



**Universidade de Brasília**  
**Instituto de Geociências - IGD**

Cauê Oliveira Miranda - 18/0046128  
Natanael Alencar Pereira - 17/0153029

## **TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL**

**Projeto Arenópolis - GO**  
**Área VII**

Brasília  
2023



**Universidade de Brasília**  
**Instituto de Geociências**  
**Curso de Graduação em Geologia**

Cauê Oliveira Miranda - 18/0046128  
Natanael Alencar Pereira - 17/0153029

**RELATÓRIO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL**  
**Projeto Arenópolis**  
**ÁREA VII**

Relatório apresentado como produto final para disciplina de "Mapeamento Geológico Final" como parte das exigências para a obtenção do título de Geólogo, referente ao mapeamento geológico na escala 1:25.000 da região de Arenópolis.

**Coordenadora**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Natalia Hauser

**Professores Orientadores**

Prof. Dr. Elton Luiz Dantas  
Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas  
Prof. Dr. Caio Arthur Santos  
Dr. Italo Lopes de Oliveira  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Julia Barbosa Curto Ma



## **Agradecimentos**

Meus agradecimentos iniciais se estendem ao meu núcleo familiar, agradeço primeiramente à minha mãe, Adriana Cristina, que sempre se esforçou para que eu pudesse enxergar-la como um exemplo de grande valia, que sempre se atentou ao fato de me proporcionar uma boa educação e que sempre me apoiou em diversos momentos. À minha vó, Maria de Fátima, à minha tia Andréa Paula, às minhas tias-avós Divina da Conceição e Dirce Maria por serem sempre grandes fontes de incentivo. À minha eterna amiga, Bianca Cristina (*in memoriam*), por sempre ter acreditado, me incentivado e me impulsionado a não desistir.

Aos afetos da Geologia, gostaria de agradecer à Lorrane Barboza, colega de semestre e que sempre torceu por mim. Ao meu parceiro de TF, Cauê Oliveira, por ter topado realizar esse extenso trabalho comigo. Ao Jefferson Rodrigues, Matheus Melo e Suellen Magalhães pelas conversas, risadas e companheirismo.

Agradeço ao Instituto de Geociências, todo corpo docente e funcionários. Em especial, agradeço ao Willian Gervazio, Jean Moreira e o Mendes por se preocuparem e estarem prontamente dispostos ao resgate pós-ataques de abelhas. Aos professores, orientadores e colegas do Projeto Arenópolis; À professora Natalia Hauser, que se tornou um símbolo profissional para mim, agradeço pela orientação e disponibilidade.

Por fim, agradeço a todas as situações que me fizeram e por vezes me refizeram.

*Natanael Alencar*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à minha mãe, Márcia Oliveira, que me guiou e me apoiou por todo esse percurso acadêmico. Ouviu minhas reclamações e histórias, mesmo muitas vezes sem entender completamente. Obrigado pela confiança, por acreditar em mim e me incentivar durante essa jornada, eu sou o que sou hoje, graças a você.

Agradeço aos professores que participaram do projeto e da graduação, por todo esforço e dedicação com os estudantes. Agradeço em especial à Natália, nossa coordenadora durante o TF e o Mapeamento Geológico II, por toda paciência e dedicação com a geologia. Aos professores Elton, Claudinei e Eloi por exporem as belezas da geologia e por todas as contribuições para minha formação profissional.

Agradeço ao meu parceiro de TF, Natanael, que mesmo nos juntando pelo acaso, perduramos e conseguimos realizar este extenso trabalho juntos.

Agradeço aos funcionários da Universidade de Brasília e do Instituto de Geociências que sempre nos apoiaram durante a graduação. Aos funcionários excepcionais Mendes, William, Jean, Jairo e Serjão, que aceitam encarar nossas aventuras e nos apoiam em todos os trabalhos, sempre com presteza e amizade.

Por fim, agradeço aos meus amigos de longa data, Mateus, Bolo, Martins e Erb, que me acompanharam durante todo esse tempo e não desistiram de mim, apesar dos recorrentes sumiços que a geologia ocasiona. Aos meus amigos e parceiros de estudo que fiz durante essa jornada geológica, Carlos, Tiago, Humberto, Lucas, Heitor e Miguel, por todo o companheirismo, risadas e discussões nesse período.

*Cauê Oliveira Miranda*

## RESUMO

O Projeto Arenópolis constitui o Trabalho Final de Graduação em Geologia do ano de 2023, executado no âmbito do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. O produto principal do projeto constitui na elaboração de mapa geológico em escala 1:25.000, abrangendo áreas dos municípios de Arenópolis e Piranhas, localizados na porção sudoeste do estado de Goiás. A área total do projeto possui aproximadamente 900 km<sup>2</sup>, subdividido em dez subáreas. O presente relatório aborda os resultados referentes à Área VII. O mapeamento geológico realizado compreende as unidades geológicas do Arco Magmático de Goiás, mais especificamente da porção sul, denominado Segmento Arenópolis, de idade neoproterozóica, sendo o correspondente ao embasamento o Gnaiss Ribeirão de idade paleoproterozóica. Também, se enquadra na área de estudo uma pequena porção da Bacia do Paraná e corpos intrusivos cretáceos da Província Alcalina de Goiás. As unidades descritas na Área VII incluem: Granito Ribeirão Água Limpa, Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Granito Serra do Tatu, Gnaiss Arenópolis, Vulcânicas Córrego do Horácio e Diques Alcalinos da Suíte Alcalina de Iporá. Os dados adquiridos em campo, em conjunto com análises petrográficas e estruturais, permitiram identificar 4 fases deformacionais e metamorfismo em fácies anfibolito, com eventual retrometamorfismo em fácies xisto verde. Além disso, foi possível distinguir as unidades da Sequência Metavulcanossedimentar, por meio de características texturais e mineralógicas, e caracterizar as relações entre os diques alcalinos e as demais rochas, bem como interpretar uma possível situação geológica para os riolitos indeformados da área.

**Palavras-Chaves:** Arco Magmático de Goiás, Arco Magmático Arenópolis, Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Vulcânicas Córrego do Horácio, Rochas Alcalinas Subvulcânicas.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aco Magmático de Goiás - AMG  
Arco Magmático de Arenópolis - AMA  
ALOS - Advanced Land Observing Satellite  
AMG - Arco Magmático Goiás  
ASA - Amplitude do Sinal Analítico  
ASF - Alaska Satellite Facility  
CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite  
CMA - Campo Magnético Anômalo  
CMT - Campo Magnético Total  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CT - Contagem Total  
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral  
DF - Distrito Federal  
EPI - Equipamento de Proteção Individual  
ETR - Elementos Terras Raras  
GHT - Gradiente Horizontal Total  
GO - Goiás  
HFSE - High Field Strength Elements  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IGRF - International Geomagnetic Reference Field  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IOCG - Iron oxide Copper Gold  
JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency  
K - Potássio  
KF - Feldspato potássico  
LMNB - Lineamento Moiporá-Novo Brasil  
LTB - Lineamento Transbrasiliano  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MME - Ministério de Minas e Energia  
MUX - Câmera Multiespectral Regular  
MVS - Metavulcanossedimentar  
NASA - National Aeronautics and Space Administration  
NBR - Norma Brasileira  
PAGO - Província Alcalina de Goiás  
PALSAR - Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar  
RGB - Red - Green - Blue  
SCLM - Sub-Continental Lithospheric Mantle  
SMAP - Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas  
SGB/CPRM - Serviço Geológico Brasileiro  
Sistema de Informações Geográficas - SIG  
SHRIMP - Sensitive High-Resolution Ion MicroProbe  
SIEG - Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás  
  
Th - Tório  
U - Urânio

TanDEM-X - TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement  
WFI - Câmera de Campo Largo  
WPM - Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura  
ZCCA - Zona de Cisalhamento Córrego da Areia  
ZCP - Zona de Cisalhamento Piranhas  
ZCR - Zona de Cisalhamento Ribeirão

Anf - Anfibólio  
Aug - Augita  
Bt - Biotita  
Calc - Calcita  
Chl - Clorita  
Cpx - Clinopiroxênio  
Di - Diopsídio  
Ep - Epidoto  
Hbl - Hornblenda  
KF - Feldspato potássico  
Msc - Muscovita  
Ol - Olivina  
Opx - Ortopiroxênio  
Px - Piroxênio  
Pl - Plagioclásio  
Qtz - Quartzo  
Tre - Tremolita  
Ti-Aug - Titano-augita

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.1:** Mapa de localização do Projeto Arenópolis com as áreas destacadas em amarelo e a Área VII em vermelho.

**Figura 1.2:** Trajeto rodoviário de Brasília (DF) para Piranhas (GO) (Google Earth Pro).

**Figura 1.3:** Mapa de pontos e caminhamentos referente à Área VII.

**Figura 1.4:** Esboço Geológico da região de Arenópolis-Piranhas, sudeste de Goiás (modificado de Faria *et al.*, 1975)

**Figura 1.5:** Relação estratigráfica das rochas aflorantes no Córrego Santo Antônio (Carneiro, 2021).

**Figura 1.6:** Mapa geológico da região de estudo, situada entre Arenópolis-Piranhas modificado de CPRM, em elaboração (Carneiro, 2021).

**Figura 1.7:** Dados climatológicos anuais do município de Piranhas (GO) (SNIRH/ANA, 2022)

**Figura 1.8:** Mapa geomorfológico simplificado do Projeto Arenópolis.

**Figura 1.9:** Mapa pedológico simplificado do Projeto Arenópolis.

**Figura 1.10:** Mapa hidrográfico simplificado do Projeto Arenópolis.

**Figura 2.1:** Compartimentação geotectônica no Ciclo Brasileiro, caracterizando os crátons. (Hasui *et al.*, 2012)

**Figura 2.2:** Mapa geológico simplificado da Província Tocantins com destaque para a área de estudo (Pimentel *et al.*, 2004 e modificado de Ramos, 2010)

**Figura 2.3:** Mapa geológico simplificado do segmento sul da Faixa Brasília (Modificado de Pimentel *et al.*, 2000)

**Figura 2.4:** Coluna tectono-estratigráfica integrando dados das folhas Piranhas e Caiapônia, enfatizando as unidades abordadas no mapeamento geológico de Arenópolis em vermelho (Meneghini e Carneiro, 2020).

**Figura 2.5:** Coluna cronoestratigráfica das formações da Bacia do Paraná (Segundo Milani *et al.*, 1994; adaptado de Adorno, 2014).

**Figura 3.1:** Fluxograma de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.2:** A) Relevo sombreado na área do Projeto Arenópolis. B) Relevo sombreado na Área VII.

**Figura 3.3:** Mapa Hipsométrico do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.4:** Curva espectral da vegetação, do solo e da água e bandas TM correspondentes. (Camolez, 2023, adaptado de Florenzano, 2002).

**Figura 3.5:** Imagens CBERS-4A. A) Composição colorida R3B2G1. Composição colorida R4B3G2. Composição colorida R4B2G1.

**Figura 3.6:** Composições coloridas RGB de dados do Landsat 9.

**Figura 3.7:** Mapa de lineamentos de drenagem e relevo do Projeto Arenópolis e orientações preferenciais destacadas em diagrama de roseta.

**Figura 3.8:** Mapa Base da Área VII do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.9:** Localização da Área do Projeto Aerogeofísico do Arco Magmático de Arenópolis (CPRM, 2004).

**Figura 3.10:** Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total (Adaptado de Ribeiro *et al.*, 2013).

**Figura 3.11:** Fluxograma dos produtos gerados através do processamento de dados gamaespectrométricos. O potássio (K) expressa-se em porcentagem, equivalente de tório (eTh) expressa-se ppm, equivalente de urânio (eU) em ppm e a contagem total representa a medida da radiação em  $\mu\text{R/h}$ .

**Figura 3.12:** Fluxograma de processamento dos dados magnéticos utilizados no Projeto Arenópolis.

**Figura 3.13:** Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis e da Área VII.

**Figura 3.14:** Produtos gamaespectrométricos. A) Ternário RGB. B) Equivalente de Urânio (eU). C) Equivalente de Tório (eTh). D) Potássio (K). E) Contagem Total

**Figura 3.15:** Primeira derivada vertical e mapa de lineamentos magnéticos do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.16:** Mapa de domínios magnéticos do Projeto Arenópolis e da Área VII.

**Figura 3.17:** Produtos magnetométricos. A) ASA. B) CMA. C) TILT. D) DV1. E) GHT.

**Figura 4.1.** Feições de deformação no gnaiss Ribeiro, observadas no afloramento-tipo, inserido na área VIII (Coordenadas: 22S 434053 E 8173182 N). Em A, foliação anastomosada, truncada por fraturas; em B, leucossomas rompidos; em C, leucossomas em migmatito exibindo pinch-and-swell incipiente na porção inferior da imagem; já em D, foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C; em E, megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral; por fim, em F, migmatito com leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato.

**Figura 4.2.** (A) Rocha alterada de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estauroilite de hábito prismático que deforma a xistosidade: TF23-X-106 430682E 8166457S. (B) Afloramento in situ evidenciando foliação: TF23-X-181 428702E 81680537S

**Figura 4.3.** Afloramento tipo de anfíbolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (X: 434722,9973; Y: 8181581,737).

**Figura 4.4.** Área VI, ponto 120 (X: 431498,7736; Y: 8182539,859). Afloramento em lajedo mostrando gnaisses calcissilicáticos afetados pela Zona de Cisalhamento Ribeiro.

**Figura 4.5.** (A) TF23-X-12 432984E 8166649S: Aspecto de afloramento da unidade Gabro Morro do Baú no corpo arredondado. (B) TF23-X-12 432984E 8166649S: Detalhe do gabo deformado com bandamento centimétrico e veios leucocráticos discordantes. (C) TF23-X-13 433304E 8166548S: Gabro Morro do Baú com textura cumulática.

**Figura 4.6.** Área III - TF23-AIII-P106 (Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35). A - Afloramento em lajedo no leito do Córrego da Areia composto por gnaiss tonalítico milonitizado. B - Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

**Figura 4.7.** (A) Porfiroclasto sigmoidal de feldspato alcalino, exibindo rotação sinistral (destacada por setas amarelas) em meio a textura milonítica do biotita granito milonítico. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (C) Área VII - TF23-VII-79 (X: 437028; Y: 8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

**Figura 4.8.** Afloramentos do Granito Ribeiro Água Limpa. (A) Matação de rocha com bandamento gnáissico e composição granítica com evidências de fusão parcial - migmatitos. (B) Afloramento em lajedos, muito comum nos afloramentos da Área III. (C) Fácies granítica isotrópica, com granulação grossa, classificado como pegmatítica. (D) Fácies de composição granodiorítica foliada e ocasionalmente bandada.

**Figura 4.9.** (A) Afloramento em bloco do Granito Serra do Iran, os blocos podem alcançar 2 metros de altura como na figura, muito comum nas proximidades da Serra da Margarida. (B) Amostra de mão representativa da fácies do Granito Serra do Iran de granulação grossa e textura equigranular. (C - D) Feições de mixing-mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto (TF23-AV-P141, coordenadas: 431309E 8187001S).

**Figura 4.10.** TF23-AIII-P15 (Coordenadas X: 439660,33; Y: 8195281,30) - (A) Lajedo de dimensão métrica do Granito Rio Caiapó. (B) Detalhe para a fácies inequigranular seriada com megacrístais de feldspato potássico, classificada como granito porfirítico, e fraturas de direção NW-SE.

**Figura 4.11.** Diques sin-plutônicos ao tonalito, hospedados pela fácies granito porfirítico grosso, observados no ponto TF23-II-27 (Coordenadas X: 432888; Y: 8199463).

**Figura 4.12.** Derrames riolíticos característicos da unidade, com afloramento-tipo (A e B) localizado na área VII (Coordenadas: 22S 434487 E 8177659 N). (A) Derrame riolítico avermelhado, sob anfíbolito fino com enclaves do mesmo. Além disso, é possível observar no detalhe, amostra de riolito de coloração bege de textura glomeroporfirítica de quartzo e feldspato. (B) Clasto rotacionado ao ser incorporado no fluxo riolítico, com esferulitos visíveis na porção superior da imagem. (C) (Coordenadas: 22S 435676 E 8177906 N), diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu. Em D (Coordenadas: 22S 437572 E 8176637 N), afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas.

**Figura 4.13.** (A) Vista panorâmica da Bacia do Paraná e da Sequência Metavulcanossedimentar Córrego Santo Antônio na área X. (B) Arenito conglomerático com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-67 437339E 8166225N). (C) Arenito fino com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-79 431804E 8164059N).

**Figura 4.14.** Em A, blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto, indicando a presença de dique alcalino na Área VII (Coordenadas X: 431410; Y:8177514). Em B, dique alcalino cortando anfibolitos máficos da Unidade Córrego da Onça (Coordenadas: 22S 434922 E 8177863 N).

**Figura 4.15.** (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto que a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinito (TF23-AIII-P8 Coordenadas X: 440273,5; Y: 8194759,3). (C) Veio carbonatítico alojado em Melteijito. (D) Feições de brechas com clastos de clinopiroxenitos em meio a cimentação de matriz fina de composição félsica rica em feldspatóides.

**Figura 5.2:** Mapa Geológico do Projeto Arenópolis.

**Figura 5.3:** Mapa Geológico da Área VII.

**Figura 5.4: Aspecto em campo da Unidade Córrego da Onça.** A) Afloramento em lajedo de anfibolito exibindo plano de foliação (032/85) (Coordenadas - X: 435133; Y: 8177948). B) Afloramento de xisto máfico exibindo a ocorrência comum de veios de quartzo de diferentes espessuras (Coordenadas - X: 434533; Y: 8179518).

**Figura 5.5: Afloramento in situ de anfibolito da Unidade Córrego da Onça no córrego homônimo.** Se observam níveis mais ricos em epidoto, caracterizados pela coloração esverdeada clara exibindo bandamento milimétrico a centimétrico. (Coordenadas - X: 434987; Y:8177956).

**Figura 5.6: Características dos xistos máficos da Unidade Córrego da Onça em lâmina.** Essas rochas são caracterizadas por textura nematoblástica compostas majoritariamente por hornblenda (A), com domínios ricos em cristais de diopsídio e microfraturas com preenchimento por calcita (B) (TF23-VII-104, Coordenadas - X: 434533; Y: 8179518).

**Figura 5.7:** Diagrama composicional dos xistos máficos da Unidade Córrego da Onça.

**Figura 5.8: Características em amostras de mão dos diferentes tipos de rochas metassedimentares que ocorrem associadas a Unidade Córrego da Onça.** A) Clorita-muscovita quartzito com ênfase nas crenulações presentes (TF23-VII-198 Coordenadas - X: 433118; Y: 8178708). B) Muscovita xisto grafitoso de coloração vermelho-esverdeada (TF23-VII-204 Coordenadas - X: 432770; Y: 8179462). C) Muscovita xisto grafitoso de coloração acinzentada (TF23-VII-202 Coordenadas - X: 433012; Y: 8178907). D) Granada-muscovita xisto (TF23-VII-67 Coordenadas - X: 423033; Y: 8178943).

**Figura 5.9: Diferentes rochas observadas na Fácies Metassedimentar da Unidade Córrego do Santo Antônio em amostras de mãos.** Observa-se uma variedade de rochas, desde muscovita xistos, comumente intemperizados e de coloração avermelhada (A - Coordenadas - X: 420130; Y: 8180308), metacherts exibindo intercalação de bandas cinza escuro e cinza claro (B - Coordenadas - X: 424089; Y: 8179876), muscovita xistos, com grãos quartzosos e coloração avermelhada devido ao intemperismo (C - Coordenadas - X: 431055; Y: 8179100), e muscovita xistos com níveis ricos em quartzo e opacos preservando essas rochas (D - Coordenadas - X: 423906; Y: 8180165).

**Figura 5.10: Aspecto em campo dos mármore associados à Unidade Córrego do Santo Antônio.** A) Aspecto de blocos rolados de mármore impuro mostrando dobramento isoclinal B) Amostra de mármore exibindo bandamento composicional, os níveis esbranquiçados, correspondem a veios de quartzo formados durante a deformação. C) Amostra de mármore com nível centimétrico de calcita de coloração rosácea. (TF23-VII-162, Coordenadas - X: 424697; Y: 8178812).

**Figura 5.11: Fotomicrografia de mármore impuro da Fácies Metassedimentar Unidade Córrego do Santo Antônio (TF23-VII-162).** O bandamento composicional observado macroscopicamente nos mármore impuros da Unidade Córrego do Santo Antônio pode ser observado em lâmina, formando domínios máficos e calcíticos (A - Coordenadas X: 424697; Y: 8178812).

**Figura 5.12: Características dos tremolititos da Fácies Ultramáfica da Unidade Córrego do Santo Antônio.** Os tremolititos ocorrem comumente intemperizados, destacando-se por coloração



amarronzada e textura diablástica formada por cristais aciculares de tremolita sem orientação definida (A - TF23-VII-68, Coordenadas - X: 423227; Y: 8178852), quando não alterados apresentam coloração cinza-esverdeado (B - TF23-VII-179, Coordenadas - X: 422880; Y: 8181040). Tipicamente, ocorrem em paisagens de vegetação densa, que é característico das rochas metaultramáficas da Unidade Córrego do Santo Antônio (C).

**Figura 5.14: Amostras de mão de anfibolitos de diferente granulação, da Fácies metamáfica da Unidade Córrego do Santo** A) Anfibolito de granulação grossa sem orientação preferencial mineral (Coordenadas - X: 431332; Y: 8179304). B) Anfibolito de granulação média a grossa com minerais máficos de caráter globular (Coordenadas - X: 425601; Y: 8180135). C) Anfibolito de granulação fina (Coordenadas - X: 427936; Y: 8180205). D) Anfibolito de granulação fina e foliação proeminente (Coordenadas - X: 421519; Y: 8180575).

**Figura 5.15: Fotomicrografia do anfibolito fino a nicóis paralelos (A) e cruzados (B), no qual é possível agregados de hornblenda envolto por matriz formada por plagioclásio, epidoto e hornblenda** (TF23-VII-04, Coordenadas - X: 425601; Y: 8180135).

**Figura 5.16: Afloramento do Gnaiss Arenópolis exibindo foliação intensa e bandamentos marcando diferença composicional** (TF23-VII-92, Coordenadas X: 436311; Y: 8179119).

**Figura 5.17: Aspecto em lâmina da Unidade Gnaiss de Arenópolis.** Fotomicrografia a nicóis paralelos (A) e nicóis cruzados (B) respectivamente exibindo foliação gnáissica definida pelas bandas de hornblenda, biotita e fitas de quartzo e plagioclásio. C) Agregado de minerais máficos e intensa sericitização no cristais de plagioclásio e feldspato alcalino (TF23-VII-92, Coordenadas X: 436311; Y: 8179119). (D) Relação de contacto entre cristais de clorita que representam a biotita e plagioclásio intensamente alterado (TF23-VII-94, Coordenadas X: 436085; Y: 8179237).

**Figura 5.18: Características das Fácies Granítica do Granito Ribeirão Água Limpa.** Estas rochas exibem milonitização (A - TF23-VII-128, Coordenadas - X: 418334; Y: 8177473), lineação de estiramento mineral e forte orientação mineral (B;C, TF23-VII-146, Coordenadas - X: 417882; Y: 8179301) e, mais evidente próximo a ZCP. Aspecto da amostra de mão de granito porfirítico do Granito Ribeirão Água Limpa. Observa-se o aspecto inequigranular-porfirítico dada pelos fenocristais de feldspato potássico com tamanhos que variam entre 0,55 e 1 cm. Os cristais estão imersos numa matriz de quartzo, plagioclásio e biotita (D - TF23-VII-147, Coordenadas X: 418239; Y: 8178291).

**Figura 5.19. Aspecto campo de afloramento em lajedo no sopé da Serra do Tatu, referente a unidade monzo a sienograníticas do Granito Serra do Tatu** (A). Amostra de mão exibindo textura sacaroidal (B). (TF23-VII-79, Coordenadas X: 437028; Y: 8179502).

**Figura 5.20: Fotomicrografias da amostra TF23-VII-77** (Coordenadas - X: 436931; Y: 8179997) de sienogranito do Granito Serra do Tatu. Aspecto inequigranular a nicóis paralelos (A) e a nicóis cruzados (B). Fenocristais de ortoclásio com textura peritítica. A matriz é formada por quartzo, plagioclásio, ortoclásio e biotita. (C) Detalhe das texturas peritíticas. Também se observam cristais de quartzo e plagioclásio inclusos nos fenocristais de ortoclásio. D) Textura mimerquítica no contato entre o ortoclásio e plagioclásio.

**Figura 5.21 - Características estruturais e texturais das rochas riolíticas das Vulcânicas Córrego do Horácio.** A) Amostra de mão exibindo textura porfirítica em Riolito. B) Esferulitos em riolito. C) Amostra de Riolito intemperizada com presença de estrutura de fluxo (TF23-VII-26, Coordenadas - X: 434457; Y: 8177694).

**Figura 5.22: Estruturas diversas observadas em afloramentos de Riolitos.** A) Estrutura de contato quente entre anfibolito e riolito (Coordenadas, X:434987;Y:8177956). B) Estrutura de fluxo e laminação/bandamentos (Coordenadas, X:434987;Y:8177956). C) e D) Dobras de fluxo (Coordenadas, X: 434628;Y:8177809). E) Estrutura de contato intrusivo (Coordenadas, X:435526;Y:8177932).

**Figura. 5.23: Fotomicrografias a nicóis paralelos (A) e cruzados (B) da amostra APA-33.** A rocha é caracterizada como um riolito porfirítico composto por fenocristais de quartzo e sanidina em aglomerados porfiríticos imersos numa matriz félsica na qual se observam pequenos esferulitos. Destaque para a ausência de deformação nessa rocha.

**Figura 5.24:** A) Aspecto em campo das rochas alcalinas subvulcânicas da Suíte Alcalina de Iporá. Estas rochas são encontradas em afloramentos em blocos alinhados como em A (TF23-VII-156, Coordenadas - X: 431410; Y: 8177514) ou B (TF23-VII-45, Coordenadas - X: 431690; Y: 8178284). Menos frequentemente se encontra como diques intrudidos possivelmente em alguma unidade do embasamento, no caso C e D estão intrudidos na Unidade Córrego da Onça da SMAP, no córrego homônimo (TF23-VII-XXX, Coordenadas X:435133 ;Y:8177948 ). Em D se observa um caracter composto destes diques, um centro porfítico e uma borda afanítica com disjunção colunar pelo resfriamento rápido (TF23-VII-140, Coordenadas - X: 434922; Y: 8177863).

**Figura 5.25:** Aspecto em amostra de mão dos basanitos da Suíte Alcalina de Iporá. B e C) Basanitos porfíricos, compostos por fenocristais de titano-augita e olivina em uma matriz cinza e densa. (TF23-VII-45, Coordenadas - X: 431690;Y: 8178284).

**Figura 5.26: Fotomicrografia dos basanitos porfíricos (ARE-28A).** A) Típica textura porfírica destas rochas. No canto superior esquerdo observa-se fenocristais de titano-augita zonados e abaixo fenocristais euhedrais de olivina. Glomeropórfiros de microfenocristais de titano-augita também foram identificados. B) Detalhe da matriz fina destas rochas, observam-se microfenocristais de titano-augita, plagioclásio e magnetita, além de micrólitos de plagioclásio.

**Figura 6.1:** Mapa estrutural integrado do Projeto Arenópolis

**Figura 6.2:** Mapa de domínio estruturais presentes na Área VII.

**Figura 6.3:** A) Foliações medidas na Área VII referente ao domínio Piranhas no qual abarca exposições referentes ao Ribeirão Água Limpa. B) Foliações medidas na Área VII referentes ao Domínio Caiapônia abrangendo as exposições da SMVS Arenópolis-Piranhas e Serra do Tatu.

**Figura 7.1.** Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Modificado de Lacerda *et al.* (2021).

**Figura 7.2.** Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

**Figura 7.3:** A) Comparação entre o Gnaiss Água Limpa em sua fácies granítica porfírica e o Granito Rosa Iracema. B) Comparação entre o Granito Serra do Tatu em sua fácies protomilonítica grossa e o Amarelo Ornamental. C) Comparação entre mármore da Unidade Córrego do Santo Antônio e o Granito Rosa Raíssa.

**Figura 8.1:** Fechamento do Oceano Goiás-Farusiano com desenvolvimento das primeiras assembleias de arcos intra-oceânicos (cerca de 900 a 770 milhões de anos). Adaptado de Marques (2017).

**Figura 8.2:** Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

**Figura 8.3:** Modelo evolutivo do estágio de arco intra-oceânico na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.4:** Diagrama de classificação do índice de Shand (alumina-saturação) à esquerda e diagrama TAS para todas as unidades plutônicas e metaplutônicas do Projeto Arenópolis à direita. Fonte: SGB-CPRM (2021).

**Figura 8.5:** Modelo evolutivo do estágio de arco continental na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.6:** Modelo evolutivo do estágio pós-colisional na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.7:** Modelo proposto por Ferreira *et al.* (2022) para a evolução da litosfera facilitando a colocação dos magmas toleíticos e alcalinos de aproximadamente 130 milhões e 80 milhões de anos. Adaptado de Ferreira *et al.* (2022).

**Figura 8.9:** (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente a Unidade Córrego do Santo Antônio (416244E/8190590S), evidenciando (B) o padrão de interferência de dobra  $F_2$  com dobra  $F_1$  e as relações de sobreposição das gerações de foliações. A Foliação plano-axial  $S_2$  compõe a foliação predominante na área do projeto, enquanto a foliação  $S_1$  se mostra transposta e incluída nos planos de  $F_2$ . (C) Estereograma mostrando os pólos dos flancos da dobra  $F_2$ , bem como o seu perfil e superfície axial, além do eixo.

**Figura 8.10:** Modelo proposto para a região do Projeto Arenópolis. Destaca-se o cisalhamento regional sinistral com falhas antitéticas e sintéticas e as respectivas direções de encurtamento e estiramento.

**Figura 9.1:** Comparação da evolução do conhecimento geológico na área do Projeto Arenópolis.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.1:** Cronograma de distribuição de atividades mensais do trabalho final.

**Tabela 2.1:** Idades geocronológicas das unidades que compõem o Projeto Arenópolis.

**Tabela 2.2:** Evolução do conhecimento da Suíte Alcalina de Goiás.

**Tabela 3.1:** Especificações do sensor WPM do satélite CBERS 04A e metadados das cenas utilizadas no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.2:** Especificações do sensor OLI do satélite Landsat 9 e metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.3:** Especificações do MDE do Alos Palsar e metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.4:** Especificações do *hillshade* do TanDEM-X utilizado no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.5:** Especificações do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis. Informações obtidas em LASA (2004).

**Tabela 3.6:** Conteúdo de radioelementos em rochas e solos australianos (Modificado de Dickson & Scott, 1997).

**Tabela 3.7:** Características dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.8:** Características dos domínios magnéticos do Projeto Arenópolis.

**Tabela 8.1:** Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente às unidades do Projeto Arenópolis.

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>18</b>
1.1. Considerações Iniciais.....	18
1.2. Objetivos.....	18
1.3. Localização e Vias de Acesso.....	19
1.4. Materiais e Métodos.....	22
1.4.1. Etapa Pré-Campo.....	22
1.4.2. Etapa de Campo.....	23
1.4.3 Etapa Pós-Campo.....	25
1.5. Evolução do conhecimento geológico.....	25
1.6. Aspectos Fisiográficos.....	30
1.6.1. Clima.....	30
1.6.2. Geomorfologia.....	31
1.6.3. Pedologia.....	32
1.6.4. Hidrografia.....	33
<b>2. Geologia Regional.....</b>	<b>34</b>
2.1. Contexto Geológico Regional da Província Tocantins.....	34
2.2. Orógeno Brasília.....	35
2.3. Arco Magmático de Goiás (AMG).....	39
2.4. Segmento Arenópolis (AMA).....	40
2.5. Contexto Geológico do Projeto Arenópolis-GO.....	42
2.5.1. Gnaiss Ribeiro (PP3yr).....	44
2.5.2. Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas (SMAP) [NP1apo/NP1apa].....	45
Unidade Córrego da Onça (NP1apo).....	46
Subunidade Máfica.....	46
Subunidade Intermediária-Félsica.....	47
Corpos Intrusivos Básicos a Ácidos.....	48
Unidade Córrego do Santo Antônio (NP1apa).....	48
Corpos Máfico-Ultramáficos.....	49
Rochas Metassedimentares.....	49
Rochas calcissilicáticas.....	49
Mármore.....	50
2.5.3. Gnaiss Arenópolis (NP1yna).....	50
2.5.4. Gabro Morro do Baú (NP1ðmb).....	51
2.5.5. Granitos Criogenianos.....	51
Granito Serra do Tatu (NP2yst).....	51
Granito Ribeirão Água Limpa (NP2ayal).....	52
2.5.6. Vulcânicas Córrego do Horácio (NPach).....	52
2.5.7. Granitos Ediacaranos.....	53
Granito Rio Caiapó (NP3ycal).....	53
Granito Serra do Iran (NP3ysnir/NP3ðsnirg).....	53
Granito Serra Negra (ε1ysnn).....	54
2.5.8. Bacia do Paraná.....	54
Grupo Rio Ivaí.....	55
Formação Iapó (Q3i).....	55
Formação Vila Maria (S1vm).....	55

Grupo Paraná.....	56
Formação Furnas (D1f).....	56
Formação Ponta Grossa (Dpg).....	56
2.5.9. Suíte Alcalina de Goiás (JKli).....	57
Corpo Arenópolis (Jkliia).....	58
2.5.10. Coberturas Detrito-lateríticas ferruginosas (N1dl).....	58
<b>3. Sensoriamento Remoto e Geofísica.....</b>	<b>58</b>
3.1 Sensoriamento Remoto.....	59
3.1.1. Imagens Multiespectrais.....	59
CBERS 4A.....	59
Landsat 09.....	60
3.1.2. Modelo Digital de Elevação (MDE).....	61
Alos Palsar.....	61
TanDEM-X.....	62
3.1.3 Processamento dos dados.....	62
3.1.4. Produtos e Interpretações.....	64
3.2. Geofísica.....	73
3.2.1. Obtenção dos dados Geofísicos.....	73
3.2.2. Gamaespectrometria.....	74
3.2.3. Magnetometria.....	76
Primeira derivada (Dz).....	77
Gradiente Horizontal Total (GHT).....	78
Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	78
3.2.2.1 Fluxo de Processamento de Dados Gamaespectrométricos.....	78
3.2.2.1 Fluxo de Processamento de Dados Magnetométricos.....	79
3.2.4. Análises e Interpretações dos Produtos Geofísicos.....	80
3.2.4.1 Interpretações Gamaespectrométricas.....	81
3.2.4.2. Interpretações Magnetométricas.....	84
<b>4. Geologia do Projeto Arenópolis.....</b>	<b>88</b>
4.2. Arco Magmático de Goiás.....	90
4.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas.....	90
4.2.3 Gabro Morro do Baú.....	94
4.2.4. Gnaisse Arenópolis.....	95
4.2.5. Intrusões sin-tectônicas.....	96
4.2.6. Intrusões tardi-tectônicas.....	100
4.3. Bacia do Paraná.....	104
4.4. Província Alcalina de Goiás.....	105
<b>5. Geologia Local e Petrografia da Área VII.....</b>	<b>107</b>
5.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas.....	111
5.1.1. Unidade Córrego da Onça.....	111
Fácies Metamáficas.....	111
Fácies Metaultramáfica.....	115
Fácies Metassedimentar.....	115
5.1.2. Unidade Córrego do Santo Antônio (CSA).....	117
Fácies Metassedimentar.....	118
Mármore.....	119
Calcissilicáticas.....	121
Xistos metapelíticos.....	121

Fácies Metaultramáfica.....	122
Fácies Metamáfica.....	124
5.2. Gnaiss Arenópolis.....	126
5.3. Granitos Criogenianos.....	128
5.3.1 Granito Ribeirão Água Limpa.....	128
5.3.2. Granito Serra do Tatu.....	130
5.4. Vulcânicas Córrego do Horácio.....	133
5.5. Suíte Alcalina de Iporá.....	136
<b>6. Geologia Estrutural.....</b>	<b>139</b>
6.1. Domínios Estruturais do Projeto Arenópolis.....	140
6.1.1. Domínio Piranhas.....	142
6.1.2. Domínio Caiapônia.....	142
6.1.3. Domínio Arenópolis.....	143
6.2. Arcabouço Estrutural da Área VII.....	144
6.2.1 Arcabouço Estrutural Dúctil.....	144
Folhações.....	144
Dobras e Indicadores Cinemáticos.....	147
6.2.2 Arcabouço Rúptil.....	149
6.3. Microestruturas.....	153
<b>7. Geologia Econômica.....</b>	<b>155</b>
7.1. Potencial Econômico do Projeto Arenópolis.....	155
7.1.1. Sistema Magmático-Hidrotermal.....	158
7.1.2. Sistema Hidrotermal.....	159
7.1.3. Sistema associado ao magmatismo alcalino.....	159
7.1.4. Minerais e rochas industriais.....	160
7.2. Recursos Minerais da Área VII.....	164
7.2.1. Sistema Residual/Supergênico.....	164
7.2.2. Remineralizadores.....	164
7.2.3. Minerais e Rochas Industriais.....	165
<b>8. Evolução Tectônica.....</b>	<b>168</b>
8.1. Estágio de Arco Intra-Oceânico.....	170
8.2. Estágio Arco Continental - Colisão Continente-Continente.....	173
8.3. Estágio Colisional-Pós Colisional: magmatismo bimodal em ambiente transicional.....	176
8.4. Estágio Extensional.....	178
8.5 Magmatismo alcalino.....	179
8.6 Fases de deformação e metamorfismo.....	180
<b>9. Considerações Finais e Recomendações.....</b>	<b>184</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>188</b>

## **1. Introdução**

### **1.1. Considerações Iniciais**

Este relatório apresenta o trabalho realizado na Área VII do Projeto Arenópolis referente ao mapeamento geológico em escala de 1:25.000 do Trabalho Final do curso de Graduação em Geologia pela Universidade de Brasília, contemplando as disciplinas Preparação para o Mapeamento Geológico Final e Trabalho de Mapeamento Geológico Final, realizadas no decorrer do ano de 2023. O projeto foi realizado na região sudoeste do estado de Goiás, nos municípios de Arenópolis e Piranhas. A área total do projeto possui aproximadamente 900 km<sup>2</sup>, subdividido em dez subáreas.

O Projeto Arenópolis foi coordenado pela professora Dra. Natalia Hauser e co-orientado pelos professores Drs. Elton Luiz Dantas e Luis Gustavo Ferreira Viegas. Como parte da equipe, colaboraram os professores Drs. Caio Arthur Santos e Julia Barbosa Curto Ma, e o Dr. Ítalo Lopes de Oliveira, da Universidade de Uberlândia.

O mapeamento geológico realizado compreende as unidades geológicas do Arco Magmático de Goiás, mais especificamente da porção sul, denominado Arco Magmático de Arenópolis. Também se enquadra na área de estudo uma pequena porção da Bacia do Paraná e corpos intrusivos cretáceos da Província Alcalina de Goiás.

### **1.2. Objetivos**

O Projeto Arenópolis tem como objetivo central a elaboração de um mapa geológico em escala de 1:25.000 (semidetalhe) da área de estudo e de um relatório técnico de detalhamento das atividades desenvolvidas por cada área. Os produtos desenvolvidos nesta escala permitem maior detalhamento da área em comparação a trabalhos anteriores, permitindo conhecimento geológico aprofundado por meio da delimitação de unidades geológicas e domínios estruturais, caracterização petrográfica e adequação de modelos de evolução tectônica, com base nos resultados obtidos em campo e modelos de evolução estabelecidos na literatura.



### **1.3. Localização e Vias de Acesso**

A área de estudo se encontra na porção sudoeste do estado de Goiás (Figura 1.1), entre os municípios de Piranhas e Arenópolis, sendo a base de trabalho estabelecida na região urbana de Piranhas. O acesso à área de estudo do projeto ocorre, partindo do Distrito Federal, pela BR-060 e GO-060, totalizando 525 km de extensão em rodovias pavimentadas (Figura 1.2). O acesso às áreas de mapeamento ocorre por meio da GO-060, GO-188, GO-45, BR-158 e GO-472, além das estradas vicinais.

