITOESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA	80
5.1.1	SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEIMENTAR MARA ROSA (NP μ MR)	80
5.1.2	ORTOGNAISSES MARA ROSA	88
5.1.3	UNIDADE HIDROTHERMAL.....	96
5.1.4	PLUTÔNICAS TARDI A PÓS-TECTÔNICAS	104
5.1.5	UNIDADES E LITOLOGIAS NÃO CARTOGRAFADAS	106
5.2	CONSIDERAÇÕES PETROGENÉTICAS	107
6	GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	111
6.1	GEOLOGIA ESTRUTURAL DO PROJETO MARA ROSA	111
6.1.1	DOMÍNIO I - TRANSBRASILIANO	112
6.1.2	DOMÍNIO II - MARA ROSA	113
6.1.3	DOMÍNIO III - BOM JESUS	115
6.1.4	DOMÍNIO IV - CAMPINORTE	116
6.2	GEOLOGIA ESTRUTURAL LOCAL.....	117
6.2.1	DOMÍNIO I.....	120
6.2.2	DOMÍNIO (II).....	134
6.3	CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS	136
7	GEOLOGIA ECONÔMICA.....	138
7.1	RECURSOS MINERAIS DO PROJETO MARA ROSA	139
7.1.1	SISTEMA PÓRFIRO-EPITERMAL.....	140

7.1.2	SISTEMA AURÍFERO OROGÊNICO	140
7.1.3	SISTEMA RESIDUAL/SUPERGÊNICO	141
7.1.4	MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS	141
7.2	GEOLOGIA ECONÔMICA LOCAL	143
7.2.1	SISTEMA PÓRFIRO BOM JESUS	144
7.2.2	GONDITOS - FE/MN ZACARIAS	153
7.2.3	MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS.....	153
8	EVOLUÇÃO TECTÔNICA	159
8.1	EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO ORÓGENO BRASÍLIA	160
8.2	EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO ARCO MAGMÁTICO GOIÁS	161
8.2.1	ESTÁGIO DE ARCO PALEOPROTEROZOICO	162
8.2.2	ESTÁGIO DE ARCO INTRA-OCEÂNICO NEOPROTEROZOICO	165
8.2.3	ESTÁGIO DE COLISÃO ARCO-CONTINENTE	167
8.2.4	ESTÁGIO COLISIONAL A PÓS-COLISIONAL	168
8.2.5	ESTÁGIO EXTENSIONAL PÓS-OROGÊNICO	169
8.3	MODELO EVOLUTIVO DO ARCO MAGMÁTICO MARA ROSA.....	170
9	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	172
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177

LISTA DE FIGURAS

1.1	Mapa de localização do projeto Mara Rosa	3
1.2	Dados coletados no intervalo de 1991 - 2021, temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos e horas de sol da região de Mara Rosa-GO, fonte: Climatedata.org.	4
1.3	Mapa Hipsométrico do Projeto Mara Mara Rosa.	5
1.4	Mapa de declividade do Projeto Mara Rosa com classes definidas pelo INCRA e domínios de declividade.	6
1.5	Modelo 3D gerado a partir do modelo digital de elevação (MDE) juntamente do mapa hipsométrico, bem como o perfil de elevação em metros com foco na Subárea IV. Visada da imagem para NE e exagero vertical de 3 vezes.	7
1.6	Unidades geomorfológicas do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).	8
1.7	Desenho esquemático com as fitofisionomias do Bioma Cerrado. Fonte: Ribeiro & Walter, 2008.	10
1.8	Mapa Vegetação segundo IBGE 2021	10
1.9	Mapa de solos segundo IBGE do Projeto Mara Rosa.....	11
1.10	Mapa de Bacias Hidrográficas da área do PMR, destaque para as subáreas em preto.	14
1.11	Mapa de pontos, onde cada dia é representado por círculos de cores diferentes.	17
2.1	Mapa esquemático das províncias brasileiras. À esquerda, a distribuição das rochas paleoproterozóicas no escudo brasileiro. T - Província Tocantins, B- Província Borborema, M - Província Mantiqueira, A - Faixa Araguaia, P - Faixa Paraguai, B - Faixa Brasília. Adaptado de Fuck <i>et al.</i> (2014). À direita, a disposição em maior detalhe dos cinturões inseridos na Província Tocantins (Fuck <i>et al.</i> 2017).....	20
2.2	Mapa Geológico do Orógeno Brasília (Modificado de Fuck <i>et al.</i> , 2017).	22
2.3	Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília e porção adjacente do Cráton do São Francisco, com indicação dos domínios cratônico, externo e interno. FBM = Faixa Brasília Meridional e FBS = Faixa Brasília Setentrional (Uhlein, 2012).	24

2.4	Mapa geológico do segmento Mara Rosa, evidenciando as sequências metavulcanossedimentar de Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670- 600 Ma). Modificado de Oliveira <i>et al.</i> (2016).....	26
2.5	Porção leste da Província Tocantins evidenciando os segmentos dos arcos magmáticos Mara Rosa e Arenópolis. Retirado de Junges <i>et al.</i> (2002).....	28
2.6	Mapa geológico do Projeto Mara Rosa gerado a partir de dados fornecidos pela CPRM - Folha Campinorte SD.22-Z-B-I.	29
3.1	Diferentes composições coloridas utilizadas, seguindo da esquerda para a direita: 423, 432 e 321, respectivamente.	39
3.2	Mapa base Regional do projeto Mara Rosa.	41
3.3	Mapa base subárea IV	42
3.4	Mapa Base de localização subárea IV.....	42
3.5	Mapa de lineamentos de relevo e drenagem regional utilizando SRTM.....	44
3.6	Roseta de lineamentos regional.	44
3.7	Mapa de zonas homólogas de drenagens do projeto Mara Rosa.	45
3.8	Mapa de localização do levantamento aerogeofísico Projeto: Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa.....	49
3.9	Fluxograma representando as etapas do processamento de dados magnéticos	50
3.10	Mapas geofísicos contendo os produtos gerados associados à magnetometria, (A) mapa de anomalia magnética, (B) mapa de primeira derivada, (C) mapa de gradiente horizontal total, (D) sinal analítico 3D.	51
3.11	Fluxograma resumido das etapas do processamento dos dados gama	52
3.12	Mapas de gamaespectrometria do Projeto Mara Rosa com contagem total (CT), Potássio (K), Tório (eTh) e Urânio (eU).	52
3.13	Prancha com os mapas de gamaespectrometria em (A) RGB e (B) CMY.	53
3.14	Mapa de lineamentos magnéticos gerados sobre o produto de primeira derivada vertical com diagrama de rosetas com n=248.....	55
3.15	Mapa de primeira derivada horizontal (1DZ) com áreas representando os domínios magnéticos de A-G.....	56
3.16	Mapa de domínios magnéticos gerados sobre o produto de sinal analítico 3D, com 18 domínios atribuídos.	58
3.17	Mapas de gamaespectrometria, à esquerda mapa RGB e à direita mapa RGB com domínios sobrepostos.....	61
3.18	Mapas magnetométricos gerados com lineamentos com trend preferencial NE-SW.	62
3.19	Primeira derivada vertical com lineamentos e roseta gerada para subárea IV.....	63
3.20	Mapa de domínios baseado no sinal analítico 3D e 1DZ.	64
3.21	Mapas de gamaespectrometria da subárea IV.	66
3.22	Mapa de domínios gamaespectrométricos e mapa geológico-geofísico.....	68

4.1	Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada).	72
5.1	Mapa geológico da subárea IV. O mapa geológico em escala correta 1:25.000 encontra-se nos Anexos.	79
5.2	(a) Afloramento em lajedo de talco-xisto pertencente à unidade Sequência Mara Rosa (ponto TF-IV-10) com suas principais características bem marcadas, como o tato untuoso. (b) amostra mesoscópica coletada no mesmo ponto de “a”, evidenciando tonalidades cinza-esverdeadas, granulação fina característica, foliação penetrativa marcada pelos filossilicatos presentes e o tato untuoso muito presente em decorrência da quantidade de talco.	80
5.3	Fotomicrografias do talco-xisto observado no ponto TF-IV-10. (a) Fotomicrografia em nicóis paralelos evidenciando o talco xisto de cor marrom pálida, textura predominantemente lepidoblástica definida pelos cristais de talco com hábito fibroso e relevo moderado, apresenta também cristais de tremolita marcando um pequeno domínio nematoblástico, um hábito fibroso alongado em formatos aproximadamente losangulares. (b) Nicóis cruzados da fotomicrografia anterior, mostrando a diferença de cor de interferência entre os cristais de talco e tremolita. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos da mesma amostra, porém com cristais de muscovita em um grande domínio lepidoblástico envolvendo um cristal de epidoto observado na porção superior direita. (d) Fotomicrografia de C, porém, à nicóis cruzados evidenciando a diferença de cor de interferência entre os minerais.	82
5.4	(a) Comparação de diversos blocos de anfíbolitos em diferentes graus de intemperismo e/ou alteração, coletados próximos ao ponto TF-IV-161. (b) Amostra mesoscópica referente ao anfíbolito coletado no ponto TF-IV-161 com uma granulação fina à média, apresentando cristais de hornblenda que envolvem pequenas porções de plagioclásio. (c) Afloramento em lajedo do ponto TF-IV-167, representativo dos afloramentos de anfíbolito vistos na subárea IV, com veios e vênulas de quartzo e epidoto que cortam a massa de anfíbólio e feldspato.....	84
5.5	Fotomicrografias referentes à amostra coletada no ponto TF-IV-87. (a) observa-se a nicóis paralelos, uma variação clara entre três minerais bem definidos, sendo uns com um pleocroísmo variando de verde claro a escuro (actinolita), outros com uma coloração cinza escura presente em um aglomerado (epidoto) e, por fim, um com relevo muito baixo e nenhum tipo de pleocroísmo (quartzo). (b) Mesma posição de A, em nicóis cruzados, onde é possível identificar a textura simplectítica. Em (c) e (d) é possível observar alguns dos minerais anteriormente descritos, porém com a presença de minerais de coloração avermelhada (óxi/hidróxidos) em associação direta com o anfíbólio e envolvendo cristais de magnetita.....	85
5.6	Afloramento centimétrico de gondito em bloco tabular observado no ponto TF-IV-38. A coloração preta está diretamente associada aos óxidos de manganês.....	88

5.7	Foto de amostra de mão com uma amostra representativa de um Bt-Hbl-gnaiss tonalítico da unidade dos Ortognaisses Mara Rosa, com bandamentos milimétricos deformados com geometria dobrada, com bandas félsicas de composição quartzo-feldspáticas e bandas máficas compostas por cristais de biotita e hornblenda.....	90
5.8	Foto de amostra de mão de uma rocha classificada como Hbl-gnaiss tonalítico.....	91
5.9	(a) Afloramento em lajedo de biotita-hornblenda gnaiss tonalítico, bandado, com veios concordantes, fortemente deformados e de tamanho métrico observado no ponto TF-IV-104. (b) Bloco métrico observado no mesmo afloramento, porém, com um grande veio de quartzo cortante que segue a direção preferencial da foliação. (c) Amostra de mão referente ao mesmo ponto, de coloração cinza-esverdeada, com foliação penetrante e uma textura lepidoblástica. Existe ainda uma porção levemente deformada na parte inferior direita da amostra, demonstrando um deslocamento das foliações.	92
5.10	Fotomicrografias da amostra coletada no ponto TF-IV-104. (a) Assembleia mineral observada em nicóis paralelos, composta por biotita com hábito lamelar, relevo médio e forte pleocroísmo variando de marrom claro a escuro, dois tipos de anfíbios sendo hornblenda com um pleocroísmo voltado para um verde escuro e actinolita para um verde mais claro, epidoto com elevado relevo, quartzo e plagioclásio com baixos relevos e incolores. Apresenta textura nematoblástica marcadas pelos cristais de anfíblio orientados, com domínios granoblásticos pelos cristais de quartzo e plagioclásio e raros domínios lepidoblásticos com acúmulos de cristais de biotita orientados. (b) Mesma imagem, porém em nicóis cruzados.	93
5.11	(a) Afloramento em lajedo referente ao ponto TF-IV-128 evidenciando feições do tipo mixing-mingling. (b) Representação esquemática da diferenciação das faixas félsicas das intermediárias a máficas. (c) Variação bem marcada entre as diferentes faixas, ainda referente ao mesmo ponto. (d) Representação esquemática da diferenciação.....	94
5.12	Diferentes amostras mesoscópicas coletadas no ponto TF-IV-128. (a) Segregação bem marcada evidenciando uma diferenciação entre uma faixa félsica composta por plagioclásio e quartzo e uma mais máfica. composta por biotita, anfíblio, granada e magnetita. (b) Amostra representativa da porção mais félsica como um todo.	95
5.13	Mapa comparativo das unidades mapeadas e a gamaespectrometria com K%, à esquerda mapa das unidade litológicas mapeadas evidenciando as rochas que possuem alto K, com foco nas rochas da Unidade Hidrotermal, à direita o Mapa gamaespectrométrico de K%.	97

- 5.14 Fotografia evidenciando o contato entre os cianititos puros, relevo mais acentuado formado pela Serra de Bom Jesus (acima da linha amarela tracejada), e as associações aluminosas, contemplada pelas rochas com presença de cianita e inseridas em um relevo pouco acentuado (abaixo da linha amarela tracejada). É válido notar ainda a vegetação característica espaçada e caducifólia alocada por toda extensão da Serra. 98
- 5.15 Afloramento em lajedo de cianitito observado no ponto TF-IV-126. (a) e (b) Cristais de cianita ressaltados na capa intempérica devido ao caráter refratário em relação ao material matricial. (c) Amostra do mesmo ponto, indicando a variação de coloração devido intemperismo (ocre até azulado). 99
- 5.16 (a) Amostra de mão de um muscovita-cianita-quartzo xisto observada e coletada no ponto IV-116. Apresenta uma coloração arroxeadada em decorrência da alteração causada pelo intemperismo. (b) Amostra de mão de um cianita-muscovita-quartzo xisto coletada no ponto IV-125, com uma alteração pouco evidente, ao contrário do observado em A. Apresenta uma deformação bem marcada e feições de crenulação. 100
- 5.17 Fotomicrografias da amostra retirada do ponto TF-IV-116. (a) Cristais de cianita com relevo elevado englobados por cristais de muscovita em nicóis paralelos. (b) Domínio lepidoblástico marcado pelos cristais de muscovita orientados segundo planos de foliação e domínio diablástico marcado por cristais de cianita sem orientação preferencial, ambos em nicóis cruzados. Os cristais de muscovita apresentam as duas direções de clivagem bem marcadas (c) Cristais de muscovita envolvendo minerais opacos e em domínio lepidoblástico. (d) Os mesmos cristais de muscovita anteriormente citados, porém, com a representação da elevada cor de interferência típica deste mineral. 102
- 5.18 (a) Amostra mesoscópica evidenciando um contato entre uma porção de coloração acinzentada composta essencialmente por anfibólio e uma porção de coloração cinza esverdeada rica em anfibólio e epidoto. (b) Amostra mesoscópica típica desta unidade, sendo composta essencialmente por anfibólio e epidoto neoforado. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos da amostra do ponto TF-IV-166 composta por hornblenda, epidoto e quartzo. É possível ver a grande porcentagem de epidoto na amostra em um hábito completamente vermiforme e, por outro lado, os contatos poligonais entre os cristais de hornblenda e quartzo, indicando o equilíbrio na paragênese. (d) Fotomicrografia do mesmo ponto, porém em nicóis cruzados. 104

5.19	(a) Afloramento em lajedo referente ao ponto TF-IV-26. (b) Representação esquemática do contato entre o Ortognaisse Mara Rosa deformado e bandado (porção intermediária superior da foto) e o Leucotonalito Bom Jesus pouco deformado e intrudido entre os planos de foliação (porção intermediária inferior da foto).....	105
5.20	Mapa geológico da subárea IV. O mapa geológico em escala correta 1:25.000 encontra-se nos Anexos.	106
5.21	(a) Afloramento em lajedo de grafita quartzito observado no ponto TF-IV-156. (b) Amostra de mão do grafita quartzito coletada no mesmo ponto e utilizada para confecção da lâmina delgada. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos do grafita quartzito evidenciando aproximadamente 30% de grafita, com hábito lamelar e uma leve orientação, e 70% de quartzo em uma textura granoblástica. (d) Fotomicrografia na mesma posição da C, porém, em nicóis cruzados reforçando as informações supracitadas.....	107
5.22	(a) Bloco rolado de veio pegmatóide de turmalina com coloração arroxeadada, em decorrência da alteração. (b) Grandes cristais de muscovitas, com tamanhos centimétricos e hábitos lamelares, apresentando uma geometria de geminação em triângulo associadas a um veio pegmatóide.	109
5.23	Diagrama ternário ACF da fácies anfibolito, em verde claro, campo associado a protólitos basálticos, retirado de Yardley 2021, p 180	110
6.1	Mapa de Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa.....	112
6.2	Estereogramas referente ao Domínio Estrutural I - Transbrasiliano. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 40 a 60° para SW.....	113
6.3	Estereogramas referente ao Domínio Estrutural II - Mara Rosa. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de > 60° para NE.	114
6.4	Estereogramas referentes ao segmento sul do Domínio Estrutural II - Mara Rosa A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando > 60° para W; D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 30 a 60° para NE.	114
6.5	Estereogramas referente ao Domínio Estrutural III - Bom Jesus. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 10 a 20° para NE.	115

6.6	Estereogramas referente ao Domínio Estrutural IV - Campinorte. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30° a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 5° a 20° para NE e SW.	117
6.7	Mapa de domínio estruturais da subárea IV com estereogramas representando a foliação (Sn) e lineação (Ln), de cada domínio.	118
6.8	Mapa de Trajetória de Foliações, sobre o STRM, com trajetória de foliação em amarelo, lineamentos de relevo em preto pontilhado, drenagens em azul, foliações em preto e lineações em vermelho.	119
6.9	Fotos do afloramento referente ao ponto TF-IV-168. (b) Apresenta a representação esquemática em preto das linhas que separam bandas máficas de félsicas e conseqüentemente a indicação do padrão de dobramento, com dobras sinformes e antiformes, fechadas, não cilíndricas, não simétricas, com caimento de eixo para SW e vergência para leste. (d) Representação esquemática indicando um movimento dextral de um sigmóide do tipo delta de composição félsica no biotita ortognaisse.	121
6.10	Afloramento do ponto TF-IV-111 com estruturas dúcteis representativas do subdomínio II.I. Exibe dois padrões de dobra diferentes, de mesma vergência NW nessa localização. Ocorre ainda no ponto zona de cisalhamento (representado por C'), estrutura que posicionou as duas dobras no mesmo patamar.....	123
6.11	Afloramento referente ao Domínio I, denotando trama dúctil bem marcada. Ponto TF22-IV-55 com deformações dúcteis, apresentando bandamentos milimétricos a centimétricos, com variações planares, abruptas e contínuas entre bandas máficas e félsicas. (c) Foliação com direção de mergulho 003/65, formando ainda dobras centimétricas, isoclinais e recumbentes com vergência para leste, como destacado em (d).....	124
6.12	Afloramento do ponto TF-IV-100, inserido no domínio 2. (a) Foto do afloramento de biotita hornblenda ortognaisse tonalítico com estruturas dúcteis (b) Representação esquemática de como estão os contatos entre bandas máficas e félsicas, conseqüentemente indicando a presença de estruturas dúcteis, observadas em ortognaisse. É possível observar boudins registradas em bandas félsicas, com Pinch e Swell de comprimento máximo de onda de 40 cm e espessura máxima de 25 cm. (c) Foto do mesmo afloramento em outra região (d) Representação esquemática de estrutura do tipo bookshelf, caracterizada por deslocamento contínuo de blocos homogêneos angulosos dentro de um mesmo conjunto de rocha, neste caso, com movimento relativo sinistral.....	125

6.13	Afloramento do ponto TF-IV-104, mostrando estruturas dúcteis representativas do domínio 2. (b) Apresenta dobra recumbente com dobras menores e parasíticas com feições típicas em Z, M e S. No mesmo afloramento é observado estruturas do tipo bengalas (d), indicando um estágio avançado na deformação, implicando na transposição de dobras. (f) Exibe um típico indicador cinemático com movimento sinistral, observado na visada perpendicular à foliação.	126
6.14	Estereograma de polos e eixos de dobras referente ao ponto 168, indicando o padrão geral para o domínio, com dobras abertas e fechadas e principalmente caimento do eixo para SW e vergência para leste.....	127
6.15	Afloramento do domínio I, mais especificamente o ponto TF-IV-26, o qual evidencia uma estrutura dúctil-rúptil onde o cisalhamento, com movimento destal e direção norte-sul, gera dobra de arraste na foliação de direção E-W, assim como abertura de espaço em forma de sigmóide, preenchida por quartzo.	128
6.16	Fotomicrografias da amostra do ponto TF-IV-98 (cianita xisto). (a) Em nicóis paralelos e (b) também em nicóis paralelos, porém com representação esquemática dos eixos (em amarelo) e das clivagens (em preto), indicando padrão de dobramento do cristal de muscovita (msc) tipo kink bands.....	129
6.17	Diagrama de roseta indicando a presença de pelo menos 3 famílias do domínio I, F1 (N10-20E), F2 (E-W), F3 (N-S), com direção média N10E, com população de 71 medidas.	130
6.18	Afloramento observado no ponto TF22-IV-167 do domínio I, exibindo uma estrutura do tipo rúptil-dúctil. (b) Apresenta 3 famílias de fraturas, delimitadas de maneira esquemática, que de forma cronológica surgem na seguinte ordem: E-W, NE e N-S. A última fratura N-S apresenta indicador cinemático destal, assim como visto no ponto TF-IV-26, com orientação N-S.	131
6.19	Afloramento do ponto TF22-IV-163, referentes ao Domínio I. É possível observar estruturas rúpteis do tipo par conjugado de fraturas, evidenciando vetor de maior força na direção N-S (σ_1), com rejeito de 1mm, sendo F2 (N35E) anterior e deslocada pela F3 (N45W).	132
6.20	Fotos referentes ao ponto TF-IV-29, presente no domínio I e evidenciando estruturas rúpteis. (b) Exibe uma fratura em pluma registrada em leucotonalito, mostrando direção de propagação do maior esforço (σ_1) de direção NW. (d) Mostra pares conjugados de fraturas com direção de maior esforço N-S, evidenciado pelas direções de fratura N45E e N45W. Já (f), denota um rejeito de 1 mm entre fraturas, sendo a de direção N45E a primeira a ser formada e a de direção N45W formada posteriormente.	133

6.21	Fotomicrografias da amostra do ponto TF-IV-10 classificada como talco xisto. (a) Está representada em nicóis paralelos e (b) em nicóis paralelos, porém, com representação esquemática dos eixos (em amarelo) e das clivagens (em preto), indicando deformação assimétrica do cristal de muscovita (msc) descrita como uma microestrutura tipo mica fish. (c) e (d) apresentam a mesma representação esquemática da microestrutura, porém em nicóis cruzados com deformação assimétrica horária.	135
6.22	Diagrama de rosetas indicando a presença de pelo menos duas famílias de fratura no Domínio II, F1 (E-W) e F2 (NE/NW), com população de 16 medidas.	136
6.23	Representação esquemática de um padrão geométrico tipo “flor positiva”, geometria característica de uma sistema deformacional transpressivo.	137
6.24	Representação esquemática indicando relação de corte entre estruturas de diferentes caráter mecânico, com o rúptil (quartzo cataclástico) cortando uma estrutura dúctil (milonito), com orientação do strike 271°-91°.	137
7.1	Mapa das minas e depósitos minerais no contexto do Projeto Mara Rosa, adaptado do banco de dados da SIEG 2009.	139
7.2	Seção obtida a partir de news release Lundin Mining TM , evidenciando as rochas encaixantes e principais mineralizações com teores de até 1.8% de Cu e 3.61 g/t de Au no depósito Saúva. Notar as zonas de sulfetação de pirita, calcopirita e bornita, e observar direção NE do corpo (alinhado à serra de Bom Jesus)	145
7.3	Em (A) amostra de cianitito vista em campo coletada no ponto TF-IV-126, com cianitas centimétricas. Em (B) lâmina a nicóis cruzados mostrando associação dos cianititos com muita cianita, minerais com textura próxima a granoblástica equigranular do ponto TF-IV-98. Em (C) lâmina mostrando cianita xisto com cianitas porfiroblásticas em relação aos demais minerais do ponto TF-IV-116.	146
7.4	Amostra referente ao ponto TF-IV-166, de um anfibolito epidotizado composto por hornblenda (50%), quartzo (35%), epidoto (10%), rutilo (2%), magnetita, pirita e martita (1%), com textura fina e forte alteração associada a hidrotermalismo. Em lâmina, nas bandas alteradas não é possível identificar a sua foliação, mostrando como a alteração é pervasiva modificando a estrutura da rocha e seus minerais causado possivelmente pela proximidade à intrusão do pórfiro (Saúva). ...	148
7.5	Exemplares observados durante o mapeamento da porção sul da subárea IV, apresentando em (A) um anfibolito fino com epidotização moderada alojado entre as foliações da rocha foto do ponto TF-IV-117. Em (B) epidotito, rocha com composição majoritária de epidoto e quartzo e (C) rocha intermediária silicificada. Fotos (B) e (C) do ponto TF-IV-137.	149

7.6	Evolução mineral proposta para Serra dos Picos e Serra do Caranã (modificado de Estela Nascimento, 2014). Notar a associação mineral semelhante à já descrita para subárea IV correlata ao trabalho feito. De forma simples xistos ricos em cianita (halo argílico), rochas ricas em biotita (halo fílico/potássico) e rochas ricas em epidoto (halo propilítico).....	150
7.7	Desenho esquemático em (A) e (B) evidenciando a evolução do modelo pórfiro no depósito de chapada, mas que também pode ser representativa do depósito pórfiro Saúva pelo contexto geológico e relativa proximidade. Em (C) é possível observar o halo argílico representado pela Serra de Bom Jesus da área IV cisalhado pela Z.C.B.J (Zona de Cisalhamento Bom Jesus) com movimento reverso com topo para SE. Adaptado de C.G. Oliveira <i>et al.</i> 2016.	152
7.8	Amostra de campo, ponto TF-IV-102, apresentando cianita centimétrica de coloração azul em meio a matriz oxidada de coloração amarelada.	154
7.9	Solo observado próximo ao rio Formiga, evidenciando feições semelhantes a gretas de contração, clássica feição de ambientes com elevado teor em argilas.	156
7.10	(A) Amostra colhida em campo de grafita-quarzo do ponto TF-IV-156, muito friável e de coloração acinzentada, Em (B) lâmina da mesma amostra contendo grafita 70% e quartzo 30%, exibe ainda box work devido a minerais já mobilizados.	157
8.1	Modelo de evolução tectônica do Maciço de Goiás durante a fase do orógeno (2200 a 2000Ma). Destaque para a formação do Arco Campinorte, o qual é a única unidade contida no contexto do PMR (Adaptado de Cordeiro et.al, 2017).	164
8.2	Estágio de Arco Paleoproterozoico, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma. CP = Arco Campinorte.....	165
8.3	Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. CP = Arco Campinorte, MR = Arco Mara Rosa.....	166
8.4	Estágio de Colisão Arco-Continente. ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.....	168
8.5	Estágio Colisional a Pós-Colisional. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte....	169
8.6	Estágio Extensional a Pós-Orogênico. Destaque para o colapso aproveitando as estruturas formadas durante o Transbrasiliano. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.....	170

8.7	Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira <i>et al.</i> (2004).	171
9.1	Mapa geológico do Projeto Mara Rosa gerado a partir de dados fornecidos pela CPRM - Folha Campinorte SD.22-Z-B-I	174
9.2	Comparação entre mapas geológicos indicando a evolução cartográfica realizada na Subárea IV.	176

LISTA DE TABELAS

1.1	Tabela dos parâmetros de classificação do relevo de acordo com a normativa 31/06 do INCRA.....	6
1.2	Definição dos domínios de declividade com base na classificação do INCRA.....	7
1.3	Quadro resumo das atividades e etapas do Projeto Mara Rosa.	15
3.1	Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.	39
3.2	Descrição dos domínios magnéticos.....	57
3.3	Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.	59
3.4	Descrição dos domínios de gamaespectrometria.....	60
3.5	Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.	67
8.1	Resumo dos principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas da área do PMR.....	160

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Siglas

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
AM	Anomalia Magnética
ASF	Alaska Satellite Facility
CA	Cráton Amazônico
CAST	Academia Chinesa de Tecnologia Espacial
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CMT	Campo Magnético Total
CP	Cráton Paranapanema
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CSF	Cráton São Francisco
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
FBN	Faixa Brasília Norte
FBS	Faixa Brasília Sul
FUNMINERAL	Fundo de Fomento à Mineração
GHT	Gradiente Horizontal Total
GPS	Global Positioning System
IG	Instituto de Geociências
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
Landsat	Land Remote-Sensing Satellite (System)
LWIR	Longwave Infrared
MDE	Modelo Digital de Elevação
MME	Ministério das Minas e Energia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	Near-infrared spectroscopy
OLI	Operational Land Imager
PALSAR	Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

PCA	Plano de Controle Ambiental
PMR	Projeto Mara Rosa
PRISM	Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping
PSX	Sintaxe dos Pirineus
RGB	Red - Green - Blue
RIGeo	Repositório Institucional de Geociências
SA3D	Sinal Analítico em três dimensões
SGMTM	Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação do Governo do Estado de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMR	Sequência Mara Rosa
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
SST	Sequência Santa Terezinha
SWIR	Shortwave Infrared
TIRS	Thermal Infrared Sensor
UnB	Universidade de Brasília
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
WPM	Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura
ZCA	Zona de Cisalhamento Amarolândia
ZCBJ	Zona de Cisalhamento Bom Jesus
ZCR	Zona de Cisalhamento Ribeirãozinho

Abreviaturas

Ga	Bilhões de anos
Ma	Milhões de anos
ppm	Partes por milhão
eTh	Equivalente de Tório
eU	Equivalente de Urânio
Dx	Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo X
Dy	Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo Y
Dz	Primeira derivada vertical do CMA
aln	alanita
anf	anfibólio
ap	apatita
bo	bornita
bt	biotita
chl	clorita
cpx	clinopiroxênio
cpy	calcopirita
dio	diopsídio
ep	epidoto
grt	granada
hbl	hornblenda
ilm	ilmenita
kf	feldspato potássico
ky	cianita
mg	magnetita
ms	muscovita
pl	plagioclásio
plg	plagioclásio
pr	pirrotita
py	pirita
qtz	quartzo
rt	rutilo
sr	sericita
st	estauroлита
ttn	titanita

Capítulo 1

Introdução

A história da evolução tectônica e geologia da região da Província Tocantins ainda guarda grandes mistérios que desde o início do século XX vêm sendo gradativamente desvendados desde 1700 pelos bandeirantes, que descobriram o ouro como um dos primeiros recursos minerais. Os trabalhos na região intensificaram-se após a descoberta de grandes depósitos minerais que mostram a riqueza local. Além de um oásis aos olhos da Geologia Econômica, ainda é um grande quebra cabeças geológico/tectônico da colisão dos crátons Amazônico, São Francisco e do Rio de La Plata e entre esses o surgimento de orógenos dos quais o Orógeno Brasília é o terreno no qual debruçamos nossos estudos. A partir do exposto, esse estudo pretende colaborar para um melhor entendimento de sua evolução e quiçá contribuir com o surgimento de novos depósitos.

A disciplina de Mapeamento Geológico Final em Geologia compõe a grade curricular do curso de graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB, que inclui: revisão bibliográfica, mapeamento geológico em escala de semidetalhe, confecção do relatório final, mapa geológico integrado, apresentação e defesa. Com as complexidades da retomada do ensino presencial, esse mapeamento foi realizado no período de 16 de Setembro a 3 de Outubro.

A área do mapeamento está localizada na porção sudeste do estado de Goiás, próximo à cidade de Mara Rosa. A área é dividida em 10 subáreas, sendo 9 das áreas com $62,5 \text{ km}^2$ e uma com 80 km^2 . Contou com a participação de 28 alunos, sob coordenação dos professores Dr. Claudinei Gouveia, Dr. Elton Dantas, Dra. Natalia Hauser, Dr. Gustavo Viegas, Dr. Guilherme Gonçalves, Dr. Valmir Souza, Dra. Maria Emília, Dra. Roberta Vidotti e Dr. Henrique Llacer Roig. O presente relatório compila os dados obtidos e interpretados para a Subárea IV, pelos estudantes: Arthur Souza do Amaral, Matheus Costa Bracioli e Yuri Rafael Pereira Waissel Patrocínio Silva.

1.1 Objetivos

Do ponto de vista histórico, o principal mapeamento em escala semi regional (1:25.000) foi realizado nas proximidades da área pelo projeto Mutunópolis, que representou o Trabalho Final de 2006 dos alunos de geologia da Universidade de Brasília (UnB). A área selecionada para o mapeamento atual, entretanto, não foi contemplada em estudos anteriores e carece de informações mais detalhadas.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é relacionar os aspectos litológicos, estratigráficos e estruturais da geologia da região e, assim, gerar um mapa geológico integrado em escala de semidetalhe (1:25.000). O Trabalho de Mapeamento Final do curso de geologia, como atividade curricular, busca aplicar e refinar os conhecimentos adquiridos durante a graduação, incluindo especificamente os fundamentos de todas as disciplinas anteriores e correlatas à este presentes no currículo vigente para obtenção do grau de bacharel para titulação de geólogo pela Universidade de Brasília.

1.2 Localização e Vias de Acesso

A área de estudos do Projeto Mara Rosa - Trabalho final de graduação em Geologia pela Universidade de Brasília referente ao ano de 2022 - está localizada a noroeste do estado de Goiás, próximo às cidades de Amaralândia, Alto Horizonte e a Sudoeste de Mara Rosa, cidade que serviu de base para o projeto.

Mara Rosa está há 338 quilômetros de Brasília seguindo pela BR-080, passando por Brazlândia e os municípios de Padre Bernardo, Barro Alto até chegar a BR-153 (Belém-Brasília), sentido Uruaçu e depois Campinorte. O acesso às áreas pode ser feito a norte pela GO-573 ou sul pela GO-347 (figura 1.1), em ambos deve-se pegar estradas de chão para chegar às áreas, que apesar de não serem pavimentadas estão em boas condições e tem grande trânsito de veículos.

Foi utilizado o Shapefile do banco de dados da agência goiana de infraestrutura e transportes (Goinfra) como base para aquisição das estradas pavimentadas e não pavimentadas com intuito de programar quais seriam as rotas adotadas durante os dias de campo. A esse banco de dados foi acrescido outras estradas não mapeadas para a área de estudo que foram obtidas por esta equipe por meio de interpretação de imagem de satélite.

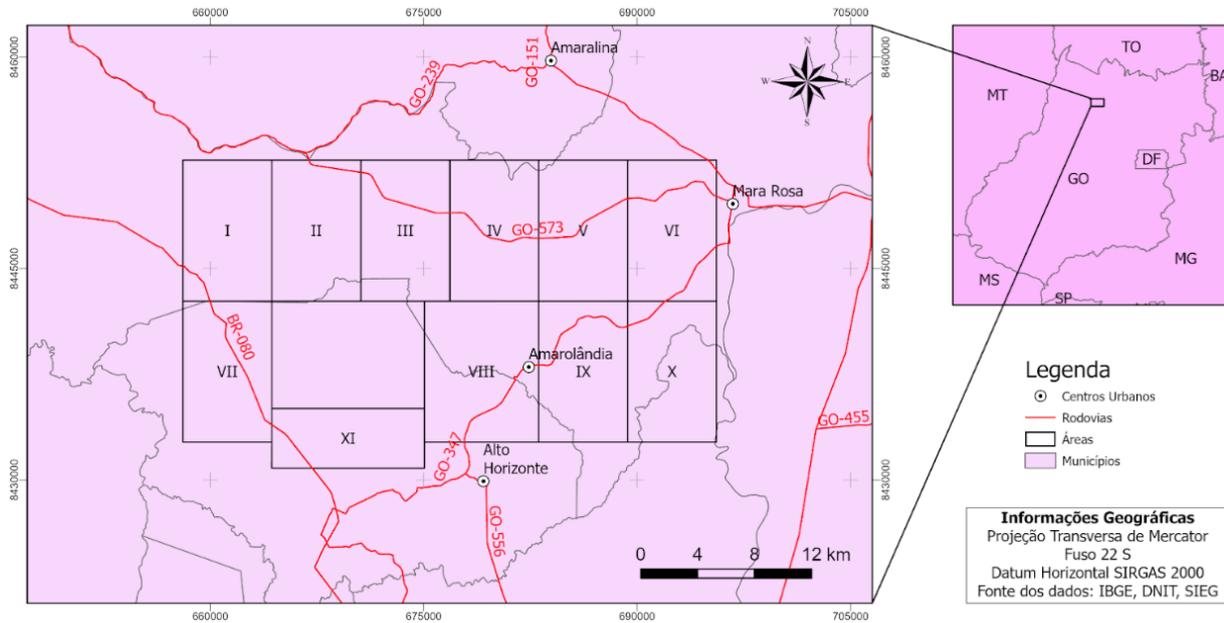


Figura 1.1: Mapa de localização do projeto Mara Rosa

1.3 Aspectos Fisiográficos

1.3.1 Clima

O clima da região é caracterizado como Aw, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, ou seja, apresenta dois períodos cujas medidas térmicas e pluviométricas são bem distintas (Figura 1.2). Um período, durante a primavera e o verão, é caracterizado por temperatura quente e aumento das chuvas; o outro, durante o outono e inverno, é caracterizado por redução das chuvas e pequena queda térmica. O mês com maior umidade relativa é Janeiro (81.02 %). O mês com a umidade relativa mais baixa é Agosto (36.14 %). O mês com maior número de dias chuvosos é Janeiro (24.03 dias). O mês com o menor número é Julho (0.13 dias). A temperatura média em Mara Rosa é 25.9 °C. Sua pluviosidade média anual é de 1602 mm.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25	25.1	25	25.4	25.6	25.1	25.2	26.8	26.8	26	25.7	25.2
Temperatura mínima (°C)	21.9	21.9	21.8	21.7	21.1	20.2	19.8	21.1	23.1	23.3	22.4	22.1
Temperatura máxima (°C)	29	29.2	29.1	29.9	30.7	30.7	30.9	32.8	34.5	33.2	29.9	29.2
Chuva (mm)	293	254	250	124	21	2	0	2	24	116	233	283
Umidade(%)	81%	80%	81%	73%	59%	50%	44%	36%	38%	53%	75%	79%
Dias chuvosos (d)	18	17	18	11	3	0	0	0	3	10	18	18
Horas de sol (h)	8.6	8.8	8.6	9.4	10.0	10.1	10.2	10.5	10.7	10.4	9.4	9.1

Figura 1.2: Dados coletados no intervalo de 1991 - 2021, temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos e horas de sol da região de Mara Rosa-GO, fonte: Climatedata.org.

1.3.2 Relevo

O relevo presente na área central do Brasil, no qual Mara Rosa está presente, é representado pela superfície Velhas (Braun 1971). Essa superfície de aplainamento começa no Oligoceno 33.9 Ma e tem o ápice no Pleistoceno 2.58 Ma. Que devido ao aumento da coluna d'água gerou um perfil laterítico muito evoluído, formando platôs entre as cotas de 400 e 600 metros.

Houve a incisão do terreno Velhas em porções dos terrenos de Mara Rosa, ocasionando o rebaixamento do nível d'água e erosão das crostas lateríticas com rebaixamento de 20 metros dos terrenos em comparação ao platô de Mara Rosa, que expõe o saprólito em alguns casos, para isso o clima úmido da região auxilia com 1800 mm de precipitação anual.

Utilizando-se do mapa hipsométrico torna-se evidente o caráter arrasado do relevo, principalmente pelos rios Formiga e Formiguinha com um platô a leste na região da cidade de Mara Rosa, ocasionalmente relacionado às rochas pertencentes ao embasamento. Na região, a cota mais elevada de relevo é de 818 metros e a cota menos elevada de 281 metros.

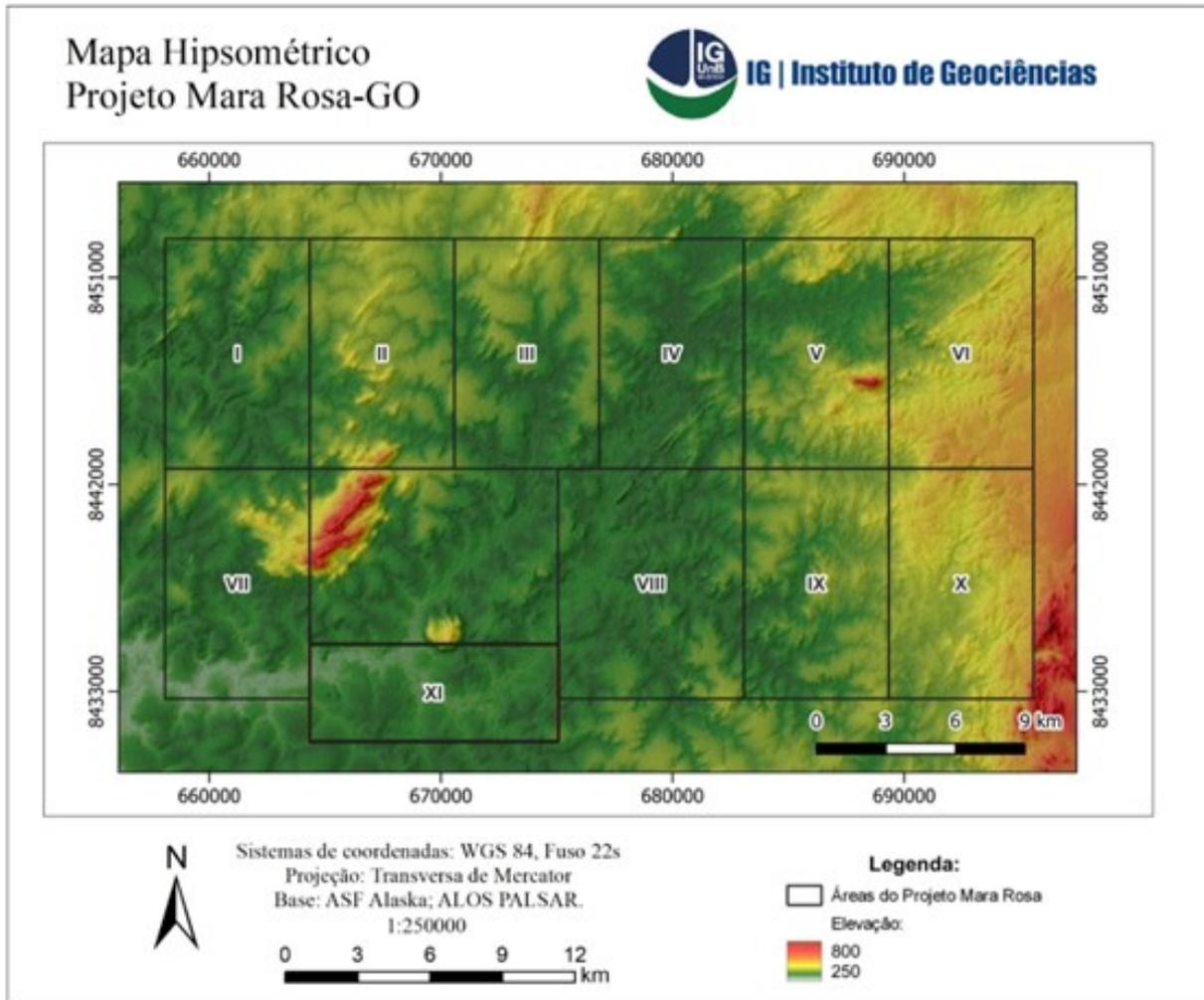


Figura 1.3: Mapa Hipsométrico do Projeto Mara Mara Rosa.

Foi extraído o mapa de declividade do terreno, no qual foi classificado em intervalos definidos, com base nas orientações da Instrução Normativa nº 31/06 do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária)(Tabela 1.2) que relacionam com os padrões de relevo apresentados na (Tabela 1.1). Além disso foram delimitados domínios de acordo com o intervalo de declividade predominante, como demonstrado na Figura 1.4.

Tabela 1.1: Tabela dos parâmetros de classificação do relevo de acordo com a normativa 31/06 do INCRA

Declividade (%)	Relevo	Cor
0 - 3	Plano	
3- 8	Suave-ondulado	
8-20	Ondulado	
20 - 45	Forte-ondulado	
45 - 75	Montanhoso	
> 75	Forte-montanhoso	

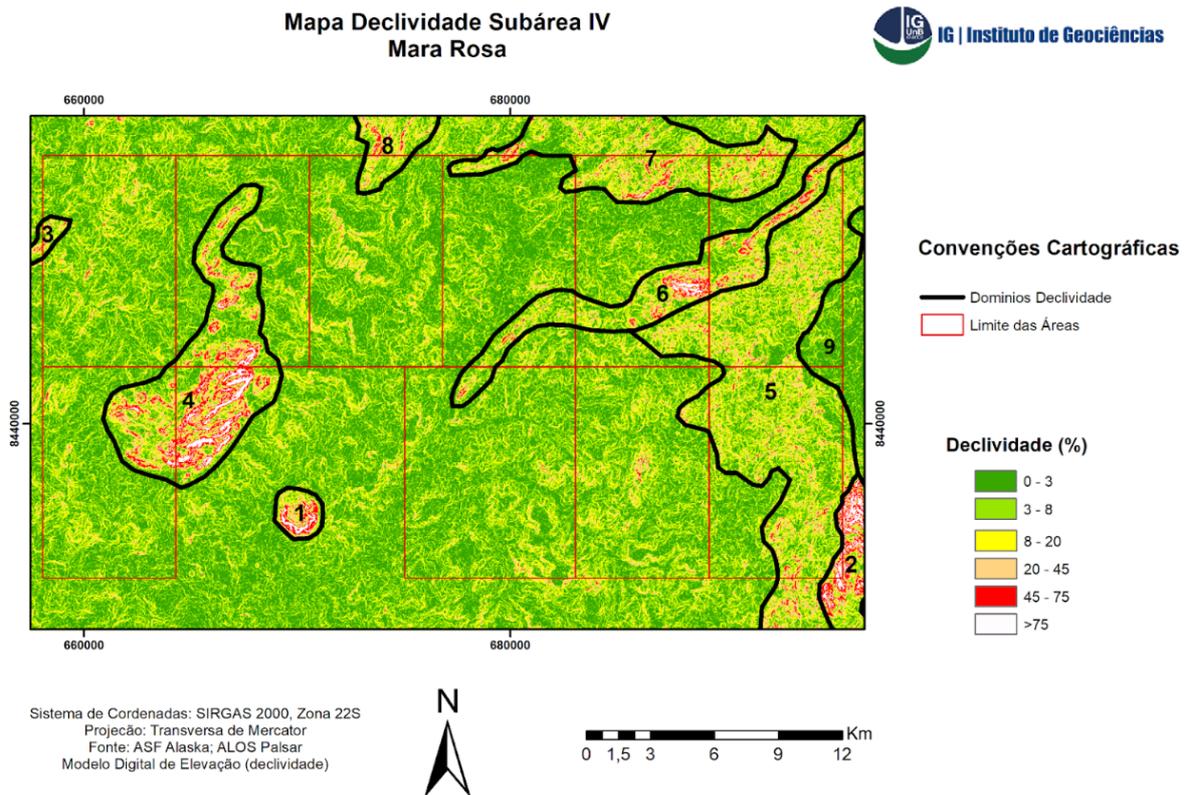


Figura 1.4: Mapa de declividade do Projeto Mara Rosa com classes definidas pelo INCRA e domínios de declividade.

Tabela 1.2: Definição dos domínios de declividade com base na classificação do INCRA

Domínio	Relevo	Nome
1	Ondulado a Forte-Montanhoso	Morro Redondo
2	Montanhoso a Forte-Montanhoso	Serra da Mesa
3	Forte-Ondulado a Montanhoso	
4	Montanhoso a Forte-Montanhoso	Faina
5	Ondulado	
6	Suave-ondulado a Forte-Montanhoso	Serra de Bom Jesus
7	Ondulado a Forte-Ondulado	
8	Ondulado a Forte-Ondulado	
9	Plano a Suave-Ondulado	Platô de Mara Rosa

Em geral, o relevo da região de Mara Rosa indica um padrão de classificação de plano a suave-ondulado, com algumas porções mais íngremes próximas das serras e morros isolados. Isso se deve ao intenso e longo processo de erosão ocorrido desde a amalgamação dos terrenos a partir da orogênese Brasileira até o presente momento.

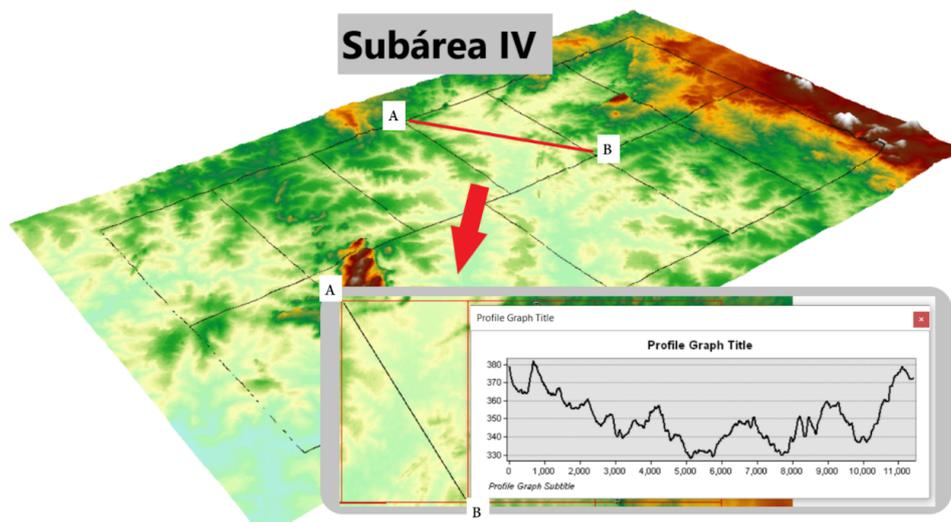


Figura 1.5: Modelo 3D gerado a partir do modelo digital de elevação (MDE) juntamente do mapa hipsométrico, bem como o perfil de elevação em metros com foco na Subárea IV. Visada da imagem para NE e exagero vertical de 3 vezes.

Segundo os dados do SIEG extraídos e interpretados por meio de um mapa (Figura 1.6) a área correspondente ao Projeto Mara Rosa encontra-se na superfície geomorfológica classificada como aplainada, caracterizando mais de 90% da área como SRAIVC1(fr), que se trata de um padrão tipo Superfície Regional de Aplainamento IVC, com cotas entre 250 e 400 m e dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas.

À oeste da área do projeto, o relevo passa a ser do tipo SRAIVC1(m), diferindo da classe anterior apenas em seu grau de dissecação, o qual passa a ser médio. Já no extremo leste, encontra-se um relevo SRAIIIA(fr), caracterizado pelo padrão Superfície Regional de Aplainamento IIIA, com cotas entre 700 e 800 m e dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas. Por fim, em uma pequena área no extremo nordeste, o relevo se torna SRAIVA(fr), e também, outa tipo Superfície Regional de Aplainamento IVA, com cotas entre 400 e 550 m e dissecação fraca, desenvolvida principalmente sobre rochas pré-cambrianas.

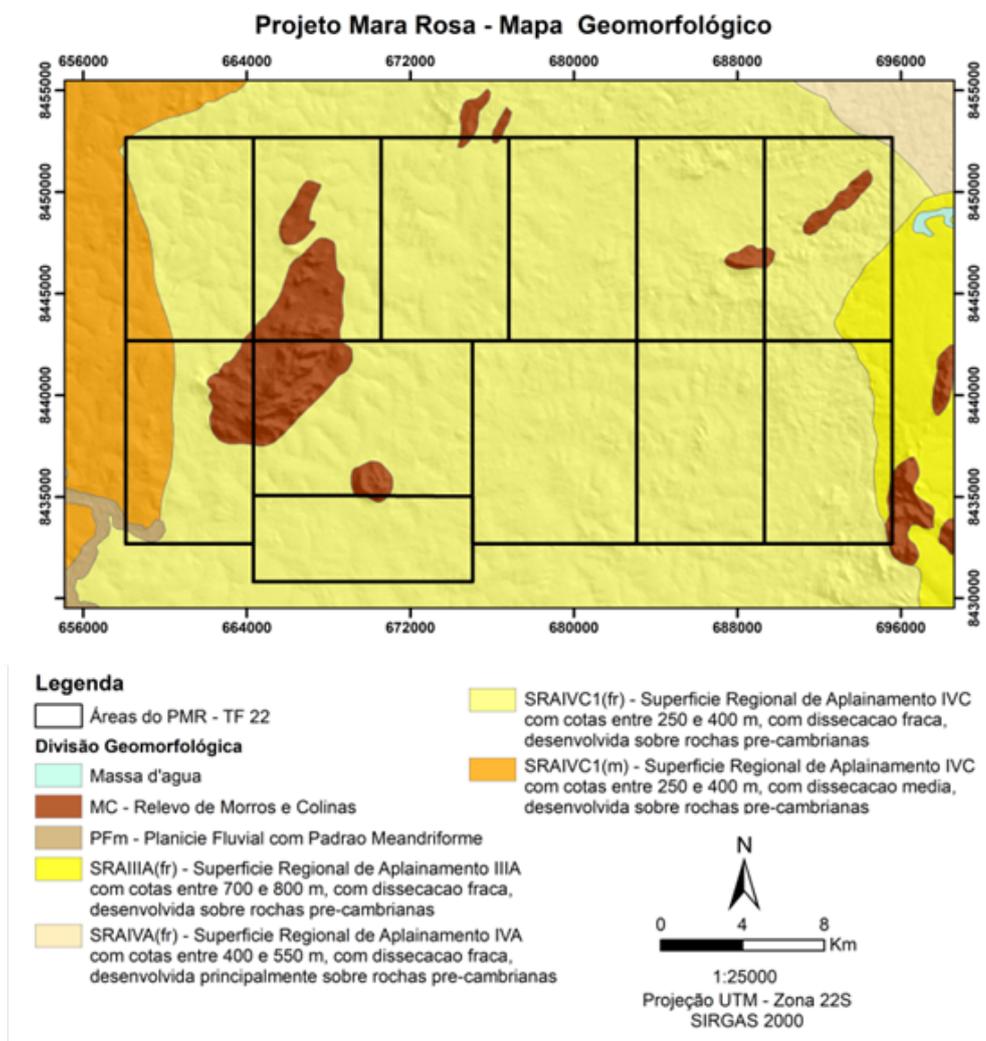


Figura 1.6: Unidades geomorfológicas do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

Além destes, a área do projeto possui outros dois padrões de relevo relevantes, do tipo Planície Fluvial com Padrão Meandriforme (PMf), presente a sudoeste na Área VII, e do tipo Relevo de Morros e Colinas (MC). Em que, os morros e colinas estão associados a importantes unidades geológicas descritas na região, que apresentam maior resistência à atuação dos processos intempéricos. Estas unidades incluem o Granito Faina e o Morro Redondo, a oeste; os cianítitos e a Serra de Bom Jesus, da Sequência Mara Rosa, a nordeste; e o Grupo Serra da Mesa, representado pela Serra Amaro Leite, a sudeste.

Destaca-se também a presença de crostas lateríticas correspondem a mais de 50% da área do projeto e mais de 60% da subárea IV, portanto, com base em critérios técnicos e didáticos optou-se pela não caracterização e representação cartográfica das mesmas.

As crostas lateríticas são compostas por óxidos-hidróxidos de ferro e manganês em diferentes graus de litificação e alteração, possuem espessura variando em centimétrica a métrica e estas ocasionalmente envolvem blocos de rochas alteradas e/ou minerais relictos do substrato rochoso.

1.3.3 Vegetação

A cobertura vegetal das áreas de estudo corresponde ao bioma Cerrado e pode apresentar as seguintes fitofisionomias: Mata Ciliar, Cerradão, Cerrado sensu stricto, Campo Sujo e Campo Limpo (Figura 1.7).

A mata ciliar acompanha rios de médio e grande porte, como o Rio do Peixe. Ocorre sobre terrenos acidentados, podendo ser transição para a Mata Seca ou Cerradão. O Cerradão apresenta estratos arbóreos com altura média variando de 8 a 15 metros, associados a solos pouco ácidos, profundos e bem drenados. O Cerrado sensu stricto é caracterizado por árvores de porte pequeno, inclinadas e tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente ocorre associado a Latossolos vermelhos e vermelho-amarelos. A vegetação Campo Sujo é arbustiva-herbácea, com arbustos e subarbustos esparsos, associada a solos rasos, como Neossolos Litólicos e Cambissolos. Já a vegetação Campo Limpo é predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência de árvores, geralmente se desenvolve sobre solos ácidos e pobres em nutrientes.

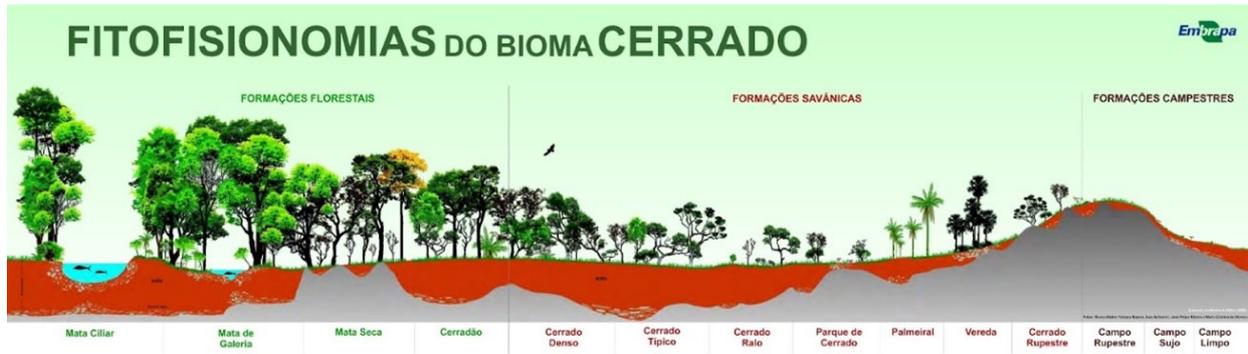


Figura 1.7: Desenho esquemático com as fitofisionomias do Bioma Cerrado. Fonte: Ribeiro & Walter, 2008.

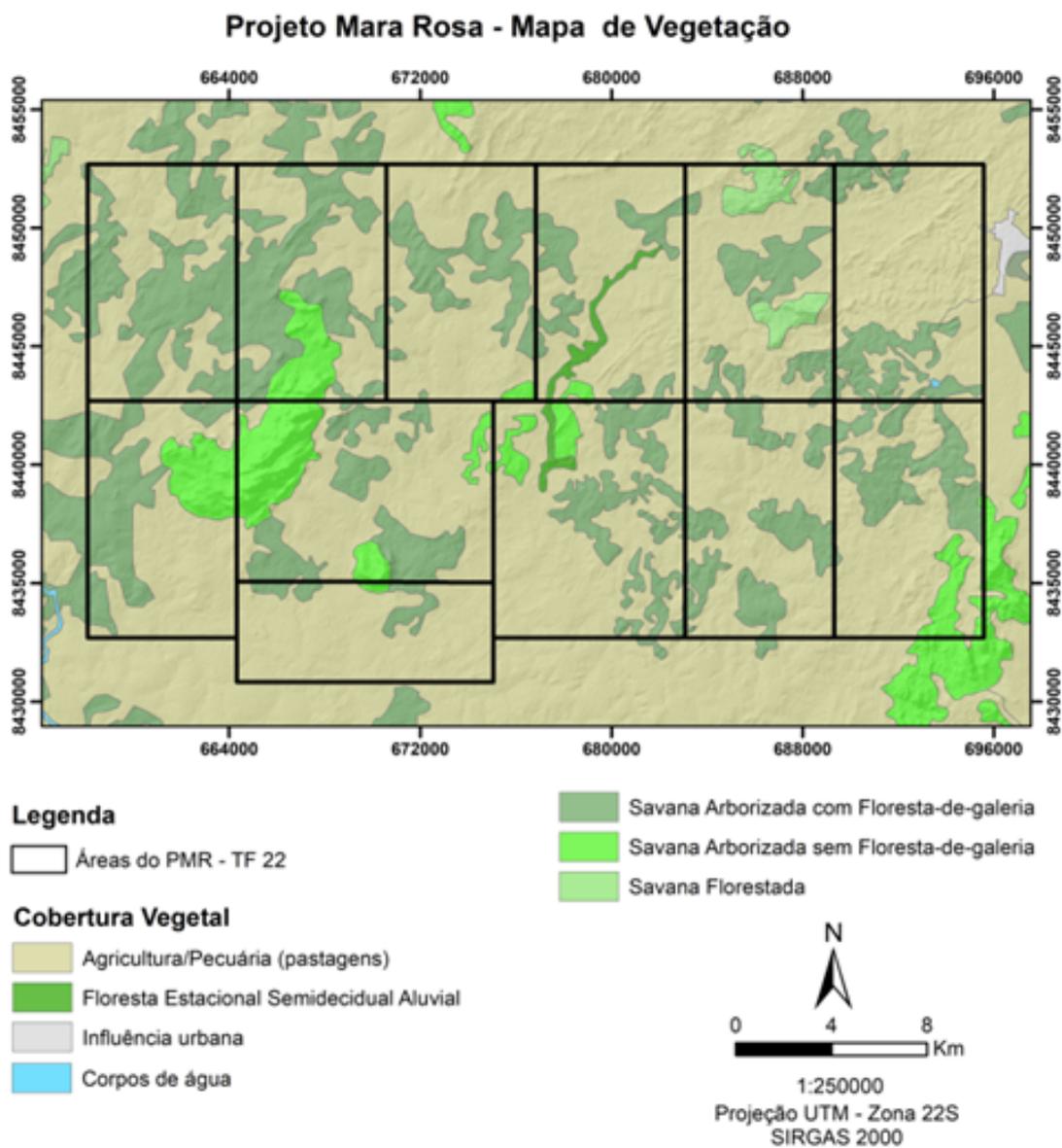


Figura 1.8: Mapa Vegetação segundo IBGE 2021

Como curiosidade foram observados várias vezes durante o campo árvores com relação de-sarmônica de competição, onde uma espécie se aproveita da outra “abraçando” a outra até que a primeira não sobreviva. É possível observar uma feição parecida com raízes que circundam a árvore inicial. Em outros pontos foi visto que a árvore predada geralmente são buritis/coqueiros, que quando morrem deixam um espaço circular vazio em volta das tramas circulares de possíveis raízes. Essa relação pode ser entendida talvez como um modo da espécie intrusa tem de aproveitar nutrientes ou humidade que a primeira já mantinha em subsuperfície como um auxílio inicial ao seu desenvolvimento e que por fim acaba restringindo o metabolismo da predada, matando-a.

1.3.4 Solos

De maneira geral, 6 tipos principais de solos são identificados na área em estudo, (Figura 1.9) sendo possível estabelecer uma relação direta com os litotipos presentes na região, assim como com os demais aspectos fisiográficos. Dentre os solos que contemplam o domínio da área total, encontram-se Argissolo Vermelho-Amarelo distróficos (PVAd), Cambissolo Háplicos Tb distróficos (CXbd); Latossolo Vermelho distrófico (LVd); Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd); Neossolo Litólico distrófico (RLd); e Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc). A subárea IV é contemplada principalmente pelos Plintossolos e Cambissolos expostos na escala de mapeamento do mapa abaixo.

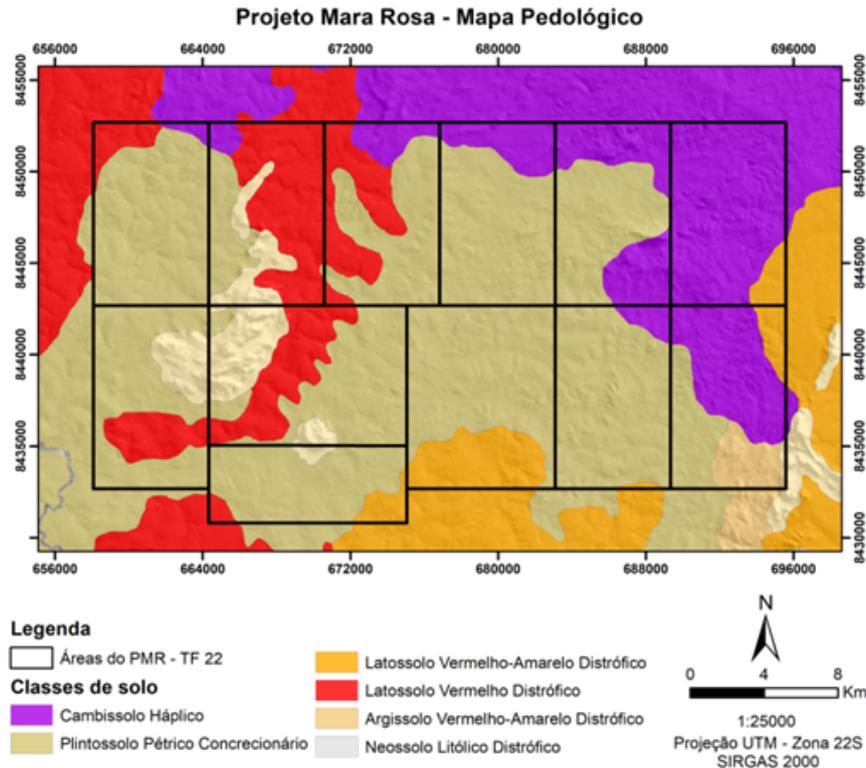


Figura 1.9: Mapa de solos segundo IBGE do Projeto Mara Rosa

O projeto Mara Rosa apresenta aproximadamente 2% de sua área recoberta pelos Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd). Tratam-se de solos com horizonte subsuperficial B textural (Bt) e argila de baixa atividade (Tb) abaixo dos horizontes A ou E, com coloração vermelho-amarelada e saturação por bases menor que 50%. Podem apresentar algum caráter levemente hidromórfico e moderadamente ácidos, por conta do material mineral. São solos com textura variando de arenosa a argilosa no horizonte A e média a muito argilosa a partir do horizonte Bt, de modo que do topo para a base do perfil a textura argilosa passe sempre a predominar por conta do processo de Translocação atuante no pedum. Apresentam horizontes estruturados, sendo as estruturas granulares e em blocos as mais comuns, podendo apresentar rochosidade.

Os Cambissolos Háplicos Tb distróficos (CXbd) também possuem um papel importante na região e correspondem a aproximadamente 23% da área total. Suas principais características incluem um perfil pouco desenvolvido, pouco espesso e de pedogênese avançada, com maior estruturação do topo para a base do perfil e com um horizonte subsuperficial B incipiente (Bi) sobreposto por um horizonte superficial pouco espesso. O horizonte Bi é não hidromórfico, comumente contém fragmentos do material parental distribuídos pelo perfil, pouco intemperizado e associado a processos de Transformação e Remoção pouco desenvolvidos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (LVAd), presentes em menor quantidade, abrangem aproximadamente 1,5% da área de estudo, sendo estes encontrados em pequenas manchas da área de estudo. Tratam-se de solos muito evoluídos, caracterizados por um perfil pedológico muito espesso e de característica não hidromórfica (bem drenado), com um horizonte subsuperficial B weathering (Bw) abaixo de um horizonte A. O horizonte Bw é caracterizado por ser muito homogêneo, sem fragmentos do material parental, rico em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, e pobre em argilominerais, principalmente os de natureza 2:1. Em geral é um horizonte pouco estruturado com estrutura granular pequena e/ou grumosa, e apresenta o processo de Latossolização fortemente associado, sendo este, o extremo dos processos de Transformação e Remoção.

Abrangendo cerca de 12% da área de estudo, os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd) ocorrem apenas nas subáreas localizadas a oeste do Projeto Mara Rosa. Assim como os Latossolos Vermelho-Amarelos, estes solos são caracterizados por seu horizonte Bw diagnóstico, abaixo de um horizonte A superficial. Apresentam estágio de pedogênese avançada, sendo comumente não hidromórficos, espessos, ácidos, com baixa saturação por bases e poucos nutrientes.

Os Neossolos Litólicos distróficos (RLd) correspondem a 3,4% das áreas de estudo, sendo estes, solos pouco espessos, quase sem alterações com relação ao material de origem, com cobertura incipiente sobre a rocha-mãe e baixa evolução com relação à pedogênese. Por serem solos pouco evoluídos, não apresentam nenhum tipo de horizonte B diagnóstico, ou seja, o horizonte superficial está em contato direto com o horizonte C (saprolito).

Por fim, a maior parte da área do Projeto Mara Rosa é composta por Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc), representando cerca de 58% da área como um todo. Estes solos são de

ocorrência comum, especialmente em áreas aplainadas, como as da região, constituindo geralmente ambientes distróficos, pobres em nutrientes. É comum sua associação à coberturas lateríticas, chegando a formar horizontes litoplínticos, caracterizando um Plintossolo Pétrico litoplíntico (FFI). Tais solos possuem baixa atividade de argila, costumam apresentar caráter ácido e coloração bastante variada.

1.3.5 Hidrografia

Segundo Nascimento (1992), do ponto de vista hidrográfico, o Estado de Goiás é caracterizado como um divisor de águas, por corresponder a área de dispersão dos cursos d'água que vão compor as grandes bacias hidrográficas brasileiras, sendo que as drenagens do norte vinculam-se à Bacia Amazônica e as do sul à Bacia do Paraná-Uruguaí. E ainda existe relação direta da disposição dos cursos principais com a estrutura geológica, de maneira que as orientações e controles direcionais se relacionam com a imposição orográfica do Maciço Goiano e às faixas tectônicas Brasilianas.

Ao associar a orogênese Brasiliana com a região como um todo, constatam-se orientações definidas por falhas normais de grandes proporções, como as evidenciadas através dos rios Palmeiras e Alto Canabrava, bem como do coletor principal, o rio Tocantins. Os domínios litológicos estão diretamente vinculados à densidade hidrográfica, tendo em vista que regiões constituídas pelas rochas pré-cambrianas do Complexo Basal Goiano (granitos e gnaisses) e do Grupo Araxá (mica xistos e quartzitos) apresentam elevada densidade hidrográfica, refletindo uma maior coesão mineralógica, sendo responsável pelo maior escoamento superficial, facilitando a ação da água sobre o relevo. Em contrapartida, regiões com rochas sedimentares paleomesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná, permitem maior percolação das águas em função da elevada porosidade e baixa coesão mineralógica, e conseqüentemente, redução da densidade hidrográfica por conta do aumento de infiltração e redução do escoamento superficial.

A hidrografia principal da área de estudo do Projeto Mara Rosa é formada por quatro rios, trinta córregos e cinco ribeiros, distribuídos em quatro bacias hidrográficas: Córrego Armador, Santa Maria, Rio Formiga e Rio do Ouro. Possui densidade elevada de drenagens e apresenta o Rio Formiga como o principal canal perene. Os demais canais de drenagem são predominantemente intermitentes e são controlados pela sazonalidade do clima atuante na região. O caráter retilíneo do Rio Formiga, apresentando uma direção preferencial NE-SW, indica um forte controle estrutural atuante na região de estudo.

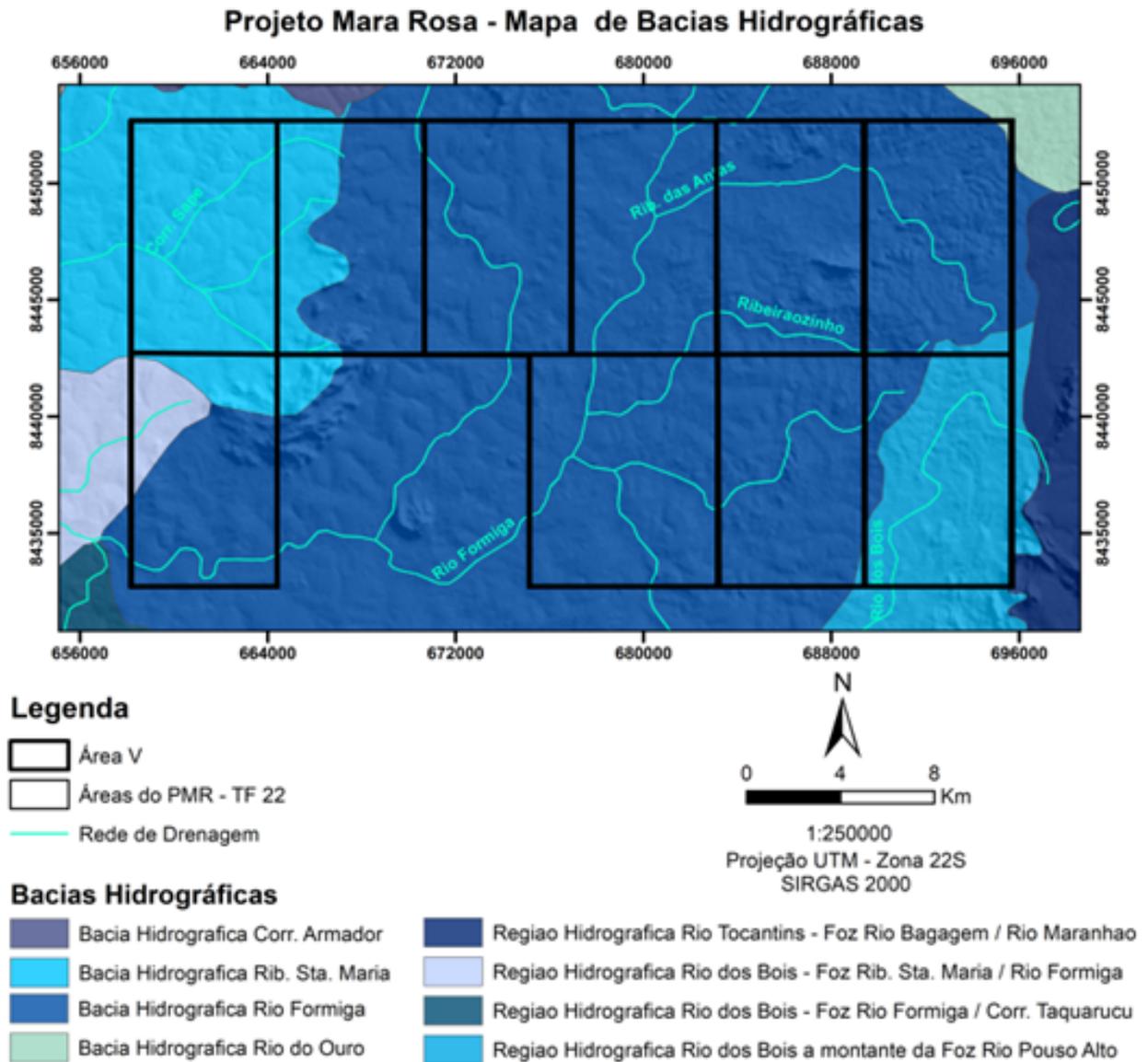


Figura 1.10: Mapa de Bacias Hidrográficas da área do PMR, destaque para as subáreas em preto.

1.4 Materiais e métodos

O trabalho foi dividido em três etapas, que se realizaram de forma progressiva e se diferenciam pelo tipo de atividade desenvolvido em cada parte. São respectivamente as etapas de pré-campo, campo e pós-campo. (Tabela 1.3)

Tabela 1.3: *Quadro resumo das atividades e etapas do Projeto Mara Rosa.*

Etapas	Atividades
Pré-campo	Revisão Bibliográfica Cap. Interpretação de dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto Cap. Geologia Regional Cap. Introdução Mapa Base Integrado Mapa geológico-geofísico integrado e interpretado
Campo	Mapeamento Geológico e confecção do mapa Geológico Preliminar
Pós-Campo	Confecção do mapa Geológico Cap. de Petrografia Refinamento do mapa Geológico Cap. de Geologia do Projeto Mara Rosa Cap. de Geologia Local Cap. de Geologia Estrutural Cap. de Geologia Econômica Cap. de Evolução Tectônica Cap. de Conclusões Volume Final Defesa do Trabalho Final

1.4.1 Pré-Campo

As primeiras atividades desenvolvidas no trabalho foram a revisão bibliográfica de artigos, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso, mapas regionais e dados geofísicos, que visam auxiliar nos aspectos geológicos, geográficos e logísticos da região durante a matéria de Pré-TF o qual constitui a parte inicial do mapeamento executado

Durante esta etapa de pré-campo foram elaborados os capítulos de Geofísica, Sensoriamento Remoto e Geologia Regional nessa ordem, com intuito de se construir um raciocínio geológico, com auxílio de artigos científicos da área e arredores. Essa sistemática possibilitou o melhor entendimento da evolução geológica e conhecimento prévio das unidades geológicas as quais seriam encontradas em campo na próxima etapa do trabalho, a etapa de levantamento de campo com a elaboração do mapa geológico.

A imagem de satélite orbital principal utilizada foi obtida com câmera multiespectral e pan-cromática de ampla varredura pelo satélite sino-brasileiro CBERS4A, cena CBERS_4A_WPM_20220421_207_135_L4. Já para dados de elevação, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor ALOS PALSAR (AP_26927_FBS_F6830_RT1). O maior detalhamento desses procedimentos é apresentado no capítulo 3 - Sensoriamento Geológico e Geofísica Aérea. Os dados aeromagnéticos e gamaespectométricos foram utilizados para interpretação qualitativa de anomalias magnéticas e/ou gamaespectométricas em superfície

e subsuperfície com objetivo de otimizar o planejamento e o mapeamento geológico na etapa de campo. Os dados geofísicos foram tratados no aplicativo OASIS Montaj Inc. GEOSOFT que será melhor explicado no capítulo de Geofísica.

Os mapas gerados nessa etapa foram:

- Mapa de localização,
- Mapa base,
- Mapa de zonas homólogas de drenagem com análise de traço de lineamentos estruturais,
- Mapa de domínios geofísicos baseado em dados de gamaespectrometria.

1.4.2 Campo

A etapa de campo tem como principal objetivo coletar dados e amostras a fim de validar e complementar as informações adquiridas na etapa de pré-campo. Essa etapa foi realizada durante os dias 16 de Setembro à 2 de Outubro de 2022.

Na etapa de campo foram realizados perfis de caminhada, pré-definidos para cada dia, buscando um perfil que abrangesse as principais feições encontradas na área, cruzando as estruturas de forma perpendicular. Também foram realizadas análises e descrições qualitativas e quantitativas de informações geológicas, tais como litologia, estruturas e padrão geométrico, relação espacial e temporal, além de modelos e croquis de tais elementos em caderneta de campo. Todo o suporte acadêmico, financeiro e logístico foi fornecido pela Universidade de Brasília, com alternância regular entre um dia de autonomia com os integrantes da Subárea IV e um dia com o acompanhamento de um professor durante os dias de mapeamento.

Foram utilizadas no campo mapa base elaborado previamente, GPS, canivete, imã, lupa, água oxigenada e bússola geológica tipo Clar. Além disso, foram utilizados aplicativos como Avenza Maps e Timestamp Câmera.

Durante o campo foram plotados 183 pontos, esses foram feitos para classificar a litologia e/ou estruturas e pontos de controle de caminhada. Os pontos foram separados em diferentes cores para evidenciar os caminhamentos de cada dia (figura 1.11).

Mapa de Pontos TF-22 Área IV

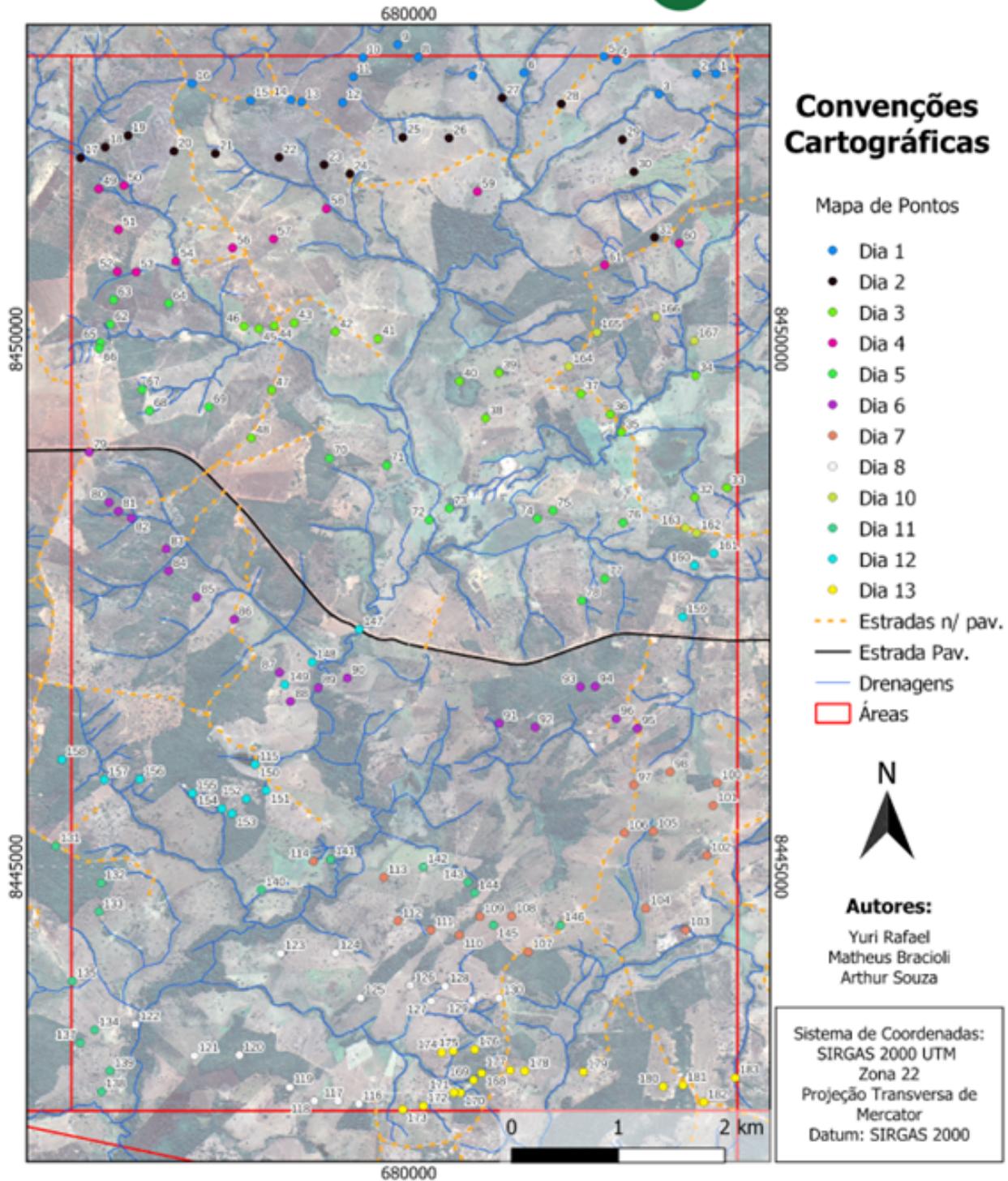


Figura 1.11: Mapa de pontos, onde cada dia é representado por círculos de cores diferentes.

1.4.3 Pós-campo

A etapa de pós-campo foi iniciada com o fim das atividades de campo, logo após a chegada no dia 2 de Outubro e terminou no mês de Fevereiro com a defesa do relatório e apresentação das atividades realizadas para uma banca avaliadora.

Nesse período, foi realizada a compilação de todas as informações obtidas nas etapas anteriores com propósito da elaboração do relatório final e do mapa geológico integrado.

Para elaboração dos mapas e perfis foram utilizados os softwares de livre acesso Google Earth Pro e QGIS e softwares pagos com licenças de uso via convênio acadêmico ArcGIS PRO e Adobe Illustrator, para realização da análise estrutural via estereogramas foram utilizados os softwares livre StereoNet e OpenStereo.

Tanto para análise petrográfica e química o critério de seleção do universo de amostras foi selecionar pelo menos uma amostra de cada unidade descrita e apresentada no mapa integrado final obedecendo os critérios estabelecidos por (Gill, 2014), as lâminas foram cortadas e laminadas no laboratório de laminação da Universidade de Brasília e confeccionadas com polimento e vitrificação em lamínula na empresa GeolabTM, para análise química foram selecionadas amostras 93, que também foram realizadas GeolabTM.

Destaca-se que as lâminas delgadas e as análises geoquímicas foram financiadas em parceria público-privada da Lundin MiningTM e a Universidade de Brasília.

Todos os dados foram descritos, processados e interpretados a fim de contribuir com os capítulos associados à geologia do projeto e da subárea IV.

Capítulo 2

Geologia Regional

A área deste projeto está inserida no contexto geológico/tectônico da Província Tocantins, neste contexto há três faixas ou cinturões orogênicos que formam a província: Faixa Araguaia, Faixa Paraguai e Faixa Brasília (Almeida *et al.*, 1981; Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2008). Evidenciando em um contexto de maior escala representado pela Faixa Brasília, essas descrições correspondem a atual estruturação do Brasil Central, herdada de eventos acrescionários neoproterozóicos que ocorreram desde 900Ma até aproximadamente 540Ma e correspondem ao Ciclo Orogrênico Brasileiro e ao Pan-Africano (Brito Neves *et al.*, 1999; Brito Neves *et al.*, 2003), onde, nestes, encontram-se rochas que evoluíram de processos de amalgamento de crostas, evoluindo de subducções formando um arco de ilha até um arco continental.

2.1 Unidades Tectono-Estratigráficas

2.1.1 Província Tocantins

Definida primariamente por Almeida (1981) e atualizada por Hasui (2014), a Província Tocantins é bordejada a leste pelo cráton São Francisco, a oeste pelo cráton Amazonas, a norte pela bacia do Parnaíba e a sul pela bacia do Paraná, a qual recobre completamente o bloco Parapanema com rochas de idades fanerozóicas. Tal província faz parte de um sistema orogênico de idade neoproterozóica, sendo esta, fruto da interação direta entre os crátons Amazonas e São Francisco, juntamente com o bloco Parapanema (Valeriano *et al.* 2008; Hasui, 2010, 2012; Fuck *et al.*, 2017). Estende-se por milhares de quilômetros e está localizada mais especificamente no domínio do Brasil Central, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, assim como porções meridionais dos estados do Pará, Mato Grosso e oeste do Mato Grosso do Sul e Minas Gerais.

A Província Tocantins (Figura 2.1) está associada à amalgamação do supercontinente Gondwana

Ocidental, que ocorreu entre 930-800 Ma (Almeida *et al.* 1981; Brito Neves & Cordani, 1991; Brito Neves *et al.* 1999; Pimentel *et al.* 2016), esta constituída por um conjunto de cinturões orogênicos, mais especificamente por três faixas de dobramentos. Com disposição norte-sul ocorre a Faixa Araguaia, e à sudoeste a Faixa Paraguai, sendo que ambas possuem vergência para leste e bordejam a parte sul/sudoeste do Cráton Amazonas, e por fim, ocorre a Faixa Brasília, possuindo disposição norte-sul, vergência para oeste, e bordeja o Cráton São Francisco.

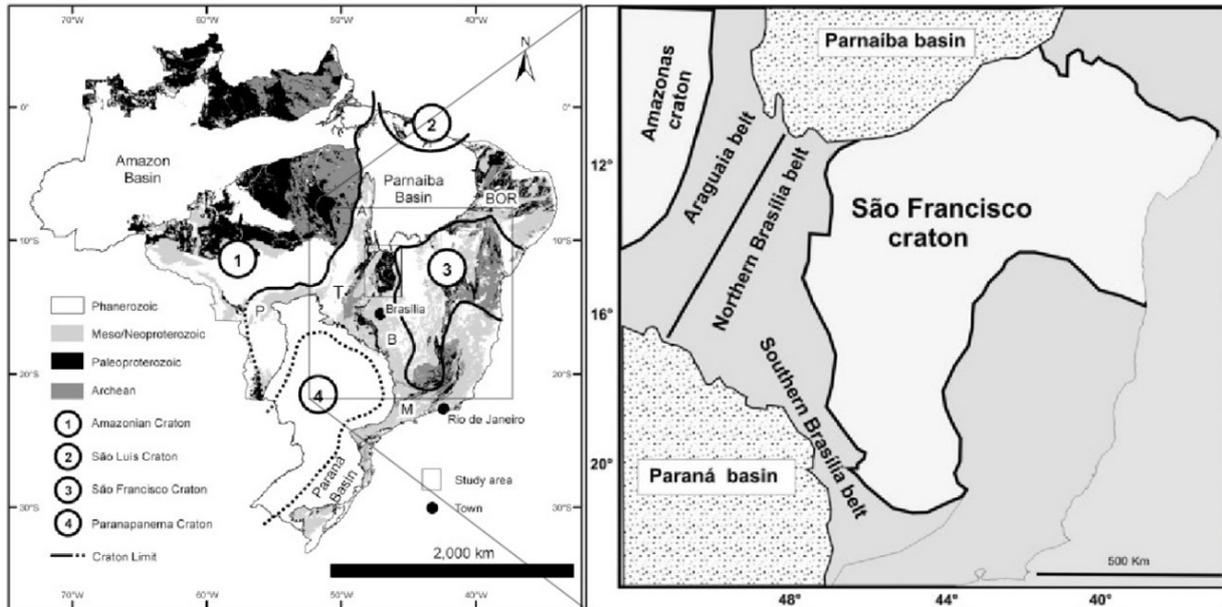


Figura 2.1: Mapa esquemático das províncias brasileiras. À esquerda, a distribuição das rochas paleoproterozóicas no escudo brasileiro. T - Província Tocantins, B- Província Borborema, M - Província Mantiqueira, A - Faixa Araguaia, P - Faixa Paraguai, B - Faixa Brasília. Adaptado de Fuck *et al.* (2014). À direita, a disposição em maior detalhe dos cinturões inseridos na Província Tocantins (Fuck *et al.* 2017).

A Faixa Brasília é uma das unidades tectônicas do Brasil Central e possui uma dimensão de aproximadamente 1200 km de comprimento por 300 km de largura (Figura 2.2). É um cinturão orogênico de dobras e cavalgamentos de idade neoproterozóica e ocorre na borda ocidental do Cráton São Francisco, cobrindo parte dos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais. Tal faixa apresenta uma estrutura denominada Sintaxe dos Pirineus que apresenta sua concavidade voltada para a região de antepaís a qual separa a faixa em duas porções com distintas histórias evolutivas; a Faixa Brasília Norte e a Faixa Brasília Sul (Araújo Filho, 2000), sendo essa subdivisão dada devido à evolução complexa e possivelmente diacrônica da Faixa Brasília.

A porção sul caracteriza a Faixa Brasília Meridional, e é resultado da interação entre os crátons São Francisco e Paranapanema, enquanto o segmento norte, compondo a Faixa Brasília Setentrional, registra a interação entre os crátons São Francisco e Amazônico. Ainda neste processo orogênico, houve o envolvimento de outras unidades tectônicas, como o Maciço de Goiás, arcos magmáticos neoproterozoicos e sequências sedimentares meso-neoproterozoicas.

Portanto, segundo Dardenne (2000), a deformação tectônica e metamórfica dessa região apresenta um aumento progressivo de leste para oeste, onde o cinturão de dobras e cavalgamentos é compartimentado em quatro unidades tectônicas: Arco Magmático de Goiás, Maciço de Goiás, Núcleo Metamórfico e o Cinturão de dobras e empurrões. Conforme Fuck *et al.* (1994), a Faixa Brasília é compartimentada de leste para oeste em três zonas: Cratônica (i), Externa (ii) e Interna (iii).

(i) Unidade estrutural do Cráton São Francisco: constitui-se pelo Grupo Bambuí e Grupo Vazante (Dardenne, 1981; 2000), com sedimentos argilo-carbonáticos suavemente dobrados a sub-horizontais e extensas coberturas fanerozoicas. É um domínio autóctone, onde o embasamento não está envolvido na deformação. Limita-se com a Faixa Brasília por falhas de empurrão de baixo a médio ângulo que expõem o Grupo Paranoá ou o Grupo Canastra, unidades de idade mesoproterozoica.

(ii) Unidade Externa: conforme Dardenne (1981, 2000) é composta por unidades metassedimentares do Paleo e Mesoproterozoico (grupos Araí, Natividade, Paranoá e Canastra), assim como porções do embasamento Arqueano-Paleoproterozoico que mostram rejuvenescimento devido à tectônica brasileira.

(iii) Unidade Interna: conforme (Pimentel *et al.*, 2000) inclui-se unidades alóctones dos grupos Araxá e Serra da Mesa, assim como porções do embasamento fortemente envolvido na tectônica brasileira (Maciço de Goiás, com remanescentes de greenstone belts). Segundo Piuzana *et al.* (2003), esta zona abriga ainda um núcleo metamórfico de alto grau dado pelo complexo granulítico Anápolis-Itaçu, sendo relacionado à orogênese formadora da Faixa Brasília.

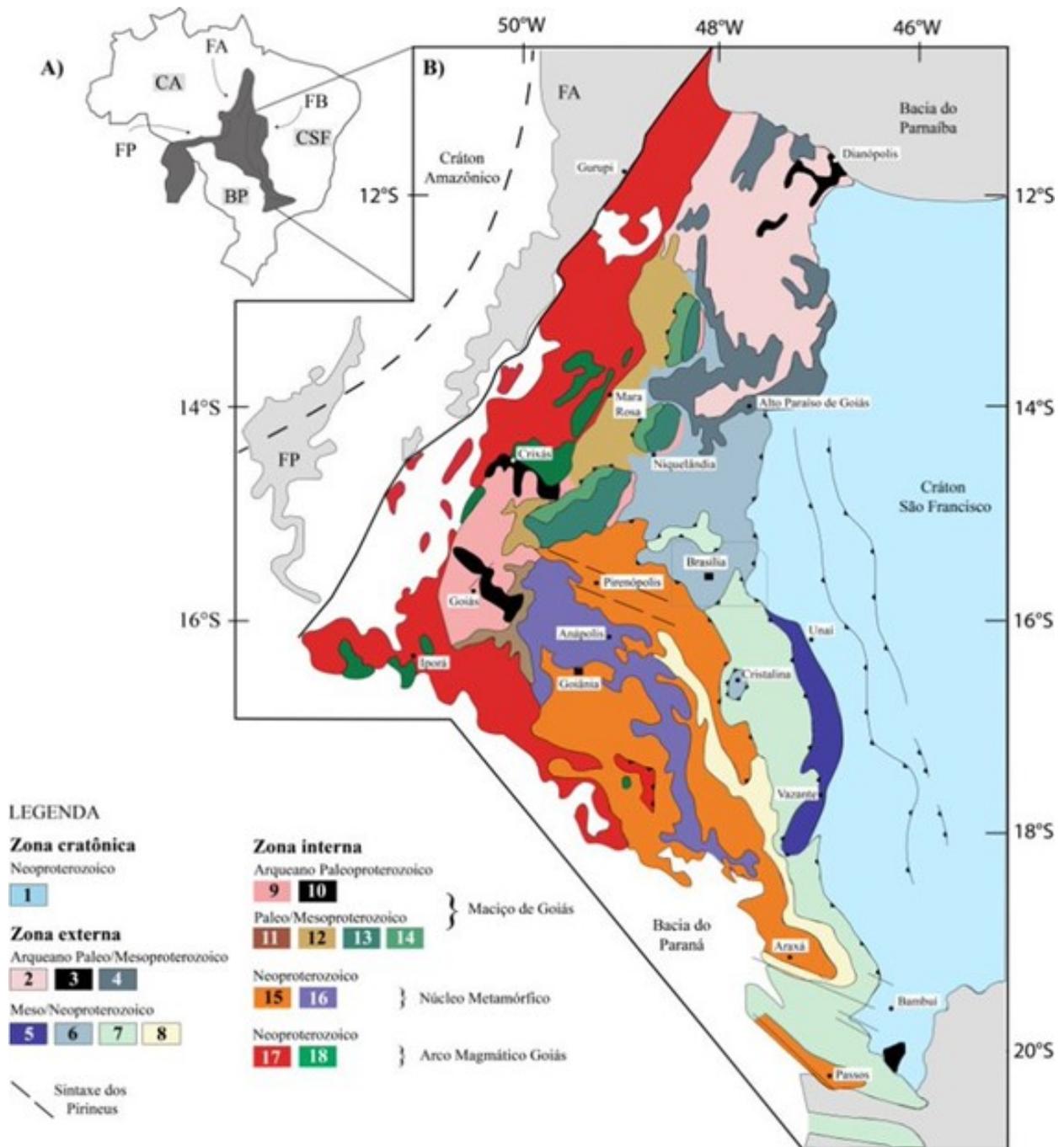


Figura 2.2: Mapa Geológico do Orógeno Brasília (Modificado de Fuck et al., 2017).

A Faixa Brasília Setentrional (Figura 2.3) é formada pelos grupos Araí, Serra da Mesa e Paranoá, além das sequências vulcano-sedimentares de Palmeirópolis, Juscelândia e Indianópolis, assim como Maciço e Arco Magmático de Goiás.

Já a Faixa Brasília Meridional (Figura 2.3) é formada pelos grupos Canastra, Araxá, Ibiá, Vazante e Bambuí e também por parte do Arco Magmático de Goiás (Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004). Na Faixa Brasília Sul ocorrem três compartimentos tectônicos principais, representa-

dos pelo cinturão de dobras e cavalgamentos (Reis *et al.*, 2017), o complexo de nappes (Valeriano, 2017) e a Sintaxe dos Pirineus (Araújo Filho, 2000).

(i) Cinturão de dobras e cavalgamentos: nessa porção a deformação é do tipo thin-skinned, onde o descolamento basal localiza-se na base do Grupo Bambuí (Reis *et al.*, 2017; Moura, 2018). Em direção a leste, a zona de descolamento se torna cada vez mais rasa, com apenas algumas rampas de empurrão separando grandes regiões dobradas (comumente em chevron). As rochas na região apresentam-se pouco metamorfizadas, sendo possível observar estruturas primárias ainda preservadas e com a ausência de estruturas penetrativas, como clivagem (Alkmim *et al.*, 1996; Reis *et al.*, 2017). Tais estruturas são cortadas por um sistema de falhas transcorrentes de grande escala com cinemática sinistral. Este setor conecta-se com as nappes metamórficas da Faixa Brasília a oeste (Araújo Filho, 2000).

(ii) Complexo de Nappes: as nappes superiores e o cinturão metamórfico externo apresentam deformação mais intensa. São mais metamorfizados e apresentam estruturas mais pervasivas quando comparadas às camadas sobrepostas. Exibem uma paragênese de fácies xisto-verde, anfíbolito e granulito de alta P com rochas principalmente pertencentes ao Grupo Araxá (Araújo Filho, 2000; Valeriano, 2017). A oeste, essas nappes estão em contato com o Arco Magmático de Goiás.

(iii) Sintaxe dos Pirineus: configura-se como curva pronunciada cuja concavidade fica voltada para a região de antepaís. Esta estrutura apresenta dois flancos (sul e norte). O flanco norte consiste em um cinturão de dobras e cavalgamentos com vergência para sul e sudeste, sendo internamente formado por lascas de embasamento retrometamorfizadas intercaladas com xistos psamo-pelíticos (Araújo Filho, 2000). O flanco sul consiste em um cinturão de dobras e cavalgamentos em forma de colher, bordejada por rampas laterais com geometria em leque imbricado. Portanto, no domínio externo da faixa, predomina um estilo thin-skinned, enquanto que no domínio interno, aparecem zonas de deformação dúcteis mais intensas e largas, com metamorfismo de maior grau (estilo thick-skinned).

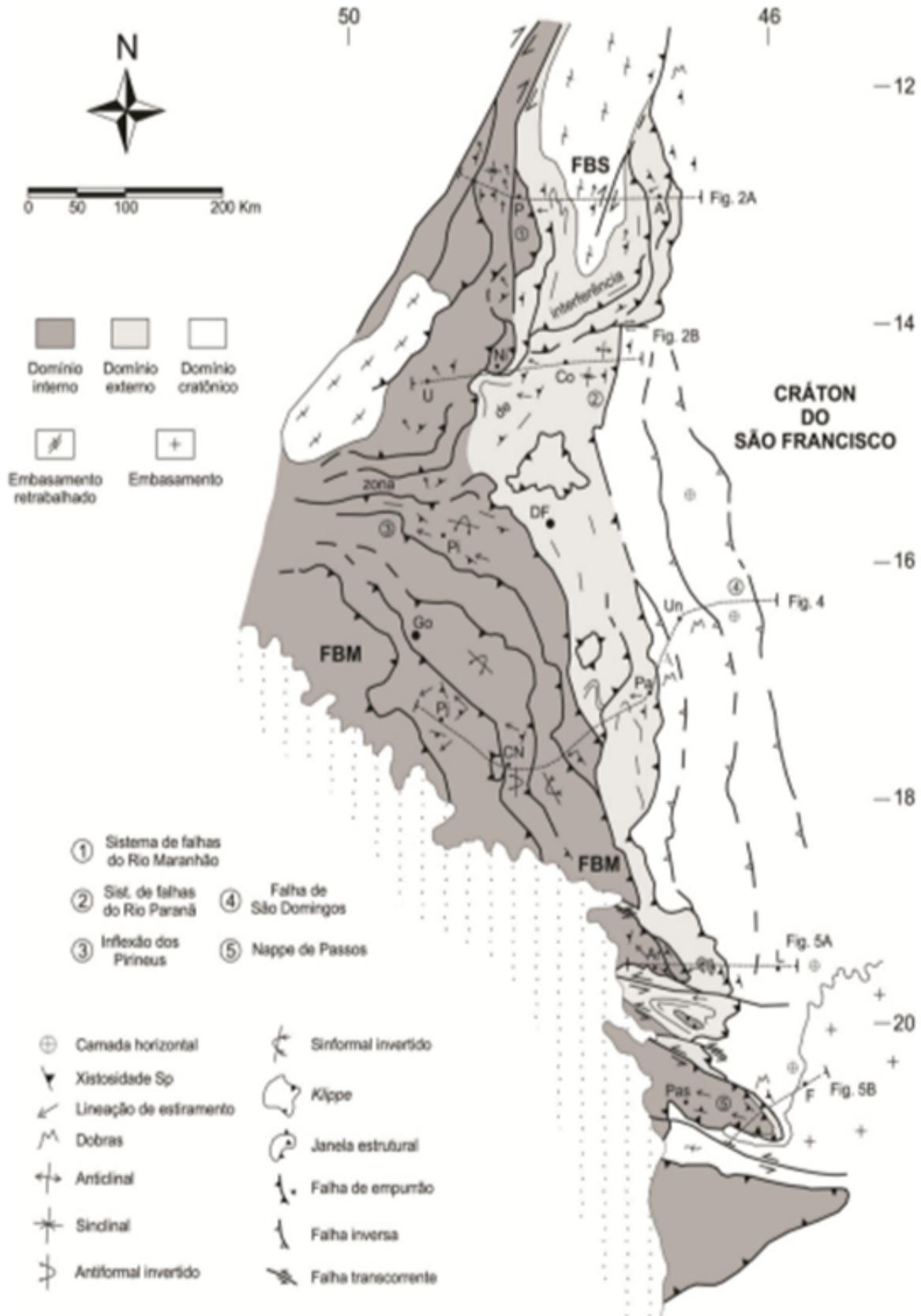


Figura 2.3: Mapa estrutural simplificado da Faixa Brasília e porção adjacente do Cráton do São Francisco, com indicação dos domínios cratônico, externo e interno. FBM = Faixa Brasília Meridional e FBS = Faixa Brasília Setentrional (Uhlein, 2012).

2.1.2 Maciço de Goiás

Caracteriza-se como um provável microcontinente e como terreno granito-greenstone, sendo composto por rochas de idades que variam de 3.0 Ga a 800 Ma. Durante a orogenia Brasileira, foi amalgamado e centralizado entre os dois segmentos do arco magmático de Goiás e pela margem passiva do Cráton São Francisco. Tratam-se de rochas arqueanas e paleoproterozóicas que formam o substrato da zona interna e externa da Faixa Brasília, sendo o anteparo contra o qual o arco de ilha que forma parte do Arco Magmático de Goiás colidiu durante o Neoproterozóico. O termo “Maciço de Goiás” também é utilizado como sinônimo para “embasamento da Faixa Brasília Norte” e pode ser usado como generalização para o substrato não aflorante sob as sequências metassedimentares da Faixa Brasília (Werlang, 2019). A descontinuidade gravimétrica regional que bordejia a margem oeste do maciço, é um indicativo de uma zona de sutura, a qual auxilia na hipótese da acreção desse terreno ao orógeno Brasília durante o Neoproterozóico (Brito Neves e Cordani, 1991; Pimentel *et al.*, 2000).

A nordeste do maciço, ocorrem três grandes complexos máfico-ultramáficos acamadados alongados seguindo a direção preferencial NNE, denominados como Niquelândia, Barro Alto e Cana Brava. Evidencia-se que esses complexos, intrudidos em aproximadamente 800 Ma e metamorfizados entre 780 e 760 Ma sob às condições de fácies granulito, são recobertos pelas sequências metavulcano-sedimentares, de fácies anfíbolito, dos complexos de Juscelândia, Palmeirópolis e Indaiatuba (Moraes *et al.*, 2016). Segundo Queiroz *et al.* (2000), a porção sudoeste do maciço é definida por meio de um terreno granito-greenstone com disposição geomorfológica de domos e quilhas, sendo as porções dômicas caracterizadas como complexos gnáissicos TTG neoarqueanos separadas por complexos arqueanos de greenstone belts.

2.1.3 Arco Magmático de Goiás

Trata-se de uma importante unidade tectônica da Faixa Brasília, sendo representativo dos episódios mais expressivos de acreção crustal juvenil reconhecidos na assembleia do Gondwana (Pimentel & Fuck 1992, Pimentel 2016). É uma faixa de acreção crustal neoproterozóica com aproximadamente 1000 km de extensão, segue uma direção preferencial NNE e foi formada entre 930 a 600 Ma em resposta a obliteração da litosfera oceânica, convergência e colisão continental, entre os paleocontinentes Amazônico e São Francisco-Congo (Giustina *et al.*, 2009; Pimentel *et al.*, 1997), durante uma fase inicial da fusão do supercontinente Gondwana.

O domínio do arco é definido por um magmatismo Neoproterozóico e possui sua extensão na direção NE-SW dada pelo segmento do Arco Magmático Mara Rosa, e NW-SE dada pelo segmento do Arco Magmático Arenópolis, sendo esses dois separados pelo maciço de Goiás conforme reconhecido por Pimentel & Fuck (1992). O magmatismo gerado pela orogênese Brasileira manifesta-se por meio de faixas alongadas, sendo estas, compostas por sucessões vulcano-

sedimentares com rochas plutônicas e supracrustais, possuindo composição gabróica a granítica com ampla exposição de tonalitos, dioritos e granodioritos metamorfizados. Vale ressaltar que o enfoque principal deste trabalho está baseado no segmento a norte do Maciço de Goiás, denominado Arco Magmático Mara Rosa.

A formação dos dois segmentos supracitados ocorreu a partir de duas fases. A primeira fase está relacionada à formação de um arco insular gerado entre 890 a 800 Ma, e a segunda caracterizada pela formação de arco continental, entre 650 e 600 Ma, evidenciada pela contaminação crustal (Figura 2.4). Com a evolução da acresção, ocorre a intrusão dos complexos máfico-ultramáficos de Niquelândia, Cana Brava e Barro Alto, seguido pela colisão final, a qual é concluída, em aproximadamente 640 Ma, pelo magmatismo de contaminação crustal típico de arco continental, além das intrusões graníticas de caráter pós tectônico.

O modelo proposto por Valeriano *et al.* (2008) destaca as relações estruturais e metamórficas existentes entre as unidades que compõem a Faixa Brasília, explicitando o aumento do grau metamórfico e deformacional em direção a porção oeste da faixa, região em que as rochas chegam a atingir condições de pressão e temperatura mais elevadas, alcançando a fácies granulito. Dessa maneira, no domínio externo da faixa predomina o estilo de deformação do tipo thin-skinned, enquanto que no domínio interno predomina o estilo thick-skinned, além de surgirem zonas de deformação dúctil mais intensas e largas (Uhlein *et al.* 2012).

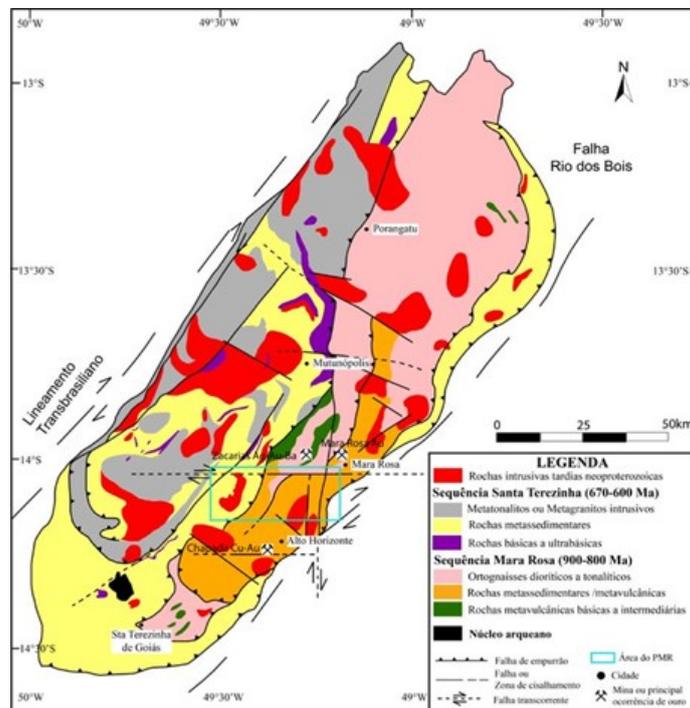


Figura 2.4: Mapa geológico do segmento Mara Rosa, evidenciando as sequências metavulcanossedimentar de Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma). Modificado de Oliveira *et al.* (2016).

- **Arco Magmático Arenópolis**

Com vergência NW-SE (Figura 2.5), o segmento Arenópolis está localizado no domínio sul do arco magmático de Goiás. Apresenta ortognaisses e sequências vulcano-sedimentares neoproterozóicas, bem como corpos intrusivos pós orogênicos de caráter metaluminoso, com granitóides tipo I a tipo A (Pimentel & Fuck 1992; Junges *et al.* 2002).

- **Arco Magmático Mara Rosa**

Com uma vergência NE-SW (Figura 2.5), o segmento norte do Arco Magmático de Goiás abriga a região da área de estudo do presente trabalho. O segmento Mara Rosa apresenta sequências metavulcano-sedimentares separadas por faixas anastomosadas de ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, além de possuir suítes plutônicas pós-orogênicas como o granito Faina e o batólito Amarolândia. Machado *et al.* (1981) e Schobbenhaus *et al.* (1984) interpretavam o contexto das rochas da sequência metavulcano-sedimentar de Mara Rosa como típicas de greenstone belts arqueanas. Porém, Ribeiro Filho (1981), levou em consideração o contexto da disposição das sequências da região sobre as faixas arqueanas de Pilar de Goiás, correlacionando-as com as sequências vulcano-sedimentares de Palmeirópolis, Indaianópolis e Juscelândia. Além disso, Kuyumjian (1994) destacou o cavalgamento da sequência de Mara Rosa sobre os terrenos granito-greenstone de Pilar de Goiás-Hidrolina por meio da falha do Rio dos Bois. Atualmente, considera-se o contexto das rochas pertencentes à sequência de Mara Rosa como típicas de ambiente de arco.

S.L. Junges et al. / Precambrian Research 117 (2002) 101–118

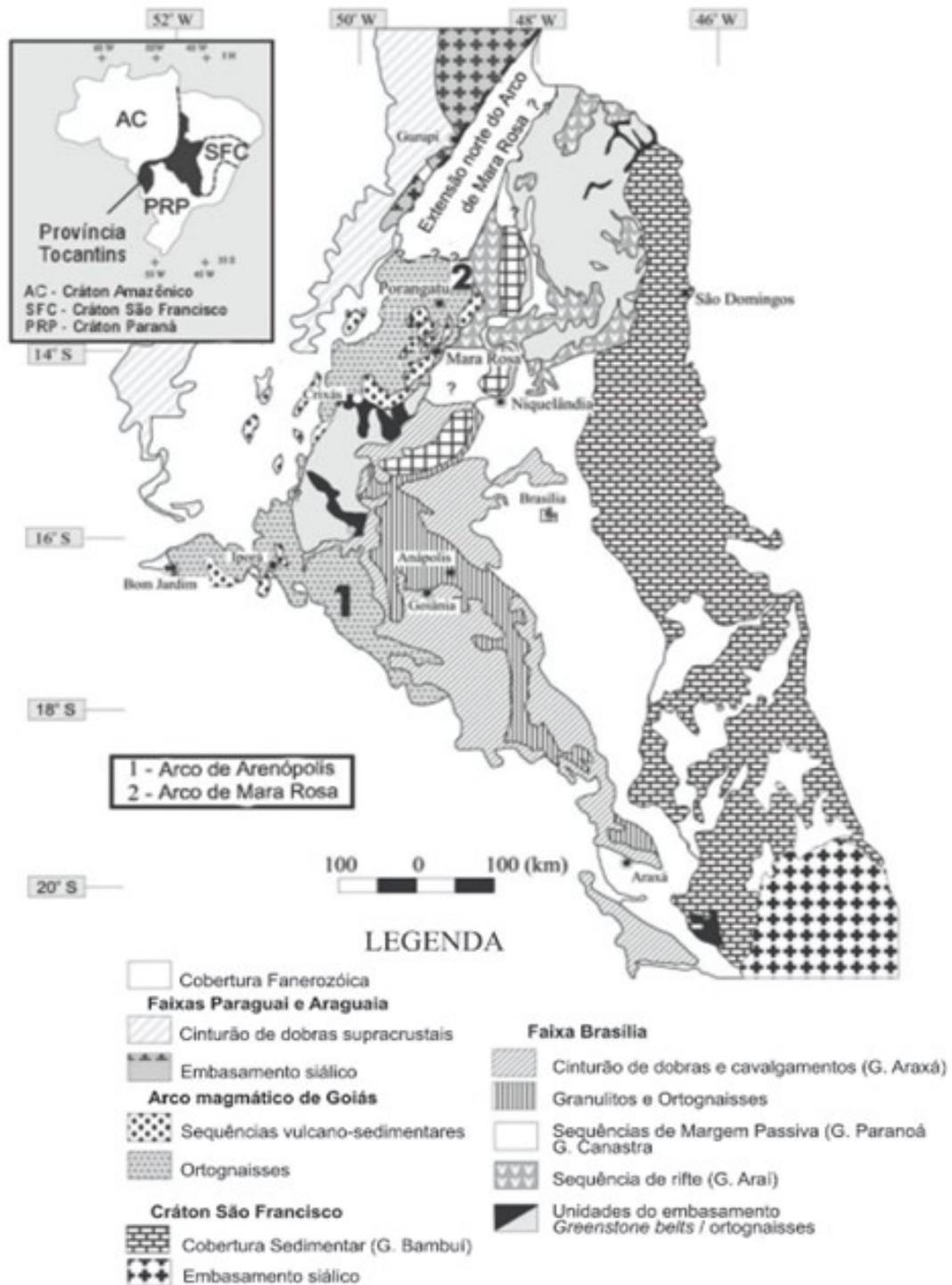


Fig. 1. Geological sketch map of the eastern part of the Tocantins Province (Brasília Belt).

Figura 2.5: Porção leste da Província Tocantins evidenciando os segmentos dos arcos magmáticos Mara Rosa e Arenópolis. Retirado de Junges et al. (2002).

2.2 Unidades Tectono-Estratigráficas Associadas a Área de Estudo

Para a compreensão da orogenia relacionada com o processo de formação do Brasil Central, é necessário entender como o Arco Magmático de Goiás assume importante papel geológico, inclusive para a área de estudo do presente trabalho. Assim, faz-se necessário o entendimento de algumas unidades referente a porção norte do Arco Magmático de Goiás, mais especificamente, a nordeste do estado de Goiás, agrupadas no segmento Mara Rosa; parte do Maciço de Goiás representada pela Sequência Campinorte e rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa.

A principal base cartográfica relacionada ao mapeamento geológico dessas unidades na área de estudo foi elaborada em escala 1:100000 (Figura 2.6) por Alvarenga *et al.* (2007), em uma parceria entre Universidade de Brasília (UnB), Ministério de Minas e Energia (MME) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no Programa Geologia do Brasil Levantamentos Geológicos Básicos com a Geologia da Folha Campinorte SD.22-Z-B-I.

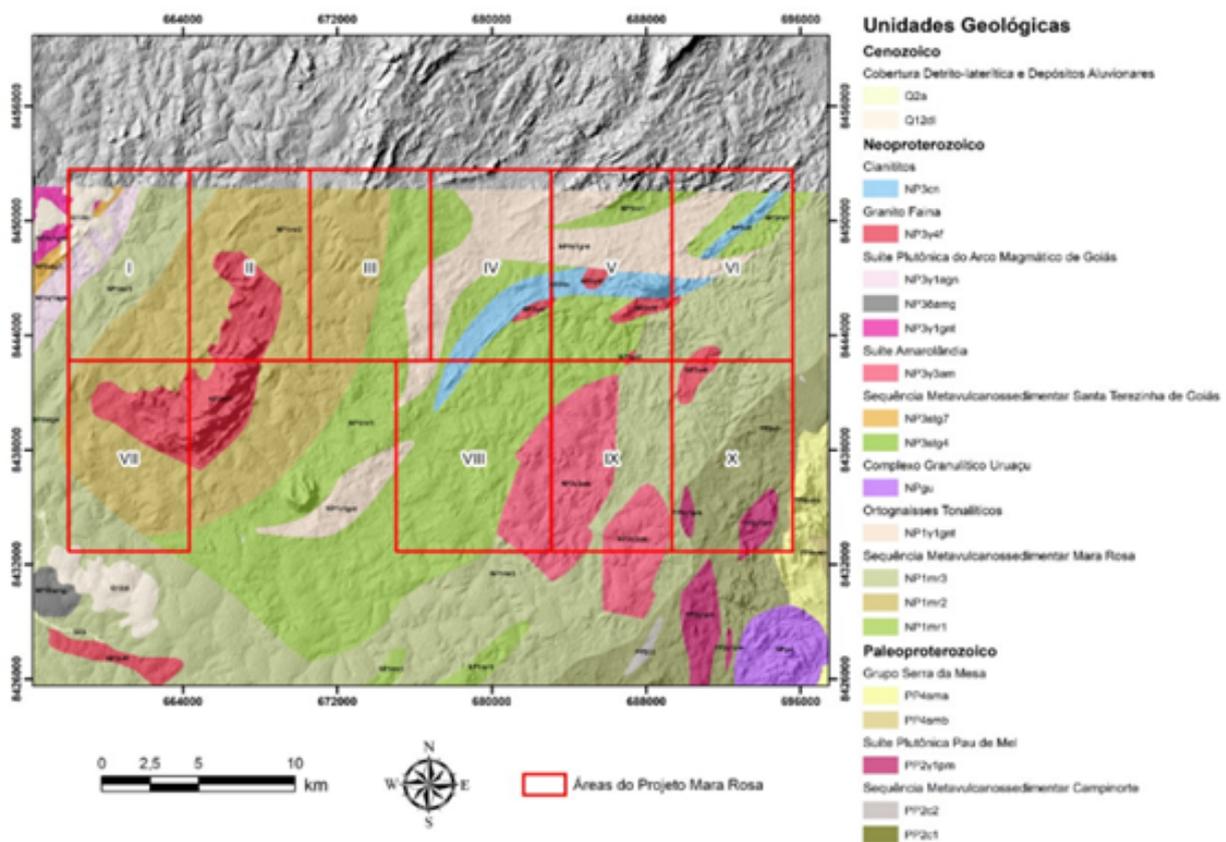


Figura 2.6: Mapa geológico do Projeto Mara Rosa gerado a partir de dados fornecidos pela CPRM - Folha Campinorte SD.22-Z-B-I.

2.2.1 Sequência Campinorte

Situada entre o Segmento Mara Rosa e os Complexos Máficos-Ultramáficos de Niquelândia e Barro Alto, a Sequência Campinorte é a unidade paleoproterozoica aflorante da região de estudo (Giustina *et al.*, 2007). A sequência é constituída por uma unidade supracrustal, de natureza sedimentar e vulcânica, e uma suíte de rochas intrusivas associadas de caráter ácido e composição tonalítica a granítica (Kuyumjian *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2006). Portanto, constitui-se pelas unidades metavulcanossedimentar Campinorte e pelos metatonalitos, metagranodioritos, metamonzogranitos da Suíte Pau de Mel (Oliveira *et al.*, 2006). Tanto a Suíte Pau de Mel, quanto a unidade metavulcanossedimentar Campinorte são sobrepostos pelas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa, de idade mesoneoproterozóica.

2.2.2 Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte - PP2c

A Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte é composta por metapsamitos (quartzito, muscovita quartzito e quartzo-mica xisto), metapelitos (muscovita xisto, clorita - muscovita xisto com e sem granada, clorita-biotita-carbonato xisto, muscovita quartzo xisto, e subordinadamente, xistos carbonosos), além de rochas metassedimentares de origens químicas, como o gondito e metachert. A existência de rochas metavulcânicas de composição ácidas a intermediárias são mais raras, ocorrendo quase que exclusivamente em camadas lenticulares de dimensões variáveis e intercaladas nas rochas metassedimentares. Dos litotipos vulcânicos, as rochas piroclásticas ácidas, seguidas de riolitos e riolitos porfiríticos constituem-se como os exemplares mais representativos dessa unidade. Por fim, segundo Oliveira & Oliveira (2017), as rochas metapiroclásticas e metavulcânicas félsicas são raras e difíceis de serem catalogadas devido a deformação paleoproterozóica.

As idades propostas para esta sequência foram realizadas por meio do método U-Pb em zircões contidos em quartzitos micáceos, Giustina *et al.*, (2009), indicando uma possível idade máxima de deposição de aproximadamente 2.2Ga, indicando pouca ou nenhuma influencia da litosfera arqueana em sua formação. Além destes, análises geoquímicas de Sm/Nd, Giustina *et al.*, (2009) indicam que possivelmente as rochas metassedimentares desta unidade foram formadas a partir da erosão do arco paleoproterozoico periférico e conseqüentemente dando caráter de embasamento das sequências neoproterozóicas do Orógeno Brasília.

- **Suíte Plutônica Pau de Mel - PP2γ1pm**

Trata-se de uma suíte que contempla ampla variação de plutônicas ácidas calcialcalinas (tonalito, granodiorito e granito) deformadas e metamorfizadas em condições de fácies xisto verde a anfíbolito, sendo esta, inserida na Sequência Campinorte. Segundo Alvarenga *et*

al. (2007), tais rochas apresentam assinatura de arco vulcânico e constituem equivalentes plutônicos do vulcanismo ácido da Sequência Campinorte.

Dentro desta suíte, destacam-se o milonito granítico Mundinho e Viúva que hospedam depósitos auríferos orogênicos, além do gnaiss tonalítico Pau-de-mel (Oliveira *et al.*, 2004). De acordo com Giustina *et al.* (2009a), os dados de U-Pb coletados em cristais de zircão do metagranito Mundinho fornecem uma possível idade de cristalização de aproximadamente 2,17 Ga e quando comparados aos resultados obtidos pelo método Sm/Nd indicam a possível assimilação de crosta juvenil por essas intrusões.

- **Grupo Serra da Mesa - PP4sm**

De acordo com Marques (2009), esse grupo é composto por sequências sedimentares depositadas em ambiente de plataforma marinha silico-carbonatada. O Grupo Serra da Mesa é composto predominantemente por uma sequência monótona de rochas metassedimentares psamo-pelíticas constituída de quartzitos finos a médios e quartzo xistos, e escassos afloramentos de clorita-muscovita-quartzo xisto, magnetita-clorita-muscovita xisto e granada-muscovita xisto. Existe ainda uma restrita ocorrência de metamargas e metacalcários dolomíticos de geometria lenticular. O metamorfismo ocorreu em fácies anfibolito e xisto verde alto durante a Orogênese Brasileira. Martins-Ferreira *et al.* (2018) dataram a idade da máxima deposição aproximada a 1,55 Ga, obtida por meio de zircão detrítico, indicando a formação durante a fase pós rifte em Relação ao Araí, embora a sequência basal do Grupo Serra da Mesa seja contemporânea a fase SAG do rifte.

2.2.3 Arco Magmático Mara Rosa

O Arco Magmático Mara Rosa é composto por duas principais fases com gênese distintas, marcadas por um intervalo de pelo menos 200Ma (Dantas *et al.*, 2001). Uma mais antiga, representada pela Sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa e ortognaisses tonalíticos a dioríticos e uma mais nova composta pela Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha e suítes intrusivas tardi a pós-orogênicas.

Análises de U-Pb em zircão indicam que o magmatismo de arco insular possivelmente ocorreu entre 900 a 800 Ma em um cenário semelhante ao ambiente de arco da ilha intra-oceânico moderno, enquanto o evento mais jovem ocorreu entre 670 e 600 Ma, provavelmente em um cenário de arco magmático continental (Oliveira *et al.*, 2016).

2.2.4 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa

Com uma disposição predominantemente NE, esta sequência é composta por faixas alongadas que podem ser individualizadas em faixas leste, central e oeste. As faixas leste e oeste compõem-se predominantemente de rochas metassedimentares, enquanto a faixa central, hospedeira dos principais depósitos de Au e Cu-Au da região, representa um pacote vulcano-sedimentar onde metavulcânicas básicas e ortognaisses tonalíticos são abundantes. Tais faixas abrangem uma extensa quantidade de litotipos como metabasaltos, metatufos intermediários a félsicos, metaultramáficas, metagrauvas finas a médias, metacherts, formações ferríferas, além de metassedimentares psamo-pelíticas, sendo que todas foram metamorizadas sob fácies xisto verde a anfíbolito (Oliveira *et al.*, 2006).

A disposição da foliação também segue o padrão de grandes sigmóides NE-SW que indicam orientação geral e mergulho para oeste, intercaladas com os ortognaisses (Arantes *et al.*, 1991; Oliveira *et al.*, 2006). Para um melhor entendimento da contemporaneidade e da proximidade espacial de associações da Sequência Mara Rosa, três subunidades foram separadas, sendo elas:

- **Subunidade metavulcânica básica - NP1mr1**

Composta por rochas metavulcânicas e metaplutônicas básicas, além de metassedimentares químicas e pelíticas subordinadas expostas a oeste de Mara Rosa e Alto Horizonte (Chapada), em um contexto geomorfológico de superfície peneplanizada encoberta por concreções lateríticas ferruginosas. Esta unidade foi metamorizada predominantemente sob condições de fácies anfíbolito, porém existem alguns domínios de fácies xisto verde. Também ocorrem corpos intrusivos de hornblenditos, metadioritos e metatonalitos pouco deformados (Oliveira *et al.*, 2006)

- **Subunidade metassedimentar - NP1mr2**

Compreendida por uma associação de rochas metassedimentares psamo-pelíticas expostas no setor NW da Folha Campinorte, sendo estas, encaixantes do granito Faina. As faixas de rochas metassedimentares dispõem-se em alto ângulo, ao longo de um corredor transcorrente NE, contempladas por granada-estauroлита-plagioclásioquartzo-muscovita-biotita xisto, cianita-granada-biotita xisto, biotita-quartzo xisto deformadas sob condições de fácies anfíbolito (Oliveira *et al.*, 2006). É importante ressaltar que, Intercaladas ao pacote de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, ocorrem rochas metassedimentares químicas, tais quais gonditos e metacherts.

- **Subunidade metavulcano-sedimentar - NP1mr3**

Esta subunidade está alocada no setor central da Folha Campinorte, em contato tectônico com as sequências Campinorte e Santa Terezinha e Grupo Serra da Mesa, feito pela zona de

cisalhamento Rio dos Bois. Expõe uma associação mais variada entre metavulcânicas básicas e ácidas e metassedimentares psamo-pelíticas e químicas, bem como produtos hidrotermais hospedeiros de mineralizações. Anfibolitos com bandamento estreito compõem as metavulcânicas básicas, apresentando granada, biotita, epidoto. As metavulcânicas ácidas abrangem gnaisses ricos em biotita, feldspato potássico, plagioclásio e muscovita. Segundo Oliveira *et al.* (2016), a maior variedade petrográfica é encontrada nas metassedimentares psamo-pelíticas, a qual é dada por xistos compostos de biotita, quartzo, plagioclásio, com combinações variáveis de anfibólio, epidoto, clorita, feldspato potássico, granada, estauro-lita, cianita e muscovita.

Diversos pesquisadores (Pimentel & Fuck 1992; Pimentel *et al.*, 1997; Junges *et al.*, 2002) realizaram estudos geocronológicos e identificaram dois eventos tectônicos-magmáticos distintos no Arco Mara Rosa, um mais antigo que ocorreu há cerca de 900 Ma e o outro, mais jovem, em 630 Ma. O primeiro relaciona-se à construção de um arco de ilha oceânico na margem oriental do CSF e o mais jovem, coincide com o pico da Orogênese Brasileira, causada pela colisão dos crátons São Francisco e Amazônico. Segundo Pimentel *et al.* (2000), o magmatismo em 630 Ma em Mara Rosa foi interpretado como parte da reciclagem da crosta juvenil formada no arco de 900 Ma. Dados de U-Pb e Lu-Hf permitiram a melhor caracterização da assinatura dos dois eventos magmáticos, corroborando com hipóteses previamente apresentadas (Matteini *et al.*, 2010).

2.2.5 Ortognaisses Tonalíticos

Trata-se de uma unidade que ocorre de maneira intercalada entre as faixas que compõem a sequência metavulcano-sedimentar Mara Rosa. Segundo Alvarenga *et al.* (2017), nessa sequência dominam ortognaisses tonalíticos (biotita gnaisses) de granulação média, tonalidade cinza claro a médio e constituído essencialmente de plagioclásio, quartzo, biotita, feldspato potássico e, por vezes, hornblenda, com arranjo granoblástico. apresentam ainda uma foliação incipiente e um bandamento dado pela alternância entre os domínios quartzo-feldspáticos e domínios mais ricos em biotita.

Os corpos adquirem uma geometria sigmoidal alongada e muito bem marcada em decorrência do contexto da zona de cisalhamento transcorrente com direção principal NE (Oliveira *et al.*, 2016), sendo possível associá-los a intensa segregação e/ou remobilização de veios quartzo-feldspáticos, com padrão de deformação fortemente irregular, provenientes de migmatização incipiente. Os biotita gnaisses englobam grande volume de xenólitos de anfibolitos de granulação fina a média, microestrutura nematoblástica, sendo estes constituídos essencialmente de hornblenda e plagioclásio (Alvarenga *et al.*, 2007). O processo de datação U-Pb em zircão obtido a partir do gnaiss tonalítico do depósito Zacarias mostra idades de 845 ± 5 Ma (Melo *et al.*, 2006). Este

resultado se aproxima das idades U-Pb em zircão de $856 + 13 / - 7$ e 862 ± 8 obtidas para metatolito e metagranito de Posse, respectivamente (Pimentel *et al.*, 1997). Tais idades registram um importante evento gerador de rochas no arco magmático de Goiás.

2.2.6 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha

Caracterizada por rochas de origem supracrustal, incluindo produtos derivados de atividade vulcânica, sejam derrames ou manifestações piroclásticas, e depósitos sedimentares, sendo que estes provavelmente incorporando produtos epiclásticos derivados da erosão de depósitos vulcânicos do arco magmático (Fuck *et al.*, 2006). A geometria principal obedece uma estrutura arqueada com strike principal NE-SW limitadas por zonas de cisalhamento compressionais. As litologias presentes incluem uma variedade de xistos, formações ferríferas, anfibolitos e gnaisses. Alvarenga *et al.*, 2007 destacaram duas principais subunidades, sendo uma metavulcanossedimentar e uma metassedimentar.

A composição mineralógica dos anfibolitos e rochas associadas é indicativa de metamorfismo de fácies anfibolito, com retrogressão parcial para xisto verde. Os protólitos propostos para estas unidades são basaltos, que se associam a um vulcanismo de natureza andesítica (Fuck *et al.* 2006). Análise U-Pb em zircão de andesitos porfiríticos indicam a possível idade de 661 ± 8 Ma (Dantas *et al.*, 2001). A assinatura isotópica de neodímio é representada por idades modelo TDM que caracterizam a primeira extração magmática entre 0,8 e 1,19 Ga, indicando curta residência crustal (Fuck *et al.* 2006). Em relação à segunda divisão explorada por Oliveira *et al.*, (2006), a subunidade metassedimentar de St. Terezinha é marcada por clorita xistos e rochas associadas em faixas alongadas, com cerca de 3 a 5 km de largura. A faixa de afloramentos possui variedade lateral e ao longo da sequência, com ocorrência de essencialmente muscovita-clorita xistos com variações de quartzo, biotita, granada e magnetita-xistos. Intercalações de biotita xisto feldspático, anfibólio xisto e anfibolito são comuns. Ocasionais intercalações de clorita-tremolita xisto e de rochas feldspáticas foram observadas (Oliveira *et al.*, 2006).

- **Subunidade metavulcanossedimentar - NP2st1**

Segundo Oliveira *et al.* (2016), esta subunidade é representada, por anfibolitos finos cinza escuros e epidoto anfibolitos. Podem ocorrer ainda pequenos corpos, possivelmente intrusivos, de anfibolito médio-grosso. Em geral, os anfibolitos desta subunidade encontram-se intercalados por xistos com variadas assembleias minerais, compreendidas entre hornblenda, granada, muscovita, epidoto e biotita, bem como por muscovita quartzito.