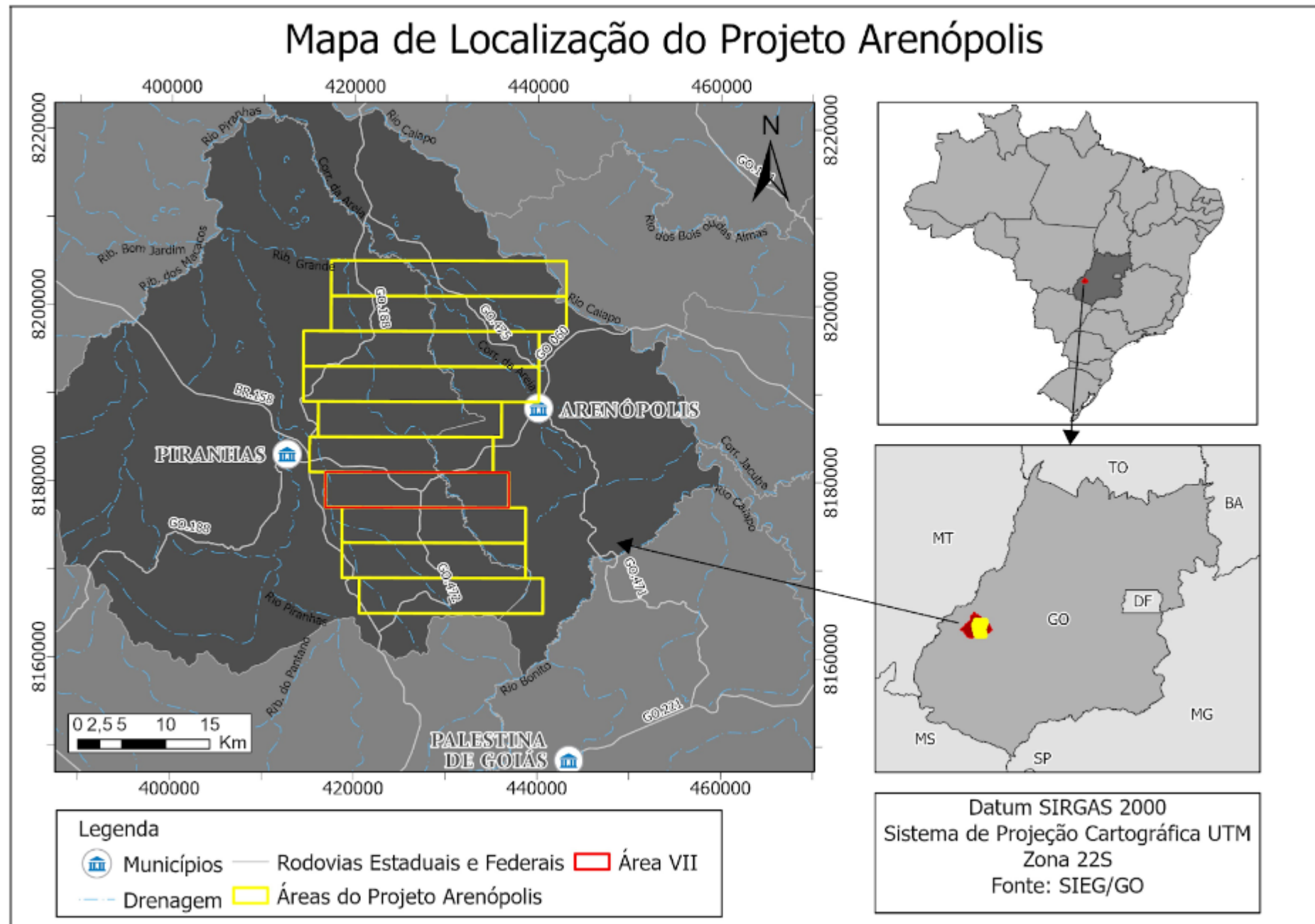


Figura 1.1: Mapa de localização do Projeto Arenópolis com as áreas destacadas em amarelo e a Área VII em vermelho.



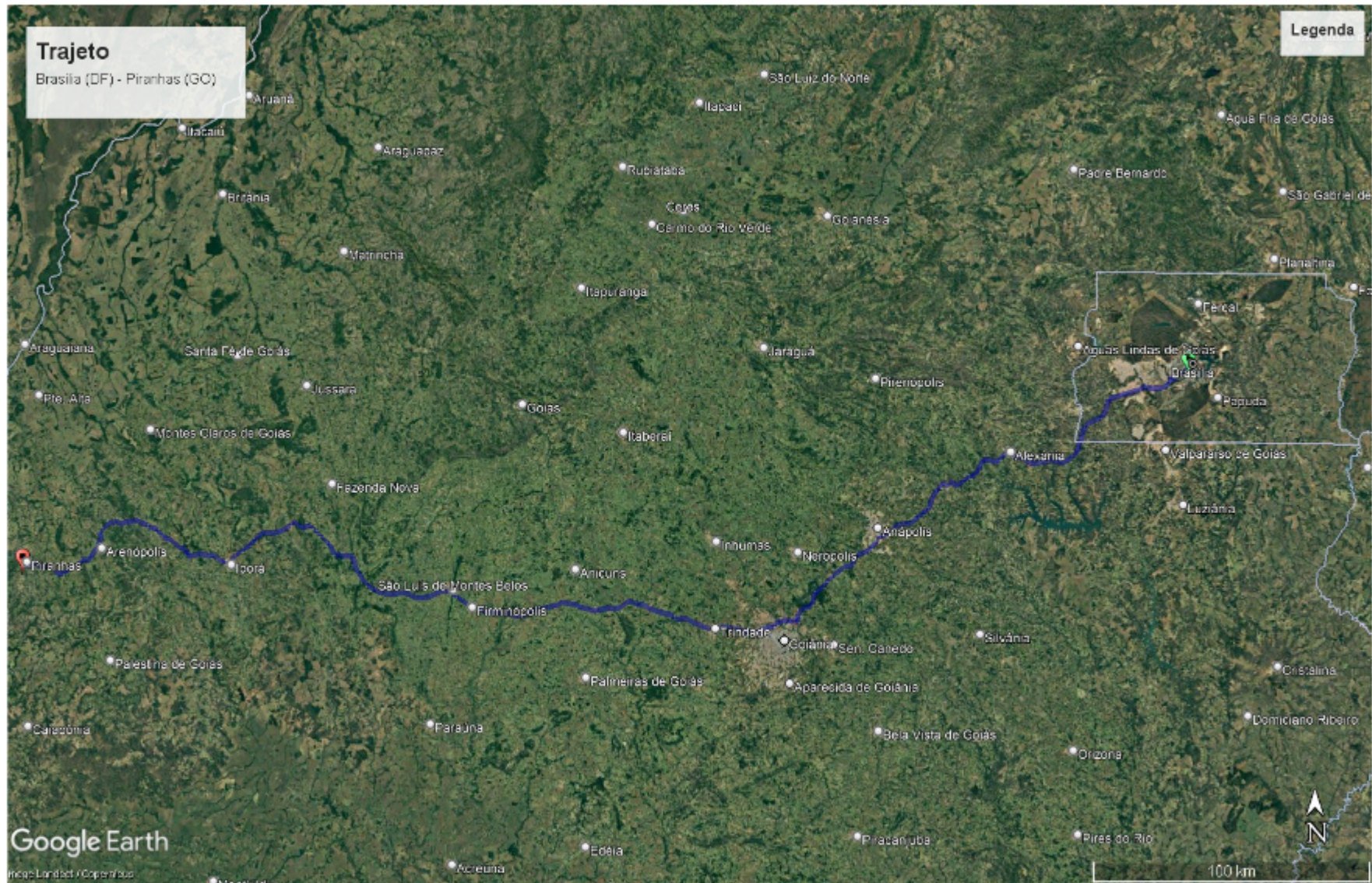


Figura 1.2: Trajeto rodoviário de Brasília (DF) para Piranhas (GO) (Google Earth Pro).

#### 1.4. Materiais e Métodos

O Projeto Arenópolis teve duração de 9 meses, entre março e dezembro de 2023, e consistiu em duas fases: Preparação para o Mapeamento Geológico Final e Trabalho de Mapeamento Geológico Final. O desenvolvimento do projeto se deu em três etapas de trabalho, sendo caracterizadas como etapa pré-campo, campo e pós-campo (Tabela 1.1). A etapa pré-campo consistiu no levantamento bibliográfico e na elaboração de produtos de apoio ao trabalho de campo e às interpretações pós-campo. A etapa de campo compreendeu a campanha de coleta de dados litológicos e estruturais in situ na área do projeto. Já na etapa pós-campo, os dados obtidos foram integrados com análises petrográficas e laboratoriais, além dos produtos geofísicos e de sensoriamento remoto feitos no pré-campo, a fim de confeccionar os mapas geológicos e o relatório técnico.

**Tabela. 1.1:** Cronograma de distribuição de atividades mensais do trabalho final.

Etapas	Atividade	Meses									
		Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
Pré-Campo	Geologia Regional	X	X	X	X	X	X				
	Mapa Base		X	X							
	Sensoriamento Remoto e Geofísica			X	X						
	Introdução			X	X	X					
Campo	Mapeamento Geológico				X						
Pós-Campo	Mapa Geológico Integrado					X	X	X	X		
	Estratigrafia e Petrologia						X	X			
	Geologia Estrutural							X	X		
	Geologia Econômica								X		
	Evolução Tectônica								X		
	Conclusões e Recomendações								X		
	Volume Final									X	
	Defesa									X	

##### 1.4.1. Etapa Pré-Campo

A etapa pré-campo ocorreu entre abril e julho de 2023. O objetivo principal dessa etapa é o levantamento de informações para auxiliar a logística do trabalho de campo e integrar as interpretações pós-campo. Esse levantamento inclui a

revisão bibliográfica do contexto geológico regional, o processamento e interpretação de dados de sensoriamento remoto e aerogeofísicos e a elaboração dos mapas base e geológico preliminar.

O levantamento bibliográfico incluiu a compilação da bibliografia relacionada à geologia regional e fisiografia da região, contemplou também o ciclo de apresentações dos discentes sobre artigos da geologia regional.

A confecção de produtos geofísicos e de sensoriamento remoto, desde o processamento até a análise, serviu como ferramenta de apoio ao mapeamento geológico. Esses produtos incluem dados de levantamentos aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos, sensores orbitais multiespectrais e modelos digitais de elevação. A descrição desses produtos está contemplada no capítulo 4.

A elaboração dos mapas base e geológico preliminar na escala 1:25.000 foi realizada a partir dos produtos gerados anteriormente em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG). O mapa base tem a finalidade de exibir as principais informações para o reconhecimento da área e planejamento dos caminhamentos de campo, tais como a rede de drenagens, as vias de acesso, as curvas de nível e a localização de propriedades rurais. O mapa geológico preliminar serve como forma de integrar todos os dados levantados nesta etapa, buscando antecipar a disposição das unidades geológicas e feições tectono-estruturais observáveis em campo.

#### **1.4.2. Etapa de Campo**

Esta etapa ocorreu entre os dias 16 de julho a 01 de agosto. O processo de levantamento de dados gerados nessa etapa consistiu na realização de perfis de caminhamentos preestabelecidos, tendo como objetivo proporcionar ampla visão da diversidade de rochas e feições geológicas. Para o planejamento dos perfis de caminhada, foram consideradas as direções preferenciais das estruturas observadas nos produtos pré-campo, nas imagens de satélite, dados de afloramento da SGB/CPRM e anomalias geofísicas observadas por meio dos produtos gerados.

A coleta de dados em campo é realizada de forma sistemática, abrangendo informações como: descrições de afloramentos, coordenadas de afloramentos, medidas estruturais, registros fotográficos e coleta de amostras de rochas representativas. Para a realização desta etapa, foram utilizados materiais como bússola geológica do tipo Clar, imã, caderneta de campo, martelo e marreta



geológicos, rádio de comunicação, mapas físicos e digitais, aplicativos de celulares como *Avenza Maps* e *FieldMove Clino*, lupa e ácido clorídrico (HCl).

Para melhor compreensão da geologia, as descrições seguiram uma sistemática descritiva, na qual as primeiras anotações sempre eram relacionadas à descrição da toponímia, seguido das características gerais do afloramento como um todo (tipo, feições e/ou estruturas), descrição macroscópica da rocha, e medidas estruturais. As medidas estruturais foram coletadas em *dip direction/dip*.

Por meio das análises conjuntas de anotações prévias e articulações entre todas as áreas, elaborou-se, ainda em campo, mapa geológico preliminar, no qual foi possível reconhecer as unidades geológicas, as diferentes rochas mapeadas e o contexto deformacional da área de estudo. No total, a coleta de dados da Área VII resultou na descrição de 236 pontos de campo (Figura 1.3) e na coleta de 421 medidas estruturais.

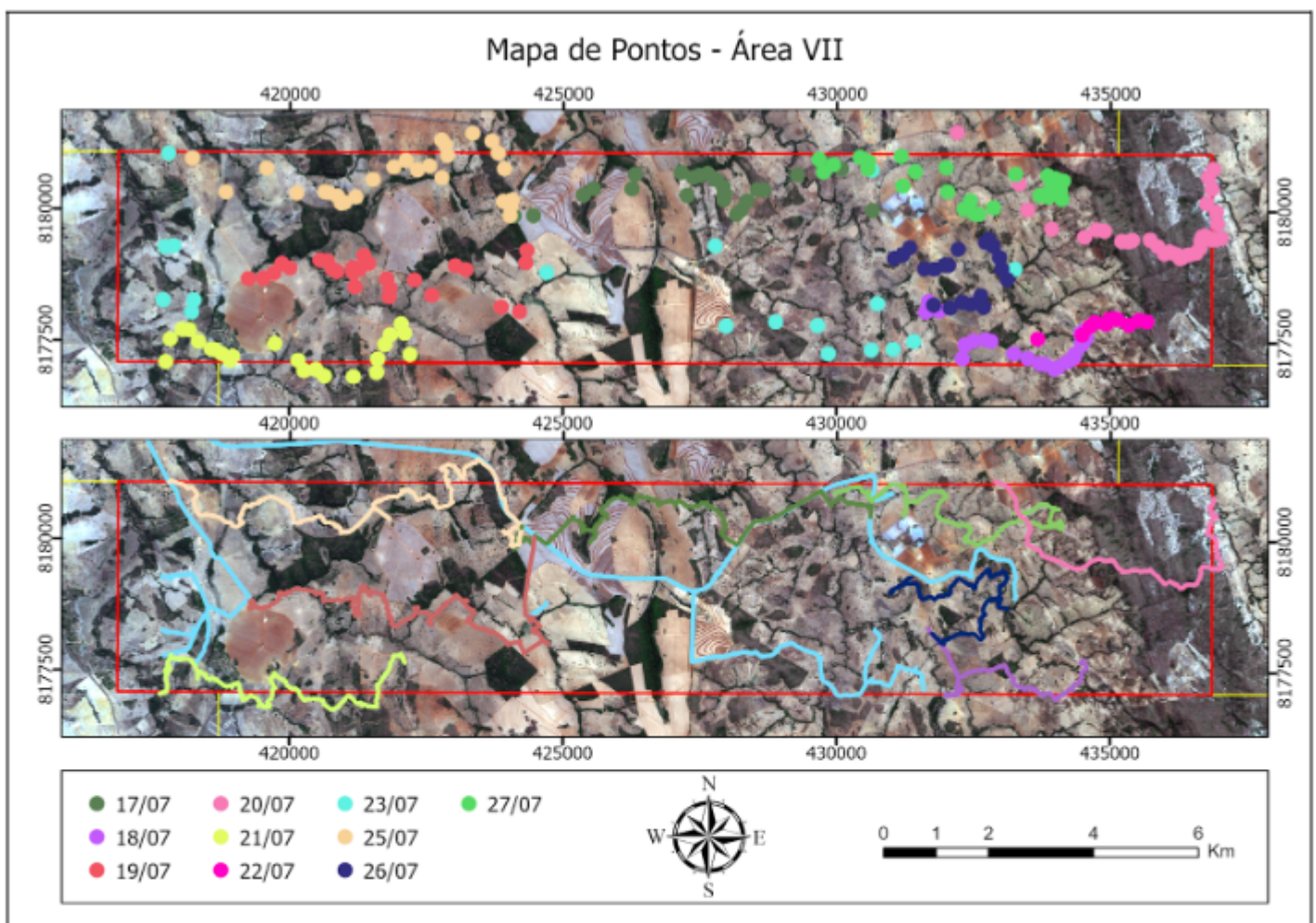


Figura 1.3: Mapa de pontos e caminhamentos referente à Área VII.

### 1.4.3 Etapa Pós-Campo

A etapa pós-campo ocorreu no segundo semestre letivo de 2023, de agosto a dezembro. Essa etapa visa tratar os dados adquiridos em campo, complementando-os com descrições petrográficas, visando aperfeiçoar o mapa geológico e o relatório final do Projeto Arenópolis.

O Projeto Arenópolis contou com a confecção de 114 lâminas petrográficas, das quais 10 foram coletadas e descritas pela Área VII. A análise petrográfica permitiu detalhar as principais variações litológicas e microestruturais das unidades geológicas mapeadas.

Desta forma, os resultados obtidos nesta etapa em conjunto com os dados das etapas anteriores, permitiram a elaboração dos capítulos 4 a 9 deste relatório. Os capítulos abordam a geologia do Projeto Arenópolis, a geologia local da Área VII, o potencial econômico e a evolução tectônica da área de estudo.

## 1.5. Evolução do conhecimento geológico

### Estudos pioneiros

Estudos pioneiros relacionados a mapeamentos geológicos (Figura 1.4) na região de Arenópolis e Piranhas, como o de Pena & Figueiredo (1972), Faria *et al.* (1975), Schobbenhaus *et al.* (1975, 1981) e o Projeto Piranhas (UnB, 1973), atribuem as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas ao Grupo Araxá. As rochas principais que compõem o grupo são quartzo-muscovita-biotita xistos, anfibolitos, mármores, quartzitos e gnaisses, sendo que o contexto geológico explorado na época para o grupo referia-se a teoria do geossinclinal.

Faria *et al.* (1975), entretanto, destacaram a presença de extensos pacotes de rochas anfibolíticas e mármores, situados nas proximidades da Formação Vila Maria (Figura 1.4). Discutiram ainda, que as unidades observadas poderiam ser separadas dentro da estratigrafia do Grupo Araxá, porém a possibilidade foi refutada, devido a ocorrência de mica xistos entre os anfibolitos. A partir daí, foram reinterpretadas como intercalações em mica xistos do Araxá. Posteriormente, por meio de estudos geocronológicos, Pimentel *et al.* (1985) identificaram que o conjunto de rochas e proporções observadas, não correspondia, no entanto, ao que era descrito para o Grupo Araxá.

Inhaez *et al.* (1983) reconhecem pela primeira vez o conjunto de rochas como uma sequência vulcanossedimentar, nomeando-a inicialmente como Grupo Dois Irmãos. Para diferenciação entre o Grupo Araxá e a sequência, foram utilizados características como: os tipos litológicos presentes (rochas metapelíticas, mármore, rochas calcissilicáticas, possíveis bandamentos ferríferos, xistos ortoderivados, rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas), a disposição da rochas em faixas alongadas em terrenos graníticos-gnáissicos e uma estruturação que assemelha-se a *greenstone belts*. Os graus metamórficos observados pelos autores, também se comparavam com o que se encontra nos *greenstone*, duas fases de metamorfismo caracterizadas por fácies anfibolito e xisto verde.

Pimentel (1985) propõe nova nomenclatura para as rochas não pertencentes ao contexto do Grupo Araxá, passa-se então a denominar o conjunto de rochas que situam-se nas proximidades de Arenópolis, como Sequência Vulcanossedimentar de Arenópolis. A sequência foi dividida em duas unidades principais, Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça. Para a separação das unidades foi utilizada estreita faixa de biotita gnaiss bandado e as diferenças litológicas descritas a seguir.

A unidade Córrego do Santo Antônio, que situa-se na porção oeste da sequência, é composta predominantemente por mica xistos pelíticos, anfibolitos finos, metacherts, mármore, quartzitos, rochas ultramáficas (metapiroxenito, metaperidotito), anfibolitos finos a médios e serpentinitos. Já o domínio leste, caracterizado pela unidade Córrego da Onça, é subdividido em três subunidades. A subunidade máfica é composta por anfibolitos, metabasaltos e metandesitos; a subunidade caracterizada como intermediária-félsica é composta por gnaisses finos e mica xistos, que apresentam com frequência texturas tipicamente tufáceas e, por fim, a subunidade metassedimentar na qual encontram-se expostas metagrauvacas e xistos feldspáticos.

Uma quarta unidade de distribuição muito restrita, também, foi descrita. Essa unidade é composta por rochas vulcânicas e piroclásticas de composição riolítica. Para individualizá-la, foram necessários outros parâmetros além da composição, como a ausência da fase deformacional presente em outras rochas do Córrego da Onça.

O autor cita que as relações de contato entre as unidades mapeadas não permitiram a compreensão da relação estratigráfica entre elas. Porém, sabe-se que a leste da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis, há um contato geológico



estabelecido por intermédio de uma falha com o Granito Serra do Tatu e, a oeste, a presença de outro contato geológico por intermédio de outra falha com o Granito Ribeirão Água Limpa.

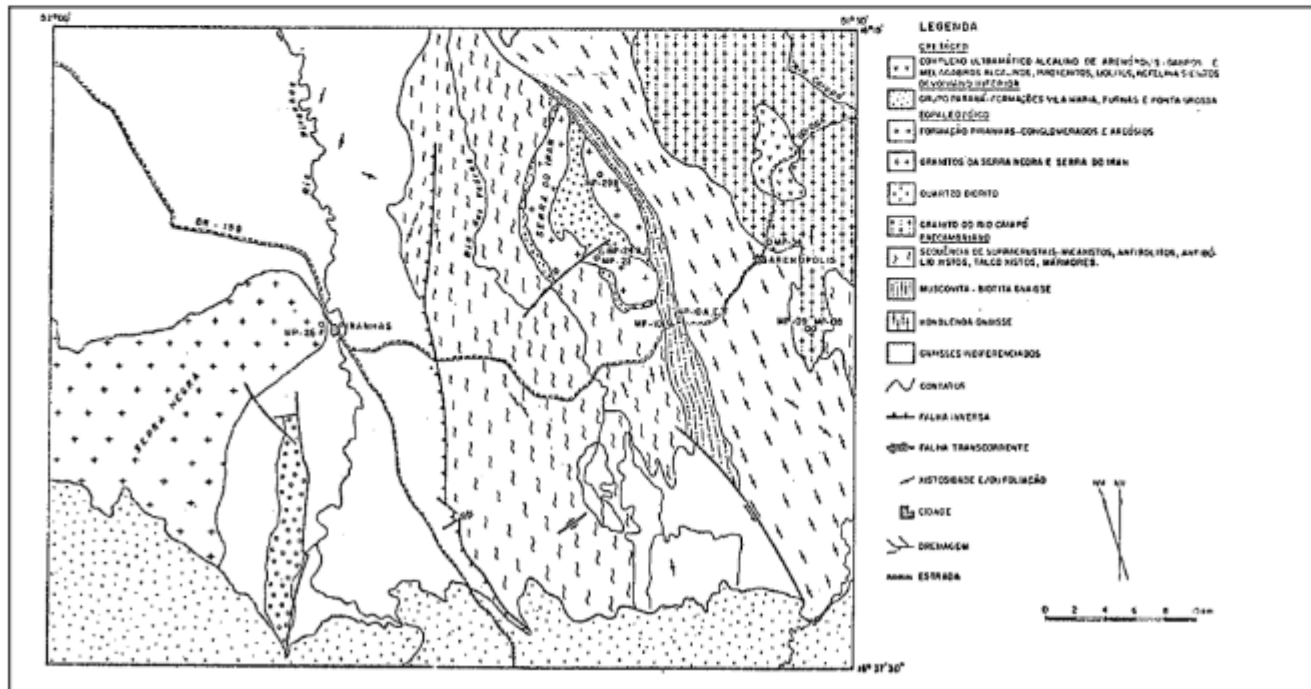


Figura 1.4: Esboço Geológico da região de Arenópolis-Piranhas, sudeste de Goiás (modificado de Faria *et al.*, 1975)

### Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM

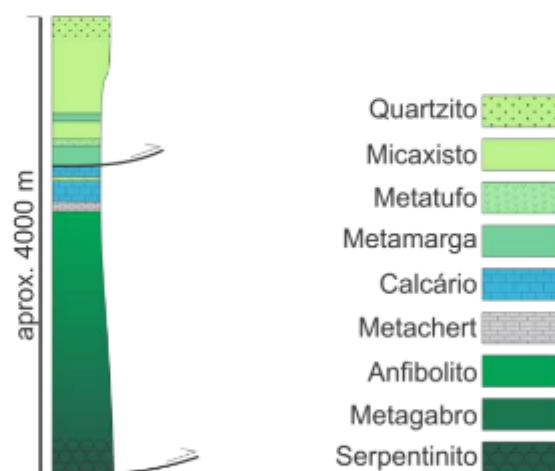
Recentemente, Carneiro (2021) em colaboração com o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), realizou mapeamento geológico da Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas para o Projeto geologia e metalogenia da porção oeste de Goiás. Por meio do mapeamento foi gerado como produto principal um mapa geológico prévio (Figura 1.6), em que buscou individualizar as unidades Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça, a fim de estimar a dimensão dos corpos rochosos, os tipos de contatos e suas relações estratigráficas, utilizando diferentes métodos de datação.

Em sua parte descritiva, indicam que a Unidade Santo Antônio é uma porção composta principalmente por pacotes de xistos e quartzitos dobrados, separados por corpos máfico-ultramáficos e, eventualmente, com camadas de metachert e metacalcário associadas. Os corpos máficos-ultramáficos da Unidade Córrego do Santo Antônio estão dispostas em ao menos três faixas distintas com direção

norte-sul e são constituídos por serpentinitos, metagabros, metabasaltos e, localmente, oficarbonatos. O autor propõe uma coluna estratigráfica para a unidade que pode ser observada na Figura 1.5.

O domínio que aflora próximo aos gnaisses paleoproterozóicos é juvenil, com valores de Nd(t) positivos entre +4.70 e +6.16, com razões isotópicas  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  calculadas para o momento da cristalização (ca. 900 Ma) correspondente à razão isotópica  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  calculada para o manto empobrecido em relação ao CHUR (DePaolo, 1981) e TDM variando entre 0.86 Ga e 0.98 Ga (Carneiro, 2021).

O corpo central exibe características isotópicas semelhantes às do CHUR, com Nd(t) entre -1.86 e +1.69 e TDM de 1.46 Ga e 1.49 Ga. Algumas amostras exibem feições de metassomatismo, como vênulas de clorita e carbonato, o que pode explicar seus valores negativos de Nd(t). Uma das amostras em específico apresenta forte característica de derivação crustal, assinalada por Nd(t) igual a -4.42 e TDM de 2.22 Ga (Carneiro, 2021).



**Figura 1.5:** Relação estratigráfica das rochas aflorantes no Córrego Santo Antônio (Carneiro, 2021).

Já a Unidade Córrego da Onça, que representa a unidade aflorante na porção leste da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, é caracterizada por faixas de metavulcânicas e, subordinadamente, plutônicas, com lentes de rochas metassedimentares. A unidade é constituída por faixas de anfibolito, metatufos intermediários a ácidos e mica xistos, respectivamente, de leste para oeste. Localmente, observam-se rochas metaultramáficas no extremo oeste da unidade, representadas por xistos e gnaisses pretos.

As rochas máficas da Unidade Córrego da Onça, exibem valores de Nd(t) positivos, com amostras de rochas metavulcânicas apresentando assinatura isotópica semelhante à calculada para o manto empobrecido (DePaolo, 1981). Associado a essas rochas ocorre microgabro com Nd(t) igual a +4.47 e TDM de 1.07 Ga e gabro com valores mais próximos ao CHUR (Nd(t) igual +1.66 e TDM de 1.27) (Carneiro, 2021).

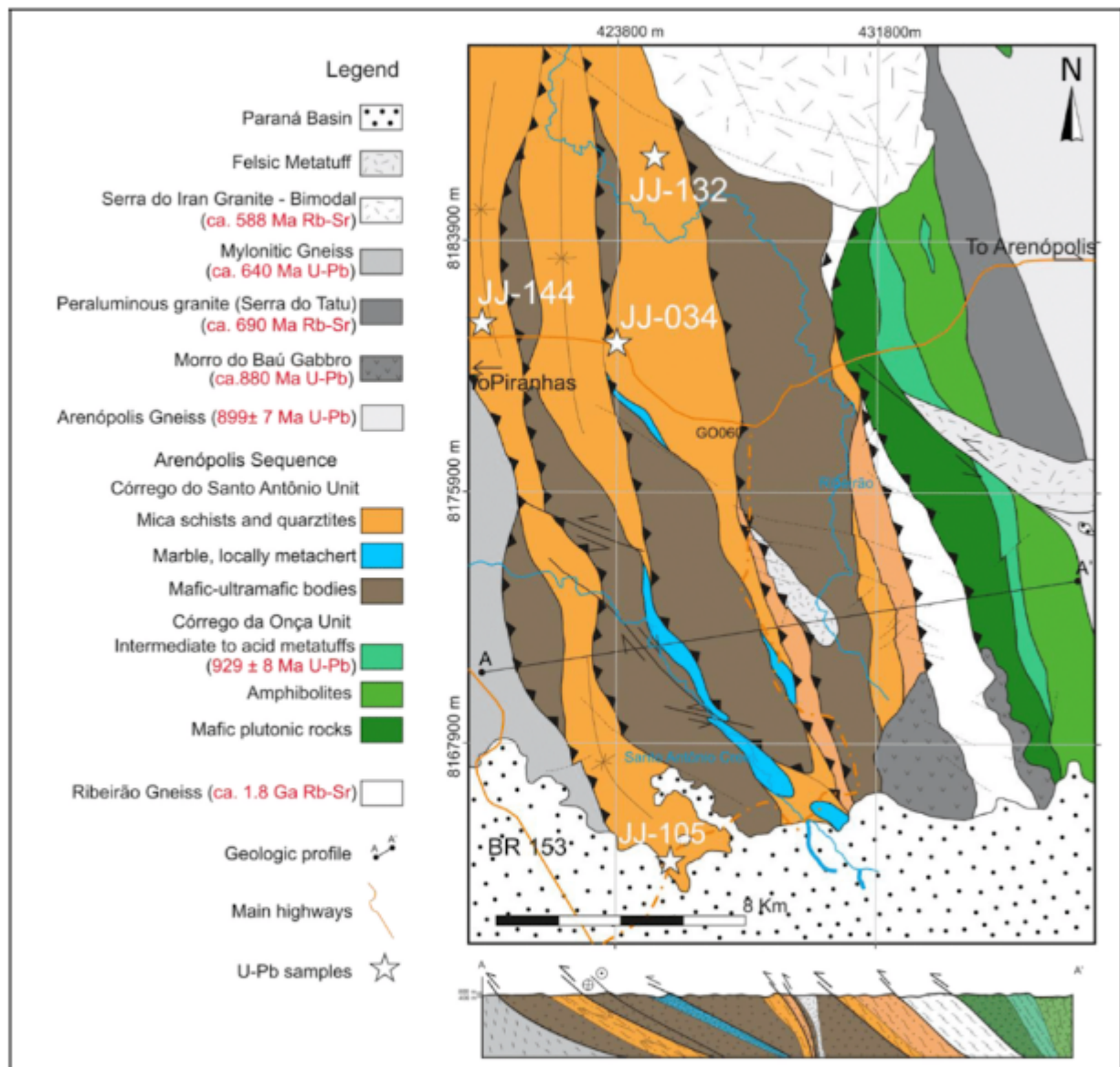


Figura 1.6: Mapa geológico da região de estudo, situada entre Arenópolis-Piranhas, modificado de CPRM (Carneiro, 2021).

## **Projeto Arenópolis**

O Projeto Arenópolis busca realizar mapa geológico em escala 1:25.000 da região entre Arenópolis e Piranha. Esta escala permite detalhamento em semidetalhe da área de estudo. Desta forma, esses novos dados trazem a possibilidade de aprofundar o conhecimento geológico da região de uma forma que não havia sido feita anteriormente.

Esse trabalho, portanto, permite identificar as diferentes fácies presentes nas unidades mapeadas, detalhar as características mineralógicas e texturais por meio de análises petrográficas, compreender o contexto deformacional por meio de estudos estruturais e revisar os contatos litológicos a partir do trabalho de mapeamento e da comparação com os mapeamentos que antecederam o projeto.

### **1.6. Aspectos Fisiográficos**

Os aspectos fisiográficos podem fornecer informações diretas ou indiretas das características geológicas de uma região, além de servirem como condicionantes para o controle erosivo das rochas. A seguir, serão abordados os principais aspectos fisiográficos relativos à área de estudo do Projeto Arenópolis, compreendendo os tópicos: clima, geomorfologia, pedologia e hidrografia.

#### **1.6.1. Clima**

O clima de Piranhas, de acordo com a classificação de Köppen, se enquadra como sendo Tropical Semi-Úmido, apresentando precipitação média de 1.400 mm. O município apresenta uma configuração pluviométrica caracterizada por duas fases bem definidas, na qual apresenta seis meses mais secos (abril a setembro) e seis meses mais chuvosos (outubro a março), conforme mostra a Figura 1.7. A temperatura média anual é 25 °C, com máxima de 33 °C e mínima de 17 °C.

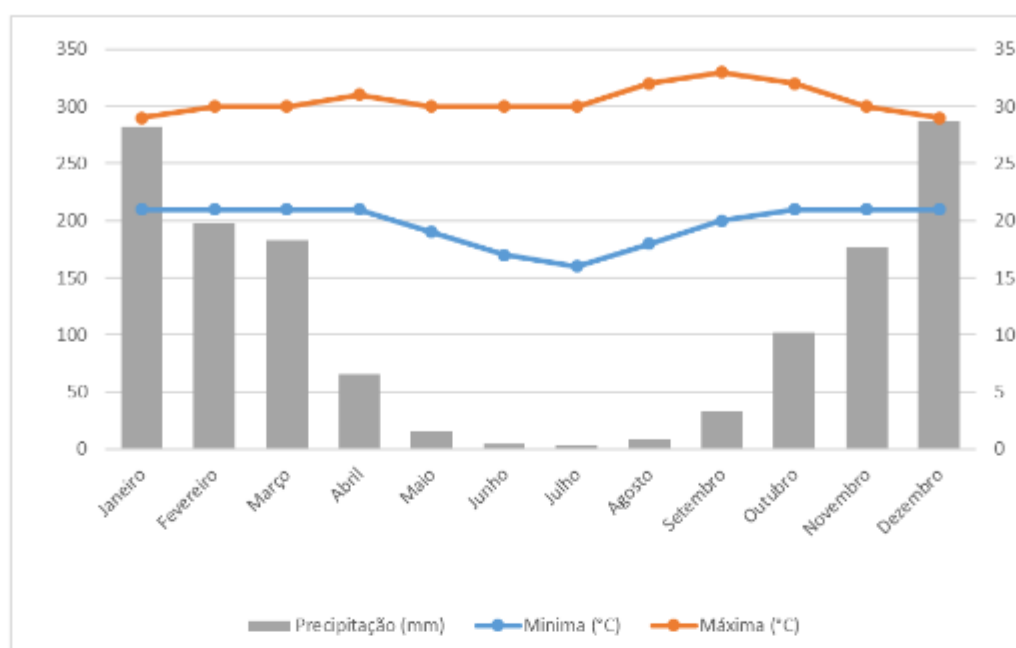


Figura 1.7: Dados climatológicos mensais do município de Piranhas (GO) (SNIRH/ANA, 2022).

### 1.6.2. Geomorfologia

A área de estudo do Projeto Arenópolis está inserida na região geomorfológica do Planalto Central Goiano, mais especificamente nas unidades Superfície Piranhas, Serras, Patamares e Bordas da Bacia Sedimentar do Paraná, e Planaltos Residuais Cuestiformes Externos (IBGE, 2021).

Conforme o Mapa Geomorfológico Simplificado do Projeto Arenópolis (Figura 1.8), a geomorfologia da área de estudo é caracterizada por superfícies regionais de aplainamento, morros e colinas, e zonas de erosão recuante. As superfícies regionais de aplainamento presente podem ser divididas em tipo IV, com cotas entre 250 e 400 m e dissecação fraca, e em tipo III, com cotas entre 550 e 750 m e dissecação média. O Relevo de Morro e Colinas representa áreas de fraca dissecação. A Zona de Erosão Recuante representa áreas da borda da Bacia do Paraná, cuja dissecação é forte, relacionada à geração da Superfície IV.



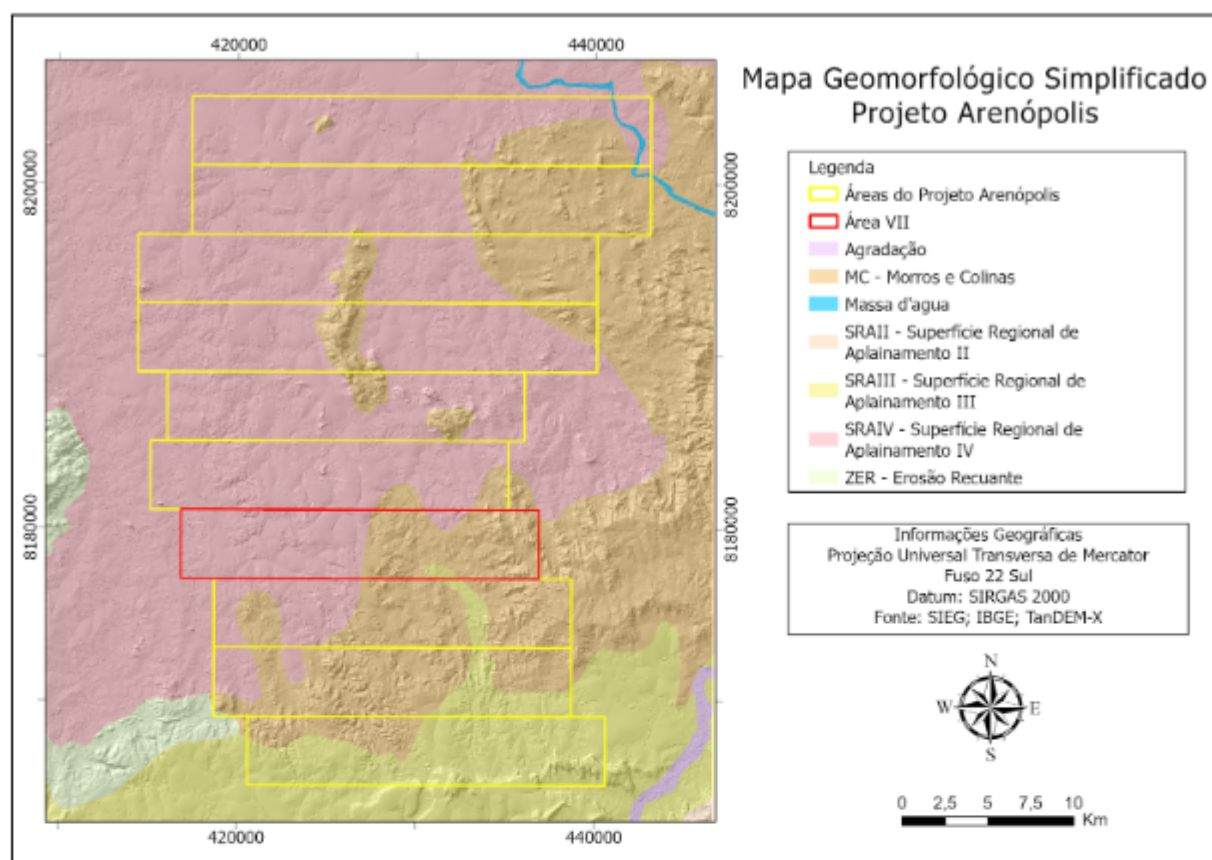


Figura 1.8: Mapa geomorfológico simplificado do Projeto Arenópolis.