- **Subunidade metassedimentar - NP2st2**

Oliveira *et al.* (2016), destacam que esta subunidade possui característica metassedimentar, com ampla variação de xistos e assembleias minerais variando entre granada, plagioclá-

sio, carbonato subordinado, óxidos e, em destaque, muscovita, biotita, quartzo e epidoto. Quando em proporções maiores, a clorita pode configurar tons esverdeados mais intensos. Predomina-se a fácies xisto verde, porém, também pode ocorrer fácies anfibolito, sugerindo uma recristalização retrometamórfica envolvida. Pelitos impuros com certo grau de imaturidade são os possíveis protolitos marcantes desta subunidade, embora protolitos de origem vulcânica não sejam totalmente descartados, tendo em vista a ocorrência de xistos contendo plagioclásio e/ou anfibólios, como tremolita.

2.2.7 Suíte Amarolândia - NP3γ3am

A partir do trabalho de Alvarenga *et al.* (2007), a Suíte Amarolândia corresponde a pequenos corpos de intrusões de batólitos tonalíticos pouco ou não deformados, que ocorrem em toda extensão do Arco Magmático Mara Rosa, com destaque para as intrusões aflorantes no entorno de Amarolândia e na área do depósito de Chapada. Os litotipos mais representativos desta suíte exibem macroestrutura isótropa ligeiramente foliada, granulação média e tonalidade mosqueada de branco e cinza escuro. Compõem-se em maior proporção de plagioclásio e quartzo pouco deformados, entremeados por aglomerados de biotita. Por vezes, o protomilonito tonalítico exhibe profoliação milonítica definida por superfícies anastomosadas constituída de quartzo e biotita neoformados e/ou recristalizados. Epidoto e clorita são produtos comuns ligados a metamorfismo de fácies xisto verde. As análises de U-Pb em zircões dos tonalitos retirados do depósito de Chapada, mostram idades de $635 \pm 2,4$ Ma, interpretadas como a idade de cristalização magmática, sendo esta, tida como representativa da suíte tonalítica Amarolândia (Melo, 2006).

2.2.8 Intrusões Tardi a Pós-Orogênicas

Dois tipos distintos de corpos intrusivos são apresentados, sendo estes dominados por dioritos e intrusões graníticas de composições gabróicas e graníticas, além de intrudir os gnaisses e rochas supracrustais do Arco Magmático de Goiás (Viana *et al.*, 1995; Pimentel *et al.*, 2004). Segundo Gonçalves *et al.* (2010), os corpos dioríticos possuem composição quartzo-diorítica com granulação grossa e foliação incipiente marcada pela ocorrência de biotita e hornblenda. As intrusões graníticas por sua vez, são mais disseminadas em corpos médios a grandes, alguns atingindo vários quilômetros de extensão, predominando biotita granitos leucocráticos. De acordo com Pimentel *et al.* (2004), teriam ocorrido após o evento tectônico de 600 Ma durante a Orogênese Brasileira.

- **Suíte Plutônica do Arco Magmático de Goiás - Granito Faina - NP3γ4f**

Datadas do Neoproterozóico e de natureza pós-tectônica, essa suíte exhibe pequenas intrusões ácidas com deformação incipiente ou ausente, sendo possível observar textura miloní-

tica a ultramilonítica no contato com as encaixantes metassedimentares. O batólito Faina é um corpo alongado na direção NE-SW, localizado a cerca de 15 Km a noroeste de Alto Horizonte é composto por biotita granitos, leucogranitos, podendo assumir característica granodiorítica, com granulação média-grossa e coloração em tons de cinza claro. Possui uma granulação média a grossa, macroestrutura isótropa a moderadamente foliada sendo formada por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita e granada (Alvarenga *et al.*, 2007). Segundo Junges *et al.* (2002a, 2003), o granito Faina foi datado em 576 ± 6 Ma, enquanto as idades modelo Sm-Nd TDM se situam entre 1,1 e 1,5 Ga (Viana *et al.* 1995, Junges *et al.* 2002b).

2.2.9 Alterações Hidrotermais e Mineralizações Associadas

As alterações hidrotermais na região possuem uma distribuição difusa e frequentemente descontínua, ocorre na forma de cianititos, epidiositos e rochas completamente silicificadas. As fontes de fluidos e elementos associados a alterações podem estar relacionadas à fase de arco de ilha, posteriormente metamorizadas em fácies anfíbolito e retrometamorizadas em fácies xisto verde, em um contexto de intensa deformação. Os produtos hidrotermais aluminosos são interpretados como pertencentes ao estágio avançado de alteração durante o pico do metamorfismo em cerca de 760 Ma (Junges *et al.*, 2002). Essas alterações são resultado da ocorrência de diversos depósitos minerais de ouro (Au) e cobre (Cu) Oliveira *et al.*, (2016).

- **Cianititos - NP3cn**

Diferem-se das demais unidades por apresentarem grande contribuição de rochas metassedimentares ricas em cianita (granada - cianita - muscovita - biotita xisto, quartzo - muscovitacianita xisto, cianita quartzito e cianitito), com intercalações de rochas metavulcânicas básicas a intermediárias (anfíbolitos finos, anfíbolio xistos, quartzo-clorita-muscovita xisto e pirita-clorita-serita xisto). Tal unidade, frequentemente, ocorre envolvendo as serras de cianititos ao longo da zona de cisalhamento Serra de Bom Jesus, ao longo da Serra das Araras e nas rochas encaixantes do depósito de Cu-Au de Chapada. Ao sul da área que o Projeto Mara Rosa está inserido, ocorre o Depósito de Cu-Au de Chapada que se destaca como a principal ocorrência de Cu e Au. Silva e Sá (1986) sugeriram uma possível origem vulcanogênica para a formação do depósito e Richardson *et al.*, (1986) o interpretaram como do tipo Cu-porfirítico. Entre as encaixantes deste depósito destacam-se associações ricas em cianita e pirita, que representam a litocapa metamorizada (halo argílico metamorizado). De acordo com Coelho *et al.* (2021), as hospedeiras são representadas por rochas ricas em biotita que ocorrem em contato transicional com a litocapa.

Capítulo 3

Sensoriamento Geológico e Geofísica Aérea

3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as ferramentas que complementam a cartografia geológica e auxiliam na etapa de campo e na confecção do mapa geológico final, que incluem dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica, sendo estes essenciais para o mapeamento geológico da área deste projeto, tendo papel fundamental facilitar a identificação e descrição de unidades geológicas tanto em escala regional quanto de afloramento.

Além disso, com o auxílio de técnicas de processamento dos dados oriundos dos sensores remotos e de dados geofísicos foram gerados diferentes produtos a partir dos quais foi possível inferir características físicas e químicas dos materiais em superfície e subsuperfície, assim como as relações geométricas de caráter estrutural dos corpos da área de estudo.

Este capítulo tem como objetivo principal descrever os conceitos, metodologias e etapas relacionadas à utilização destas ferramentas. Logo, serão abordados temas como a natureza dos dados, processamento, análise e interpretação de informações provenientes tanto do sensoriamento remoto quanto da aerogeofísica.

3.2 Sensoriamento Remoto

Para elaboração dos mapas foi utilizada a imagem de satélite que disponibilizasse a melhor resolução espacial possível para a obtenção de um bom resultado durante o geoprocessamento. Além da extração das feições cartográficas, foram realizados alguns procedimentos no processamento dessas imagens, para extrair o máximo de informações além da composição RGB clássica. As imagens CBERS 04A, Landsat 8 e ALOS PALSAR foram processadas de forma independente entre si, com seus resultados sendo posteriormente integrados para a geração dos

produtos interpretados. As imagens do CBERS 04A são geridas e disponibilizadas pelo site do INPE de forma pública e de livre acesso segundo o link, sendo a seguinte cena utilizada: CBERS4A_WPM20913020220612. Enquanto os dados de Landsat 8 são geridos pela NASA e USGS, disponíveis no portal Earth Explorer também de acesso público pelo link, sendo a seguinte cena utilizada: LC08_L2SP_222070_20210726_20210804_02_T1. Já o ALOS PALSAR possui imagens fornecidas pela JAXA e distribuídas pela ASF, sendo essas obtidas no link e a seguinte cena utilizada: AP_26927_FBS_F6900_RT1. É válido ressaltar que todos estes dados são públicos.

Inicialmente, as imagens CBERS 04A passaram por um empilhamento das bandas 1 a 4 (layerstacking), de forma a uni-las em um único arquivo raster e possibilitar suas combinações em composições coloridas. Em seguida, foi efetuada uma fusão da imagem empilhada com a banda 0 (pancromática) por meio da ferramenta pansharpening, onde os pixels das bandas 1 a 4, inicialmente com resolução espacial de 8 metros, foram reamostrados com base nos pixels da banda 0, de 2 metros de resolução espacial, resultando em uma imagem multiespectral com 4 bandas (B, G, R e NIR), sendo ambas com pixels de 2x2 metros.

Dessa forma, a imagem reamostrada foi utilizada para a confecção das composições coloridas 321, 432 e 423, bem como para a extração e análise de componentes principais (PCA - Principal Component Analysis).

Com relação ao processamento das imagens Landsat, foi realizado um empilhamento inicial de bandas, assim como aplicado às imagens CBERS, concatenando as bandas 1 a 7 em uma única imagem. Na sequência, a imagem empilhada foi utilizada para a confecção de composições coloridas, fazendo uso também de razões espectrais e extração de componentes principais.

Por fim, ao MDE Alos Palsar foram aplicados os algoritmos de sombreamento de relevo (hillshade) e de extração de curvas de nível (contour), com seus parâmetros de entrada detalhados na (tabela 3.1). Este processo resultou na geração de um dado matricial de relevo simulado e um dado vetorial de elevação do terreno.

Tabela 3.1: Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.

<u>Hillshade</u>	<u>Contour</u>	<u>Suavização</u>
Fator Z: 2,5	Espaçamento: 50 m	Iterações: 3
Azimute: 300°	Espaçamento: 30 m	Deslocamento: 0,25
Ângulo de inclinação: 40°		Ângulo máximo de nó para suavizar: 180°
Escala de cores: Branco a Cinza 50% (ArcMap)		

Uma das vantagens da utilização de imagens multiespectrais foi a possibilidade das diferentes composições coloridas (123, 321, 423), onde cada um dos arranjos destacou alguma feição tornando-a mais evidente. Tal rearranjo entre bandas foi um artifício muito utilizado durante a extração de feições cartográficas como estradas pavimentadas e, não pavimentadas, propriedades rurais, assim como feições morfológicas/geológicas como drenagens e lineamentos em conjunto com as imagens de geofísica. (figura 3.1)

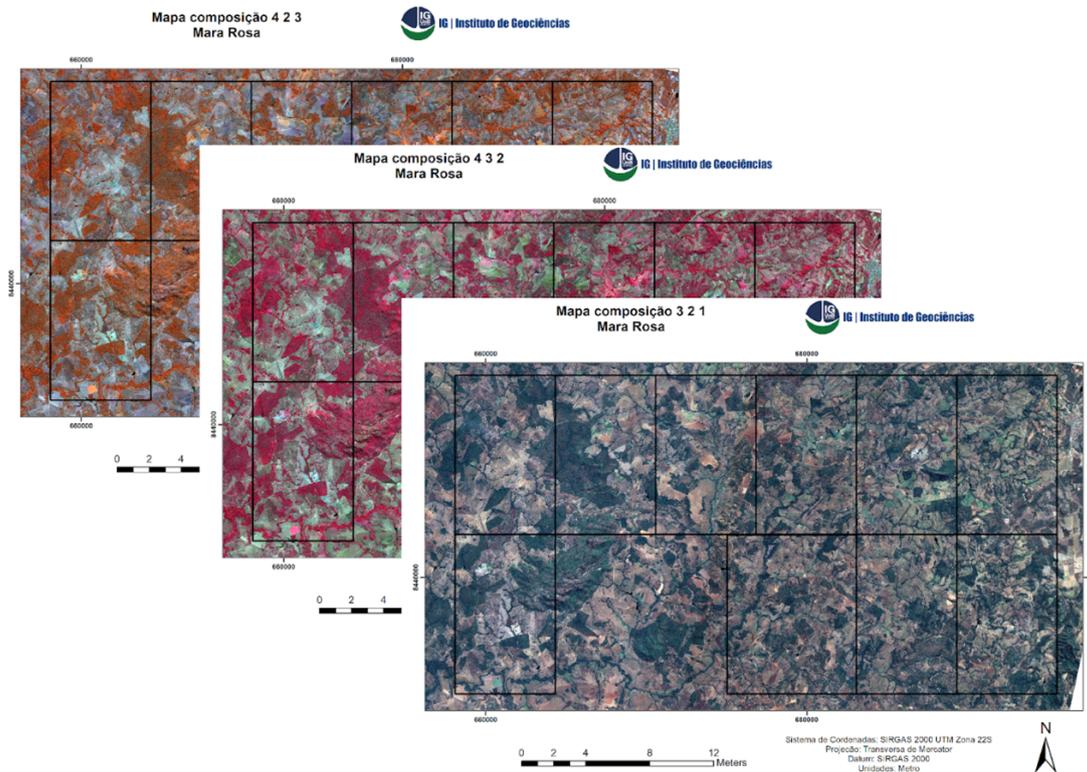


Figura 3.1: Diferentes composições coloridas utilizadas, seguindo da esquerda para a direita: 423, 432 e 321, respectivamente.

Esses mapas também servem como base para realizar o planejamento dos perfis, caminhamentos, pontos e logística. As drenagens de modo geral são onde encontram-se afloramentos mais frescos ou pouco intemperizados.

Para elaboração dos mapas foram utilizados bancos de dados obtido nos portais do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) e Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT). Os shapefiles obtidos nesses portais serviram de base para todos os mapas gerados neste trabalho.

Um mapa base regional foi elaborado englobando todas as áreas contendo as principais feições cartográficas como rodovias, estradas pavimentadas, e não pavimentadas, propriedades rurais, drenagens e curvas de nível com a finalidade de facilitar a visualização e localização dos pontos visitados durante o campo (figura 3.2).

Esse mapa servirá, na etapa de campo, como um mapa preliminar geológico, servindo de esboço da geologia da área, a qual será complementada dia a dia durante o campo, onde serão plotados os pontos de cada dia e representação com o auxílio de lápis de cor das unidades observadas. Tal sistemática será adotada para facilitar a visão do contexto geológico e para que não fiquem domínios sem informação no mapa.

As imagens orbitais, bem como os demais dados vetoriais e matriciais utilizados no Projeto Mara Rosa, foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para isto, diferentes softwares de geoprocessamento foram utilizados, incluindo Google Earth Pro e QGIS (3.20.2), ambos de licença livre e gratuita, e ArcMap (10.5), licenciado para uso institucional fornecido pelo Instituto de Geociências - UnB.

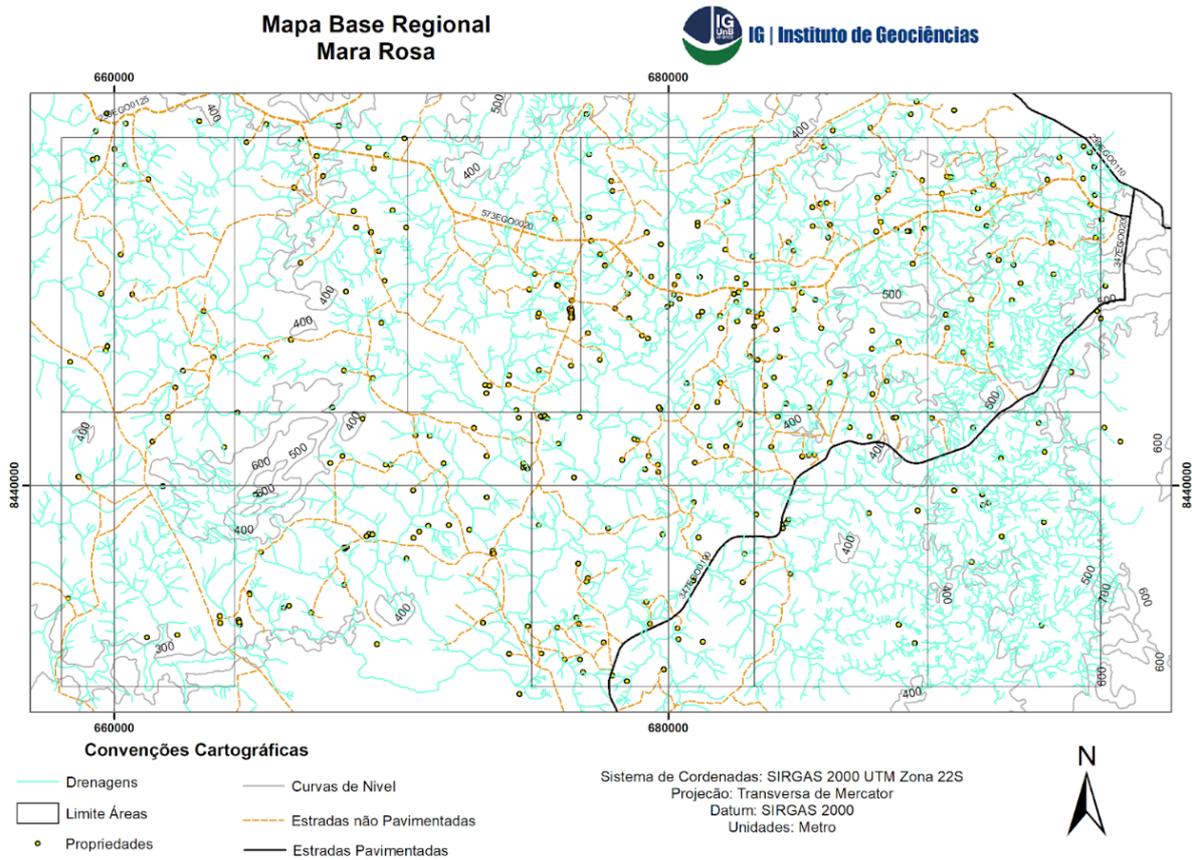


Figura 3.2: Mapa base Regional do projeto Mara Rosa.

Para a subárea IV foram produzidos 2 mapas contendo drenagens, curvas de nível de 30 metros de espaçamento, estradas não pavimentadas e propriedades rurais. O primeiro deles é um mapa base com fundo branco que será usado para plotar os pontos, foliações e unidades mapeadas durante o campo (figura 3.3). Já o segundo, servirá como mapa de localização com imagem de satélite para auxiliar na identificação de feições e para situar o grupo durante o caminhamento (figura 3.4).

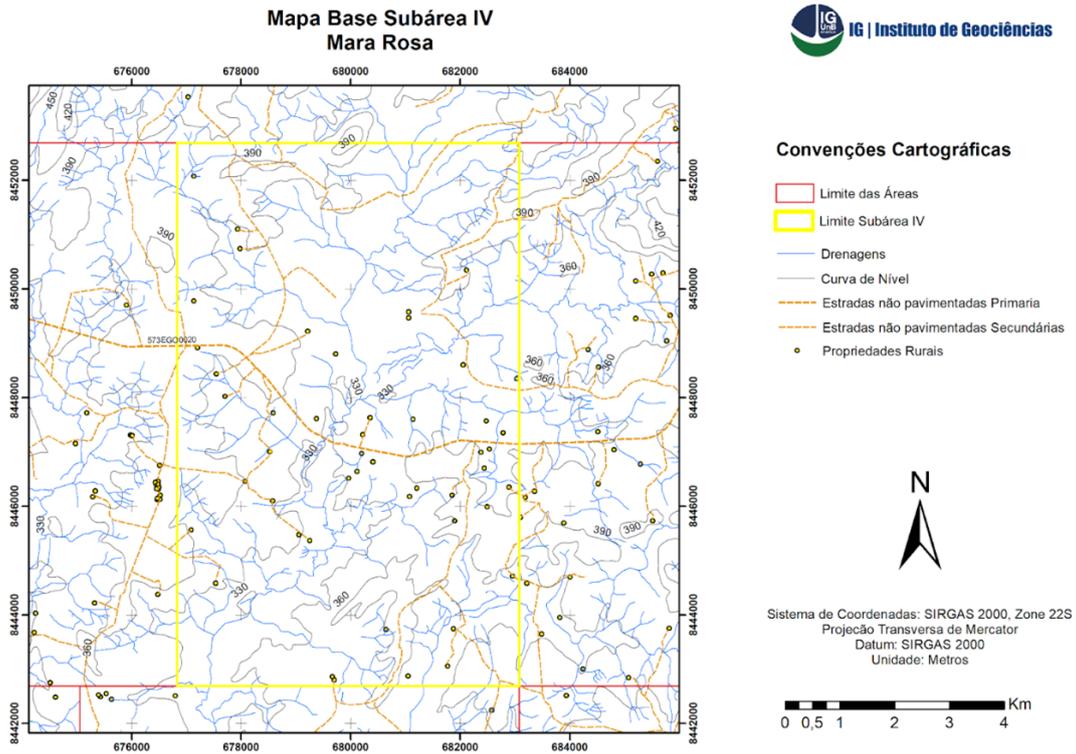


Figura 3.3: Mapa base subárea IV

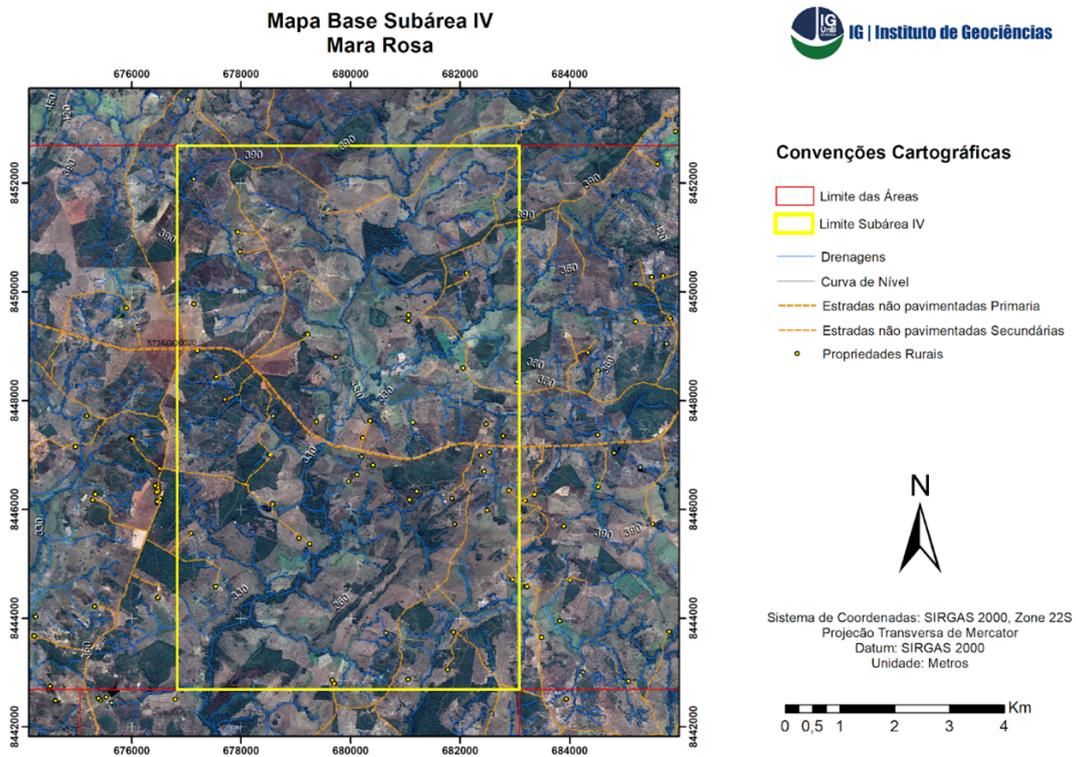


Figura 3.4: Mapa Base de localização subárea IV.

Os lineamentos apresentados indicam a geometria dos traços estruturais serão confirmados ou não na etapa de campo e as propriedades rurais são localizadas para que seja realizado o aviso prévio do trabalho de campo e também servem de apoio logístico. (figura 3.5)

Os lineamentos de relevo foram traçados utilizando o modelo digital de elevação (MDE), com direção de sombreamento de Azimute 300° e Inclinação da iluminação de 40°, obtivemos a configuração que tornou o relevo o mais evidente possível e sem exagero vertical. Os lineamentos de relevo são discretos, ressaltando algumas serras e morros como a serra de Bom Jesus, Granito Faina, Morro Redondo e o platô de Mara Rosa (Martin Hale, 1994). No geral, o terreno é arrasado e planificado devido ao avançado processo de lixiviação do terreno velhas, como discutido anteriormente nos aspectos fisiográficos, mais especificamente sobre o relevo (figura 3.5).

Os lineamentos de relevo vão representar estruturas maiores como falhas, zonas de cisalhamento, hidrotermalismo ou competência da rocha ao intemperismo que tendem a gerar diferenças de relevo e quebras de relevo nítido. Já os lineamentos de drenagem serão estruturas de segunda ordem, podendo ser descontinuidades/juntas no strike das camadas, uma vez que são perpendiculares à direção principal da foliação das camadas.

Como constatado na bibliografia e nos lineamentos magnéticos, a tendência de estruturas N-NE é bem evidenciada pela roseta de lineamentos de relevo, já na roseta de lineamentos de drenagem ocorrem duas direções principais, sendo elas NE e NW. É perceptível quando observamos o mapa de zonas homólogas as duas direções se entrelaçando, portanto, tanto em superfície quanto em subsuperfície essas estruturas têm respostas que são visíveis na forma com que o relevo é esculpido (figura 3.6).

Outro produto auxiliar do sensoriamento foi um mapa com a delimitação de zonas homólogas que teve como base os diferentes tipos de drenagem e lineamentos associados a quebras negativas de relevo e drenagem utilizando a metodologia de análise Soares & Fiori 1976 que se divide em fotoleitura - identificação dos elementos da imagem com as feições da superfície; fotoanálise - referente a relação das feições da imagem; e fotointerpretação - avalia o significado dos objetos e suas relações. Os métodos de fotointerpretação podem-se subdividir em comparativos ou de análise lógica. O método baseia-se em determinar áreas (de mesma feição), categorias (mesma litologia) e/ou uma associação de ambas para se definir domínios.

Lineamentos de Relevo e de Drenagens
Projeto Mara Rosa-GO

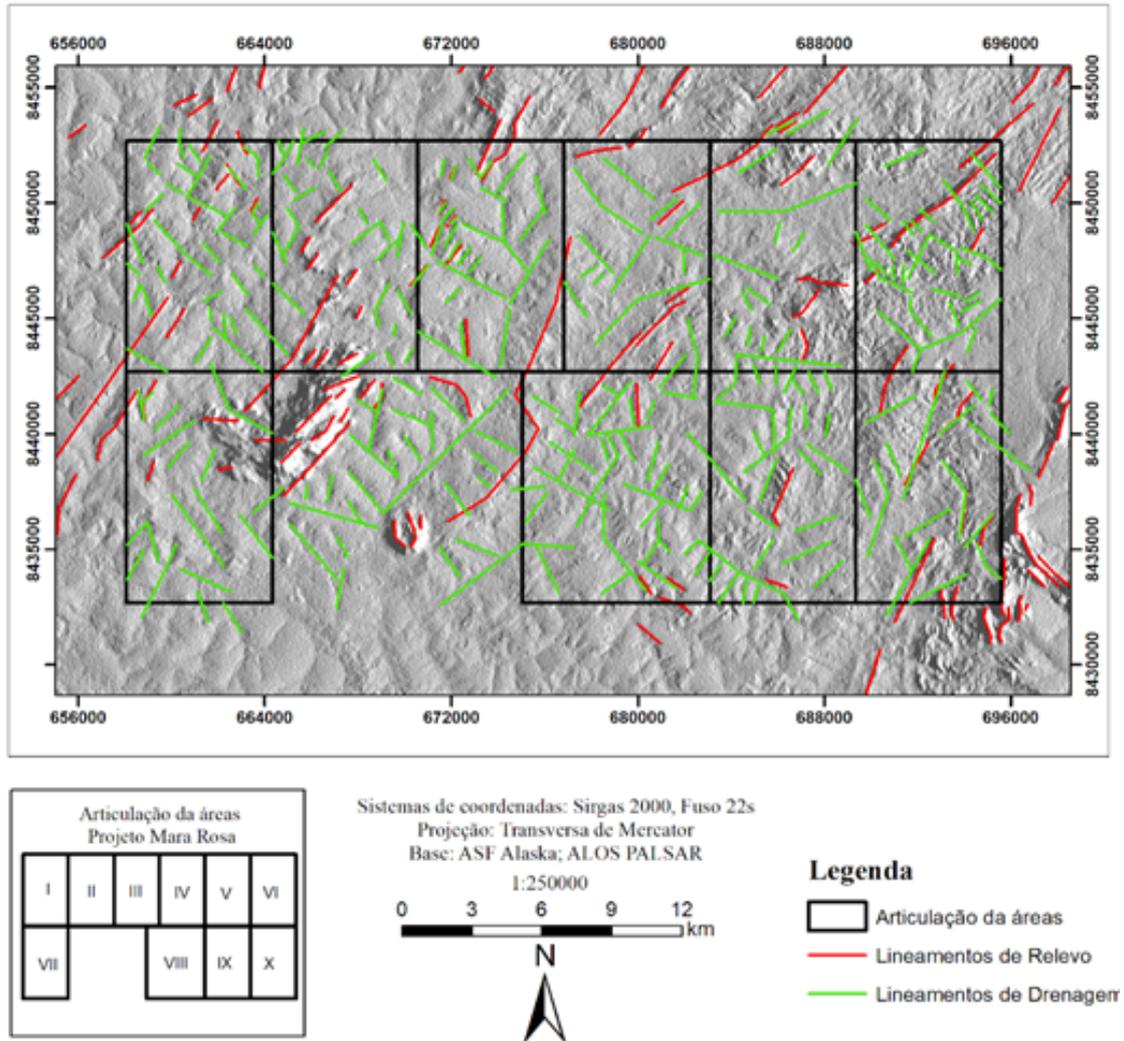


Figura 3.5: Mapa de lineamentos de relevo e drenagem regional utilizando SRTM.

Rosetas de lineamento

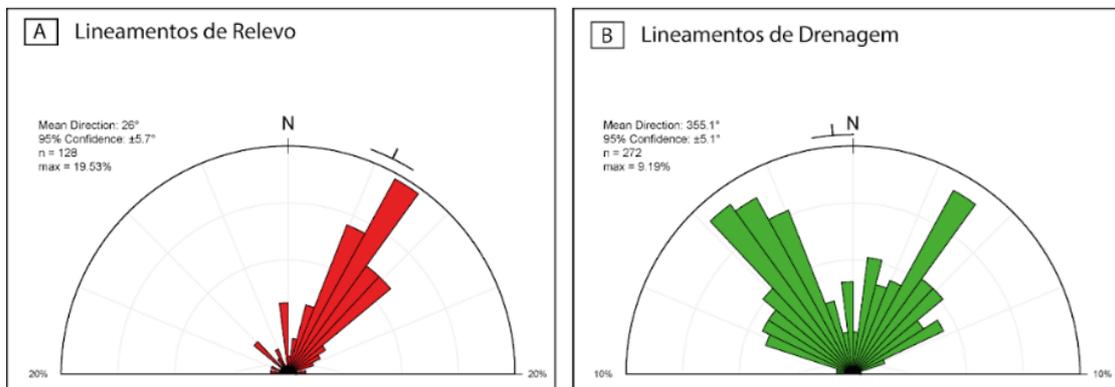


Figura 3.6: Roseta de lineamentos regional.

Os domínios (figura 3.7) foram caracterizados com base nos elementos texturais das drenagens como: densidade, alinhamentos, lineações, curvaturas dos elementos, angularidade, tropia, assimetria e uniformidade, além dos lineamentos de relevo e drenagem, os lineamentos não foram apresentados juntos das drenagens para não poluir a imagem das zonas homólogas.

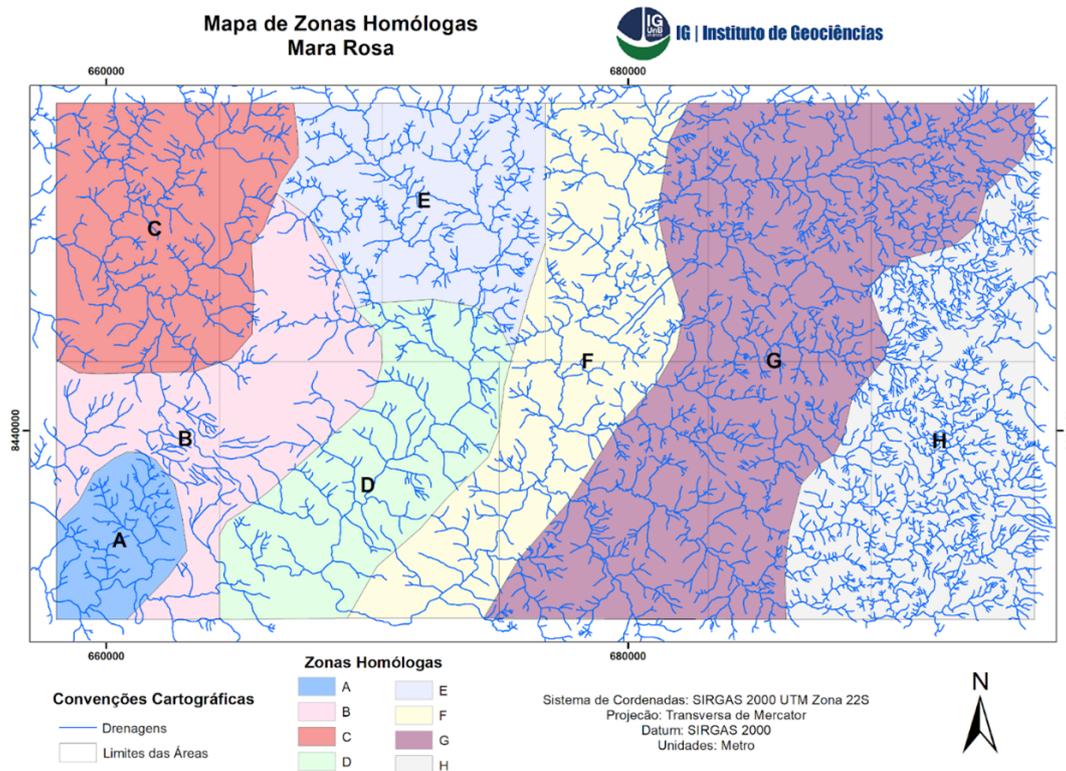


Figura 3.7: Mapa de zonas homólogas de drenagens do projeto Mara Rosa.

Descrição das Zonas Homólogas:

Zona A: Caracterizada por dois padrões de drenagem, sendo o primeiro dendrítico com densidade média, sinuosidade mista, angularidade média, tropia multidirecional desordenada, assimetria fraca e com algumas formas anômalas em arco. O segundo padrão de drenagem é observado em domínios mais retangulares, com densidade média, sinuosidade mista a retilínea, angularidade alta, tropia bidirecional a tridirecional, fraca assimetria e com algumas formas anômalas em cotovelo e meandros isolados.

Zona B: Nesta zona, o principal padrão de drenagem observado é o paralelo, com densidade média a alta em alguns domínios, sinuosidade mista a retilínea, angularidade baixa, tropia unidirecional, fraca assimetria e poucas formas anômalas em arco. Existem ainda domínios de padrões dendríticos, com baixa densidade, sinuosidade curva, angularidade média, tropia tridirecional, fraca assimetria e sem formas anômalas conhecidas.

Zona C: Marcada por dois padrões bem definidos, sendo o primeiro deles do tipo dendrítico, com densidade média, sinuosidade curva, angularidade média a alta, tropia multidirecional desor-

denada, assimetria fraca e formas anômalas em arco. O outro padrão observado é do tipo treliça, com densidade média, sinuosidade retilínea, angularidade média, tropia bidirecional, assimetria fraca e formas anômalas do tipo cotovelo.

Zona D: Esta zona é marcada por dois padrões de drenagem bem definidos, sendo o principal deles do tipo treliça com densidade baixa a média, sinuosidade retilínea, angularidade alta, tropia bidirecional, assimetria forte, e formas anômalas do tipo arco. O outro padrão observado é do tipo dendrítico, com baixa densidade, sinuosidade mista, angularidade média, tropia tridirecional, fraca assimetria e formas anômalas em arcos e cotovelos.

Zona E: Apresenta três padrões de drenagens bem definidos, sendo o primeiro deles do tipo treliça com baixa a média densidade, sinuosidade retangular a mista, angularidade média, tropia bidirecional, assimetria fraca e formas anômalas em arco. Outro padrão observado é do tipo dendrítico, com baixa densidade, sinuosidade mista, angularidade média a alta, tropia tridirecional, assimetria fraca e formas anômalas em arcos e cotovelos. Existe ainda um padrão de drenagem importante nesta zona homóloga e foi definido como radial centrífuga, com uma densidade média, sinuosidade mista, angularidade média, tropia multidirecional ordenada, assimetria fraca e formas anômalas em meandros isolados e por vezes em arcos.

Zona F: É marcada por três padrões de drenagens bem definidos, sendo o primeiro do tipo treliça com densidade média, sinuosidade mista, angularidade média a alta, tropia bidirecional, assimetria fraca e formas anômalas em arco e cotovelos. Outro padrão é do tipo retangular, com baixa densidade, sinuosidade retilínea, angularidade alta, tropia bidirecional, fraca assimetria e inúmeras formas anômalas do tipo meandros isolados, em arco e cotovelos. O último padrão observado é do tipo dendrítico com baixa densidade, sinuosidade mista, angularidade média, tropia tridirecional, assimetria fraca e formas anômalas em arco.

Zona G: Apresenta padrão de drenagem principal do tipo dendrítico, com densidade média a alta, sinuosidade mista, angularidade predominantemente alta, tropia multidirecional desordenada, fraca assimetria e formas anômalas em arcos e cotovelos. O outro padrão de drenagem existente é do tipo treliça, com densidade média, sinuosidade retilínea a mista, com angularidade média, tropia bidirecional, fraca assimetria e formas anômalas em arco e cotovelos.

Zona H: Esta zona é marcada por três padrões de drenagem bem definidos. O primeiro deles encontra-se a leste da zona homóloga e é definido como um padrão paralelo, com alta densidade, sinuosidade retilínea, angularidade baixa, tropia unidirecional, assimetria fraca e com algumas formas anômalas em arco. Outro padrão observado, mais a oeste, é do tipo treliça, com densidade média a alta, sinuosidade mista, angularidade média a alta, tropia bidirecional, assimetria fraca e com formas anômalas em arco. O último padrão observado é do tipo dendrítico, com densidade alta, sinuosidade curva, angularidade média a alta, tropia multidirecional desordenada, fraca assimetria e formas anômalas do tipo em arco e cotovelo.

3.3 Aerogeofísica

3.3.1 Embasamento teórico

A aerogeofísica se baseia na coleta de dados via plataformas aéreas tais como: aviões, helicópteros e/ou drones para pesquisas de cunho geológico que visam, após o processamento, interpretar estes dados a fim de auxiliar descrições e pesquisas geológicas de determinada região.

3.3.1.1 Magnetometria

O método magnetométrico tem como base na susceptibilidade magnética de um material, que, se caracteriza pela capacidade de interação do material com um campo magnético. A esta magnetização dá-se o nome de magnetização induzida. Este fenômeno pode ser entendido quando se imagina que o material é constituído por pequenos dipolos (no caso das rochas os dipólos são os minerais com características magnéticas) que se orientam na direção das linhas de força do campo aplicado ou indutor. Diz-se, então, que ocorreu uma polarização magnética. Como resultado do alinhamento, o material passa a se comportar como um dipolo.

Trata-se de um método potencial, que necessita apenas de um sensor para medir a intensidade do campo magnético terrestre. As variações de intensidade magnéticas são causadas pelo conteúdo de minerais magnéticos como magnetita. Estas variações do campo magnético podem estar associadas a feições geológicas como contatos, falhas, fraturas, zonas de cisalhamento, diques, entre outros. A interpretação do mapa de anomalias magnéticas e realces com base em derivadas direcionais pode auxiliar no mapeamento geológico

3.3.1.2 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é a resposta da radiação gama emitida naturalmente por elementos radioativos. Os principais elementos com contagem de radiação gama suficiente para serem isolados são: Potássio (K), Urânio (U) e Tório (Th). Cada um desses elementos tem proporção e características de mobilidade diferentes quando intemperizados, concentrando-se de forma diferente nas rochas e/ou solo (Dentith & Mudge 2014).

- **Potássio**

O Potássio é abundante na crosta (2,35%) e possui tendência de maior mobilidade em relação ao Th e U, sendo mais susceptível ao transporte causado por processos intempéricos. Tende a se concentrar principalmente nas drenagens, durante o processo de intemperismo, e se concentra em argilominerais como illita, montmorilonita e, em menor proporção, caulinita (Dickson & Scott 1997). Além disso, costuma marcar bem os corpos graníticos con-

tendo minerais potássicos como K-Feldspatos e micas, como flogopita, muscovita e biotita (Ribeiro *et al.* 2014).

- **Tório**

Já o Tório é pouco abundante na crosta (12ppm) e é caracterizado como o elemento relativamente mais estável entre os três em que, devido a baixa solubilidade em soluções ácidas, não se mobilizando tão facilmente tende a auxiliar de maneira mais efetiva a identificação de corpos plutônicos.

- **Urânio**

Por fim o Urânio pode se comportar de maneiras diferentes quanto à mobilidade no meio, dependendo de seu estado de oxidação (Dickson & Scott 1997), em um ambiente onde se encontra na forma reduzida, tende a migrar para os minerais de origem primária, enquanto que sua forma oxidada tende a permanecer como material residual.

3.3.2 Características do Aerolevanteamento

Os dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos utilizados no trabalho, são provenientes do Projeto: Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa, que abrangeu a porção norte do estado de Goiás (figura 3.8). O referente projeto foi fomentado pelo convênio entre a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGMTM), o Ministério de Minas e Energia (MME), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Secretaria de Indústria e Comércio da Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (SIC/SGM) e o Fundo de Fomento à Mineração (FUNMINERAL) e executado pela empresa LASA Engenharia e Prospecções S/A.

O levantamento aerogeofísico, realizado no ano de 2004, cobriu uma área de 15.890 km^2 com 36.559,73 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução (LASA, 2004). As linhas de voo e controle do aerolevanteamento foram orientadas nas direções N-S e E-W e espaçadas a cada 0,5 km e 5,0 km, respectivamente. A altura do voo foi definida em 100 m sobre o terreno e o intervalo entre leituras geofísicas equivalentes a 0,1 s para o magnetômetro e 1,0 s para o gamaespectrômetro (LASA, 2004). Foram utilizadas duas aeronaves para a aquisição dos dados: um Cessna C208B Caravan – PT-FAS que vôou com velocidades de aproximadamente 260 km/h e um Cessna Titan 404 – PT-WQT) com velocidade de vôo de aproximadamente 302 km/h (LASA, 2004).

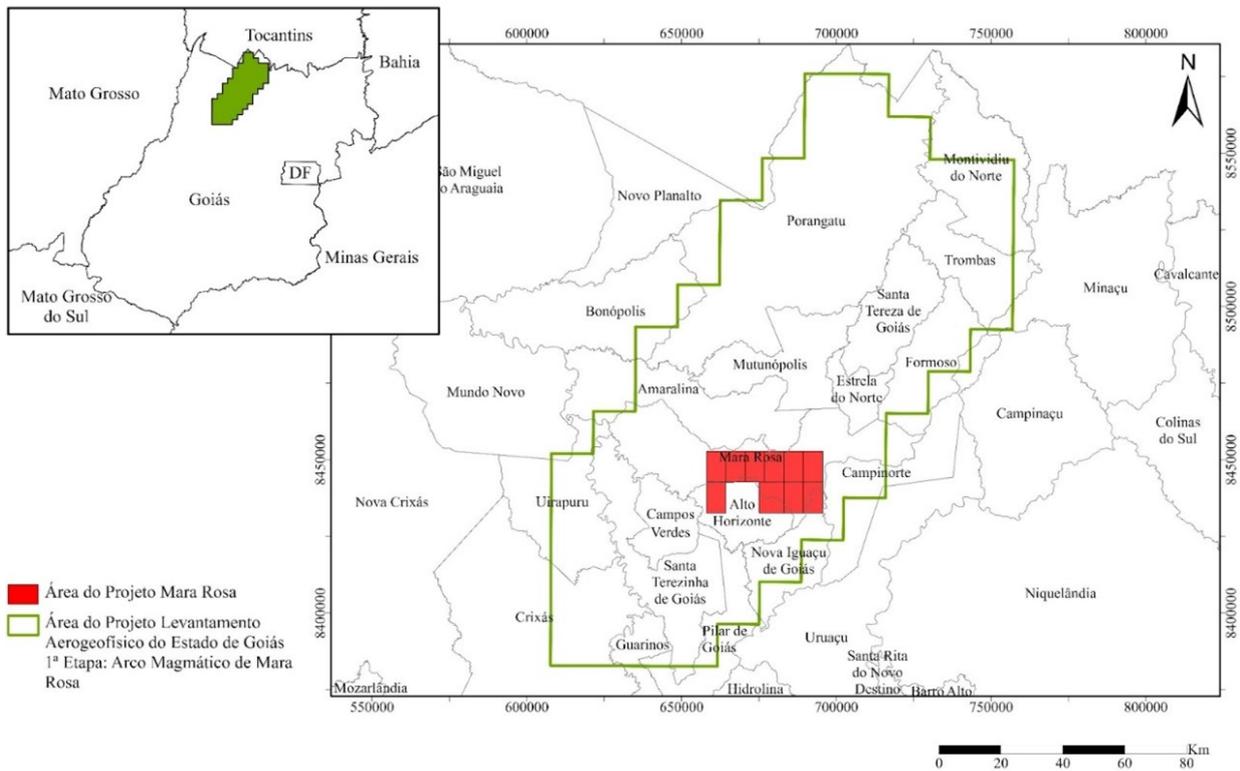


Figura 3.8: Mapa de localização do levantamento aerogeofísico Projeto: Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa.

Os dados radiométricos e magnéticos utilizados nesta pesquisa são do levantamento aerogeofísico realizado pela LASA Engenharia e Prospecções, efetuado em 2006, e disponibilizados pelo Governo do Estado de Goiás.

3.3.3 Processamento de Dados

O processamento de dados aero geofísicos magnéticos envolve um processo sequencial de edição, correção de efeitos diurnos, nivelamento dos dados e, por último, a aplicação um padrão para interpolação dos dados em malha regular (Luyendyk, 1997).

Para este trabalho, os dados magnéticos foram usados para localizar as principais acumulações de minerais magnéticos e a detecção de assinaturas magnéticas providas do arranjo estrutural regional. Para isto foi utilizada a anomalia magnética, isto é, o campo magnético total subtraindo-se o IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Os dados de espectrometria de raios gama foram processados pela Lasa de acordo com a abordagem descrita pela IAEA (2003).

O método de interpolação dos dados magnetométricos utilizados neste trabalho foi o de interpolação bidirecional (BIGRID) (Reeves, 2005), sendo este um método de interpolação utilizado para levantamentos realizados em linhas de voo aproximadamente paralelas e regulares, sem con-

siderar as linhas de controle transversais.

A dimensão da célula de grid deve estar compreendida entre um quarto e um oitavo do espaçamento entre as linhas de voo. Neste estudo foi utilizado o valor de um quarto, 125 m.

As derivadas horizontais realçam feições nas direções x e y, acentuando o gradiente lateral da propriedade física investigada na direção escolhida, ou seja, na localização de extremidades de fontes (Simpson *et al.*, 1986). Também são úteis na obtenção de novos produtos que necessitem do gradiente lateral, tais como no Gradiente Horizontal Total (GHT) e Deconvolução de Euler.

A derivada vertical enfatiza características próximas à superfície e estreita a largura da anomalia, localizando assim fontes de forma mais precisa (Cooper & Cowan, 2004). A primeira derivada vertical é um filtro passa-alta amplamente utilizado, pois é robusto em computação, possui resultados confiáveis e facilmente interpretáveis (Isles & Rankin, 2013). Também é utilizada como base na obtenção de produtos tais como o Sinal Analítico 3D (SA 3D).

Aplicou-se o Gradiente Horizontal Total (GHT) para ajudar com a análise das variações laterais do campo anômalo. Derivadas horizontais foram empregadas para determinar as posições espaciais destas fontes, e foram úteis para caracterizar alvos lineares (Blakely, 1996; Nabighian *et al.*, 2005). As derivadas horizontais permitiram ainda o mapeamento dos limites laterais destas fontes (Blakely e Simpson, 1986).

Nabighian (1972) descreve o conceito de sinal analítico ou gradiente total como um filtro realizado no domínio da frequência. Em 1984, este mesmo autor propõe também o uso deste conceito em 3D. Por esta razão, neste trabalho utilizaremos a denominação de Sinal Analítico 3D. O fluxograma a seguir representa as atividades realizadas para processamento e interpolação dos dados magnetométricos (figura 3.9).

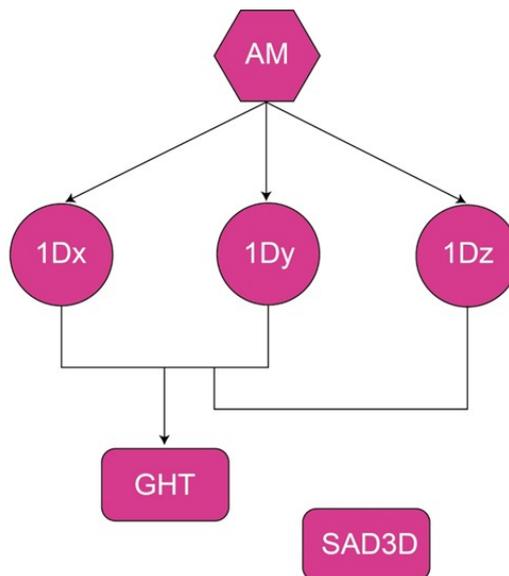
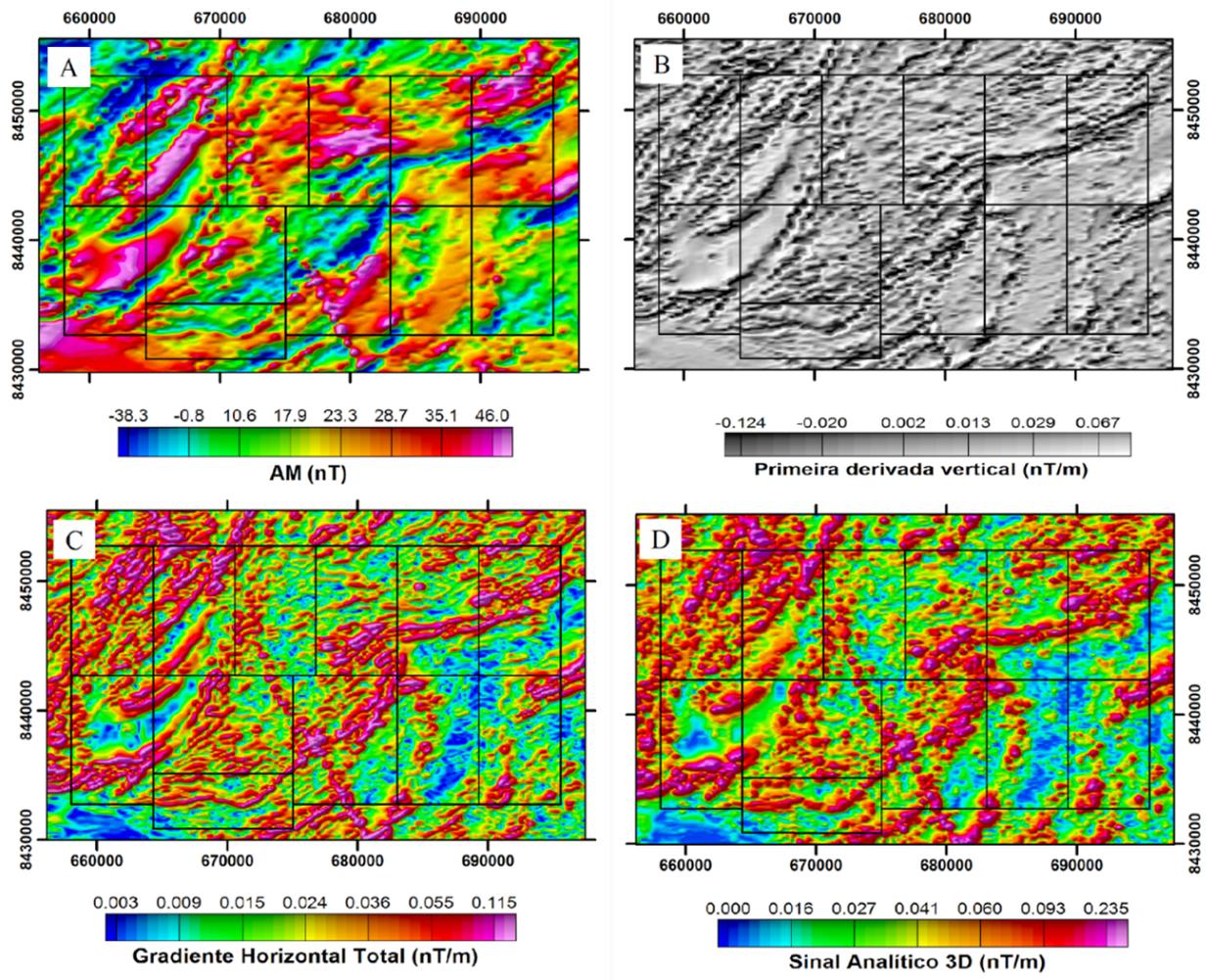
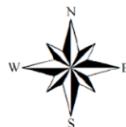
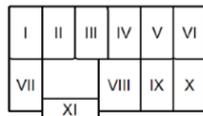


Figura 3.9: Fluxograma representando as etapas do processamento de dados magnéticos

O processamento dos dados gamaespectrométricos foi conduzido no programa Oasis-RPS Montaj da GEOSOFT. Os mapas radiométricos foram elaborados a partir dos dados de concentrações dos canais radiométricos de potássio, urânio, tório e contagem total (figura 3.10)



Subáreas do Projeto Mara Rosa



0 4 8 12 km

Figura 3.10: Mapas geofísicos contendo os produtos gerados associados à magnetometria, (A) mapa de anomalia magnética, (B) mapa de primeira derivada, (C) mapa de gradiente horizontal total, (D) sinal analítico 3D.

O fluxograma a seguir mostra as etapas realizadas de processamento dos dados gamaespectrométricos (figura 3.11).

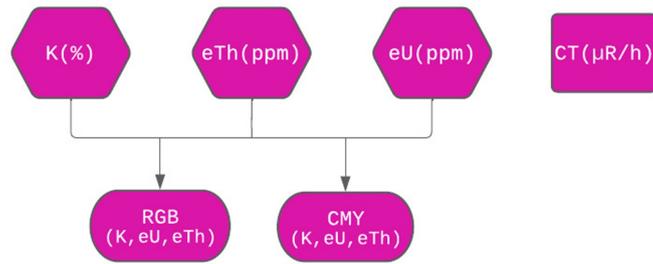


Figura 3.11: Fluxograma resumido das etapas do processamento dos dados gama

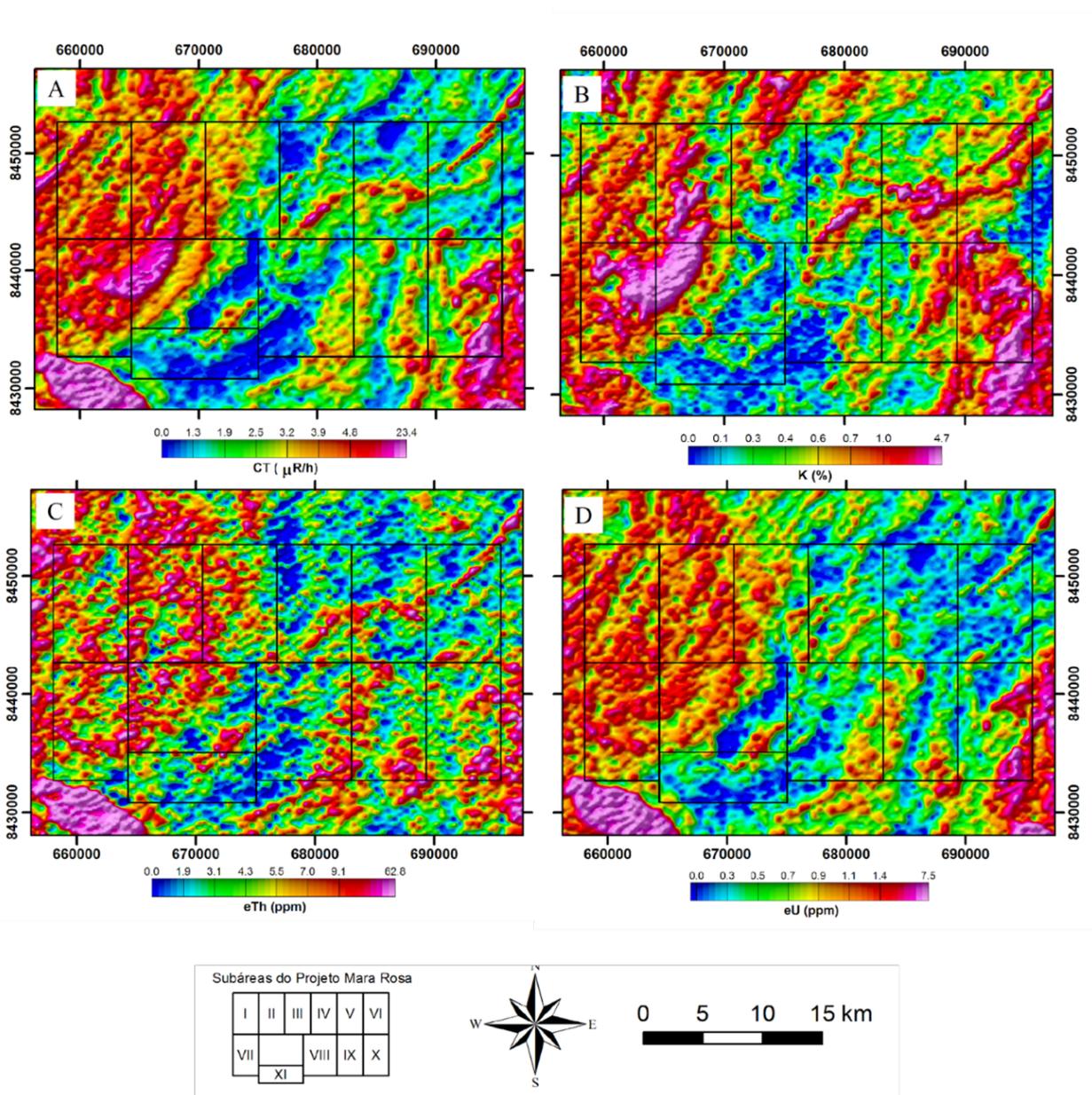


Figura 3.12: Mapas de gamaespectrometria do Projeto Mara Rosa com contagem total (CT), Potássio (K), Tório (eTh) e Urânio (eU).

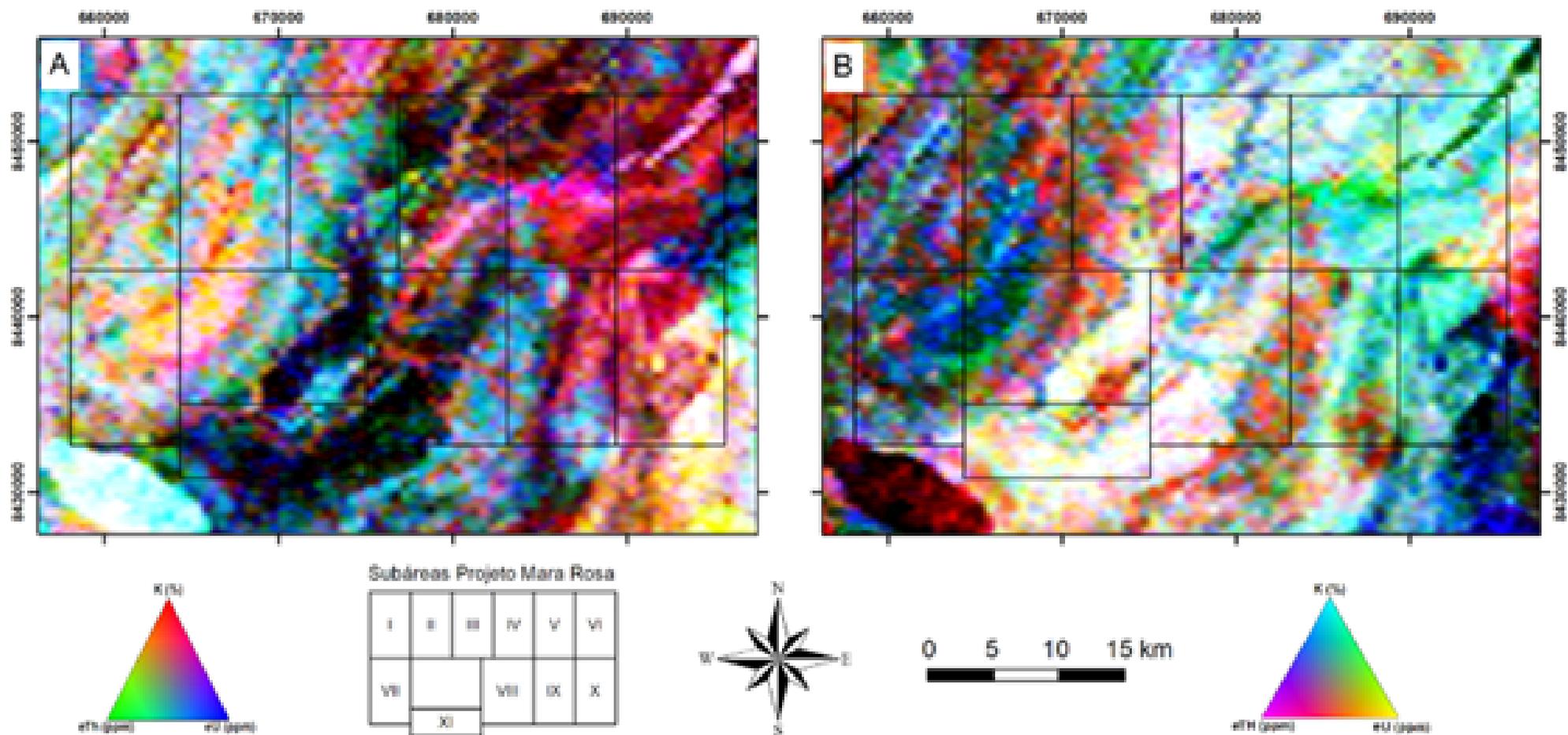


Figura 3.13: Prancha com os mapas de gamaespectrometria em (A) RGB e (B) CMY.

3.3.4 Análise e Interpretação dos Dados

Neste tópico, serão apresentadas as análises e interpretações dos dados gerados nos mapas geofísicos preliminares que foram confeccionados em escala 1:50.000 abrangendo todas as subáreas do Projeto Mara Rosa de maneira integrada.

Para fins de análise e interpretação foram utilizados critérios similares aos aplicados no sensoriamento remoto, sendo estes padrões e feições de contraste relativo, tais como: textura, geometria, cor e estrutura. Além disso, algumas definições e caracterizações foram feitas com banco de dados de mapeamento geológicos prévios de maior escala.

Por fim, utilizando destes critérios foram criados domínios geofísicos tanto para gamaespectrometria quanto para magnetometria, apresentados por meio de mapas, em que, estes domínios foram categorizados de forma alfabética.

3.3.4.1 Dados Magnéticos

A interpretação dos dados magnéticos foi feita de maneira conjunta, de tal forma que feições vistas em um mapa eram comparadas com outras para a melhor escolha dos contatos. Logo após, as imagens radiométricas foram interpretadas, sem levar em conta o que já havia sido analisado da magnetometria. Por fim, as duas interpretações foram comparadas para ver quais feições eram distintas e quais eram semelhantes.

A profundidade de alcance da gamaespectrometria é de poucos centímetros, enquanto a magnetometria chega a dezenas de quilômetros de profundidade. Uma feição mapeada por ambos os métodos pode resultar na possível continuidade em profundidade da mesma. A Anomalia Magnética, é um dado pouco usado para interpretação pois é visualmente mais difícil analisá-la, por conta do seu caráter dipolar. No entanto, é possível ver as principais diferenças regionais da área (figura 3.14).

Os mapas derivados: derivada vertical (DZ), gradiente horizontal total (GHT) e Sinal Analítico 3D mostram-se aplicáveis para definir lineamentos. A área de estudo apresenta um trend estrutural principal com direção NE-SW e marginalmente apresenta estruturas E-W e NW-SE. É válido lembrar que em função do paralelismo e a direção da linha de voo estruturas N-S podem ser mascaradas ou não se apresentarem nos mapas.

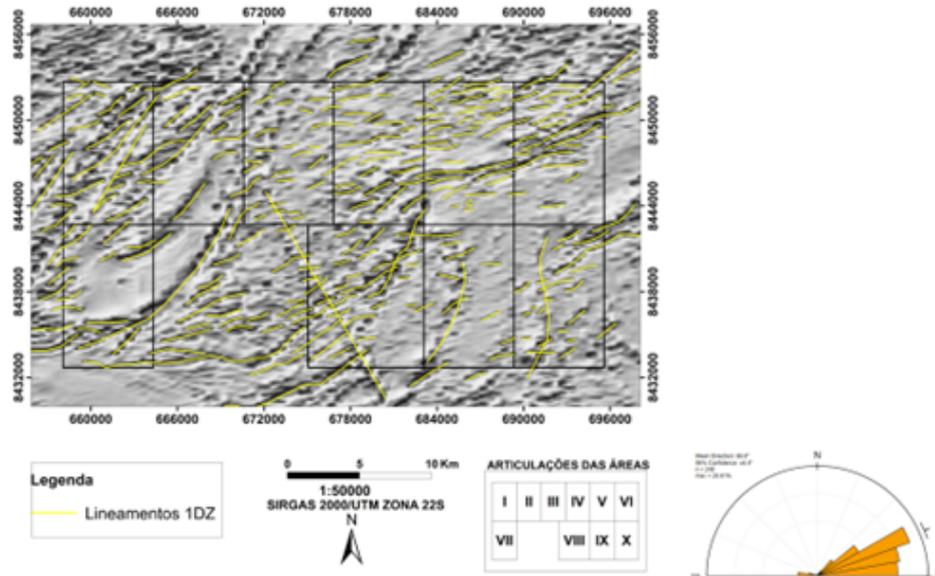


Figura 3.14: Mapa de lineamentos magnéticos gerados sobre o produto de primeira derivada vertical com diagrama de rosetas com $n=248$.

Utilizando associações de quebras negativas foi gerado um mapa de lineamentos (figura 3.14) sobre o mapa de primeira derivada vertical (1DZ) em que foi possível extrair 248 lineamentos com direção preferencial NE de 66.8° indicadas no diagrama de roseta. Além disto, utilizando também o 1DZ foram delimitados sete domínios magnéticos descritos (tabela 3.2) e representados no mapa (figura 3.15).

O domínio A é marcado por lineamentos NE-E, corpos alongados com intensidade magnética muito alta associados com área de média a alta intensidade. Se correlaciona com os domínios 1, 2, 3 e 4 do mapa ternário e com as rochas da sequência metavulcanosedimentar Mara Rosa.

O domínio B, classificado como domínio Faina, se refere ao corpo granítico Faina. No sinal analítico é marcado por alto gradiente magnético com lineações NE e EW, esta última em menor quantidade, intercalados com uma faixa em forma de arco de média a baixa intensidade sem presença de lineamentos magnéticos.

O domínio C também é marcado pelo domínio faina e pelo contraste de baixa intensidade magnética, possui forma arqueada acompanhando o domínio B e nele ocorrem lineamentos EW e NE.

O domínio D ocorre a sul da subárea VII, também compreende as rochas da sequência metavulcanosedimentar Mara Rosa.

O domínio E e G possui intensidade magnética que varia de baixa na parte central e norte do domínio, com lineamentos EW. A porção sul é marcada por alta intensidade e lineamentos NE-E. Esse domínio compreende os domínios 10 e 12 do mapa RGB. As rochas mapeadas nesta região são xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha.

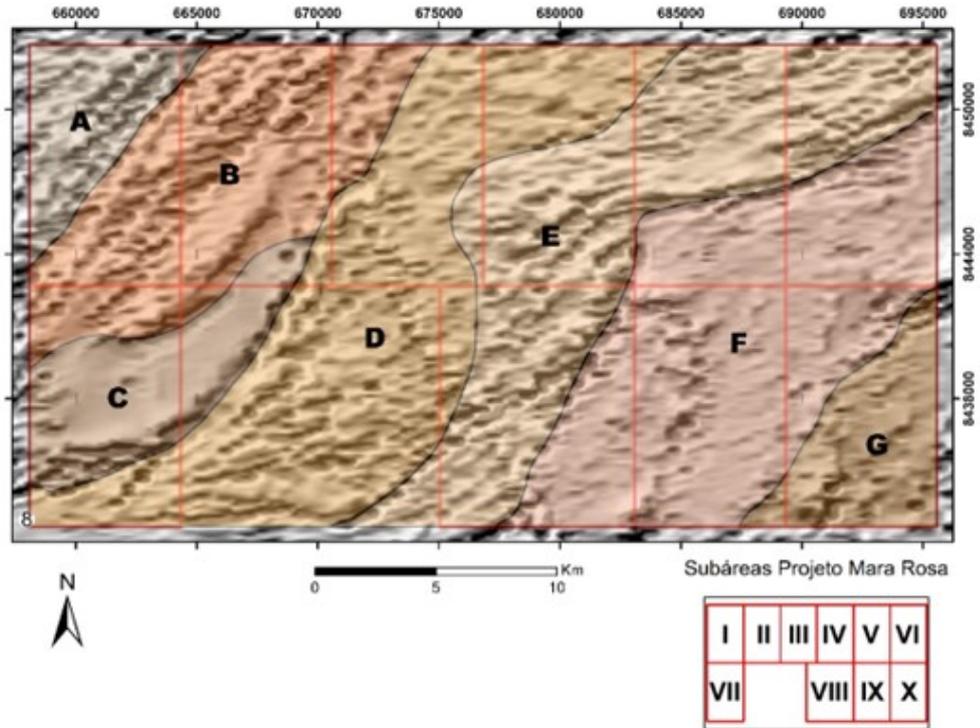


Figura 3.15: Mapa de primeira derivada horizontal (1DZ) com áreas representando os domínios magnéticos de A-G.

Tabela 3.2: Descrição dos domínios magnéticos

Domínios	Resposta magnética	Características
A	Alto	Possui lineações com direção homogênea SW-NE com moderada densidade de lineações bem marcadas de média ordem
B	Médio-alto	Domínio heterogêneo, com lineações pequenas e lineações extensas, a direção permanece seguindo o alinhamento SW-NE. Dentro desse domínio existe um padrão com alto magnético com raras ligações que pode compor um subdomínio
C	Médio-baixo	Domínio delimitado por lineações extensas na bordas, seu interior, entretanto, é muito homogêneo e não possui lineações. Apesar disso, o domínio está alinhado na direção SW-NE, ainda que demonstra uma inflexão a oeste
D	Médio	Domínio heterogêneo e possui alta densidade de lineações, das quais a maior parte é de menor ordem com o direcionamento SW-NE. Truncando a Sul, existe uma estrutura com trend SE-NW de grande comprimento, que não forma um domínio próprio, mas possui um significado importante, já que pode indicar uma estrutura de grande profundidade
E	Médio-alto	O domínio possui média densidade de lineamentos. A peculiaridade desse domínio é presença do direcionamento E-W no centro da área e nos extremos retorna o padrão SW-NE.
F	Baixo	Representa um platô com limites bem definidos e superfície bastante homogênea, com baixa densidade e suas lineações de pequena ordem são pouco marcadas. Há um certo alinhamento N-S na parte leste do domínio e na parte oeste há um grande lineamento curvado, que individualiza um corpo com superfície semelhante ao resto do domínio e que poderia ser um subdomínio
G	Médio	É marcado por leve ondulação na superfície que, por sua vez, aumenta a densidade de lineações com direção SW-NE. Outra feição importante é um lineamento grande com direção N-S

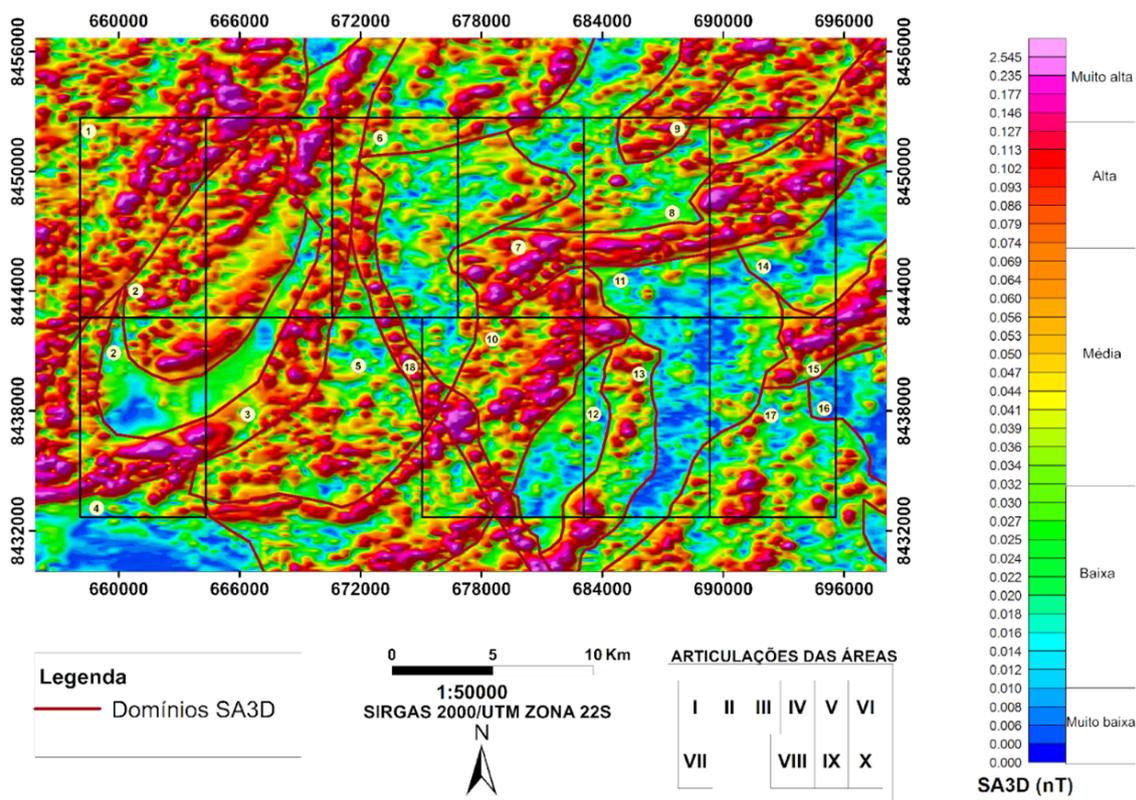


Figura 3.16: Mapa de domínios magnéticos gerados sobre o produto de sinal analítico 3D, com 18 domínios atribuídos.

As técnicas de processamento da magnetometria e gamaespectrometria foram fundamentais para a construção de um raciocínio voltado para a delimitação de compartimentos geológicos, no intuito de correlacionar os mapas geofísicos com a geologia já mapeada, buscando compreender a continuidade dos corpos tanto em subsuperfície (magnetometria) com o comportamento em superfície (gamaespectrometria), o contato entre esses corpos, e o entendimento da mobilidade dos elementos eTh, K, eU, posteriormente será compreendido em termos de sustentação do relevo, dissecação da paisagem e formação de compartimentos morfológicos (capítulo de sensoriamento remoto). Tendo como base os lineamentos retirados pela 1DV, os domínios magnéticos do SA 3D e do GHT (tabela 3.2 e figura 3.16), dos domínios interpretados do mapa gamaespectrométrico RGB, pela folha Campinorte (Oliveira & Oliveira, 2007) e Santa Terezinha (Fuck et al, 2007).

3.3.4.2 Dados Gamaespectométricos

Tradicionalmente, a gamaespectometria tem sido um método geofísico muito utilizado no mapeamento de rochas ígneas por conta do forte contraste que há entre as rochas máficas félsicas. Na imagem RGB é possível discretizar texturalmente (através das cores) os diferentes litotipos. Nesta imagem, é possível ver que a estruturação dos domínios radiométricos respeita o trend NE-SW.

A partir da classificação histogrâmica, individualizamos os intervalos apresentados (tabela 3.3).

Tabela 3.3: *Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.*

	ALTO	MÉDIO	BAIXO
K (%)	> 0.9	0.2 a 0.9	0 a 0.2
eU (ppm)	> 1.5	0.2 a 1.5	0 a 0.2
eTh (ppm)	> 10.2	1.7 a 10.2	0 a 1.7

Tabela 3.4: Descrição dos domínios de gamaespectrometria.

Domínio	K	eTh	eU	Descrição: cor e tonalidade (RGB), geometria, homogeneidade	Interpretação regional
1	Médio	Médio-Alto	Alto	Azul tom ciano, mancha irregular, homogêneo	Rochas de arco continental neoproterozoicas
2	Alto	Alto	Alto	Branco, segmento alongado NE-SW, heterogêneo	
3	Médio-Alto	Alto	Médio-Alto	Verde claro azulado, segmento alongado NE-SW, heterogêneo	
4	Alto	Médio Alto	Médio Alto	Rosa claro amarelado, alongado NE-SW, homogêneo	
5	Médio Alto	Alto	Alto Médio	Difuso, extensa faixa NE-SW, heterogênea	
6	Alto	Médio	Médio	Rosa claro, semi-arredondo com direção NE-SW, heterogêneo	
7	Alto	Médio-Alto	Baixo-Alto	Vermelho amarelado, alongado NE-SW irregular, heterogêneo	
8	Alto	Alto	Baixo-Alto	Rosa claro amarelado, arredondado alongado NE, heterogêneo	
9	Alto	Médio	Baixo-Alto	Rosa alaranjado, pequena porção de corpo NE-SW, homogêneo	
10	Baixo	Baixo	Baixo	Azul escuro, extensa faixa anastomosada NE-SW, homogêneo	Rochas de arco insular neoproterozoicas
11	Baixo-Médio	Médio-Alto	Médio-Alto	Ciano, alongada NE-SW, homogêneo	
12	Baixo-Alto	Médio-Alto	Baixo-Alto	Difuso, faixa irregular, heterogêneo	
13	Alto	Médio-Alto	Alto	Rosa claro, faixas lineares NE-SW, homogêneo	Rochas de alteração hidrotermal
14	Médio	Baixo	Baixo	Magenta escuro, mancha irregular, homogêneo	
15	Alto	Médio	Médio-Alto	Vermelho rosado, faixa alongada E-W, heterogêneo	
16	Médio	Baixo	Baixo	Vermelho escuro, faixa NE-SW inflectida E-W, homogêneo	
17	Médio-Alto	Médio	Médio	Rosa amarelado, faixa irregular NE-SW, heterogêneo	
18	Médio	Médio-Alto	Alto	Ciano claro, corpos alongados NE-SW, homogêneo	Rochas intrusivas
19	Alto	Médio	Alto	Rosa claro, mancha irregular, homogêneo	
20	Baixo	Baixo-Médio	Médio Alto	Azul escuro, segmento de faixa irregular NE-SW, heterogêneo	Metavulcanossedimentares Neoproterozoicas e Paleoproterozoicas
21	Baixo-Médio	Médio-Alto	Médio	Ciano claro esverdeado; segmento de faixa NE-SW truncada; heterogênea	
22	Alto	Alto	Alto Médio	Branco amarelada, segmento de faixa irregular NE-SW, heterogêneo	

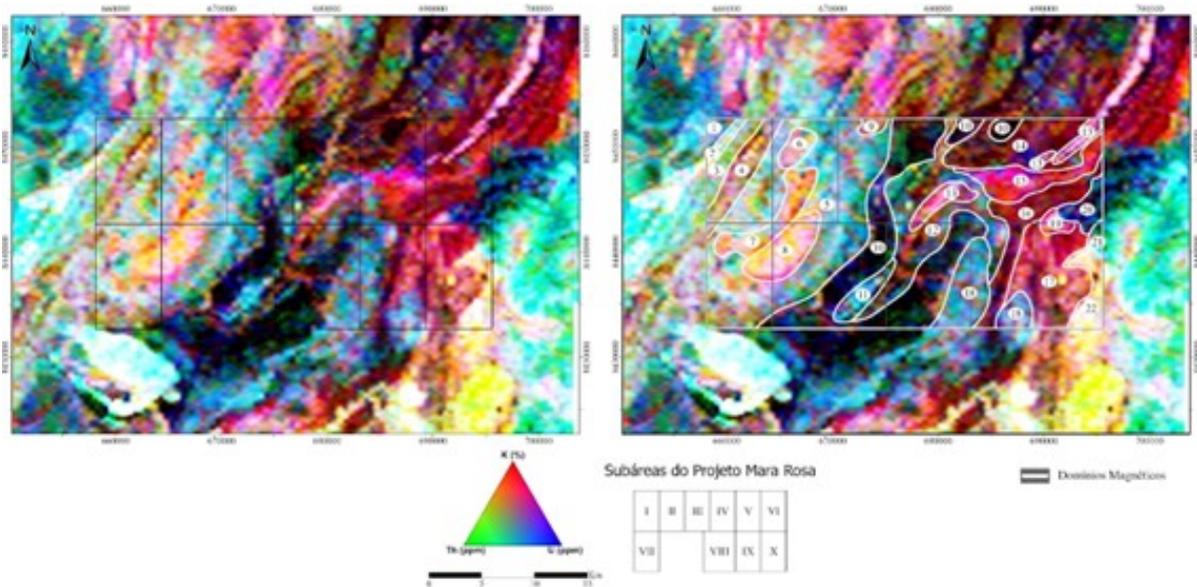


Figura 3.17: Mapas de gamaespectrometria, à esquerda mapa RGB e à direita mapa RGB com domínios sobrepostos.

Para o Projeto Mara Rosa, foram individualizados 22 domínios com assinaturas gamaespectrométricas distintas (tabela 3.4 e figura 3.17). Os domínios 1 a 9 apresentam altos teores dos radioelementos e foram correlacionados às rochas de arco continental neoproterozoicas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha e às rochas intrusivas da unidade Granito Faina.

Já os domínios de 10 a 13 possuem valores relativamente menores e foram associados às rochas de arco insular neoproterozoicas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

As concentrações de K são relativamente maiores nos domínios 14 a 17 e, portanto, foram associadas a rochas de alteração hidrotermal possivelmente do halo potássico do sistema pórfiro (Oliveira *et al.*, 2016). Por fim, os domínios 18 a 24 englobam rochas intrusivas neoproterozoicas e metavulcanossedimentares neoproterozoicas da Sequência Mara Rosa e paleoproterozoicas da Sequência Campinorte.

3.3.5 Interpretação da Subárea IV

Neste tópico serão apresentadas as interpretações dos mapas geofísicos e geológicos - geofísicos preliminares gerados em escala 1:25.000 para a Subárea IV, seguindo o mesmo padrão descritivo dos mapas regionais do tópico anterior, visando a associação de domínios caracterizados em contatos e intervalos de área com respostas e feições diferentes entre si.



Mapa Magnetico
Mara Rosa

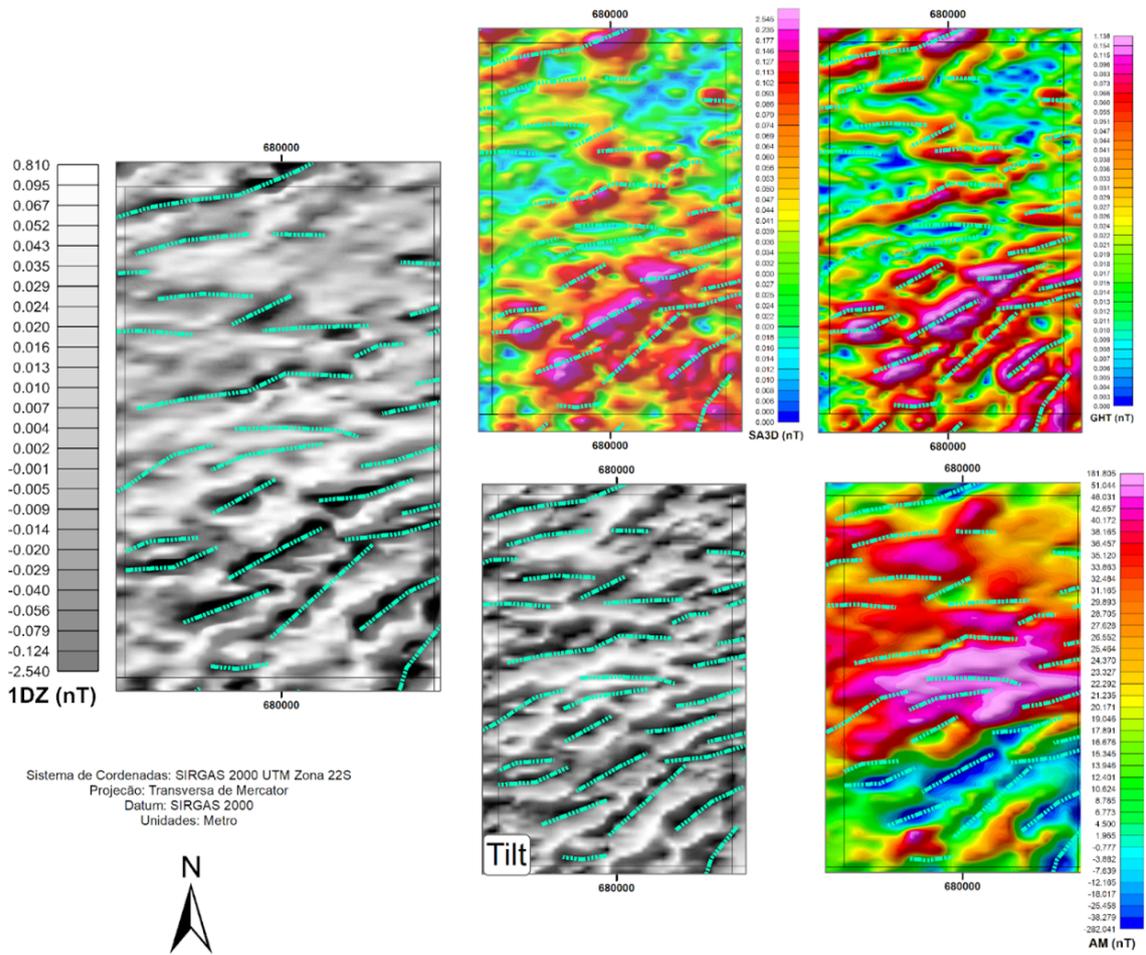


Figura 3.18: Mapas magnetométricos gerados com lineamentos com trend preferencial NE-SW.

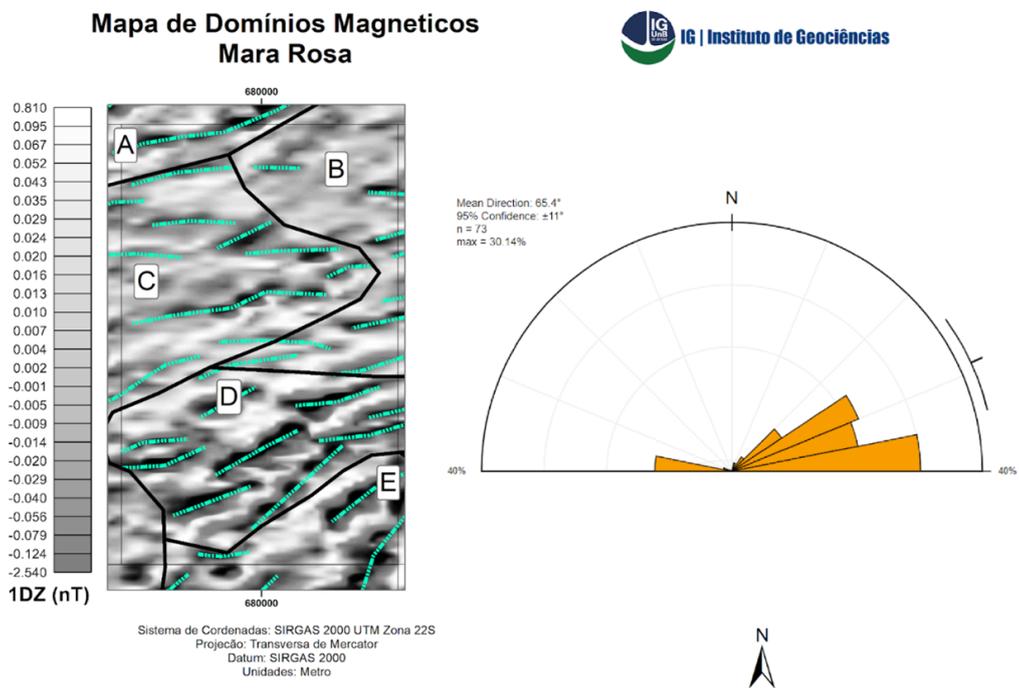


Figura 3.19: Primeira derivada vertical com lineamentos e roseta gerada para subárea IV.

Os lineamentos magnéticos foram traçados nos baixos magnéticos que se mostraram mais evidentes no momento de traçar as linhas. Como observado na imagem a roseta mostra tendência regional de lineamentos NE e E-W que se perpetua na subárea, porém com os traços E-W mais predominantes, mostram uma dominância sobre os NE.

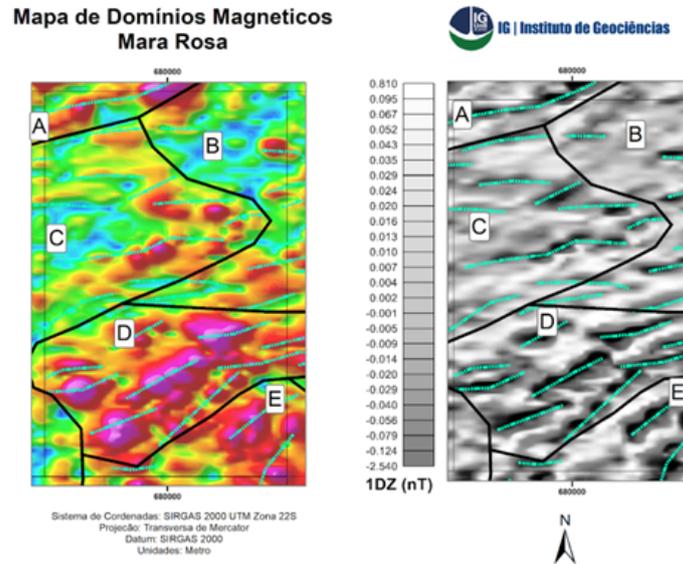


Figura 3.20: Mapa de domínios baseado no sinal analítico 3D e 1DZ.

Os domínios magnéticos foram separados com base na diferença de magnetismo de diferentes regiões do mapa com o mapa de sinal analítico 3D (SA3D) e também com a densidade de lineamentos obtidos com a primeira derivada (1DZ). A partir daí foi possível classificar os domínios magnéticos A, B, C, D e E.

O domínio A compreende os domínios 10 e 11 do mapa RGB regional, eles compreendem as rochas associadas a falhas (milonitos e cataclasitos).

O domínio B possui um intervalo grande entre intensidades magnéticas, de baixa a muito alta, corresponde ao domínio 16 da gama regional, que também estão associados a rochas de falha.

O domínio C possui intensidade magnética que varia de baixa na parte central e norte do domínio, com lineamentos EW. A porção sul é marcada por alta intensidade e lineamentos NE-E. Este domínio compreende os domínios 10 e 12 do canal gama RGB regional. As rochas mapeadas nesta região são xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha.

O domínio D é muito bem delimitado no sinal analítico 3D (SA3D), localizado a NE da área, marcado por uma série de lineamentos EW e poucas vezes NE. Compreendem os domínios 14 e 15 do canal gama RGB regional. Este domínio está relacionado com cianititos

pós tectônicos.

O domínio E é caracterizado por gradiente magnético alto a muito alto, heterogêneo, com relevo magnético movimentado e lineamentos em série de muito alto gradiente magnético com direção preferencial NE. Ainda há ocorrências em menor grau de lineamentos com direcionamento E-W. A direção preferencial dos lineamentos com trend para NE, sugere a presença de uma zona de cisalhamento na porção leste do domínio.

Os domínios de gama foram detalhados para a subárea IV utilizando o mapa RGB de gamaespectrometria em associação com as imagens referentes aos dados de K, eTh e eU para melhor definição dos corpos, assim como uma imagem recortada que tem melhor definição do gradiente de cor.

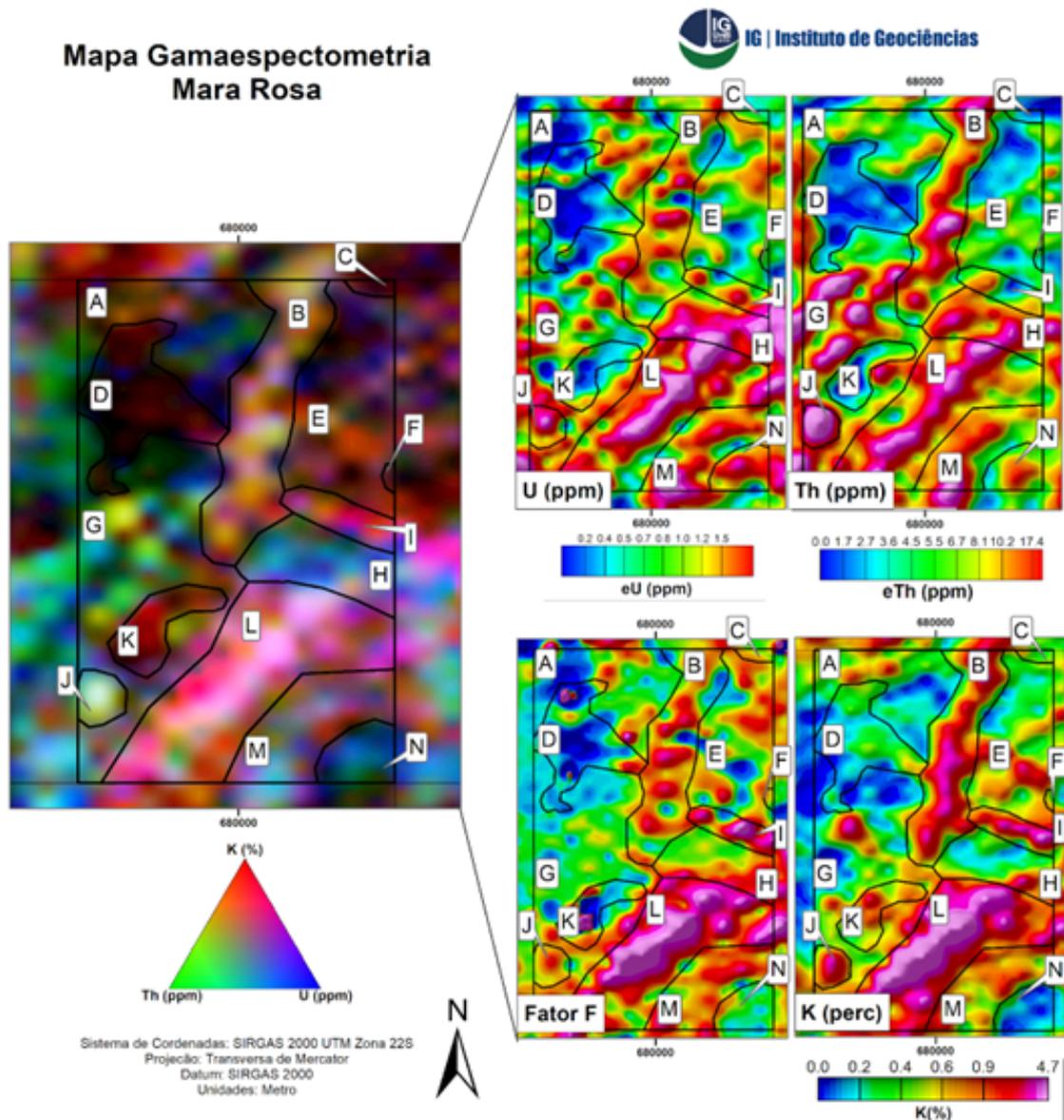


Figura 3.21: Mapas de gamaespectrometria da subárea IV.

Utilizando os vários produtos da gama conseguimos individualizar 14 domínios (tabela 3.5) com base na diferença da proporção entre os elementos K, eTh, eU que é representado na diferença de tonalidades vermelho, azul e verde respectivamente.

Tabela 3.5: Parâmetros aplicados nos dados de sombreamento, curvas de nível e suavização das linhas dos polígonos.

Domínio	K	eU	eTh	Coloração Ternário
A	Médio	Baixo	Baixo-médio	Laranja esverdeado
B	Alto	Médio	Médio-alto	Creme
C	Baixo-médio	Médio	Baixo	Marrom escuro
D	Médio	Baixo	Baixo	Vermelho escuro
E	Médio	Médio	Médio	Laranja azulado
F	Médio	Médio	Baixo	Alaranjado
G	Baixo-médio	Baixo-médio	Alto	Verde azulado
H	Médio	Médio alto	Médio-alto	Azul esverdeado
I	Alto	Médio	Médio	Rosa
J	Alto	Alto	Alto	Branco
K	Médio - Alto	Baixo	Baixo	Vermelho Rubi
L	Alto	Alto	Alto	Branco Roseado
M	Médio	Alto	Alto	Ciano - Vermelho
N	Baixo	Alto	Médio - alto	Azul esverdeado

Dos domínios classificados, alguns apresentam padrões similares devido à grande mobilidade dos elementos químicos presentes, porém, estes apresentam alguma variação na tonalidade, seja ela causada pela acumulação em drenagens ou por concentração da mesma em altos topográficos ou regiões com forte controle estrutural.

Portanto pode-se considerar que os domínios A, G e N possivelmente possam ser classificados como um mesmo litotipo, D, E e K também tem respostas muito similares, H e M tem tonalidades muito próximas e os domínios I e L também são muito próximos. Já o domínio B apresenta-se como um possível canal de drenagem, portanto é onde os elementos se concentram e mostram a resposta da mistura dos 3 elementos, porém sem definição clara como de um corpo intrusivo ou hidrotermal.

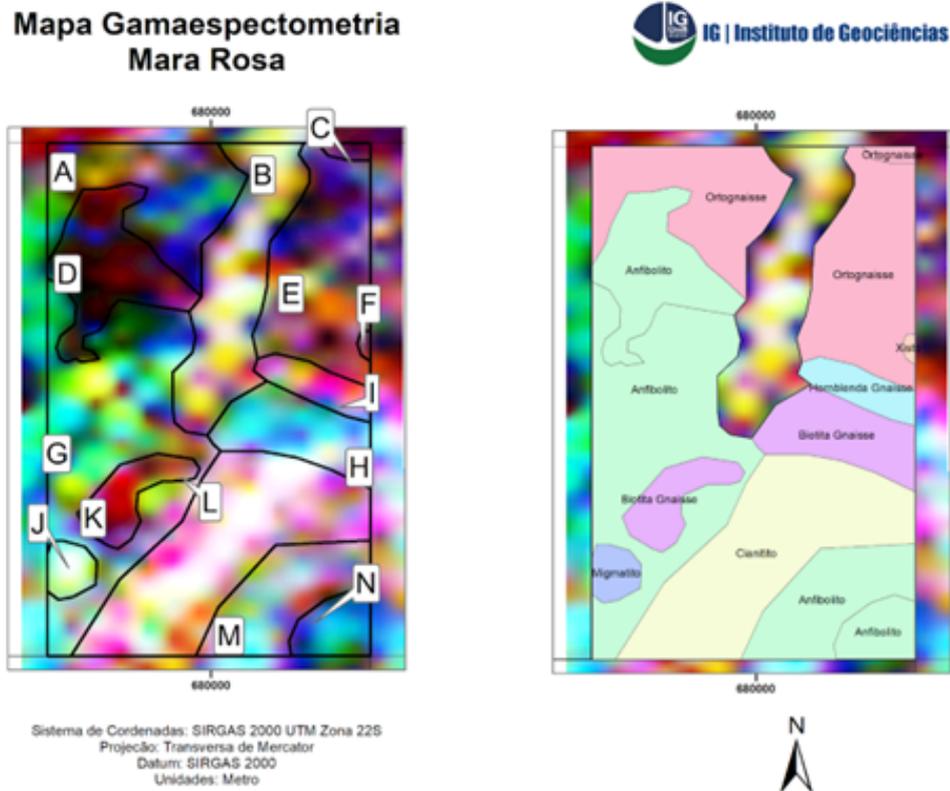


Figura 3.22: Mapa de domínios gamaespectrométricos e mapa geológico-geofísico

Para elaboração do mapa geológico-geofísico foram cruzados os dados dos domínios de gama gerados utilizando a imagem ternária com o banco de dados de afloramentos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e também com mapeamentos anteriores como de Mutunópolis e Campinorte.

No mapa geológico-geofísico alguns domínios que foram passíveis de divisão na gama são mapeados como sendo a mesma rocha quando observados os pontos dos afloramentos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), como por exemplo no caso dos domínios A e E que são classificados como Ortognaisses. Os domínios D, G, M e N que também foram determinados como sendo a mesma rocha do banco de dados da CPRM, descrita como Anfibolito. Com base no mapa (figura 3.22) pode-se observar onde antes seria o domínio B é representado nas imagens de satélite com padrões indicativos de drenagem, portanto não foi considerado como sendo uma litologia, mesmo porque parece indicar a presença de uma possível discordância entre as litologias ortognaisse, anfibolito e biotita gnaisse.

Essa disparidade entre os dados gama e de afloramentos são facilmente explicadas quando visualizadas tanto nos dados geofísicos quanto os de afloramento, cujos mesmos foram feitos

em escala maior do que a que será mapeada no trabalho final. Outra possível explicação é que os dados ternários de gama como descritos anteriormente, mostram elementos que em sua maioria são móveis e podem ser lixiviados, logo, poderão ser mobilizados e consequentemente estarem contidos em colúvios e solos recentes, com isso podem confundir quando vistos separadamente.

Capítulo 4

1. Geologia do Projeto Mara Rosa

O mapeamento geológico realizado no âmbito do Projeto Mara Rosa, em escala 1:25.000, permitiu reconhecer diferentes unidades geológicas, definidas com base em critérios petrográficos, deformacionais, metamórficos e geocronológicos (Figura 4.1). A área mapeada é composta por unidades litoestratigráficas pertencentes ao Arco Magmático Campinorte, representativo do embasamento Paleoproterozóico, (Della Giustina *et al.*, 2009), ao Arco Magmático Goiás, de idade neoproterozóica (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.* 1997, 2000), e ao Grupo Serra da Mesa, também de idade neoproterozóica (Cordeiro *et al.*, 2014). O contato entre o Arco Magmático Campinorte e o Arco Magmático Goiás é marcado pela zona de falhas de empurrão do Rio dos Bois, enquanto o Grupo Serra da Mesa ocorre sobreposto ao Arco Magmático Campinorte.

4.1 Unidades Litoestratigráficas

4.1.1 Arco Magmático Campinorte

O Arco Magmático Campinorte aflora, de forma restrita, dentro dos limites da Área X. É representado por uma faixa alongada e encurvada, limitada pela zona de falhas de empurrão Rio dos Bois, com direção variando de N-S a NE-SW e corresponde a 4% do total mapeado pelo projeto.

Esta unidade é composta por rochas metavulcânicas intermediárias a félsicas e xistos da Sequência Campinorte (PP2c), de idade riaciana (Della Giustina *et al.*, 2009a), com associações máficas em menor quantidade, com metamorfismo geral em fácies xisto verde. Em meio à Sequência Campinorte, encontram-se ortognaisses graníticos a tonalíticos da Suíte Pau

de Mel (PP2 γ 1pm), também de idade riaciana (Della Giustina *et al.*, 2009), e ocorrência de ortogranulitos do Complexo Uruaçu (PP2gu) (Cordeiro, 2014), exumados na forma de um complexo de núcleo metamórfico.

Esta unidade apresenta relevo associado a uma superfície regional de aplainamento, com ocorrência de um platô laterítico em seu extremo leste, além de relevo de morros e colinas, caracterizando uma porção mais acidentada na porção recoberta pelo Grupo Serra da Mesa. Já sua assinatura gamaespectrométrica é bastante variada, sendo predominantemente rosa esverdeada na composição RGB ternária (K, eTh e eU), com domínios branco-amarelados subordinados, associados às rochas intrusivas pré-tectônicas, e um domínio verde azulado a leste, associado à cobertura laterítica.

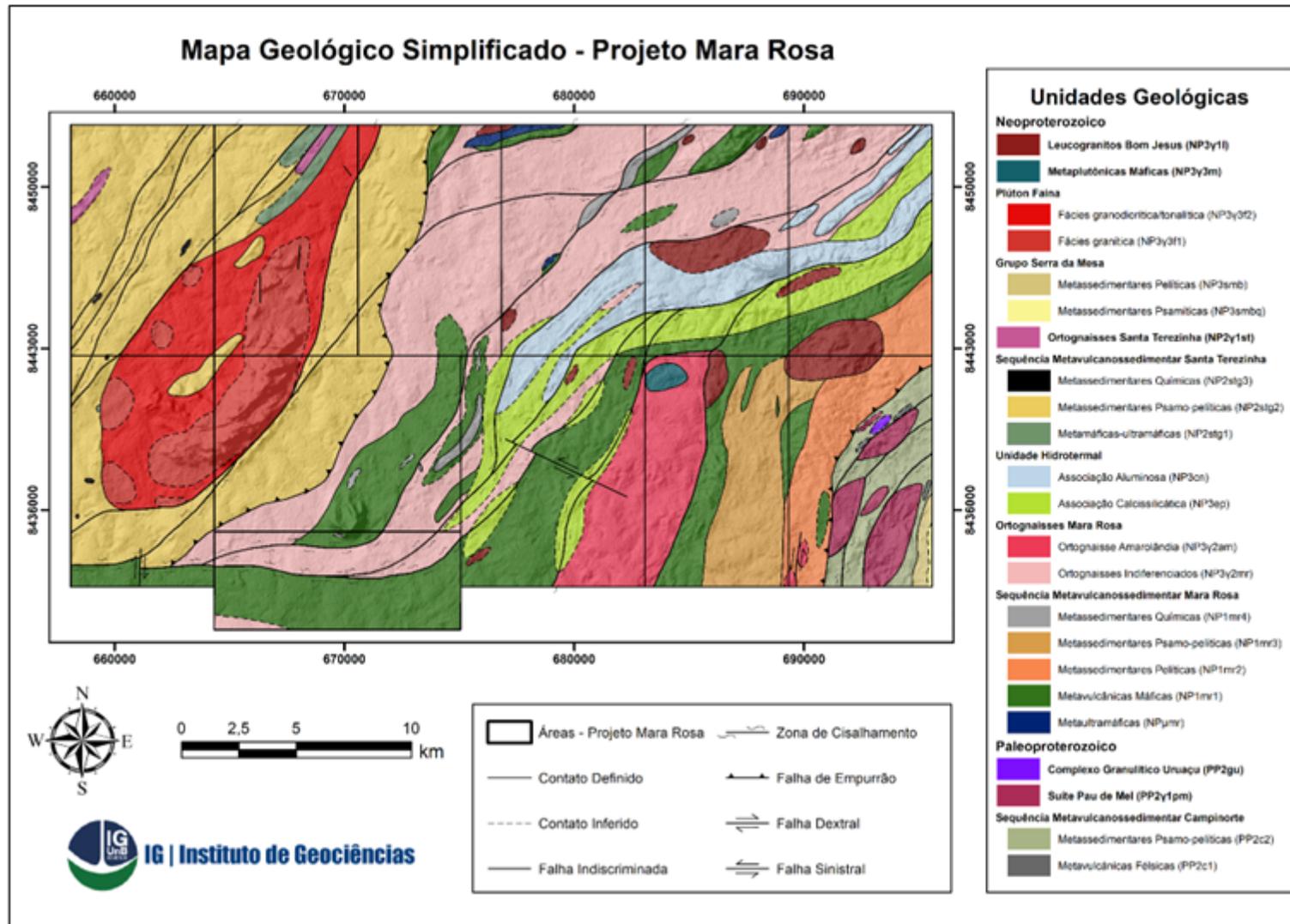


Figura 4.1: Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada).

4.1.2 Arco Magmático Mara Rosa

O Arco Magmático Goiás é a principal unidade aflorante no âmbito do Projeto Mara Rosa, representado pela Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (NP1mr), de idade toniana (Pimentel *et al.*, 2000), e a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha (NP2stg), de idade criogeniana (Fuck *et al.*, 2006). A Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa ocorre compartimentada nas subunidades metaultramáfica (NP μ mr), metavulcânica máfica (NP1mr1), metassedimentar psamo-pelítica (NP1mr2 e NP1mr3) e metassedimentar química (NP1mr4), sendo englobada por um conjunto volumoso de ortognaisses dioríticos a tonalíticos indiferenciados (NP3 γ 2mr) e o ortognaisse diorítico Amarolândia (NP3 γ 2am) (Melo, 2006). Neste contexto, são descritos também produtos de alteração hidrotermal, agrupados em associações mineralógicas diagnósticas, incluindo rochas calssilicáticas (NP3ep) e rochas aluminosas (NP3cn). Já a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha é representada pelas unidades metamáfica-ultramáfica (NP2stg1), metassedimentar psamo-pelítica (NP2stg2) e metassedimentar química (NPstg3), com ortognaisses tonalíticos associados (NP2 γ 1st). O contato entre ambas as sequências é marcado pela zona de falha transpressional Amaralina.

4.1.2.1 Unidade Metassedimentar

A ocorrência da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha no contexto do Projeto Mara Rosa evidencia uma porção com baixa contribuição vulcânica, sendo classificada como predominantemente metassedimentar, metamorfizada em fácies xisto verde a anfíbrito. Estas rochas afloram na porção oeste da área de estudo, englobando as Áreas I, II, III e VI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa. Esta unidade é limitada, no Projeto Mara Rosa, pela zona de falha transpressional Amaralina à leste, de orientação NNE-SSW, se estendendo para oeste além dos limites do mapa. Sua geometria é regionalmente alongada de acordo com a tectônica brasileira, porém na escala mapeada, apresenta formato relativamente regular, correspondendo a 20% da área mapeada.

Esta unidade apresenta relevo associado a superfície regional de aplainamento, com ocorrência de coberturas lateríticas em suas porções nordeste e sul, além de relevos de morros e colinas, mais acidentados, em meio à região onde ocorre o Plúton Faina. A gamaespectrometria deste domínio apresenta tonalidade predominantemente azulada na composição RGB (K, eTh e eU), onde afloram as rochas metassedimentares, com uma grande área branca em sua porção central, indicativa da presença do Plúton Faina. Podem ser vistas também faixas menores, com orientação NE-SW, em seu extremo nordeste, onde a assinatura passa a ter colorações

variadas, em tons de branco e roxo.

Abrange rochas máfico-ultramáficas e rochas metassedimentares, incluindo xisto aluminosos e paragneisses, com lentes de gonditos e formações ferríferas. Em meio ao domínio principal, encontram-se rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas, como o Plúton Faina. Vale notar que parte da unidade metassedimentar é encontrada, com contato irregular, na porção central do Plúton Faina, sendo interpretada como um roof pendant, resultante da ascensão e erosão do corpo intrusivo.

4.1.2.2 Unidade Metavulcanossedimentar

A unidade metavulcanossedimentar é representada pela Sequência Mara Rosa, e corresponde a aproximadamente 24% da área total do Projeto. Ocorre principalmente na porção central da área, estando presente nas Áreas III, IV, V, VI, VIII, IX, X e XI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa. Esta unidade é estruturada na forma de corpos alongados, com orientação preferencial NE-SW e inflexões E-W, sendo englobada pelos Ortogneisses Mara Rosa e delimitada pelas zonas de falha Rio dos Bois, onde se encontra com o embasamento paleoproterozóico, e Amaralina, onde está em contato com a unidade metassedimentar.

Apresenta morfologia de relevo representada por regiões planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento, com ocorrência local de relevo de morros e colinas. Já a assinatura gamaespectrométrica, na composição ternária RGB (K, eTh, eU), é marcada por tonalidades majoritariamente esverdeadas a azuladas escuras, chegando ao preto, e, localmente, apresentam tonalidades rosadas, especialmente ao norte, onde a alteração hidrotermal é mais intensa, representando a grande variedade litológica desta unidade.

A sequência apresenta rochas metavulcânicas e metassedimentares psamo-pelíticas, representadas por anfibólitos, paragneisses e xistos aluminosos. Subordinadamente, ocorrem rochas metassedimentares químicas, como gonditos, metacherts e formações ferríferas. Estas rochas encontram-se metamorfizadas em condições de fácies xisto verde superior a anfibólito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

4.1.2.3 Unidade Hidrotermal

O Arco Magmático Mara Rosa apresenta, ainda, uma associação importante de produtos de alteração hidrotermal. Estas rochas afloram nas Áreas IV, V, VI e VIII, compreendendo 11% do Projeto Mara Rosa, e se associam a zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis, dispostas

preferencialmente segundo a direção NE-SW, com inflexões E-W. Dentro desses corredores deformacionais, ocorre grande diversidade de rochas intensamente deformadas e alteradas hidrotermalmente, onde se destacam avançadas reações de epidotização, saussuritização, sericitização, cloritização, biotitização, muscovitização e sulfetação, de forma que seus protólitos nem sempre podem ser identificados.

As rochas hidrotermais aluminosas, quando ricas em cianita, se destacam em meio ao relevo aplainado, associadas a altos topográficos, tipicamente em relevo de morros e colinas, com ênfase para Serra de Bom Jesus, localizada entre as Áreas V e VI. Já as demais associações não possuem feições diferenciadas em meio ao relevo geral da região. A assinatura gamaespectrométrica do domínio hidrotermal apresenta resposta distinta em tonalidades esbranquiçadas, com tonalidades levemente rosadas na porção central dos corpos, caracterizando a associação de rochas calcissilicáticas. Esta unidade é subdividida de acordo com suas associações minerais, sendo: rochas aluminosas (cianita - muscovita - quartzo - pirita) e rochas calcissilicáticas (epidoto - quartzo - clorita e epidoto - quartzo - hornblenda).

4.1.2.4 Ortognaisses Mara Rosa

No contexto do Projeto Mara Rosa, afloram rochas metaplutônicas de caráter pré a sintectônico, intituladas como Ortognaisses Mara Rosa, quando associadas à Unidade Metavulcanossedimentar, e Ortognaisses Santa Terezinha, quando associadas à Unidade Metassedimentar.

Os Ortognaisses Mara Rosa afloram de duas formas na área de estudo, incluindo uma larga faixa NE-SE entre as unidades da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e, localmente, na porção sudeste, ocorre em corpos individualizados e envoltos pelas rochas da unidade metavulcanossedimentar, onde é definido como Ortognaisse Amarolândia, de composição predominantemente diorítica. Os Ortognaisses Mara Rosa indiferenciados compreendem cerca de 21% da área total do projeto, com afloramentos nas áreas III, IV, V, VI, VIII, IX e XI, enquanto o Ortognaisse Amarolândia é restrito às áreas VIII, IX e X, representando 5% do total mapeado. As rochas desta unidade ocorrem em áreas planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento. Sua assinatura gamaespectrométrica apresenta tonalidades predominantemente rosadas para os Ortognaisses Indiferenciados, enquanto Amarolândia possui resposta em tonalidade azul bem definida. São compostos majoritariamente por corpos dioríticos, quartzo-dioríticos e tonalíticos, com variação composicional discreta e recorrente, de forma que não foi realizada sua diferenciação na escala mapeada pelo projeto. Apenas os corpos relativos ao Ortognaisse Amarolândia, de composição diorítica com fácies tonalítica subordinada, foram delimitados na escala do mapa, tendo em vista sua relação espacial e assi-

natura geofísica características com relação às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

Os Ortognaisses Mara Rosa são compostos majoritariamente por corpos dioríticos, quartzodioríticos e tonalíticos, com variação composicional discreta e recorrente, de forma que não foi realizada sua diferenciação na escala mapeada pelo projeto. Apenas os corpos relativos ao Ortognaisse Amarolândia, de composição diorítica, foram delimitados na escala do mapa, tendo em vista sua relação espacial característica com relação às rochas da Sequência Mara Rosa.

Já os Ortognaisses Santa Terezinha afloram localmente na porção noroeste do PMR, nas áreas I e II, formando corpos alongados de direção NE-SW que representam menos de 1% do projeto. Estas rochas afloram entre as unidades metassedimentar e máfico-ultramáfica da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo composição predominantemente tonalítica.

4.1.3 Grupo Serra da Mesa

Na porção extremo sudeste do Projeto Mara Rosa, no contexto da Área X, aflora um pacote de rochas metassedimentares psamo-pelíticas pertencentes ao Grupo Serra da Mesa (NP3smb e NP3smbq), de provável idade criogeniana (Cordeiro *et al.*, 2014). O Grupo Serra da Mesa possui intensa expressão na topografia, estabelecendo relevo de morros e colinas, com destaque para a Serra Amaro Leite. Estes altos topográficos associam-se especialmente aos quartzitos, contrastantes com a superfície de aplainamento adjacente. Já sua assinatura gamaespectrométrica varia em tons azulados a esbranquiçados, de acordo com a variação litológica observada.

Esta unidade é representada por muscovita xistos e quartzitos, sobrepostos às rochas do embasamento paleoproterozoico (Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte). Seus limites são de natureza deposicional, estabelecidos por discordância, e conferindo-lhe geometria irregular. Representa menos de 1% da área total do projeto.

4.1.4 Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas

As unidades descritas acima são cortadas por rochas intrusivas, pouco ou não deformadas, representadas pelo Plúton Faina (NP3 γ 3f), Leucogranitos Bom Jesus (NP3 γ 3l) e um corpo de rochas Metaplutônicas Máficas (NP3 γ 3m).

O Plúton Faina ocorre na porção oeste das áreas mapeadas e abrange as Áreas I, II, III e VI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa, correspondendo a 11% da cobertura total do projeto. Está intrudido na Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo, em sua porção central, um enclave de mesma natureza de suas rochas encaixantes, interpretado como roof pendant. Possui geometria sigmoidal, alongada em NE-SW. Seu relevo está associado principalmente a morros e colinas, em meio a superfície regional de aplainamento, enquanto sua assinatura gamaespectrométrica é predominantemente esbranquiçada com tonalidades amareladas disseminadas e tons rosados nas bordas.

Em contraste com o Plúton Faina, os Leucogranitos Bom Jesus são intrusões com poucos quilômetros de extensão, aflorando nas Áreas V, VI, IX e X. Correspondem a 3% da área do Projeto Mara Rosa. Intrudem as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e Ortognaisses Mara Rosa, com geometrias condicionadas pela deformação imposta ao Arco Magmático Mara Rosa, com alongação preferencial NE-SW, eventualmente infletidas em direção E-W. Possuem pouca expressão no relevo, formando pequenos morros em meio à superfície regional de aplainamento, sendo, por vezes, englobados nesta classificação. Por fim, sua assinatura gamaespectrométrica é vista tipicamente na cor branca.

O Plúton Faina foi compartimentado em fácies granítica e fácies granodiorítica/tonalítica, com foliação milonítica desenvolvida ao longo de toda a sua extensão. Já os Leucogranitos Bom Jesus se caracterizam por sua deformação mais desenvolvida e grau metamórfico chegando a fácies xisto verde, além de possuir assembleia exclusivamente granítica, enquanto as rochas Metaplutônicas Máficas são constituídas por metagabros e metahornblenditos, pouco deformados.

Capítulo 5

Geologia Local

O capítulo foi subdividido nos tópicos de Litoestratigrafia, que corresponde a descrição litostratigráfica das unidades, suas relações de campo e critérios adotados para cartografia e associação destas em uma unidade específica das citadas acima, e Petrografia, que se dá pela caracterização mais detalhada e refinada dos minerais, texturas, estruturas e quaisquer outras feições diagnósticas das litologias, sendo elas em escala microscópica, mesoscópica e macroscópica.

Neste capítulo serão apresentadas e descritas as unidades cartografadas na subárea IV, sendo estas a Sequência Mara Rosa (NP μ mr), os Ortognaisses Mara Rosa, a Unidade Hidrotermal e as intrusões tardi-tectônicas classificadas como Leucogranitos Bom Jesus (NP3 γ 31). Em decorrência do apresentado, o capítulo em questão abordará os tópicos de Litoestratigrafia e Petrografia, apresentando a descrição e caracterização detalhada das principais rochas pertencentes às Unidades supracitadas.

A elaboração do atual capítulo deu-se por um conjunto de análises e interpretações das imagens adquiridas e confeccionadas na etapa pré-campo, derivadas de sensores remotos e do levantamento geofísico relativo ao projeto como um todo. Além ainda dos dados geológicos coletados em campo e da petrografia, realizada na etapa pós-campo. A integração dessas informações permitiu a confecção de um mapa geológico da subárea IV em escala 1:25.000, que representa um dos objetivos principais do projeto. Segue abaixo o mapa geológico da subárea IV (figura 5.1)

5.1 Litoestratigrafia e petrografia

5.1.1 Sequência Metavulcanosseimentar Mara Rosa (NP μ mr)

5.1.1.1 Unidade Metaultramáfica

As rochas associadas a unidade de metaultrabásicas ocorrem em aproximadamente 5% da área, geralmente em regiões de baixos topográficos gerando relevo ondulado, em forma lenticular e contínua, com afloramentos métricos e escassos. Possuem direção principal nordeste e ocorrem geralmente em contato com anfibolitos. A principal rocha pertencente a esta unidade é o talco-xisto (figura 5.2), de coloração cinza esverdeada, dureza muito baixa, (possível de riscar com a unha), apresenta tato untuoso bem pronunciado e foliação bem marcada. A granulção principal da rocha é fina, podendo em raros domínios ser determinada como média. A xistosidade da rocha é definida pelos minerais de talco lamelares.



Figura 5.2: (a) Afloramento em lajedo de talco-xisto pertencente à unidade Sequência Mara Rosa (ponto TF-IV-10) com suas principais características bem marcadas, como o tato untuoso. (b) amostra mesoscópica coletada no mesmo ponto de “a”, evidenciando tonalidades cinza-esverdeadas, granulção fina característica, foliação penetrativa marcada pelos filosilicatos presentes e o tato untuoso muito presente em decorrência da quantidade de talco.

Em escala microscópica, essa rocha exibe textura predominantemente lepidoblástica definida pelos cristais de talco (60%) e muscovita (23%), os quais delimitam a maior porcentagem da assembleia mineral de toda a rocha. Além destes minerais, cristais de epidoto (8%) com hábitos euédricos e contatos poligonais, e cristais de tremolita (4%) com hábitos tabulares a fibrosos e contatos poligonais com os outros, também estão presentes e fazem parte da paragênese mineral (figura 5.3). Minerais acessórios surgem por toda a lâmina, porém, apenas a clorita (1%) possui uma relevância maior, uma vez que quando somada ao epidoto

da lâmina, indicam um possível retrometamorfismo, podendo ter um caminho de subfácies epidoto-anfibolito > xisto verde.

A diferenciação entre os minerais se faz mais nítida quando observada em nicóis cruzados, uma vez que todos são incolores a nicóis paralelos. A lâmina apresenta certa cinemática e estruturas do tipo mica-fish que pode ser identificada nos cristais de muscovita, apontando deformação em micro-escala com assimetria horária, porém, não foi possível determinar a direção, uma vez que tal amostra não foi coletada de maneira orientada.

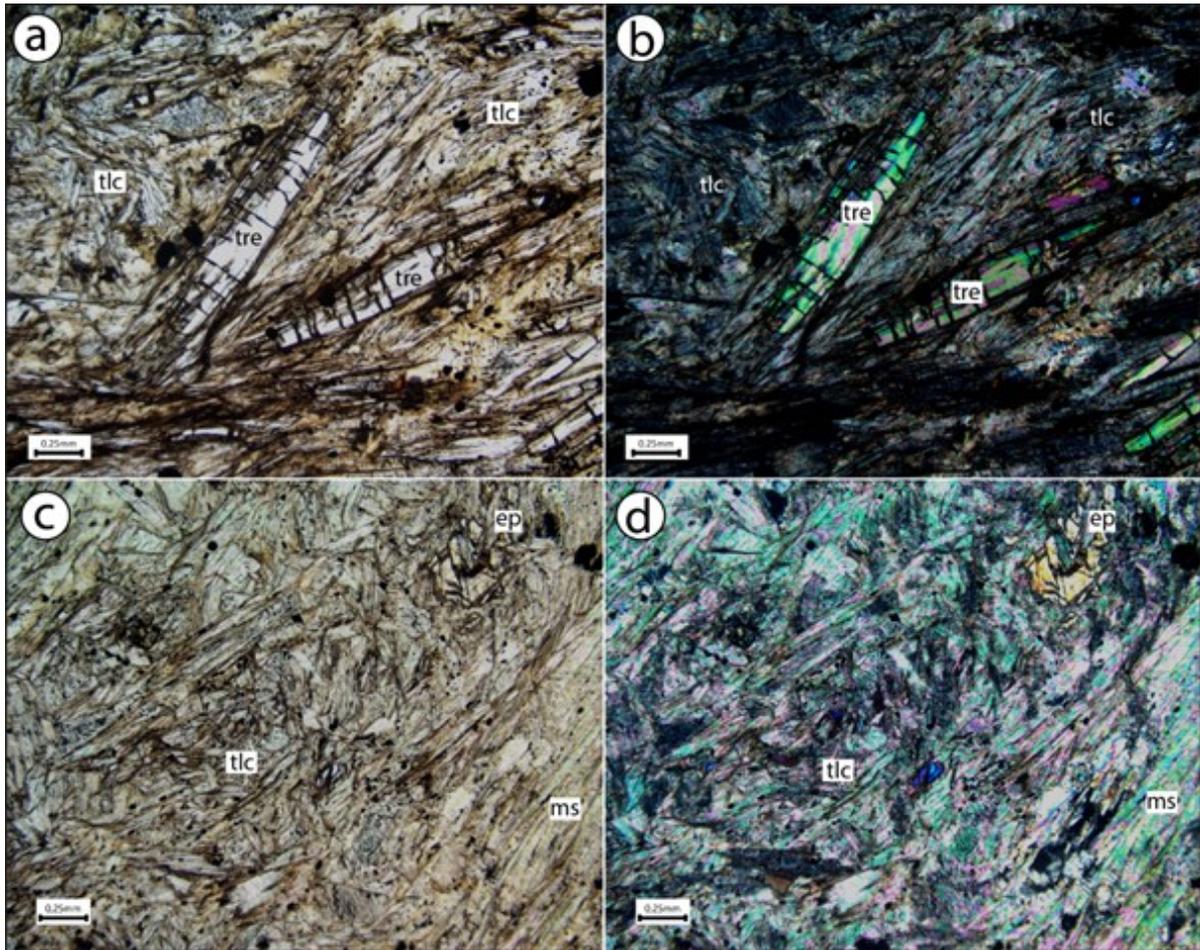


Figura 5.3: Fotomicrografias do talco-xisto observado no ponto TF-IV-10. (a) Fotomicrografia em nicóis paralelos evidenciando o talco xisto de cor marrom pálida, textura predominantemente lepidoblástica definida pelos cristais de talco com hábito fibroso e relevo moderado, apresenta também cristais de tremolita marcando um pequeno domínio nematoblástico, um hábito fibroso alongado em formatos aproximadamente losangulares. (b) Nicóis cruzados da fotomicrografia anterior, mostrando a diferença de cor de interferência entre os cristais de talco e tremolita. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos da mesma amostra, porém com cristais de muscovita em um grande domínio lepidoblástico envolvendo um cristal de epidoto observado na porção superior direita. (d) Fotomicrografia de C, porém, à nicóis cruzados evidenciando a diferença de cor de interferência entre os minerais.

5.1.1.2 Unidade Metavulcânica Máfica

Os anfíbolitos abrangem aproximadamente 20% da subárea IV, ocorrendo em porções isoladas e com forma lenticular. Em campo os afloramentos encontrados apresentavam tamanhos decimétricos a métricos bem restritos e geralmente associados a altos topográficos acima da porção central da área (figura 5.4). A rocha é de fácil identificação devido ao brilho intenso

e a cor esverdeada característico dos anfibólitos. Os afloramentos de anfibolito descritos em campo apresentam granulação fina a raramente média. Os afloramentos formam um padrão de relevo aplainado e por vezes morros arredondados com um alinhamento, além de estar associado também a solos de coloração mais avermelhada.

As amostras coletadas em campo e destinadas para a confecção de lâminas, apresentam, em sua maioria, os cristais de epidoto em equilíbrio, ou seja, fazendo parte da paragênese mineral da rocha. Cristais de epidoto neoformados também foram identificados e discriminados dos demais justamente por sua relação de contato e interação com os minerais adjacentes.



Figura 5.4: (a) Comparação de diversos blocos de anfibolitos em diferentes graus de intemperismo e/ou alteração, coletados próximos ao ponto TF-IV-161. (b) Amostra mesoscópica referente ao anfibolito coletado no ponto TF-IV-161 com uma granulação fina à média, apresentando cristais de hornblenda que envolvem pequenas porções de plagioclásio. (c) Afloramento em lajedo do ponto TF-IV-167, representativo dos afloramentos de anfibolito vistos na subárea IV, com veios e vênulas de quartzo e epidoto que cortam a massa de anfibólio e feldspato.

Em escala microscópica, a lâmina obtida a partir da amostra do ponto 87 apresenta anfibólio (50%) contemplando a grande maioria, plagioclásio (20%) e epidoto (20%) abrangendo quantidades praticamente iguais e quartzo (9%) contemplando uma pequena parte. Por vezes

pode apresentar composição próxima à dos Ortognaisses Mara Rosa porém contém proporção maior de anfibólio e menor de quartzo, além de serem essencialmente de granulação mais fina. Ocorrem na lâmina óxidos e hidróxidos de ferro que dão coloração vermelho alaranjada visível a nicóis paralelos, e são resultado direto do intemperismo de opacos, mais especificamente a magnetita (figura 5.5).

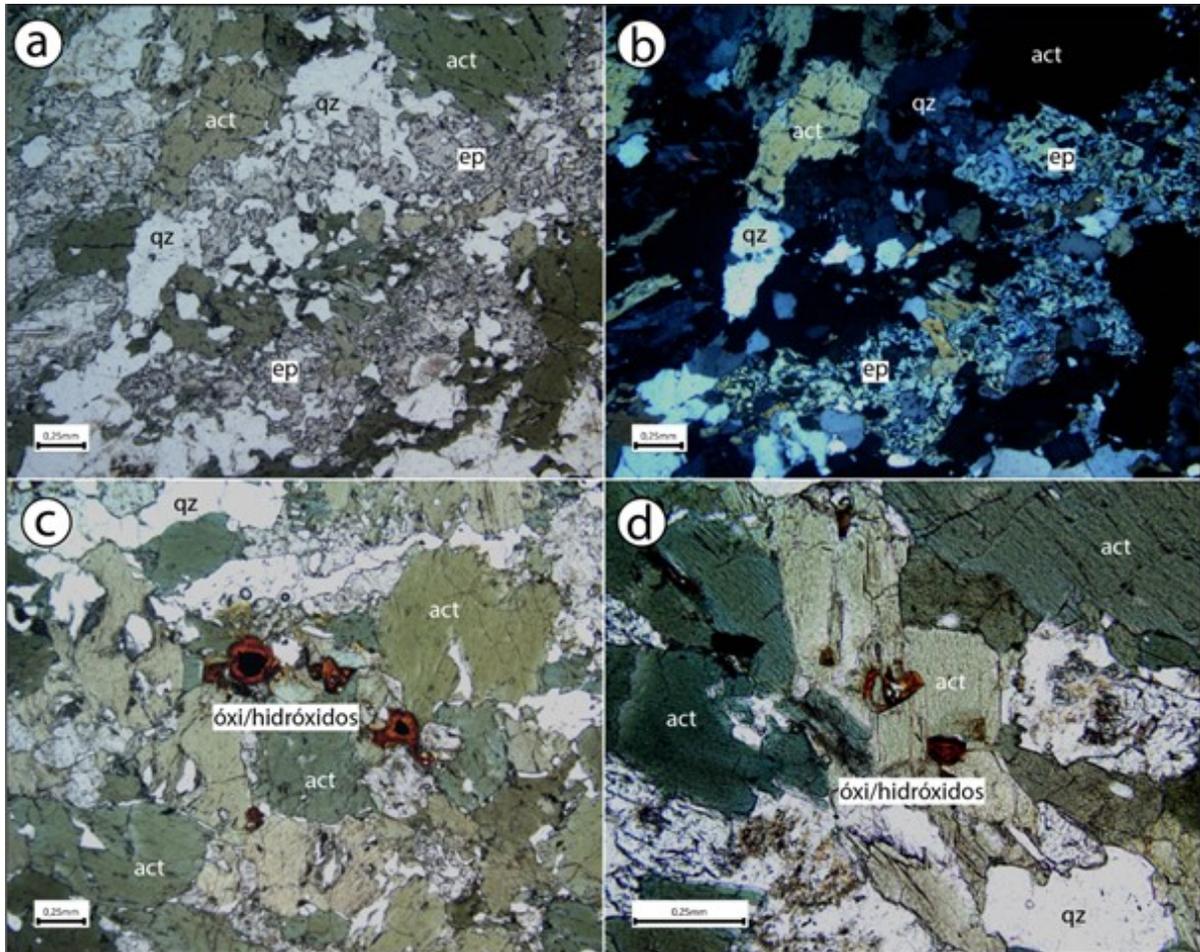


Figura 5.5: Fotomicrografias referentes à amostra coletada no ponto TF-IV-87. (a) observa-se a nicóis paralelos, uma variação clara entre três minerais bem definidos, sendo uns com um pleocroísmo variando de verde claro a escuro (actinolita), outros com uma coloração cinza escura presente em um aglomerado (epidoto) e, por fim, um com relevo muito baixo e nenhum tipo de pleocroísmo (quartzo). (b) Mesma posição de A, em nicóis cruzados, onde é possível identificar a textura simplectítica. Em (c) e (d) é possível observar alguns dos minerais anteriormente descritos, porém com a presença de minerais de coloração avermelhada (óxi/hidróxidos) em associação direta com o anfibólio e envolvendo cristais de magnetita.