### 1.6.3. Pedologia

De acordo com dados da Emater-GO (Figura 1.9), a região do Projeto Arenópolis é caracterizada por oito tipos de solos no terceiro nível categórico: Cambissolo Háplico distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho distrófico férrico, Latossolo Vermelho ácrico, Nitossolo Vermelho eutrófico férrico, Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico.

Em escala de mapeamento, observa-se grande variedade pedológica na Área VII. As regiões aplainadas, que representam a maior porcentagem da área são caracterizadas predominantemente por variações de Latossolos, Argissolos e Nitossolos. Subordinadamente, encontram-se Neossolos Flúvicos próximos a corpos hídricos e Gleissolos Háplicos e Melânicos em áreas de veredas e próximas a nascentes. Nas porções cujo relevo é acentuado e escarpado, observam-se variações de Cambissolo e Neossolos Regolíticos e Litólicos. Em menor quantidade, ocorrem Neossolos Quartzarênicos em terrenos graníticos.

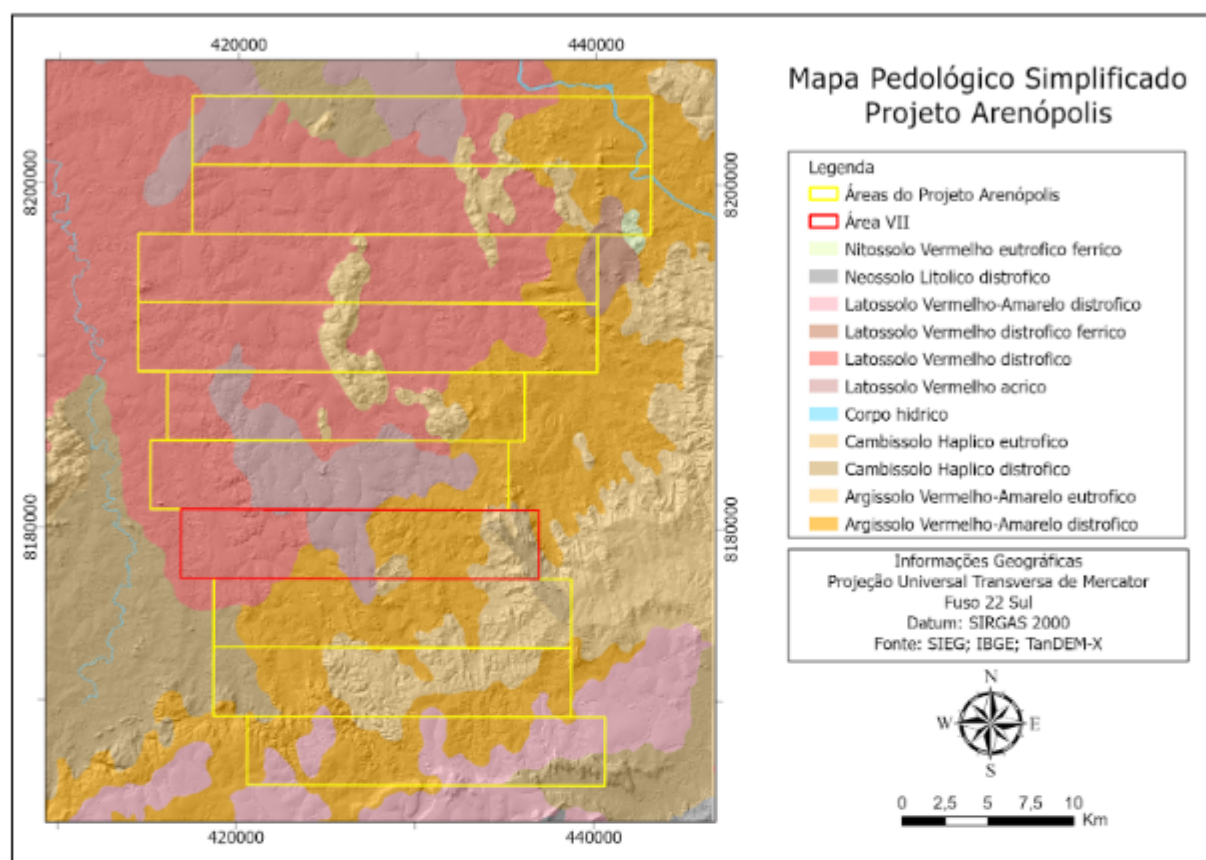


Figura 1.9: Mapa pedológico simplificado do Projeto Arenópolis.

#### 1.6.4. Hidrografia

A hidrografia do Projeto Arenópolis é caracterizada pela Região Hidrográfica do Rio Tocantins, mais especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio Caiapó. A área de estudo conta com 2 rios, 2 ribeiros e 52 córregos, distribuídos em quatro bacias hidrográficas: Córrego Corgão, Córrego da Areia, Ribeirão Ribeirãozinho e Rio Bonito. Observa-se direção preferencial dos principais cursos d'água para NW-SE, coincidente com as estruturas geológicas que controlam a região (Figura 1.10).

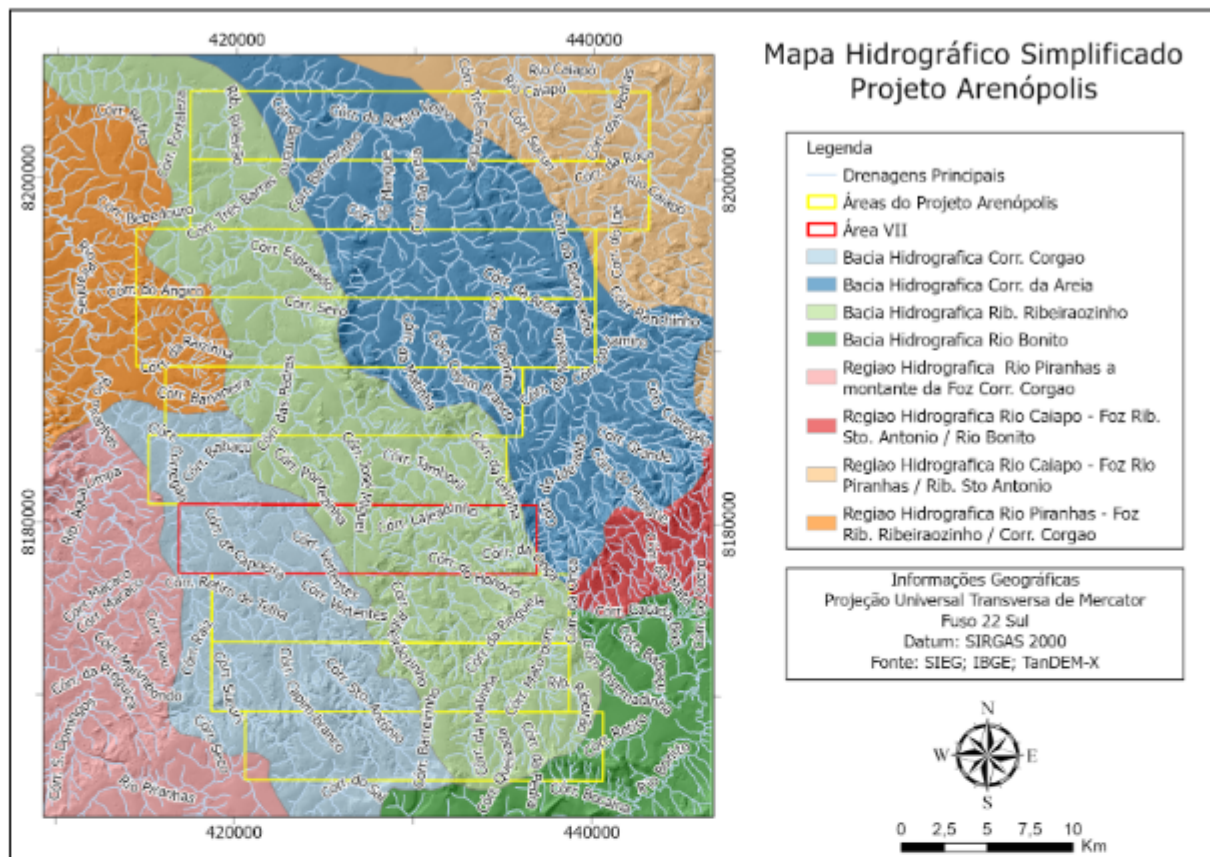


Figura 1.10: Mapa hidrográfico simplificado do Projeto Arenópolis.

## 2. Geologia Regional

### 2.1. Contexto Geológico Regional da Província Tocantins

A área de estudo do Projeto Arenópolis está inserida no contexto da Província Tocantins, localizada na porção central do Brasil, entre os crátons São Francisco, a leste, e Amazônico, a oeste, e é delimitada a norte pela Bacia do Parnaíba e a sul, pela Bacia do Paraná (Almeida *et al.*, 1977, 1981).

A Província Tocantins envolve processos relacionados à Orogênese Brasileira, que ocorreu no Neoproterozóico e Eocambriano (900Ma a 500 Ma aproximadamente). O evento envolveu sucessivos ciclos tectônicos colisionais que induziram movimentações convergentes entre os crátons Amazônico, São Francisco-Congo e Paranapanema (Fuck *et al.*, 2017). Na margem desses paleocontinentes surgiram conjuntos de cinturões de dobras e cavalgamentos, decorrentes da deformação das bacias intercratônicas. Estes cinturões são denominados como (Figura 2.1): Faixa Araguaia, localizada na borda leste do



Cráton Amazônico; Faixa Paraguai, localizado na porção sudeste, além da Faixa Brasília disposta na borda oeste do Cráton do São Francisco (Pimentel *et al.*, 2000).



**Figura 2.1:** Compartimentação geotectônica na Orogenia Brasileira, caracterizando os crátons e sistemas orogênicos (Hasui *et al.*, 2012).

## 2.2. Orógeno Brasília

O Orógeno Brasília (Figura 2.2) corresponde a um cinturão de dobras e cavalgamentos, de idade neoproterozóica com direção aproximada N-S, que constitui parte dos estados de Goiás, Minas Gerais e Tocantins. Localizado na borda oeste do Cráton do São Francisco, o sistema apresenta aproximadamente 1200 km de extensão e 300 km de largura com direção preferencial norte-sul (Uhlein *et al.*, 2012).

Fuck & Marini (1979) dividiram o orógeno em dois segmentos no sentido norte-sul: Faixa Brasília Setentrional (FBS) e Faixa Brasília Meridional (FBM). A FBS foi originada pela interação entre os crátons do São Francisco e Amazônico, e apresenta, predominantemente, estruturação SW-NE. A FBM é dada pelo resultado da interação entre os crátons do São Francisco e Paranapanema, tendo estruturação predominantemente SE-NW (Uhlein *et al.*, 2012).

Já Fuck *et al.* (2014) subdividiram o orógeno em três partes de acordo com suas características tectono-estruturais: o domínio norte, com direção preferencial

NNE-SSW, o domínio centro-sul, de direção WNW-ESE, e o domínio sul, com direção E-W (Fuck *et al.*, 1994; Pimentel *et al.*, 2000; Valeriano *et al.*, 2008; Campos Neto *et al.*, 2008). Os domínios norte e sul estão separados pela Sintaxe dos Pirineus (Araújo Filho, 2000; Pimentel *et al.*, 2000), uma estrutura concáva para leste que reflete a acomodação diacrônica dos terrenos acrescionários que bordejam a margem oeste do Cráton do São Francisco.

De acordo com Fuck (1994), Pimentel *et al.* (2004), Uhlein *et al.* (2012) e Valeriano *et al.* (2017), a compartimentação tectônica do Orógeno Brasília pode ser dividida em, de leste para oeste: Unidade Cratônica, Unidade Externa, Unidade Interna, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás. Essas unidades são limitadas por grandes falhas longitudinais que percorrem todo o orógeno e são caracterizadas por suas características litoestratigráficas e estruturais.

A Unidade Cratônica, correspondente ao Cráton do São Francisco, é caracterizada por um embasamento com idade superior a 1,8 Ga, sobreposto de forma discordante pelas camadas neoproterozóicas dos grupos Vazante e Bambuí (Valeriano *et al.*, 2017). A zona verdadeiramente cratônica, na qual a cobertura neoproterozóica está sem deformação e metamorfismo, ocorre apenas na porção central do Cráton do São Francisco. O limite dessa unidade é marcado por falhas de empurrão que causam a exposição das unidades meso- a neoproterozóicas dos grupos Paranoá e Canastra, da Unidade Externa, e do Grupo Vazante sobre as camadas parautoctones do Bambuí (Valeriano *et al.*, 2004, 2017).

A Unidade Externa é composta por unidades metassedimentares do proterozóico como o Grupo Araí e os grupos mesoproterozóicas Natividade, Paranoá e Canastra, assim como por porções do embasamento arqueano-paleoproterozóico (Uhlein *et al.*, 2012; Dardenne 1981, 2000). Essas unidades foram deformadas e metamorizadas em fácies xisto-verde ou em anquimetamorfismo (Uhlein *et al.*, 2012, Pimentel, 2016; Marques, 2017).

A Unidade Interna é constituída por rochas metamórficas variadas de grau xisto-verde a anfibolito, incluídas nos grupos Araxá e Serra da Mesa. Localmente ocorrem sequências vulcanossedimentares proterozóicas, como as sequências vulcanossedimentares Silvânia e Rio do Peixe (Fischel *et al.*, 2001, Piuzana *et al.*, 2003), complexos máfico-ultramáficos granulitizados, como os complexos Anápolis-Itauçu, Canabrava e Niquelândia (Ferreira Filho *et al.*, 1992), e corpos ofiolíticos, como porções do Grupo Araxá que apresentam características de

*mélange* ofiolítica (Drake Jr., 1980; Strieder & Nilson, 1992; Brown, 2019). Comparativamente, a porção interna foi mais afetada pela tectônica brasileira que a porção externa da Faixa Brasília, por isso apresenta rochas de mais alto grau metamórfico, até fácies granulito (Ferreira Filho *et al.*, 1992; Piuzana *et al.*, 2003). Desta forma, observa-se aumento gradual da deformação e do metamorfismo de leste para oeste na Faixa Brasília. Estruturalmente a Unidade Interna configura-se como um sistema de *nappes* que sobrepõe o cinturão de dobras e cavalgamentos da Unidade Externa (Valeriano *et al.*, 2008).

O Maciço de Goiás consiste em terrenos granito-greenstones arqueano-paleoproterozóicos que representam o embasamento da Faixa Brasília (Cordeiro, 2014; Schutesky, 2007; Brito Neves *et al.*, 1985; Almeida, 1968). Inicialmente, a unidade se referia a todas as rochas cristalinas de origem no Brasil Central e de idade desconhecida (Marini *et al.*, 1984; Cordeiro & Oliveira, 2017). Atualmente, existem duas interpretações bem consolidadas. A proposta mais antiga interpreta o Maciço como um microcontinente acrescido durante a Orogenia Brasileira (Brito Neves & Cordani, 1991; Fuck *et al.*, 1994; Pimentel *et al.*, 2000; Pimentel *et al.*, 2005). Uma segunda interpretação, advinda de estudos recentes, como o de Cordeiro *et al.* (2014) e Cordeiro & Oliveira (2017), concebe que o Maciço de Goiás é uma área pericratônica desassociada da porção oeste do Cráton do São Francisco pelos eventos orogênicos brasileiros.

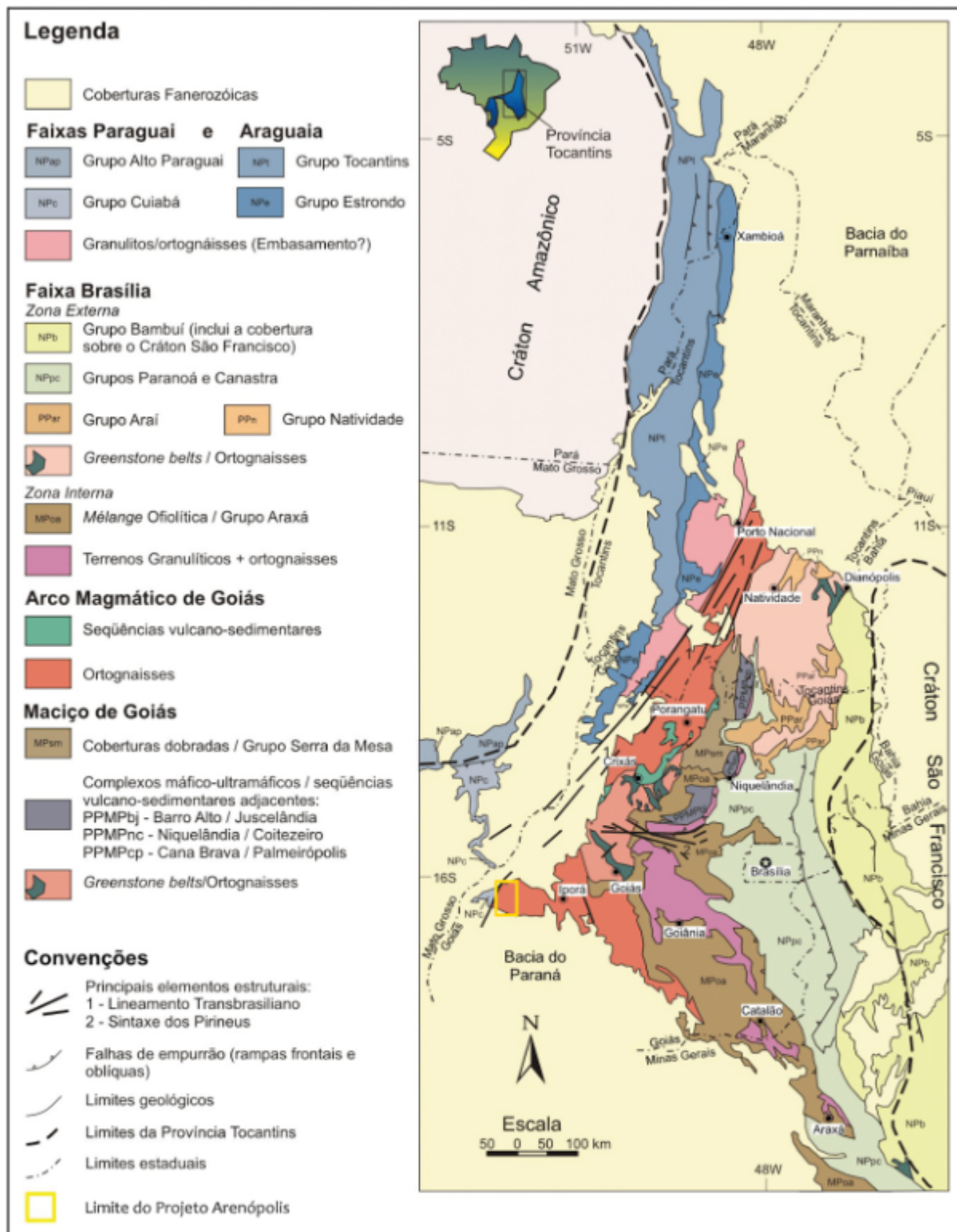


Figura 2.2: Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis em amarelo (Pimentel *et al.*, 2004 e modificado de Oliveira, 2021).

O maciço é dividido em quatro domínios, de acordo com características petrográficas, geológicas, tectônicas e geocronológicas, de nordeste para sudoeste:

Almas-Conceição do Tocantins, Cavalcante-Arraias, Campinorte e Crixás-Goiás (Cordeiro, 2014). Esse compartimento é separado à oeste pelo contato tectônico denominado de Falha Rio dos Bois e a leste pelo Empurrão Rio Maranhão, sendo aberto a norte e a sul (Cordeiro, 2014; Schutesky, 2007).

O Arco Magmático de Goiás (Pimentel & Fuck, 1987, 1992; Kuyumijan, 1994; Pimentel, 1991) é um arco juvenil do Neoproterozóico, composto por sequências metavulcanossedimentares e rochas plutônicas cálcio-alcalinas com variados graus de deformação e metamorfismo (Pimentel, 2016). O arco divide-se em dois terrenos norte-sul separados pelo Maciço de Goiás: os arcos Arenópolis e Mara Rosa, localizados a sul e a norte, respectivamente (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.*, 1991, 1997). Dados geocronológicos, geoquímicos e isotópicos sugerem que esse arco é resultado de um sistema de arcos de ilha intraoceânicos, formados a partir de dois eventos de acreção crustal. O primeiro entre ~900 e ~800 Ma e o segundo entre ~670 a ~600 Ma (Pimentel *et al.*, 2004; Laux *et al.*, 2005).

A fase final do Orógeno Brasília é marcada por intrusões tardi e pós-orogênicas, de caráter bimodal. O primeiro estágio é representado por granitos do tipo I e ocorre entre cerca de 600 e 560 Ma. Granitos tipo A, de tendência alcalina, simbolizam o segundo estágio, ocorrendo em cerca de 500 Ma (Pimentel *et al.*, 1999 e 2000). Diques alcalinos máficos, de 570 Ma, em conjunto com o magmatismo granítico alcalino intrudiram as rochas do Arco Magmático de Goiás durante o colapso orogênico (Marques, 2017; Marques *et al.*, 2019). Por fim, a região foi intrudida por diques de rochas alcalinas cretáceas (Junqueira-Brod *et al.*, 2002).

A rápida erosão do orógeno e a posterior deposição de sedimentos na Bacia do Paraná favoreceu a subsidência da bacia (Pimentel *et al.*, 1999). O magmatismo alcalino cretáceo, resultou em corpos intrusivos, soleiras e diques alocados na Província Alcalina de Goiás (Junqueira-Brod *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2022), ocorrências registradas em Iporá e Arenópolis compreendem rochas alcalinas ultramáficas e sieníticas.

### **2.3. Arco Magmático de Goiás (AMG)**

O Arco Magmático de Goiás (Pimentel & Fuck, 1987, 1992; Kuyumijan, 1994; Pimentel, 1991) é um arco juvenil do Neoproterozóico, composto por sequências metavulcanossedimentares caracterizadas por rochas metavulcânicas



cálcio-alcalinas, mica xistos, quartzitos e mármore, e por rochas plutônicas cálcio-alcalinas com deformação e metamorfismo variado, com composição alternando de gabros a granitos, em maioria tonalitos (Pimentel, 2016). O AMG está localizado no extremo oeste da Faixa Brasília, na porção oeste do estado de Goiás. A unidade se estende desde a região de Porto Nacional, ao norte, até o município de Buriti Alegre, ao sul.

O contexto geológico é observado em dois segmentos norte-sul separados pelo Maciço de Goiás: o Arco Mara Rosa, ao norte, com direção NNE, limitado a leste pela Falha Rio dos Bois, responsável por estabelecer contato com a Sequência Campinorte e Grupo Serra da Mesa de idade paleoproterozoica, e a oeste pelas zonas de cisalhamento relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano. Ortognaisses e sequências metavulcanossedimentares neoproterozóicas caracterizam o arco (Pimentel & Fuck, 1987, 1992; Kuymjian *et al.*, 1989, 2008; Pimentel, 1993). Rochas graníticas sin, tardi e pós-tectônicas também são frequentes ao longo dos cisalhamentos transcorrentes (Fuck *et al.*, 1994; Pimentel *et al.*, 1996; Rodrigues *et al.*, 1999).

Sua estrutura provém de sistema complexo de arcos vulcânicos (Pimentel, 2016), em que seu estágio inicial é caracterizado por um arco insular de ~900-780 Ma, seguido por magmatismo de arco continental ~650-600 Ma (Junges *et al.*, 2002, 2003; Laux *et al.*, 2004, 2005; Frasca, 2015).

Estudos geoquímicos e geocronológicos, como datação U-Pb em zircão foram essenciais para elucidar a história evolutiva do Arco Magmático de Goiás (Pimentel *et al.*, 1991, 1997, 2000; Pimentel & Fuck, 1992, 1994; Rodrigues *et al.*, 1999, 2010; Laux *et al.*, 2005; Pimentel, 2016; Falci *et al.*, 2018; Brown *et al.*, 2020; Carneiro, 2021). Antes interpretava-se o AMG como um embasamento arqueano retrabalhado e após revisitações científicas passou-se a interpretá-lo como um arco magmático formado durante a convergência cratônica (Marini *et al.*, 1984; Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.*, 2000; Pimentel, 2016; Carneiro *et al.*, 2021).

#### **2.4. Segmento Arenópolis (AMA)**

O segmento Arenópolis está situado na porção sul do Arco Magmático de Goiás, com direção NNW (Pimentel, 1985; Pimentel & Fuck 1986). É limitado a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano e a leste pelos granulitos do complexo Anápolis-Itauçu (Matsui *et al.* 1976; Girardi *et al.*, 1978). O Lineamento

Moiporá-Novo Brasil divide a parte sul em dois domínios principais, intitulados como Arenópolis e Anicuns-Itaberaí (Motta-Araújo & Pimentel, 2003; Silva *et al.*, 2020).

Estão compreendidas no segmento Arenópolis, sete sequências metavulcanossedimentares, com idade entre 900 e 600 Ma. As sequências metavulcanossedimentares (Figura 2.3) compreendidas são, de oeste para leste: Bom Jardim de Goiás (ca. 750 Ma; Guimarães *et al.*, 2012), Arenópolis (ca. 929 Ma; Pimentel & Fuck, 1992), Iporá-Amorinópolis (ca. 636 Ma; Rodrigues *et al.*, 1999), Jaupaci (ca. 747 Ma; Marques, 2017) e Anicuns-Itaberaí (ca. 830 Ma; Laux, 2004). As sequências são separadas por rochas metaplutônicas tonalíticas a granodioríticas com características transicionais entre as séries cálcio-alcalinas de alto potássio e shoshonítica.

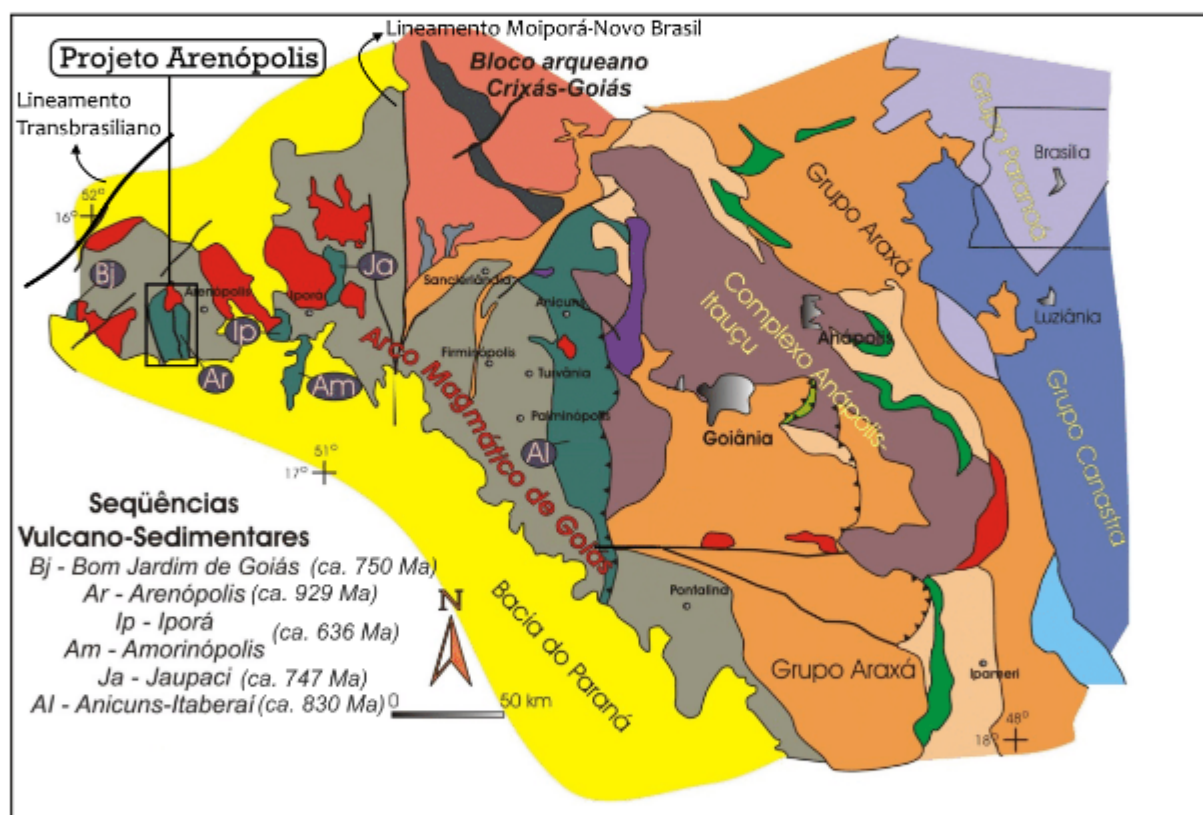


Figura 2.3: Mapa geológico simplificado do segmento Arenópolis (Modificado de Pimentel *et al.*, 2000).

O domínio oriental, denominado como Anicuns-Itaberaí, inclui gnaisses tonalíticos cálcio-alcalinos milonitizados da região de Sanclerlândia (830 Ma), intrusões máficas e graníticas de Choupana e Turvânia (600 Ma) associadas às sequências metavulcanossedimentares neoproterozóicas (Laux *et al.*, 2004, 2005), que estão separadas por granitos peraluminosos dispostos ao longo de zonas de

cisalhamento. As rochas metavulcânicas nesses complexos representam metabasaltos, metatufos, dacitos e riodacitos andesíticos, em geral toleíticos de baixo potássio a cálcio-alcálinos.

O setor ocidental, denominado de Arenópolis, consiste em uma janela erosiva que expõe a Bacia do Paraná a oeste, onde estão evidenciadas as sequências metavulcanossedimentares de Jaupaci, Iporá-Amorinópolis, Arenópolis-Piranhas e Bom Jardim de Goiás, e diversas faixas supracrustais contendo ortognaisses tonalíticos de 900 a 600 Ma (Pimentel *et al.*, 2004; Laux *et al.*, 2005). As zonas de cisalhamento NNW-SSE, acomodam a deformação. O limite do setor é marcado pelo Lineamento Transbrasiliiano NE-SW (Seer, 1985; Curto *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020).

## 2.5. Contexto Geológico do Projeto Arenópolis-GO

No contexto do Projeto Arenópolis, são contempladas principalmente as rochas relacionadas ao Segmento Arenópolis do Arco Magmático de Goiás, além de uma pequena porção constituída por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, que ocupam uma parcela das áreas ao sul do projeto.

As rochas do AMG que afloram na área do projeto são representantes das unidades: Complexo Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Granitos Tonianos, Criogenianos e Cambrianos. Já a Bacia do Paraná é representada pelos Grupos Paraná e Rio Ivaí, conforme apresentado nas Folhas Piranhas e Caiapônia (Meneghini e Carneiro, 2020).

A descrição das unidades será apresentada a seguir, respeitando as relações tectono-estratigráficas da base para o topo, conforme ilustrado na Figura 2.4. Com o intuito de sintetizar o conhecimento das idades geocronológicas das unidades descritas neste capítulo, as principais unidades e suas respectivas datações foram agrupadas na Tabela 2.1.



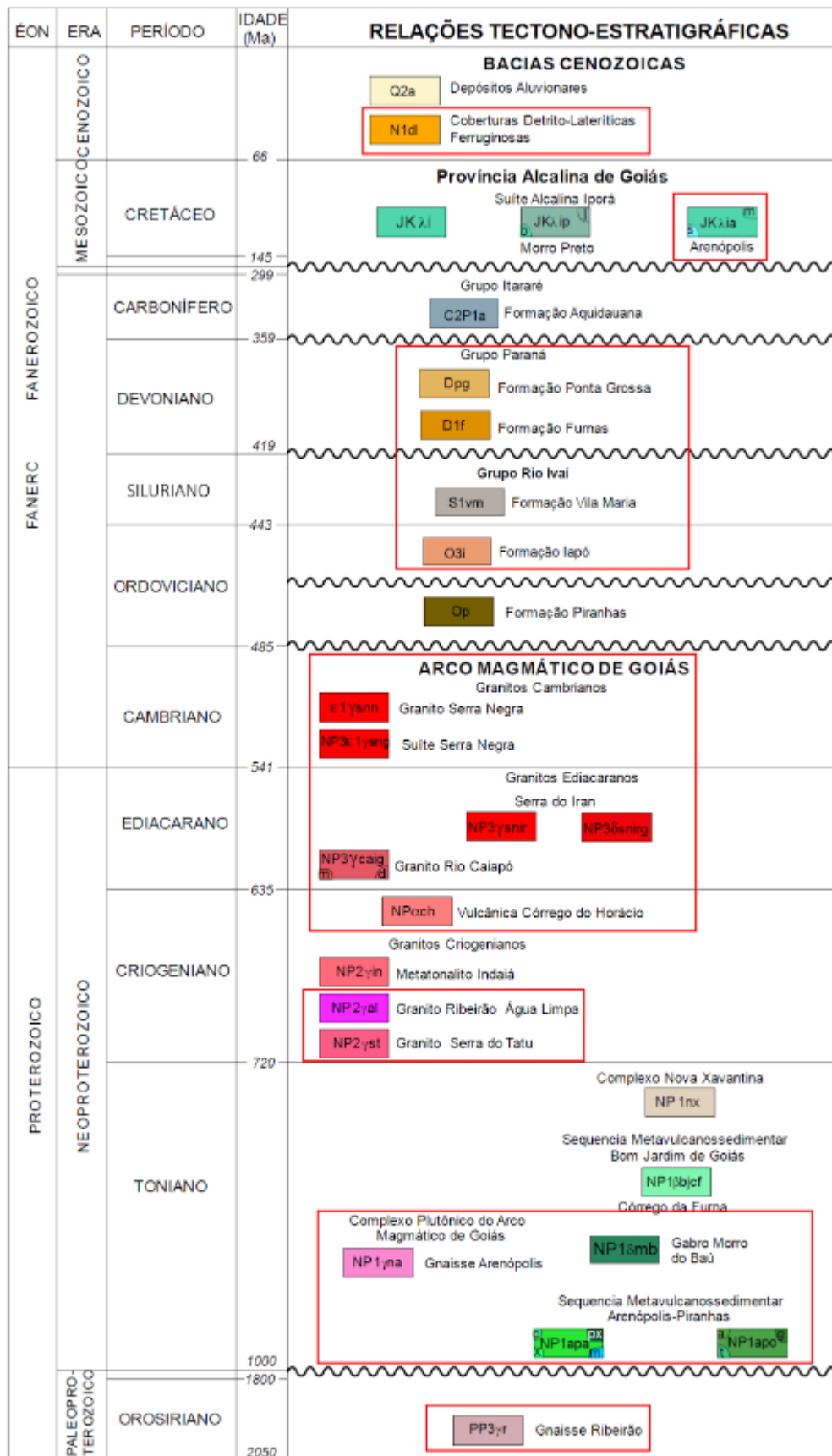


Figura 2.4: Coluna tectono-estratigráfica integrando dados das folhas Piranhas e Caiapônia, enfatizando as unidades abordadas no mapeamento geológico de Arenópolis em vermelho (Meneghini e Carneiro, 2020).

Tabela 2.1: Idades geocronológicas das unidades que compõem o Projeto Arenópolis.

Unidade	Descrição	Idade (Ma)	Método	Autor
Gnaiss Ribeiro	Ortognaisse	1816 ± 110	Rb-Sr	Pimentel (1992)
SMVS Arenópolis-Piranhas	Metariolito	930 ± 8	U-Pb	Pimentel & Fuck (1991)
		900 ± 8	Pb-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (2003)
Gabro Morro do Baú	Gabro	890 ± 8	U-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (2003)
Gnaiss Arenópolis	Biotita Ortognaisse	899 ± 7	U-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (1991)
Granito Serra do Tatu	Biotita Granito	692 ± 110	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1985)
Granito Rib. Água Limpa	Hbl-Bt Granito	639 ± 3	U-Pb	Hattingh <i>et al.</i> (2019)
Vulcânicas Córrego do Horácio	Tufos ácidos	-	-	Lacerda Filho <i>et al.</i> (2021)
Granito Serra do Iran	Biotita Monzogranito	564 ± 5	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1985)
		588 ± 19	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1996)
Granito Rio Caiapó	Biotita Granito	568 ± 10	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1985)
		587 ± 17	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1996b)
Granito Serra Negra	Biotita Monzogranito	505	Rb-Sr	Fuck (1987)
		538 ± 17	U-Pb	Guimarães <i>et al.</i> (2007)
Bacia do Paraná	Bacia Sedimentar	Neo-Ordoviciano	-	Milani <i>et al.</i> (2007)
Suíte Alcalina Iporá	Alcalinas e ultramáficas	94 ± 5	K-Ar	Sonoki & Garda (1988)

### 2.5.1. Gnaiss Ribeiro (PP3yr)

De acordo com Pimentel (1992) e Pimentel & Fuck (1992a), o Gnaiss Ribeiro ocorre nas proximidades de Piranhas, encontrando-se exposto em estreita faixa NW-SE limitada por falhas. Apresenta-se tectonicamente encaixado em meio às rochas metavulcanossedimentares da Sequência de Arenópolis-Piranhas, dividindo-as em duas subunidades: Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça. Trata-se de biotita-hornblenda ortognaisses rosados, finamente bandados, fortemente deformados e metamorfizados em fácies anfibolito (Pimentel, 1991).

As análises geocronológicas utilizando o método Rb-Sr indicaram que o gnaiss possui uma idade de 1.816 ± 10 Ma. Além disso, os dados isócronos Pb-Pb concordantes apontam uma idade de 1.881 ± 230 Ma. A idade modelo Sm-Nd das amostras variou entre 3.7 e 2.8 Ga, com valores de  $\epsilon_{Nd}$  negativos, que variam entre

-11 e -18, correspondendo, assim, a idades modelo arqueanas entre 2.8 e 3.7 Ga (Pimentel, 1992).

### **2.5.2. Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas (SMAP) [NP1apo/NP1apa]**

Trabalhos pioneiros conduzidos na região entre Arenópolis e Piranhas forneceram evidências da presença de rochas supracrustais expostas ao longo de uma faixa de orientação norte-sul (Pena & Figueiredo, 1972; Pena *et al.*, 1975; Faria *et al.*, 1975). Inicialmente, esse conjunto de rochas foi atribuído ao Grupo Araxá. No entanto, o Projeto RADAMBrasil posteriormente individualizou as rochas, atribuindo-as a um contexto de idade arqueana e classificando-as como um *greenstone belt*, semelhante ao Grupo Guarinos (Ilanhez *et al.*, 1983, 1984).

Pimentel & Fuck (1986), baseados em evidências petrográficas, geolitoquímicas e estruturais atribuíram as rochas a um contexto relacionado ao Proterozóico Superior. Pimentel (1985) propôs que essas rochas foram originadas em ambiente de arco vulcânico e as denominou como Sequência Vulcanossedimentar de Arenópolis. Posteriormente, essa interpretação foi sustentada por análises isotópicas e datações geocronológicas (Pimentel *et al.*, 1991, 2003; Pimentel & Fuck, 1992).

A sequência é dividida em duas unidades, Córrego da Onça e Córrego do Santo Antônio, que são separadas espacialmente pelo Gnaiss Ribeirão. Essa divisão é atribuída às suas origens distintas, embora apresentem semelhanças metamórficas e estruturais (Carneiro, 2019).

Composicionalmente, a unidade é caracterizada como uma sequência vulcânica cálcio-alcálica, típica de arcos de ilhas, composta por metabasaltos, metandesitos, metadacitos e metarriolitos, com cerca de 900 Ma (Pimentel, 2003), intensamente deformados e afetados por zonas de cisalhamento de deslocamento lateral do Neoproterozóico, com cerca de 600 milhões de anos (Pimentel *et al.*, 1991).

As rochas da SMAP apresentam contato tectônico com ortognaisses juvenis a leste e granitos miloníticos a oeste. Adicionalmente, as unidades da SMAP são intrudidas pelos granitos da Serra do Iran ao norte e encobertas pelas formações Iapó, Furnas e Vila Maria da Bacia do Paraná ao sul (Carneiro, 2021).