A lâmina obtida a partir da amostra do ponto 117 exhibe uma menor quantidade de anfibólio (35%), sendo este caracterizado como hornblenda, e uma maior quantidade de quartzo

(20%), quando comparada com a lâmina do ponto 87. A saber, a rocha apresenta granulação fina nos domínios com hornblenda, média a grossa em domínios transicionais entre quartzo, plagioclásio e hornblenda, e grossa nos domínios essencialmente compostos por epidoto e quartzo.

Esta lâmina apresenta um bandamento composicional bem definido, existindo uma variação em quantidade de epidoto e hornblenda. Da base para o topo da lâmina a quantidade de epidoto aumenta drasticamente e depois volta a se tornar raro, os cristais de epidoto são anedrais e estão majoritariamente na matriz em paragênese com o plagioclásio, hornblenda e o quartzo. Ocasionalmente, este aparece com textura do tipo simplectítica reagindo com o quartzo, já demonstrando feições de desequilíbrio químico, associado apenas a assembléia mineral da lâmina.

Devido a variação na proporção de quartzo vista em lâmina pode-se enquadrar tanto como anfíbolito (ponto TF-IV-87) ou quartzo anfíbolito (ponto TF-IV-117), não sendo possível na escala do mapa separar as duas, visto que tais contatos seriam transicionais e de exposição métrica, dificultando seu mapeamento. Nas duas lâminas observadas, existem cristais de epidoto que estão em desequilíbrio e apresentam aparência vermiforme (textura simplectítica) em decorrência da interação química do quartzo com epidoto.

5.1.1.3 Unidade Metassedimentar Química

Tal associação de rochas ocorre na subárea IV com maior distribuição na porção nordeste (NE) da área, tendo como melhores exemplares os gonditos. Pontualmente ocorrem grafita quartzitos, cherts, em sua maioria associados diretamente com os gonditos, e BIF's, estes podendo ou não estar em associação com os gonditos e cherts.

O gondito é uma rocha proveniente do metamorfismo de sedimentos marinhos ricos em manganês, cuja composição química é sílico-manganesífera. Na área do Projeto Mara Rosa, os gonditos ocorrem na forma de morrotes arredondados e serras alongadas, formando uma capaça que sustenta o relevo mais alto, estando por vezes associado a anfíbolitos e a horizontes lateríticos.

Cobrindo 10% da subárea IV, com contorno e geometria lenticular anastomosada, em campo os afloramentos foram observados na forma de blocos tabulares e arredondados de coloração preta e de tamanhos decimétrico, que, em sua maioria, apresentavam-se desagregados na forma de blocos soltos, e na menor parte, in situ. Os gonditos (figura 5.6) foram reconhecidos em campo principalmente por efervescer com intensidade ao ataque com água oxigenada. Embora sejam rochas com uma representação relevante para a subárea IV, todos

os afloramentos e amostras coletadas estavam intensamente intemperizados, impossibilitando a confecção de uma lâmina delgada.

Assim, devido a proximidade, foi utilizada a lâmina de gondito confeccionada pela subárea V (ponto TF-V-54). Esta contém quartzo (45%), granada (25%), magnetita (25%) e hematita (5%), sendo que, os minerais podem ter variação de 5%, tanto em somatório, quanto em subtração do total observado. Essa rocha possui domínios de quartzo e granada se repetindo como micro bandamentos de tamanho milimétrico. Os cristais de quartzo tem tamanho equigranular e contatos lobados, a granada ocorre entre os grãos de quartzo. Devido a composição manganesífera, a granada dessas rochas é a espessartita. O modelo de formação dessas rochas, por serem metassedimentares químicas, ocorrem de forma cíclica a deposição de camadas sílicas (quartzo), manganesífera (espessartita) e ferrosa (magnetita). Já a variação entre essas rochas se dá pela disponibilidade dos elementos Fe^{3+} , Mn^{2+} e Al no sistema, precipitando o que contenha maior teor durante a deposição, porém, às vezes de forma mista. A hematita ocorre como produto de intemperismo das porções mais ricas em ferro.

O grafita quartzito foi identificado associado aos gonditos, portanto, tem padrão geomorfológico semelhante ao anteriormente descrito. O afloramento em que foi identificado, (ponto TF-IV-156) estava em um terreno de carapaça laterítica que devido a uma drenagem incisa e profunda, expôs o afloramento com gondito e grafita quartzito em contato direto. A rocha apresenta caráter friável, coloração acinzentada típica, brilho metálico, textura granular e tato untuoso proeminente, de maneira que, ao estar em contato direto com a mão, se desfaz.

Ao contrário dos gonditos, os pequenos pontos aflorantes de grafita quartzito encontrava-se bem preservados, possibilitando a confecção de uma lâmina. Em escala microscópica, essa rocha apresenta apenas dois minerais, sendo estes o quartzo (70%) e a grafita (30%). Exibe textura geral granular devido a majoritariamente dos cristais de quartzo e alguns domínios nematoblásticos devido aos cristais lamelares de grafita. Embora os cristais de grafita possam formar domínios com uma direção preferencial, a predominância da lâmina é de cristais imersos de maneira dispersa.



Figura 5.6: Afloramento centimétrico de gondito em bloco tabular observado no ponto TF-IV-38. A coloração preta está diretamente associada aos óxidos de manganês.

5.1.2 Ortognaisses Mara Rosa

Esta Unidade é caracterizada por uma diversidade de rochas metaplutônicas indiferenciadas, de caráter pré a sin-tectônico, correspondente a ortognaisses tonalíticos a dioríticos (Oliveira *et al.*, 2016). Equivalente a aproximadamente 60% da subárea IV, se concentra na porção central e aflora de maneira mais expressiva na porção norte e nordeste da área. Apresenta-se em contato tectônico com a unidade da Sequência Mara Rosa à leste e à oeste-noroeste, além de também estarem associadas à zona de cisalhamento Serra de Bom Jesus.

As áreas onde essas rochas afloram são caracterizadas por relevos planos ou levemente ondulados. Os afloramentos ocorrem geralmente em lajedos associadas a pequenos morros, blocos rolados e ocasionalmente em quebras de drenagem, variando desde tamanhos centimétricos a decamétricos.

As técnicas para cartografar essa unidade foram associações dos produtos da etapa pré-

campo com os afloramentos da etapa campo, entretanto, observou-se que, em campo as variações composicionais associada aos minerais índices (plagioclásio, quartzo e feldspato potássico) dessa unidade eram dispersas e descontínuas, além de difícil identificação em campo em rochas de granulação fina ou com intenso grau de metamorfismo, com foliação penetrativa e bandamento composicional, logo, optou-se por agrupa-lás em um grande grupo de ortognaisses.

Dessa forma, este grupo varia com ortognaisses de composições tonalíticas e dioríticas, com ou sem bandamento e foliação, e frequentemente alterados com capa intempérica de óxidos de coloração ocre à laranja claro e uma matriz de argilominerais de coloração branca e friável. Já a geofísica indicava anomalias de coloração rosada na gamaespectrometria, entretanto, esse critério não era diagnóstico e de fácil visualização em função da escala e resolução do levantamento. Por contemplar a maior porcentagem mapeada da área IV, tal unidade foi selecionada para a confecção de diversas lâminas, estando entre elas os pontos TF-IV-29, TF-IV-55 e TF-IV-104.

Em escala mesoscópica, a amostra referente ao ponto TF-IV-29 apresenta bandas félsicas de coloração cinza esbranquiçada e bandas máficas de coloração preta. A granulação varia de fina a média, e apresenta uma textura essencialmente granoblástica nas bandas félsicas, e diablastica com porções nematoblásticas nas bandas máficas. As bandas félsicas são compostas por plagioclásio e quartzo, e as bandas máficas são compostas por anfibólio e alguns cristais de muscovita (figura 5.7).

Em escala microscópica, a amostra referente ao ponto TF-IV-29 apresenta-se composta por plagioclásio (35%), hornblenda (35%), quartzo (10%), muscovita (10%), epidoto (10%), magnetita (4%) e titanita (1%). Os cristais de plagioclásio e quartzo definem a textura granoblástica, que domina na lâmina, enquanto que os cristais de hornblenda definem em alguns domínios a textura nematoblástica. A granulação varia de média a grossa por toda a rocha, sendo que os cristais de hornblenda, quartzo e plagioclásio apresentam, em sua maioria, hábitos subédricos, enquanto que os cristais de muscovita apresentam hábitos tipicamente lamelares. Os cristais de epidoto apresentam textura simplectítica e um hábito mais anédrico.



Figura 5.7: Foto de amostra de mão com uma amostra representativa de um Bt-Hbl-gnaisse tonalítico da unidade dos Ortognaisses Mara Rosa, com bandamentos milimétricos deformados com geometria dobrada, com bandas félsicas de composição quartzo-feldspáticas e bandas máficas compostas por cristais de biotita e hornblenda.

Em escala mesoscópica, a amostra referente ao ponto TF-IV-55 apresenta uma coloração acinzentada, com intercalação entre bandamentos composicionais, sendo bandas com coloração cinza esbranquiçada (félsica) e bandas cinza escura (máfica). As bandas apresentam uma variação de granulação, sendo fina a média nas porções félsicas, e média a grossa na porção máfica. Existe uma textura nematoblástica, definida pelo anfibólio, e domínios texturais lepidoblásticos compostos pela biotita (figura 5.8).

Em lâmina esta amostra apresenta-se composta por actinolita e hornblenda (30%), quartzo (30%), biotita (20%), plagioclásio (10%), com teor de anortita variando de 20-30 (Oligoclásio-Andesina), epidoto (6%) com textura simplectítica. Existem ainda minerais acessórios, sendo eles magnetita, apatita, titanita e alanita (totalizando em seu somatório total 4%). Os cristais de biotita, hornblenda verde e actinolita marcam domínios que acompanham os bandamentos, que também contém cristais subédricos de epidoto. O contato entre os cristais dos diferentes domínios é planar e contínuo, entretanto, destaca-se que os cristais de epidoto estão presentes em ambos os domínios e ocasionalmente englobados por anfibólio, plagioclásio e quartzo. O plagioclásio, em raros domínios, está englobado por cristais de anfibólio.



Figura 5.8: Foto de amostra de mão de uma rocha classificada como *Hbl-gnaiss tonalítico*.

Em escala mesoscópica, a amostra referente ao ponto TF-IV-104 apresenta coloração cinza, com variação de bandas milimétricas de coloração branca acinzentada e preta acinzentada. Apresenta granulação fina à média, foliação penetrativa, ocasionalmente obedecendo um padrão anastomosado. A textura principal é granoblástica, porém, domínios lepidoblásticos estão presentes e são responsáveis pela foliação (figura 5.9).

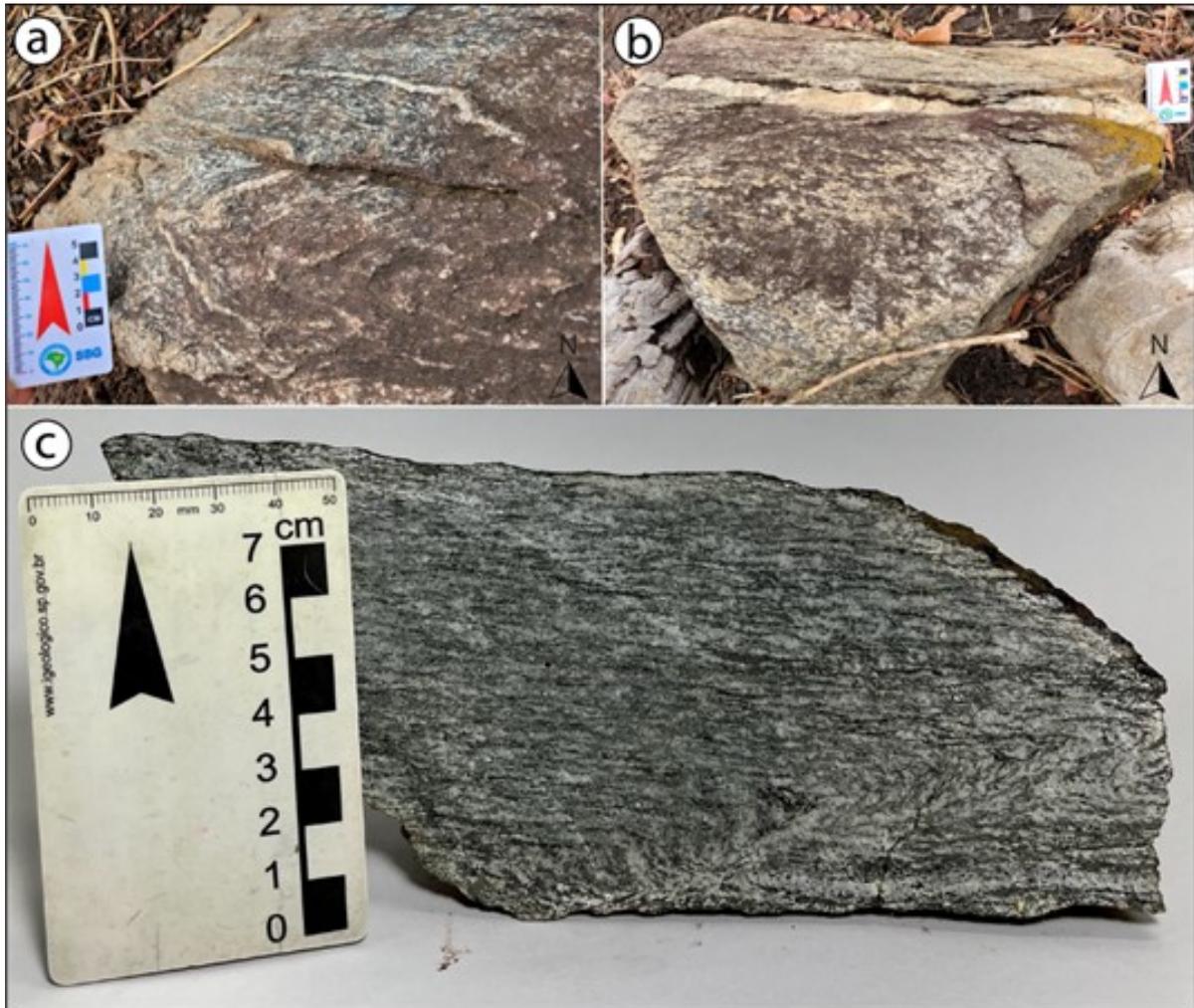


Figura 5.9: (a) Afloramento em lajedo de biotita-hornblenda gnaiss tonalítico, bandado, com veios concordantes, fortemente deformados e de tamanho métrico observado no ponto TF-IV-104. (b) Bloco métrico observado no mesmo afloramento, porém, com um grande veio de quartzo cortante que segue a direção preferencial da foliação. (c) Amostra de mão referente ao mesmo ponto, de coloração cinza-esverdeada, com foliação penetrante e uma textura lepidoblástica. Existe ainda uma porção levemente deformada na parte inferior direita da amostra, demonstrando um deslocamento das foliações.

Em escala microscópica, a amostra apresenta-se composta por hornblenda e actinolita (35%), plagioclásio (20%), mais especificamente andesina, quartzo (20%), biotita (15%), epidoto (5%), magnetita (3%) e ilmenita (2%). Os cristais de biotita, hornblenda e actinolita marcam domínios de bandas que acompanham os planos de foliação, que também contém cristais subédricos de epidoto. O tamanho dos cristais variam de 1 a 5mm marcando uma granulção média, entre os domínios lepidoblásticos, marcados por cristais de biotita. Existem domínios granoblasticos de quartzo e plagioclásio, sendo estes subédricos e neoformados. O

contato entre os cristais do domínio granoblástico e do domínio lepidoblástico é planar e contínuo, entretanto, destaca-se que os cristais de epidoto estão presentes em ambos os domínios acompanhando os planos de foliação e englobados pelos cristais de biotita e anfibólios sugerindo que este pode estar associado a uma alteração posterior ao sistema químico em equilíbrio (figura 5.10).

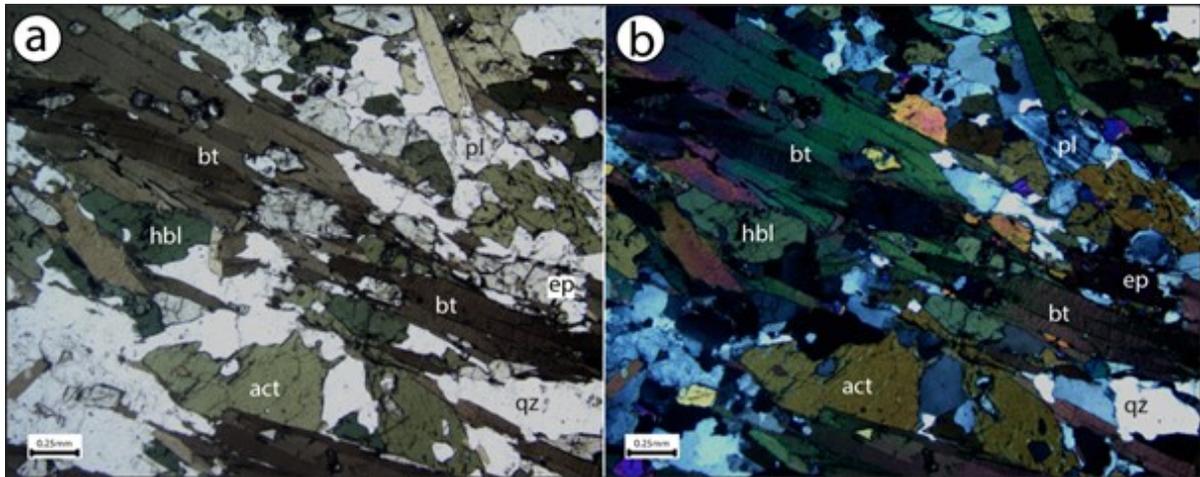


Figura 5.10: Fotomicrografias da amostra coletada no ponto TF-IV-104. (a) Assembleia mineral observada em nicóis paralelos, composta por biotita com hábito lamelar, relevo médio e forte pleocroísmo variando de marrom claro a escuro, dois tipos de anfibólios sendo hornblenda com um pleocroísmo voltado para um verde escuro e actinolita para um verde mais claro, epidoto com elevado relevo, quartzo e plagioclásio com baixos relevos e incolores. Apresenta textura nematoblástica marcada pelos cristais de anfibólio orientados, com domínios granoblásticos pelos cristais de quartzo e plagioclásio e raros domínios lepidoblásticos com acúmulos de cristais de biotita orientados. (b) Mesma imagem, porém em nicóis cruzados.

Feições do tipo mixing-mingling, também foram observadas em campo, mais especificamente no ponto TF-IV-128 (figura 5.11). Foi possível identificar dois end members (um félsico e um máfico), além de um intermediário. As faixas félsicas são compostas por plagioclásio, quartzo e granada, ao passo que as porções máficas são compostas por anfibólio biotita, granada e magnetita (figura 5.12).

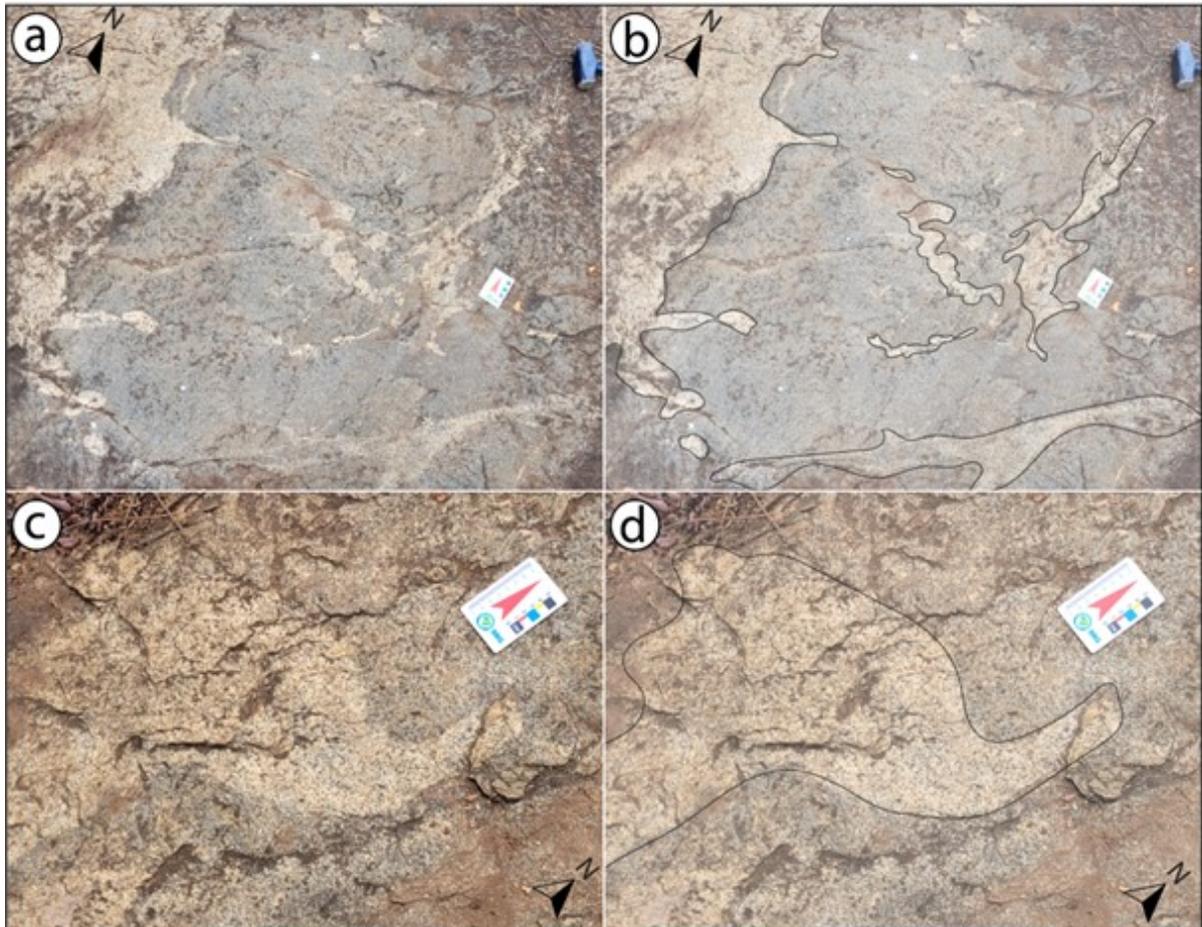


Figura 5.11: (a) Afloramento em lajedo referente ao ponto TF-IV-128 evidenciando feições do tipo mixing-mingling. (b) Representação esquemática da diferenciação das faixas félsicas das intermediárias a máficas. (c) Variação bem marcada entre as diferentes faixas, ainda referente ao mesmo ponto. (d) Representação esquemática da diferenciação.



Figura 5.12: *Diferentes amostras mesoscópicas coletadas no ponto TF-IV-128. (a) Segregação bem marcada evidenciando uma diferenciação entre uma faixa félsica composta por plagioclásio e quartzo e uma mais máfica, composta por biotita, anfibólio, granada e magnetita. (b) Amostra representativa da porção mais félsica como um todo.*

5.1.3 Unidade Hidrotermal

A subárea IV apresenta uma vasta associação de rochas de alteração hidrotermal, compreendendo as regiões da Serra de Bom Jesus e seu entorno (figura 5.13). Ocorrem relacionados a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e aos Ortognaisses Mara Rosa, associando-se a zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis, dispostas com direção preferencial NE-SW, que infletem para E-W no contato leste com o limite da subárea V. Estes corredores deformacionais englobam uma grande variedade de rochas que não se enquadram em padrões normais de nomenclatura e adequação, com intensos processos de epidotização, saussuritização, sericitização, cloritização e sulfetação.

Objetificando a melhor classificação e agrupamento dessas rochas, adotou-se subdivisões com base no caráter mineralógico presente nas associações minerais, sendo: Associação de rochas calcissilicáticas (epidoto-quartzo-plagioclásio, epidoto-quartzo-hornblenda-plagioclásio), entretanto, algumas áreas descrevem a ocorrência de diopsídio e Associação de rochas aluminosas ricas em cianita e pirita (cianita-muscovita-quartzo). Esta associação tem como base destacar e classificar as alterações nas assembléias minerais das rochas e objetifica a descrição e adequação dos processos envolvidos.

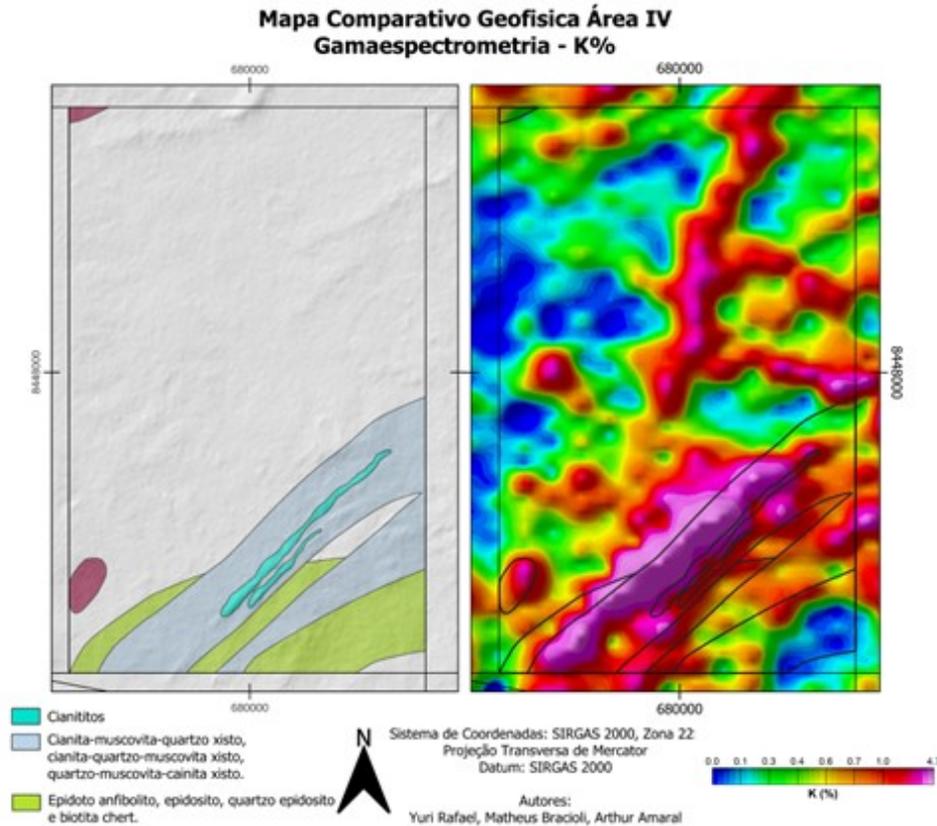


Figura 5.13: Mapa comparativo das unidades mapeadas e a gamaespectrometria com K%, à esquerda mapa das unidades litológicas mapeadas evidenciando as rochas que possuem alto K, com foco nas rochas da Unidade Hidrotermal, à direita o Mapa gamaespectrométrico de K%.

5.1.3.1 Associação Hidrotermal Aluminosa

Cianititos

Os cianititos na subárea IV ocorrem de forma restrita entre 1 a 2% da área, somente ao longo de duas serras alinhadas no sentido NE na porção sudeste da área. Essa rocha está posicionada ao centro da Associação Hidrotermal Aluminosa, mais especificamente do cianita-quartzo-muscovita xisto.

Devido a natureza refratária da cianita, o cianitito resiste ao intemperismo formando o relevo mais elevado dessa porção sudeste. Tal unidade é bem marcada pela vegetação quando vista em imagem de satélite, sendo possível observar também em campo, uma vez que existe um padrão de vegetação de árvores espaçadas entre os blocos de rocha (figura 5.14). Os afloramentos não são contínuos, ocorrendo na forma de matações, que no geral não tendem a ter aspecto de blocos rolados, mas que ficam concentrados no topo da serra e sustentam o

relevo.



Figura 5.14: Fotografia evidenciando o contato entre os cianititos puros, relevo mais acentuado formado pela Serra de Bom Jesus (acima da linha amarela tracejada), e as associações aluminosas, contemplada pelas rochas com presença de cianita e inseridas em um relevo pouco acentuado (abaixo da linha amarela tracejada). É válido notar ainda a vegetação característica espaçada e caducifólia alocada por toda extensão da Serra.

A rocha é composta por no mínimo 90 % de cianita e o restante distribuído nos outros minerais, tais quais o quartzo, raros domínios com cristais de muscovita, além de ocasionalmente pirritas limonitizadas e feições de box works. A rocha tem tonalidade azul devido a quantidade de cianitas e tem tonalidade ocre amarelada nas bordas das cianitas devido ao intemperismo dos minerais que compõem a matriz da rocha. Os cristais de cianita apresentam-se com tamanhos milimétricos a, por vezes, centimétricos, com seu hábito tabular típico em um padrão de crescimento espaçado e ocasionalmente radial, e com as duas direções de clivagem bem definidas em alguns cristais. Geralmente essa rocha mais pura está associada a zona de charneira de dobra, assim como observado na dobra antiformal mapeada a sudeste da subárea IV. Por apresentar uma maior resistência às intempéries, os cianititos, que são compostos quase que

monomineralicamente, são capazes de sobressair em meio às rochas adjacentes e sustentar o relevo, formando as serras mapeadas (figura 5.15).

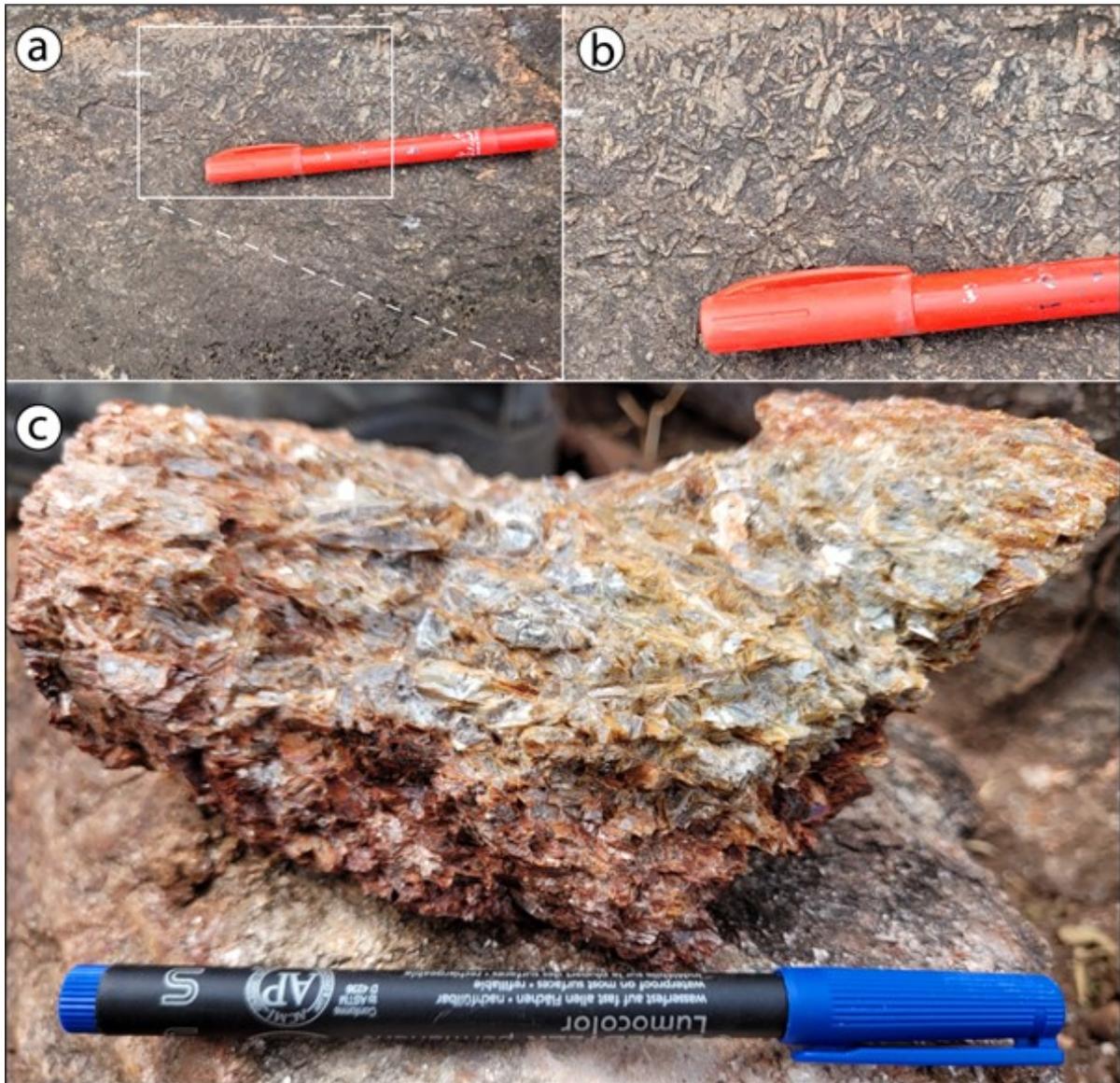


Figura 5.15: Afloramento em lajedo de cianitito observado no ponto TF-IV-126. (a) e (b) Cristais de cianita ressaltados na capa intempélica devido ao caráter refratário em relação ao material matricial. (c) Amostra do mesmo ponto, indicando a variação de coloração devido intemperismo (ocre até azulado).

Xistos

Os diferentes tipos de xistos mapeados ocorrem na parte central da subárea IV com direção preferencial NE, compreendendo 15% da subárea como um todo. Em meio a esta unidade existe uma feição de corredor contendo os cianititos em seu centro, em decorrência da re-

sistência dos cristais de cianita às intempéries, sustentando o relevo e diferenciando entre os xistos com cianita em sua composição. Esta unidade possui relevo suave ondulado nas bordas externas do seu contato e mais ondulado quanto mais próximo da Serra de Bom Jesus, ou seja, onde estão aflorando os cianititos puros.

Tais xistos são compostos principalmente por cianita, quartzo e muscovita, sendo que a quantidade de cianita aumenta e a de quartzo diminui quanto mais próximo à Serra de Bom Jesus. É comum ainda observar alguns sulfetos oxidados (piritas limonitizadas) disseminados na rocha e feições de box work. Tal unidade apresenta feições de crenulação (figura 5.16) e dobras isoclinais em mesoescala.

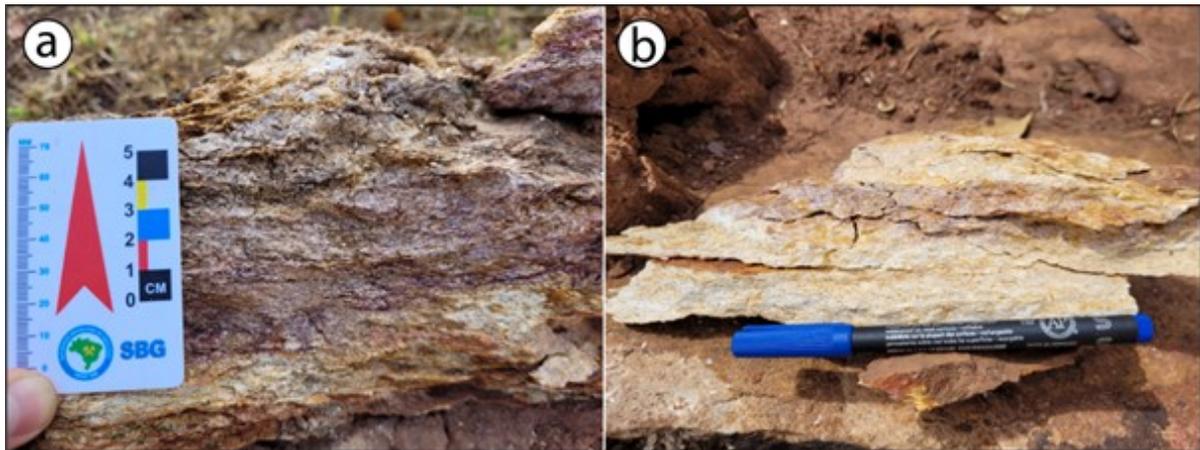


Figura 5.16: (a) Amostra de mão de um muscovita-cianita-quartzo xisto observada e coletada no ponto IV-116. Apresenta uma coloração arroxeadada em decorrência da alteração causada pelo intemperismo. (b) Amostra de mão de um cianita-muscovita-quartzo xisto coletada no ponto IV-125, com uma alteração pouco evidente, ao contrário do observado em A. Apresenta uma deformação bem marcada e feições de crenulação.

Desta unidade, duas amostras frescas foram coletadas nos pontos TF-IV-98 e TF-IV-116, e destinadas para a confecção de lâminas, a fim de uma melhor comparação com relação às porcentagens de cada mineral e uma melhor associação. Em escala microscópica, a amostra coletada no ponto TF-IV-98 é composta principalmente por cianita (70%), muscovita (20%), magnetita (4%) e quartzo (3%). Existem ainda minerais acessórios como a turmalina (1%), rutilo (1%) e pirofilita (1%). A lâmina apresenta domínios predominantemente granoblásticos definidos pela presença da cianita e quartzo, e em alguns locais domínios lepidoblásticos, sendo estes definidos pela muscovita. Apresenta granulação média a grossa, definida por minerais que variam de 1 a 3mm.

É possível identificar ainda uma deformação bem marcada, principalmente nos cristais de muscovita e nos cristais de cianita, tendo em vista que a extinção apresenta-se muito ondu-

lante. A turmalina apresenta um forte pleocroísmo variando de cinza claro a verde escuro e, juntamente com a magnetita, exibem hábitos anedrais estando sempre alocados nos interstícios dos cristais de cianita e muscovita.

Já a amostra coletada no ponto TF-IV-116 apresenta-se em lâmina composta principalmente por cianita (35%), muscovita (30%), quartzo (10%) e epidoto (10%). Existem ainda minerais acessórios como a pirofilita (8%), magnetita (5%) e ilmenita (2%). A granulação varia de média a grossa, com os minerais apresentando tamanhos milimétricos. A textura principal da rocha é lepidoblástica, sendo esta definida pela muscovita, porém, ainda existem domínios granoblásticos definidos pelos cristais de quartzo. Os cristais de cianita apresentam-se com tamanhos milimétricos, bem formados e com as duas direções de clivagem bem marcadas (figura 5.17). Os minerais opacos apresentam contatos poigonais em relação aos outros, indicando o equilíbrio na paragênese.

Ao comparar as duas lâminas desta unidade, é possível observar uma grande variação no percentual dos minerais, principalmente na quantidade de cristais de cianita e quartzo. Como exposto anteriormente, quanto mais próximo da Serra de Bom Jesus as amostras forem coletadas, maior a quantidade de cianita e menor a quantidade de quartzo presente na amostra. Isso está denotado nas proporções anteriormente citadas, e na proximidade dos pontos de coleta em relação à Serra de Bom Jesus.

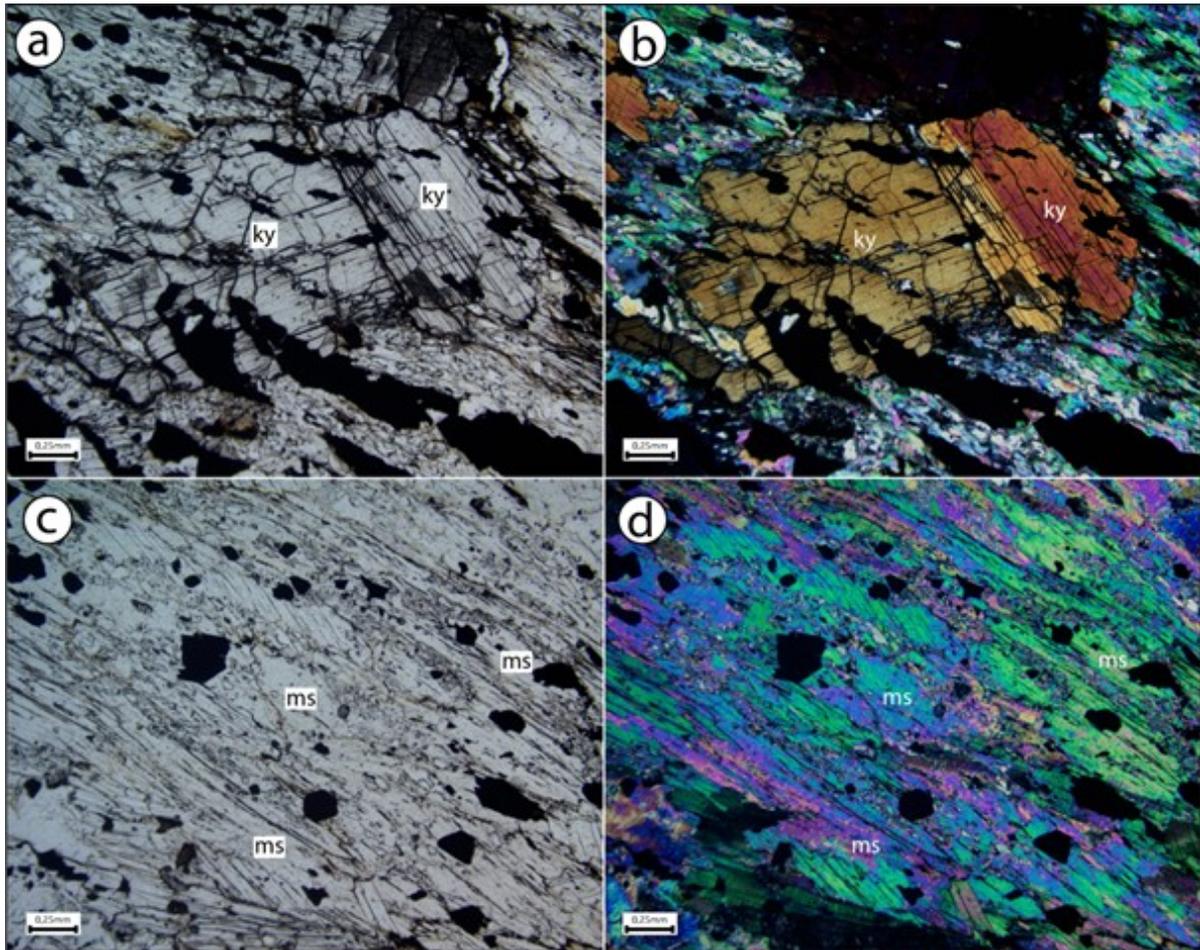


Figura 5.17: Fotomicrografias da amostra retirada do ponto TF-IV-116. (a) Cristais de cianita com relevo elevado englobados por cristais de muscovita em nicóis paralelos. (b) Domínio lepidoblástico marcado pelos cristais de muscovita orientados segundo planos de foliação e domínio diablástico marcado por cristais de cianita sem orientação preferencial, ambos em nicóis cruzados. Os cristais de muscovita apresentam as duas direções de clivagem bem marcadas (c) Cristais de muscovita envolvendo minerais opacos e em domínio lepidoblástico. (d) Os mesmos cristais de muscovita anteriormente citados, porém, com a representação da elevada cor de interferência típica deste mineral.

5.1.3.2 Associação Hidrotermal Calcissilicática

A Associação Hidrotermal Calcissilicática foi descrita como uma unidade em que predominam rochas com a paragênese primária, possui minerais de composição calcissilicática, minerais ricos em Ca em equilíbrio e rochas com assembleia mineral com alterações calcissilicáticas.

Afloram próximas à Serra de Bom Jesus e os Ortognaisses Mara Rosa, foi representada em

mapa como uma zona homogênea que engloba esses dois tipos de rochas. Estas afloram em sua maioria na forma de blocos soltos ou pequenos lajedos centimétricos, dispostas em baixos topográficos e localizados na porção centro sul à sudeste da Subárea IV.

As rochas que apresentam paragêneses calcissilicáticas são rochas de granulação fina a média, compostas por cristais hornblenda, plagioclásio, quartzo e epidoto, com bandas milimétricas a centimétricas que definem domínios distintos composicionalmente, um máfico com hornblenda em maior proporção e um félsico com plagioclásio em maior proporção. O epidoto (30-40%) é a fase mineral mais expressiva apresenta-se de forma euédrica, em contatos poligonais com o plagioclásio (20-30%) com teor de anortita (30-40), quartzo (10-20%), hornblenda (20-30%). Em lâmina a rocha apresenta textura granonematoblástica representada por cristais primásticos alongados de hornblenda e cristais granulares de epidoto, plagioclásio, com minerais acessórios sendo estes pirita, magnetita, zircão e titanita (5%).

As rochas que apresentam alteração calcissilicática são rochas de granulação fina a média, de coloração cinza esverdeada e geralmente estão com intensos processos de silicificação. Em lâmina estas apresentam várias alterações minerais, saussuritização e sericitização e epidotização nos cristais de plagioclásio (20%), feições de reações entre cristais de epidoto (30%) e cristais de quartzo (10%), formando texturas com geometria vermiforme classificadas como tipo simplectíticas, e cristais prismáticos de hornblenda (30%) com os mesmos minerais acessórios das rochas de composição calcissilicática, magnetita, zircão e titanita (10%). Possuem textura granonematoblástica marcadas por cristais prismáticos alongados de hornblenda e granulares de plagioclásio e quartzo.

A amostra mesoscópica coletada no ponto TF-IV-166 é a mais representativa desta unidade e foi selecionada para a confecção de uma lâmina. Em escala microscópica, esta amostra apresenta-se composta principalmente por hornblenda (50%), epidoto (30%), quartzo (15%) e opacos, como magnetita (3%) e pirita (2%). Os cristais de hornblenda apresentam tamanhos milimétricos, variando entre 0,5 e 4 mm, hábitos euédricos e subédricos, e clivagens em duas direções bem marcadas e típicas. Os cristais de quartzo apresentam tamanhos submilimétricos a milimétricos, variando entre 0,20 e 5 mm, hábitos anédricos e extinção ondulante típica. Os cristais de epidoto possuem tamanhos milimétricos, variando entre 1 e 2 mm, hábitos predominantemente anédricos, e por vezes mais subédricos, a depender do domínio. A lâmina apresenta uma textura granoblástica, seja no domínio com a existência apenas da hornblenda, da hornblenda e do quartzo e apenas do quartzo (figura 5.18). A granulação é grossa no domínio das hornblendas, média a grossa na transição entre quartzo e hornblenda e média no domínio do quartzo. Existe ainda rotação de sub-grão nos cristais de quartzo.

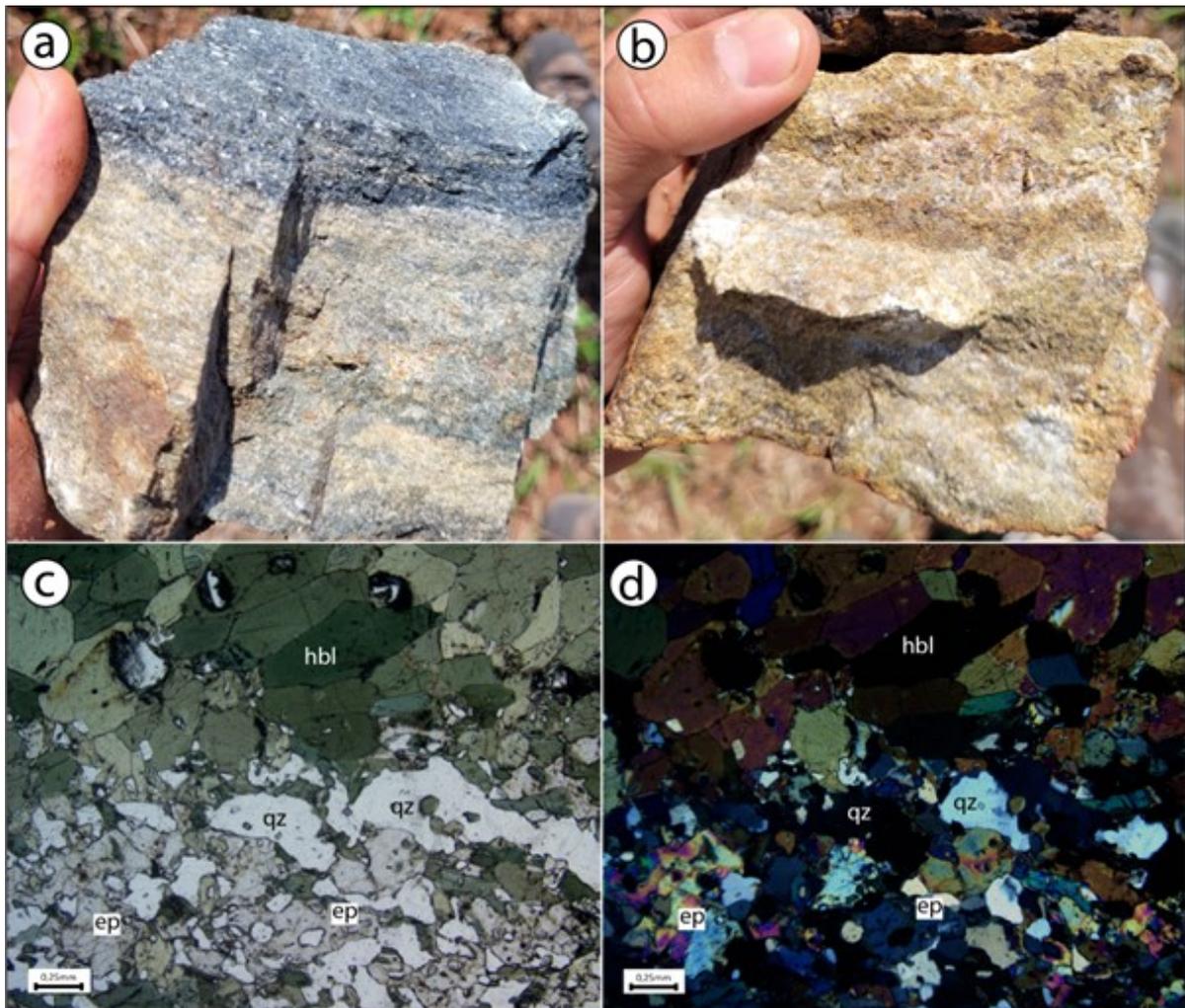


Figura 5.18: (a) Amostra mesoscópica evidenciando um contato entre uma porção de coloração acinzentada composta essencialmente por anfibólio e uma porção de coloração cinza esverdeada rica em anfibólio e epidoto. (b) Amostra mesoscópica típica desta unidade, sendo composta essencialmente por anfibólio e epidoto neoformado. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos da amostra do ponto TF-IV-166 composta por hornblenda, epidoto e quartzo. É possível ver a grande porcentagem de epidoto na amostra em um hábito completamente vermiciforme e, por outro lado, os contatos poligonais entre os cristais de hornblenda e quartzo, indicando o equilíbrio na paragênese. (d) Fotomicrografia do mesmo ponto, porém em nicóis cruzados.

5.1.4 Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas

5.1.4.1 Leucogranitos Bom Jesus (NP3γ3l)

Esta unidade compreende um pequeno corpo oval no extremo oeste da subárea IV e contempla aproximadamente 5% do mapa, mas é possível ver várias injeções em outras porções

da área, porém, a maioria não é representativa para a escala de cartografia adotada. É majoritariamente isotrópico, de granulação média a grossa com um foliação incipiente nas bordas do corpo, aflorando em pequenos lajedos ou em vales de drenagem encaixadas.

Em campo foi observado apenas um corpo mapeável, entretanto, este também ocorre na forma de injeções entrando nos planos de foliação entre os ortognaisses anteriormente descritos (figura 5.19).

São rochas de coloração branca a cinza claro, de granulação média e grossa e textura essencialmente granoblástica, formada por plagioclásio (40-50%), com teor de anortita variando de 30-40, quartzo (20-30%), epidoto (10-20%) e biotita (1-5%), classificadas como leucotonalitos (figura 5.20).



Figura 5.19: (a) Afloramento em lajedado referente ao ponto TF-IV-26. (b) Representação esquemática do contato entre o Ortognaisse Mara Rosa deformado e bandado (porção intermediária superior da foto) e o Leucotonalito Bom Jesus pouco deformado e intrudido entre os planos de foliação (porção intermediária inferior da foto).



Figura 5.20: Mapa geológico da subárea IV. O mapa geológico em escala correta 1:25.000 encontra-se nos Anexos.

5.1.5 Unidades e litologias não cartografadas

Entre as unidades e litologias da subárea IV, houveram algumas que não foram passíveis de serem cartografadas, tanto por critérios de escala, quanto de escassez de afloramentos. Os grafita-quartzitos (figura 5.21) são muito raros, ocorrendo somente em 2 pontos da área em contato com os gonditos. Essa rocha só foi vista devido a erosão causada por uma drenagem que estava bem incisa em uma chapada de crosta laterítica, onde do topo para base foi visto, crosta laterítica, gonditos e o grafita-quartzito, sendo o grafita xisto bem diferente devido a foliação bem concisa.

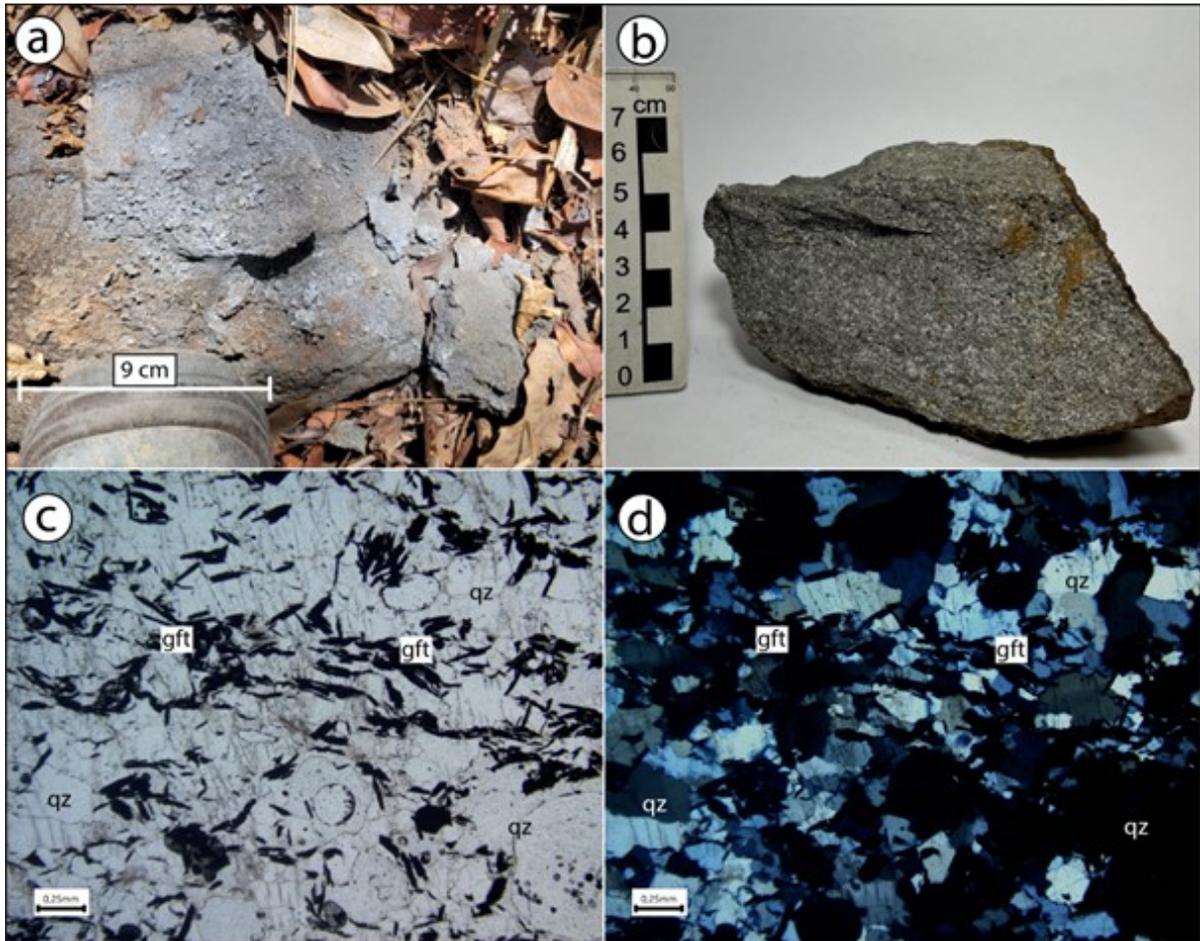


Figura 5.21: (a) Afloramento em lajedo de grafita quartzito observado no ponto TF-IV-156. (b) Amostra de mão do grafita quartzito coletada no mesmo ponto e utilizada para confecção da lâmina delgada. (c) Fotomicrografia em nicóis paralelos do grafita quartzito evidenciando aproximadamente 30% de grafita, com hábito lamelar e uma leve orientação, e 70% de quartzo em uma textura granoblástica. (d) Fotomicrografia na mesma posição da C, porém, em nicóis cruzados reforçando as informações supracitadas.

5.2 Considerações Petrogenéticas

As considerações petrogenéticas da subárea IV estão associadas principalmente com as paragêneses e associações minerais observadas, tanto entre litologias de uma mesma unidade quanto entre litologias de diferentes unidades e/ou até mesmo unidades inteiras associadas a determinados processos geológicos, principalmente metamórficos, frequentemente sobrepostos e com mais de uma interpretação possível. Sobre as litologias encontradas na unidade classificada como Sequência Mara Rosa, em que esta unidade representa, de maneira simples, associações ultrabásicas, básicas, metassedimentares químicas e hidrotermais. A identificação

e classificação destes conjuntos nessa sequência seguiu o padrão estabelecido na folha Mutunópolis e trabalhos anteriores, com pequenas adaptações, como a adição do grafita xisto às metassedimentares químicas.

Quanto ao metamorfismo da Sequência Mara Rosa, destaca-se a presença de uma paragênese clara e dominante da sub fácies epidoto-anfibolito, e além desta, também existem litologias com domínios de fácies anfibolito, e com base nisso, é suposto a ocorrência de pelo menos uma fase de retrometamorfismo, porém, ocasionalmente algumas rochas, principalmente as metabásicas e metaultramáficas apresentam-se com intensos processos de cloritização, saussuritização e sericitização, indicando também a presença de outro possível retrometamorfismo para fácies xisto verde. A Unidade Hidrotermal, é marcada pela ocorrência rochas com várias evidências de hidrotermalismo, tais como: veios pegmatóides ocasionalmente monominerálicos de turmalina, epidoto ou muscovita (figura 5.22), presença de alterações em assembleias minerais de composição variada e de rochas com paragênese calcissilicática ou aluminosa, visto que, as condições genéticas não favorecem enriquecimento natural nos elementos associados à estes minerais apenas em condições internas em um sistema fechado, como por exemplo (Bário, Potássio, Cálcio, Alumínio e Sódio) além do tamanho anômalo e da disposição destes, por veios concordantes à foliação. Porém, estas paragêneses e associações confundem-se com o retrometamorfismo em fácies epidoto-anfibolito > xisto verde na região, por isso as descrições petrográficas foram aliadas ao contexto geológico no entorno.



Figura 5.22: (a) Bloco rolado de veio pegmatóide de turmalina com coloração arroxeada, em decorrência da alteração. (b) Grandes cristais de muscovitas, com tamanhos centimétricos e hábitos lamelares, apresentando uma geometria de geminação em triângulo associadas a um veio pegmatóide.

Em relação aos Ortognaisses Mara Rosa, a identificação e classificação deste conjunto teve que ser adaptada às condições de ocorrência na subárea IV, estes, em trabalhos anteriores eram divididos de maneira mais detalhada em termos de composição, idade e metamorfismo. Optou-se por manter, como descrito na geologia do projeto, manter agrupadas as diferenças, por limitações de ocorrência, tanto em afloramento quanto nos produtos utilizados. Entretanto, ainda sobre os Ortognaisses Mara Rosa, as amostras utilizadas para petrografia, após a análise microscópica em detalhe, apresentaram-se sendo, de composição exclusivamente tonalítica, porém, vale ressaltar que outras amostras macroscópicas também foram analisadas e apresentaram composição diorítica à granodiorítica, a presença de granada foi identificada apenas em amostras utilizadas na petrografia de subáreas adjacentes, ainda há de se comparar de maneira sistemática por meio dos dados, porém, é proposto que a presença de granada seja um indicativo de um membro mais evoluído em alumínio, possivelmente associado a assimilação de crosta continental.

Quanto ao metamorfismo da unidade dos Ortognaisses Mara Rosa, embora na petrografia das amostras da subárea IV não tenha ocorrido nenhuma ocorrência da paragênese com granada, como descrito anteriormente, existem ocorrências em outras subáreas, essa unidade, como um todo apresenta paragênese de fácies anfibolito, porém, com presença de biotita, fazendo com que a maioria das amostras sejam plotadas fora do campo de rochas basálticas

Capítulo 6

Geologia Estrutural

6.1 Geologia Estrutural do Projeto Mara Rosa

Esta seção tem como objetivo a apresentação e descrição dos domínios estruturais do Projeto Mara Rosa. Estes domínios foram delimitados de maneira integrada, tendo como base a análise dos dados estruturais coletados em campo, bem como a correlação deles com estruturas identificadas nos produtos derivados dos levantamentos aerogeofísicos e de sensoriamento remoto.

Quatro domínios estruturais foram definidos, sendo eles de oeste para leste: (I) Transbrasiliano, (II) Mara Rosa, (III) Bom Jesus e (IV) Campinorte (Figura 6.1). Para a individualização de tais domínios, levou-se em consideração essencialmente o padrão geométrico das estruturas planares e lineares mapeadas, assim como feições assimétricas. Os estereogramas com as densidades das medidas de foliações e lineações coletadas em campo foram gerados utilizando o método de interpolação exponencial de Kamb (Vollmer, 1995). Esse método leva em conta a quantidade de desvios padrão (σ) de medidas aleatórias que poderiam variar do banco de dados, influenciando no tamanho dos círculos dos contornos. Dessa forma, quanto maior a quantidade de desvios padrão, mais suavizado e maiores as áreas dos contornos, sendo que a suavização escolhida foi de 3σ .

A descrição sintetizada de cada domínio é apresentada a seguir, levando em consideração suas especificidades próprias.

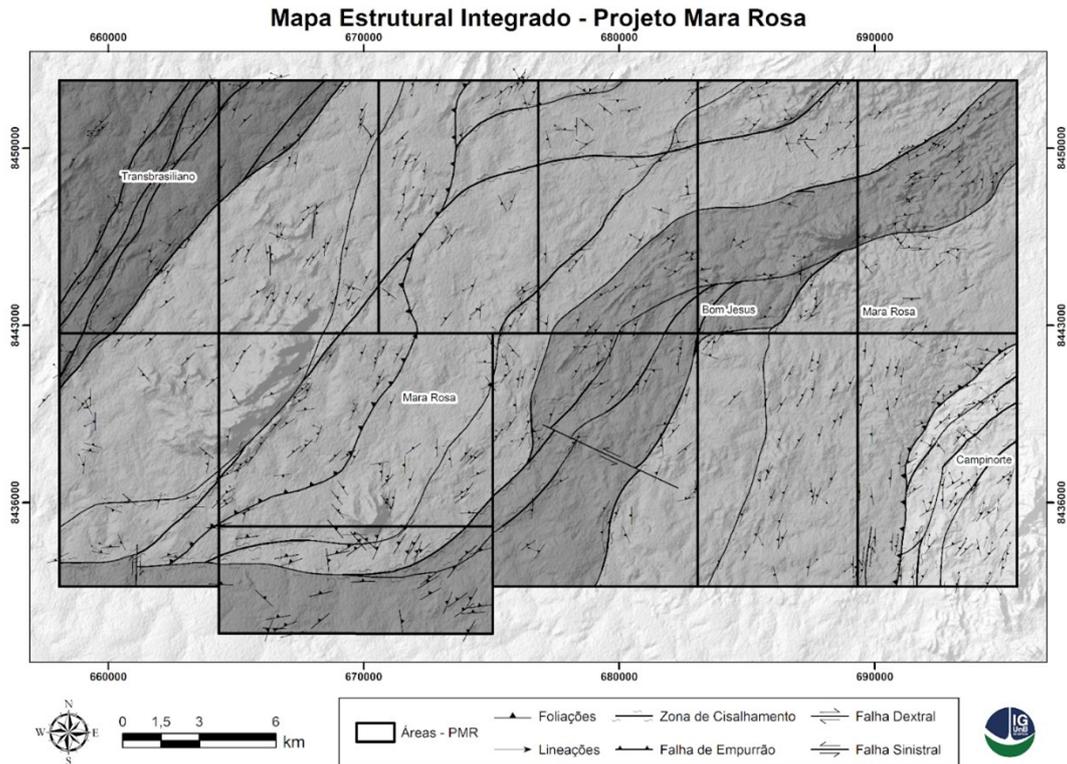


Figura 6.1: Mapa de Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa

6.1.1 Domínio I - Transbrasiliano

O Domínio I intitulado como Transbrasiliano situa-se no extremo noroeste da área mapeada (Figura 6.1), correspondendo a 15% e sendo caracterizado pelas rochas metapelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha. Ele é separado do Domínio II pela Zona de Cisalhamento Compressional Varalzinho (Fuck *et al.*, 2007).

Esse domínio define-se por um padrão homogêneo na distribuição das estruturas planares, representada por foliações com direção preferencial NE-SW que tendem a acompanhar a geometria desse compartimento. As foliações de direção NE-SW apresentam predominantemente mergulhos suaves a moderados (30-60°) para NW (Figura 6.2 A).

Essas estruturas são predominantemente xistosidades, sendo cerca de 90% das medidas, e os outros 10% são bandamentos gnáissicos. Essas foliações se associam a uma lineação de estiramento oblíqua com caimento para SW entre 40-80° (Figura 6.2 B). Ocorrendo de forma mais restrita, ao centro do domínio, define-se foliação subvertical com mergulhos entre 70-80° que definem corredores transcorrentes de direção NE. Esse domínio tem como característica principal a presença de zonas de cisalhamentos transpressivas, como a Zona de Cisalhamento

Vargem Grande (Fuck *et al.*, 2007), com forte influência do lineamento transbrasiliano.

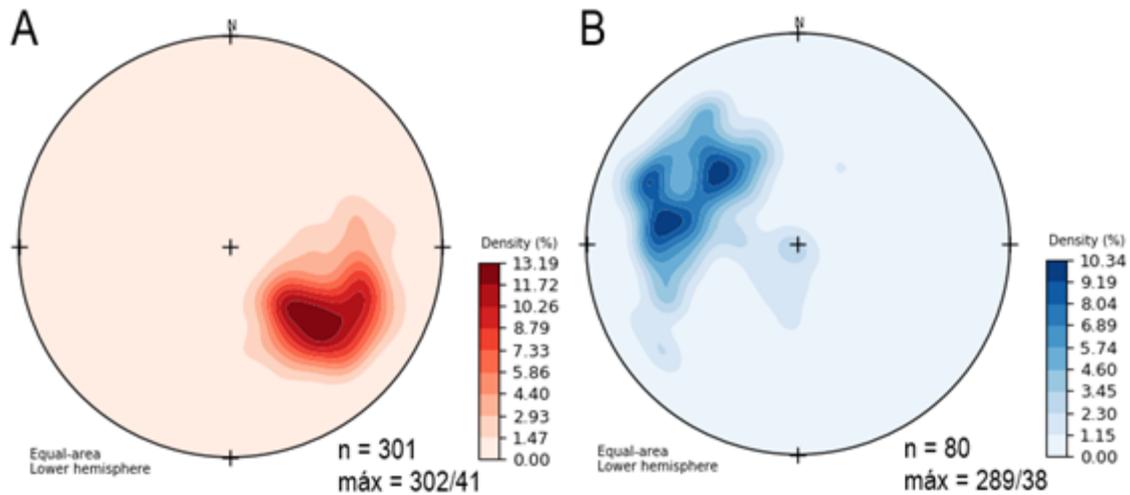


Figura 6.2: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural I - Transbrasiliano. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 40 a 60° para SW.

6.1.2 Domínio II - Mara Rosa

O Domínio II intitulado como Mara Rosa contempla a maior porcentagem da área mapeada pelo Projeto Mara Rosa, correspondendo a aproximadamente 50% e sendo caracterizado por rochas pertencentes a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás e Mara Rosa, e pelos plútons Faina e Amarolândia. A oeste limita-se pela Zona de Cisalhamento Varalzinho e a leste pela Zona de Cisalhamento Rio dos Bois. Esse domínio define-se por um padrão heterogêneo da distribuição das foliações com duas direções preferenciais: (i) foliações com direção NE-SW no setor oeste e (ii) foliações com direção N-S no setor leste. As foliações de direção NE-SW apresentam mergulhos moderados (30-60°) (Figura 6.3 A) para NW e as de direção N-S apresentam mergulhos moderados a altos (> 60°) (Figura 6.4 A).

Essas estruturas são representadas por foliações de anfibolitos e leucogranitóides (50-60%), bandamentos gnáissicos (15-20%) e xistosidades (20-25%). As lineações características para o setor oeste apresentam caimento alto (> 60%) principalmente para NE e localmente para SW (Figura 6.3 B). Já as lineações do setor leste apresentam caimento moderado (30-60°) para NE, aparentando ser oblíquas à foliação N-S (Fig. 6.4 B).

Dentro do domínio ocorrem, de oeste para leste, as zonas de cisalhamento Serra do Faina, Rio Formiguinha/Amaralina e Garimpo do Mundinho. No setor centro-leste desse domínio

foi definido o Domínio Bom Jesus, que abrange as zonas de cisalhamento Serra de Bom Jesus e Rio Formiga, descrito na seção 6.3 (Fuck *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2007).

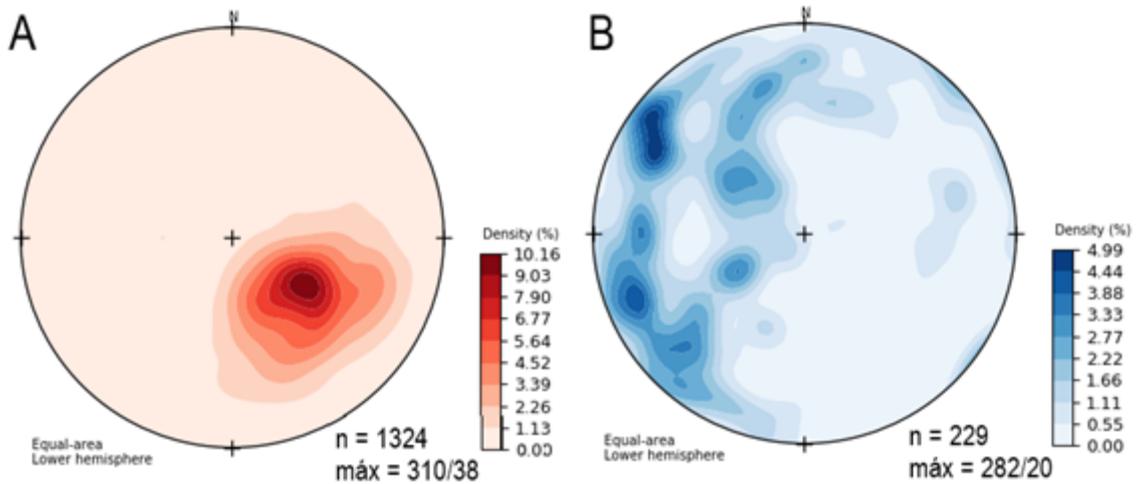


Figura 6.3: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural II - Mara Rosa. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de > 60° para NE.

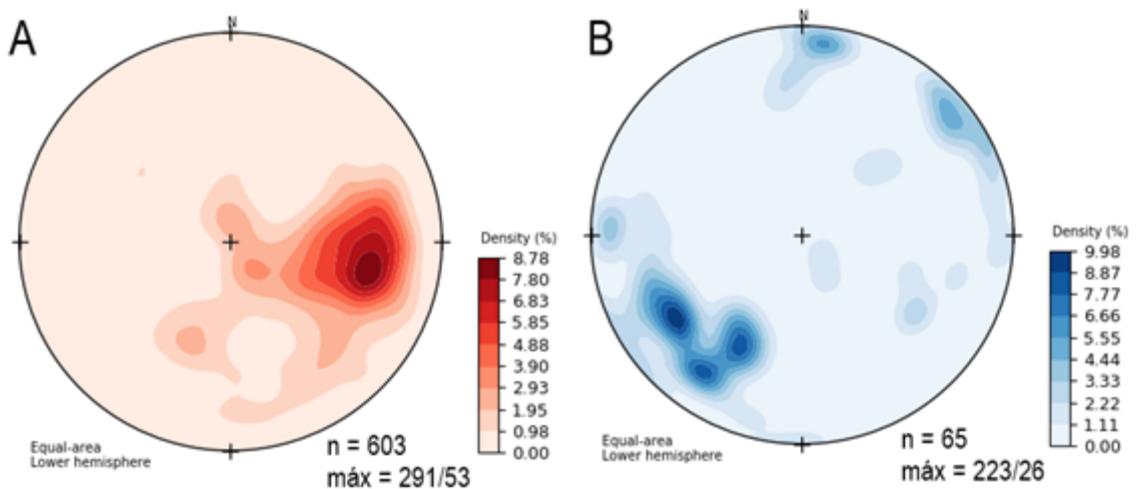


Figura 6.4: Estereogramas referentes ao segmento sul do Domínio Estrutural II - Mara Rosa A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando > 60° para W; D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 30 a 60° para NE.

6.1.3 Domínio III - Bom Jesus

O Domínio III intitulado como Bom Jesus contempla aproximadamente 25% da área mapeada sendo caracterizado por um corredor de cisalhamento que se estende de NE a SW e separa os setores leste e oeste do Domínio Mara Rosa. Este domínio é caracterizado por rochas pertencentes a Unidade Hidrotermal, aos Ortognaisses Mara Rosa e às Metavulcanossedimentares Mara Rosa, cuja orientação geral é NE-SW, porém nos setores centro-leste e sudoeste da área sofre uma inflexão para E-W, sendo que esta possui correlação com a morfologia da crista da Serra de Bom Jesus.

O padrão de direções das foliações define a orientação do domínio, havendo duas direções preferenciais: (i) foliações com direções NE-SW e (ii) foliações com direções E-W. As foliações de direção NE-SW (Fig. 6.5 A) apresentam mergulhos moderados (30-60°) para NW, sendo representadas por foliações de anfíbolitos, calcissilicáticas e leucogranitóides (35%), xistosidades (35%) e bandamentos gnáissicos (30%). As lineações associadas a direção NE-SW apresentam-se com caimento moderado (30-60°) para NE, sendo oblíquas às foliações (Fig. 6.5 B).

Já as estruturas de direção E-W (Fig. 6.5 A) apresentam mergulhos moderados (30-60°) para NNW e são representados pelas foliações de anfíbolitos, calcissilicáticas e leucogranitóides (70%), bandamentos gnáissicos (20%) e xistosidades (10%). As lineações associadas a direção E-W apresentam-se com caimento moderado a alto (> 60°) para NNE, sendo que as lineações se dão na direção do mergulho das foliações (Fig. 6.5 B).

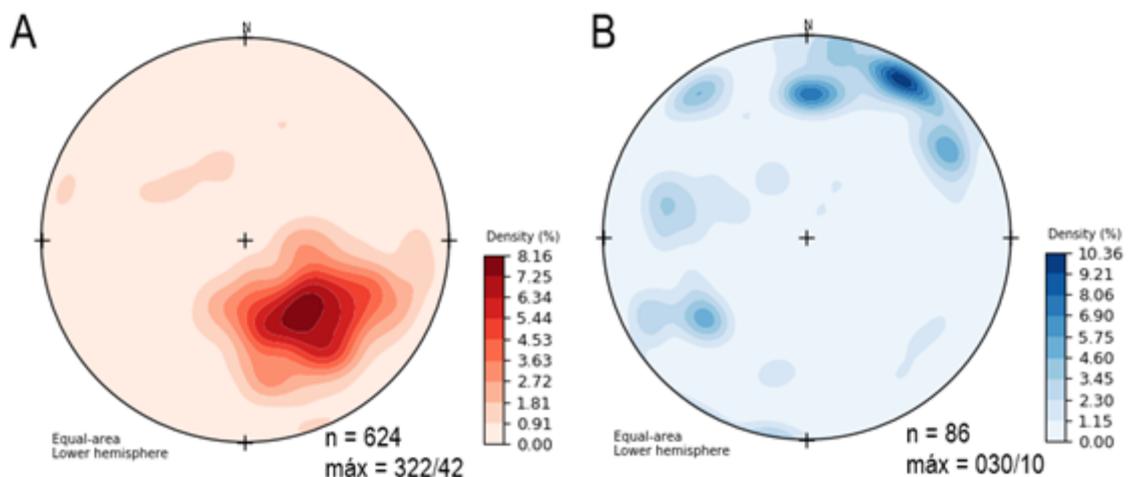


Figura 6.5: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural III - Bom Jesus. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 10 a 20° para NE.

6.1.4 Domínio IV - Campinorte

O Domínio Campinorte foi delimitado na porção sudeste do Projeto Mara Rosa, corresponde a aproximadamente 10% da área. Este domínio apresenta geometria de faixa levemente arqueada, com orientação predominantemente N-S e inflexão para NE-SW em sua porção norte. Suas estruturas principais são definidas pelas feições observadas nas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, Suíte Pau de Mel e Grupo Serra da Mesa.

Esse domínio apresenta três orientações preferenciais, a saber, uma foliação (i) N-S, observada principalmente na porção sul e na porção oeste do domínio, uma foliação (ii) NE-SW, presente em todo domínio e uma foliação (iii) E-W evidente na porção mais central do domínio. A relação entre ambas se dá com predominância da orientação NE-SW, enquanto as demais direções são de ocorrência subordinada, associadas à inflexão regional observada na zona de falha Rio dos Bois e aos corredores de cisalhamento N-S (Figura 6.6).

O trend N-S pode ser correlacionado à Falha Rio dos Bois, a qual, por sua vez, separa este domínio do Domínio Amarolândia, sendo ainda reconhecida nos dados aerogeofísicos como uma descontinuidade. As principais estruturas desse trend são a foliação milonítica e a xistosidade. Além disso, há também, lineações de estiramento mineral, com caimento baixo a alto, variando de 15° a 80°, associadas a esse trend, sendo que estas lineações apresentam direção preferencial N-S. Já o trend NE-SW ocorre ao longo de todo o domínio, sendo ele o mais representativo para o Campinorte, de maneira que ele está associado, principalmente, à foliação milonítica dos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel, bem como a xistosidade do Grupo Serra da Mesa e da Sequência Campinorte. Assim como o trend N-S, o NE-SW também compreende uma série de lineações de estiramento mineral, de direção N-S, de baixo a alto ângulo (15° - 80°).

Por fim, o trend W-E, mais evidente na porção central do domínio, ocorre associado às bordas dos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel, sendo associado a foliações de borda de corpos intrusivos. Há, ainda, associada a essa direção, lineações de estiramento de ângulo moderado, variando de 25° a 35°, com direção variável entre E-W e NW-SE. O estereograma de foliação (Figura 6.6 A) referente a esse, domínio mostra as três principais direções de foliação, evidenciando, também, o mergulho moderado dessas estruturas, variando, preferencialmente, entre 45° - 60°. Assim como o de foliação, o estereograma de lineações (Figura 6.6 B) evidencia a direção preferencial das lineações, à saber, N-S, bem como a variação de mergulho dessas estruturas.

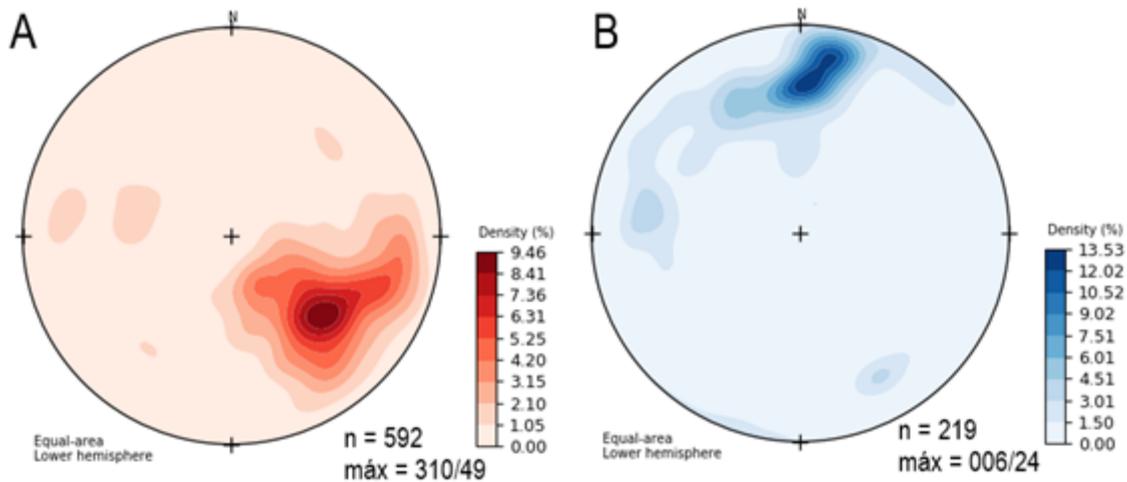


Figura 6.6: *Estereogramas referente ao Domínio Estrutural IV - Campinorte. A: Estereograma com densidade de polos de foliações mergulhando 30° a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 5° a 20° para NE e SW.*

6.2 Geologia Estrutural Local

Esta seção tem como objetivo a apresentação e descrição dos domínios estruturais presentes na subárea IV. Estes domínios foram delimitados tendo como base a análise dos dados estruturais coletados em campo (Figura 6.7), bem como a correlação deles com estruturas identificadas nos produtos derivados dos levantamentos aerogeofísicos e de sensoriamento remoto.

Os domínios presentes na subárea IV são: Domínio (I) e Domínio (II), em que, entre esses, há uma certa heterogeneidade nos padrões de foliação, magnetométricos e de relevo.

Após a análise e interpretação dos dados, foi gerado um mapa de domínios estruturais para a subárea (Figura 6.7). A descrição de cada domínio e subdomínio será apresentada a seguir seguindo padrão de ocorrência regional, frequência relativa e abundância.

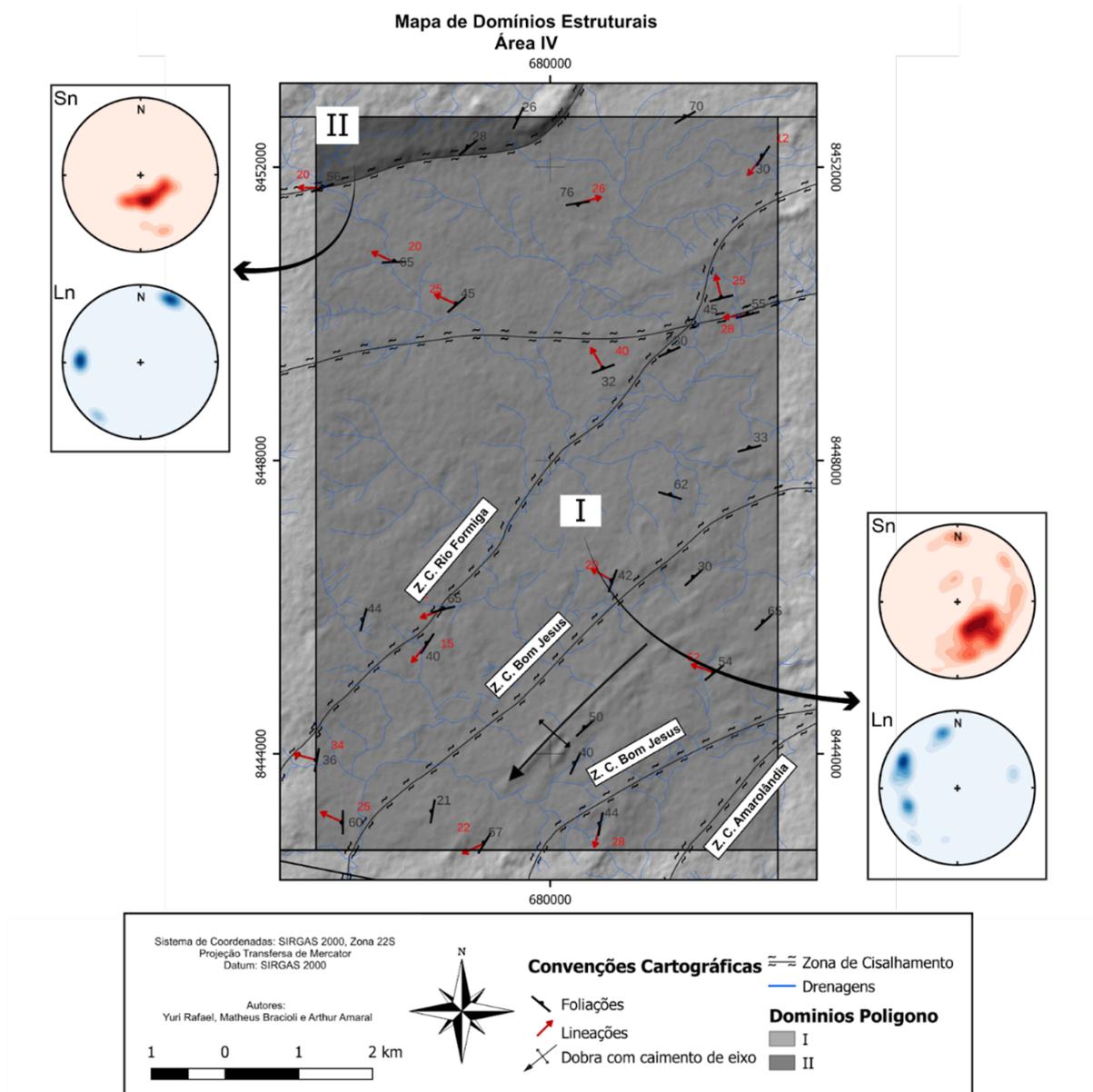


Figura 6.7: Mapa de domínio estruturais da subárea IV com estereogramas representando a foliação (Sn) e lineação (Ln), de cada domínio.

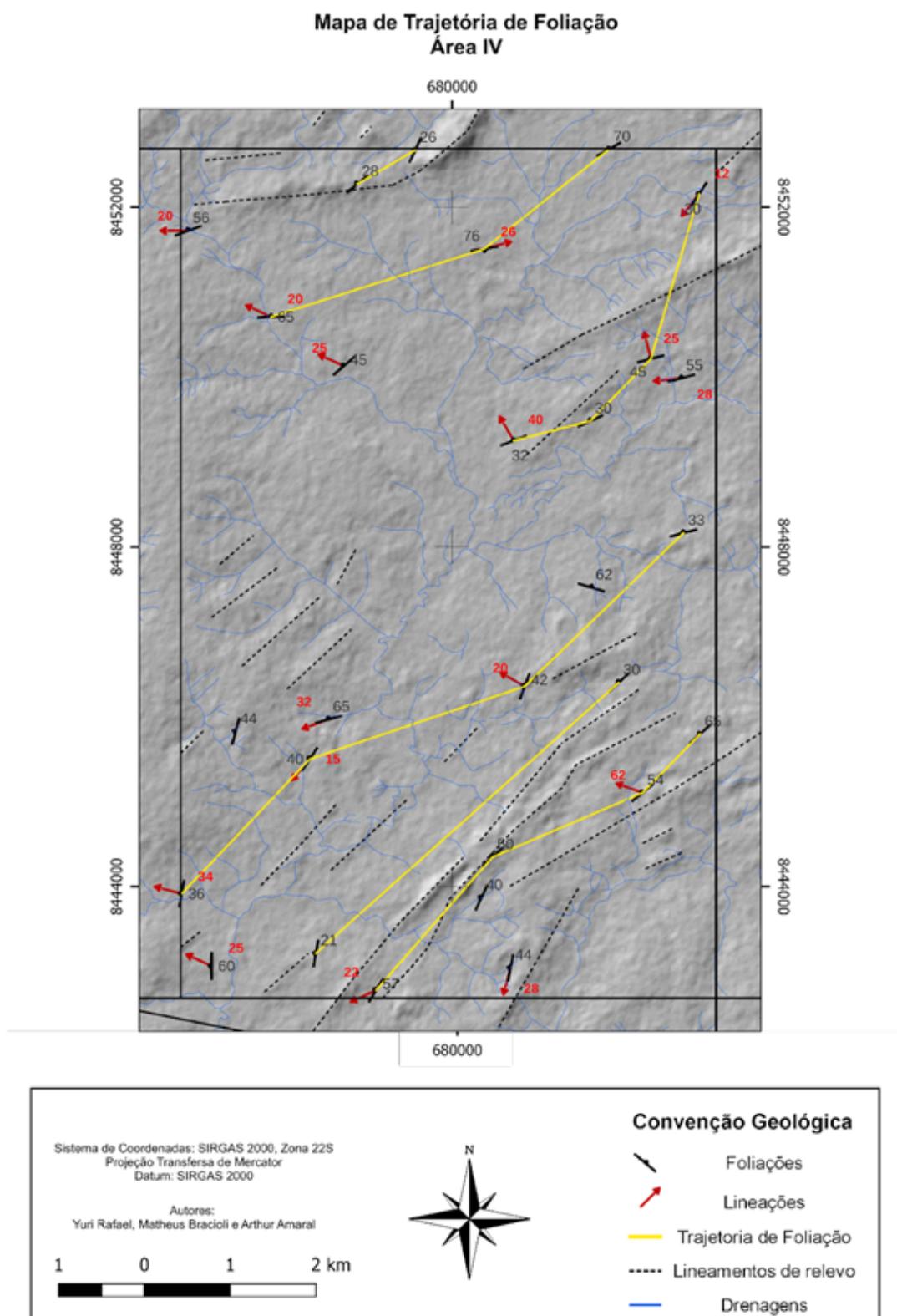


Figura 6.8: Mapa de Trajetória de Foliações, sobre o STRM, com trajetória de foliação em amarelo, lineamentos de relevo em preto pontilhado, drenagens em azul, foliações em preto e lineações em vermelho.

6.2.1 Domínio I

Este domínio, assim como a descrição de sua ocorrência regional no projeto, também abrange a maior parte da subárea IV, englobando aproximadamente 90% da subárea. Assim como descrito anteriormente este domínio apresenta um padrão nas foliações com direção preferencialmente NE-SW (figura 6.8) de mergulhos moderados a altos (30° a 60°) para NW, com as lineações relativamente oblíquas aos planos de foliações com caimentos baixos (10° a 20°) para NW (figura 6.7).

Em relação ao limite, este domínio, na subárea IV, faz limite à NNW com uma Zona de Cisalhamento indiscriminada e as foliações deste domínio apresentam mergulho aumentando à medida que se aproximam deste limite e também apresentam um padrão de inflexão na foliação para de NE-SW para E-W em direção ao limite leste.

A Zona de Cisalhamento Amarolândia é a de menor ocorrência, foi demarcada com base na observação das anomalias magnetométricas e dados provenientes das Subáreas VIII e V e apresenta-se com mergulhos moderados de (30° a 50°).

A Zona de Cisalhamento Bom Jesus (Z.C. BJ) ocorre em grande extensão na região sudeste da Subárea IV, possui direção preferencial NE-SW e marca serras alinhadas de rochas da Associação Hidrotermal Cálcica e Aluminosa, possui deformação dúctil dominante marcada por xistosidades e dobras em diferentes escalas, apresenta um padrão de aumento do ângulo de mergulho em direção aos seus limites e inflete para E-W em direção ao limite com a Subárea V é subdividida em duas a fim de simplificação para demarcação da serra e descrição dos processos envolvidos.

A Zona de Cisalhamento Rio Formiguinha ocorre como a mais extensa da subárea IV mais especificamente na região central, foi demarcada com base em associação dos dados de campo e análise das anomalias magnetométricas, de orientação essencialmente NE-SW, é intersectada por uma zona de cisalhamento indiscriminada E-W, possui lineações com caimentos baixos (15° a 30°) mergulho essencialmente para NW, mesmo sentido do mergulho das foliações.

As estruturas presentes neste domínio estão contidas predominantemente nos Ortognais-ses Mara Rosa, ocasionalmente em lentes de metassedimentares químicas e anfíbolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, e são caracterizadas por bandamentos gnáissicos e foliações protomiloníticas a miloníticas. Além de foliações tipo xistosidade nos xistos da Associação Hidrotermal Aluminosa.

Arcabouço Dúctil - Domínio (I)

O arcabouço dúctil do domínio I é caracterizado por dobras centimétricas a métricas, iso-

cliniais e recumbentes, predominantemente não cilíndricas, de assimetria moderada com caimento moderado a alto (30 a 65°) para SW (figura 6.9). Dentre essas dobras, algumas estão impressas em foliações tipo bandamento gnáissico com bandas milimétricas a centimétricas, planares, contínuas com mudança abrupta de composição félsica e máfica (figura 6.11).

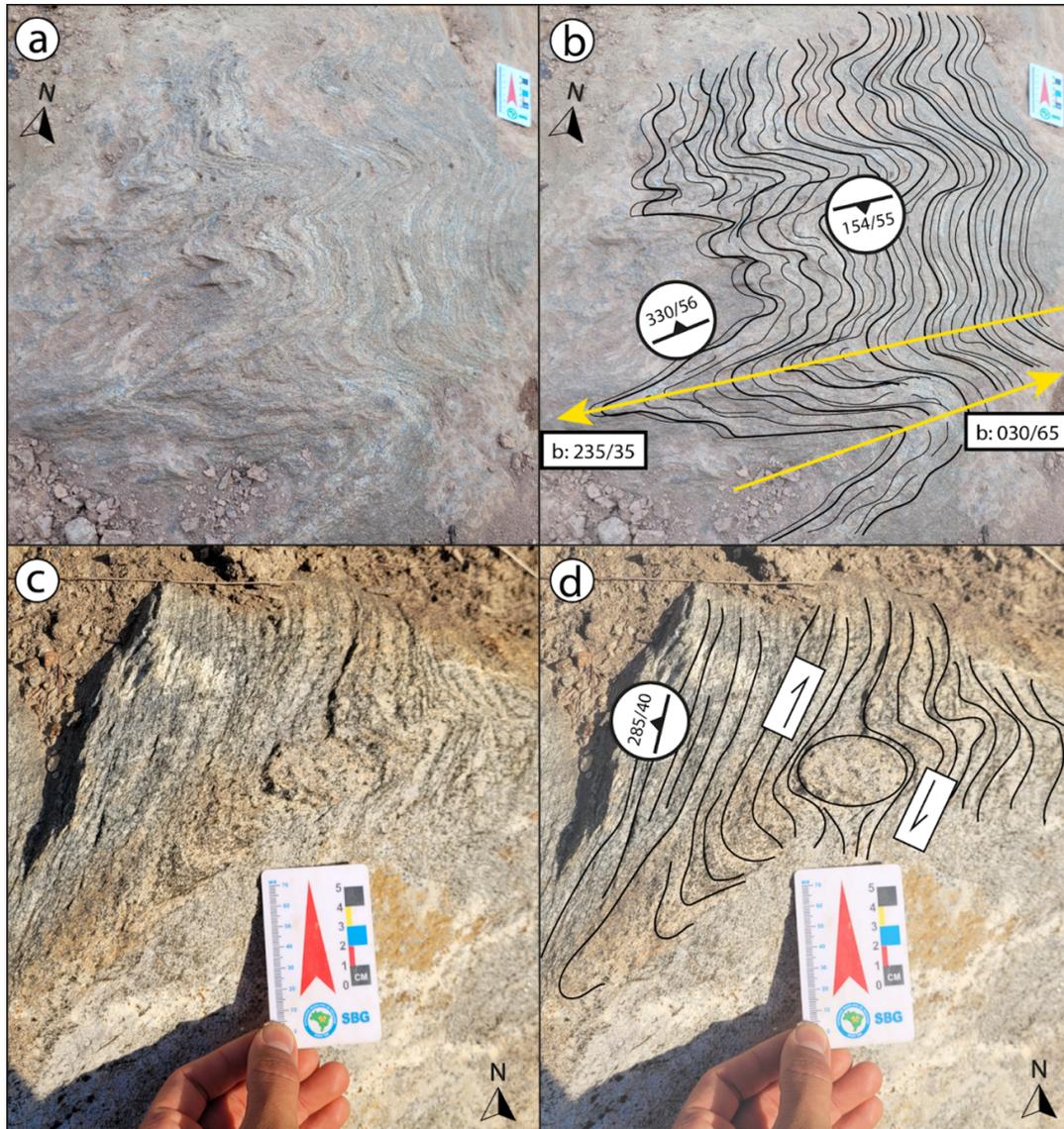


Figura 6.9: Fotos do afloramento referente ao ponto TF-IV-168. (b) Apresenta a representação esquemática em preto das linhas que separam bandas máficas de félsicas e conseqüentemente a indicação do padrão de dobramento, com dobras sinformes e antiformes, fechadas, não cilíndricas, não simétricas, com caimento de eixo para SW e vergência para leste. (d) Representação esquemática indicando um movimento destal de um sigmóide do tipo delta de composição félsica no biotita ortognaisse.

Ainda neste domínio, existe também a ocorrência de dobras tipo chevron (figura 6.9).

Também é comum observar padrões de dobras parasíticas evidenciados pela geometria dos flancos em Z, M e S. Existem também, foliações tipo crenulação, especificamente nos xistos e cianititos. Os lineamentos de estiramento mineral vistos tem direção, SW com caimento de 20°.

Neste mesmo, impressas na xistosidade das rochas da unidade Associação Hidrotermal Aluminosa, ocorrem dobras centimétricas a métricas, abertas, não cilíndricas que apresentam padrão geométrico tipo “S”, “Z” e “M”, característico de dobras parasíticas, porém, ocasionalmente essas geometrias são interrompidas de maneira abrupta, como por exemplo, cortada por uma zona de cisalhamento NE de alto ângulo (figura 6.10).

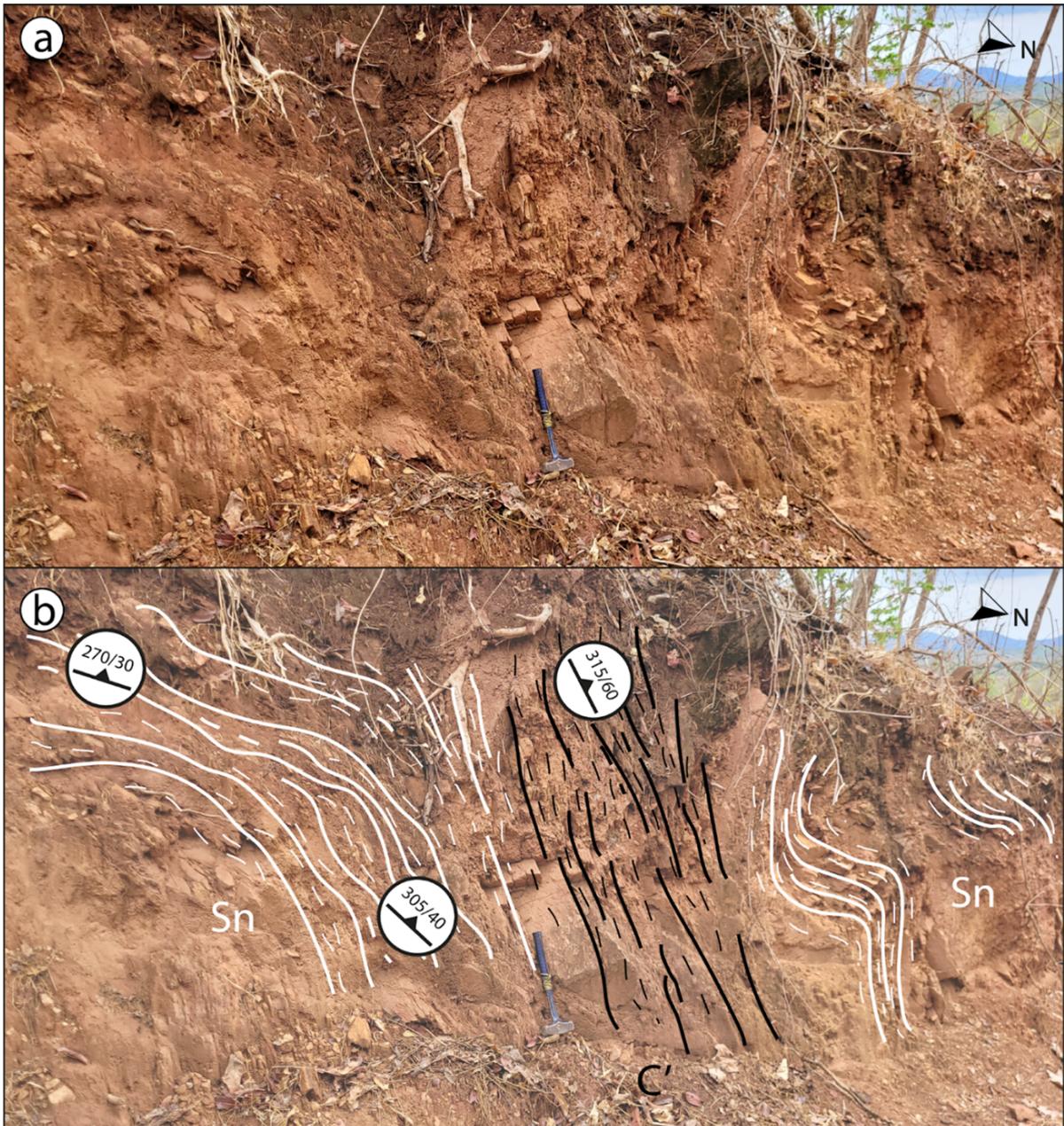


Figura 6.10: Afloramento do ponto TF-IV-111 com estruturas dúcteis representativas do subdomínio II.I. Exibe dois padrões de dobra diferentes, de mesma vergência NW nessa localização. Ocorre ainda no ponto zona de cisalhamento (representado por C'), estrutura que posicionou as duas dobras no mesmo patamar.

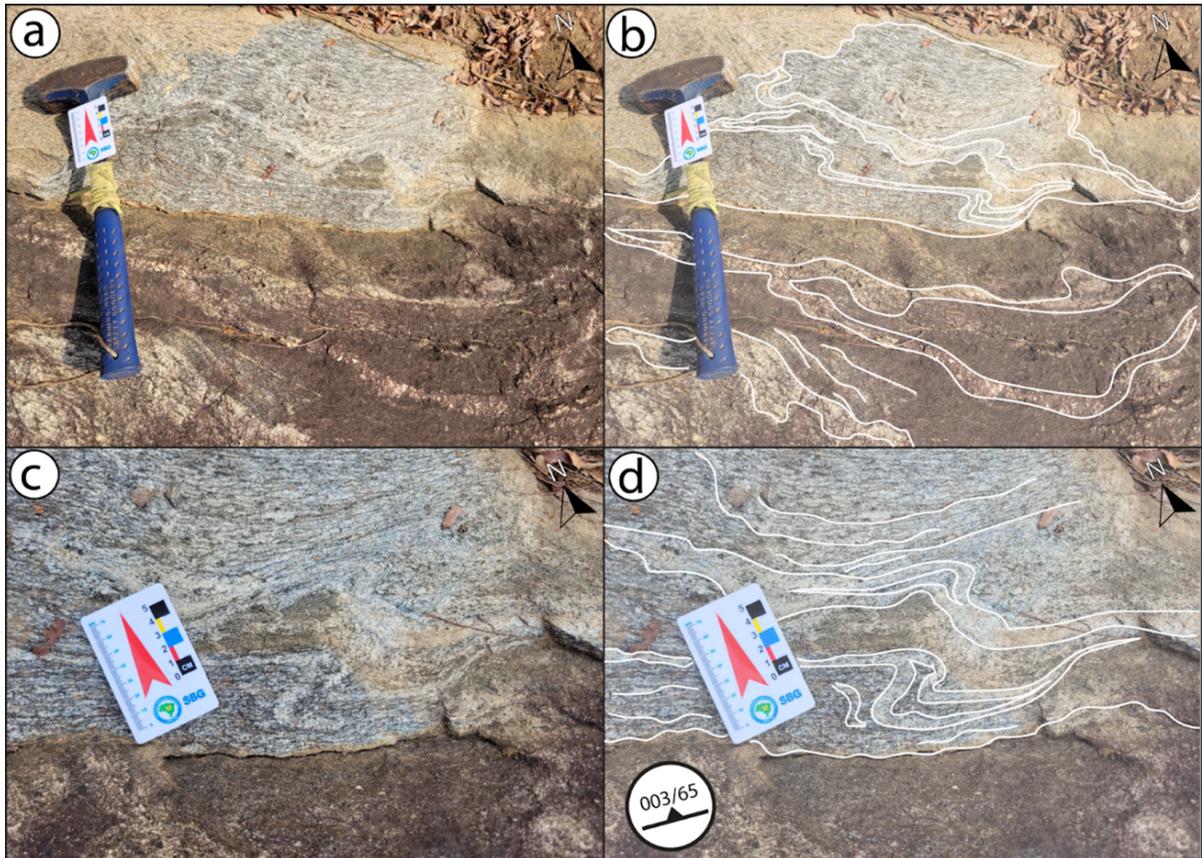


Figura 6.11: Afloramento referente ao Domínio I, denotando trama dúctil bem marcada. Ponto TF22-IV-55 com deformações dúcteis, apresentando bandamentos milimétricos a centimétricos, com variações planares, abruptas e contínuas entre bandas máficas e félsicas. (c) Foliação com direção de mergulho 003/65, formando ainda dobras centimétricas, isoclinais e recumbentes com vergência para leste, como destacado em (d).

É possível destacar também que, ocasionalmente os bandamentos gnáissicos apresentam boudins (figura 6.12-b) centimétricos, irregulares, subarredondados, com fraca assimetria e contínuos nas bandas centimétricas de coloração branca acinzentada e composição máfica. Também existem estruturas tipo bookshelf (figura 6.12-d) caracterizadas por um imbricamento centimétrico lateral oblíquo das porções félsicas, com cinemática sinistral no plano paralelo à foliação.

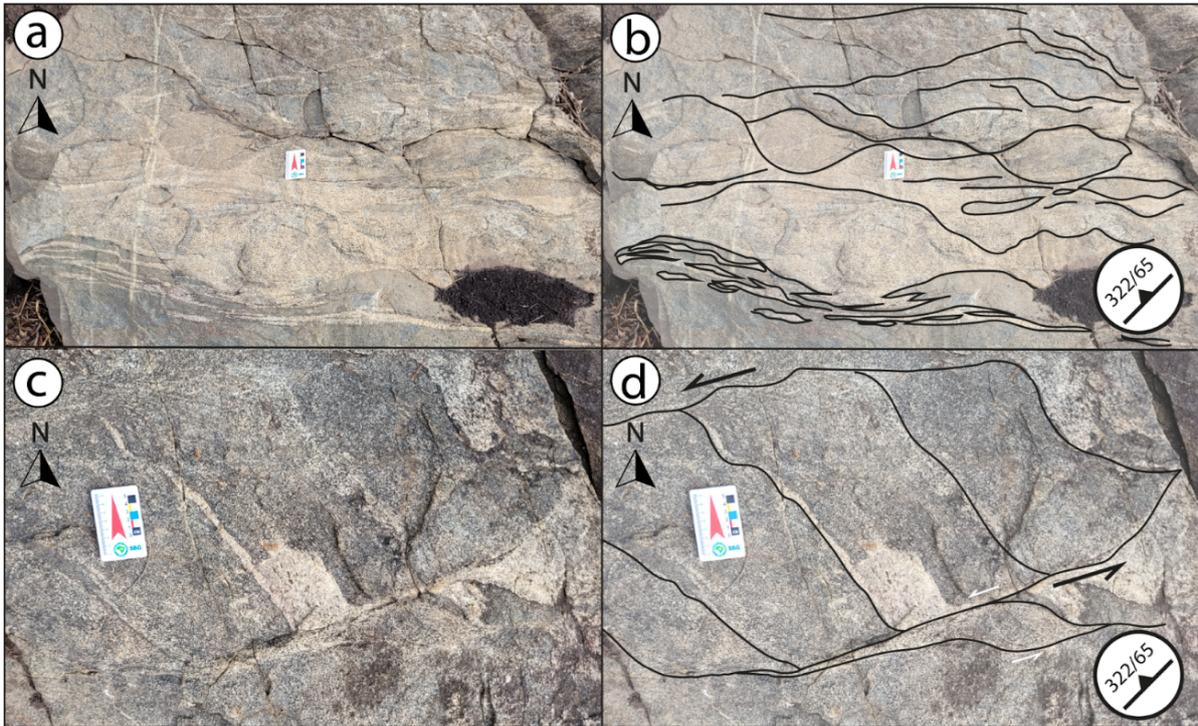


Figura 6.12: Afloramento do ponto TF-IV-100, inserido no domínio 2. (a) Foto do afloramento de biotita hornblenda ortognaisse tonalítico com estruturas dúcteis (b) Representação esquemática de como estão os contatos entre bandas máficas e félsicas, conseqüentemente indicando a presença de estruturas dúcteis, observadas em ortognaisse. É possível observar boudins registradas em bandas félsicas, com Pinch e Swell de comprimento máximo de onda de 40 cm e espessura máxima de 25 cm. (c) Foto do mesmo afloramento em outra região (d) Representação esquemática de estrutura do tipo bookshelf, caracterizada por deslocamento contínuo de blocos homogêneos angulosos dentro de um mesmo conjunto de rocha, neste caso, com movimento relativo sinistral.

Ainda sobre as estruturas dúcteis nos bandamentos gnáissicos, ressalta-se a presença de dobras isoclinais recumbentes intrafoliais, que ocasionalmente apresentam um dos flancos rompido (figura 6.13-d), indicando transposição da foliação.

Os indicadores cinemáticos deste domínio são marcados por porfiroclastos de quartzo ou feldspatos rotacionados com caudas de recristalização descritos como sigmóides em sua mai-

oria centimétricos com cinemática sinistral (figura 6.13-f) e também por porções félsicas sigmoidais centimétricas.

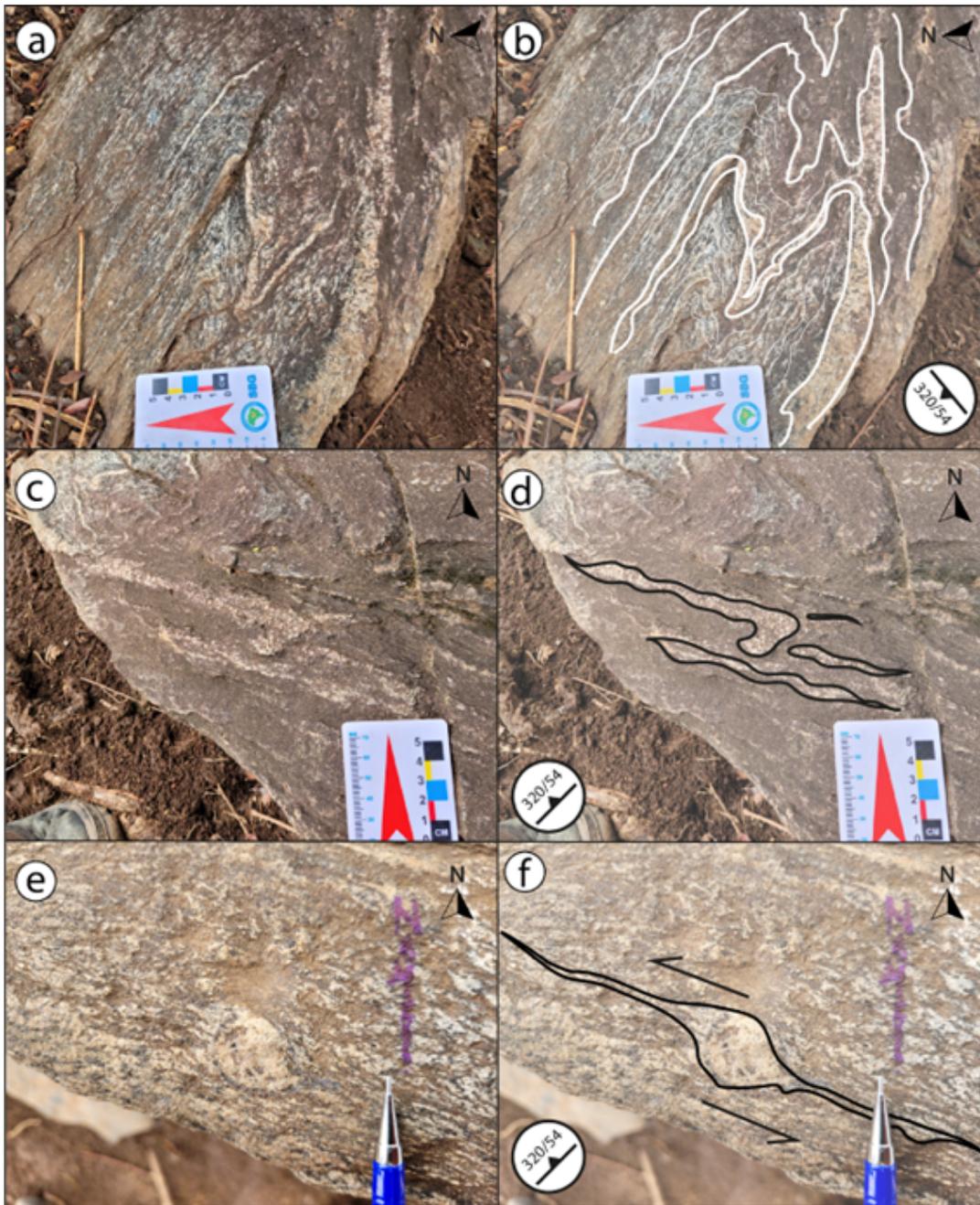


Figura 6.13: Afloramento do ponto TF-IV-104, mostrando estruturas dúcteis representativas do domínio 2. (b) Apresenta dobra recumbente com dobras menores e parasíticas com feições típicas em Z, M e S. No mesmo afloramento é observado estruturas do tipo bengalas (d), indicando um estágio avançado na deformação, implicando na transposição de dobras. (f) Exibe um típico indicador cinemático com movimento sinistral, observado na visada perpendicular à foliação.

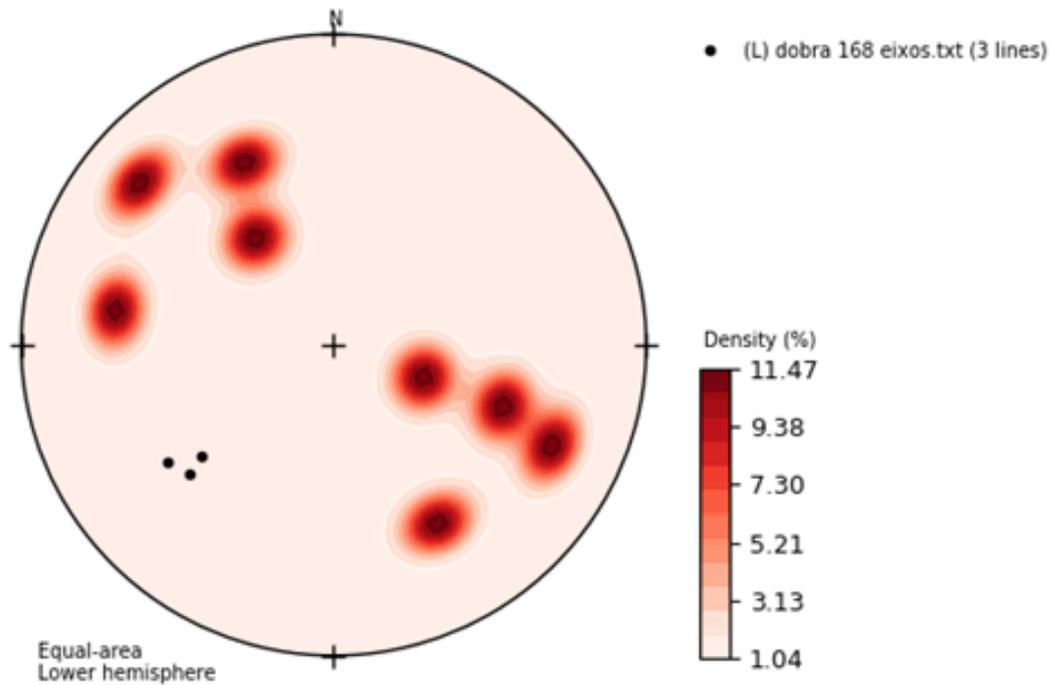


Figura 6.14: *Estereograma de polos e eixos de dobras referente ao ponto 168, indicando o padrão geral para o domínio, com dobras abertas e fechadas e principalmente caimento do eixo para SW e vergência para leste.*

Também existem estruturas tipo dobras de arraste (figura 6.15) nos planos de foliação protomilonítica da unidade Ortognaisses Mara Rosa, onde a foliação E-W de maneira contínua, inflete para NE, com a direção principal 120/20.

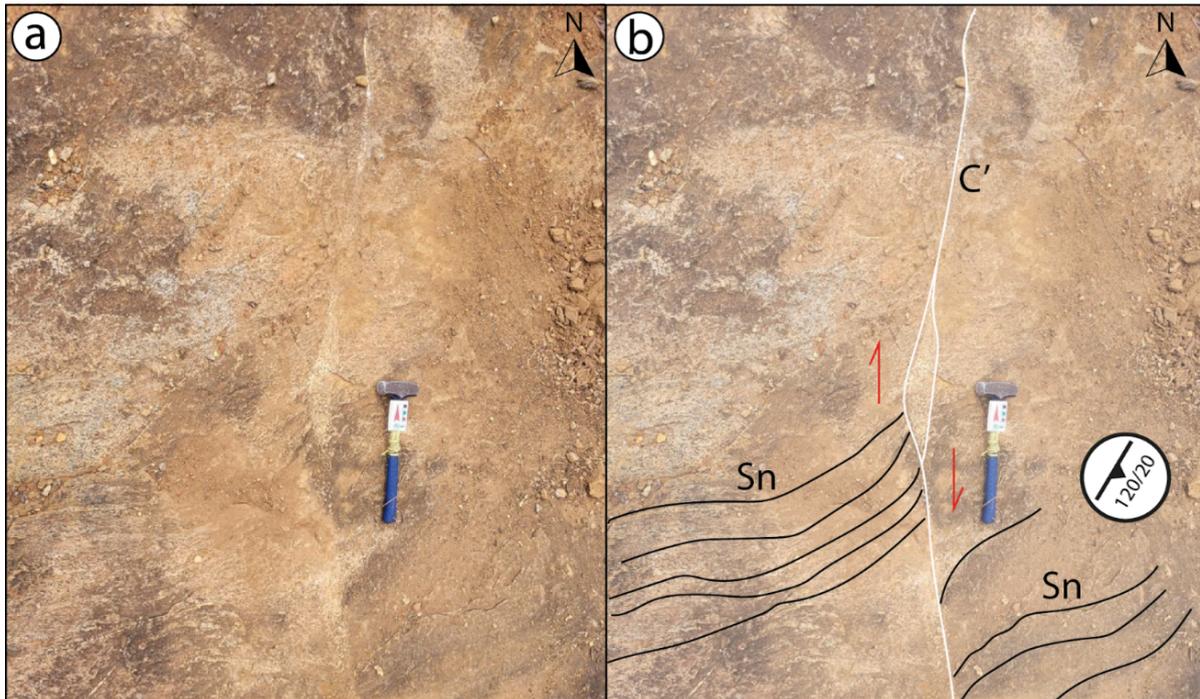


Figura 6.15: Afloramento do domínio I, mais especificamente o ponto TF-IV-26, o qual evidencia uma estrutura dúctil-rúptil onde o cisalhamento, com movimento destal e direção norte-sul, gera dobra de arraste na foliação de direção E-W, assim como abertura de espaço em forma de sigmóide, preenchida por quartzo.

Além disso, as microestruturas observadas em lâmina deste domínio indicaram a presença de foliações penetrativas, xistosidade, especificamente nos xistos da Associação Hidrotermal Aluminosa, marcada por domínio lepidoblásticos de cristais de muscovita e diablásticos de cristais de cianita, epidoto e quartzo, em que todos estes apresentam um moderado grau de assimetria, estes subédricos, de granulação média com cristais de muscovita dobrados com extinção ondulante indicando estrutura tipo kink bands (figura 6.16-b).

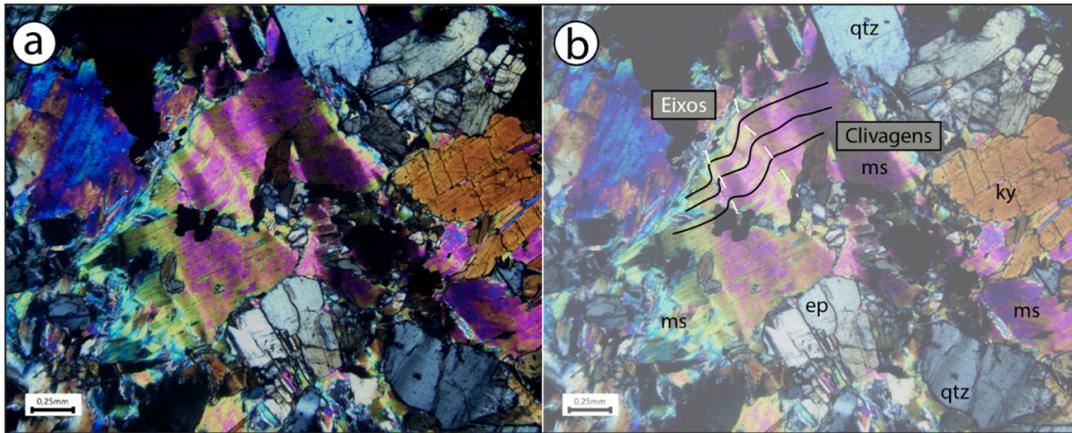


Figura 6.16: Fotomicrografias da amostra do ponto TF-IV-98 (cianita xisto). (a) Em nicóis paralelos e (b) também em nicóis paralelos, porém com representação esquemática dos eixos (em amarelo) e das clivagens (em preto), indicando padrão de dobramento do cristal de muscovita (ms) tipo kink bands

Arcabouço Rúptil - Domínio (I)

Em relação ao arcabouço rúptil do domínio I, destaca-se a presença pequenos morrotes orientados N-S ou E-W que seguram o relevo em um padrão bem homogêneo e contínuo, apresentava uma rocha monominerálica formada por cristais de quartzo centimétricos a raramente milimétricos, equidimensionais, granulares e fortemente fraturados porém, com arranjo coeso e um leve grau de imbricamento lateral, descrita como quartzo cataclasito.

Também é descrita a ocorrência de fraturas, mais frequentes nas rochas da Unidade dos Ortognaisses Mara Rosa e nos cataclasitos descritos anteriormente, essas mesmas também ocorrem preenchidas por quartzo ou epidoto na forma de veios.

Em relação às associações de orientação e intersecção das fraturas em relação ao plano de foliação, foi possível determinar a existem de 3 famílias principais (figura 6.17) F1 mais frequente e levemente paralela a foliação NE-SW, F2 menos frequente e com forte grau de obliquidade em relação à foliação principal e F3, mais rara e perpendicular à foliação principal.

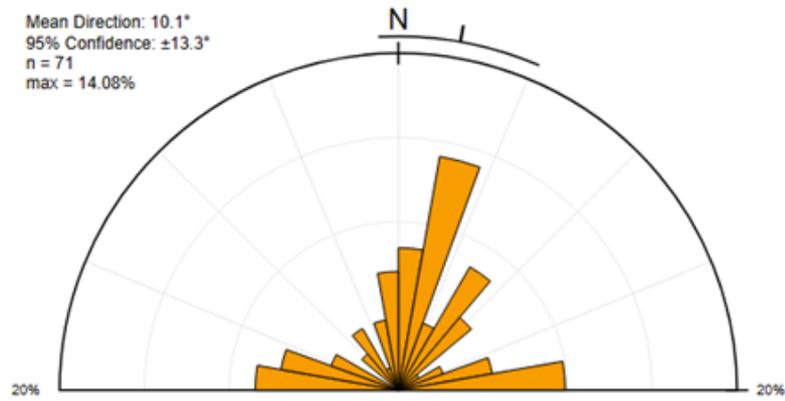


Figura 6.17: Diagrama de roseta indicando a presença de pelo menos 3 famílias do domínio I, F1 (N10-20E), F2 (E-W), F3 (N-S), com direção média N10E, com população de 71 medidas.

Destaca-se também a presença de fraturas de cisalhamento centimétricas a métricas de direção N-S que cruzam dobras de arraste na foliação e apresentam geometria tipo flor positiva, ocasionalmente preenchida por quartzo formando sigmóides de cinemática dextral (figura 6.18).

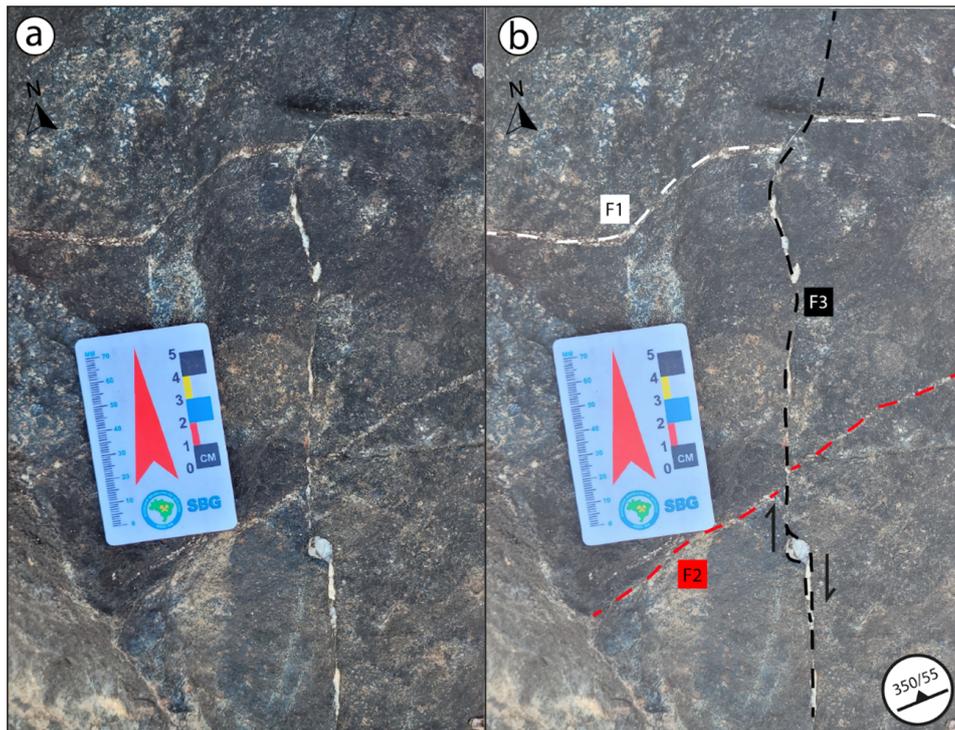


Figura 6.18: Afloramento observado no ponto TF22-IV-167 do domínio I, exibindo uma estrutura do tipo rúptil-dúctil. (b) Apresenta 3 famílias de fraturas, delimitadas de maneira esquemática, que de forma cronológica surgem na seguinte ordem: E-W, NE e N-S. A última fratura N-S apresenta indicador cinemático destal, assim como visto no ponto TF-IV-26, com orientação N-S.

Ainda neste domínio, também existem fraturas tipo par conjugado (figura 6.19), indicando pelo menos a presença de duas famílias associadas e fraturas em pluma (figura 6.20-b) onde apenas uma pode ser observada com direção de strike NW, mesma direção de propagação da fratura em pluma.

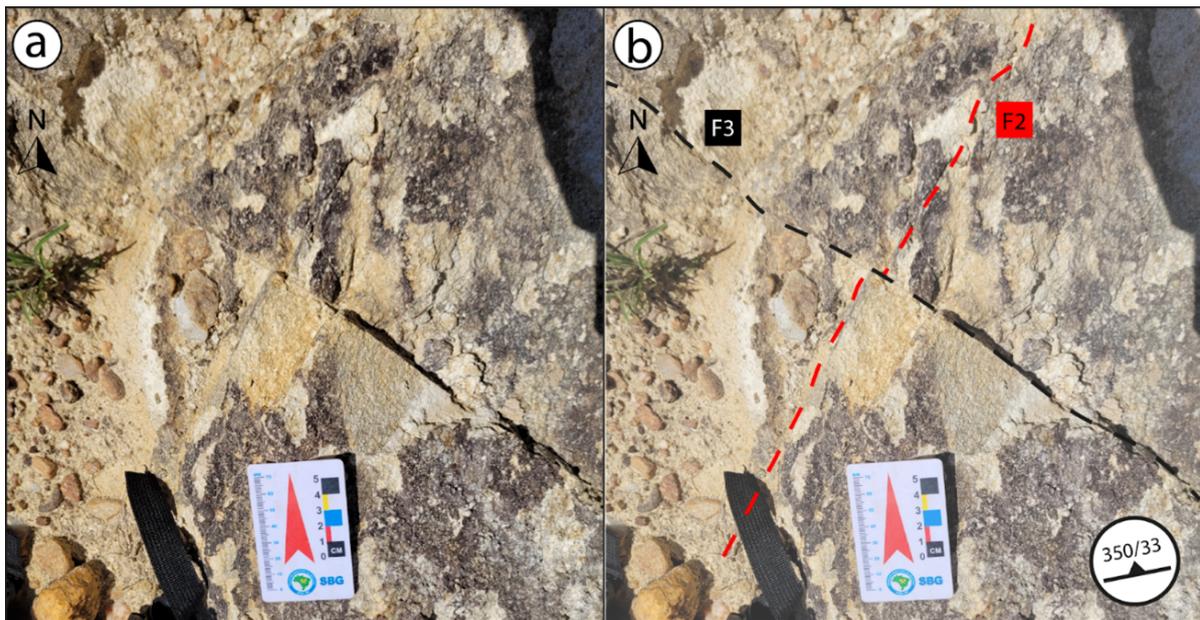


Figura 6.19: Afloramento do ponto TF22-IV-163, referentes ao Domínio I. É possível observar estruturas rúpteis do tipo par conjugado de fraturas, evidenciando vetor de maior força na direção N-S (σ_1), com rejeito de 1mm, sendo F2 (N35E) anterior e deslocada pela F3 (N45W).

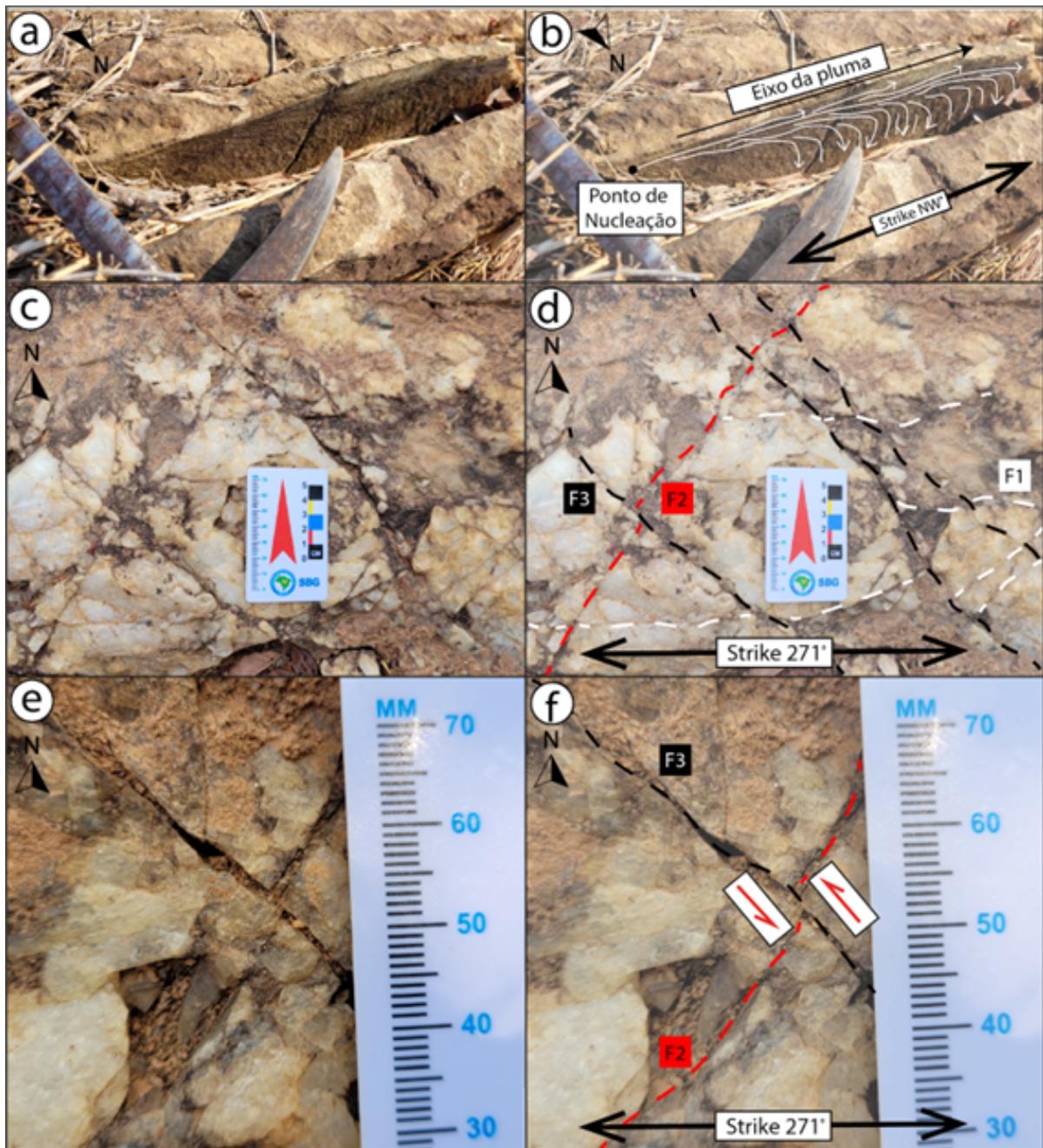


Figura 6.20: Fotos referentes ao ponto TF-IV-29, presente no domínio I e evidenciando estruturas rúpteis. (b) Exibe uma fratura em pluma registrada em leucotonalito, mostrando direção de propagação do maior esforço (σ_1) de direção NW. (d) Mostra pares conjugados de fraturas com direção de maior esforço N-S, evidenciado pelas direções de fratura N45E e N45W. Já (f), denota um rejeito de 1 mm entre fraturas, sendo a de direção N45E a primeira a ser formada e a de direção N45W formada posteriormente.