### Unidade Córrego da Onça (NP1apo)

A Unidade Córrego da Onça forma estreita faixa de direção NNW, composta por rochas metavulcânicas e, subordinadamente, plutônicas, com pequenas lentes de rochas metassedimentares, na porção leste da sequência (Lacerda Filho *et al.*, 2021). Pimentel *et al.* (2003) descrevem a presença de metabasaltos, meta-andesitos, metadacitos e metariolitos, com geoquímica similar a arcos de ilhas primitivos, ratificada por dados Sm-Nd que indicam  $\epsilon\text{Nd(T)}$  positivos entre +2.5 e +2.8 (Pimentel & Fuck 1992). Observam-se faixas de anfibolitos, seguidos de metatufos intermediários a ácidos, com mica xistos (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

Ainda, segundo Pimentel (1985), a Unidade Córrego da Onça pode ser subdividida em três subunidades: máfica, intermediária-félsica e metassedimentar. As três unidades mostram, invariavelmente, xistosidade e foliação vertical ou subvertical. Porém, próximo ao contato com o corpo granítico, foi observada uma polaridade quanto à distribuição das principais rochas. Foi observado um padrão de afloramento, no qual são encontradas, de leste para oeste, rochas metavulcânicas e metatufáceas intermediárias, seguidas de pacotes de rochas metassedimentares. Pimentel (1985) interpreta que essa polaridade pode representar o empilhamento estratigráfico original. Desta forma, a subunidade máfica é interpretada como o pacote basal e a subunidade metassedimentar como o topo da Unidade Córrego da Onça. Uma quarta unidade de distribuição muito restrita, também, foi descrita. Essa unidade é caracterizada pela ausência da fase deformacional presente nas outras subunidades e é constituída por rochas vulcânicas e piroclásticas de composição riolítica.

A análise de dados geocronológicos indica idade U-Pb de cerca de 930 Ma para os metariolitos e idade de recristalização por titanita de 600 Ma (Pimentel & Fuck, 1991; Pimentel *et al.*, 2003).

#### *Subunidade Máfica*

De acordo com Pimentel (1985), a subunidade máfica é composta por anfibolitos e anfibólio xistos de composição basáltica e andesítica, mostrando texturas e estruturas vulcânicas. Essas rochas possuem coloração preto-esverdeada a cinza-esverdeada e, eventualmente, contam com a presença de bandamento. Ainda, exibem predominância de texturas nematoblásticas a granoblástica, com níveis lepidoblásticos. A composição tida para as rochas é

basáltica a andesítica. Podem ser observadas feições ígneas reliquias, como textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio e *pillow lavas*. A mineralogia principal descrita consiste em plagioclásio, hornblenda, magnetita e quartzo.

São descritas duas fácies de metamorfismo para as rochas. As rochas expostas ao norte da sequência exibem paragênese metamórfica na fácies xisto verde; epidoto, clorita e actinolita marcam essa fase. Já as rochas que ocorrem próximo à borda da Bacia do Paraná exibem paragênese de fácies anfibolito, marcada por hornblenda e plagioclásio. Intercalações com rochas félsicas como quartzo-muscovita xistos feldspáticos são comuns.

#### *Subunidade Intermediária-Félsica*

Esta unidade aflora como intercalações nos anfibolitos. Trata-se de rochas quartzo-feldspáticas finas, de origem tufácea, com composição dacítica a riolítica, com intercalações de rochas metandesíticas, metabasálticas e de calci xistos. As rochas estão intensamente deformadas e alteradas hidrotermalmente, apresentando forte magnetismo, contudo ainda podem exibir púmices alongadas e fenocristais com feições de reabsorção.

As rochas exibem textura granoblástica, subordinadamente nematoblástica a lepidoblástica. A mineralogia das rochas é composta por quartzo, plagioclásio (oligoclásio a andesina), hornblenda, biotita, clorita, epidoto, mica branca, carbonato, apatita, granada e magnetita. Em alguns locais os gnaisses podem apresentar textura microporfirítica, sugerindo origem vulcânica ou tufácea.

#### *Subunidade Metassedimentar*

A subunidade metassedimentar é a que ocupa a menor área na unidade. Pimentel (1985) identificou metagrauvacas, biotita xistos feldspáticos e quartzitos, com intercalações locais de mármore, anfibolito e muscovita xisto grafitoso, como representantes dessa subunidade. Os biotita xistos feldspáticos são interpretados como produto do metamorfismo de metagrauvacas.

Carneiro (2019) descreve as rochas dessa subunidade como sendo constituídas por filmes de clorita e muscovita, alternadas com bandas granoblásticas de quartzo e plagioclásio. A paragênese e a ocorrência de feições rítmicas sugerem que estas rochas se formaram a partir do metamorfismo em fácies xisto verde de

ritmitos. Pimentel (1985) descreve os biotita xistos feldspáticos e as metagrauvacas sendo constituídos por quartzo, microclínio, plagioclásio, biotita, clorita e muscovita.

Ainda, são identificados fragmentos de rochas presentes nelas, que são compostos por microclínio pertítico, quartzo e plagioclásio, o que sugere protólito granítico (Pimentel, 1985). As rochas apresentam textura granoblástica e a biotita aparece em cristais hipidiomórficos bem alinhados, o que caracteriza a xistosidade dessas rochas. O plagioclásio não apresenta geminação e, comumente, mostra-se alterado para mica branca. A biotita e a granada são substituídas em intensidades variadas por clorita.

#### *Corpos Intrusivos Básicos a Ácidos*

Pimentel (1985) e Pimentel & Fuck (1986) atribuem esta subunidade a metatufos riolíticos com ou sem deformação que sobrepõem as rochas da Unidade Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Os riolitos se diferenciam pela ausência de deformação, bem como por suas características petrográficas e químicas.

Lacerda Filho *et al.* (2021) propõem que essa associação de rochas metavulcânicas e metatufáceas intermediárias a ácidas, que apresentam pouca ou nenhuma deformação, forma uma unidade distinta, denominada Vulcânicas Córrego do Horácio. A descrição detalhada desta unidade é fornecida no próprio tópico correspondente.

#### **Unidade Córrego do Santo Antônio (NP1apa)**

A Unidade Córrego do Santo Antônio ocupa a porção oeste da SMAP e é representada pela predominância de mica xistos e de corpos máfico-ultramáficos (Pimentel, 1985). A unidade é caracterizada por pelo menos quatro camadas de empurrão compostas por associação de corpos máfico-ultramáficos, mármore, metachert, mica xistos intensamente dobrados e quartzitos (Carneiro, 2019).

Inicialmente, a unidade foi interpretada por Pimentel & Fuck (1986) como um prisma acrescionário e os corpos máfico-ultramáficos como fragmentos ofiolíticos, porém estudos recentes (Carneiro *et al.*, 2021) reforçam que tal interpretação requer mais evidências que sustentem essa hipótese.

Pimentel (1985) subdivide a unidade em duas partes principais: Corpos Máfico-Ultramáficos e Rochas Metassedimentares. A descrição dessas subunidades

será apresentada a seguir. Em menores proporções, são identificados mármores, quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos e anfibolitos associados aos corpos máfico-ultramáficos.

#### *Corpos Máfico-Ultramáficos*

Esses corpos são constituídos por anfibolitos, metagabros, metaperidotitos, metapiroxenitos e serpentinitos de granulação média a grossa. Próximos a eles, são encontrados afloramentos de anfibolitos finos, rochas calcissilicáticas e muscovita xistos.

Em geral, os corpos apresentam-se alongados na direção NNW, a mesma direção geral das estruturas da sequência, e com dimensões variáveis. Interpreta-se que as rochas dessa subunidade representam corpos individualizados que foram deformados e desmembrados.

#### *Rochas Metassedimentares*

Os principais representantes são xistos, mármores, metacherts e quartzitos. Essas rochas recobrem os corpos máfico-ultramáficos citados anteriormente e apresentam frequente fraturamento preenchido por sulfetos de caráter disseminado, predominantemente pirita.

Os mica xistos representam as rochas mais abundantes da Unidade Córrego do Santo Antônio, porém, devido à escassez de afloramentos e ao alto grau de intemperismo de seus afloramentos, representam as rochas menos conhecidas e estudadas desta unidade. Apesar deste fator, observa-se uma mineralogia diversificada, na qual predominam quartzo e muscovita, e podem ocorrer granada, biotita, grafita, estauroлита, cianita e sillimanita. Devido às paragêneses identificadas, acredita-se que os protólitos dessas rochas tenham sido rochas sedimentares pelíticas aluminosas. Subordinadamente aos mica xistos, ocorrem intercalações de quartzitos, gonditos e metacherts, ricos em pirita.

#### *Rochas calcissilicáticas*

Em geral, ocorrem associadas aos corpos máfico-ultramáficos. Como características principais, apresentam bandamento composicional, textura granoblástica fina a média e mineralogia bastante variada. Essas rochas se destacam pela presença abundante de microclínio associado a minerais cálcicos. A

mineralogia dessas rochas é caracterizada por carbonato, epidoto, microclínio, diopsídio, granada, plagioclásio, quartzo, hornblenda, titanita, biotita, clorita, apatita e minerais opacos.

### *Mármore*

Os mármore ocorrem como lentes de dimensões variadas, concentrando-se principalmente na porção sul da área do Projeto Arenópolis. Em geral, apresentam coloração cinza, foliação bem marcada e localmente ricas em pirita. A mineralogia é marcada por epidoto, biotita, microclínio pertítico, carbonato, mica branca, plagioclásio e quartzo. Essas rochas se diferenciam das rochas calcissilicáticas pela presença de bandas mais espessas formadas por carbonato e quartzo. Acredita-se que o protólito desses mármore corresponde a calcário com finas intercalações pelíticas.

### **2.5.3. Gnaiss Arenópolis (NP1yna)**

O Gnaiss Arenópolis ocorre em faixa de orientação NNW, com aproximadamente 60 km de comprimento. Pimentel *et al.* (1991) definem a unidade como a porção plutônica intermediária da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. As rochas dessa unidade são representadas por ortognaisses cálcicos a cálcio-alcálicos, caracterizados como rochas metaluminosas de coloração cinza, granulação média a grossa, com composições tonalíticas a granodioríticas, metamorizadas em fácies epidoto anfibolito e, comumente, apresentam texturas e estruturas ígneas preservadas (Simões, 1984; Pimentel & Fuck, 1987; Amaro, 1989; Rodrigues, 1999).

Pimentel & Fuck (1994) citam que as rochas possuem baixos valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , e atribuem a causa tanto à mineralogia cálcica quanto ao caráter geoquímico primitivo das rochas. A idade U-Pb de  $899 \pm 7$  Ma obtida por Pimentel *et al.* (1991), reflete a cristalização do protólito plutônico, enquanto a isócrona Rb-Sr de 818 Ma, pode registrar tanto a época de fechamento final do sistema isotópico Rb-Sr como rehomogeneização isotópica do sistema, devido a uma fase metamórfica de mesma idade.



#### 2.5.4. Gabro Morro do Baú (NP15mb)

O Gabro Morro do Baú é uma intrusão máfico-ultramáfica toniana de composição gabróica de pequena escala, que ocorre na porção sul da SMAP (Pimentel, 2003). As exposições exibem caracteristicamente solos vermelhos argilosos e formam morrotes, associados a relevos ondulados. Pimentel & Fuck (1986, 1987) interpretam essa unidade como um equivalente plutônico das formações vulcânicas do arco. As rochas do Morro do Baú são descritas como gabros e dioritos deformados e metamorfizados, localmente observam-se texturas faneríticas grossas e enclaves de anfibolitos finos preservados. Titanita e apatita marcam a fase acessória.

Análises de U-Pb indicaram idade média de cristalização de  $890 \pm 8$  Ma. As análises  $\epsilon\text{Nd}$  e TDM revelaram valores iguais a -9,7 e 2,8 Ga, respectivamente, indicando contaminação significativa com material arqueano do Gnaiss Ribeirão. Desta forma, Pimentel (2003) pressupõe que Morro do Baú o intrudiu.

#### 2.5.5. Granitos Criogenianos

Os granitos criogenianos que afloram na área do Projeto Arenópolis são o Granito Serra do Tatu (NP2yst) e o Granito Ribeirão Água Limpa (NP2ayal). Os granitos citados foram gerados sob influência da convergência e colisão dos arcos magmáticos jovens, resultado da colisão entre os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema.

##### Granito Serra do Tatu (NP2yst)

O Granito Serra do Tatu está situado nas proximidades de Arenópolis e estabelece contato com o Gnaiss Arenópolis, a leste, e a Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas, a oeste, por intermédio de falhas (Pimentel, 1985). Apresenta-se como corpo granítico com direção N20W. Sua característica marcante é a foliação milonítica presente em todo corpo, principalmente nas bordas. A mineralogia da unidade é caracterizada por microclínio, plagioclásio, quartzo, clorita e mica branca. Subordinadamente, podem ser encontrados albita, epidoto, carbonato, apatita e esfero. Uma idade de  $692 \pm 110$  Ma foi obtida pelo método Rb-Sr por Pimentel *et al.* (1985).

### **Granito Ribeirão Água Limpa (NP2a<sub>yal</sub>)**

Pena & Figueiredo (1972), Pena *et al.* (1975), Faria *et al.* (1975), Ianhez *et al.* (1983) inicialmente trataram as rochas expostas ao longo do Rio Piranhas como gnaisses pertencentes ao Arqueano e as agruparam no Complexo Basal. Araújo & Moreton (2008) trazem uma nova perspectiva, denominando-as como Ortognaisses do Oeste de Goiás, que agrupa granitos e gnaisses expostos na porção sul do AMG, posicionando-os no Proterozóico Superior.

As rochas foram descritas por Pimentel (1985) e Pimentel & Fuck (1986) como granitos porfiríticos levemente deformados, correlacionando-as ao Granito Rio Caiapó.

Recentemente Lacerda Filho *et al.* (2021) agruparam os tonalitos a granodioritos leucocráticos, granitos cinza a cinza-esverdeados e granitos porfiríticos róseo-esverdeados à unidade do Granito Ribeirão Água Limpa. A assembleia mineralógica é marcada por plagioclásio, quartzo, microclínio, muscovita e biotita, eventualmente com magnetita.

Análises isotópicas de cristais de zircões fornecem idade de cristalização de  $639 \pm 3$  Ma (Hattingh *et al.*, 2019; Lacerda Filho *et al.*, 2021).

### **2.5.6. Vulcânicas Córrego do Horácio (NP<sub>ach</sub>)**

Lacerda Filho *et al.* (2021) propõem que associação de rochas metavulcânicas e metatufos intermediárias a ácidas, pouco ou não deformadas, compõe uma unidade particular, denominada de Vulcânicas Córrego do Horácio. Anteriormente, Pimentel (1985) e Pimentel & Fuck (1986) atribuíam essas rochas como Corpos Intrusivos Básicos a Ácidos pertencentes à Unidade Córrego da Onça da SMAP. A unidade é representada por granodioritos subvulcânicos e metatufos dacíticos. Os tufos cobrem rochas pertencentes à Sequência Arenópolis-Piranhas, Gnaiss Arenópolis e Granito Serra do Tatu e apresentam controle por falha de direção NW.

Os metatufos estão dispostos horizontalmente, exibem coloração rosada a róseo-esverdeada, isotrópicos a pouco deformados, marcados por intensa venulação epidosítica e textura vitrofírica. Os granodioritos estabelecem contato intrusivo com os monzogranitos da Serra do Tatu. Presença de textura granular a porfirítica é observada, com fenocristais de plagioclásio saussuritizado imersos em matriz fina esverdeada.

### 2.5.7. Granitos Ediacaranos

Os granitos ediacaranos que afloram na área do Projeto Arenópolis são o Granito Rio Caiapó (NP3γcai) e o Granito Serra do Iran (NP3γsnir/NP3δsnirg). Esses granitos possuem características sin a tardi-tectônicas. Desta forma, sua granitogênese está relacionada à convergência e fechamento das margens continentais, referente à colisão entre os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema.

#### Granito Rio Caiapó (NP3γcai)

O Granito Rio Caiapó é um corpo batolítico que corresponde a três pulsos magmáticos na região entre Arenópolis e Iporá (Pimentel & Fuck, 1987). O batólito é intrusivo no Gnaiss Arenópolis e limitado por uma falha norte-sul a leste foi intrudido pelas rochas da Suíte Alcalina de Iporá (Lacerda Filho *et al.*, 2021). Pimentel & Fuck (1987) descrevem a unidade como rochas porfíricas levemente deformadas, com composição variando de gabros a granitos. A assinatura química mostra afinidades cálcio-alcálicas.

Hasui & Almeida (1970), por meio do método de datação K-Ar em biotita, obtiveram idade de  $522 \pm 16$  Ma. Posteriormente, Pimentel *et al.* (1985; 1996) obtiveram idades de  $568 \pm 10$  Ma e  $587 \pm 17$  Ma por meio da análise isotópica Rb-Sr.

#### Granito Serra do Iran (NP3γsnir/NP3δsnirg)

O Granito Serra do Iran é constituído por um pequeno plúton localizado na região central, entre Arenópolis e Piranhas (Pimentel & Fuck, 1985). Apresenta como características principais a homogeneidade petrográfica e textural e o caráter isotrópico de sua trama. Pimentel & Fuck (1985) caracterizam duas fases intrusivas deste corpo. A primeira fase apresenta composição variando de gabro-diorito a quartzo monzonito, com granulação média e localmente com textura subofítica. Já a segunda fase intrusiva aloja-se na anterior e apresenta composição sienogranítica equigranular (Pimentel & Fuck, 1987). São relatados xenólitos de anfibolito pertencentes à Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas. As texturas e mineralogias observadas se assemelham ao Granito Serra Negra.

Apresenta idade de cristalização de  $564 \pm 5$  e  $588 \pm 19$  Ma pelo método Rb-Sr (Pimentel & Fuck, 1985; Pimentel *et al.*, 1996).

### **Granito Serra Negra (ε1ysnn)**

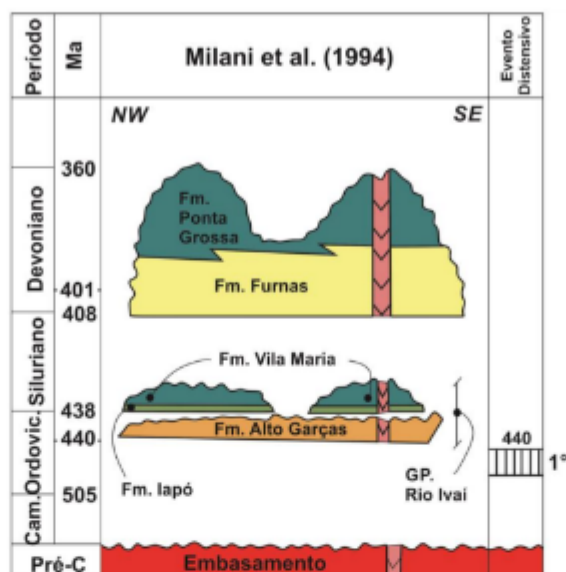
O Granito Serra Negra é um batólito granítico representativo da Suíte Alcalina Serra Negra, que se estende por aproximadamente 28 km desde Piranhas até Bom Jardim de Goiás (Lacerda Filho *et al.*, 2021). Esse batólito está associado ao magmatismo pós-orogênico do AMA e exibe características de granito tipo A (Pimentel & Fuck 1985). Petrograficamente, consiste em hornblenda-biotita monzogranito, com coloração variando entre branco e rosa (Guimarães *et al.*, 2012). Em geral, apresenta textura homogênea, isotrópica e equigranular, com granulação média a grossa (Coimbra, 2015). As fácies brancas ocorrem também na forma de diques cortando as fácies rosas. Análises químicas indicam que esses granitos são levemente peraluminosos e de natureza cálcio-alcalina (Guimarães, 2007; Coimbra, 2015).

Datações U-Pb em zircão geraram idade de  $538 \pm 17$  Ma, interpretada como idade de cristalização do granito (Guimarães *et al.*, 2012), e Rb-Sr obtiveram  $524 \pm 16$  Ma (Pimentel & Fuck, 1985).

### **2.5.8. Bacia do Paraná**

A Bacia do Paraná representa uma bacia intracratônica desenvolvida entre o Ordoviciano e o Cretáceo, com área de 1.400.000 km<sup>2</sup> e espessura de 7.000 m. É constituída por rochas fanerozóicas que sobrepõem o embasamento do Arco Magmático de Goiás e apresenta eixo maior orientado segundo a direção NNE-SSW (Milani *et al.*, 2007; Adorno, 2014). O pacote registra rochas magmático-sedimentares divididos em seis supersequências (Vail *et al.*, 1977, Milani, 1997): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso- a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo), e Bauru (Neocretáceo). Os três primeiros são resultantes de ciclos transgressivos-regressivos, enquanto o restante desenvolveu-se pela sedimentação continental mesozóica, com rochas ígneas associadas (Curto, 2015).

Na área de estudo do Projeto Arenópolis, afloram apenas as formações lapó e Vila Maria, do Grupo Rio Ivaí, e Furnas e Ponta Grossa, do Grupo Paraná (Figura 2.5).



**Figura 2.5:** Coluna cronoestratigráfica simplificada das formações da Bacia do Paraná aflorantes no Projeto Arenópolis (Segundo Milani *et al.*, 1994; adaptado de Adorno, 2014).

## Grupo Rio Ivaí

O Grupo Rio Ivaí é a unidade mais antiga identificada na Bacia do Paraná, estando assentada diretamente acima dos domínios do embasamento da sinéclise (Milani *et al.*, 1997). A unidade é composta pelas formações Alto Garças, lapó e Vila Maria, da base para o topo (Assine *et al.*, 1993; Adorno, 2014).

### *Formação lapó (Q3i)*

A Formação lapó é constituída por diamictitos, com matriz siltico-arenosa e clastos de origem diversa (Milani *et al.*, 1998). Apresenta contato abrupto com os arenitos da Formação Alto Garças, denotando uma grande descontinuidade da sedimentação. Os diamictitos da Formação lapó são sucedidos pela Formação Vila Maria (Milani *et al.*, 2007).

### *Formação Vila Maria (S1vm)*

A Formação Vila Maria constitui o topo do Grupo Rio Ivaí e marca o começo da sedimentação do Siluriano ao longo da borda nordeste da Bacia do Paraná

(Faria, 1982). Essa unidade representa o período de máxima inundação do ciclo sedimentar do Grupo Rio Ivaí (Curto, 2015). O pacote de rochas da formação é marcado por pelitos, que gradam para termos arenosos no sentido ao topo, com poucas dezenas de metros de espessura (Milani *et al.*, 2007). Adorno (2014) descreve a porção basal como folhelhos e siltitos micáceos de cor arroxeada, enquanto a porção superior como arenitos micáceos.

### **Grupo Paraná**

O Grupo Paraná representa o segundo ciclo transgressivo-regressivo da Bacia do Paraná durante o Devoniano (Milani, 1997; Curto, 2015). A maior parte encontra-se sobrepondo os estratos do Grupo Rio Ivaí, porém também pode ser encontrado diretamente sobre o embasamento da sinéclise (Milani *et al.*, 2007), estrutura geológica que se desenvolve em plataforma continental, produzida por lento abaulamento negativo da crosta ao longo dos períodos geológicos. A unidade é composta, da base para o topo, pelas formações Furnas e Ponta Grossa.

#### *Formação Furnas (D1f)*

A Formação Furnas representa a base do Grupo Paraná, sendo constituída por um pacote arenoso com cerca de 250 m de espessura (Milani *et al.*, 2007). Alvarenga & Guimarães (1994) descrevem essa unidade como resultado de um sistema deposicional fluvial entrelaçado de alta energia. Milani *et al.* (2007) descrevem o pacote como uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, médios a grossos, caulínicos e exibindo estratificações cruzadas, podendo apresentar leitos conglomeráticos próximos à base.

#### *Formação Ponta Grossa (Dpg)*

A Formação Ponta Grossa sobrepõe-se à Formação Furnas por meio de uma discordância erosiva (Alvarenga & Guimarães, 1994). Milani *et al.* (2007) descrevem o pacote como um conjunto de fácies granodecrescente divididas em três partes distintas: uma porção inferior composta por folhelhos pretos e folhelhos com lentes de arenito fino, uma porção média de natureza areno-siltica e uma porção superior predominantemente pelítica. Alvarenga & Guimarães (1994) caracterizam a unidade como uma plataforma marinha de águas rasas e agitadas.



### 2.5.9. Suíte Alcalina de Goiás (JK*li*)

As rochas alcalinas que ocorrem na região de Goiás apresentam um longo histórico de evolução do conhecimento no decorrer dos anos. A tabela 2.2. sintetiza os principais autores e suas respectivas nomenclaturas para esta unidade.

Tabela 2.2: Evolução do conhecimento da Suíte Alcalina de Goiás.

Nomenclatura	Autor
Grupo Iporá	Guimarães <i>et al.</i> (1968)
Província Alcalina Rio Verde-Iporá	Danni <i>et al.</i> (1992,1994)
Província Alcalina do Sul de Goiás	Lacerda Filho <i>et al.</i> (1999)
Província Alcalina de Goiás	Junqueira-Brod <i>et al.</i> (2002)
Suíte Alcalina de Iporá	Lacerda Filho <i>et al.</i> (2021)

Todos os termos visam agrupar o conjunto de rochas alcalinas de natureza plutônica e vulcânica, que estão situadas ao longo de uma faixa de direção noroeste com 250 km de comprimento e 70 km de largura (Junqueira-Brod, 2002, 2005). A direção dos corpos que a compõe é concordante com a orientação das falhas do embasamento de direção N30-40W e N50E (Danni *et al.*, 1994). Optamos por utilizar o termo mais recente Suíte Alcalina Iporá (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

Os afloramentos de rochas alcalinas são vistos desde Santo Antônio da Barra no sul até a região do Morro do Engenho, no norte de Goiás. Expressam-se como complexos máfico-ultramáficos alcalinos e também como sills, diques, plugs, chaminés, depósitos de lavas e rochas piroclásticas. Observa-se uma distribuição espacial das composições da província, na qual corpos máfico-ultramáficos são observados no norte, rochas subvulcânicas são registradas predominantemente na porção central e as vulcânicas no sul. A província conta com extensas exposições de derrames kamafugíticos (Junqueira-Brod *et al.*, 2002a).

O magmatismo alcalino associado está relacionado ao tectonismo cretáceo, sendo sua última fase associada com a deposição da Formação Marília, porção superior do Grupo Bauru (Souza Jr., 1983). Diversos corpos de dimensões variadas foram formados por episódios de magmatismo alcalino. Na área do Projeto Arenópolis, apenas o Corpo Arenópolis é aflorante. Por este motivo, apenas este corpo será detalhado a seguir.

### **Corpo Arenópolis (Jkλia)**

O corpo alcalino de Arenópolis foi primeiro detalhado por Faria *et al.* (1975). A intrusão de Arenópolis forma uma chaminé vulcânica de formato oval e alongada na direção NS, constituída por três conjuntos litológicos distintos (Danni *et al.*, 1976). Todas as composições rochosas que caracterizam o corpo são intrusivas nos granitos do Batólito Rio Caiapó.

A unidade alcalina é formada por núcleo rico em peridotitos e piroxenitos; na zona central há predomínio de gabros e subordinadamente ijolitos, melteigitos e piroxenitos; a zona externa conta com a presença de nefelina-sienito e diques de lamprófiros, fonolitos e tinguitos. As rochas exibem como texturas principais bandamento magmático e textura cumulática (Danni *et al.*, 1976).

#### **2.5.10. Coberturas Detrito-lateríticas ferruginosas (N1dl)**

As coberturas são caracterizadas por latossolos vermelhos a castanhos estruturados, areno-argilosos com predomínio de goethita e subordinada caulinita e gibsita, e são atribuídas ao Terciário-Quaternário.

As coberturas são de espessura variada, podendo exibir perfis lateríticos imaturos e, localmente, maduros. A maturidade pode conferir caráter distinto a partir da rocha original, alterada para saprólito, horizontes mosqueados, ferruginosos com pisólitos, culminando em crostas ferruginosas.

A formação de depósitos supergênicos relacionados a níquel, fosfato e manganês estão atreladas ao processo de pedogênese por laterização.

### **3. Sensoriamento Remoto e Geofísica**

De acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), o Sensoriamento Remoto é um conjunto de técnicas que visa detectar e monitorar as características físicas da superfície terrestre remotamente. Essas técnicas envolvem a medição da energia eletromagnética refletida e emitida pelos alvos, utilizando sensores acoplados a satélites ou aeronaves.

Por outro lado, a geofísica consiste em métodos indiretos de investigação do meio físico em superfície e subsuperfície. Esses métodos são baseados nas diferentes propriedades físicas do meio, cada uma delas pode dar origem a um ou

mais métodos de investigação geofísica, como os métodos gamaespectrométrico e magnetométrico que foram utilizados no Projeto Arenópolis.

Tais ferramentas são essenciais nas diversas etapas que envolvem o mapeamento geológico, uma vez que permitem extrair informações sobre os alvos estudados, como características físicas, químicas e relações espaciais. Esses alvos podem ter caráter geológico, como rochas e estruturas, ou outros aspectos do meio físico, como solos, vegetação e corpos d'água. Portanto, as ferramentas discutidas desempenham papel fundamental na análise e interpretação geológica, contribuindo para a obtenção de resultados mais precisos e embasados cientificamente.

### **3.1 Sensoriamento Remoto**

Os dados de sensoriamento remoto utilizados no Projeto Arenópolis são provenientes de sensores orbitais de natureza tanto passiva quanto ativa. Os dados de sensores passivos são dos satélites e sensores CBERS 04A WPM e Landsat 09 OLI, enquanto os dados de sensores ativos correspondem aos produtos derivados de radar, o modelo digital de elevação (MDE) do Alos Palsar e apenas o *hillshade* derivado dos dados do satélite TanDEM-X.

#### **3.1.1. Imagens Multiespectrais**

As imagens multiespectrais utilizadas neste trabalho são dos sensores CBERS 04A WPM e Landsat 09 e estão disponibilizadas gratuitamente nos portais dos respectivos operadores. As imagens usadas passaram por processamento prévio realizado pelos provedores dos dados antes de serem disponibilizadas, passando por correção radiométrica e correção geométrica das cenas.

#### **CBERS 4A**

O Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS) é o resultado do acordo de parceria entre o Brasil e a China assinado em 1988 para o desenvolvimento de um programa de construção de satélites de sensoriamento remoto. Os satélites dessa parceria são desenvolvidos e operados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST). O CBERS-4A é o sexto modelo de satélite dessa parceria, sendo considerado um satélite de classe mundial, que leva a bordo três câmeras, sendo duas brasileiras (Câmera Multiespectral - MUX e Câmera de Campo Largo - WFI) e

uma chinesa (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura - WPM) (INPE, 2020).

Os dados utilizados foram adquiridos pelo sensor WPM. A Tabela 3.1 mostra as especificações da câmera WPM e as informações das cenas utilizadas.

**Tabela 3.1:** Especificações do sensor WPM do satélite CBERS 04A e metadados das cenas utilizadas no Projeto Arenópolis.

Câmera WPM - CBERS 04A		Cenas Utilizadas		
Resolução Espectral (Bandas)	0,45-0,52 $\mu\text{m}$ (B) 0,52-0,59 $\mu\text{m}$ (G) 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ (R) 0,77-0,89 $\mu\text{m}$ (NIR) 0,45-0,90 $\mu\text{m}$ (PAN)	Identificação	CBERS4A_WPM 21113420220903	CBERS4A_WPM 21113320220903
Resolução Espacial	2 m (Pancromática) 8 m (Multiespectral)	Aquisição	2022-09-03 14:06:22	2022-09-03 14:06:09
Resolução Temporal	31 dias	Nível de Processamento	L4	L4
Resolução Radiométrica	10 bits	Tipo de Dado	Número Digital	Número Digital
Largura da Faixa Imageada	92 km	Cobertura de Nuvens	0%	0%

### Landsat 09

Os satélites *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) formam uma série de satélites geridos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pelo USGS. A série Landsat está em funcionamento desde a década de 60 e conta atualmente com dois satélites ativos, o Landsat 8 e o Landsat 9. Os dados utilizados no Projeto Arenópolis são oriundos do satélite Landsat 9, que inclui os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), sendo que apenas os dados do OLI foram utilizados. As características do sensor OLI, juntamente com os metadados de aquisição das cenas utilizadas, podem ser visualizadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2:** Especificações do sensor OLI do satélite Landsat 9 e metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

OLI - Landsat 9	Cena Utilizada
-----------------	----------------

<b>Resolução Espectral (Bandas)</b>	0,433-0,453 $\mu\text{m}$ (Bc) 0,450-0,515 $\mu\text{m}$ (B) 0,525-0,600 $\mu\text{m}$ (G) 0,630-0,680 $\mu\text{m}$ (R) 0,845-0,885 $\mu\text{m}$ (NIR) 1,560-1,660 $\mu\text{m}$ (SWIR1) 2,100-2,300 $\mu\text{m}$ (SWIR2) 0,500-0,680 $\mu\text{m}$ (PAN) 1,360-1,390 $\mu\text{m}$ (CIRRUS)	<b>Identificação</b>	LC09_L2SP_223071_20221117_20230322_02_T1
<b>Resolução Espacial</b>	15 m (Pancromática) 30 m (Multiespectral)	<b>Aquisição</b>	2022-11-17
<b>Resolução Temporal</b>	16 dias	<b>Nível de Processamento</b>	L2SP
<b>Resolução Radiométrica</b>	12 bits	<b>Tipo de Dado</b>	Reflectância de Superfície
<b>Largura da Faixa Imageada</b>	185 km	<b>Cobertura de Nuvens</b>	3%

### 3.1.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE (Modelo Digital de Elevação) é uma representação digital das variações de elevação do terreno ou da superfície da Terra. Esse produto é gerado a partir do processamento dos dados obtidos por sensores de radar, como ALOS PALSAR e TanDEM-X. Os sensores emitem radiação eletromagnética no comprimento de onda específico do radar e medem o tempo e a intensidade do retorno desses pulsos após interagirem com a superfície terrestre. Essas medições são utilizadas para determinar a elevação do terreno em cada ponto. No Projeto Arenópolis foram utilizados dados dos satélites ALOS e TanDEM-X.

#### Alos Palsar

O satélite ALOS foi lançado em 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e operou até 2011 quando foi inativado. O satélite contava com três sensores, entre eles o Palsar (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), um radar de abertura sintética que opera na banda L (Embrapa, 2018). As imagens são disponibilizadas gratuitamente no portal da *Alaska Satellite Facility* (ASF) na forma de MDE. Os dados são disponibilizados com pré-processamento prévio, em que foram realizadas correções geométricas e radiométricas. A tabela 3.3 destaca as especificidades do MDE e da cena utilizada.

**Tabela 3.3:** Especificações do MDE do Alos Palsar e metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

MDE - Alos Palsar		Cena Utilizada	
Frequência	1270 MHz (Banda L)	Identificação	ALPSRP268256850
Resolução Espacial	12,5 m	Aquisição	02/06/2011 02:21:17
Resolução Temporal	46 dias	Nível de Processamento	RT1 (High Resolution Terrain Corrected)
Resolução Radiométrica	5 bits	Tipo de Dado	Elevação (m)
Situação Atual	Inativo	Polarização	Singel Polarization (FBS)

### TanDEM-X

O satélite TanDEM-X é o segundo satélite radar a ser produzido pela parceria entre a *German Aerospace Center (DLR)* e a *Europe's leading satellite specialist Astrium*, tendo sido lançado em 2010 (Embrapa, 2020). O TanDEM-X carrega apenas um sensor, o SAR que atua na banda X. O dado disponibilizado para o Projeto Arenópolis foi cedido para uso científico por Manfred Gottwald, pesquisador aposentado do DLR, já processado na forma de *hillshade*. A tabela 3.4 destaca as especificidades do sensor e do *hillshade* utilizado.

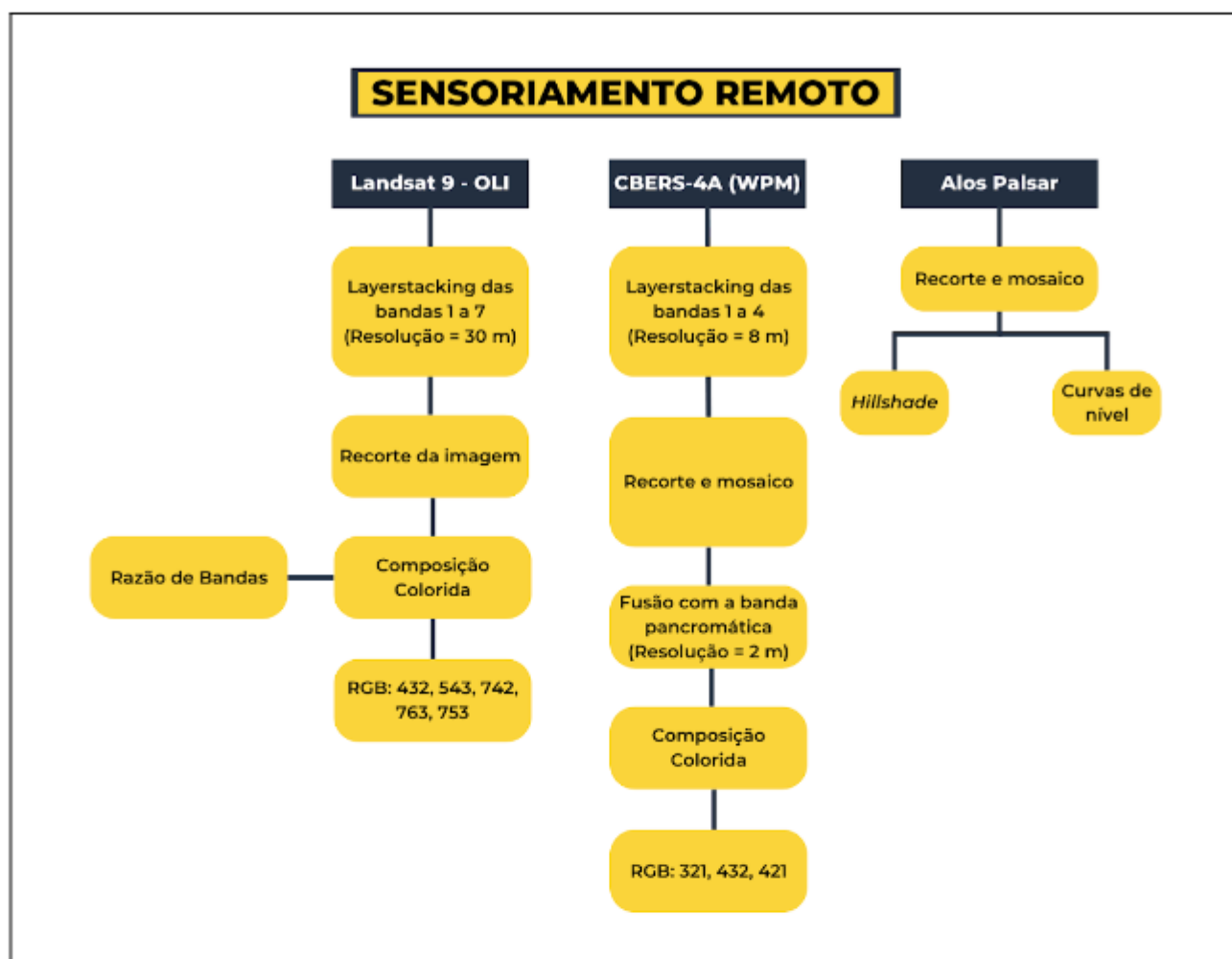
**Tabela 3.4:** Especificações do *hillshade* do TanDEM-X utilizado no Projeto Arenópolis.

Hillshade - TanDEM-X	
Frequência	9.65 GHz (Banda X)
Resolução Espacial	12 m
Resolução Temporal	46 dias
Resolução Radiométrica	16 bits
Azimuth	270°

### 3.1.3 Processamento dos dados

Com os dados obtidos, foram utilizadas técnicas de processamento de imagem para realçar informações de interesse. O processamento foi feito nos *softwares* QGIS 3.22, com auxílio do *plugin Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), e ArcGIS Pro 3.10. As etapas de processamento estão expostas na Figura 3.1.





**Figura 3.1:** Fluxograma de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Arenópolis.

A imagem Landsat passou primeiramente por concatenação das bandas 1 a 7 em um único arquivo raster para facilitar a manipulação e alternância de composições coloridas. A combinação de bandas para as composições coloridas e para a razão de bandas foi escolhida com o intuito de realçar feições específicas das imagens, como diferenças de solo e vegetação.

Para as imagens CBERS 04A foi realizada a concatenação das bandas 1 a 4, seguido da mosaicagem das duas cenas obtidas para contemplar toda a área do Projeto Arenópolis. Em seguida, a imagem concatenada foi utilizada para a confecção de composições coloridas.

Por fim, para o MDE Alos Palsar foram usados as ferramentas *hillshade* e *contour* para gerar, respectivamente, os produtos de sombreamento de relevo e curvas de nível com espaçamento de 25 m.

#### **3.1.4. Produtos e Interpretações**

Os produtos gerados pelo processamento das imagens permitem realçar e observar características do meio físico na área de estudo, incluindo a topografia, o relevo e o uso e ocupação da terra.

Produtos como o relevo sombreado, a hipsometria e as curvas de nível (figuras 3.2, 3.3) permitem averiguar que, de maneira geral, as áreas do Projeto Arenópolis encontram-se em região aplainada designada para atividades agrícolas e revegetação, com cotas altimétricas entre 300 e 500 m de altitude, como pode ser visto na figura 3.3. Cotas mais elevadas podem ser observadas em serras e morrotes com tendência direcional para nordeste, onde se observa vegetação mais espessa, e pela Bacia do Paraná que corta as áreas ao sul na direção leste-oeste. No contexto da Área VII, predominam relevos majoritariamente aplainados ocupados por fazendas, semelhante ao contexto geral do projeto. No extremo leste da área ocorre a Serra do Tatu, que apresenta terreno mais acidentado, chegando próximo à cota de aproximadamente 700 m de elevação.

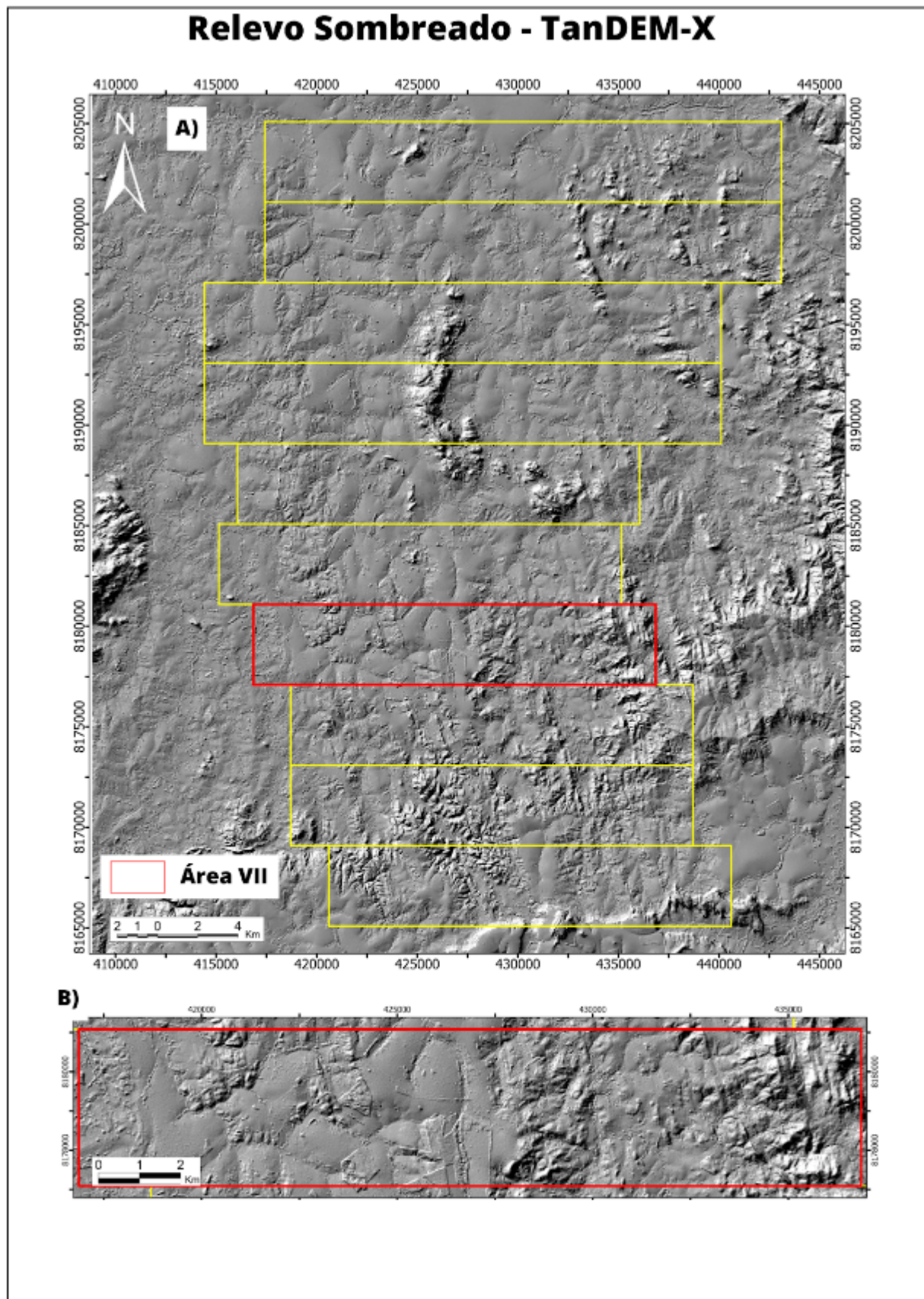


Figura 3.2: A) Relevo sombreado na área do Projeto Arenópolis. B) Relevo sombreado na Área VII.



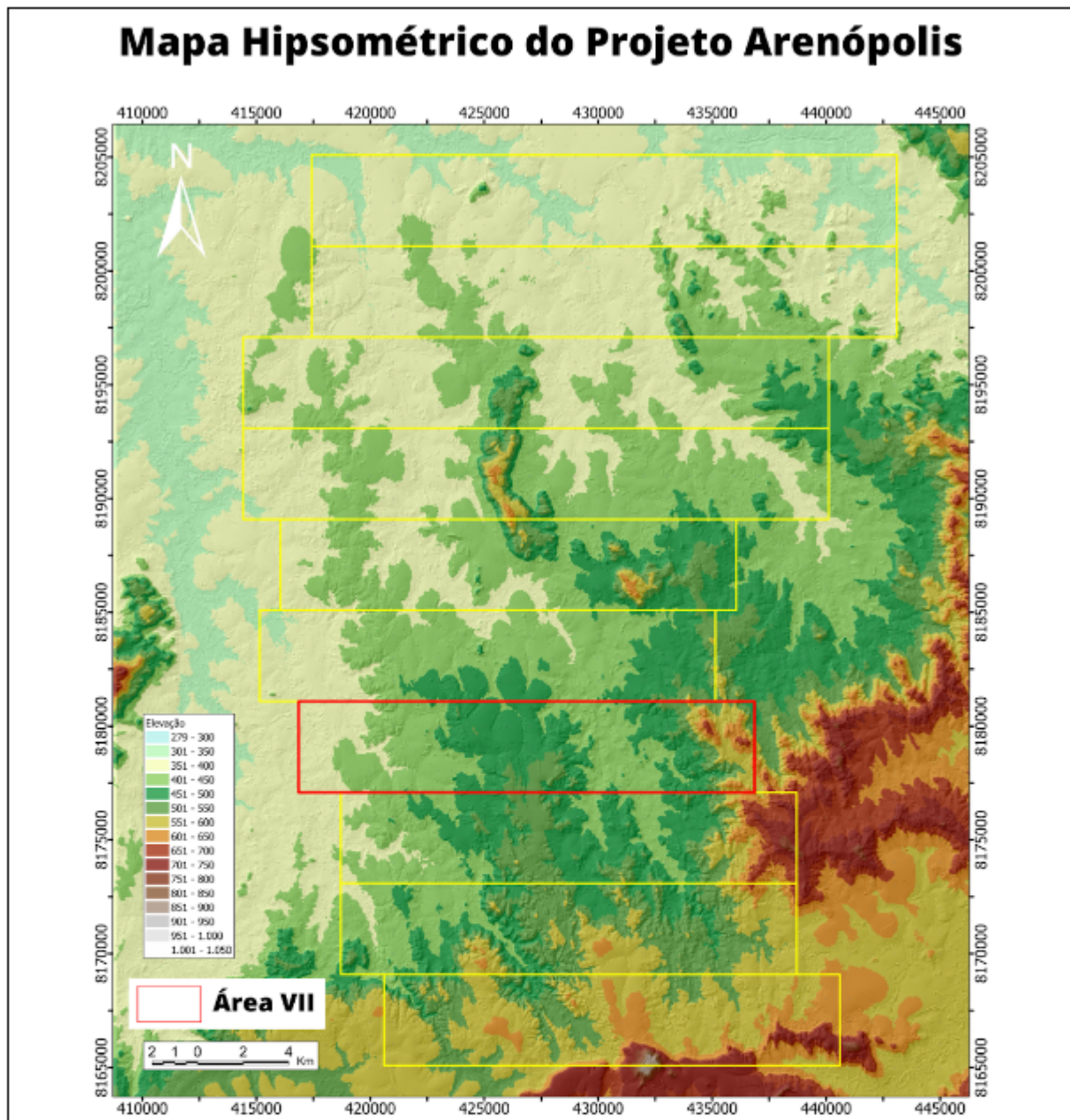


Figura 3.3: Mapa Hipsométrico do Projeto Arenópolis.

Os resultados obtidos a partir do processamento das imagens multiespectrais podem ser visualizados nas figuras 3.5 e 3.6. O motivo pelo qual foram utilizadas imagens de dois sensores diferentes deve-se a diferenças técnicas das imagens, em especial nas resoluções espacial e espectral. A imagem Landsat 9 apresenta resolução espectral maior que o CBERS-4A, ou seja maior número de bandas, isso permite trabalho mais amplo com as imagens, permitindo discretizar melhor os alvos em função de seu comportamento espectral reflexivo ou de absorção em diferentes comprimentos de onda e até mesmo analisar variações composicionais presentes

nos solos, vegetação e rochas. Já o CBERS-4A foi escolhido devido à sua alta resolução espacial, permitindo a visualização de pixels de 2 m após a fusão com a banda pancromática. A alta resolução espacial desse sensor permite distinguir melhor os alvos visualmente, realçando características morfológicas de relevo, por exemplo.

As composições coloridas 321, 432 e 421, feitas a partir dos dados CBERS-4A, permitem analisar principalmente o uso e ocupação da área. Nota-se nas três composições RGB quatro domínios com padrões tonais distintos. Na imagem de cor real (R3B2G1), ao leste, observa-se um domínio com alta resposta reflexiva, o qual é expresso por meio do tom esbranquiçado presente. Logo a oeste ocorre uma faixa com tons escuros onde predomina a cor verde; essa faixa está associada à Serra do Tatu. Na porção central ocorre o predomínio da cor vermelha, relacionada ao solo exposto presente nas áreas em que ocorrem atividades agrícolas. Observam-se pontos com cores mais escuras, que provavelmente estão associados a áreas de revegetação. Por fim, no oeste da área verifica-se um domínio cujo padrão é azul esbranquiçado. O uso e ocupação nessa área é semelhante à porção central.

Os produtos Landsat 9 permitem confirmar as interpretações realizadas por meio das composições CBERS-4A e, também, distinguir melhor os alvos em relação aos seus respectivos comportamentos espectrais. As composições 753 e 543 ressaltam a presença de vegetação em áreas vegetadas, em verde e vermelho respectivamente. Já para as áreas não vegetadas são vistos padrões de cores variadas que possivelmente representam solos de materiais diferentes. As composições 432 e 742 evidenciam muito bem essas variações do solo. De acordo com Florenzano (2002), as cores mais intensas representam solos arenosos com pouca matéria orgânica, enquanto os tons mais escuros estão associados com solos argilosos, que podem conter alto teor de matéria orgânica (Figura 3.4). A composição 763 salienta as áreas com solos mais arenosos, representados pelas cores claras e intensas.

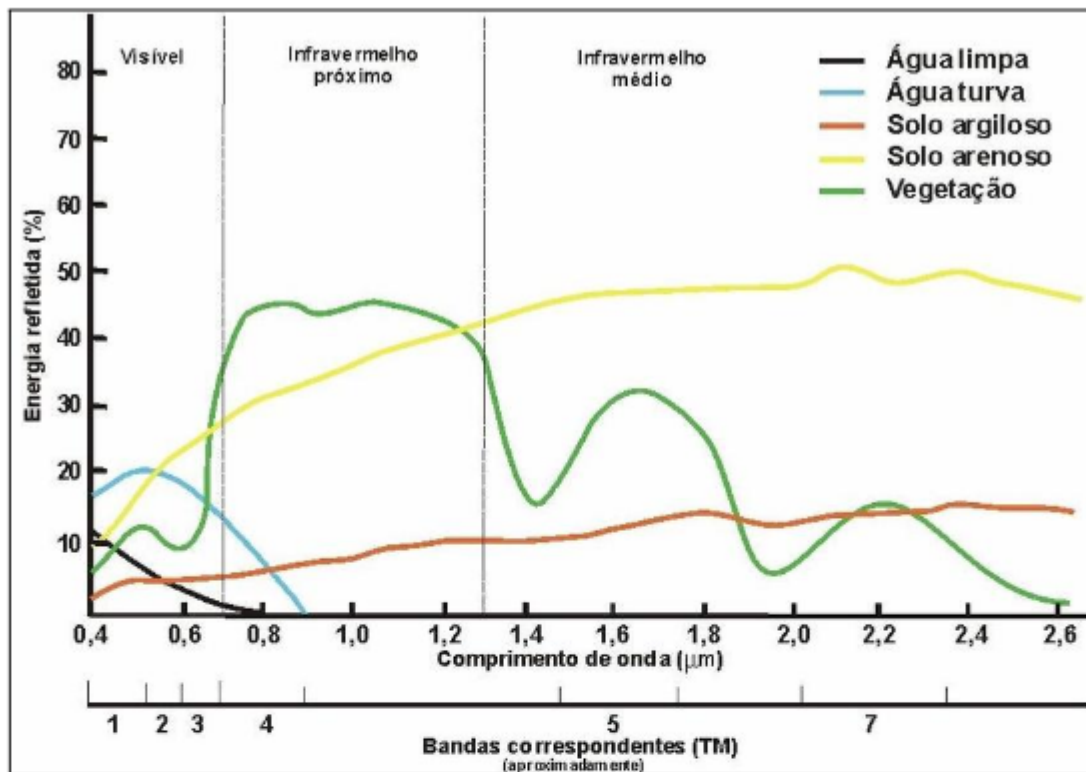


Figura 3.4: Curva espectral da vegetação, do solo e da água e bandas TM correspondentes. (Camolez, 2023, adaptado de Florenzano, 2002).

Por fim, os produtos e interpretações provenientes dos dados de sensoriamento remoto foram utilizados para extrair feições vetoriais da área de estudo. A extração de lineamentos na extensão do Projeto Arenópolis permitiu verificar que as morfoestruturas de relevo e drenagem apresentam orientação majoritariamente NW-SE, com uma segunda família perpendicular de lineamentos com direção preferencial NE-SW (Figura 3.7). Posteriormente, as feições como canais de drenagem, malha viária e localidades foram utilizadas para elaborar o mapa base do Projeto Arenópolis (Figura 3.8) e da Área VII (Figura 3.9).



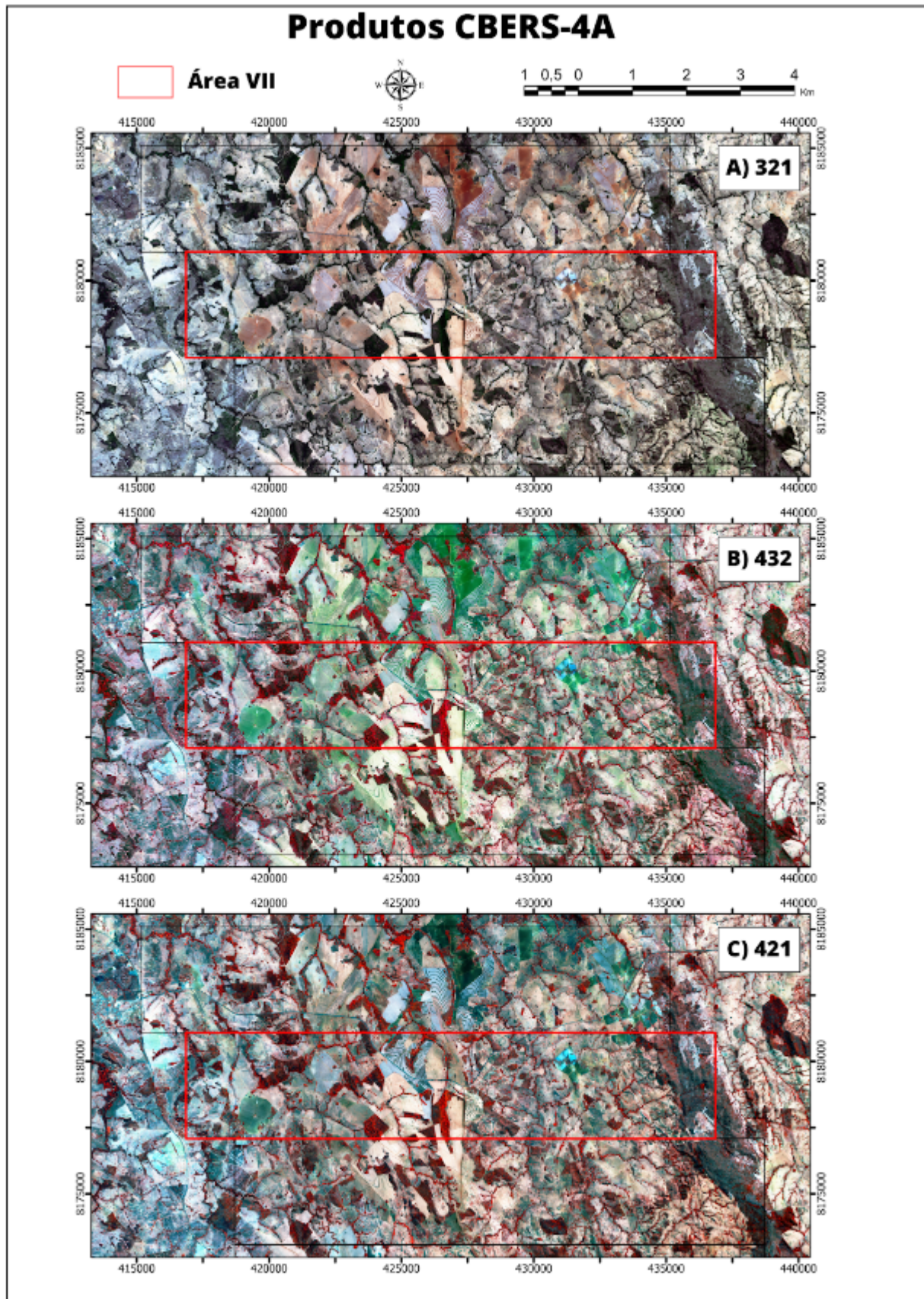


Figura 3.5: Imagens CBERS-4A. A) Composição colorida R3B2G1. Composição colorida R4B3G2. Composição colorida R4B2G1.



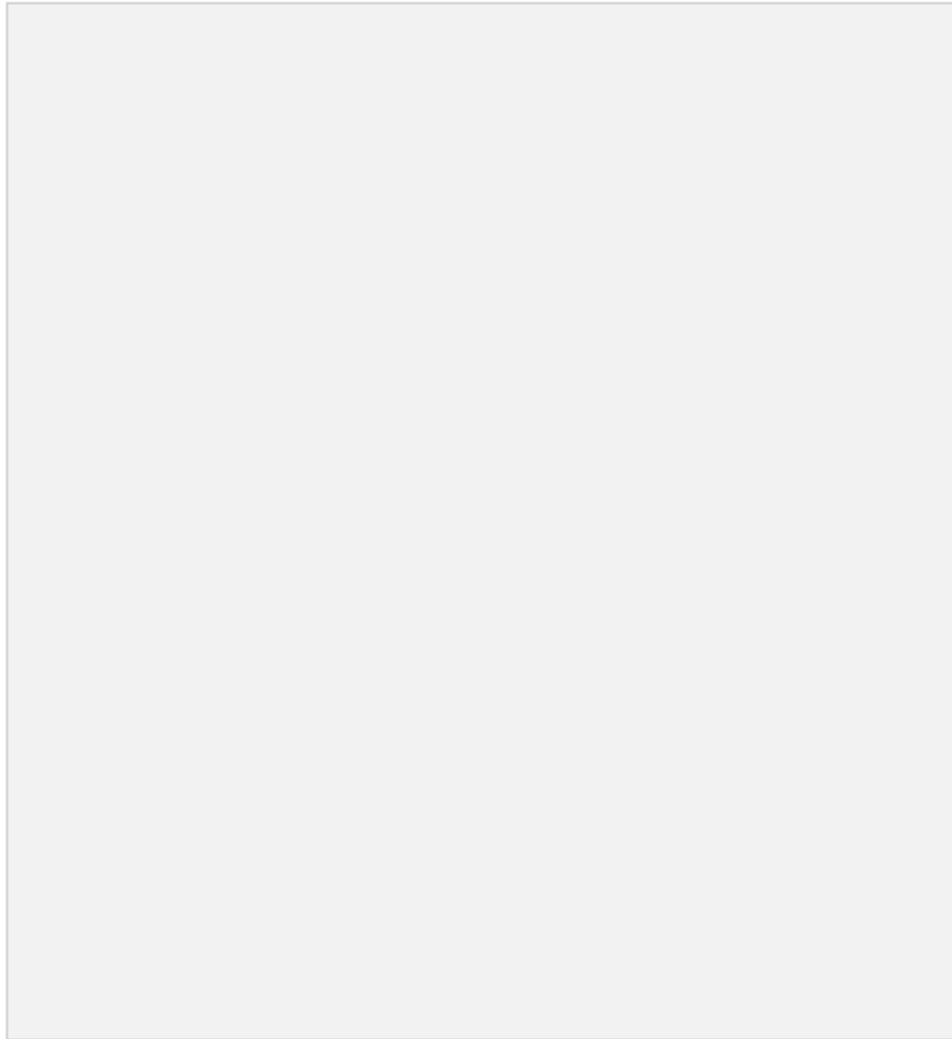
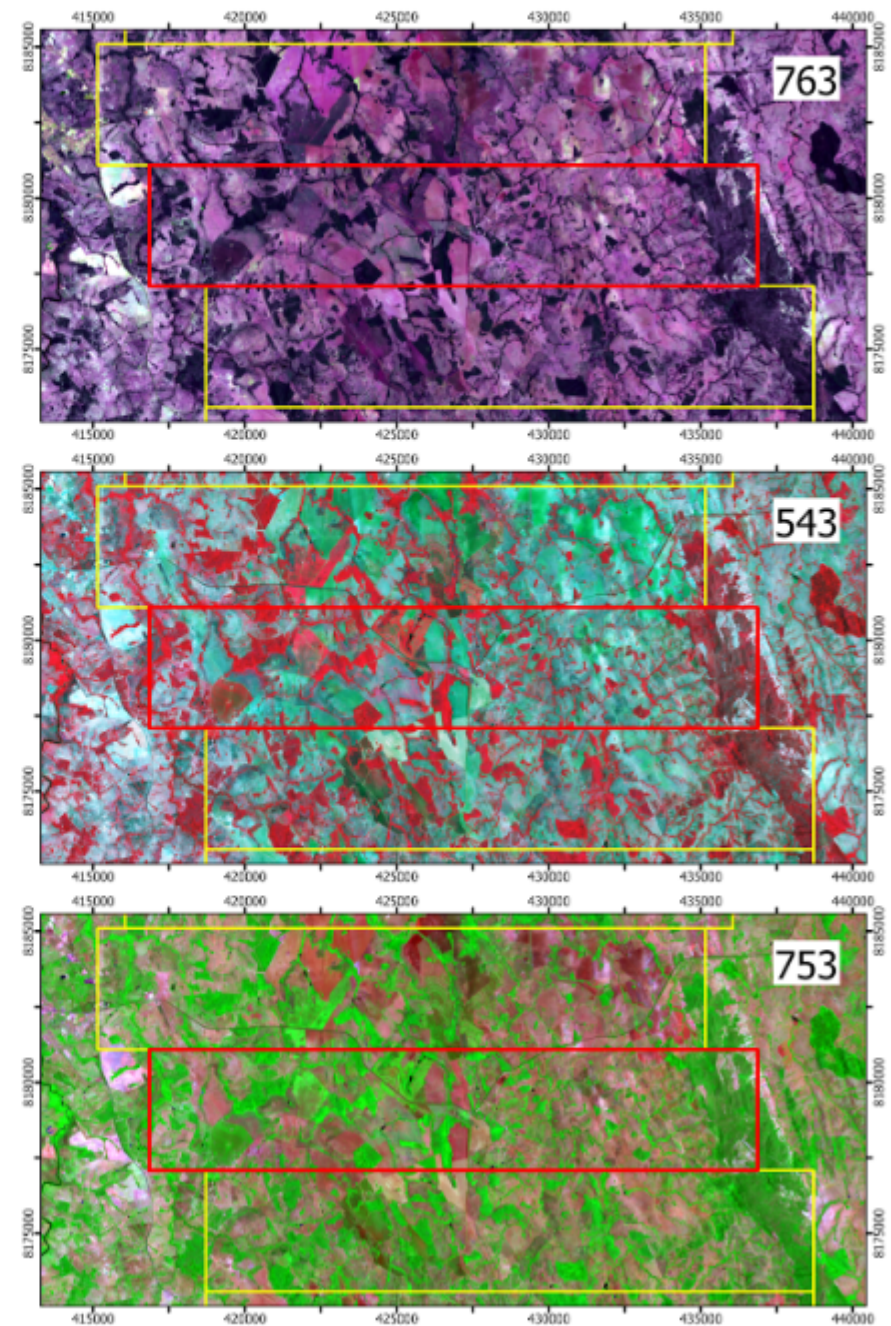
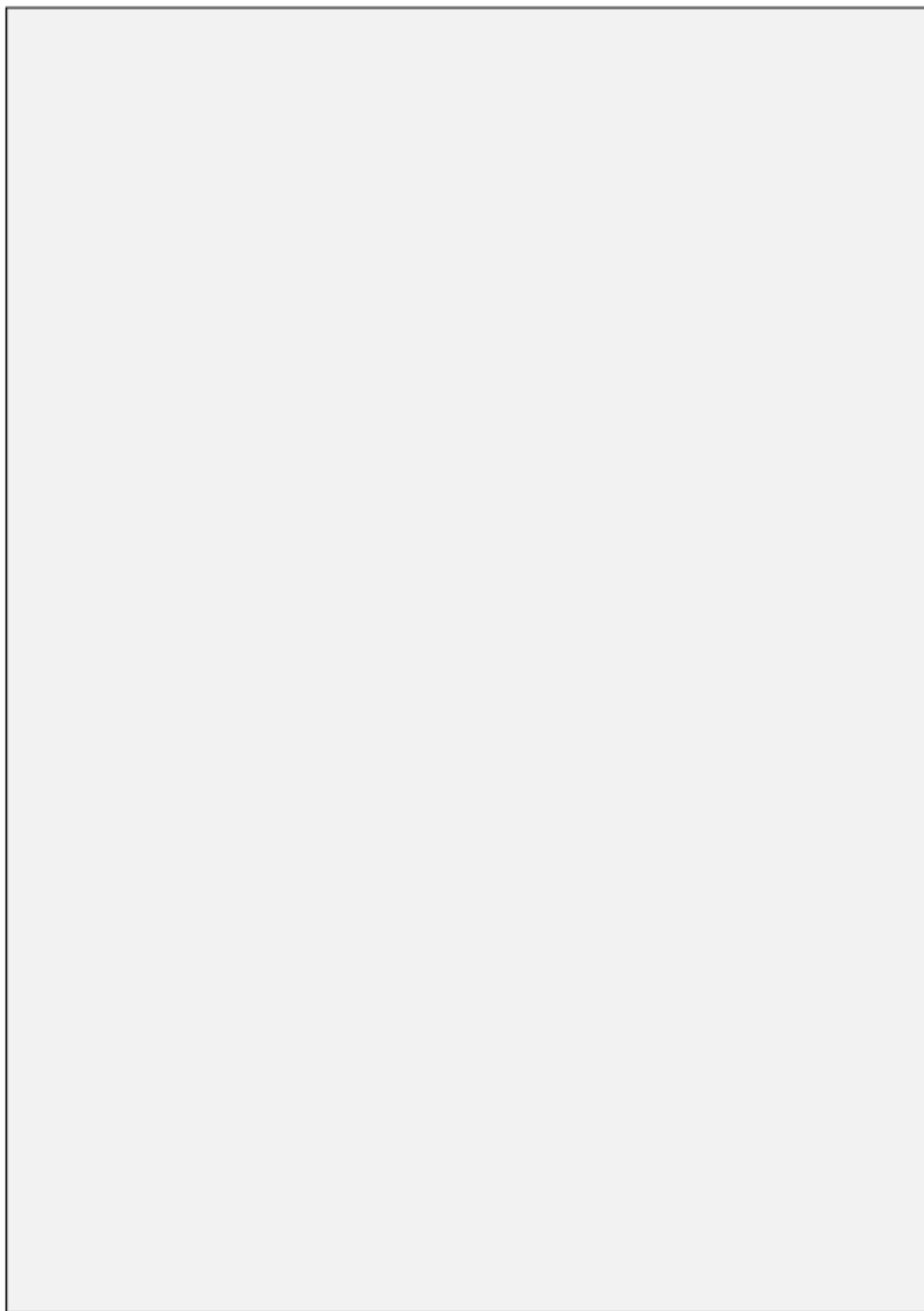
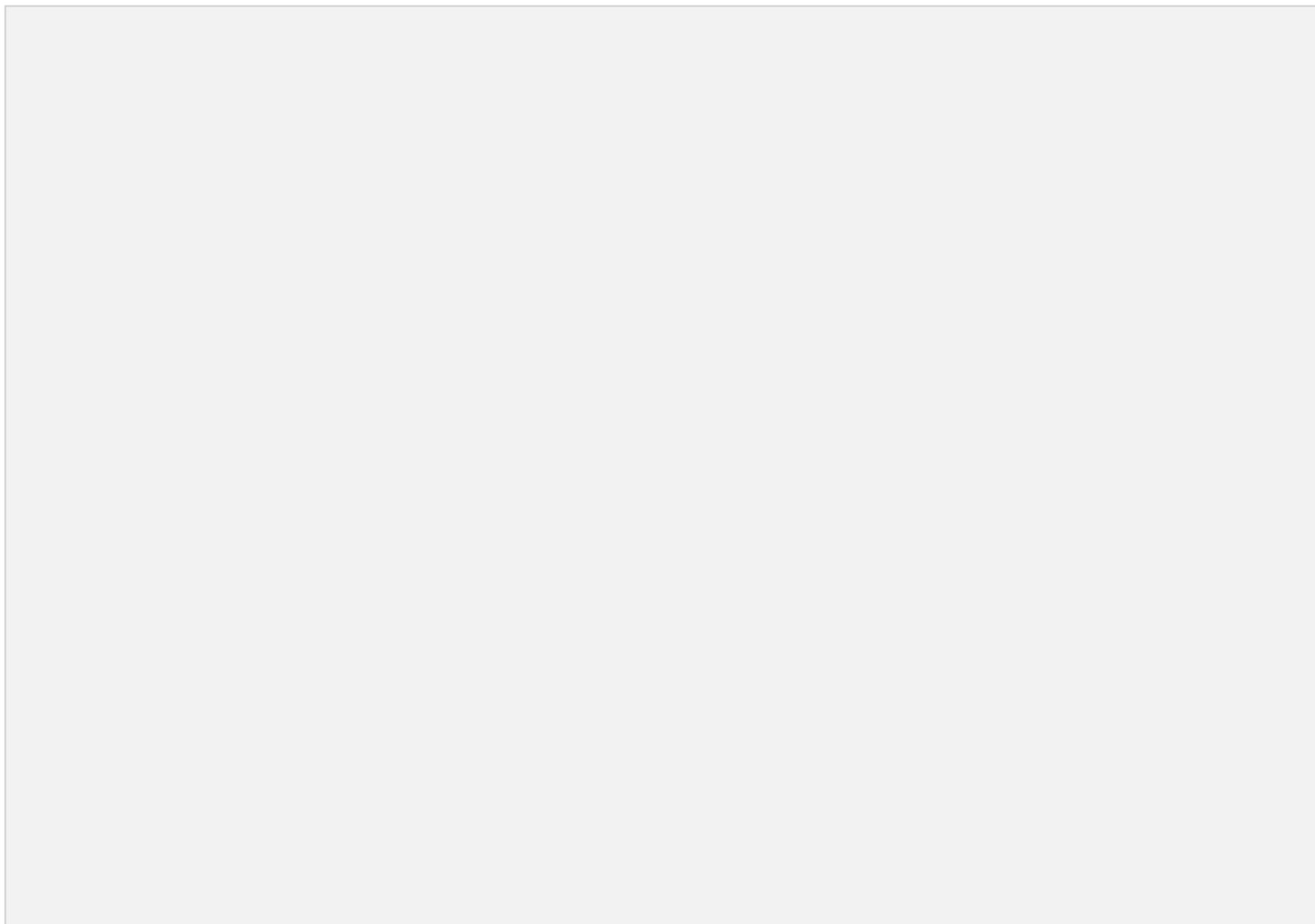


Figura 3.6: Composições coloridas RGB de dados do Landsat 9.





**Figura 3.7:** Mapa de lineamentos de drenagem e relevo do Projeto Arenópolis e orientações preferenciais destacadas em diagrama de roseta.



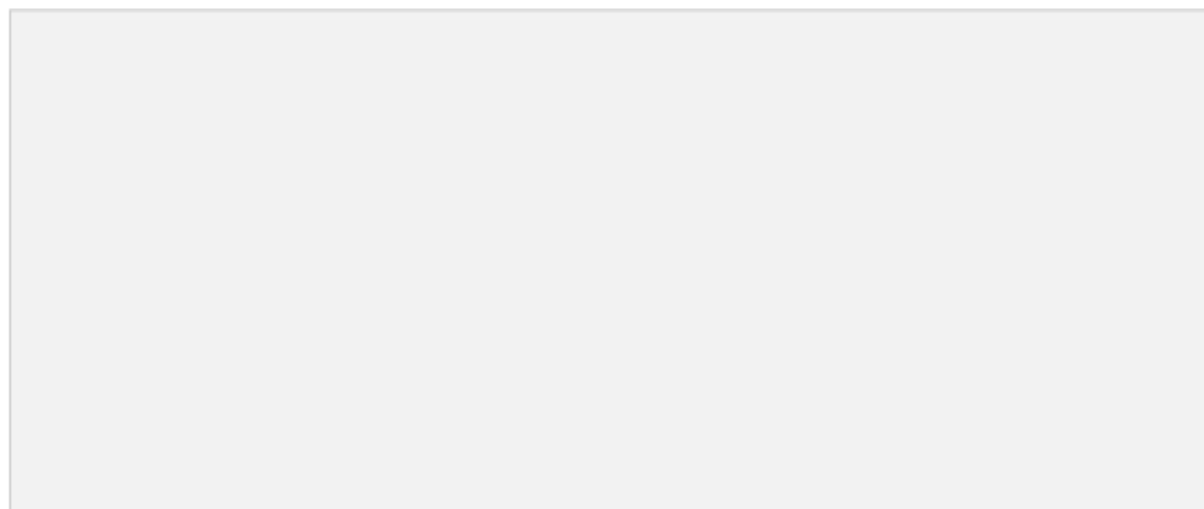
**Figura 3.8:** Mapa base da Área VII do Projeto Arenópolis.

### 3.2. Geofísica

Os métodos geofísicos são empregados desde a etapa pré-campo até a etapa pós-campo do mapeamento geológico, no intuito de auxiliar o refinamento e definição de feições e contatos geológicos. Os métodos baseiam-se na medição de grandezas físicas (condutividade, resistividade, densidade e outros) correlato às propriedades das rochas. A etapa inicial de interpretação dos produtos parte da separação dos domínios que apresentam assinaturas semelhantes. No presente trabalho são empregada magnetometria e gamaespectrometria como principais métodos geofísicos.

#### 3.2.1. Obtenção dos dados Geofísicos

Os dados geofísicos são dados aerogeofísicos potenciais e radiométricos do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis (2004). Este levantamento foi executado pela LASA Engenharia e Prospeções, na região centro-sul de Goiás (Figura 3.9), e consistiu na aquisição de dados gamaespectrométricos e magnetométricos para geração de produtos em escala 1:100.000 e 1:500.000. A Tabela 3.5 sintetiza as principais especificações do levantamento aerogeofísico realizado.



**Figura 3.9:** Localização da Área do Projeto Aerogeofísico do Arco Magmático de Arenópolis (CPRM, 2004).

**Tabela 3.5:** Especificações do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis. Informações obtidas em LASA (2004).

Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás	
Área do Levantamento	58.834 km <sup>2</sup>
Espaçamento das linhas de voo	0,5 km
Espaçamento das linhas de controle	5 km
Orientação das linhas de voo	N-S
Orientação das linhas de controle	E-W
Altura de voo	100 m
Velocidade de voo (Aeronave PT-FZN)	294 km/h
Velocidade de voo (Aeronave PT-WOT)	286 km/h
Intervalo entre as medições (magnetômetro)	0,1 s
Intervalo entre as medições (espectrômetro)	1,0 s

### 3.2.2. Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é um método geofísico que visa medir as fontes de radiação gama de determinados materiais. As principais fontes de radiação gama passíveis de detecção na superfície terrestre são os minerais contidos nas rochas. A radiação aferida provém do decaimento natural do potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e dos elementos da série do urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e do tório ( $^{232}\text{Th}$ ). A medida da radiação é dada em contagens por segundo, as fontes de emissão são distinguidas a partir das faixas de energia associadas ao decaimento radioativo das séries desses elementos. Os valores variam entre 0,41 a 2,81 MeV, e dentro deste intervalo, cada um dos elementos (U, K e Th) se concentrou em picos de energias distintos (Figura 3.10).

A interpretação dos produtos gerados está relacionada com a ocorrência de cada radionuclídeo na crosta superior. Sua concentração se dará pelos diferentes comportamentos geoquímicos que estes elementos apresentam, e este fator impactará nos resultados dos dados obtidos. O potássio é solúvel e móvel durante o intemperismo e em alterações hidrotermais, o tório é considerado elemento imóvel pois os minerais hospedeiros são altamente resistentes à ação do intemperismo e o urânio pode se tornar móvel em seu estado oxidado (Ferreira *et al.*, 2016).

As concentrações de alguns dos radioelementos podem estar atreladas com a presença de minerais específicos. A presença do potássio ocorre principalmente em rochas ígneas ácidas, metamórficas micáceas, quartzo-feldspáticas e



sedimentares ricas em argila, feldspatos potássicos, micas e argilominerais, enquanto o tório e o urânio ocorrerão em rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas (Ferreira *et al.*, 2016).

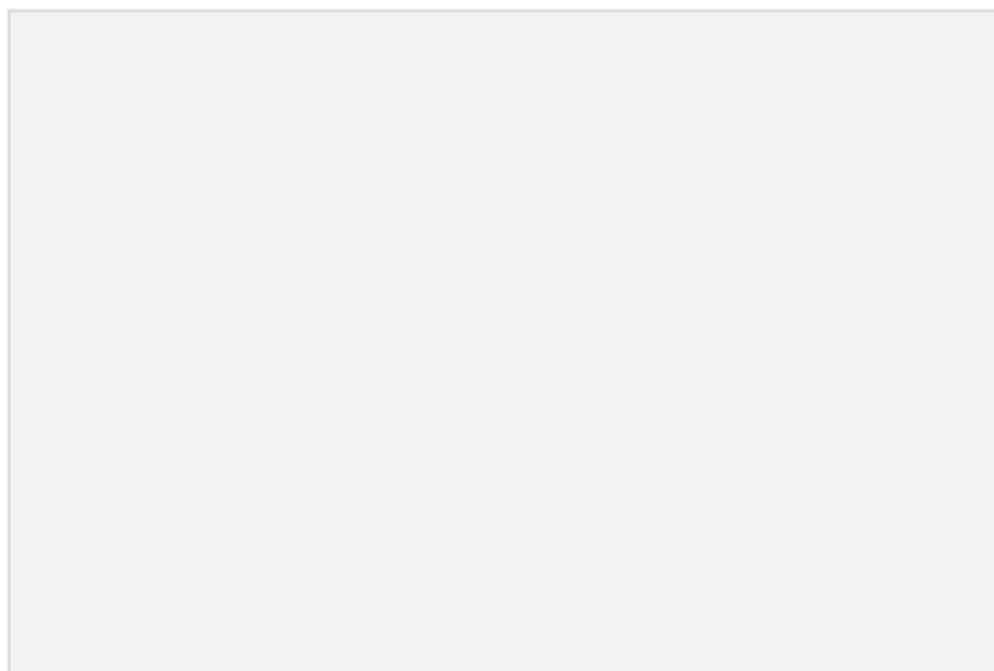


Figura 3.10: Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total (Adaptado de Ribeiro *et al.*, 2013).