6.2.2 Domínio (II)

Este ocorre no extremo NNW da subárea e compreende aproximadamente 10% da subárea (figura 6.7), possui um padrão de foliações com direção estritamente E-W (figura 6.8) com mergulhos moderados a altos (30° a 60°), está associado às rochas metabásicas e metaultrabásicas da subárea e está em contato tectônico abrupto com o domínio I por uma zona de cisalhamento inferida.

As foliações deste domínio são tipo xistosidade nos talco xistos e protomiloníticas nos anfibolitos. Enquanto as lineações mais frequentes são paralelas aos planos de foliações E-W, porém também existem oblíquas à estes, ambas com caimentos baixos (5° a 10°).

Arcabouço Dúctil - Domínio (II) Este domínio é caracterizado por uma mudança abrupta no padrão de foliações e geometria em campo. A foliação nessa porção possui orientação E-W com mergulho moderado. Neste domínio, em lâminas foi possível identificar a presença de foliação fortemente penetrativa tipo xistosidade marcada por cristais orientados de talco e muscovita (figura 6.21) com presença mica fish marcada predominantemente por cristais milimétricos de muscovita (0,25 a 0,80mm) também orientados segundo plano de foliação que ocasionalmente apresentam assimetria horária.

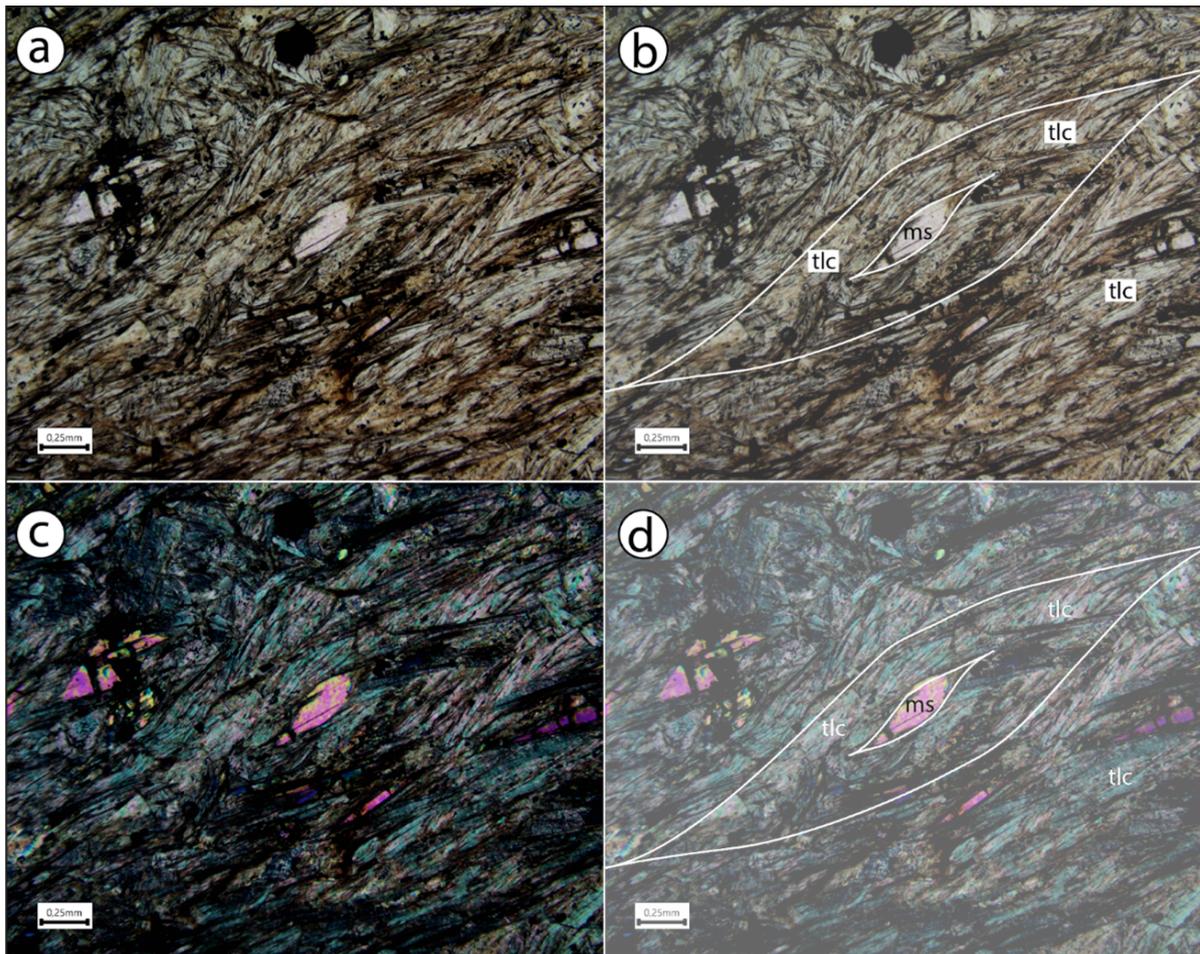


Figura 6.21: Fotomicrografias da amostra do ponto TF-IV-10 classificada como talco xisto. (a) Está representada em nicóis paralelos e (b) em nicóis paralelos, porém, com representação esquemática dos eixos (em amarelo) e das clivagens (em preto), indicando deformação assimétrica do cristal de muscovita (msc) descrita como uma microestrutura tipo mica fish. (c) e (d) apresentam a mesma representação esquemática da microestrutura, porém em nicóis cruzados com deformação assimétrica horária.

Arcabouço Rúptil - Domínio (II)

O arcabouço rúptil do domínio II é observado apenas por meio de fraturas, sendo destas, possível observar pelo menos duas famílias principais, uma mais frequente E-W e outra menos frequente NE-SW (figura 6.22), sendo estas associadas aos anfíbolitos.

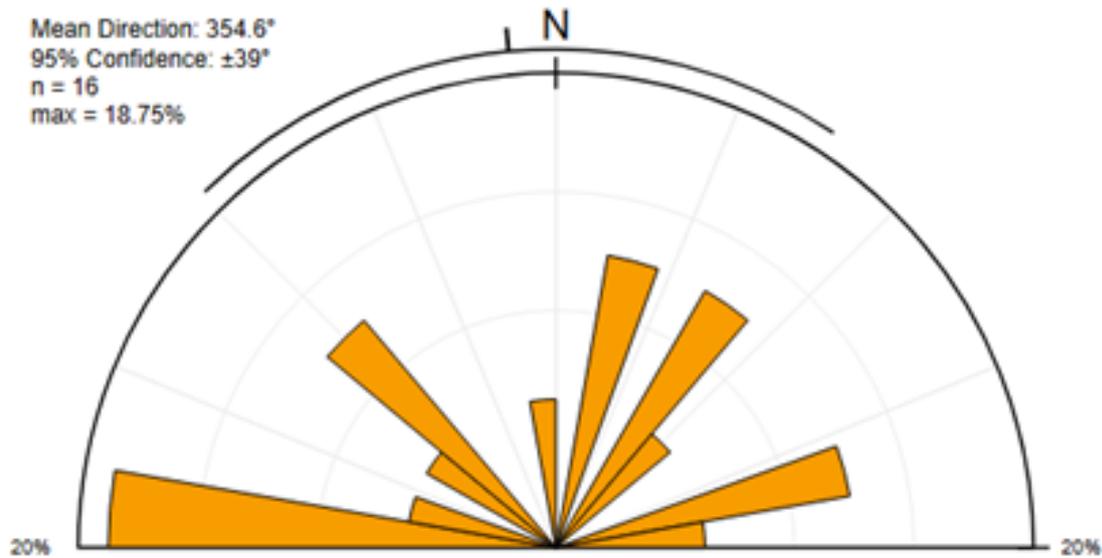


Figura 6.22: Diagrama de rosetas indicando a presença de pelo menos duas famílias de fratura no Domínio II, F1 (E-W) e F2 (NE/NW), com população de 16 medidas.

6.3 Considerações Estruturais

Com base nas descrições das estruturas de cada domínio, é possível apontar similaridades e diferenças entre eles, sendo a principal similaridade a presença de foliações penetrativas e o aumento do mergulho das camadas em direção à proximidade às zonas de cisalhamentos, enquanto que as diferenças são concentradas na direção das foliações, em que o Domínio I é predominantemente NE-SW e o Domínio II E-W. Sobre as estruturas dúcteis, a presença de dobras intrafoliais no Domínio I pode indicar estágios de deformação avançados, que causaram o rompimento de um dos flancos, também destaca-se que a maior parte das dobras possuem vergência para leste, também indicando direção do transporte tectônico.

As lineações são predominantemente oblíquas em ambos domínios, porém próximas a zonas de cisalhamento se aproximam do DIP e quando na mesma direção do STRIKE indicam componente transcorrente, com base nisso em ambos domínios as relações de foliação, lineação e cinemática indicam um sistema transpressivo, mais passível de discriminação no Domínio I, descrito como transpressivo com movimento reverso e cinemática dextral com topo para SE, similar a flor positiva (figura 6.23).

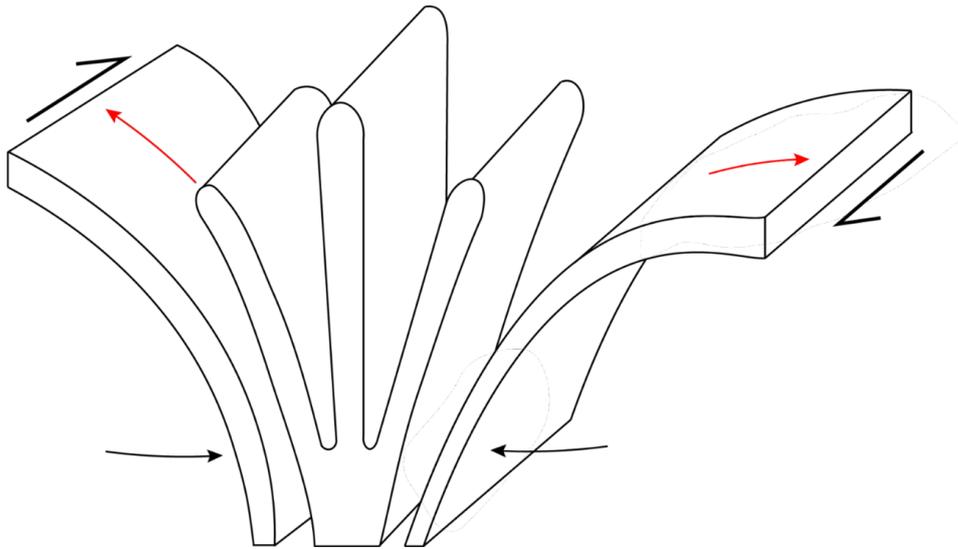


Figura 6.23: Representação esquemática de um padrão geométrico tipo “flor positiva”, geometria característica de uma sistema deformacional transpressivo.

Sobre as estruturas rúpteis é possível determinar que no Domínio II não foram observadas relações de campo que comprovasse a sua presença, e no Domínio I se mostraram de maneira a sempre intersectar as demais estruturas, como por exemplo em um quartzo cataclasito que possui uma zona interna milimétrica de quartzo milonito (figura 6.24).

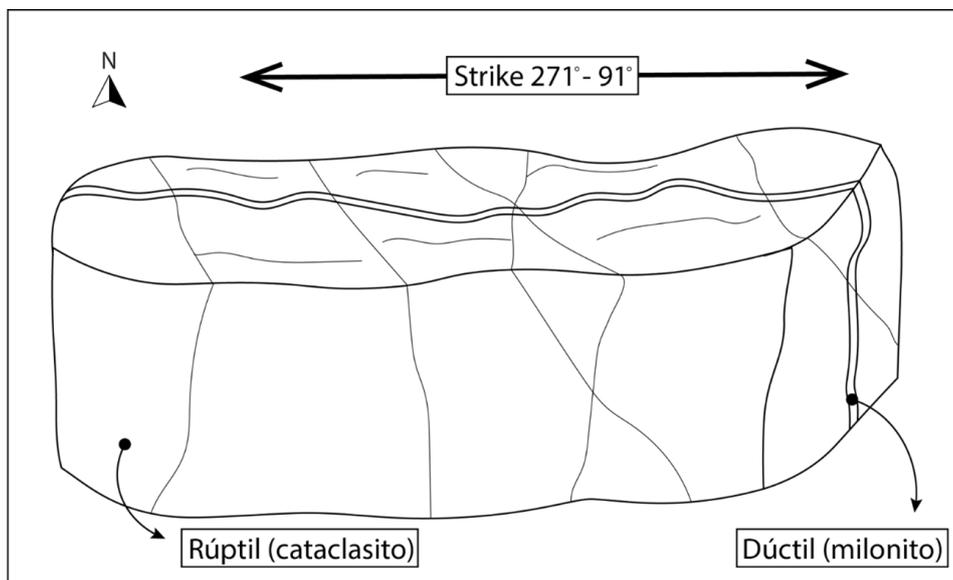


Figura 6.24: Representação esquemática indicando relação de corte entre estruturas de diferentes caráter mecânico, com o rúptil (quartzo cataclástico) cortando uma estrutura dúctil (milonito), com orientação do strike 271°-91°.

Capítulo 7

Geologia Econômica

A área de estudo do Projeto Mara Rosa está inserida no distrito auro-cuprífero Chapada-Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2000, 2004), constituído por sistemas minerais do tipo pórfiro, orogênicos e vulcanogênicos, tendo, atualmente, intensa atividade exploratória em andamento. Os depósitos de maior expressão descritos na região associam-se majoritariamente a sistemas de cobre e ouro, incluindo: (i) Depósito Chapada (Cu-Au), interpretado como um sistema do tipo pórfiro (Richardson *et al.*, 1986; Oliveira *et al.*, 2016); (ii) Depósito Zacarias (Au-Ag-Ba), pertencente a um sistema vulcanogênico disseminado, de natureza estratiforme (Poll, 1994; James, 2022); (iii) Depósito Posse (Au), descrito como um depósito aurífero orogênico (Oliveira *et al.*, 2004), sendo do tipo epigenético disseminado (Palermo *et al.*, 2000); (iv) Depósito Mundinho (Au-Cu-Bi), caracterizado por veios de quartzo sulfetados, controlados por zonas de cisalhamento N-S e magmatismo pós-orogênico associado (Oliveira *et al.*, 2000, 2004).

No contexto do Projeto Mara Rosa, encontram-se os depósitos de cobre e ouro “Saúva” e “Formiga” (News Release, Lundin Mining, 2022), recém-descritos e associados ao sistema pórfiro-epitermal, juntamente com o depósito de Chapada. O depósito Saúva é marcado por mineralização de cobre e ouro do tipo pórfiro, enquanto o depósito Saúva caracteriza um sistema do tipo skarn associado. Já as ocorrências de ouro “Garimpo Chico de Assis” e “Garimpo Viúva” estão relacionadas ao sistema orogênico do depósito Mundinho, alinhadas ao longo das zonas de cisalhamento de orientação N-S, próximas à falha Rio dos Bois. Suas ocorrências auríferas se dão na forma de veios de quartzo sulfetados, hospedados em rochas metaplutônicas, intrudidas em meio às rochas metapsamo-pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Oliveira *et al.*, 2006) (figura 7.1).

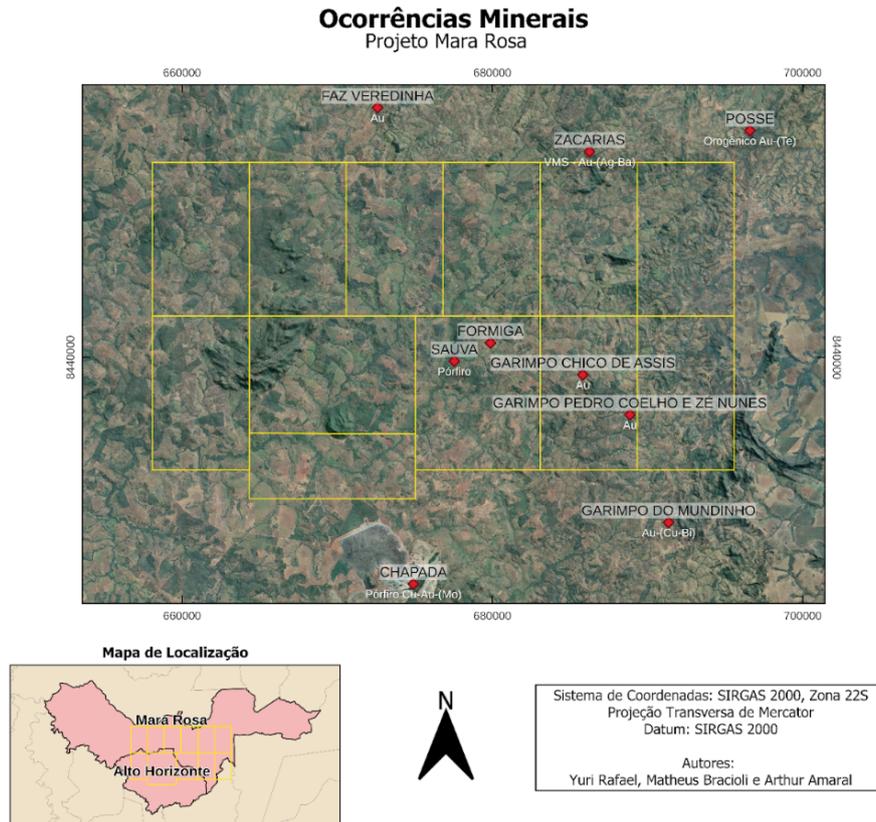


Figura 7.1: Mapa das minas e depósitos minerais no contexto do Projeto Mara Rosa, adaptado do banco de dados da SIEG 2009.

Figura X: Mapa de Ocorrências minerais do Projeto Mara Rosa. Legenda: Mn: manganês; Tur: turmalina; Tlc: talco; Sul: sulfeto; Fe: ferro; Ky: cianita; Ccp: ??? .

7.1 Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa

Com base no contexto metalogenético apresentado, esta seção detalha as ocorrências e potencialidades minerais descritas no âmbito das áreas mapeadas pelo Projeto Mara Rosa. Os recursos apresentados incluem ocorrências de natureza metálica e rochas e minerais industriais, sendo os metálicos agrupados com base em seus aspectos genéticos, conforme a divisão estabelecida por Robb (2005). Os processos metalogenéticos descritos incluem modelos genéticos magmático-hidrotermais (Sistema Pórfiro-Epitermal), hidrotermais (Sistema Aurífero Orogênico) e residuais/supergênicos.

7.1.1 Sistema Pórfiro-Epitermal

Diversas feições descritas nas áreas de estudo podem ser interpretadas como expressões de um sistema de mineralização do tipo pórfiro-epitermal, associadas aos depósitos Chapada, Saúva e Formiga. Dentre elas, destacam-se os halos de alteração hidrotermal, associados às rochas da Unidade Hidrotermal, caracterizados por associações de rochas calcissilicáticas, ricas em epidoto e anfibólios, e rochas aluminosas, ricas em cianita e muscovita.

Processos de sulfetação, marcados por disseminação de pirita e calcopirita, foram descritos majoritariamente em meio às rochas da associação aluminosa, como cianititos e cianita-xistos. Estas rochas, conforme evidenciado no Capítulo 4, se dispõem ao longo de uma faixa NE-SW quilométrica, com inflexão E-W, ao longo das Áreas IV, V, VI e VIII, tendo forte expressão topográfica e assinatura branca na composição ternária RGB da gamaespectrometria (Capítulo 3), contrastando com as rochas encaixantes. Esporadicamente, a malaquita pode ser encontrada em associação com rochas sulfetadas (Áreas VI e IX), sendo interpretadas como minerais de alteração de sulfetos de cobre primários. Demais ocorrências de pirita e calcopirita foram observadas, de maneira disseminada, como minerais acessórios nas rochas metavulcanossedimentares e metaplutônicas do Arco Magmático Mara Rosa, podendo ser produtos distais, com menor expressividade, dos halos de alteração hidrotermal observados.

Dentre as associações de rochas calcissilicáticas descritas ao longo da região mapeada, destaca-se um conjunto observado na Área VIII, composta por biotita, clinopiroxênio, granada, hornblenda, clorita, epidoto e quartzo, exibindo feições típicas de zonação composicional. Esta associação de rochas se desenvolve em meio aos dioritos dos Ortognaisses Mara Rosa, sendo interpretadas como um sistema skarn, gerado por fluido pervasivo, sem relação direta observada com pluton gerador. Esta ocorrência pode ser correlacionada ao depósito Formiga, onde a mineralização de Cu-Au é encontrada na forma de sulfetos maciços, compostos por pirita, calcopirita e bornita.

7.1.2 Sistema Aurífero Orogênico

Evidências de mineralização associadas ao sistema orogênico foram descritas nas Áreas V, VI e X. Nas áreas V, VI, processos hidrotermais epigenéticos associados à zonas de cisalhamento NE-SW e ENE-WSW, podem ter condicionado o crescimento de sulfetos em planos axiais, zonas de charneira e sombras de pressão de sigmoides (Oliveira, 2009). Evidências dessas mineralizações são nítidas em rochas calcissilicáticas no corte da FICO (Ferrovia de Integração do Centro-Oeste), localizada na área VI.

Na área X, sua principal ocorrência é o Garimpo Viúva, o qual possui gênese associada a um plutonismo paleoproterozoico pós-tectônico, fortemente controlado pelo sistema transcorrente N-S, responsável também pela formação dos depósitos Mundinho, Zé Nunes e Pedro Coelho, entre outros (Oliveira, 2004; Abdallah, 2014). A mineralização ocorre em veios, bolsões e lentes de quartzo com, disseminações de sulfetos (pirrotita, pirita e calcopirita) em rochas graníticas e metassedimentos psamo-pelíticos, relacionadas a zonas de biotitização e muscovitização. Entre as Áreas IX e X, está localizado também o Garimpo Chico de Assis, cujo contexto metalogenético foi pouco estudado.

7.1.3 Sistema Residual/Supergênico

Ao longo de todas as subáreas do Projeto Mara Rosa, foram descritos horizontes de alteração caracterizados por intensos processos de lixiviação, conforme descrito nos Capítulos 1 e 4, resultando na geração de crostas lateríticas ferro-manganesíferas disseminadas, ocorrendo especialmente a partir das cotas de 400 metros do relevo, aproximadamente. Embora estas concreções sejam comumente encontradas nas regiões adjacentes, sua disposição na área de estudo se mostra relevante por conta dos tipos de rochas aos quais se associam. Rochas metassedimentares químicas, como gonditos e formações ferríferas, podem ser encontradas de maneira disseminada ao longo de toda a região mapeada, caracterizando protominérios para formação de crostas ferríferas e manganesíferas economicamente exploráveis.

As rochas metassedimentares químicas ocorrem associadas às sequências metavulcanosedimentares Mara Rosa, Santa Terezinha e Campinorte, ocorrendo pontualmente ao longo de todas as subáreas do projeto. Estas unidades afloram de maneira mais significativa nas Áreas I, III, IV, V, VII, VIII e XI, onde caracterizam unidades em escala mapeável, tendo maior potencial para a geração de depósitos minerais em concreções lateríticas associadas.

7.1.4 Minerais e Rochas Industriais

Segundo Ciminelli (2005), Minerais e Rochas Industriais agrupam todas as rochas e minerais, tanto naturais quanto sintéticos, predominantemente não-metálicos, cujas propriedades físico-químicas podem ser utilizadas para aplicações como matéria prima para atividade industrial, bem como insumos e aditivos para seus processos. Suas aplicabilidades incluem a indústria de construção civil, cerâmica, cimento, fertilizantes, metalurgia, química, celulose, vidros, tecnologia, entre outros. Para o Projeto Mara Rosa, foram elencados potenciais de aplicação industrial para ocorrências de cianita, grafita, talco, areia e seixos, além de rochas

ornamentais e minerais com potencial gemológico.

A associação de rochas ricas em cianita, descritas acima como um halo hidrotermal do sistema pórfiro, são feições de suma importância para as potencialidades econômicas do Projeto Mara Rosa. Além de uma litocapa indicativa das mineralizações magmático-hidrotermais, os cianititos e cianita-xistos observados nas Áreas III, IV, V, VI e VIII podem ser diretamente explorados para aplicação na indústria de materiais refratários e/ou gemológicos (Joffily & Oliveira in Luz & Lins, 2005).

Ocorrências de talco xistos são descritas nas Áreas II, III, IV e V, caracterizando rochas metaultramáficas, aflorantes em meio às rochas das Sequências Metavulcanossedimentares Santa Terezinha e Mara Rosa e aos Ortognaisses Mara Rosa. As principais aplicações do talco na indústria se baseiam em uso como matéria prima para fabricação de produtos diversos, incluindo cosméticos, tintas, cerâmica, papel, borracha, inseticidas e fertilizantes (Almeida & Pontes in Luz & Lins, 2008).

Uma ocorrência de quartzitos grafitosos foi descrita na Área IV, em meios às rochas metasedimentares químicas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Embora a grafita ocorra associada a grandes quantidades de quartzo, existe potencial de aplicabilidade industrial. Seus usos na indústria são diversos, incluindo materiais refratários, baterias, lubrificantes, grafite para lápis, galvanoplastia, entre outros (Sampaio *et al.* in Luz & Lins, 2008).

Extensos depósitos aluvionares de areia e seixos podem ser observados ao longo das Áreas do Projeto Mara Rosa. Em especial, os canais de drenagem Rio dos Bois, Rio Formiga, Ribeirão das Antas e Ribeirão Santa Maria apresentam potencial para extração de sedimentos, tendo em vista a dimensão de seus canais e seu fluxo intenso, capaz de transportar e acumular material de granulometria média a grossa. As aplicabilidades da areia na indústria são variadas, especialmente para sedimentos puros (quartzosos) e bem selecionados. Além do abastecimento da construção civil, a areia é utilizada na fabricação de vidro, moldes para fundição, cerâmica, refratários, cimento, entre outros. Já os sedimentos de granulometria mais grossa, como grânulos e seixos, são utilizados em construção civil e para aplicações ornamentais, em especial quando arredondados e esféricos (Luz & Lins, 2008).

Embora não exista extração de rochas ornamentais em atividade no contexto do Projeto Mara Rosa, algumas porções do Plúton Faina, aflorantes nas Áreas I, II, III e VII, mostram potencial para aplicações ornamentais. Estas rochas possuem granulação média a grossa, com composição granítica a tonalítica. Além do Plúton Faina, os Leucogranitos Bom Jesus, a Suíte Pau de Mel e as rochas exóticas da Unidade Hidrotermal, ricas em cianita e epidoto, também podem ser utilizados para fins ornamentais.

Por fim, minerais com potencial para utilização gemológica são encontrados na maior parte das áreas mapeadas. Além das rochas ricas em cianita, de granulação grossa, destacam-se as disseminações de veios de quartzo ricos em epidoto, descritos ao longo das unidades do Arco Magmático Mara Rosa. Os cristais de epidoto são vistos na forma de prismas eudrais, chegando a tamanhos centimétricos. Veios pegmatóides ricos em quartzo, muscovita e/ou turmalina são, por vezes, encontrados em associação. Já no contexto da Área VII, encontram-se cristais de granada euédricos, chegando a tamanhos centimétricos. Estes cristais podem ser aplicados, tanto para fins gemológicos, quanto para a indústria de abrasivos. Sua gênese está associada ao hornfels desenvolvido entre as rochas intrusivas do Plúton Faina e as encaixantes metassedimentares pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha.

7.2 Geologia Econômica Local

A história mineira na região de Mara Rosa remonta ao período colonial em 1742, porém importantes explorações minerais foram somente iniciadas após 1970. Graças a intensos processos intempéricos e erosivos da superfície de aplainamento velhas formou-se espessas camadas de solo e regolito ricos em ouro, que foram e ainda são lavrados por garimpeiros nas diversas drenagens existentes na região. A descoberta e riqueza mineral local chamou a atenção e deu origem ao povoado de Amaro Leite que mais tarde foi emancipada à município de nome Mara Rosa.

Trata-se de um conhecimento amplamente difundido entre os municípios da região que toda a área do Projeto Mara Rosa apresenta grande fertilidade para depósitos de vários tipos, abrangendo diversos processos geológicos. Isso desperta um olhar de como um ambiente propício pode oferecer oportunidades para grandes e pequenos negócios nos trazendo a visão dos primórdios da geologia, que constantemente fornece o caminho para as fontes dos materiais essenciais para desenvolvimento das atividades humanas.

As ocorrências de recursos minerais da subárea IV, apresentadas a seguir, são descritas como sistemas do tipo pórfiro e seus derivados skarn e de alta sulfetação, sedimentares químicas e de enriquecimento supergênico. Além destes, também destaca-se a presença de potencial para recursos minerais industriais. A viabilidade econômica das ocorrências pode ser potencializada pela presença da ferrovia norte-sul e pela crescente economia da região impulsionada pela presença de grandes projetos minerários e agrários.

7.2.1 Sistema Pórfiro Bom Jesus

Os depósitos formados no sistema Au-Cu pórfiro têm grande importância por proporcionarem os metais base para a sociedade, sendo fonte principalmente de cobre e ouro, mas dependendo do tipo de mineralização também podem conter prata, estanho e molibdênio. Tendo aplicações tanto na indústria base quanto em alta tecnologia, tais metais tornaram-se indispensáveis para o desenvolvimento humano.

A intrusão do tipo pórfiro envolve um pluton precursor hidratado e oxidado, intermediário a félsico que devido ao avanço da cristalização gera um novo corpo (pórfiro) enriquecido em fluidos quentes ricos em metais que forma essa nova fase intrusiva. A intrusão ocorre em profundidades rasas na crosta e, portanto, interage com fluidos do nível freático ocasionando um mecanismo de convecção ao redor do pórfiro que gera bolsões de alta temperatura, esses bolsões são separados pelas diferenças mineralógicas causadas pela alteração hidrotermal que define halos hidrotermais de diferentes composições e associação mineral que dependem da rocha hospedeira, composição do fluido original, reatividade fluido-rocha, condições de pressão e temperatura, estado de oxidação, pH, quantidade de enxofre do fluido entre outros (Robb, 2005).

Na região, mais especificamente no município de Alto Horizonte, a mineradora Yamana Gold Inc iniciou o processo de lavra a céu aberto na mina de Chapada em 2004 depois da investigação de anomalia de solo com teores elevados de cobre e ouro. Permanecendo sob domínio da mina até o ano de 2019 a Yamana Gold Inc foi comprada pela Lundin Mining TM. Considerado um pórfiro o depósito de Chapada tem sua mineralização principalmente associada à pirita-calcopirita disseminada que ocorre em grandes variedades litológicas tipo: xistos, gnaisses e quartzitos ricos em biotita e epidoto, produtos de alteração hidrotermal e metamorfismo regional, acompanhado de várias fases deformacionais que fizeram com que o corpo esteja horizontalmente disposto (Oliveira, 2016).

Em 2022 foram descobertos outros dois corpos mineralizados a norte da mina de Chapada, ambos próximos à área IV. O primeiro deles é o Saúva, um metadiorito com alteração hidrotermal mineralizado considerado um corpo pórfiro e o depósito Formiga, um metassedimento com alteração hidrotermal considerado como skarn (New Release, Lundin Mining, 2022). Esses dois depósitos distam 4 km da área IV e têm trend NE, podendo portanto, haver alguma mineralização associada a esses corpos adentrando a subárea IV (Figura 7.2).



Figure 4 – Saúva Representative Cross Section

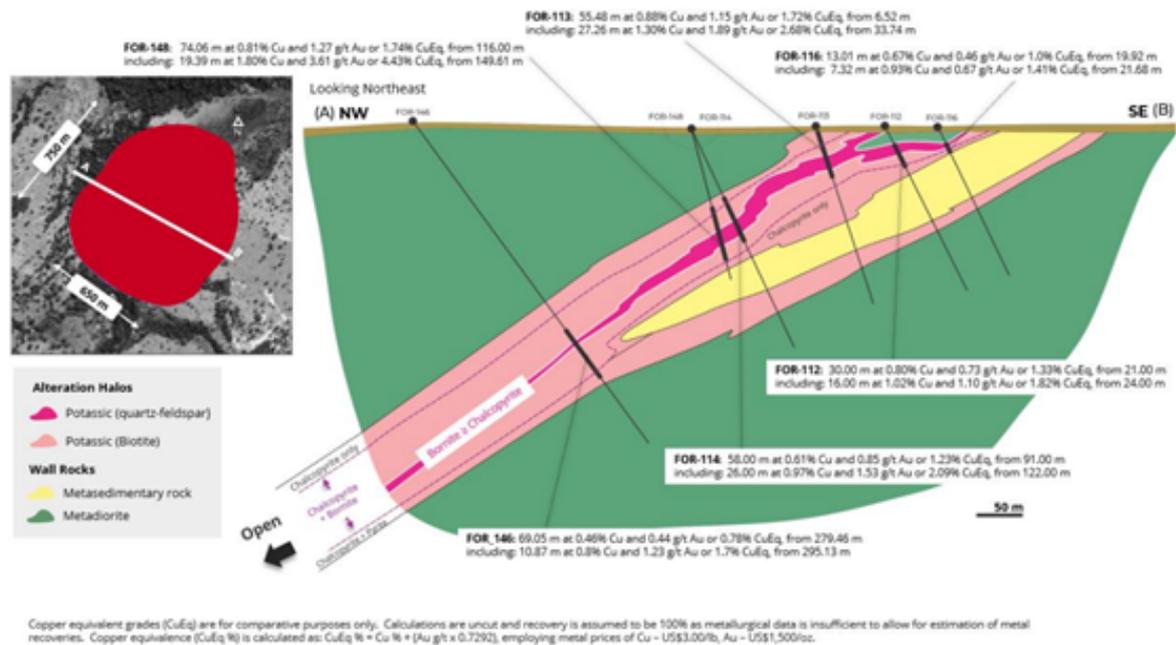


Figura 7.2: Seção obtida a partir de news release Lundin Mining TM, evidenciando as rochas encaixantes e principais mineralizações com teores de até 1.8% de Cu e 3.61 g/t de Au no depósito Saúva. Notar as zonas de sulfetação de pirita, calcopirita e bornita, e observar direção NE do corpo (alinhado à serra de Bom Jesus)

Trabalhos anteriores já associaram rochas ricas em cianita a halos hidrotermais devido à sua proximidade a corpos pórfiros, sua expressão marcante no relevo e quantidade abundante de cianita. Uma discussão mais detalhada será apresentada no tópico considerações metalogenéticas.

Associação mineral Sul da Área IV.

No contexto sul da área IV ocorre um conjunto de rochas que podem ser reflexo desses depósitos descobertos recentemente. A rocha mais expressiva observada foram os cianititos e cianita xistos que chamam atenção por formarem duas serras paralelas alongadas de cota próxima a 400 metros. Essas rochas fazem contato com ortognaisses, anfíbolitos e calcissilicáticas e ocorrem nas áreas VIII, IV, V e VI. Em campo existe uma clara distinção de um cianitito “quase puro” com 70% de cianita e 20% de muscovita que compõem a mineralogia de classificação da rocha com variação na quantidade de magnetita, quartzo, epidoto e outros minerais acessórios. Para maior detalhe consultar fichas de descrição petrográfica dos pontos TF-IV-98 e 116, representantes dos cianititos e cianita xistos. As bordas da unidade de cianita

xisto apresentam gradualmente menos cianita e aumento dos demais minerais descritos até chegar a muscovita xistos e quartzo xistos (figura 7.3).

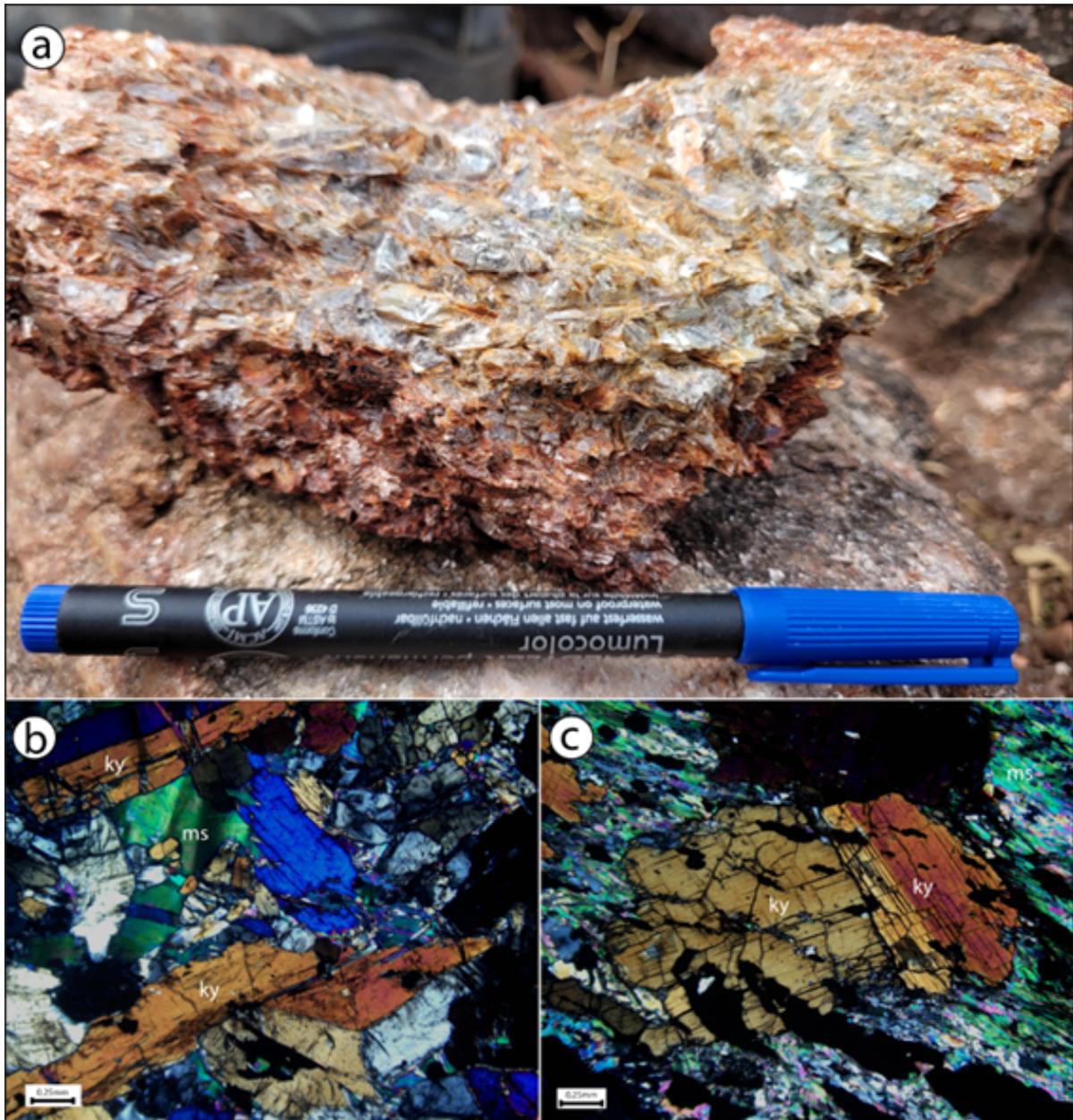


Figura 7.3: Em (A) amostra de cianitito vista em campo coletada no ponto TF-IV-126, com cianitas centimétricas. Em (B) lâmina a nicóis cruzados mostrando associação dos cianititos com muita cianita, minerais com textura próxima a granoblástica equigranular do ponto TF-IV-98. Em (C) lâmina mostrando cianita xisto com cianitas porfiroblásticas em relação aos demais minerais do ponto TF-IV-116.

No mesmo contexto da serra de Bom Jesus próximo a fazenda Bom Jesus, em meio aos

cianita xistos foi descrita a ocorrência de um ortognaisse com granadas centimétricas com textura granoblástica envoltas por quartzo e feldspato no ponto TF-IV-108, onde em lâmina foi descrita a presença pirita e calcopirita ambas somando 5% do total da rocha, apontando um potencial alvo mineralizado, uma vez que esses sulfetos são os principais constituintes das zonas mineralizadas observadas nos depósitos de Chapada, Saúva e Formiga.

Outra rocha que contém características mineralógicas diferentes são anfibolitos epidotizados de associação contendo hornblenda 50%, quartzo 35%, epidoto 10% + acessórios (consultar ficha de descrição lâmina TF-IV-116). Esses anfibolitos são vistos ao sul da área quase sempre com alteração pervasiva que modifica a assembleia original de minerais, como bandas que aproveitam a foliação da rocha, porém com contato anastomosado. Essas bandas costumam ter tamanho centimétrico e são concordantes à foliação (figura 7.4).

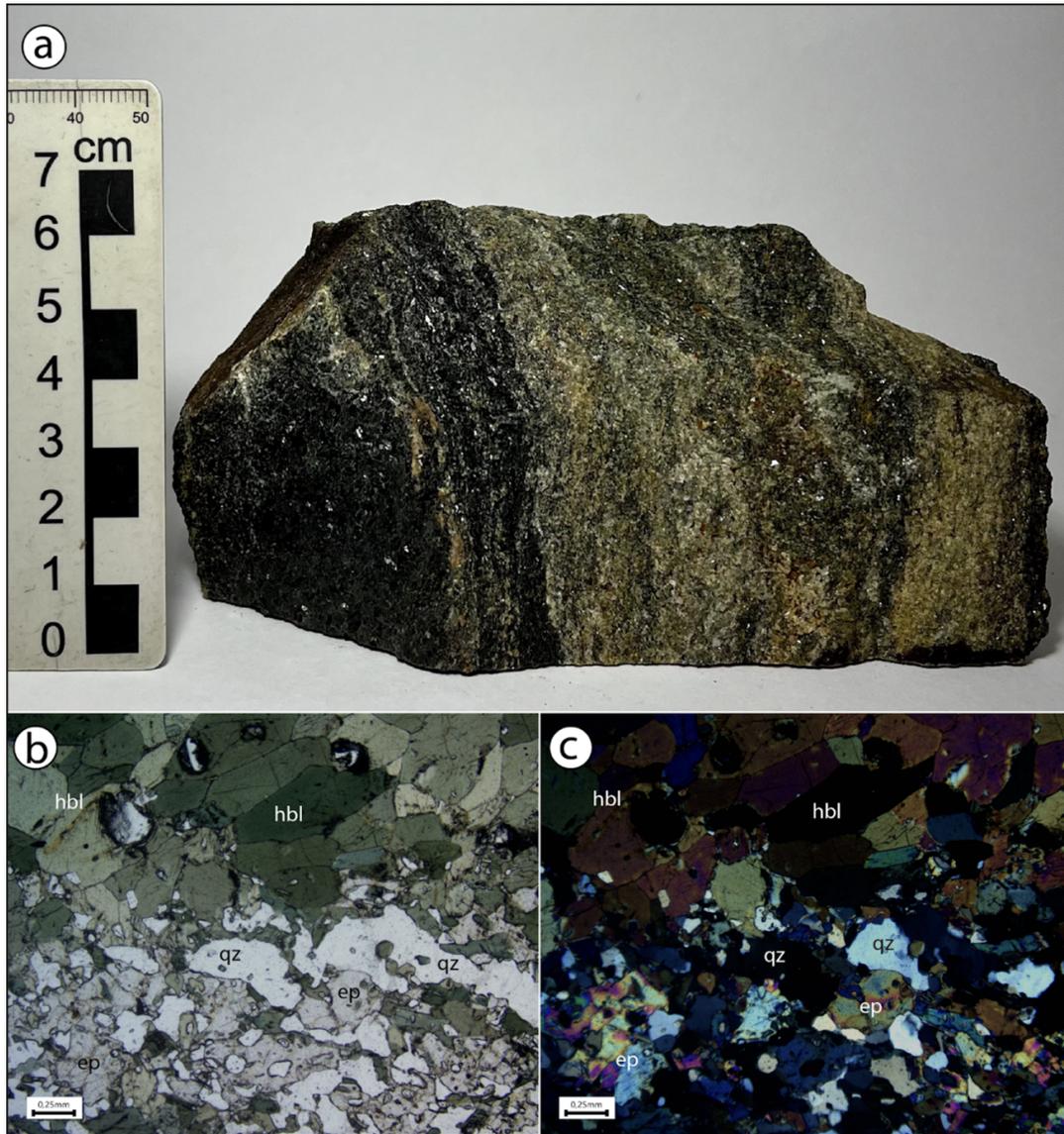


Figura 7.4: Amostra referente ao ponto TF-IV-166, de um anfibolito epidotizado composto por hornblenda (50%), quartzo (35%), epidoto (10%), rutilo (2%), magnetita, pirita e martita (1%), com textura fina e forte alteração associada a hidrotermalismo. Em lâmina, nas bandas alteradas não é possível identificar a sua foliação, mostrando como a alteração é pervasiva modificando a estrutura da rocha e seus minerais causado possivelmente pela proximidade à intrusão do pórfiro (Saúva).

Eventualmente, observa-se a presença de blocos rolados de uma rocha com tonalidade verde pálido a amarelo pálido denominado de epidosito, rocha composta por mais de 90% de epidoto que caracteriza bandas ou veios às vezes descontínuos em outras litologias. Outra rocha descrita em campo tem assembleia intermediária com plagioclásio, biotitização leve acompanhando a foliação e matriz bastante quartzosa/silicificada, indicado até na forma como

a rocha fraturou na quebra expondo uma fratura semelhante a conchoidal. Portanto devido a existência dessas diversas rochas de associação mineral exótica com diferentes graus de alteração hidrotermal, definido por epidotização, biotização e silicificação de rochas anteriores, foram classificadas como rochas calcissilicáticas como já discutido no capítulo 5. geologia local, devido a grande quantidade de minerais cálcicos presentes no sistema em uma associação instável nas lâminas vistas (figura 7.5).

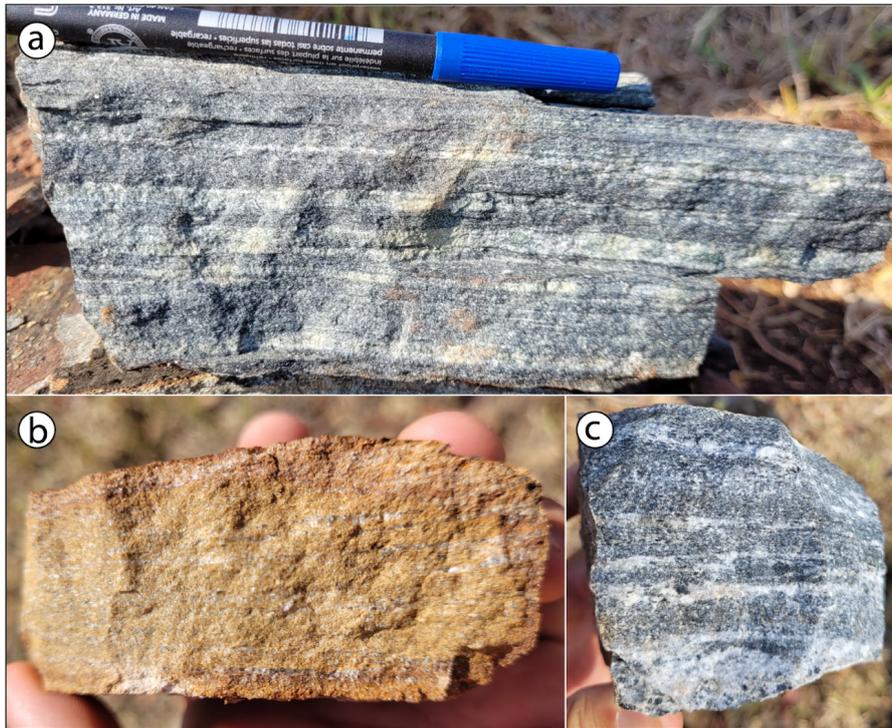


Figura 7.5: Exemplos observados durante o mapeamento da porção sul da subárea IV, apresentando em (A) um anfibolito fino com epidotização moderada alojado entre as foliações da rocha foto do ponto TF-IV-117. Em (B) epidotito, rocha com composição majoritária de epidoto e quartzo e (C) rocha intermediária silicificada. Fotos (B) e (C) do ponto TF-IV-137.

Em trabalhos anteriores discutiu-se a relação entre rochas da natureza acima descrita, relacionando -os aos halos hidrotermais de corpos pórfiros. Como apresentado em (Estela Nascimento, 2014), realizado na Serra do Caranã no município de Porangatu-GO, foi observada a presença de mineralização entre os contatos de sequências metavulcanossedimentares e gnaisses tonalíticos. Ao longo desses contatos é possível delimitar zonas de alteração caracterizadas por sequências de associação cianita-muscovita-quartzo, ortognaisses ricos em biotita e zonas ricas em epidoto em torno dos trends mineralizados. Esse zoneamento representa os halos pórfiros: argílico ao filico e potássico a propílico, metamorfizados respectivamente. Um modelo de evolução química do sistema mineral proposto (figura 7.6) é apresentado por um protolito que sofre metassomatismo hidrotermal, posteriormente um metamorfismo em fácies anfibolito

e um retrometamorfismo que varia de fácies epidoto-anfibolito a xisto verde.

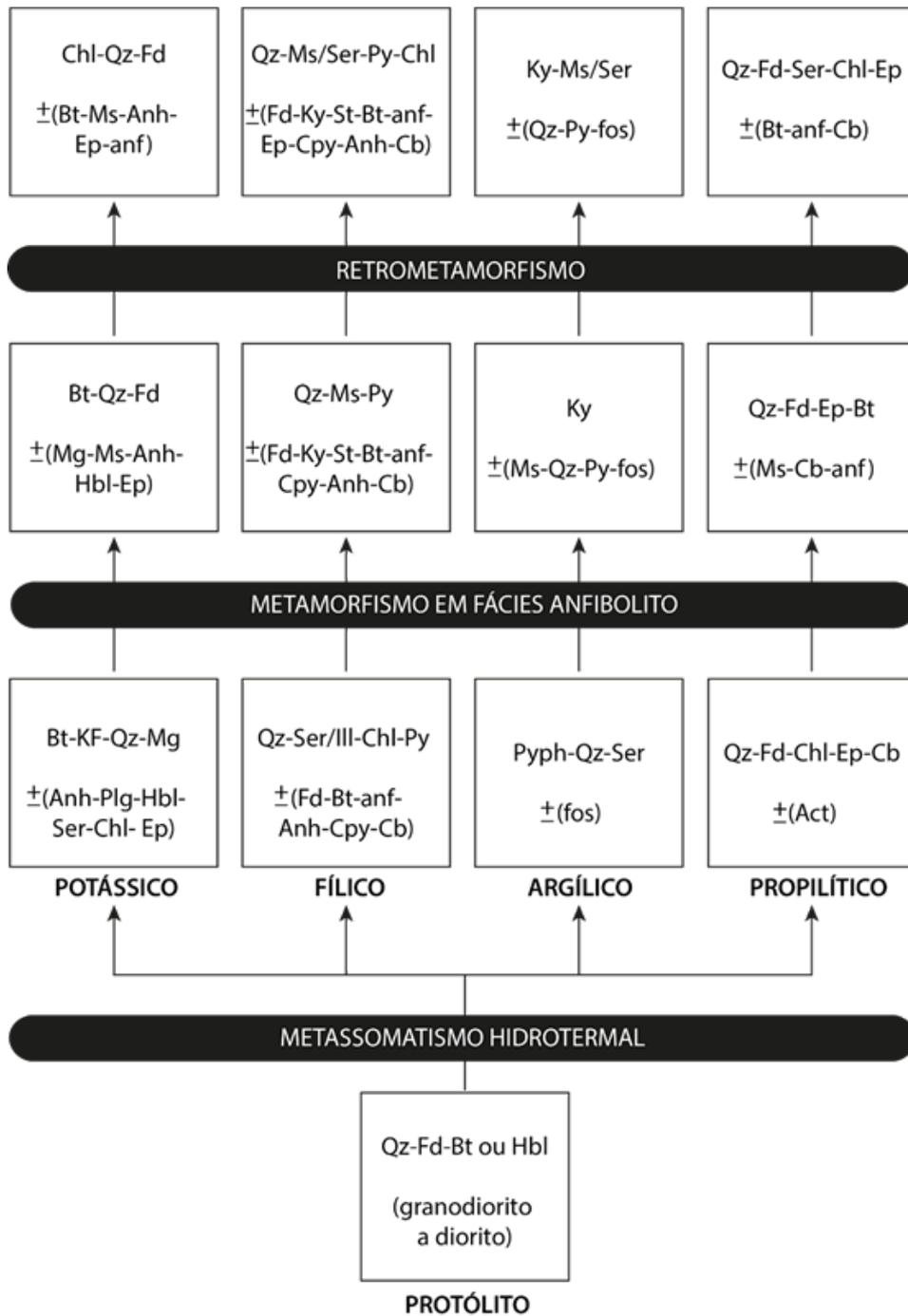


Figura 7.6: *Evolução mineral proposta para Serra dos Picos e Serra do Caranã (modificado de Estela Nascimento, 2014). Notar a associação mineral semelhante à já descrita para subárea IV correlata ao trabalho feito. De forma simples xistos ricos em cianita (halo argílico), rochas ricas em biotita (halo fílico/potássico) e rochas ricas em epidoto (halo propilítico).*

Dentro de cada halo ocorrem associações minerais e de sulfetos diferentes, mais especifi-

camente no caso dos depósitos próximo a área (Saúva e Formiga), a mineralização de cobre e ouro ocorre em calcopirita e bornita. A pirita, apesar de não conter cobre ou ouro, pode ser utilizada como um indicativo de proximidade à mineralização, onde ocorre pirita como sulfeto mais distal, calcopirita na zona proximal já mineralizada e que pode chegar até níveis com bornita e calcopirita ou somente bornita zona com maior teor.

O que dificulta o entendimento e continuidade da mineralização são as fases de metamorfismo, retrometamorfismo e diversas fases deformacionais, as quais esses depósitos passaram, em perfil já exibido feito pela empresa fica evidente como o corpo pórfiro sofreu grande deformação (figura 7.2). Com base nas evidências de campo e na literatura foi proposto um modelo adaptado a partir do modelo feito para o depósito de Chapada (Oliveira 2016). A relação geométrica e espacial do modelo indica a proximidade à serra de cianitito de Bom Jesus na área IV que está na mesma direção de trend NE como mostrado no news release Lundin Mining TM e que como já exposto está relacionado ao halo argílico metamorfizado que pode ser ter origem do depósito Saúva devido a sua proximidade com a área (figura 7.7).

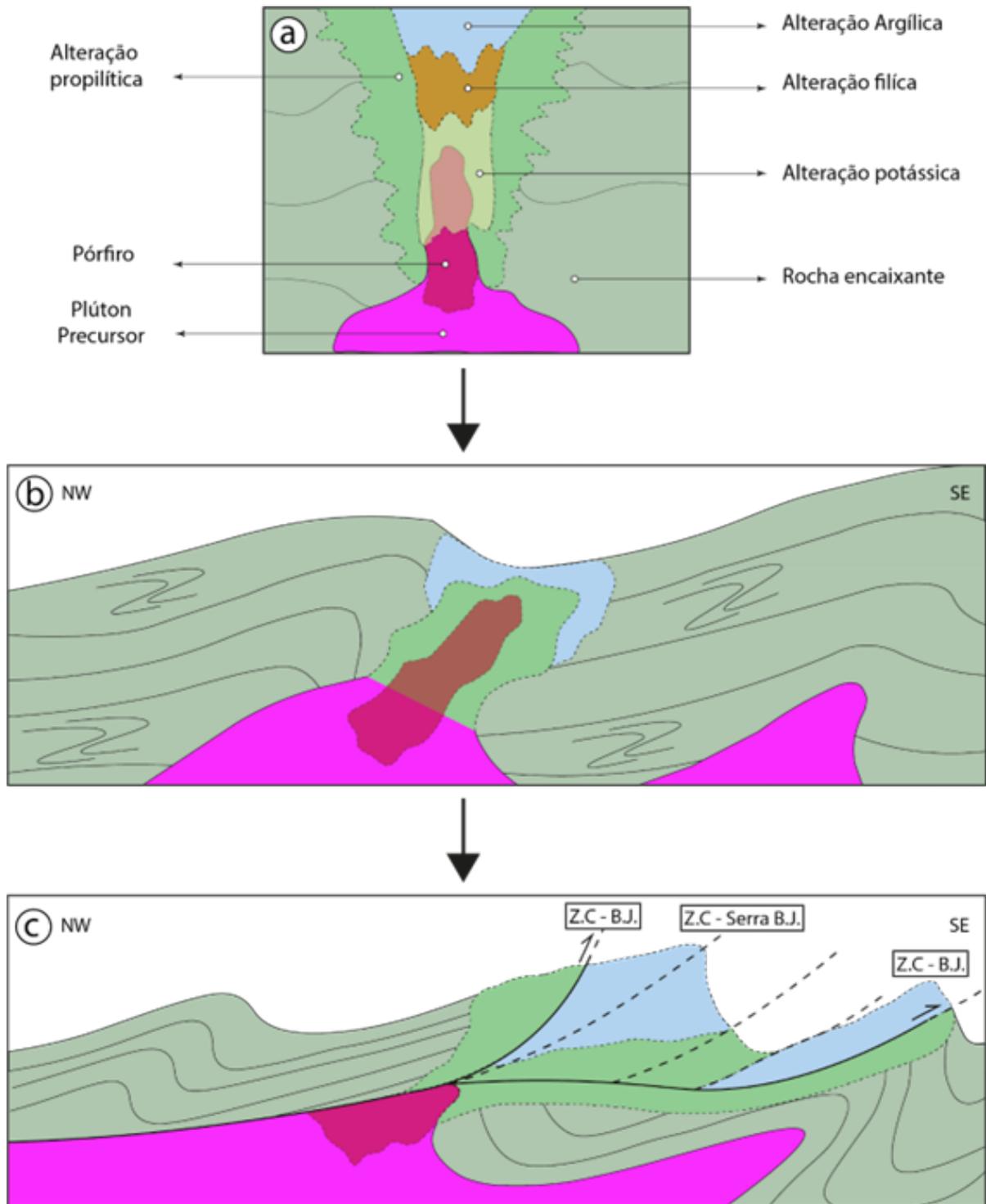


Figura 7.7: Desenho esquemático em (A) e (B) evidenciando a evolução do modelo pórfiro no depósito de chapada, mas que também pode ser representativa do depósito pórfiro Saúva pelo contexto geológico e relativa proximidade. Em (C) é possível observar o halo argílico representado pela Serra de Bom Jesus da área IV cisalhado pela Z.C.B.J (Zona de Cisalhamento Bom Jesus) com movimento reverso com topo para SE. Adaptado de C.G. Oliveira et al. 2016.

7.2.2 Gonditos - Fe/Mn Zacarias

O manganês é um metal com diversas aplicações, na indústria do aço para produção de ligas, cerâmica, manganês eletrolítico e em fertilizantes (correção de solo e aspersão de fungicidas) (Rezende e Da Silva Sá, 1984).

Esse tipo de depósito tem potencial metalúrgico quando enriquecido por processos supergênicos formando óxidos de Mn, algo que já foi explorado no povoado de água branca em Uruaçu-GO pela Mibasa por método de catação. Porém, quando de baixo teor pode também ser aplicado como micronutriente em adubos, após reação química de $MnO + H_2SO_4$ transformando-o em $MnSO_4.H_2O$ (The Fertilizer Institute, 1976).

Os gonditos são rochas manganésíferas consideradas um protominério. Em decorrência do seu bandamento composicional de forma cíclica, podem ter origem sedimentar marinha com possível contribuição de exalações vulcanogênicas subaquosas (Cavalcante, 2004), sendo associadas também a BIF's e formações ferríferas. Porém, para melhor definição genética, é necessário um estudo mais detalhado destas rochas, definindo qual assembleia de minerais de manganês ocorre. Essas rochas podem auxiliar a identificar qual o estado de oxidação da água que se formou, podendo assim relacionar essa rocha a um ambiente de mar restrito, por exemplo (Dorr *et al.* 1956, p. 327 e p. 335) (Dasgupta H.C. 1981). Outra rocha diagnóstica deste contexto é o grafita quartzito, indicativo de ambiente sedimentar redutor.

Essas rochas são comuns na área, quase sempre sendo a cota mais elevada sustentando o relevo como uma carapaça, podendo estar associado às crostas lateríticas por compartilhar o mesmo nível topográfico e também é comumente visto em veios de quartzo com Mn remobilizado e precipitado junto de turmalina. Devido a proximidade, os gonditos podem ser originários das exalações vulcânicas ricas em manganês do depósito VMS de Zacarias.

7.2.3 Minerais e rochas industriais

Cianita é um importante mineral de uso industrial, especificamente como refratário devido sua alta proporção de alumínio (60%) em sua estrutura mineral, que são caracterizados por alta resistência mecânica e a elevadas temperaturas, sem perder suas características físicas, como a condutividade. (Bulut & Yurtsever, 2004). A cianita de Santa Terezinha de Goiás é reconhecida como a maior reserva do Brasil, com principal depósito sendo a Serra das Araras (2 milhões de toneladas) (shobbenhaus 1997, Joffily 2006). A serra das araras foi alvo de exploração no início de 1980 na Fazenda Cianita onde era lavrado e pré-beneficiado com corte, britagem e separação granulométrica.

As ocorrências de cianita na subárea IV são associadas às rochas da unidade associação hidrotermal de rochas aluminosas, sendo estas, cianititos e cianita xistos, que ocorrem ao longo de serras estreitas alongadas com orientação geral NE-SW que se estendem ao longo da Serra de Bom Jesus, porém destaca-se que os cianititos são descontínuos sendo mais puros onde formam relevo alto e ocorrem essencialmente no topos das serras (figura 7.8).



Figura 7.8: Amostra de campo, ponto TF-IV-102, apresentando cianita centimétrica de coloração azul em meio a matriz oxidada de coloração amarelada.

Os cristais de cianita são milimétricos a centimétricos, frequentemente euédricos e com

crescimento espaçado e às vezes radial. Em campo são resistentes e comumente são observados na forma como matações e blocos rolados, tanto no topo quanto na base das serras.

De acordo com (Caroline Meira Joffily, 2006) na Serra das Araras, os cianititos e cianitaxistos analisados em microsonda eletrônica (CAMECA SX50) não apresentam elementos deletérios (óxidos de Fe, Ti e álcalis) que diminuem a qualidade do minério como mineral industrial. Devido a sua proximidade e mesmo contexto geológico regional pode-se entender que a serra de Bom Jesus apresenta potencial econômico, porém diferentes depósitos têm diferentes impurezas, portanto deve haver estudo mais aprofundado com química mineral, para determinar sua aplicabilidade.

Talco é um mineral que pode ser utilizado como matéria prima da largo uso na indústria moderna, possuindo aplicações nobres como cosméticos, tinta e cobertura de papel e até mesmo aplicações mais simples, como fundente na indústria cerâmica ou mesmo carga inerte na fabricação de tintas, borrachas e fertilizantes. (Shimabukuro *et al.*, 1979; Mineropar, 1988; Pugsley Jr. *et al.*, 1990; Mineral Commodity Summaries, 1995).

As ocorrências de talco na subárea IV estão presentes essencialmente na unidade Metavulcânicas Ultramáficas, sendo estas, talco xistos, concentrados em baixos topográficos e alongados com orientação geral E-W, caracterizado por cristais milimétricos de talco, formando uma matriz homogênea e contínua que compõem mais de 60% da moda dos talco xistos.

Argila é a principal matéria prima de cerâmicas vermelhas (telhas e tijolos), com grande potencial econômico devido a sua relativa facilidade de extração e abundância em drenagens e planícies de inundação. Como descrito anteriormente, a região de Mara Rosa apresenta grande crescimento econômico e conseqüentemente elevada demanda para construção civil e industrial, facilitando a viabilidade da extração da mesma.

Os depósitos de argila da subárea IV estão associados às acumulações volumosas que ocorrem nas margens de drenagens e planícies de inundação do Rio Formiga, em que, seu canal principal secciona a subárea IV de norte a sul e como descrito por moradores da região, causa inúmeras cheias e planícies de inundação que chegam a superar 5 metros em função do relevo e da pluviosidade sazonal. É nitido em campo que próximo do rio o solo se torna muito argiloso e como foi visto em época de seca, quase sempre apresentava-se com rachaduras, como de gretas de contração (figura 7.9).



Figura 7.9: Solo observado próximo ao rio Formiga, evidenciando feições semelhantes a gretas de contração, clássica feição de ambientes com elevado teor em argilas.

Grafita está associada às mais diversas aplicações industriais e tecnológicas, sendo considerada um dos elementos da transição energética, pode ser usada também como refratário, lubrificante, lona de freio, revestimentos e moldes e células de combustíveis, tornando-a um mineral muito versátil e de amplo uso em que seu preço está associado a sua condutividade, inércia química e baixa densidade. Outra característica interessante é a capacidade de agir bem em misturas, como com o óleo para lubrificantes mais eficientes e com argila para confecção de lápis.

As ocorrências de grafita na subárea IV são restritas e ocorrem apenas como pequenas lentes de grafita-quartzito não mapeáveis na escala de mapeamento adotada. A grafita é homogênea e compõe mais de 30% da composição modal da rocha. Em campo a rocha tem tato untuoso e é muito friável, suja as mãos e tem cor cinza e brilho metálico (figura 7.10).

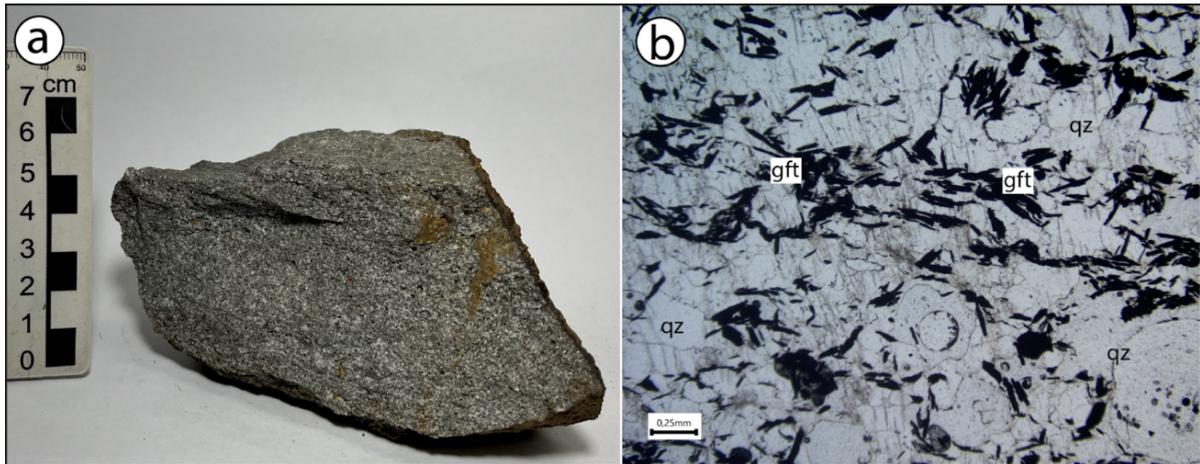


Figura 7.10: (A) Amostra colhida em campo de grafita-quarzo do ponto TF-IV-156, muito friável e de coloração acinzentada, Em (B) lâmina da mesma amostra contendo grafita 70% e quartzo 30%, exibe ainda box work devido a minerais já mobilizados.