A tabela 3.6 exibe intervalos de diferentes concentrações de variadas fontes de radiação gama com valores que podem ser utilizados como guia de comparação para diferentes tipos de rochas.

Tabela 3.6: Conteúdo de radioelementos em rochas e solos australianos (Modificado de Dickson & Scott, 1997).

	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
<b>Intrusivas</b>						
Granitos	0.3-4.5	0.4-7.8	2.3-45.0	0.4-3.9	0.5-7.8	2.0-37.0
Gnaiss	2.4-3.8	2.1-3.6	18.0-55.0	0.7-1.9	1.6-3.8	6.0-19.0
Pegmatito	0.6-4	0.3-1	0.3-9.6	-	-	-
Aplitos	1.0-5.0	1.0-8.0	3.0-20.0	-	-	-
	0.6-4	1.3-2.9	6.0-14.0	-	-	-
Intermediárias	0.7-5.6	0.1-1.2	0.8-6.1	0.7-3.4	1.5-2.3	2.9-8.4

<b>Máficas</b>	0.1-0.8	0.0-1.1	0.0-3.1	-	-	-
<b>Extrusivas</b>						
<b>Félsicas</b>	2.0-4.4	1.4-13	13.0-28.0	1.8-3.2	1.3-2.4	10.0-18.0
<b>Intermediárias</b>	1.8-4.1	0.9-5.6	1.5-15.0	1.0-2.7	1.2-3.6	4.0-17.0
	0.7-0.9	1.0-2.5	3.0-8.0	0.8-1.5	1.2-1.5	4.0-6.0
<b>Máficas</b>	0.3-1.3	0.3-1.3	2.0-5.0	0.2-1.4	0.6-2.5	3.3-13.0
<b>Ultramáficas</b>	0.2-0.9	0.3-0.9	0.0-4.0	0.6	2.0	6.0
<b>Sedimentares</b>						
<b>Xisto Arqueano</b>	0.4-1.6	0.3-1.3	1.0-5.0	-	-	-
<b>Xistos</b>	0.1-4.0	1.6-3.8	10.0-55.0	0.8	1.2	3.0
<b>Arenitos</b>	0.0-5.5	0.7-5.1	4.0-22.0	0.7-3.0	1.2-5.0	6.0-19.0
<b>Carbonatos</b>	0.0-0.5	0.4-2.9	0.0-2.9	0.1-2.4	1.2-4.4	7.0-18.0

### 3.2.3. Magnetometria

A magnetometria é uma técnica geofísica que tem por objetivo a determinação do contraste de susceptibilidade magnética dos diferentes alvos geológicos, para então, investigar variações locais que estes corpos causam no campo magnético. As variações determinam anomalias que, por sua vez, podem auxiliar na interpretação de estruturas geológicas e deduções litológicas. A distribuição dos minerais magnéticos nas rochas e suas respectivas concentrações estão, portanto, correlacionadas com as variações locais passíveis de observação no campo magnético. A intensidade da anomalia observada no campo magnético dependerá, portanto, da magnetização induzida observada então pela susceptibilidade magnética e a magnetização remanescente.

A susceptibilidade magnética (SM) é uma medida quantitativa, que reflete a tendência de um material ou corpo de interagir e causar distorção no campo magnético. Nesse sentido, quando as rochas crustais interagem com o campo magnético, tem-se a indução de um campo magnético secundário nos corpos rochosos, permitindo que ocorra sua magnetização. A susceptibilidade magnética referida aos minerais, pode ainda ser classificada como:

- I) **Diamagnéticos:** possuem susceptibilidade magnética negativa e são repelidos quando submetidos a um campo magnético (CETEM, 2010);

- II) **Paramagnéticos:** não possuem magnetismo sem a presença do campo magnético externo;
- III) **Ferromagnéticos:** magnetizam-se fortemente se colocados na presença de um campo magnético;
- IV) **Ferrimagnéticos:** possuem momentos dipolos de distintas intensidades, surgindo então, um momento resultante.

A magnetização que as rochas adquirem é chamada de magnetização remanente natural (MRN). Surge como resposta de uma competição de forças dentro de cristais magnéticos (Isles & Rankin, 2013). A MRN pode ainda ser composta por diversas componentes que são adquiridas de diferentes maneiras e em inúmeros contextos. A rocha adquire magnetização durante sua formação, a qual é denominada de magnetização remanente primária (MRP) e pode adquirir magnetizações posteriores à sua formação. Isso deve-se ao fato de serem expostas novamente a processos físicos e químicos. Essas magnetizações são denominadas de magnetizações remanentes secundárias (MRS).

Os dados magnéticos permitem a localização das principais acumulações de minerais magnéticos e a detecção das respectivas assinaturas magnéticas atreladas ao arranjo estrutural regional.

### **Primeira derivada (Dz)**

A primeira derivada vertical (1DV) está associada com a taxa de variação da Anomalia Magnética em relação à distância vertical da fonte causadora (Blakely *et al.*, 1986). O produto realça as elevadas frequências, ocasionando a transformação da primeira derivada da componente vertical Z em uma anomalia magnética, fornecendo, portanto, informações relacionadas aos contatos, descontinuidades e lineamentos. Os traços ressaltados são aqueles dispostos nas direções X e Y, acentuando o gradiente lateral relacionado à propriedade física investigada na direção escolhida, ou seja, arredores de extremidades de fontes (Blakely *et al.*, 1986).

A derivada horizontal em X (Dx) resalta faces de orientação norte-sul, enquanto as feições de orientação leste-oeste são evidenciadas pela derivada horizontal em Y (Dy). As derivadas contribuem para delimitação dos contornos

geológicos, pois carregam consigo indícios dos contrastes laterais nas propriedades físicas do meio nas direções X e Y.

### **Gradiente Horizontal Total (GHT)**

O gradiente horizontal total (GHT) é a raiz quadrada da soma dos quadrados das duas primeiras derivadas horizontais, de forma a representar as taxas de variação lateral nos dados (Cordell & Grauch, 1985). Sua função principal trata de delinear as bordas e os centros das fontes por meio dos máximos e mínimos, respectivamente. Para apreciar a delimitação de estruturas, o mapa de GHT pode ser usado junto com a primeira derivada vertical.

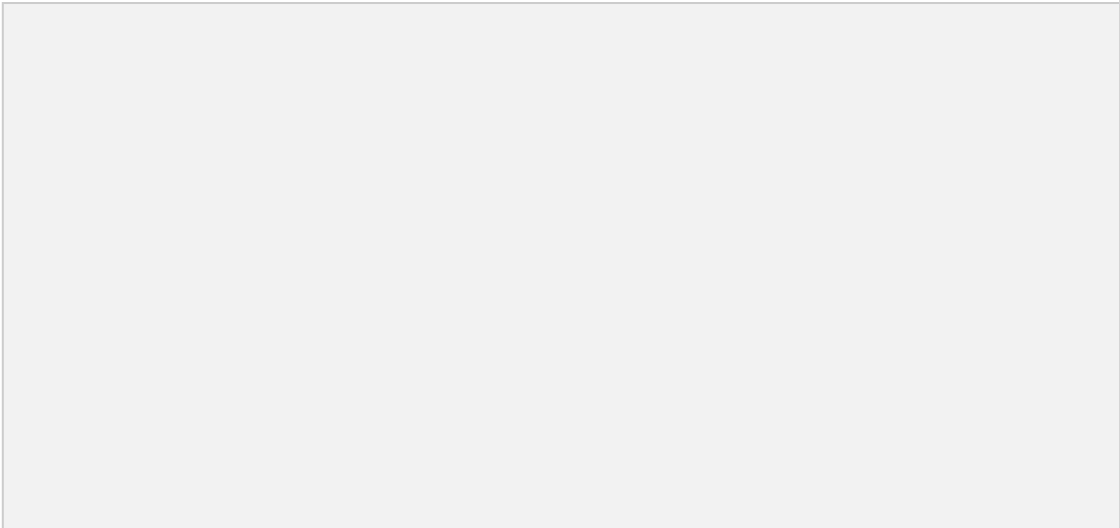
### **Amplitude do Sinal Analítico (ASA)**

O sinal analítico é comumente utilizado para realçar as margens de corpos magnéticos. Torna-se ainda bastante utilizado quando a interpretação em questão é complicada devido à magnetização remanente ou quando a área de estudo está situada em baixas latitudes magnéticas ( $-30 \leq I \leq 30$ ). Este filtro centraliza as anomalias magnéticas sobre os corpos, e é definido pela raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas nas direções X, Y e Z (Roest *et al.*, 1992).

#### **3.2.2.1 Fluxo de Processamento de Dados Gamaespectrométricos**

O processamento dos dados (Figura 3.11) ocorreu a partir da utilização do programa Oasis Montaj 2022.2. O método utilizado para interpolar os dados foi o da curvatura mínima, com a *cell size* de 125 m, correspondendo a  $\frac{1}{4}$  do espaçamento das linhas de vôo do projeto utilizado.

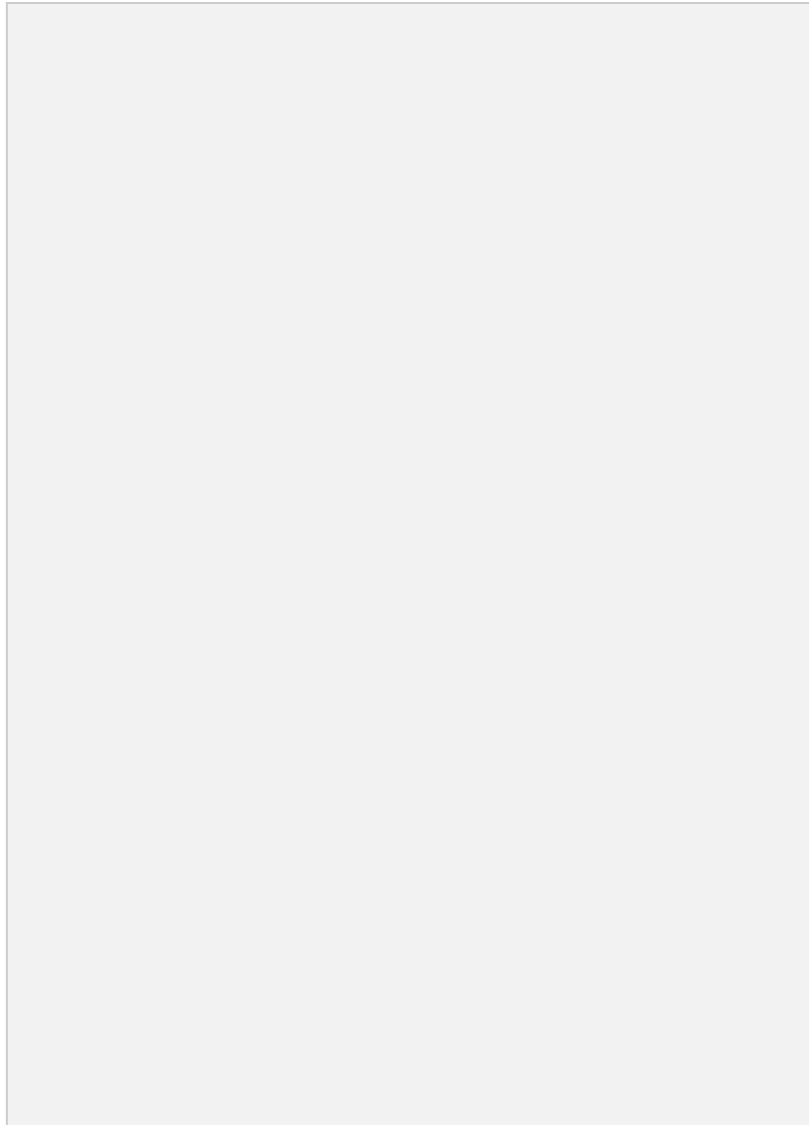
As superfícies suavizadas com os valores que se aproximam do real podem ser alcançadas com o emprego da mínima curvatura que utiliza *splines* bidimensionais para mensurar os dados na direção das linhas de produção em uma malha regular (GEOSOFT, 1995).



**Figura 3.11:** Fluxograma dos produtos gerados pelo processamento de dados gamaespectrométricos. O potássio (K) expressa-se em porcentagem, equivalente de tório (eTh) expressa-se ppm, equivalente de urânio (eU) em ppm e a contagem total representa a medida da radiação em  $\mu\text{R/h}$ .

#### **3.2.2.1 Fluxo de Processamento de Dados Magnetométricos**

O processamento dos dados, tal como o tópico anterior, ocorreu a partir da utilização do programa Oasis Montaj 2022.2. O método utilizado no caso em questão é de gridagem bidirecional (BIGRID), torna-se interessante para ressaltar feições lineares paralelas (ortogonais e irregulares) e quando a densidade de dados alinhados é alta (Reeves, 2005).



**Figura 3.12:** Fluxograma de processamento dos dados magnéticos utilizados no Projeto Arenópolis.

#### **3.2.4. Análises e Interpretações dos Produtos Geofísicos**

Por meio dos produtos gamaespectrométricos e magnetométricos, propõe-se análise em escala regional, com enfoque voltado para as principais feições do Projeto Arenópolis. As análises baseiam-se nos mapas de domínios gamaespectrométricos (Figura 3.12) e suas composições (Figura 3.13): ternária RGB, equivalente de tório (eTh), equivalente de urânio (eU), potássio (K) e contagem total (CT). Para os dados magnetométricos foi feito o mapa de domínios magnéticos, além de produtos como campo magnético anômalo (CMA), amplitude do sinal analítico (ASA), primeira derivada vertical (1DV), TILT e gradiente horizontal total (GHT).



### 3.2.4.1 Interpretações Gamaespectrométricas

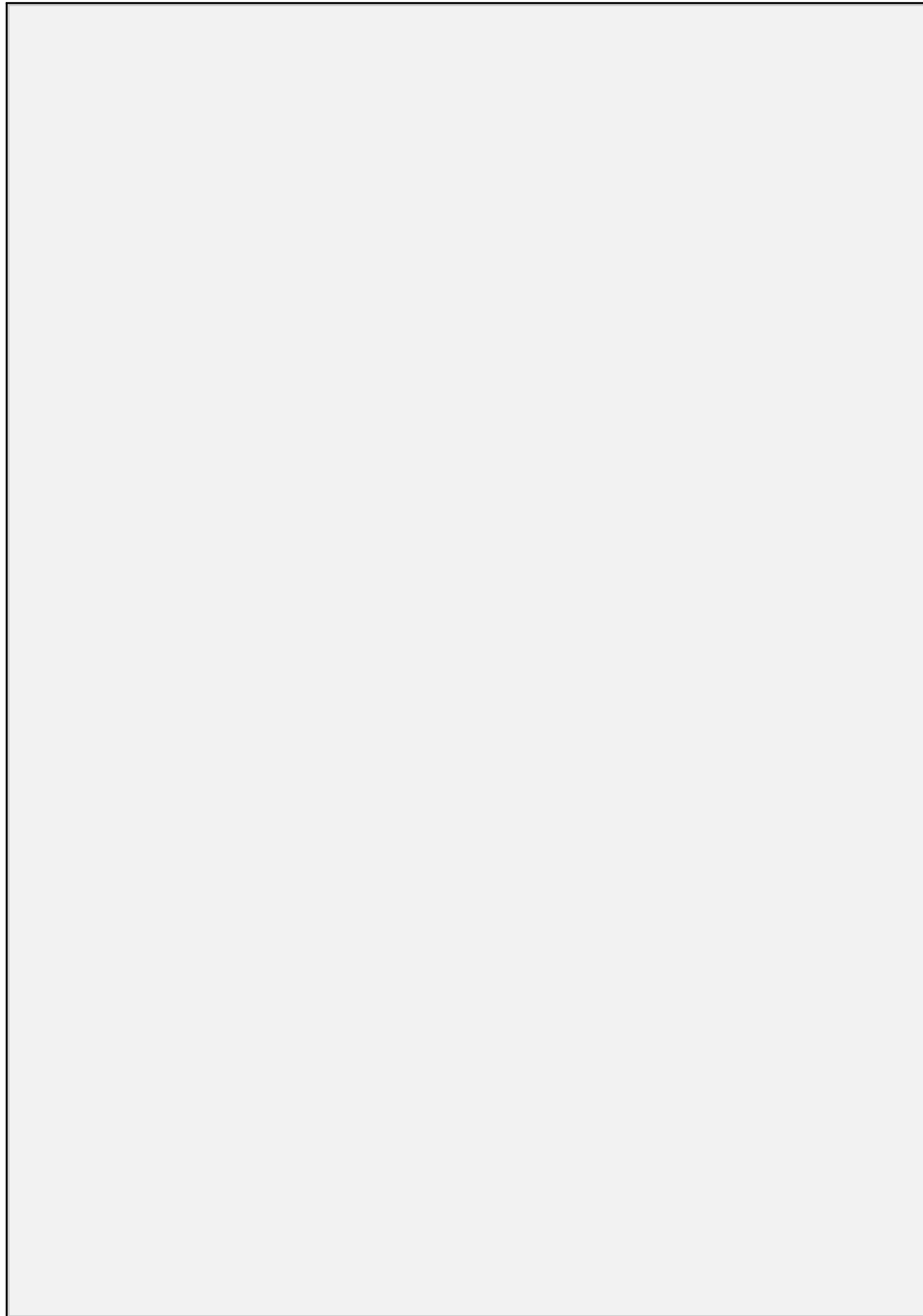
Os radioelementos, explorados no tópico 3.3.2, apresentam determinadas assinaturas que refletem a concentração ou ausência dos elementos potássio (K), urânio (U) e tório (Th) nos ambientes superficiais. Essas assinaturas observadas podem ser utilizadas na identificação de unidades geológicas, no caso dos produtos gamaespectrométricos (Figura 3.14). Os domínios apresentados foram identificados e delimitados com base na composição RGB, analisando a resposta dos elementos potássio, urânio e tório, que é expressa pelas cores e os tons na imagem (Figura 3.13). As características de cada domínio estão descritas na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7:** Características dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis.

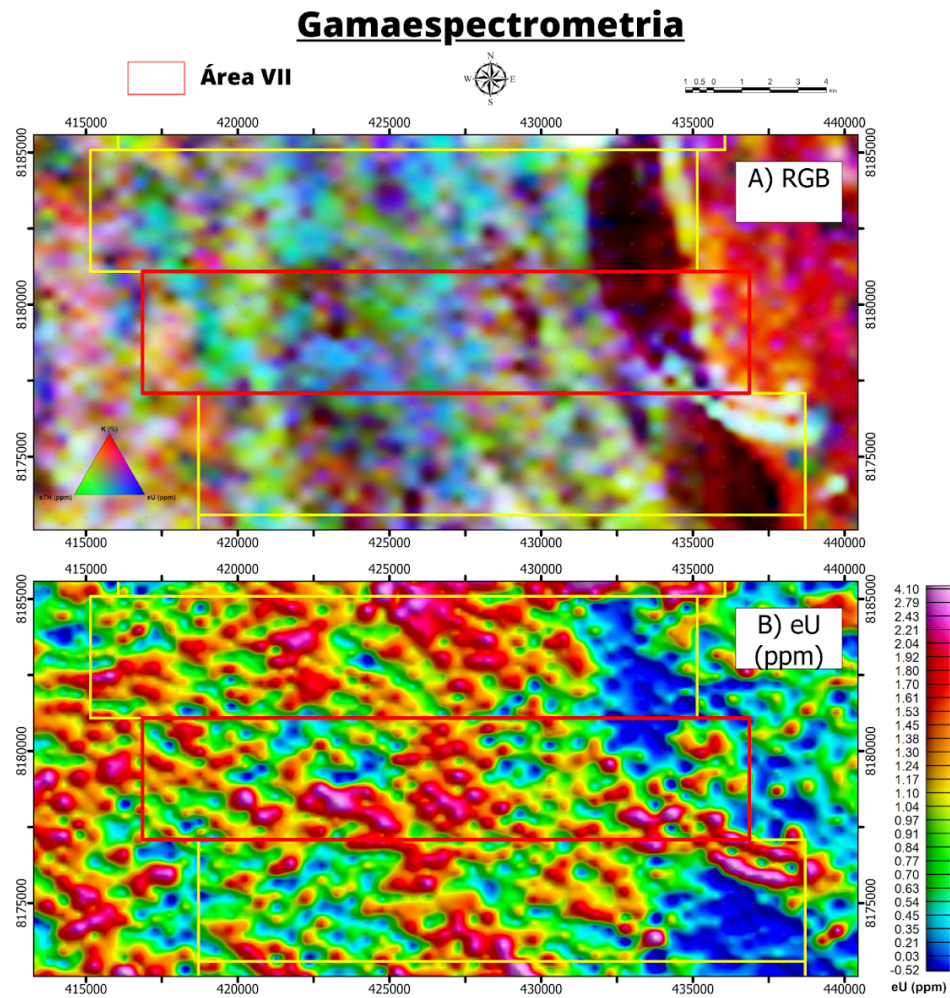
Domínio	Cor	K	eTh	eU
1	Branco	Alto	Alto	Alto
2	Amarelo	Alto	Alto	Baixo
3	Magenta	Alto	Baixo	Alto
4	Vermelho	Alto	Moderado	Baixo
5	Verde	Baixo	Alto	Baixo
6	Ciano	Baixo	Alto	Moderado
7	Preto	Baixo	Baixo	Baixo
8	Ciano	Baixo	Moderado	Alto
9	Violeta	Moderado	Baixo	Moderado
10	Ciano	Moderado	Alto	Alto
11	Verde	Moderado	Alto	Moderado
12	Preto	Baixo	Baixo	Moderado
13	Vermelho claro	Moderado	Moderado	Moderado

Observa-se forte tendência NW-SE dos corpos e dos contatos geológicos que compõem o contexto regional das áreas estudadas. Os domínios regionais principais dividem-se em: (i) tons claros, a oeste, definem o granito Ribeirão Água Limpa (ii); cores verde-azuladas, ao centro, associam-se às faixas da Sequência Metavulcanossedimentar Piranhas-Arenópolis, Unidade Córrego do Santo Antônio, que representam um prisma de acreção (Pimentel, 1985); (iii) domínios de cor escura representam a unidade metavulcanossedimentar, Unidade Córrego da Onça, associada a ambiente geotectônico similar aos arcos vulcânicos modernos, originados sobre zonas de subducção (Pimentel, 1985); (iv) cores brancas,

dispostas nas porções N, SE e NE da área, estão relacionadas com o Granito Serra do Iran, tido como rocha intrusiva pós atividade tectônica da Orogenia Brasileira (Pimentel, 1985); Granito Rio Caiapó, um batólito intrusivo ao Gnaiss Arenópolis (Lacerda Filho *et al.*, 2021); as Vulcânicas Córrego do Horácio; e (v) cores vermelhas a rosa, definem o Gnaiss Arenópolis.



**Figura 3.13:** Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis e da Área VII.

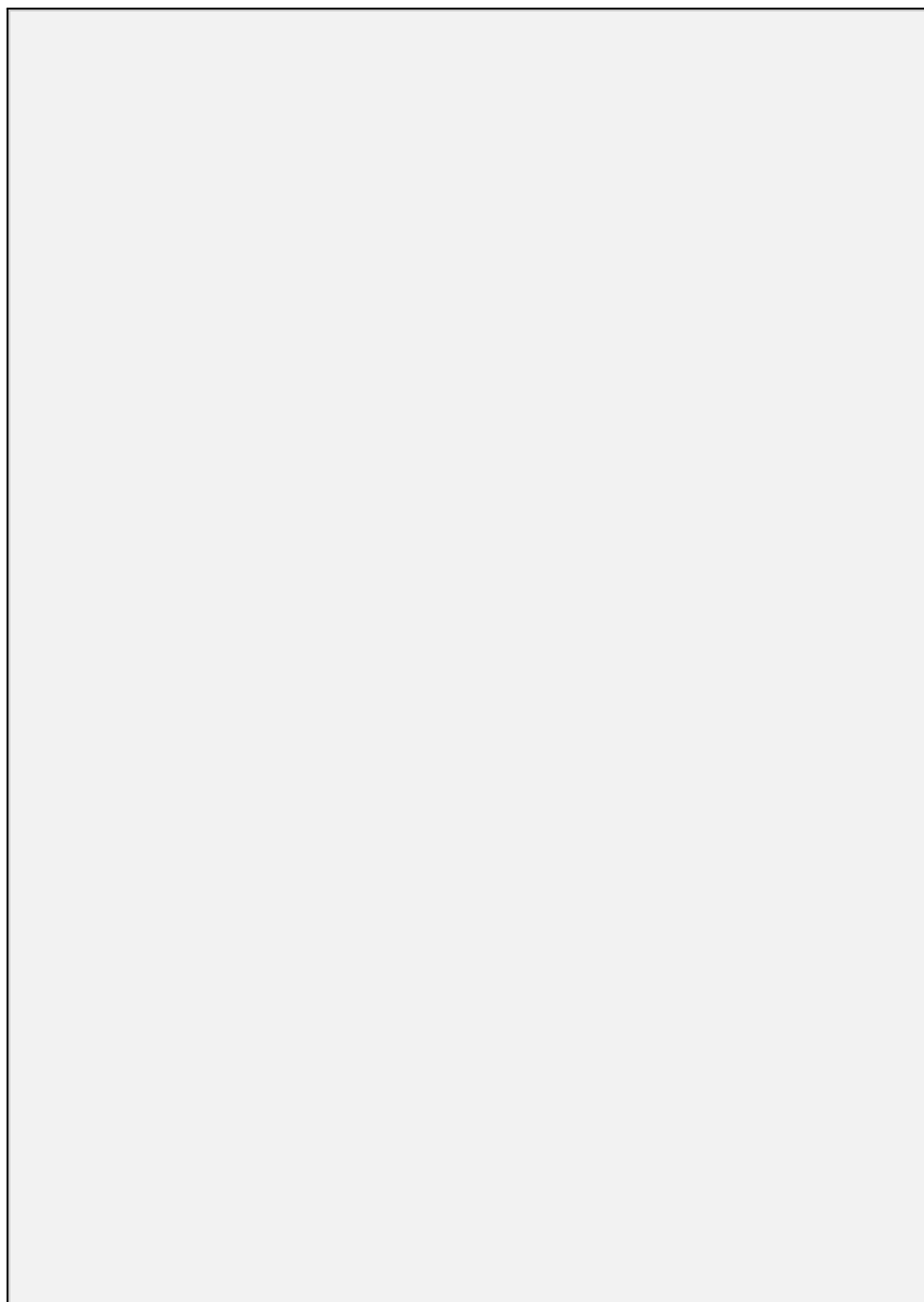


**Figura 3.14:** Produtos gamaespectrométricos. A) Ternário RGB. B) Equivalente de Urânio (eU). C) Equivalente de Tório (eTh). D) Potássio (K). E) Contagem Total

#### **3.2.4.2. Interpretações Magnetométricas**

Os produtos magnéticos auxiliam na observação do comportamento de feições geológicas retilíneas e semi retilíneas, tais como falhas e zonas de cisalhamento, interpretadas com base na frequência e intensidade das estruturas magnéticas. Também foi possível confeccionar um mapa de domínios magnéticos, a partir da análise do gradiente magnético e do relevo magnético.

A primeira derivada vertical (1DV) e o TILT são produtos que destacam a presença dos lineamentos magnéticos, sendo que o primeiro destaca melhor estruturas rasas, enquanto o último realça estruturas mais profundas a rasas. A partir da análise desses dados, pôde-se concluir que no contexto geológico do Projeto Arenópolis tem-se a presença de uma estruturação principal NE-SW de maior densidade, que condiz com a orientação do Lineamento Transbrasiliano e secundariamente tem-se lineamentos N-S e NW-SE. Estes lineamentos N-S, ocorrem com menor densidade e estão presentes na Área III, já os lineamentos NW-SE estão presentes nos extremos da parte oeste das áreas III, IV e V (Figura 3.15).



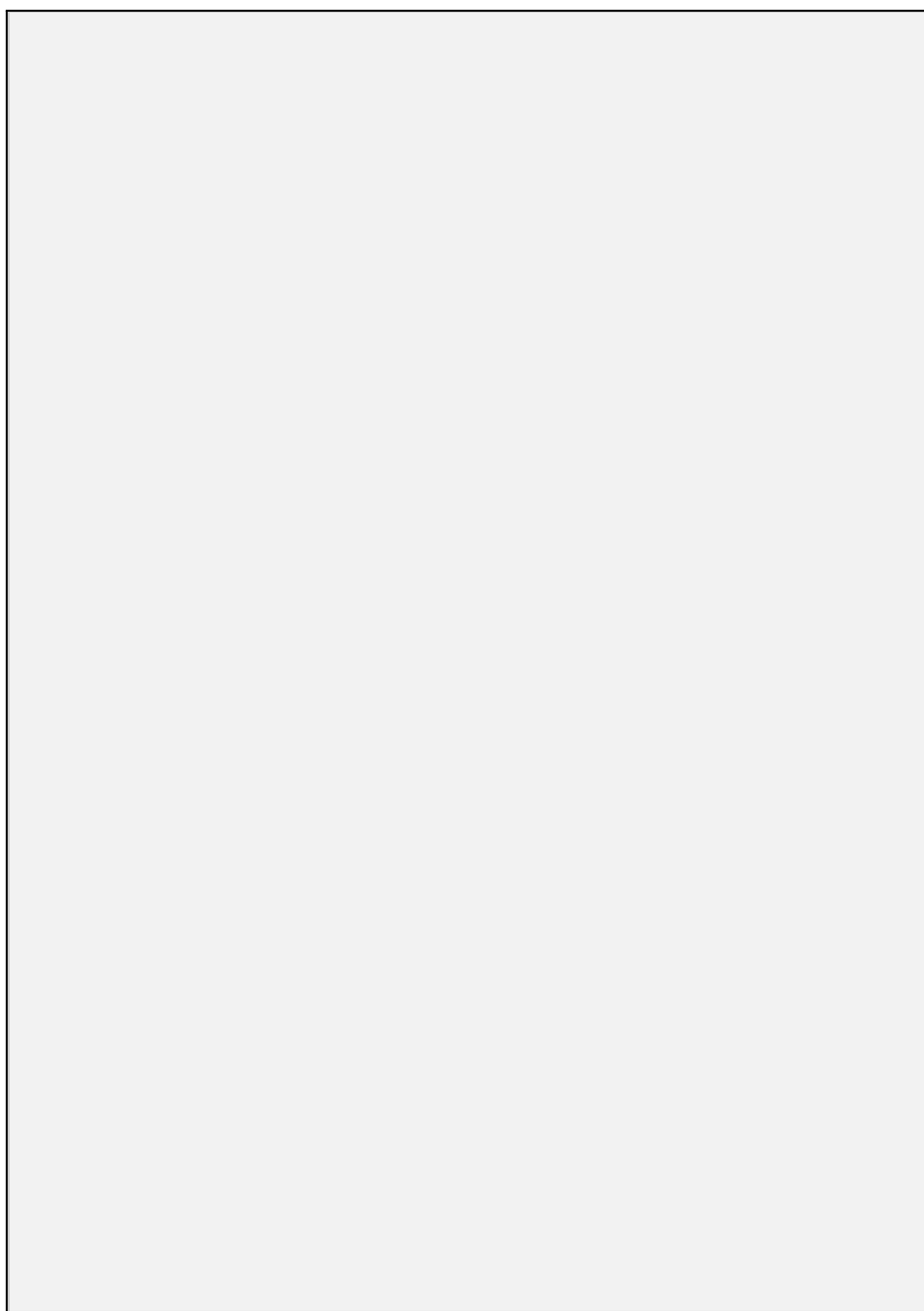
**Figura 3.15:** Primeira derivada vertical e mapa de lineamentos magnéticos do Projeto Arenópolis.

O ASA e o GHT são ótimos produtos intermediários que, por serem derivados do 1DV, reforçam a presença de lineamentos magnéticos e também realçam as bordas de corpos geológicos. Esse efeito é especialmente visível na porção nordeste das áreas do Projeto Arenópolis, onde ocorre uma estrutura de forma circular, interpretada possivelmente como corpo intrusivo. A partir desses produtos, foi realizada a separação dos domínios magnéticos, levando em consideração a

intensidade e as características do relevo magnético (Figura 3.16; 3.17). A Tabela 3.8 apresenta as características específicas de cada domínio magnético.

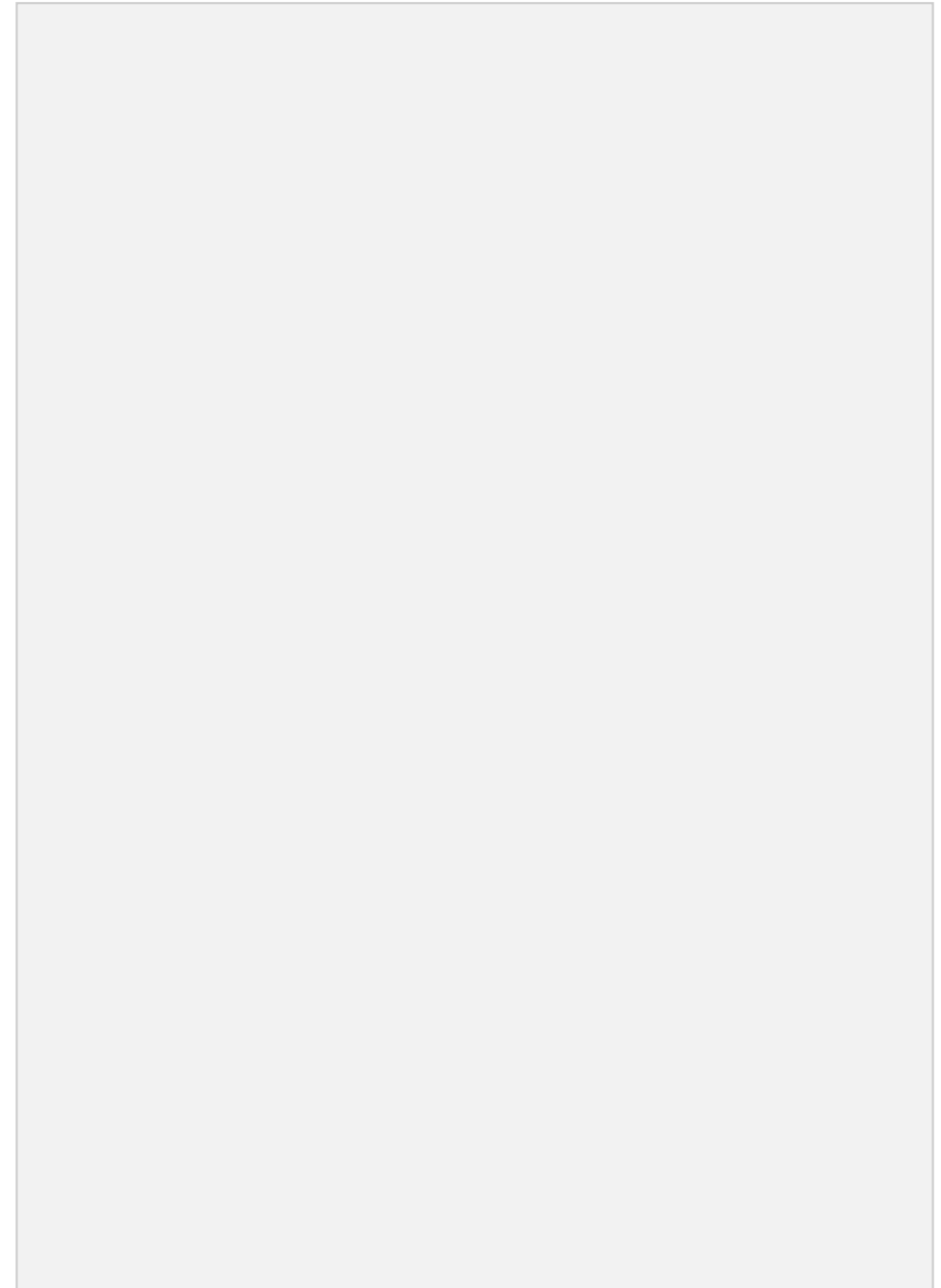
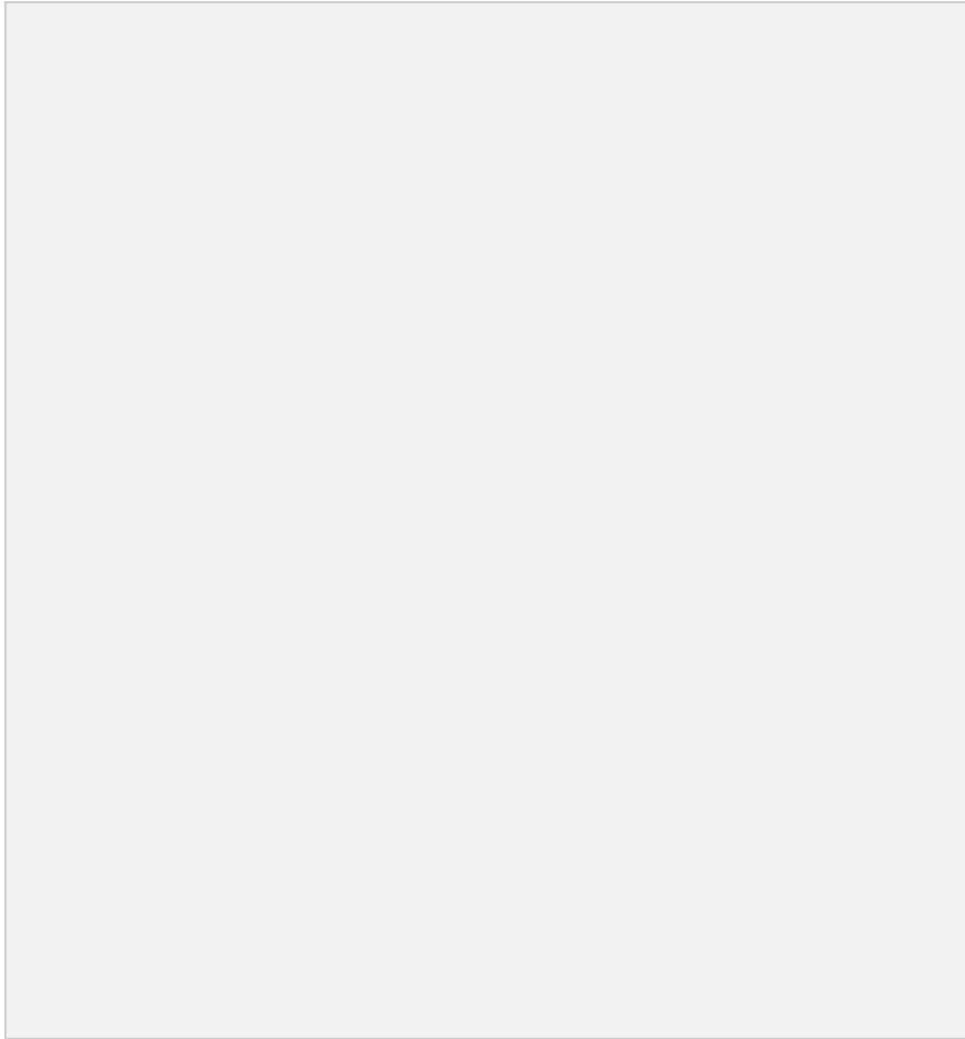
**Tabela 3.8:** Características dos domínios magnéticos do Projeto Arenópolis.

Domínio Magnético	Intensidade	Relevo Magnético
1	Baixa	Liso
2	Média	Rugoso
3	Alta	Rugoso
4	Muito Alta	Rugoso



**Figura 3.16:** Mapa de domínios magnéticos do Projeto Arenópolis e da Área VII.





**Figura 3.17:** Produtos magnetométricos. A) ASA. B) CMA. C) TILT. D) DV1. E) GHT.

#### 4. Geologia do Projeto Arenópolis

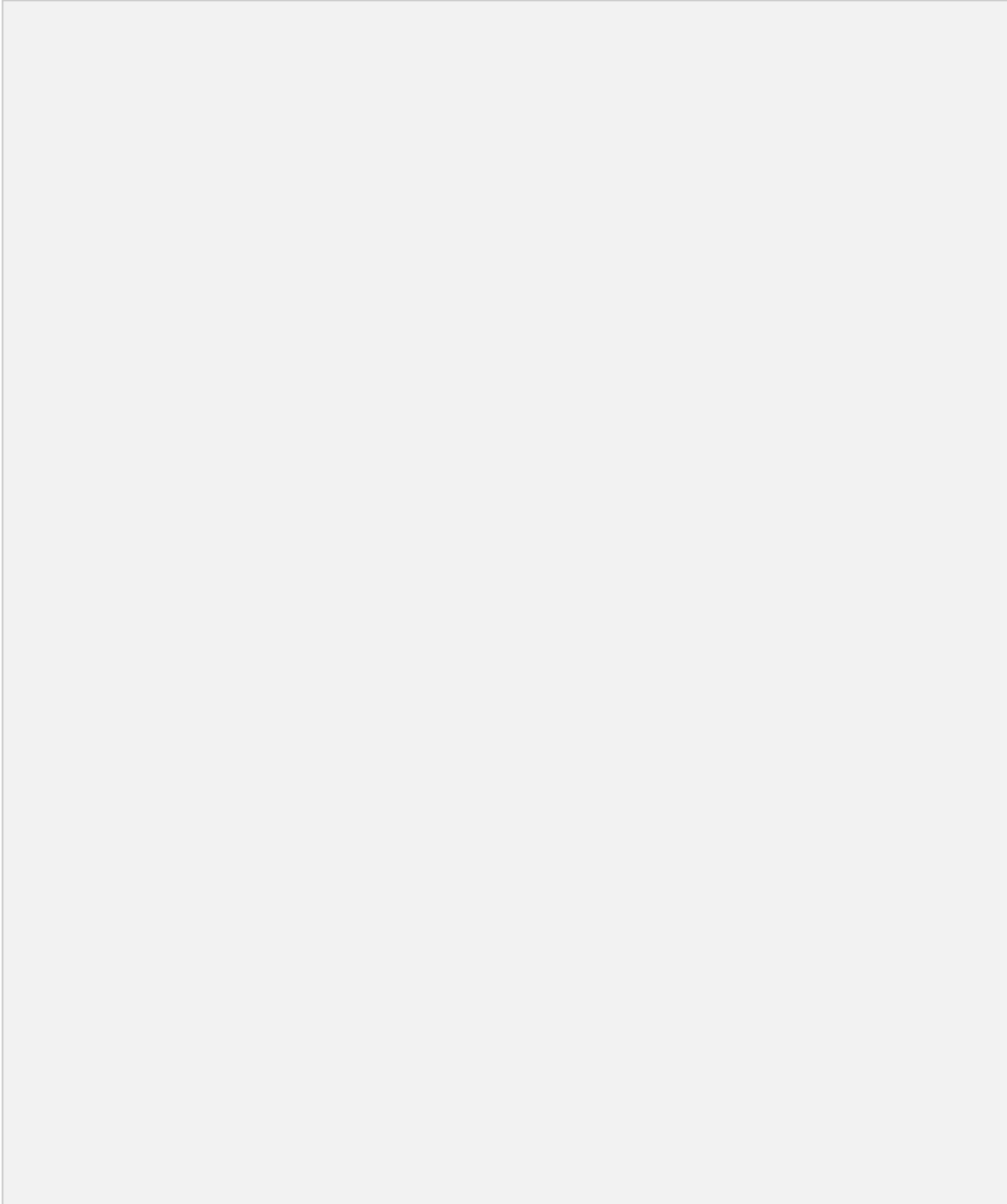
O Projeto Arenópolis (2023), através do mapeamento de uma área aproximada de 900 km<sup>2</sup> em escala 1:25.000, permitiu a identificação de unidades cuja formação, deformação e metamorfismo são atrelados à evolução da Orogênese Brasileira durante o Neoproterozóico (Pimentel, 2016). Foram identificadas principalmente rochas neoproterozóicas do Arco Magmático de Goiás, mas também rochas paleoproterozóicas, representadas pelo Gnaiss Ribeirão, além de rochas sedimentares paleozóicas, da Bacia do Paraná, e rochas plutônicas e subvulcânicas mesozóicas, pertencentes à Província Alcalina de Goiás (PAGO). A estruturação é caracterizada por foliações normalmente subverticais, com uma direção preferencial NNW-SSE a N-S. Foram também compartimentadas, de oeste para leste, 3 sistemas de zonas de cisalhamento transcorrentes, de cinemática sinistral - sendo denominadas respectivamente, Zona de Cisalhamento Piranhas, Zona de Cisalhamento Ribeirão e Zona de Cisalhamento Córrego da Areia.

##### 4.1. Embasamento

A unidade representativa do embasamento é denominada de Gnaiss Ribeirão (Pimentel, 1992). Idades isocrônicas Rb-Sr e Pb-Pb indicaram idade aproximada de 1,8 Ga (Pimentel, 1990). Não obstante, métodos mais precisos e acurados devem ser aplicados para determinar com precisão a verdadeira idade dessa unidade. O Gnaiss Ribeirão apresenta-se em contato com as unidades Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, a leste, e com o Gnaiss Arenópolis a oeste, ambos ao longo de zonas de cisalhamento com cinemática sinistral relacionados com a Zona de Cisalhamento Ribeirão. O Gnaiss Ribeirão aflora em porções restritas na área VI, e aparece de forma contínua nas áreas VIII, IX e X. As melhores exposições encontram-se na área VIII.

Litologicamente, é composto por biotita tonalitos, intensamente deformados e foliados, com presença local de migmatitos, evidenciando a existência de processos de fusão parcial. Em termos mineralógicos, apresenta quartzo, plagioclásio (andesina, An<sub>37</sub>) e como mineral máfico, biotita. A feição que mais se destaca é bandamento gnáissico de granulação grossa e de granulação fina - marcados por concentrações modais variáveis de biotita. Ademais, foi possível identificar feições deformacionais, como foliação anastomosada, foliação S-C, leucossomas rompidos

e porfiroblastos de quartzo em concordância com a cinemática sinistral regional, conforme pode ser observado na figura abaixo (Figura 4.1).



**Figura 4.1.** Feições de deformação no Gnaiss Ribeirão, observadas no afloramento-tipo, inserido na área VIII (Coordenadas: 22S 434053 E 8173182 N). A) Foliação anastomosada, truncada por fraturas; B) Leucossomas rompidos; C) leucossomas em migmatito exibindo pinch-and-swell incipiente na porção inferior da imagem; D) Foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C; E) Megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral; por fim, F) migmatito com leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato.

## 4.2. Arco Magmático de Goiás

O Arco Magmático de Goiás - Segmento Arenópolis - corresponde a cerca de 97% de toda a área mapeada do Projeto Arenópolis. É representado pela associação de rochas graníticas a intermediárias, com composição que varia entre dioritos e tonalitos metamorfizadas em fácies xisto-verde a anfibolito. São correspondentes ao estágio de arco de ilhas. Rochas metavulcânicas e metassedimentares das bacias de trincheira e de *forearc*; bem como intrusões graníticas de caráter calci-alcálico dos estágios vulcânico e colisional. Estudos geocronológicos mostram um conjunto de idades entre cerca de 900 Ma (Sequência MVS Arenópolis-Piranhas) e 587 Ma (Granito Rio Caiapó). As unidades pertencentes ao arco são estruturadas conforme orientação principal NW-SE em sistema predominantemente transcorrente, sobre o qual foram gerados sistemas de zonas de cisalhamento, com cinemática sinistral.

### 4.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas

Entre as sequências metavulcanossedimentares dos segmentos Arenópolis e Anicuns-Itaberaí, a Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas representa as exposições de rochas supracrustais mais antigas (Carneiro, 2019). Na área do Projeto Arenópolis, essa sequência tem contato tectônico, ao longo da Zona de Cisalhamento Piranhas, com a unidade do Granito Ribeirão Água Limpa a oeste e ao longo da Zona de Cisalhamento Ribeirão com o Gnaiss Arenópolis (Áreas I e II) e Granito Serra do Tatu (Áreas V até X) a leste. Essa sequência é intrudida pelo Granito da Serra do Iran, de aproximadamente 588 Ma (Pimentel *et al.*, 1996) e por rochas dioríticas a graníticas indiferenciadas (e.g. Área IX). Para o sul (Área X), encontra-se encoberto em discordância angular pelos arenitos da Formação Furnas (Devoniano) da Bacia do Paraná.

### **Unidade Córrego do Santo Antônio**

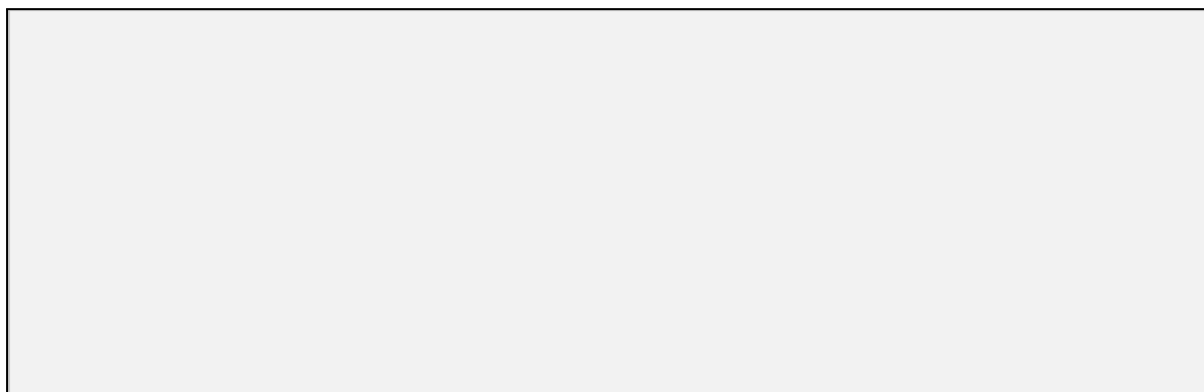
A Unidade Córrego do Santo Antônio compreende intercalação de rochas metassedimentares (siliciclásticas e químicas), anfibolitos e rochas metaultramáficas. Seus limites oeste e leste se dão por zonas de cisalhamento

transcorrentes sinistrais, respectivamente, a Zona de Cisalhamento Piranhas e a Zona de Cisalhamento Ribeirão.

As rochas são estruturadas com direção preferencial NNW-SSE e mergulho subvertical. Mostrando o mesmo comportamento, são observadas zonas de cisalhamento transcorrentes e empurrões que cortam as rochas dentro de seu domínio.

A fácies metassedimentar é representada principalmente por xistos metapelíticos, metamorfizados em fácies anfibolito e com retrometamorfismo em fácies xisto verde. São observada ocasionalmente lentes de metachert, mármore, quartzito e gondito. Os xistos (Figura 4.2) são representados por micaxistos e biotita xistos, com ocasionais porfiroblastos de granada e estaurolita. Os porfiroblastos de estaurolita e granada estão rotacionados e evidenciam cinemática sinistral. Intercalados aos xistos, ocorrem anfibolitos e rochas metaultramáficas, as quais formam faixas e lentes de dimensões variáveis. No extremo leste da unidade, ocorre espessa faixa contínua de direção NNW-SSE composta por anfibolitos, os quais apresentam paragênese de hornblenda verde, plagioclásio ( $An_{35}$  - andesina), epidoto e ocasionalmente titanita, o que indica metamorfismo de fácies anfibolito. A fácies metaultramáfica é composta por talco-clorita-tremolita serpentinitos.

Além disso, é interessante comentar que as rochas metaultramáficas afloram preferencialmente associadas à porção metapelítica, a oeste; ao passo que os anfibolitos afloram predominantemente na porção leste da unidade.

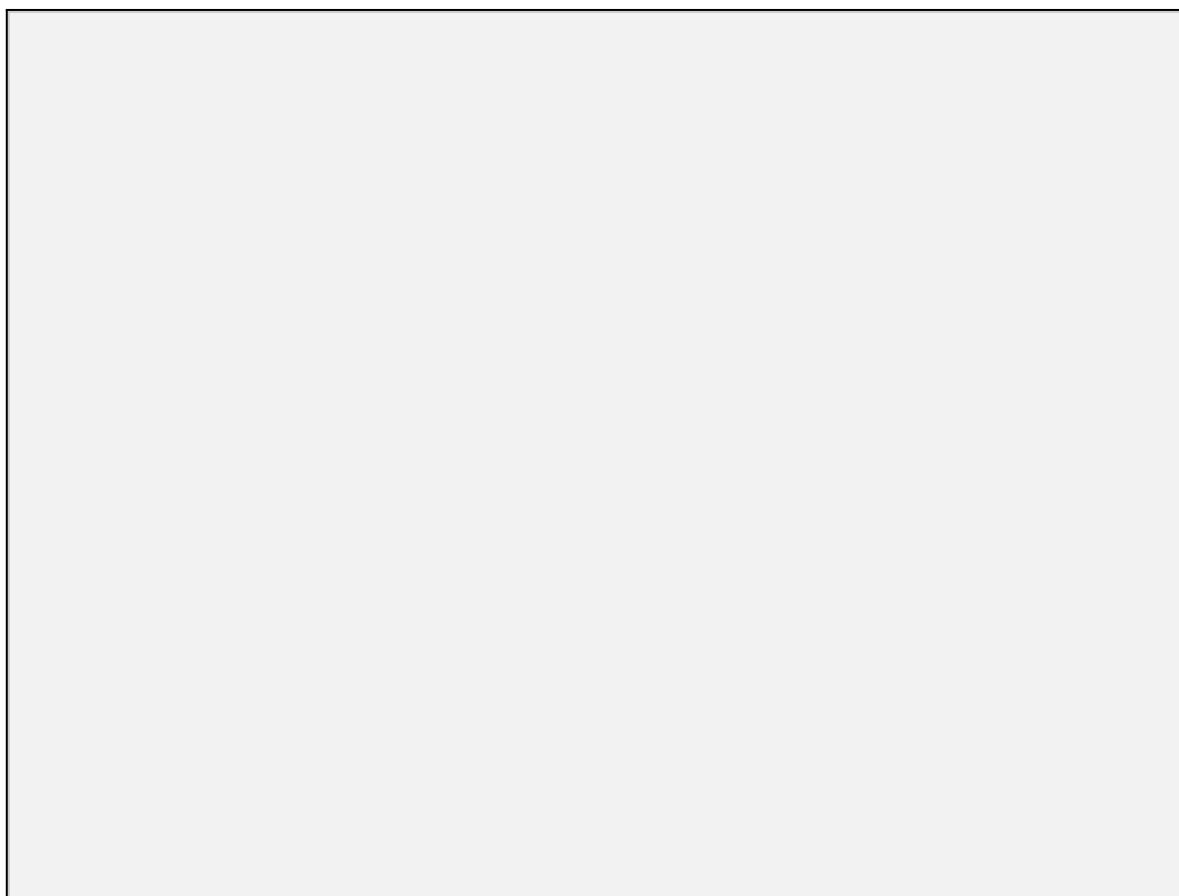


**Figura 4.2.** (A) Rocha alterada de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estaurolita de hábito prismático que deforma a xistosidade: TF23-X-106 430682E 8166457S. (B) Afloramento in situ evidenciando foliação: TF23-X-181 428702E 81680537S.

### ***Unidade Córrego da Onça***

A Unidade Córrego da Onça ocorre entre as áreas I a II e nas áreas V a X, sendo caracterizada por rochas metassedimentares, anfibolitos, rochas ultramáficas e gnaisses calcissilicáticos. A unidade é limitada a oeste pela Zona de Cisalhamento Ribeirão e a leste pela Zona de Cisalhamento Córrego da Areia. As rochas apresentam estruturação N-S a NNW-SSE com mergulhos subverticais (Figura 4.3). Também foi possível identificar fitas de quartzo estirado, foliação S-C, milonitos e estruturas do tipo dominó com cinemática sinistral, concordantes com a cinemática regional.

As rochas metassedimentares são representadas por quartzitos micáceos e muscovita xistos, por vezes, contendo grafita. Os anfibolitos apresentam textura nematoblástica, sendo constituídos por plagioclásio ( $An_{34}$  - andesina), hornblenda e quartzo, sendo ocasionalmente observado clinopiroxênio em equilíbrio. De maneira subordinada, principalmente nas proximidades com zonas de cisalhamento, são observados anfibolitos hidrotermalizados, com presença de epidoto, biotita, clorita e actinolita.



**Figura 4.3.** Afloramento tipo de anfibolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (X: 434722,9973; Y: 8181581,737).

São observadas também rochas calcissilicáticas, com trama dúctil, localizadas a sul do Granito Serra do Iran, na Área VI. Foram classificadas como gnaisses calcissilicáticos, uma vez que exibem bandamento gnáissico e mineralogia indicativa de que a rocha passou por alteração hidrotermal calcissilicática. Sua assembleia é marcada por minerais ricos em Si, Ca e Mg, com anfibólio, quartzo, epidoto, clorita, biotita, calcita e titanita. Esse domínio, o qual foi associado à unidade Córrego da Onça, faz contato a oeste com o Gnaiss Ribeirão e a leste com anfibolitos da unidade da sequência MVS. Os contatos se dão por zona de cisalhamento transcorrente (Zona de Cisalhamento Ribeirão), com alguns indicadores de cinemática sinistral, sendo observados mergulhos subverticais e dobras fechadas a isoclinais de eixos e planos axiais subverticais (Figura 4.4).



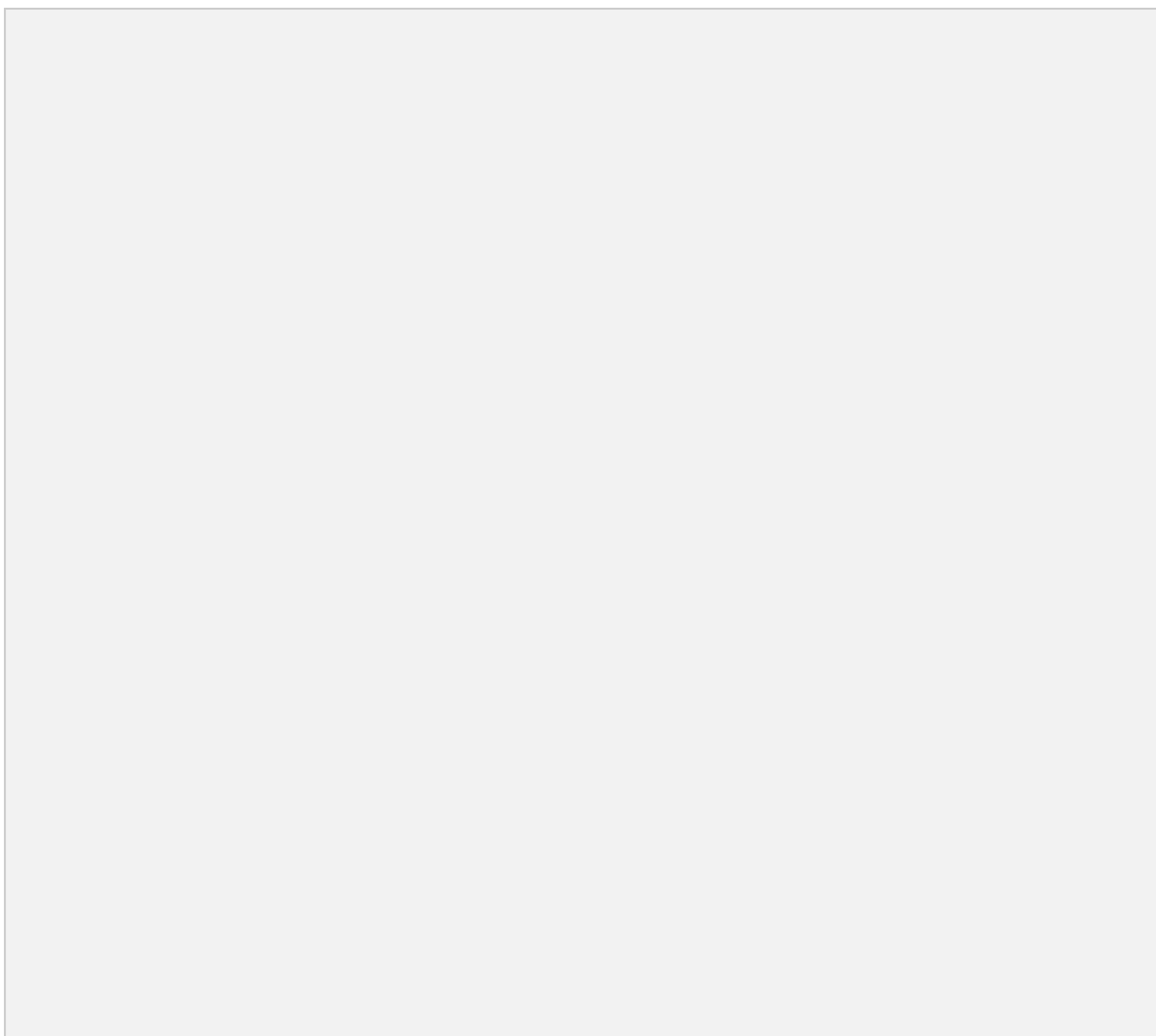
**Figura 4.4.** Área VI, ponto 120 (X:431498,7736; Y: 8182539,859). Afloramento em lajedo mostrando gnaisses calcissilicáticos afetados pela Zona de Cisalhamento Ribeirão.



#### **4.2.3 Gabro Morro do Baú**

A Unidade Morro do Baú corresponde a gabros intrusivos na Sequência Metavulcanosedimentar Arenópolis-Piranhas (Figura 4.5A), principalmente na Área X e parte na Área IX. Apresentam-se em dois domínios, um corpo oval e de maior tamanho para oeste e um corpo alongado na direção NNW-SSE para leste. Apresenta foliação predominante nos sentidos NNW-SSE e NNE-SSW, com mergulhos moderados a altos para oeste e leste, resultado de deformação dúctil (Figura 4.5B) O corpo oeste é cortado por uma zona de cisalhamento na direção NNW-SSE.

O afloramento-tipo encontra-se no corpo oval da Área X. A unidade é composta por gabros de textura granular média a grossa. A mineralogia principal inclui plagioclásio e hornblenda, e minerais opacos como acessórios. Evidências de alteração, como cloritização nos cristais de hornblenda, saussuritização nas bordas dos cristais de plagioclásio e sericitização na matriz, são observadas. Por vezes a unidade aparece com sua mineralogia e textura originais preservadas, com textura cumulática.(Figura 4.5C)



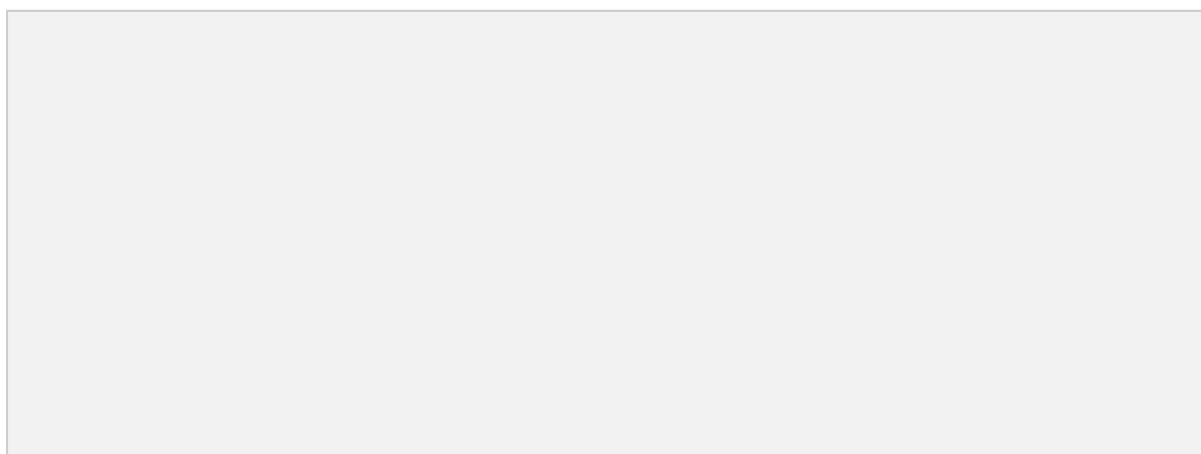
**Figura 4.5.** (A) TF23-X-12 432984E 8166649S: Aspecto de afloramento da unidade Gabro Morro do Baú no corpo arredondado. (B) TF23-X-12 432984E 8166649S: Detalhe do gabro deformado com bandamento centimétrico e veios leucocráticos discordantes. (C) TF23-X-13 433304E 8166548S: Gabro Morro do Baú com textura cumulática.

#### **4.2.4. Gnaisse Arenópolis**

Na região do Projeto Arenópolis, o Gnaisse Arenópolis é encontrado entre o Granito Serra do Iran a oeste e a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas a leste, nas áreas I até IV. No sul, nas áreas VIII até X, encontra-se em contato com os anfibolitos da Unidade Córrego do Santo Antônio para oeste e com Gnaisse Riberião para leste.

Trata-se de gnaisses tonalíticos (Figura 4.6A) a graníticos com fácies anfibolíticas subordinadas que ocorrem como blocos e lajedos métricos. Bandamento gnáissico com direção NW-SE representa a foliação (Figura 4.6B)

predominante. Mergulhos subverticais e lineação de estiramento mineral paralela ao bandamento, com baixo caimento na direção NW. A foliação milonítica, caracterizada por porfiroclastos de plagioclásio envoltos por lamelas de biotita, é encontrada principalmente perto do contato entre o Gnaiss Arenópolis e o Granito Rio Caiapó (Áreas III e IV). Ao longo das áreas do projeto, percebe-se variação composicional em membros tonalíticos predominando nas áreas mais ao norte, e membros mais félsicos mais ao sul. Na área V lentes ultramáficas associadas ao Gnaiss Arenópolis ocorrem em pequenos morrotes que sobressaem na topografia, compondo afloramentos de blocos métricos *in situ*. São encontrados serpentinitos, clorititos e xistos ultramáficos.



**Figura 4.6.** Área III - TF23-AIII-P106 (Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35). A - Afloramento em lajedo no leito do Córrego da Areia composto por gnaiss tonalítico milonitizado. B - Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

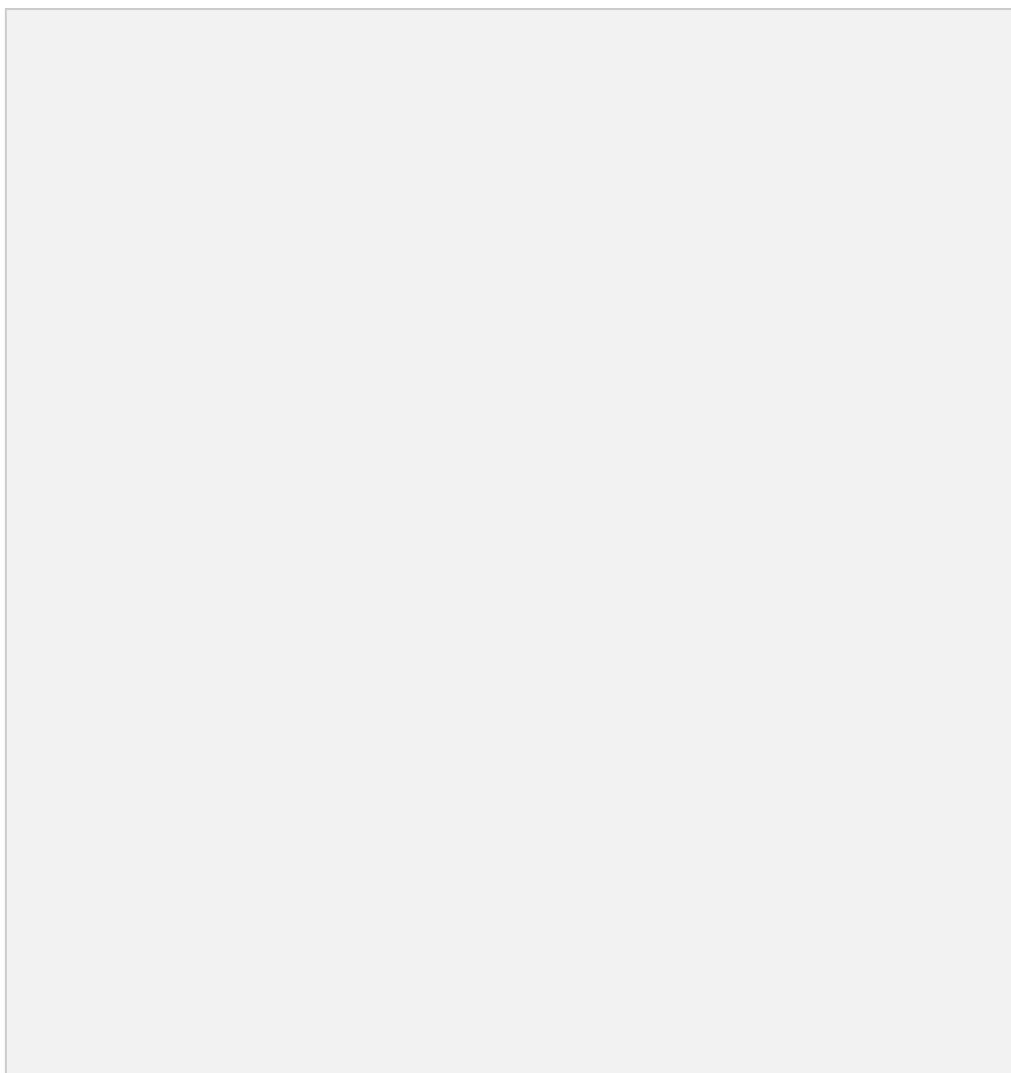
#### 4.2.5. Intrusões sin-tectônicas

Na área do Projeto Arenópolis ocorrem duas unidades inseridas no contexto de intrusões sin-tectônicas: Granito Serra do Tatu e Granito Ribeirão Água Limpa. Essa classificação se deu por meio de observações de campo, em macroescala e em microescala pela identificação de microestruturas. Ambas as unidades apresentam-se deformadas, com foliação bem pronunciada nas bordas e no centro dos corpos, além ocorrer uma série de zonas de cisalhamento associadas a sistema anastomosado de direção preferencial NE-SW e NW-SE nos Granito Serra do Tatu e Granito Ribeirão Água Limpa, respectivamente. Em termos de microestruturas, foram identificados mecanismos de recristalização dinâmica de baixa a média temperatura, além de estruturas como *ribbons*, fraturas e rotação de porfiroclastos.

### ***Granito Serra do Tatu***

O Granito Serra do Tatu ocorre na porção leste da área do projeto, estendido em direção NNW-SSE nas Áreas V até X e com largura de aproximadamente 2 km. Sua ocorrência está relacionada à Serra do Tatu, que deu nome a unidade. É limitada a leste e oeste pelas unidades Gnaiss Arenópolis e Córrego da Onça, respectivamente, sendo que o contato em ambos os casos ocorre por zonas de cisalhamento transcorrente sinistral. São observados afloramentos em lajedo (Figura 4.7B;C) e em blocos soltos.

As rochas desta unidade são leucocráticas e compostas por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e biotita, além de minerais opacos, titanita, epidoto e apatita como minerais acessórios. A textura observada é marcadamente milonítica, exibindo porfiroclastos de feldspato alcalino envolvidos por biotita. A foliação milonítica é em geral subvertical, enquanto os porfiroclastos mostram-se estirados de maneira sub-horizontal e direção NNW-SSE, com cinemática sinistral (Figura 4.7A).

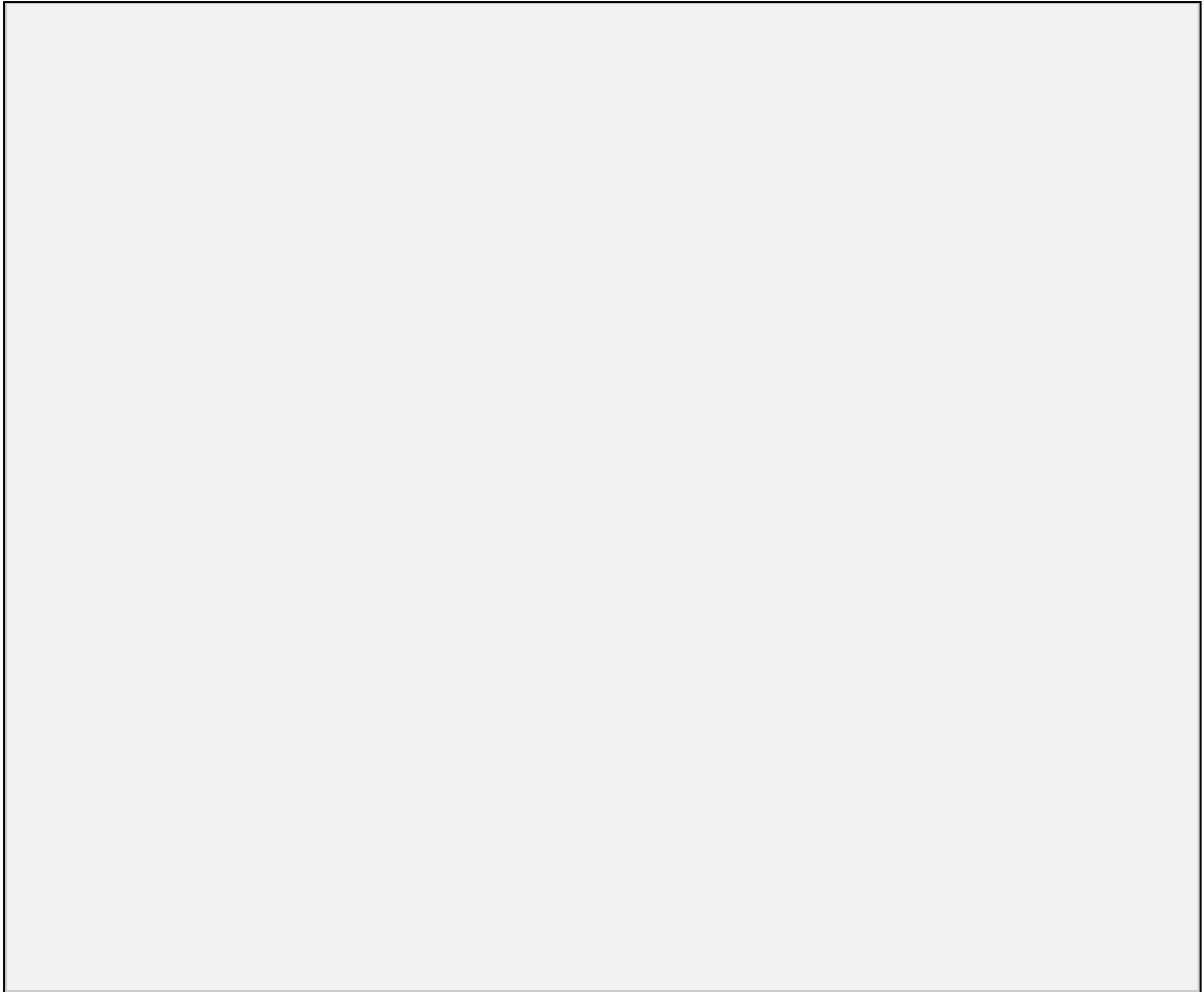


**Figura 4.7.** (A) Porfiroclasto sigmoidal de feldspato alcalino, exibindo rotação sinistral (destacada por setas amarelas) em meio a textura milonítica do biotita granito milonítico. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (C) Área VII - TF23-VII-79 (X: 437028; Y: 8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

### ***Granito Ribeirão Água Limpa***

O Granito Ribeirão Água Limpa aflora no extremo oeste das áreas II a X do Projeto Arenópolis. Foram descritas rochas leucocráticas, de coloração róseo-esverdeadas, e composições granodioríticas a graníticas, granulação variável de fina a grossa e texturas primárias porfiríticas e equigranulares, as quais se mostram frequentemente milonitizadas. Em geral, é observado biotita subordinada e, em menor abundância, há presença de muscovita. Mais raramente, ainda foram descritas rochas com hornblenda e rochas com granada sin-tectônica. A deformação milonítica é mais intensa conforme a proximidade à Zona de

Cisalhamento Piranhas, que marca o contato leste da unidade com a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Por vezes é observado bandamento gnáissico (Figura 4.8A). Além disso, ocasionalmente, na Área III, foram observadas estruturas indicativas de fusão parcial, classificadas como migmatitos (Figura 4.8A). Essa grande heterogeneidade composicional e textural das rochas abarcadas pela unidade indica a possível existência de diferentes injeções magmáticas durante o período colisional.



**Figura 4.8.** Afloramentos do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Matacão de rocha com bandamento gnáissico e composição granítica com evidências de fusão parcial - migmatitos. (B) Afloramento em lajedos, muito comum nos afloramentos da Área III. (C) Fácies granítica isotrópica, com granulação grossa, classificado como pegmatítica. (D) Fácies de composição granodiorítica foliada e ocasionalmente bandada.



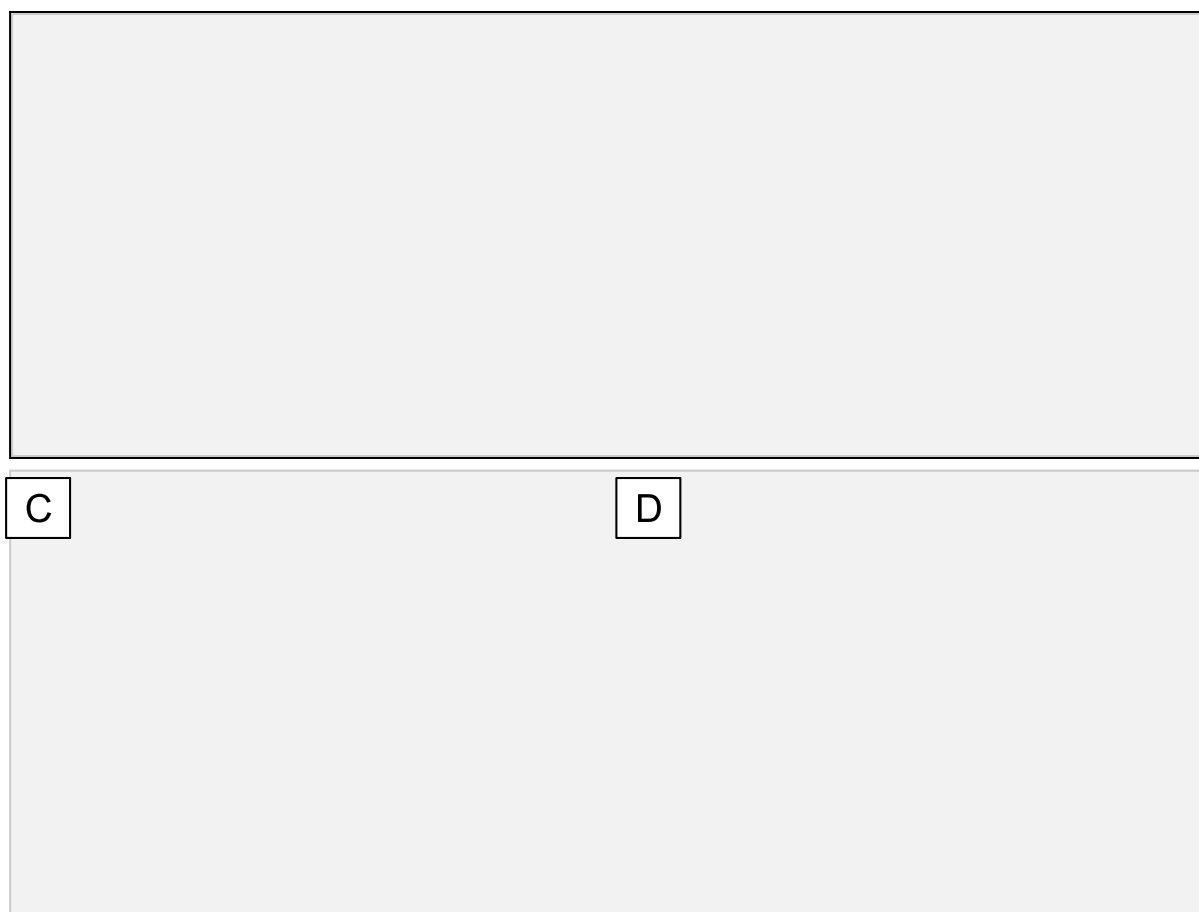
#### 4.2.6. Intrusões *tardi*-tectônicas

As unidades que representam intrusões *tardi*-tectônicas incluem os granitos Serra do Iran e Rio Caiapó, de aproximadamente 588 Ma (Pimentel *et al.*, 1996). São corpos limitados por zonas de cisalhamento, com foliação milonítica subordinada nas bordas e núcleo com feições ígneas bem preservadas no centro. As características estruturais identificadas em campo corroboram as idades sugeridas para as unidades, que indicam contexto pós-orogênico para o alojamento dos plútons.