Como já discutido nos gonditos, essa rocha pode ter sido depositada devido a exalações subaquosas vulcânicas, ricas em carbono que devido a alta concentração podem ter precipitado e se concentrado formando essa rocha. Devido a proximidade e contexto essa rocha pode ser produto das exalações do VMS Zacarias.

7.3. Considerações Metalogenéticas

Como apresentado nos itens anteriores, a região do entorno da Área IV apresenta grande potencial econômico considerando principalmente a proximidade com depósitos já explorados e em descoberta como: VMS Zacarias, Pórfiro Saúva, Skarn Formiga e Serra das Araras.

Quanto às intrusões de pórfiros é importante salientar que, em sua maioria, estão contidas em grandes estruturas de falhas regionais profundas e que a zona de cisalhamento Bom Jesus pode ser caracterizada como uma dessas, uma vez que porta o recém descoberto Saúva e que em campo foi observado como uma zona de cisalhamento de alto ângulo (consultar capítulo de estrutural). Dessa forma, não é improcedente imaginar que ocorram outros corpos aproveitando a mesma falha para intrudir, podendo portanto haver mais corpos pórfiros alinhados ao longo da Serra de Bom Jesus ou produtos subordinados a essas intrusões como de High Sulfidation.

Os cianititos, estando associados ao halo argílico, dificilmente teriam a extensão e magnitude que são vistos na área somente com um corpo pórfiro. A serra pode ser representativo do corpo Saúva, mas no contexto do projeto Mara Rosa como um todo, sua extensão e associações de rochas e um alinhamento de cianitito de mais de 10 quilômetros pode demandar outras associações hidrotermais. Além do viés de halo argílico, as serras também tem potencial de

uso como refratário como já abordado, mas que ainda deve ser estudado sua mineralogia e química a fim de definir a viabilidade ou não como minérios de cianita.

Os gonditos também se encaixam na discussão dos cianititos, fazendo-se necessário o planejamento e execução de mais estudos de caracterização para viabilidade econômica de extração destes. É importante ressaltar que mesmo com baixo teor, podem ser utilizados, tanto na metalurgia quanto como fertilizantes, principalmente considerando sua magnitude de ocorrência em campo, além da facilidade de extração, com lavra a céu aberto, baixa relação estéril/minério e pouca necessidade de extração de solo, já que se apresenta aflorante em quase a totalidade mostrada no mapa.

Quanto aos grafita quartzitos, que tiveram sua primeira ocorrência descrita por meio deste, também são necessários mais estudos a fim de caracterizá-los geneticamente, sugere-se então estudos geológicos mais detalhados, tais como: geoquímica, análise estrutural, mapeamento de maior detalhe e datações.

Além desses, também é válido destacar o grande volume de RMI's explorados e ainda não explorados em uma região com economia ascendente, causada por investimentos públicos e/ou privados nos mais diferentes setores. Pode-se destacar ainda um tipo de utilização moderna para solos mais argilosos (40 a 20%), que já é aplicada no mercado atual, o tijolo ecológico, um material feito a partir da mistura de solo argiloso mais homogêneo, cimento e água substituindo o tijolo cerâmico convencional que além de ser sustentável por envolver a queima de carvão vegetal ainda possui baixo custo e impacto ambiental.

É compreensível a não exploração dos recursos citados, uma vez que todas as áreas já se encontram requeridas em órgãos reguladores pelas empresas atuantes da região, que frequentemente não é explorado devido a variação de expertise e/ou tipo de beneficiamento ao qual esses cada minério deve passar, porém, não se pode descartar a potencialidade do uso de tais recursos.

A gênese desses depósitos está diretamente associada à geologia de rochas de sequências metavulcanossedimentares, que, devido a presença de hidrotermalismo extenso favorece o enriquecimento e crescimento anômalo de elementos, minerais e rochas de interesse. Por fim, as características de cada ocorrência são similares às observadas na literatura, com particularidades espaciais e detalhes que se aplicam às áreas do projeto e da subárea IV, sendo estas, especificamente a geometria, relação espacial, densidade, proporção dos minerais e elementos de interesse.

Capítulo 8

Evolução Tectônica

Este capítulo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento tectônico das unidades descritas e classificadas no Projeto Mara Rosa (PMR), utilizando dados e informações de revisões bibliográficas aliadas às características individuais que definem as relações estruturais e petrogenéticas destas unidades. Para fins de simplificação e adequação das evidências encontradas foi adaptada a divisão proposta por Frasca (2015) que divide a evolução do Arco Magmático Goiás (AMG) em cinco estágios principais, sendo eles: (1) Arco Paleoproterozoico; (2) Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico; (3) Colisão Arco-Continente; (4) Colisional a Pós-Colisional; e (5) Extensional Pós-Orogênico (Tabela 8.1).

Tabela 8.1: *Resumo dos principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas da área do PMR*

Estágio Tectônico	Idade	Arco Correspondente
Arco Paleoproterozoico	Riáciano, Paleoproterozoico 2300-2000 Ma (Cordeiro & Oliveira, 2017)	Campinorte
Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico	Toniano, Neoproterozoico 900-800 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	Mara Rosa
Colisão Arco-Continente	Criogeniano, Neoproterozoico 670-600 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	Santa Terezinha de Goiás
Colisional a Pós-Colisional	Ediacariano, Neoproterozoico 590-560 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	-
Extensional Pós-Orogênico	Fanerozoico (Frasca, 2015)	-

A compartimentação tectônica da área do PMR tem seu contexto atrelado ao setor setentrional do Orógeno Brasília, mais especificamente na porção sudeste do Arco Mara Rosa. Esse setor é resultado dos eventos orogênicos ocorridos entre os crátons São Francisco e Amazônico, envolvendo acreções de unidades tectônicas como o Maciço de Goiás e o AMG (Uhlein *et al.*, 2012).

Diversos estudos utilizando diferentes métodos geocronológicos foram realizados para a definição das unidades tectônicas que ocorrem no PMR. Além disso, os eventos tectônicos de acreção crustal foram destacados a partir das grandes estruturas que ocorrem nas áreas do projeto e se estendem para outras áreas do Arco Mara Rosa. Por fim, os estágios que dizem respeito ao final da orogênese, sendo eles colisional, pós-colisional e de extensão orogênica, foram sugeridos a partir das feições tectônicas superimpostas na área.

8.1 Evolução Tectônica do Orógeno Brasília

O Orógeno Brasília é caracterizado por um cinturão de dobramentos resultantes de eventos de acreção crustal de idades neoproterozoicas, localizado na porção leste da Província Tocantins e na porção ocidental do Cráton São Francisco (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970; Fuck *et al.*, 2005), formado durante a orogenia Brasileira-Panafricana. O uso de dados

de U-Pb, em conjunto com Sm-Nd e Lu-Hf, permite entender que a evolução do orógeno se dá entre 900 a 600 Ma (Pimentel & Fuck 1992; Cordani *et al.*, 2013) no Gondwana Ocidental, tendo início a partir de arcos de ilha intra-oceânicos, eventos de subducção, formação de arcos magmáticos, acreção de terrenos por eventos colisionais, arcos continentais e posterior fechamento do oceano Goiás (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970; Fuck *et al.*, 2005).

Pimentel & Fuck (1992) o dividiram em dois segmentos, o domínio interno e o domínio externo, que se distinguem pelo grau metamórfico que se apresenta mais elevado em direção ao centro do orógeno. Ainda, se considera uma divisão que leva em conta suas características estruturais, tectônicas, geocronológicas e diferenças estratigráficas, dividindo o orógeno em setor meridional e setor setentrional (Unhlein *et al.*, 2012; Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004, 2008; D'el-Rey Silva *et al.*, 2011). O setor meridional tem sua origem atrelada aos eventos colisionais entre os crátons São Francisco e Paranapanema, já o setor setentrional resulta dos eventos orogênicos ocorridos entre os crátons São Francisco e Amazônico (Unhlein *et al.*, 2012), envolvendo unidades tectônicas como o Maciço de Goiás, arcos magmáticos Mara Rosa e Arenópolis, pertencentes ao Arco Magmático de Goiás, e sequências sedimentares meso-neoproterozóicas.

8.2 Evolução Tectônica do Arco Magmático Goiás

O modelo de evolução tectônica mais recente do Arco Magmático Goiás leva em conta quatro estágios relacionados à evolução do Orógeno Brasília, sendo eles: (i) subducção intra-oceânica; (ii) magmatismo sin-tectônico colisional; (iii) magmatismo pós-tectônico colisional; e (iv) extensional pós-orogênico.

Os dois principais eventos de magmatismo do Arco Mara Rosa foram datados de 900 a 800 Ma, ocorrendo durante o estágio tectônico de subducção, e de 670 a 600 Ma, relacionado ao estágio sin-tectônico colisional. O evento mais antigo de magmatismo é considerado parte de um contexto de arco de ilha e o mais novo, de um arco continental (Oliveira *et al.*, 2004).

Além disso, houveram dois picos de metamorfismo, um de 760 a 730 Ma de altas condições de P-T, na transição do arco de ilha para arco continental, e outro de 630 Ma, de mais baixas condições de P-T, durante a orogênese do Brasileiro que juntou os crátons Amazônico e São Francisco (Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2016).

Após esses principais eventos de magmatismo e metamorfismo, ocorreu um estágio de magmatismo pós-tectônico colisional, caracterizado pela extensão litosférica e intrusão de

corpos graníticos, como biotita granitos e leucogranitos, e gabro-dioritos, entre 590 a 560 Ma. Além disso, houve um estágio extensional pós-orogênico, que causou a intrusão de leucogranitos e gabro-dioritos (Oliveira *et al.*, 2004).

De acordo com Oliveira *et al.* (2016) e Ferreira (2020), a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, os Ortognaisses Mara Rosa e o Ortognaisse Amarolândia podem ser correlacionados ao primeiro evento de magmatismo do Arco Mara Rosa, no estágio insular. Nesse contexto, o plúton sin-tectônico Amarolândia foi datado em 870 Ma (Ferreira, 2020).

Oliveira *et al.* (2007, 2016) caracterizam a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás como o segundo estágio de magmatismo, agora do Arco Santa Terezinha, no estágio continental. O Plúton Faina intrude a sequência, sendo datado em 576 Ma (Junges *et al.* 2002a, 2003).

8.2.1 Estágio de Arco Paleoproterozoico

O Maciço de Goiás é uma amalgamação de rochas cristalinas com idades arqueanas a mesoproterozoicas localizadas a leste do Arco Magmático de Goiás. A interpretação sobre o significado tectônico desta unidade adotada neste trabalho está de acordo com a de Cordeiro & Oliveira (2017), que sugerem que o maciço seja uma extensão pericratônica na margem oeste do Cráton São Francisco. De acordo com Pimentel (2000), o Maciço de Goiás pode ser dividido em três domínios distintos: Crixás-Goiás, Campinorte e Cavalcante-Arraias.

O Arco Campinorte é descrito pelas rochas da sequência metavulcanossedimentar Campinorte, os metagranitos a metatonalitos da Suíte Pau de Mel e os granulitos do Complexo Uruaçu (Cordeiro *et al.*, 2017) e está associado ao Domínio Campinorte (Giustina *et al.*, 2009 e Cordeiro *et al.*, 2014). Dados geocronológicos U - Pb realizados em zircão de amostras de quartzitos micáceos supracrustais indicam idades máximas de deposição desse domínio em cerca de 2190 Ma (Giustina *et al.*, 2009), enquanto dados adquiridos por análises em zircão em amostras de metatufos riolíticos indicam idades de 2179 ± 4 Ma (Giustina *et al.*, 2009).

Cordeiro *et al.* (2014) também datou, por intermédio da análise de zircões em granulitos, idades 2170 - 2080 Ma para o domínio Campinorte, o que corrobora a ideia de que esse arco foi formado no paleoproterozoico. Ademais, valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ variando entre - 2.1 e + 3.4 descrevem uma maior participação de uma crosta paleoproterozoica em detrimento de uma arqueana para esse domínio (Giustina *et al.*, 2009).

A partir disso, e levando em consideração as rochas descritas dentro do domínio campinorte pelo PMR, à saber, rochas metavulcânicas intermediárias (p. ex. metadacitos e metario-

litos), bem como xistos (p. ex. muscovita - clorita xistos), metassedimentos químicos (p. ex. gonditos) e granulitos, além de rochas associadas a intrusões graníticas, mais especificamente de composições graníticas a tonalíticas, é possível interpretar que esse domínio está associado a um ambiente deposicional marinho próximo a um arco magmático (Giustina *et al.*, 2009).

Dessa forma, é possível que a evolução geológica da área PMR tem início no paleoproterozoico, mais especificamente, na formação do Arco Campinorte, a qual ocorreu entre 2300-2000 Ma (Cordeiro *et al.*, 2017), uma vez que o domínio Campinorte abrange as rochas mais antigas do projeto. Um modelo esquemático que ilustra a formação do Arco Campinorte, bem como as feições geotectônicas associadas ao magmatismo de um arco, é apresentado na Figura 8.1.

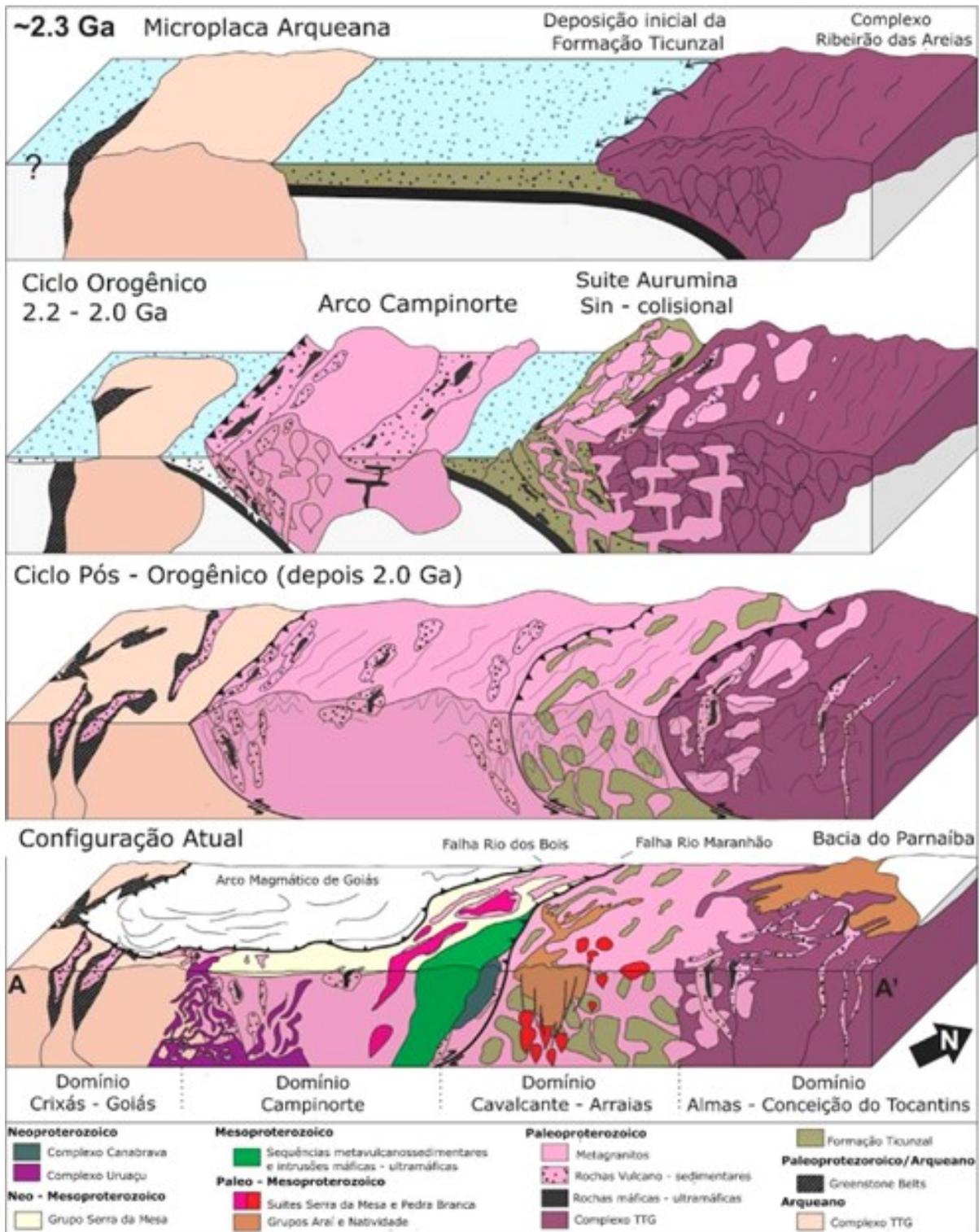


Figura 8.1: Modelo de evolução tectônica do Maciço de Goiás durante a fase do orógeno (2200 a 2000Ma). Destaque para a formação do Arco Campinorte, o qual é a única unidade contida no contexto do PMR (Adaptado de Cordeiro et.al, 2017).

As rochas pertencentes ao Domínio Campinorte, dentro do contexto do PMR, possuem uma foliação milonítica N - S impressa, interpretada como um evento E0, de idade pré-brasileira. A análise dos dados estruturais permite sugerir que estas estruturas tenham sido geradas como resposta a um evento transcorrente, responsável pela formação das zonas de cisalhamento observadas no extremo SE da área do PMR, mais especificamente na Área X. Associada a deformação do evento E0, há metamorfismo em fácies xisto verde inferior.

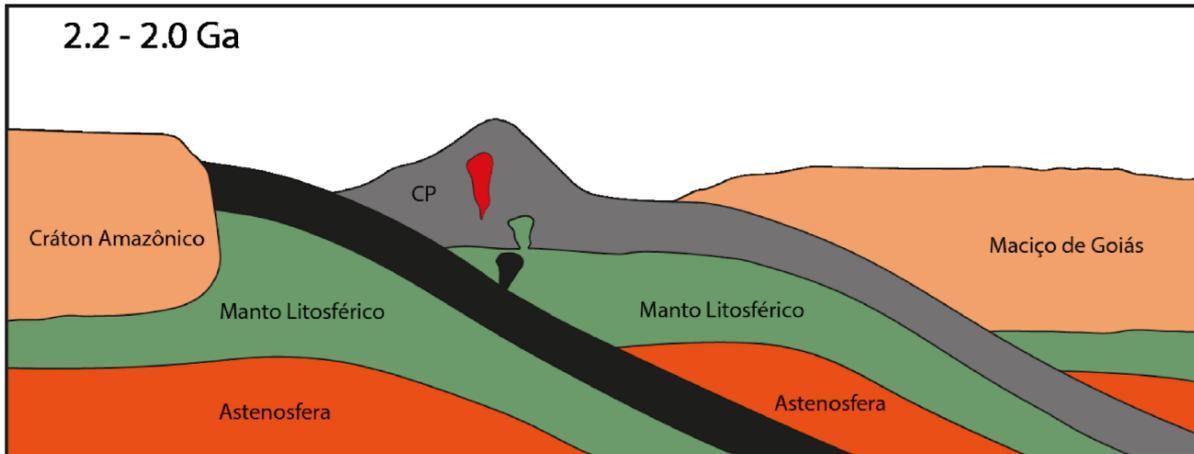


Figura 8.2: Estágio de Arco Paleoproterozoico, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma. CP = Arco Campinorte.

8.2.2 Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico

O início da formação do AMG é marcado pelo consumo e fechamento do Oceano Goianides-Pharusian (Kröner & Cordani, 2003; Caby, 1994; Valeriano *et al.*, 2004) entre os crátons Amazônico e São Francisco, a princípio como arcos acrescionários insulares e posteriormente como margens continentais e orógenos colisionais com reciclagem crustal (Junges *et al.*, 2002; Laux *et al.*, 2005).

O primeiro período de acreção magmática de idade 900 a 800 Ma marca o início de sua evolução (Figura 8.3), com o processo de subducção da litosfera oceânica localizada entre o Cráton Amazônico e o Maciço de Goiás, ocasionada por esforços compressivos gerados pela colisão dos crátons (Viana *et al.*, 1995). Tal processo gera um sistema de arcos de ilha intraoceânicos e bacias de retro-arco, caracterizados por rochas vulcânicas calci-alcálicas intermediárias a ácidas e metaluminosas, bem como corpos plutônicos tonalíticos e dioríticos, alguns dos quais com características geoquímicas semelhantes a magmas adakíticos (Chiarini, 2007). Na porção do Arco Magmático Mara Rosa, as rochas apresentam razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais baixas, idades de cristalização de 848 Ma e 810 Ma, idade modelo TDM

principalmente entre 1,1 e 0,8 Ga e valores ϵNd positivos, sugerindo fontes juvenis (Pimentel & Fuck, 1992; Laux *et al.*, 2005, Matteini *et al.*, 2010).

Na área do PMR, a estrutura que marca a acreção da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa ao embasamento paleoproterozóico Campinorte é marcada pela Zona de Cisalhamento Rio dos Bois. As rochas descritas dentro do domínio são representadas por um conjunto extenso de anfibólitos, paragnaisses e xistos aluminosos, com eventuais associações de rochas metaultramáficas, especialmente na porção norte da área. Subordinadamente, ocorrem rochas metaquímicas, definidas por gonditos, metacherts e formações ferríferas. Além disso, na sequência encontra-se intrusões tardi a pós tectônicas de composição granítica a diorítica. Os litotipos encontram-se metamorfizados em condições de fácies anfibólito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

A predominância da composição calci-alcalina dessas rochas magmáticas indica a ação de contínuos processos relacionados à subducção. Dantas *et al.* (2007) acrescentaram que na região as rochas plutônicas são peraluminosas, com assinatura isotópica de material juvenil relacionado à evolução dos arcos.

O estágio intra-oceânico é representado pelo início do evento tectônico E1, de idade neoproterozoica. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado a formação de xistosidade e bandamento gnáissico em rochas da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa, ambas com direção de mergulho para NW. No plano de foliação, associa-se lineação de estiramento mineral com transporte tectônico para SE.

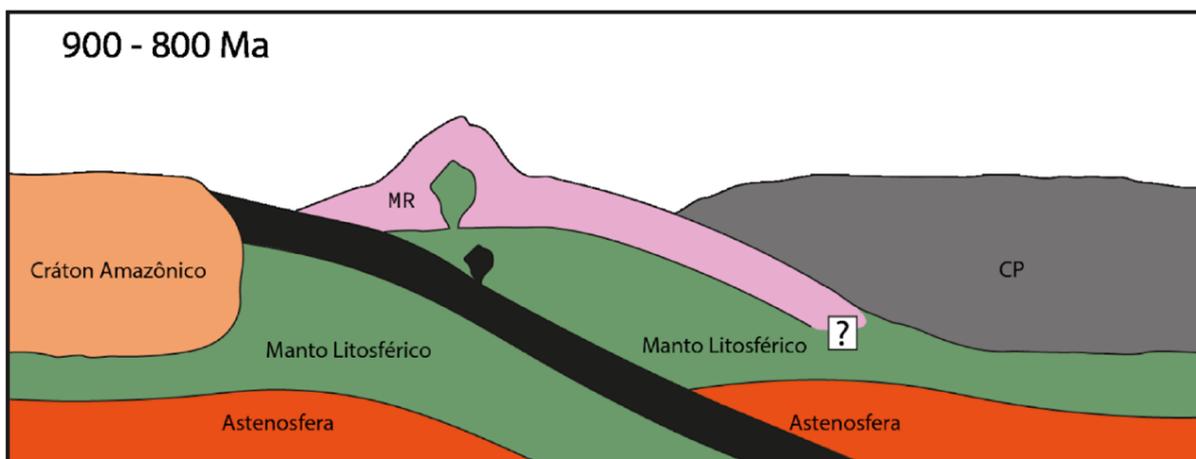


Figura 8.3: Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. CP = Arco Campinorte, MR = Arco Mara Rosa.

8.2.3 Estágio de Colisão Arco-Continente

A evolução do estágio de arco intra-oceânico é marcada pelo desenvolvimento de uma margem continental ativa, onde há a formação do denominado arco magmático Santa Terezinha em 670-600 Ma (Figura 8.4). É nesse estágio em que há a formação da sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha, originalmente proposta por Souza & Leão Neto (1984). Essa sequência é composta majoritariamente por rochas metassedimentares, incluindo mica xisto feldspático, mica xisto e quartzito, além de uma unidade vulcânica de anfibólitos e meta-andesitos (Fuck *et al.*, 2006). Dantas *et al.* (2001) dataram uma amostra de rocha metavulcânica félsica em 661 ± 8 Ma, atribuindo idade estimada para a sequência.

Na área do PMR, a estrutura que marca a acreção da sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha à sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa foi descrita por Chiarini (2007) como discordância geofísica Porangatu-Mutunópolis-Amaralina. Para o projeto, foi denominada como Zona de Cisalhamento Amaralina, a qual possui extensão quilométrica, passando pelas áreas III, VII e de Mapeamento Geológico 2, com direção NE. Essa zona de cisalhamento é um importante limite tectônico, o qual justapõe dois estágios evolutivos do sistema de arco magmático.

À leste da zona de cisalhamento predominam rochas com ϵNd positivo (+0.01 e +8.01), o qual mostra a derivação a partir de uma crosta juvenil com pouca contaminação crustal. Essa assinatura está relacionada ao estágio de arco de ilha intra-oceânico (900-800 Ma) e corresponde a assinatura da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa. A oeste, predominam rochas com ϵNd negativo (-25.44 a -0.60), com sugestão de entrada de material juvenil e reciclagem crustal. Essa assinatura demonstra um estágio de acreção mais evoluído, ou seja, de formação do arco magmático continental (Chiarini, 2007; Frasca, 2015). Dessa forma, o estágio de colisão arco-continente é marcado pela mistura de fontes, juvenis e crustais, em torno de 660 Ma quando se inicia o desenvolvimento da margem continental ativa.

Associado à progressão do estágio de arco de intra-oceânico, o estágio da colisão arco-continente ainda é representado pelo evento tectônico E1. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado a formação de xistosidade na sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha com mergulho para NW e lineação de estiramento mineral indicando transporte tectônico para SE. Junges *et al.* (2002) interpreta que o metamorfismo de 604-610 Ma é de baixa condições P-T, a partir de idades Sm-Nd e geotermobarometria em rochas metassedimentares do arco. Essa idade de metamorfismo foi observada no PMR em fácies anfibólito com retrometamorfismo para xisto verde inferior (zona da clorita).

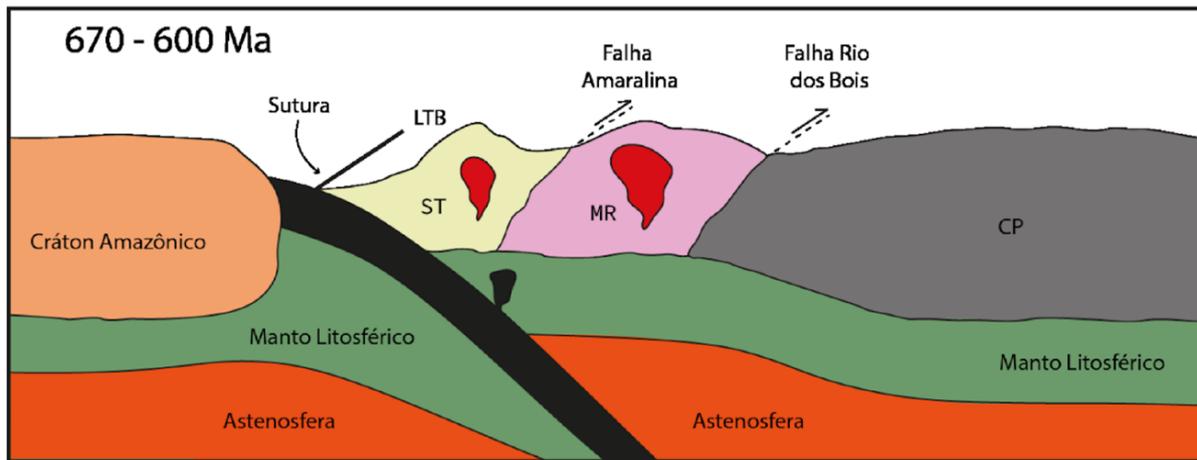


Figura 8.4: *Estágio de Colisão Arco-Continente. ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.*

8.2.4 Estágio Colisional a Pós-Colisional

O estágio colisional a pós-colisional do Arco Mara Rosa está inserido no contexto de amalgamação do supercontinente Gondwana. O fechamento do ciclo Brasileiro resultou na formação de uma estrutura de magnitude continental, de orientação NE-SW, que ocorreu na porção oeste do supercontinente Gondwana, o Lineamento Transbrasiliano (LTB) (Schobbenhaus, 1984).

O LTB é um extenso feixe de falhas transcorrentes formadas durante o encurtamento crustal gerado no fim da orogenia neoproterozoica. Nesse contexto, insere-se no evento tectônico E2, o qual no PMR é representado por zonas de cisalhamento transpressivas de orientação NE-SW com inflexões para E-W.

São observadas na área mapeada pelo projeto extensas zonas de cisalhamento dextrais paralelizadas de direção concordante ao LTB (Figura 8.5). Mais especificamente, na porção oeste do PMR, nas áreas I, II, III e VII. Tal geometria das zonas de cisalhamento é pronunciada em produtos geofísicos aeromagnéticos. Além dessas zonas, o LTB é o responsável pela assimetria geométrica do Plúton Faina, o qual é limitado pelas zonas de cisalhamento Varalzinho e Serra do Faina.

Ainda relacionado ao estágio colisional a pós-colisional, há um importante evento magmático Ediacariano (590-550 Ma), o qual registra um aumento na contribuição de material crustal e diminuição de fontes mantélicas (Frasca, 2015). O aumento nos valores de elementos como Pb e Th sugerem aumento da entrada de sedimentos na zona de subducção, confirmada pela presença de rochas de afinidade peraluminosa e valores negativos de ϵ_{Nd} (Frasca, 2015).

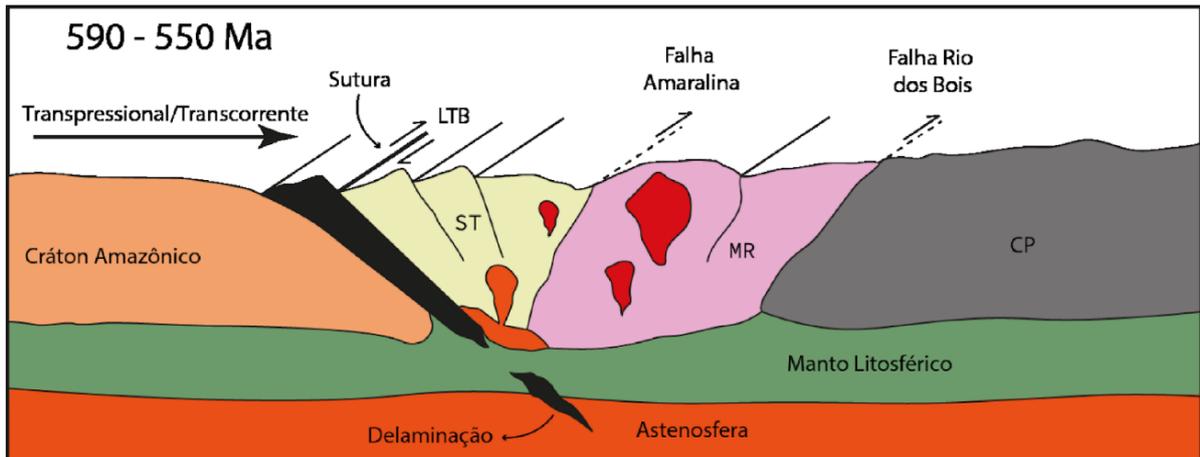


Figura 8.5: *Estágio Colisional a Pós-Colisional. LTB = Lineamento Transbrasiliânico; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.*

8.2.5 Estágio Extensional Pós-Orogênico

O estágio extensional é caracterizado como o evento mais jovem de idade fanerozóica, definido como pós Brasileiro (Frasca, 2015) representado por estruturas rúpteis multidirecionais. Essas direções em sistema de falhas e fraturas de direção NW-SE, E-W e N-S que sobrepõem todas as unidades estratigráficas do PMR.

Dentre essas estruturas, destaca-se a presença de falhas e juntas associadas à reativação de zonas de fraqueza do LTB. Essas estruturas rúpteis foram responsáveis por gerar o padrão de drenagens atual, formando lineamentos de direção NW-SE. Este estágio pode ser responsável por intrusões de leucogranitos que ocorrem na área do PMR e se encontram pouco deformados.

Por fim, este é classificado como colapso pós-orogênico (Figura 8.6), que foi responsável pela geração de estruturas antitéticas de alívio. Porém, ainda não existem datações ou estudos detalhados referentes aos efeitos dessas estruturas no orógeno.

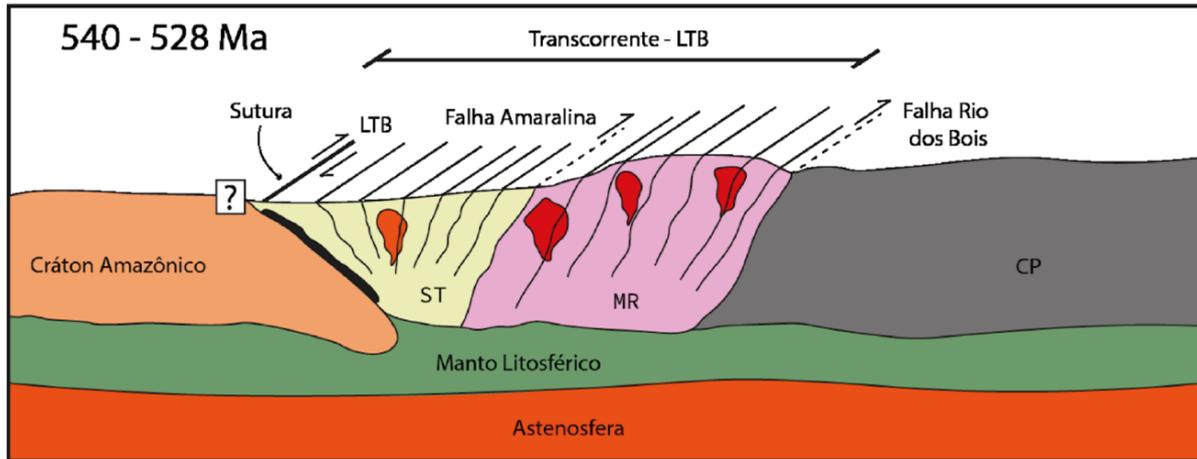


Figura 8.6: *Estágio Extensional a Pós-Orogênico. Destaque para o colapso aproveitando as estruturas formadas durante o Transbrasiliano. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.*

8.3 Modelo Evolutivo do Arco Magmático Mara Rosa

O início da evolução tectônica do Orogênio Brasília é marcado por períodos de acreção crustal durante o Paleoproterozoico e Neoproterozoico, envolvendo vários estágios de subducção. Esses estágios são colocados principalmente com relação aos crátons São Francisco e Amazônico, que atualmente se situam nas porções leste e oeste do Arco Mara Rosa, respectivamente. Além disso, os estágios relativos ao ápice da orogênese são marcados por uma tectônica transcorrente representada pelo Lineamento Transbrasiliano.

O primeiro estágio, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma, é o da subducção do Arco Campinorte que evoluiu para o Maciço de Goiás, considerado uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017) (Figura 8.7-A-B). Em seguida, entre 900 e 800 Ma, houve um estágio de subducção de um arco intra-oceânico, correspondente ao Arco Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7-C).

O estágio de colisão entre o Arco Mara Rosa e o Cráton São Francisco, ocorrido entre 670 e 600 Ma, marcou a evolução de um arco intra-oceânico para um arco continental (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7-D), correspondente ao Arco Santa Terezinha. O estágio colisional a pós-colisional, que ocorre entre 590 e 560 Ma, marca a colagem dos crátons Amazônico e São Francisco, representando a porção ocidental do supercontinente Gondwana (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7-E).

Por fim, o colapso orogênico marca um período de tectônica extensional, possivelmente ocorrido durante o Fanerozoico (Frasca, 2015). Poucos estudos foram realizados nas áreas do

PMR sobre as implicações desse estágio para a evolução tectônica da área, porém certamente apresenta feições que não se enquadram nos outros estágios tectônicos.

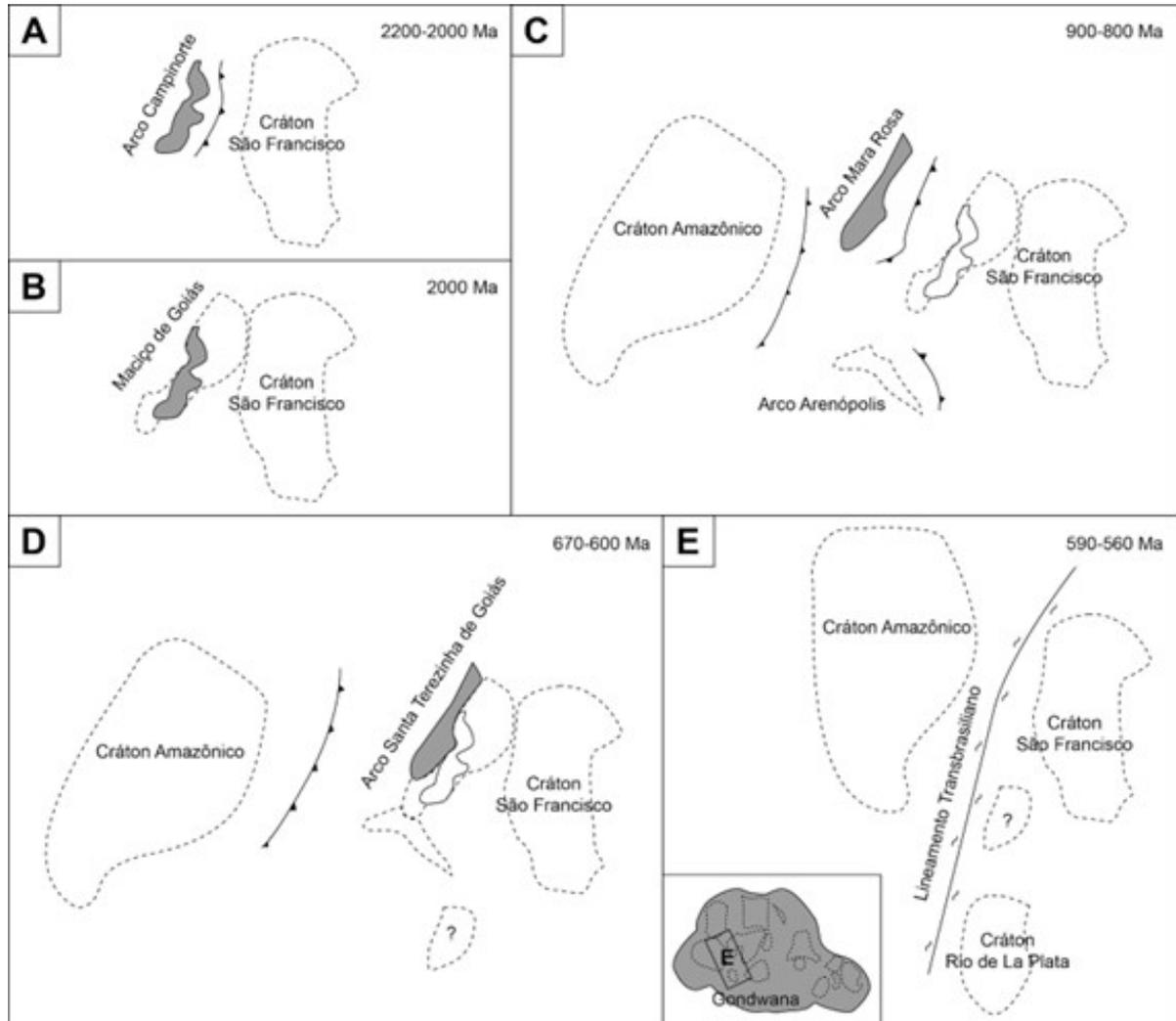


Figura 8.7: Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliense no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira et al. (2004).

Capítulo 9

Conclusões e Recomendações

O mapeamento realizado na escala 1:25.000 no PMR envolvem um domínio paleoproterozóico e um domínio neoproterozóico, caracterizados pelo Complexo Granulítico Uruaçu, sequências metavulcanossedimentares (Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinhas), sequências metassedimentares (Grupo Serra da Mesa), intrusões plutônicas pré, sin, tardi e pós tectônicas (Suíte Pau de Mel, Plúton Faina, Metaplutônicas Máficas e Leucogranitos Bom Jesus).

Sobre as geotecnologias utilizadas, destaca-se que os produtos gerados na etapa pré-campo foram essenciais para a realização do mapeamento, a utilização sistemática da geofísica aérea deu-se por fundamental em todas etapas do projeto, com os padrões de estruturas coincidindo com a magnetometria e alguns padrões de corpos geológicos coincidindo com a gamaespectrometria. Entretanto, evidencia-se que as comparações da geofísica aérea aliada aos dados de STRM e imagens de satélite se tornaram peça chave para solucionar traçados finais de contatos geológicos e estruturas.

O mapa geológico do PMR não contempla os depósitos aluvionares e coberturas lateríticas como unidades cartografadas, em função da prioridade estabelecida com a evolução cartográfica das rochas que compõem o substrato dessas coberturas, determinada em conjunto para que este auxiliasse o máximo a prospecção, descrição e gerência dos recursos minerais envolvidos neste contexto, como descrito anteriormente, uma região extremamente fértil de mineralizações.

Em relação às mineralizações do projeto, conclui-se que a fertilidade da região se mostrou contínua e passível de prolongamento de projetos em andamento e nascimento de novos prospectos e empresas, como descrito no capítulo 7, a Serra de Bom Jesus com suas rochas ricas em cianita e pirita, seu trend magnetométrico NE-SW/E-W e altos valores de potássio na gamaespectrometria, se mostram, como definido no conceito de sistema mineral, este trabalho

apresenta uma intensa integração de dados que podem auxiliar a caracterização de possíveis footprints dos depósitos do tipo Au-Cu pórfiro da região.

Quanto às recomendações de caráter prospectivo no projeto e na subárea IV, ainda no conceito de sistema mineral, podemos ressaltar a utilização e refinamento de mais dados, para possíveis follow-ups, incluindo novas geotecnologias tais como a utilização de drones para aerolevantamentos variados como sensoriamento espacial, magnetometria e gamaespectrometria, podendo associar estes a conceitos de inteligência artificial e machine learning na tentativa de densificar malhas, automatizar e padronizar voos além de atribuir de dados de maneira eficiente e em maior detalhe.

Do ponto de vista estrutural, este mapeamento contribuiu para o desenvolvimento e demarcações de estruturas, neste sistema complexo de zonas de cisalhamento de baixo ângulo, falhas de empurrão com rampas oblíquas, laterais e frontais, zonas de cisalhamento transcorrentes, em que estes todos compõem o arcabouço estrutural do PRM, também se mostraram condizentes com o padrão regional descrito na literatura, com sistemas transpressivos com movimentos oblíquos reversos predominantes, cinemáticas destrais e sinistrais subordinadas com topo para SE, transporte tectônico para leste em que estas características se provaram de maneira fractal, sendo observadas em escalas macro, meso e micro. Este trabalho também forneceu mais informações quanto às relações de corte das estruturas tardias E-W, N-S e N-W, pouco descritas em trabalhos anteriores (Figura 9.1)

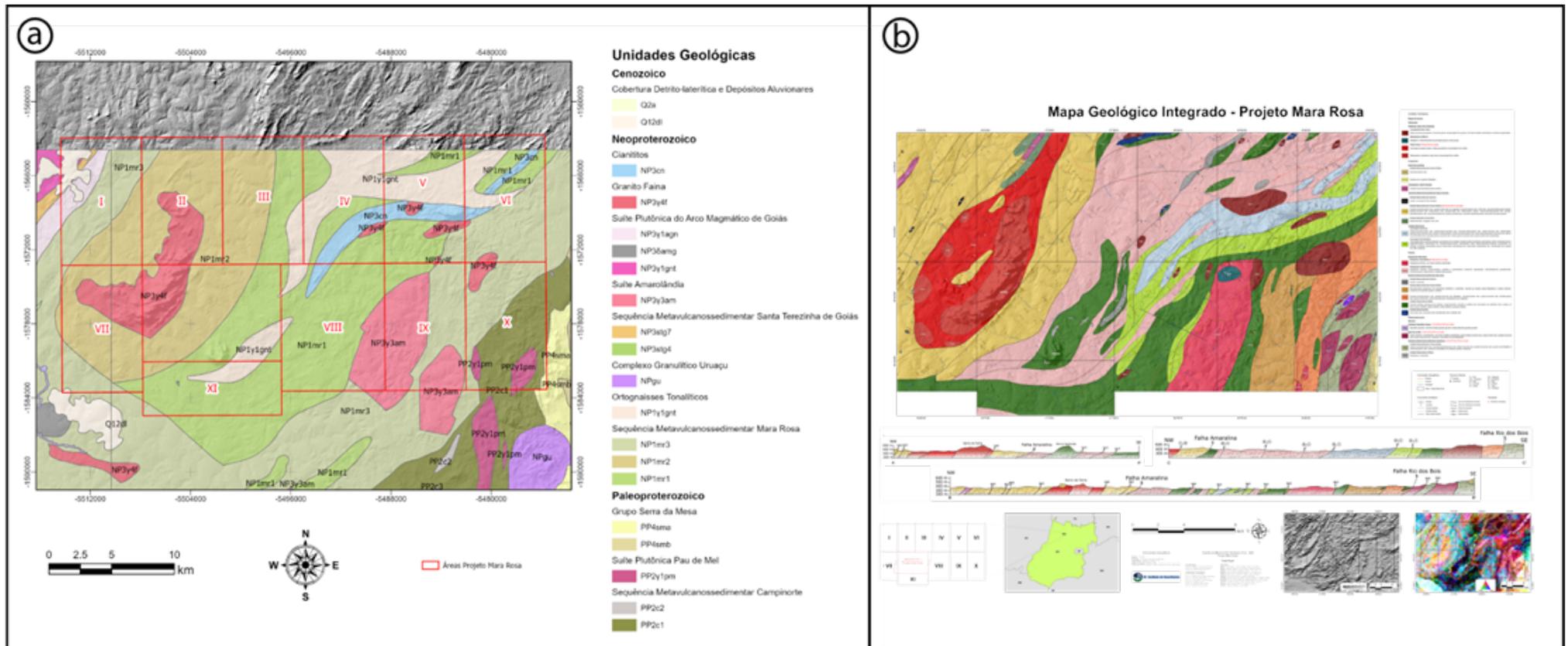


Figura 9.1: Mapa geológico do Projeto Mara Rosa gerado a partir de dados fornecidos pela CPRM - Folha Campinorte SD.22-Z-B-1

Entretanto, como este projeto carece de análises geoquímicas e métodos analíticos de datação geocronológicas, algumas incógnitas ainda permanecem, sendo essas a possível presença de hornfels na Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha, uma melhor caracterização entre os Ortognaisses Santa Terezinha e os Ortognaisses Mara Rosa, em que nos de Mara Rosa ainda se faz necessária a caracterização dos indiferenciados, datação e análises genéticas de todas as estruturas com foco no contato ST-MR e caracterizações petrogenéticas das rochas da Associação Hidrotermal.

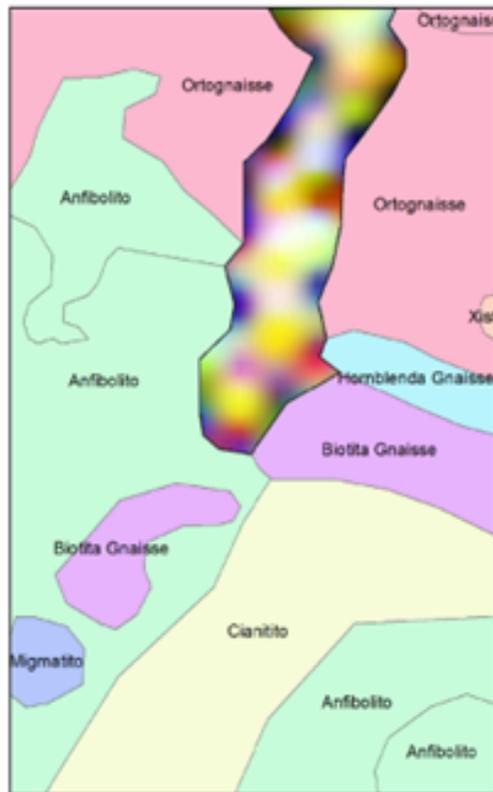
Para solucionar estes problemas, sugere-se análises geoquímicas de maiores, menores e traços na maioria das unidades, análises geotermobarométricas dos possíveis hornfels, mais análises de Rb/Sr e Sm/Nd nas granadas presentes nos Ortognaisses Santa Terezinha e Mara Rosa e comparações entre estes.

Em relação à subárea IV, sugere-se a aplicação do método U-Pb em zircões presentes nos Leucogranitos Bom Jesus, além também dos métodos Lu-Hf, U-Pb e elementos traços nos cristais de zircão, apatita e rutilo nas rochas da Unidade Hidrotermal por meio de LA-ICP-MS.

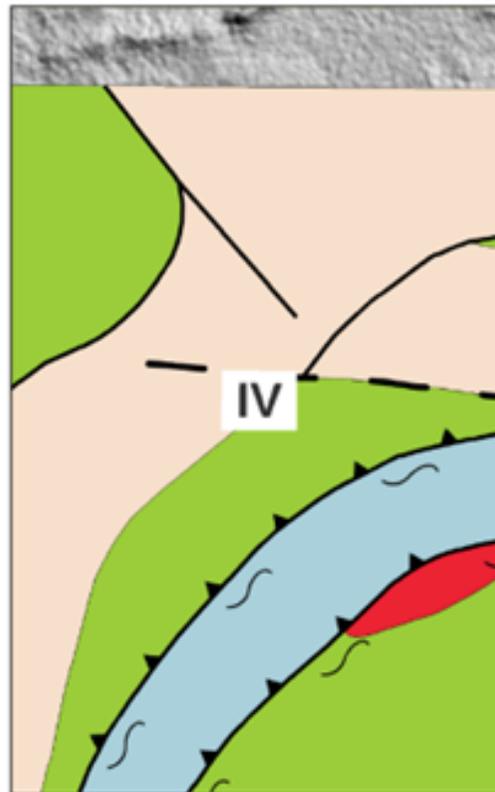
Tratando-se do objetivo principal deste trabalho, que consistiu na evolução da cartografia da região, conclui-se que este foi cumprido com êxito, visto que como apresentado na comparação (figura 9.1) e (figura 9.2) a densidade de informações foi aumentada consideravelmente, tais como: adição de unidades e estruturas, readequamento de contatos e relações de corte e adição das ocorrências minerais.

Por fim, também é possível concluir que todos os objetivos parciais para obtenção do grau de bacharel em geologia foram alcançados, em função do êxito na aplicação de teorias e técnicas adquiridas na forma de conhecimento ao longo do curso de geologia da Universidade de Brasília, dentro da viabilidade e variabilidade situacional do Projeto Mara Rosa.

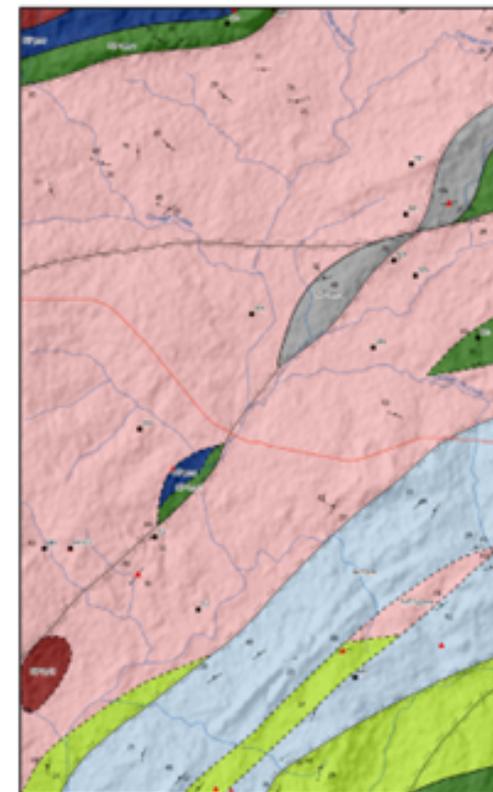
Evolução da Cartografia Geológica



Mapa Litogeofísico Preliminar
Subárea IV



Mapa Geológico
Campinorte



Mapa Geológico Subárea IV
Projeto Mara Rosa



Figura 9.2: Comparação entre mapas geológicos indicando a evolução cartográfica realizada na Subárea IV.

Referências Bibliográficas

- ABDALLAH, S. Geology and geochemistry of bois river suite, mara rosa (go): evidence of magmatic arc paleoproterozoic. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 1, p. 43–43, 2014.
- ALMEIDA, F. D. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, Elsevier, v. 17, n. 1-2, p. 1–29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. d. O cráton do são francisco. **Revista Brasileira de geociências**, v. 7, n. 4, p. 349–364, 1977.
- BLAKELY, R. J. **Potential theory in gravity and magnetic applications**. [S.l.]: Cambridge university press, 1996.
- BLAKELY, R. J.; SIMPSON, R. W. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. **Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, v. 51, n. 7, p. 1494–1498, 1986.
- BRAUN, O. P. Contribuição à geomorfologia do brasil central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 32, n. 3, p. 3–39, 1971.
- CABY, R. and implications for plate tectonics in the trans-saharan segment of the pan-african belt. **Eur. J. Mineral**, v. 6, p. 235–244, 1994.
- CAVALCANTE, V. B. P.; EVANGELISTA, H. J. Distrito manganêsífero de saúde, grupo dom silvério-mg: caracterização mineralógica e petrográfica do protominério. 2004.
- CHIARINI, M. F. N. Contribuição da aerogeofísica na caracterização de suturas e de sistemas transcorrentes: O exemplo de porangatu, brasil central. 2007.
- CIMINELLI, R. R. 2. desempenho funcional dos minerais. **Rochas & Minerais Industriais**, p. 31, 2005.
- COELHO, D. M. Análise geológico-geofísica do sistema hidrotermal pórfiro do arco magmático arenópolis. 2021.
- CORDANI, U. G. et al. The significance of the transbrasiliiano-kandi tectonic corridor for the amalgamation of west gondwana. **Brazilian journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 583–597, 2013.

- CORDEIRO, P. F. de O.; OLIVEIRA, C. G. de. The goiás massif: Implications for a pre-columbia 2.2–2.0 ga continent-wide amalgamation cycle in central brazil. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 298, p. 403–420, 2017.
- CORDEIRO, P. F. de O. et al. The paleoproterozoic campinorte arc: tectonic evolution of a central brazil pre-columbia orogeny. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 251, p. 49–61, 2014.
- DANTAS, E. L. et al. Geologia da folha porangatu sd. 22-xdi. CPRM; UnB, 2007.
- DANTAS, E. L. et al. Provenance and depositional age of metavolcano-sedimentary sequences of the santa terezinha de goias, based on sm-nd and u-pb zircon single grain. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 329–334, 2001.
- DARDENNE, M. The brasília fold belt, 231-263 in cordanni, ug; milani, ej; thomaz filho, a.; campos, da tectonic evolution of south america. In: **31st INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOLOGY, Rio de Janeiro-Brazil**. [S.l.: s.n.], 2000.
- DARDENNE, M. A. Os grupos paranoá e bambuí na faixa dobrada brasília. **Simpósio sobre o Cráton São Francisco e suas faixas marginais**, v. 1, p. 140–157, 1981.
- DENTITH, M.; MUDGE, S. T. **Geophysics for the mineral exploration geoscientist**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2014.
- DONOVAN, T. J. et al. Low-altitude aeromagnetic reconnaissance for petroleum in the arctic national wildlife refuge, alaska. **Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, v. 49, n. 8, p. 1338–1353, 1984.
- FILHO, J. O. de A. The pirineus syntaxis: An example of the intersection of two brasiliano fold-thrust belts in central brazil and its implications for the tectonic evolution of western gondwana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 144–148, 2000.
- FRASCA, A. A. S. **Amálgamas do W-Gondwana na província Tocantins**. Tese (Doutorado), 2015.
- FUCK, R. et al. Compartimentação da faixa brasília. **SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste**, v. 9, p. 26–27, 2005.
- FUCK, R. A. et al. The santa terezinha sequence, goias magmatic arc, central brazil: constraints from u-pb and sm-nd data. 2006.
- FUCK, R. A. et al. The northern brasília belt. **São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent**, Springer, p. 205–220, 2017.
- GILL, R. **Modern Analytical Geochemistry: an introduction to quantitative chemical analysis techniques for Earth, environmental and materials scientists**. [S.l.]: Routledge, 2014.

GIUSTINA, M. E. et al. U-pb and sm-nd constraints on the nature of the campinorte sequence and related palaeoproterozoic juvenile orthogneisses, tocantins province, central brazil. **Geological Society, London, Special Publications**, The Geological Society of London London, v. 323, n. 1, p. 255–269, 2009.

GIUSTINA, M. E. S. D. Geologia e geocronologia da sequência vulcano-sedimentar campinorte e do complexo uruaçu, província tocantins. 2007.

GIUSTINA, M. E. S. D. et al. Neoproterozoic magmatism and high-grade metamorphism in the goiás massif: new la-mc-icmcs u–pb and sm–nd data and implications for collisional history of the brasília belt. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 172, n. 1-2, p. 67–79, 2009.

GONÇALVES, L. E.; ALKMIM, F. F. d.; PEDROSA-SOARES, A. C. Características geoquímicas da suíte g1, arco magmático do orógeno arauaí, entre governador valadares e ipanema, mg. **Rem: Revista Escola de Minas**, SciELO Brasil, v. 63, p. 457–464, 2010.

HALE, M.; PORTO, C. G. Geomorphological evolution and supergene gold ore at posse, goias state, brazil. **Catena**, Elsevier, v. 21, n. 2-3, p. 145–157, 1994.

HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, p. 141–169, 2010.

HASUI, Y. Compartimentação geológica do brasil. **Geologia do Brasil. São Paulo: BECA**, p. 112–122, 2012.

HASUI, Y.; ALMEIDA, F. d. Geocronologia do centro-oeste brasileiro. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 19, n. 1, p. 5–26, 1970.

JAMES, M. J. O depósito de au-ag-barita zacarias, orógeno brasília, brasil central: mineralização vulcanogênica toniana associada ao arco magmático goiás. 2022.

JOFFILY, C. M. L. d. C. Caracterização descritiva e genética do cianitito da serra das araras, arco magmático mara rosa. 2006.

JUNGES, S. L.; PIMENTEL, M. M.; MORAES, R. de. Nd isotopic study of the neoproterozoic mara rosa arc, central brazil: implications for the evolution of the brasilia belt. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 117, n. 1-2, p. 101–118, 2002.

KRÖNER, A.; CORDANI, U. African, southern indian and south american cratons were not part of the rodinia supercontinent: evidence from field relationships and geochronology. **Tectonophysics**, Elsevier, v. 375, n. 1-4, p. 325–352, 2003.

KUYMJIAN, R. M. et al. Geologia do limite entre os terrenos arqueanos e o arco magmático de goiás na região de chapada-campinorte, goiás. **Brazilian Journal of Geology**, v. 34, n. 3, p. 329–334, 2008.

KUYUMJIAN, R. Geologia da sequência mara rosa na região de chapada, goiás. **Anais, IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Brasilia**, p. 142–144, 1994.

- LAUX, J. H. et al. Two neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília belt, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Elsevier, v. 18, n. 2, p. 183–198, 2005.
- LUZ, A. B. d.; LINS, F. A. F. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. [S.l.]: CETEM/MCT, 2005.
- MACHADO, E.; OLIVEIRA, C. Novas considerações e integração geológica na região de pilar-crixás/mara rosa-porangatu. **SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE**, v. 1, p. 300–318, 1981.
- MARQUES, G. C. Geologia dos grupos arai e serra da mesa e seu embasamento no sul do Tocantins. 2009.
- MARTINS-FERREIRA, M. A. C. et al. Proterozoic intracontinental basin succession in the western margin of the São Francisco craton: constraints from detrital zircon geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, Elsevier, v. 81, p. 165–176, 2018.
- MATTEINI, M. et al. In situ zircon U–Pb and Lu–Hf isotope systematic on magmatic rocks: insights on the crustal evolution of the neoproterozoic Goiás magmatic arc, Brasília belt, central Brazil. **Gondwana Research**, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 1–12, 2010.
- MORAES, W. P. Geoquímica e composição isotópica de Sr do complexo granulítico Santa Maria Chico, Cráton Rio de la Plata, RS. 2016.
- NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, v. 37, n. 3, p. 507–517, 1972.
- NABIGHIAN, M. N. et al. The historical development of the magnetic method in exploration. **Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, v. 70, n. 6, p. 33ND–61ND, 2005.
- NASCIMENTO, M. A. L. do. Geomorfologia do estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 12, n. 1, p. 01–22, 1992.
- NEVES, B. B. d. B. et al. Idades U–Pb em zircão de alguns granitos clássicos da província Borborema. **Geologia USP. Série Científica**, v. 3, p. 25–38, 2003.
- NEVES, B. B. de B.; NETO, M. d. C. C.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano–Pan African cycle and orogenic collage. **Episodes Journal of International Geoscience**, International Union of Geological Sciences, v. 22, n. 3, p. 155–166, 1999.
- OLIVEIRA, C. et al. Nota explicativa e mapa geológico da folha Campinorte (folha SD. 22-XD-IV, 1: 100.000). **Brasília, CPRM**, 2006.
- OLIVEIRA, C. G. D.; QUEIROZ, C. L. D.; PIMENTEL, M. M. The Arenópolis–Mara Rosa gold–copper belt, neoproterozoic Goiás magmatic arc. **Revista Brasileira Geociências**, v. 30, p. 219–221, 2000.

OLIVEIRA, C. G. de et al. The chapada cu–au deposit, mara rosa magmatic arc, central brazil: constraints on the metallogensis of a neoproterozoic large porphyry-type deposit. **Ore Geology Reviews**, Elsevier, v. 72, p. 1–21, 2016.

OLIVEIRA, C. G. de et al. The copper–gold and gold deposits of the neoproterozoic mara rosa magmatic arc, central brazil. **Ore Geology Reviews**, Elsevier, v. 25, n. 3-4, p. 285–299, 2004.

PALERMO, N.; PORTO, C. G.; JUNIOR, C. C. The mara rosa gold district, central brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 2, p. 256–260, 2000.

PIMENTEL, M. et al. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. **Tectonic Evolution of South America**, In-Fólio Produção Editorial, Rio de Janeiro, Brazil, v. 31, p. 195–229, 2000.

PIMENTEL, M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O embasamento da faixa Brasília eo arco magmático de Goiás. **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, Beca São Paulo, v. 1, p. 355–368, 2004.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the neoproterozoic Brasília belt, central brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, SciELO Brasil, v. 46, p. 67–82, 2016.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Neoproterozoic crustal accretion in central brazil. **Geology**, Geological Society of America, v. 20, n. 4, p. 375–379, 1992.

PIMENTEL, M. M. et al. The mara rosa arch in the Tocantins province: Further evidence for neoproterozoic crustal accretion in central brazil. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 81, n. 3-4, p. 299–310, 1997.

PIUZANA, D. et al. Shrimp u–pb and sm–nd data for the araxá group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sedimentation and geodynamic context of the southern Brasília belt, central brazil. **Precambrian Research**, Elsevier, v. 125, n. 1-2, p. 139–160, 2003.

POLL, N. J. Geology of the Zacarias gold-silver-barite deposit, Goiás state, Brazil, the. **1990-1999-Mines Theses & Dissertations**, Colorado School of Mines. Arthur Lakes Library, 1994.

REEVES, C. **Aeromagnetic surveys: principles, practice and interpretation**. [S.l.]: Geosoft Washington (DC), 2005. v. 155.

RIBEIRO, V. B.; MANTOVANI, M.; LOURO, V. H. A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terra Didática**, v. 10, n. 1, p. 29–51, 2014.

RICHARDSON, S. V. et al. Origin and geochemistry of the chapada cu-au deposit, Goiás, Brazil; a metamorphosed wall-rock porphyry copper deposit. **Economic Geology**, Society of Economic Geologists, v. 81, n. 8, p. 1884–1898, 1986.

- ROBB, L. **Introduction to Ore Formation Processes**. [S.l.]: Blackwell Publishing Company, UK, 373p, 2005.
- SCHOBENHAUS, C. A evolucao da plataforma sul-americana no brasil e suas principais concentracoes minerais. **Geologia do Brasil**, DNPM, p. 9–53, 1984.
- SHIMABUKURO, N. T.; BALTAR, C. A. M.; VIDAL, F. W. H. Beneficiamento de talco: estudos em escala de bancada. CETEM, 1979.
- SILVA, J.; SÁ, J. Jazida de cobre de chapada, mara rosa, goiás. In: **Principais depósitos minerais do Brasil**. [S.l.: s.n.], 1988. p. 55–60.
- SILVA, L. J. D.-R. et al. Coeval perpendicular shortenings in the Brasília belt: Collision of irregular plate margins leading to oroclinal bending in the neoproterozoic of central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Elsevier, v. 32, n. 1, p. 1–13, 2011.
- SOUZA, J.; NETO, R. L. Projeto estudo dos garimpos brasileiros: mapeamento geológico da área do garimpo de esmeralda de Santa Terezinha de Goiás, GO. **Relatório Preliminar, DNPM/CPRM, Goiânia**, 1984.
- UHLEIN, A. et al. Tectônica da faixa de dobramentos Brasília–setores setentrional e meridional. **Geonomos**, 2012.
- VALERIANO, C. d. M. et al. A evolução tectônica da faixa Brasília. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. BECA, p. 575–592, 2004.
- VALERIANO, C. d. M. et al. Tectonic evolution of the Brasília belt, central Brazil, and early assembly of Gondwana. **Geological Society, London, Special Publications**, The Geological Society of London London, v. 294, n. 1, p. 197–210, 2008.
- VIANA, M. D. G. et al. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: dados geoquímicos e geocronológicos e suas implicações regionais. **Brazilian Journal of Geology**, v. 25, n. 2, p. 111–123, 1995.
- WERLANG, T. Um fragmento paleoarqueano no Cráton do São Francisco, Brasil. 2019.
- YARDLEY, B.; WARREN, C. **An introduction to metamorphic petrology**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2021.