##### **Granito Serra do Iran**

O Granito Serra do Iran ocorre como um corpo intrusivo *tardi*-tectônico situado na porção central da área abarcada pelo projeto, de aproximadamente 15 km de extensão e 7.5 km de largura, com exposições nas áreas I até VI. Intrude as rochas da Unidade Córrego do Santo Antônio (a oeste) e Unidade Córrego da Onça, Granito Serra do Tatu e Gnaiss Arenópolis (aleste). Esse granito sobressai na topografia, resultando em relevos variando de fortemente a levemente ondulados, formando as Serras da Margarida e da Cruz, notáveis por sua cobertura densa de vegetação arbórea. Os afloramentos do Granito Serra do Iran assumem formas como lajedos, blocos *in situ* (Figura 4.9A), em leitos de drenagem e matacões. Enquanto as bordas do corpo exibem leve deformação e fraturamento, o centro permanece preservado e isotrópico.

Diferentes fácies foram definidas no Granito Serra do Iran, entre elas: 1) fácies félsicas: sienogranitos de granulação grossa (Figura 4.9B) e fina, monzogranitos; 2) fácies intermediárias: tonalitos, quartzo-dioritos e granodioritos; 3) fácies máficas: gabros e dioritos; 4) fácies subvulcânicas: dacitos e riodacitos. A partir desta variação composicional, foram observadas também evidências de mistura magmática, *mixing-mingling*. Em escala de campo, foi observado *mingling* com a presença de dois extremos composicionais (Figura 4.9C e 4.9D), e a partir da petrografia foi evidenciado o *mixing*, com a presença de híbridos composicionais.



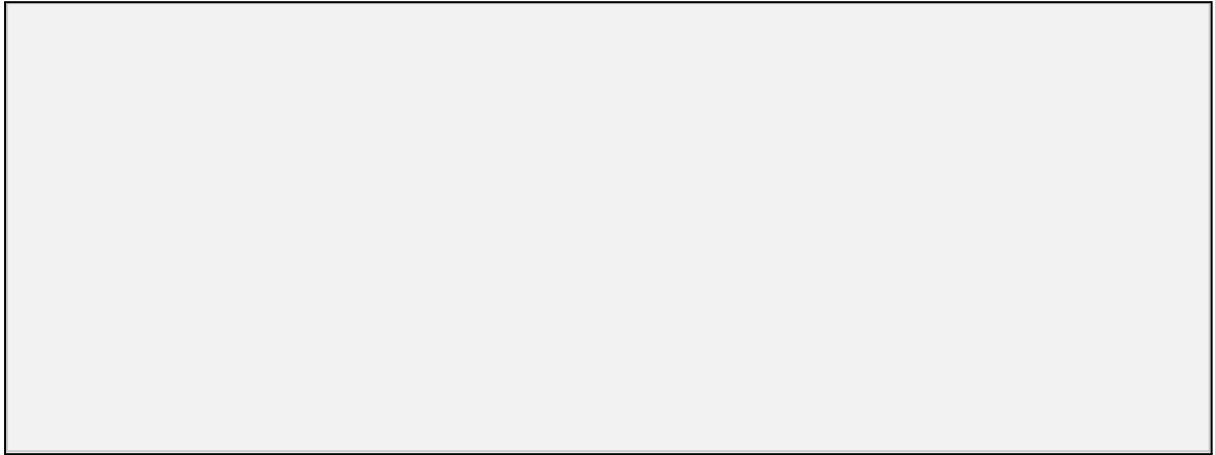
**Figura 4.9.** (A) Afloramento de bloco do Granito Serra do Iran, os blocos podem alcançar 2 metros de altura como na figura, muito comum nas proximidades da Serra da Margarida. (B) Amostra de mão representativa da fácies do Granito Serra do Iran de granulação grossa e textura equigranular. (C - D) Feições de mixing-mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto (TF23-AV-P141, coordenadas: 431309E 8187001S).

### ***Granito Rio Caiapó***

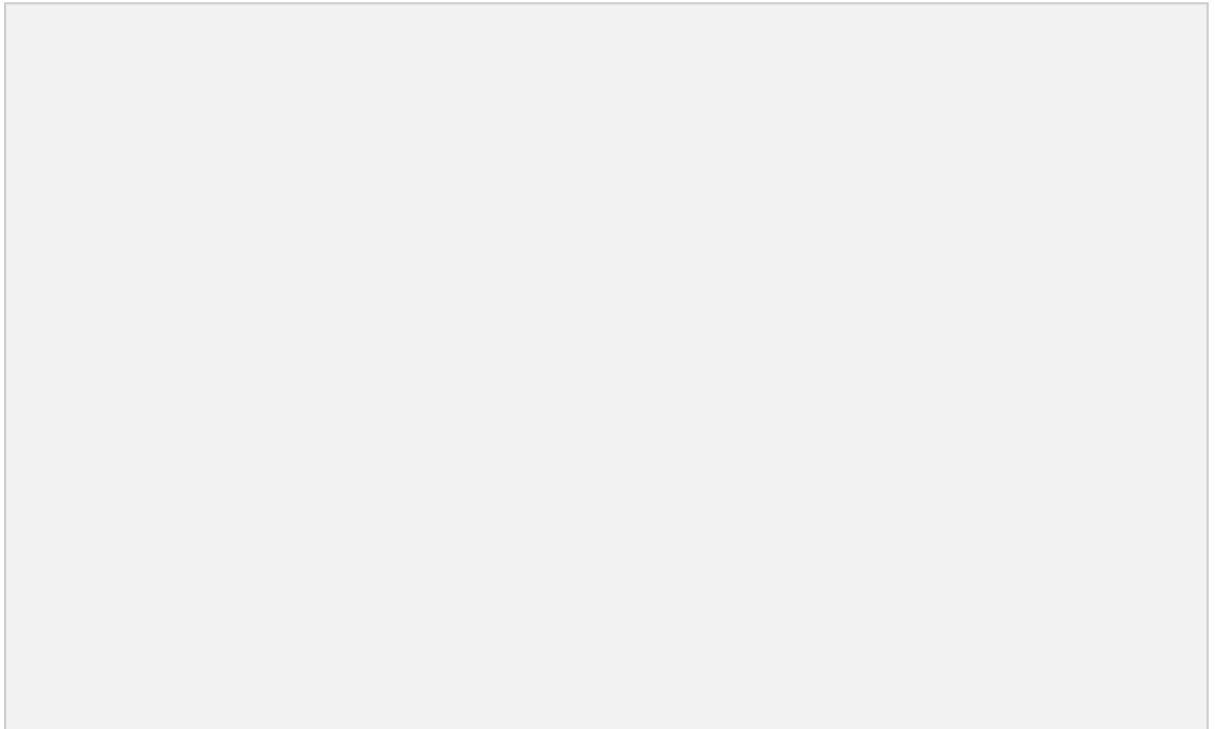
O Granito Rio Caiapó ocorre na porção nordeste do Projeto Arenópolis, e limita-se a oeste com o Gnaiss Arenópolis e a leste com o Corpo Arenópolis da Província Alcalina de Goiás. É dividido em dois domínios geomorfológicos com base, principalmente, na granulação das rochas, além de incluir uma fácies granodiorítica. Os afloramentos são caracterizados predominantemente por grandes blocos isolados e lajedos (Figura 4.10A) associados à Serra do Retiro Velho. O outro domínio, compreendido pela fácies granítica fina apresenta relevo aplainado e afloramentos mais restritos.

A unidade compreende uma variedade composicional de rochas graníticas, incluindo sienogranitos, em maior parte, e granodioritos com algumas variações texturais e granulométricas. A principal textura identificada na unidade é a porfirítica

(Figura 4.10B), marcada por megacristais de feldspato potássico que, ocasionalmente, apresentam texturas perlíticas e *rapakivi*. Essa fácies porfirítica ocorre, de maneira restrita, associada a diques *sin*-plutônicos (Figura 4.10C) de composição tonalítica. Por vezes, as rochas da unidade apresentam foliação bem definida pela orientação dos grãos lamelares de biotita e estiramento de feldspatos, indicando deformação influenciada por zonas de cisalhamentos.



**Figura 4.10.** TF23-AIII-P15 (Coordenadas X: 439660,33; Y: 8195281,30) - (A) Lajedo de dimensão decamétrica do Granito Rio Caiapó. (B) Detalhe para a fácies inequigranular seriada com megacristais de feldspato potássico, classificada como granito porfirítico, e fraturas de direção NW-SE.

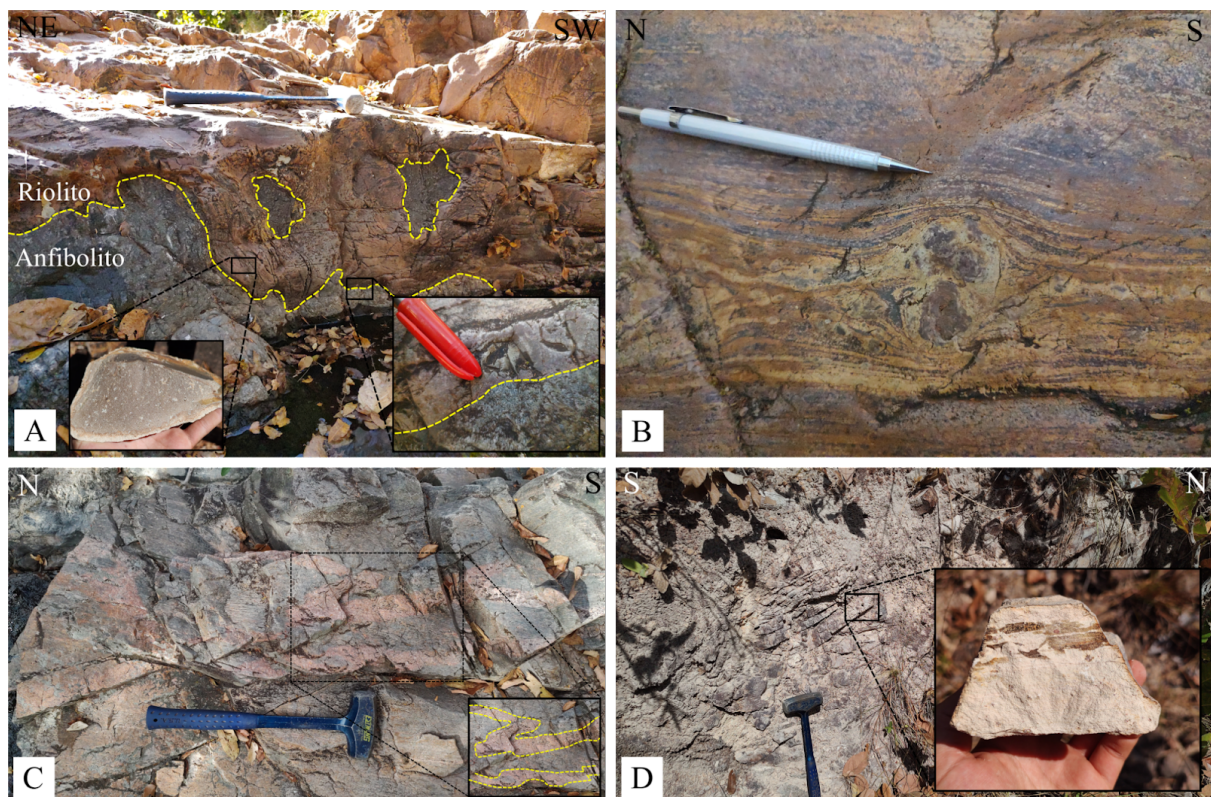


**Figura 4.11.** Diques sin-plutônicos ao tonalito, hospedados pela fácies granito porfíritico grosso, observados no ponto TF23-II-27 (Coordenadas X: 432888; Y: 8199463).

### ***Vulcânicas Córrego do Horácio***

Ao longo dos extremos sudeste da área VII e nordeste da área VIII, ocorrem uma série de diques riolíticos alongados segundo *trend* NW-SE. Esses diques intrudem (Figura 4.12A) os anfibolitos da unidade Córrego da Onça e o Granito Serra do Tatu. Apresentam foliação subvertical, dobras e fraturas de cisalhamento. Sua distribuição, de modo geral, está associada à zona de cisalhamento ao longo do Granito Serra do Tatu, possivelmente havendo correlação entre o alojamento do plúton com as intrusões ácidas.

São rochas de composição riolítica, de coloração avermelhada a bege claro. Apresentam bandamento de fluxo (Figura 4.12B) e evidências de devitrificação de alta temperatura, como esferulitos. Apresentam textura afanítica a porfíritica/glomeroporfíritica, composta por quartzo e feldspato potássico.



**Figura 4.12.** Derrames riolíticos característicos da unidade, com afloramento-tipo (A e B) localizado na área VII (Coordenadas: 22S 434487 E 8177659 N). (A) Derrame riolítico avermelhado, sobre anfibolito fino com enclaves do mesmo. Além disso, é possível observar no detalhe, amostra de riolito

de coloração bege de textura glomeroporfírica de quartzo e feldspato. (B) Clasto rotacionado ao ser incorporado no fluxo riolítico, com esferulitos visíveis na porção superior da imagem. (C) (Coordenadas: 22S 435676 E 8177906 N), diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu. Em D (Coordenadas: 22S 437572 E 8176637 N), afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas.

#### **4.3. Bacia do Paraná**

A Bacia do Paraná abrange a totalidade da porção sul da Área X (Figura 4.13) e se manifesta de forma pontual na Área VIII. O grupo geológico predominante nessa região é o Grupo Paraná, que é representado pelas formações Furnas e Ponta Grossa.

A Formação Furnas prevalece na área do Projeto Arenópolis e cobre integralmente a extremidade sul da Área X, abrangendo parte das unidades mencionadas anteriormente. Essa formação exhibe relevo de escarpa com orientação aproximada E-W e altitude variando entre 620 metros e 740 metros. É composta principalmente por arenitos de tonalidade esbranquiçada, intercalados com arenitos conglomeráticos e siltito micáceo. Caracteriza-se por apresentar estruturas de estratificação cruzada tabular, acanalada e plano paralela.

A Formação Ponta Grossa, está restrita à porção centro-sul da área, especificamente no Morro da Mesa. Essa formação é composta por arenitos de coloração esbranquiçada e ferruginosa, alternando-se com camadas argilosas.





**Figura 4.13.** (A) Vista panorâmica da Bacia do Paraná e da Sequência Metavulcanossedimentar Córrego Santo Antônio na área X. (B) Arenito conglomerático com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-67 437339E 8166225N). (C) Arenito fino com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-79 431804E 8164059N).

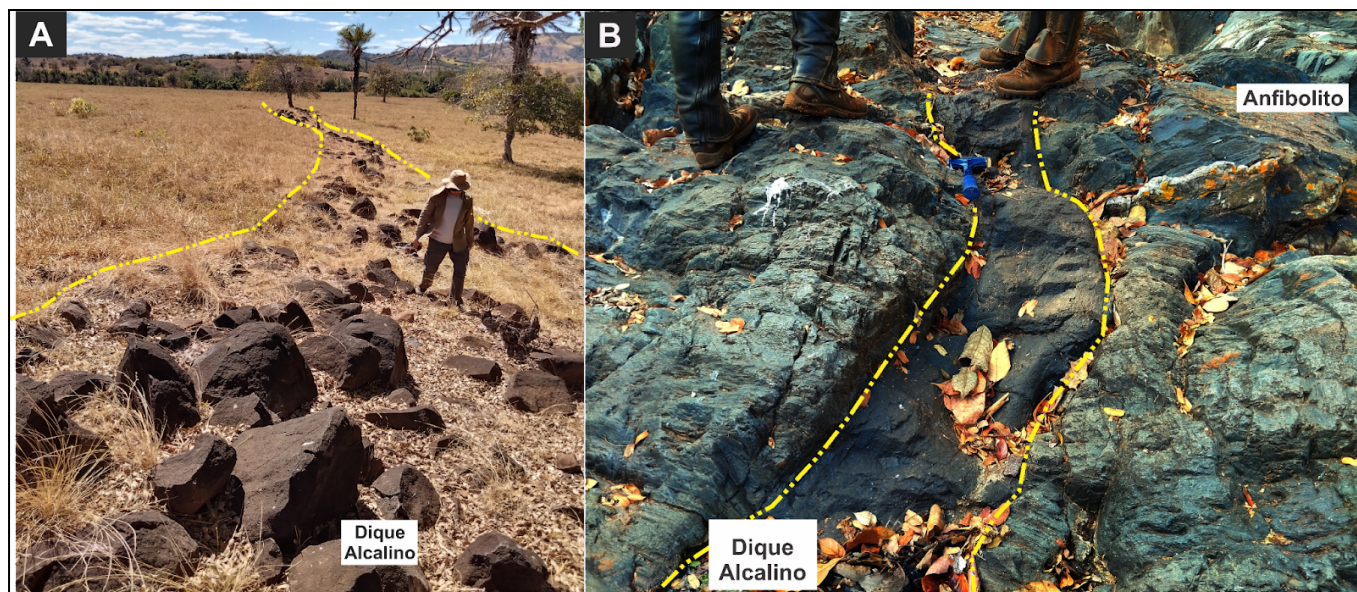
#### 4.4. Província Alcalina de Goiás

As rochas da Província Alcalina de Goiás (PAGO), identificadas na área do Projeto Arenópolis, correspondem a 1) conjunto de diques de basanita e basanita fonolítico sem direção preferencial, intrudidos nas diferentes unidades; e 2) corpo plutônico denominado de Complexo Alcalino Plutônico de Arenópolis, intrudido no Granito Rio Caiapó.

##### *Rochas subvulcânicas*

De modo geral, são encontrados na forma de blocos escuros alinhados (Figura 4.14A) ou ao longo do leito (Figura 4.14B) de drenagens. São rochas de elevada resposta magnética, em função da presença abundante de magnetita na matriz. Podem apresentar textura afanítica ou porfírica, sendo possível identificar fenocristais de olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio e, ocasionalmente, flogopita, nefelina ou leucita.



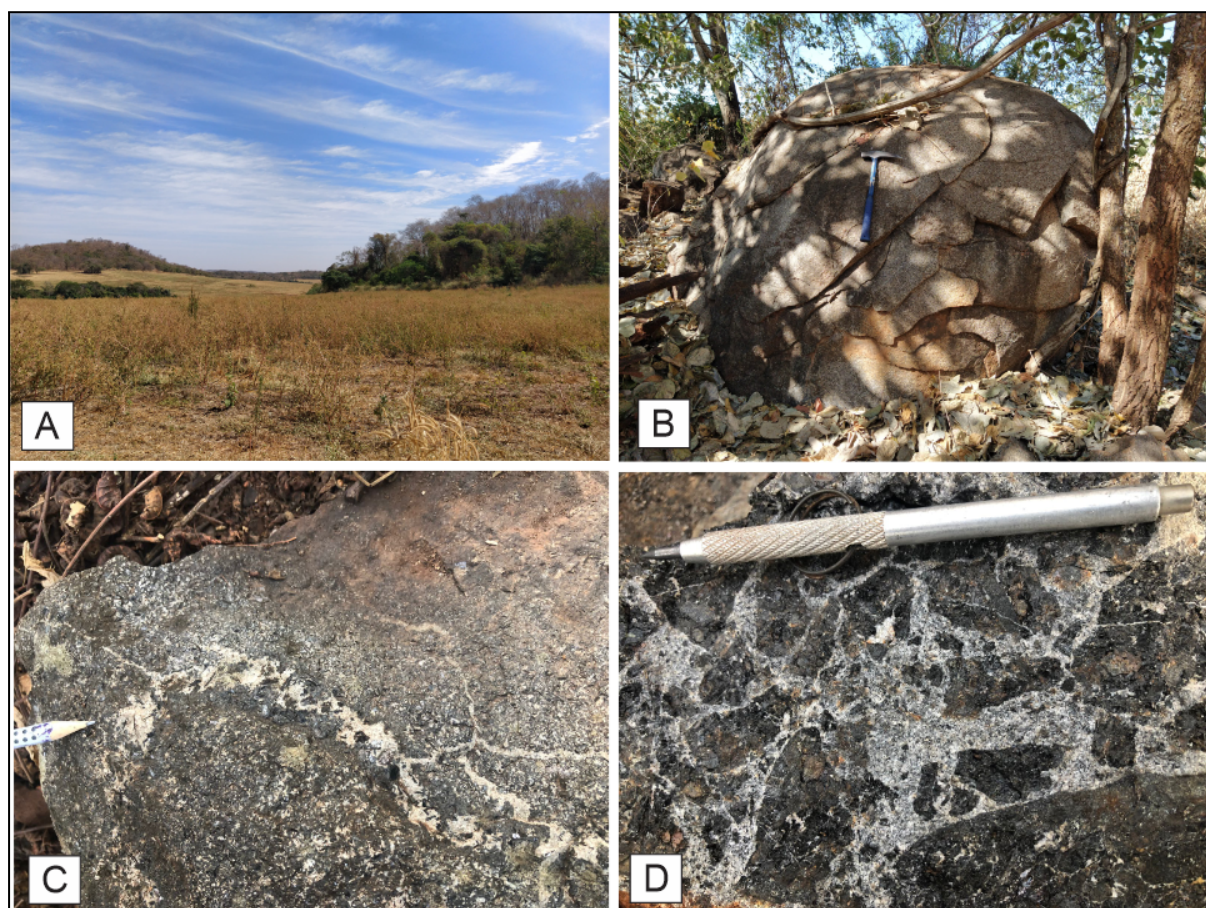


**Figura 4.14.** Em A, blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto, indicando a presença de dique alcalino na Área VII (Coordenadas X: 431410; Y:8177514). Em B, dique alcalino cortando anfibolitos da Unidade Córrego da Onça (Coordenadas: 22S 434922 E 8177863 N).

#### *Complexo Alcalino Plutônico de Arenópolis*

As rochas intrusivas do Complexo Arenópolis, ocorrem no extremo leste da Área III, onde encontram-se intrudidas no Granito Rio Caiapó e compreendem uma associação de rochas ultramáficas (clinopiroxenitos), gabros, e sienitos nefelínicos e nefelinitos (Figura 4.15B). A nefelina representa o feldspatóide comum em todas as rochas do complexo, juntamente com a flogopita, indicando tratar-se de associação com afinidade sódica, caracterizada pela série ijolítica. Além disso, foram encontrados veios carbonatíticos (Figura 4.15C) e brechas magmáticas (Figura 4.15D).





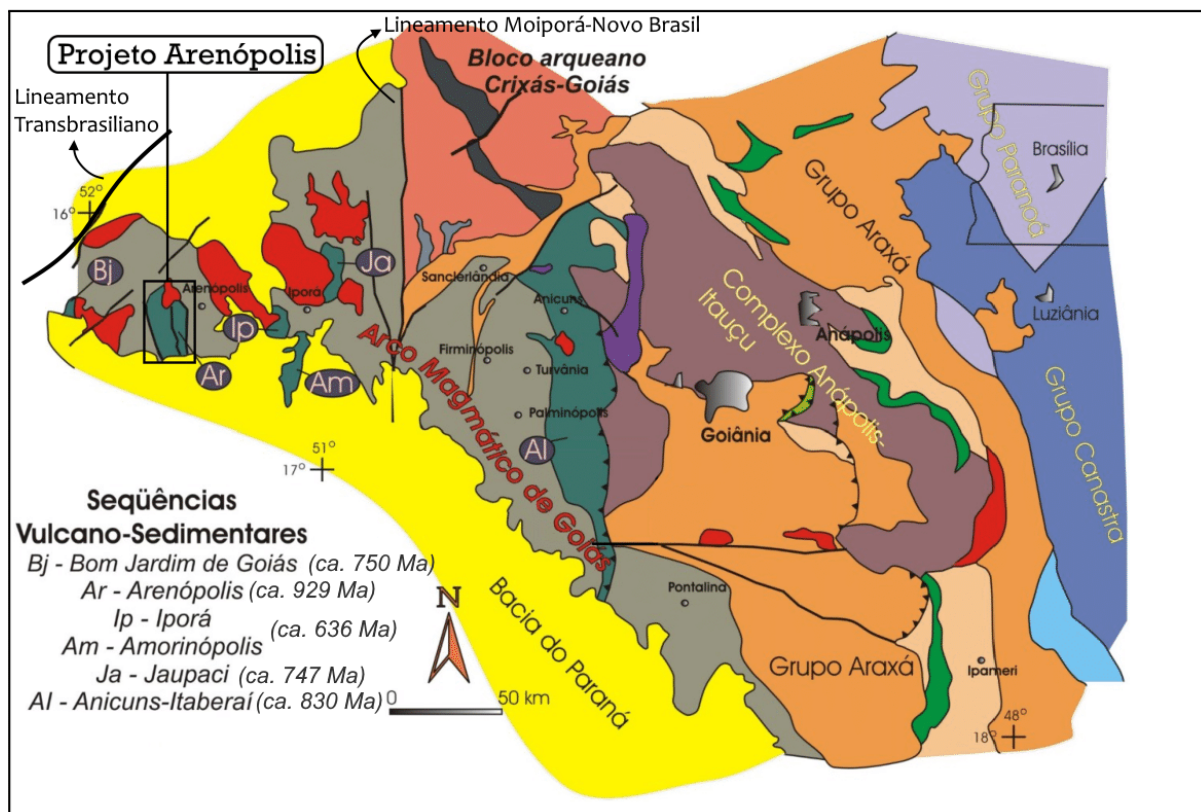
**Figura 4.15.** (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto que a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinito (TF23-AIII-P8 Coordenadas X: 440273,5; Y: 8194759,3). (C) Veio carbonatítico alojado em Melteijito. (D) Feições de brechas com clastos de clinopiroxenitos em meio a cimentação de matriz fina de composição félsica rica em feldspatóides.

## 5. Geologia Local e Petrografia da Área VII

O mapeamento geológico realizado no Projeto Arenópolis (Figura 5.2), em escala 1:25.000, permitiu identificar e discriminar diferentes unidades geológicas definidas com base em observações estruturais, deformacionais, de metamorfismo e petrográficas, e correlacionar com o contexto geológico regional e a influência das grandes estruturais regionais na área do projeto, como Lineamento Transbrasiliiano de tendência NE-SW e o Lineamento Moiporá-Novo Brasil de influência N-S (Figura 5.1). De modo geral, as unidades mapeadas no contexto da Área VII incluem, da mais antiga para a mais nova, a Sequência Metavulcanossedimentar

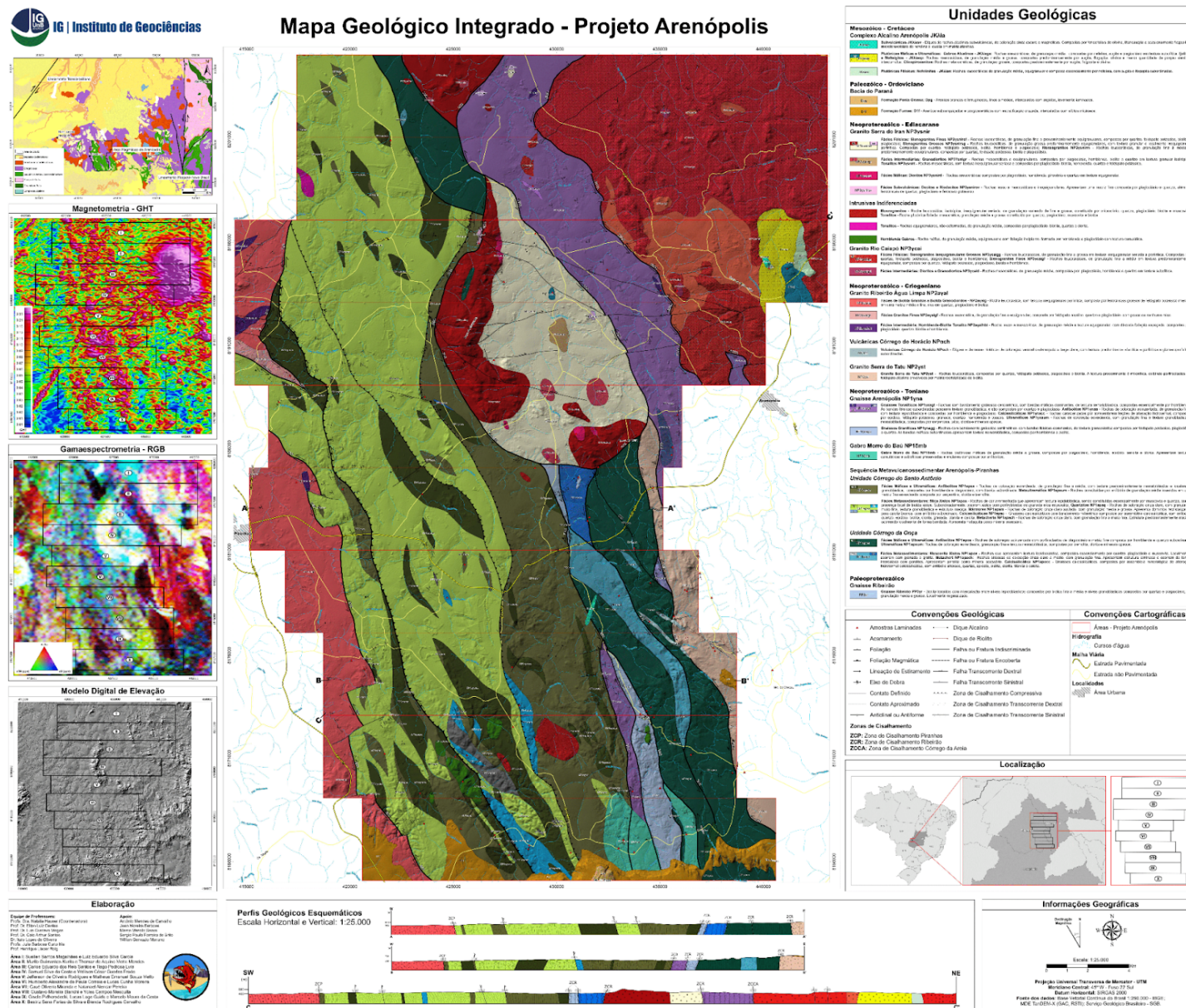
Arenópolis-Piranhas, o Gnaiss Arenópolis, os Granitos Criogenianos, a Unidade Vulcânicas Córrego do Horácio e diques da Suíte Alcalina Iporá. Serão apresentadas descrições em nível macroscópico e microscópico com o objetivo de elucidar a petrografia observada nas unidades cartografadas durante o trabalho de mapeamento geológico, além de abordar suas características estruturais e metamórficas.

As análises petrográficas incluíram a descrição em detalhe de 12 seções delgadas de amostras representativas do contexto geológico da área e do projeto. As descrições de cada lâmina podem ser encontradas no anexo. O mapa geológico da Área VII pode ser observado na Figura 5.3.



**Figura 5.1:** Mapa geológico simplificado do segmento Arenópolis (Modificado de Pimentel *et al.*, 2000).





**Figura 5.2:** Mapa Geológico do Projeto Arenópolis.

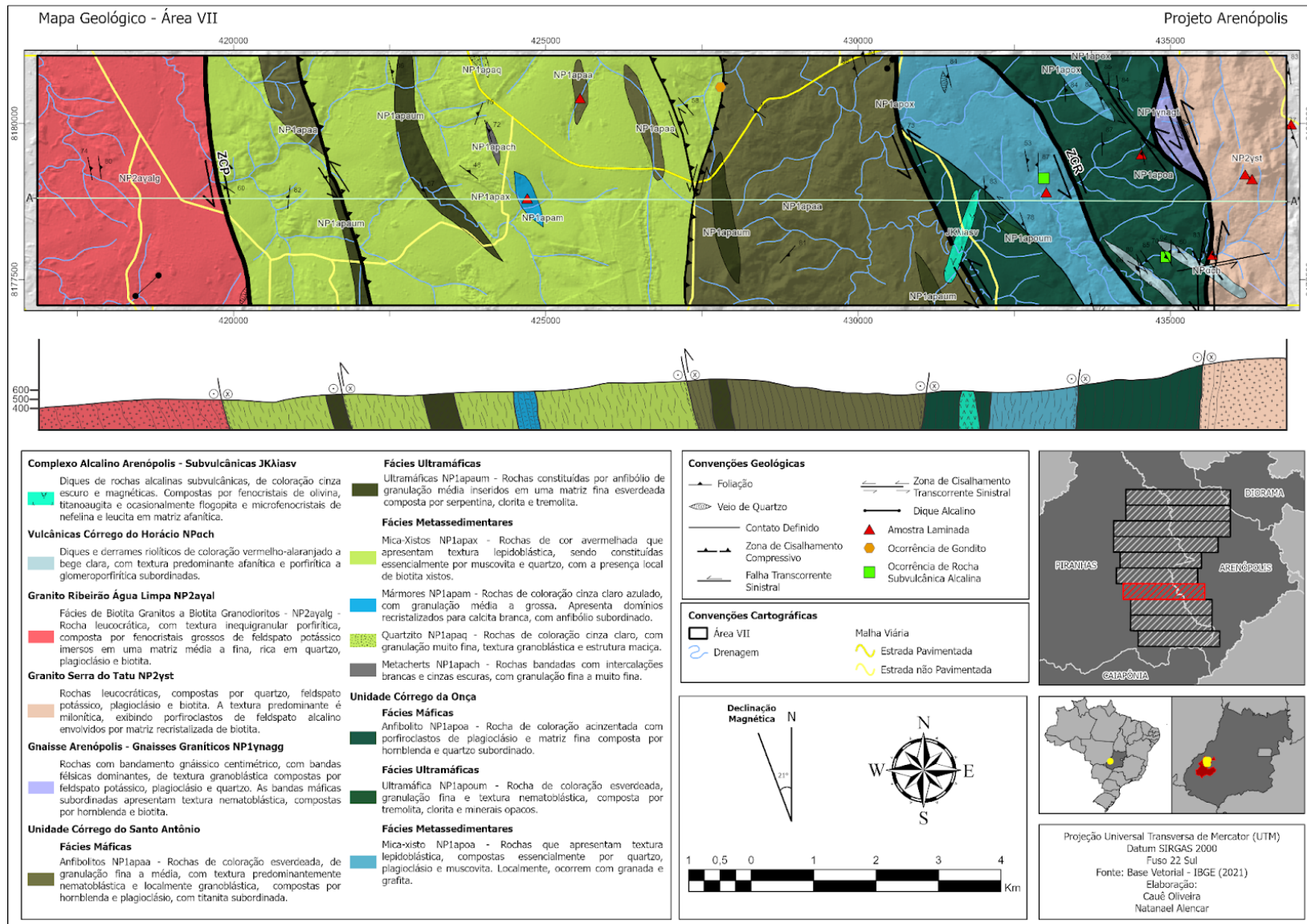


Figura 5.3: Mapa Geológico da Área VII.

## **5.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas**

A Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas é a principal unidade aflorante da área escolhida pelo Projeto Arenópolis, bem como na Área VII. A unidade ocupa 86% da área e é limitada por zonas de cisalhamento sinistrais, que a colocam em contato com Granito Ribeirão Água Limpa e o Granito Serra do Tatu, respectivamente, a oeste e a leste.

A unidade apresenta uma variedade de fácies que ocorrem como faixas sinuosas de orientação principal NW-SE. É constituída por duas unidades: Córrego da Onça e Córrego do Santo Antônio, que se distinguem por diferenças petrográficas e por sua disposição em relação ao Gnaiss Ribeirão, de idade provável paleoproterozóica (Pimentel, 1992), o primeiro estando a leste e o segundo a oeste dessa unidade. Ambas as unidades são descritas a seguir:

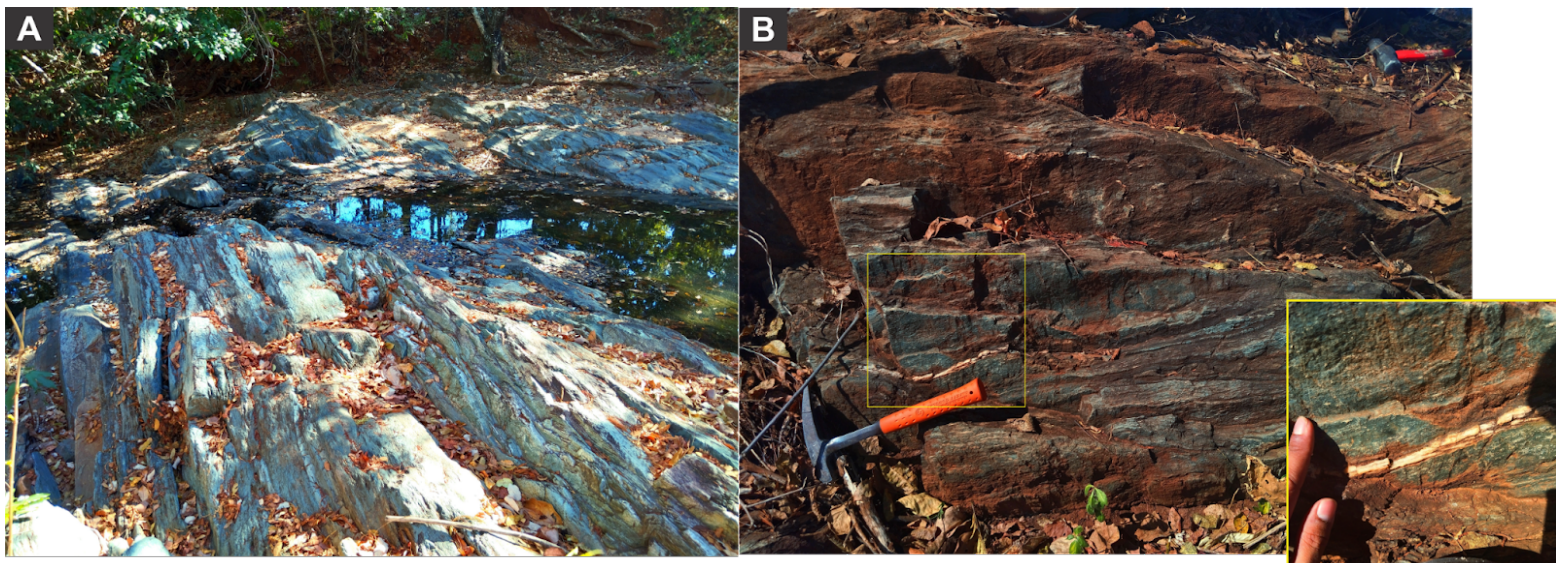
### **5.1.1. Unidade Córrego da Onça**

A Unidade Córrego da Onça corresponde a 20% da área. Ocorre em contexto geomorfológico caracterizado pela grande quantidade de morrotes e relevo predominantemente ondulado, no qual a declividade tende a aumentar nas proximidades do Granito Serra do Tatu, localizado a leste. Destacam-se três fácies na Área VII: metamáfica, metaultramáfica e metassedimentar.

#### **Fácies Metamáficas**

As rochas metamáficas são observadas em lajedos (Figura 5.4) e na forma de blocos *in situ* e rolados. São caracterizadas por anfíbolitos e xistos máficos. É comum a ocorrência de veios quartzo-feldspáticos, veios de calcita e bandas calcissilicáticas, principalmente próximo às zonas de cisalhamento. Apresentam foliação subvertical, com orientação para N-S.



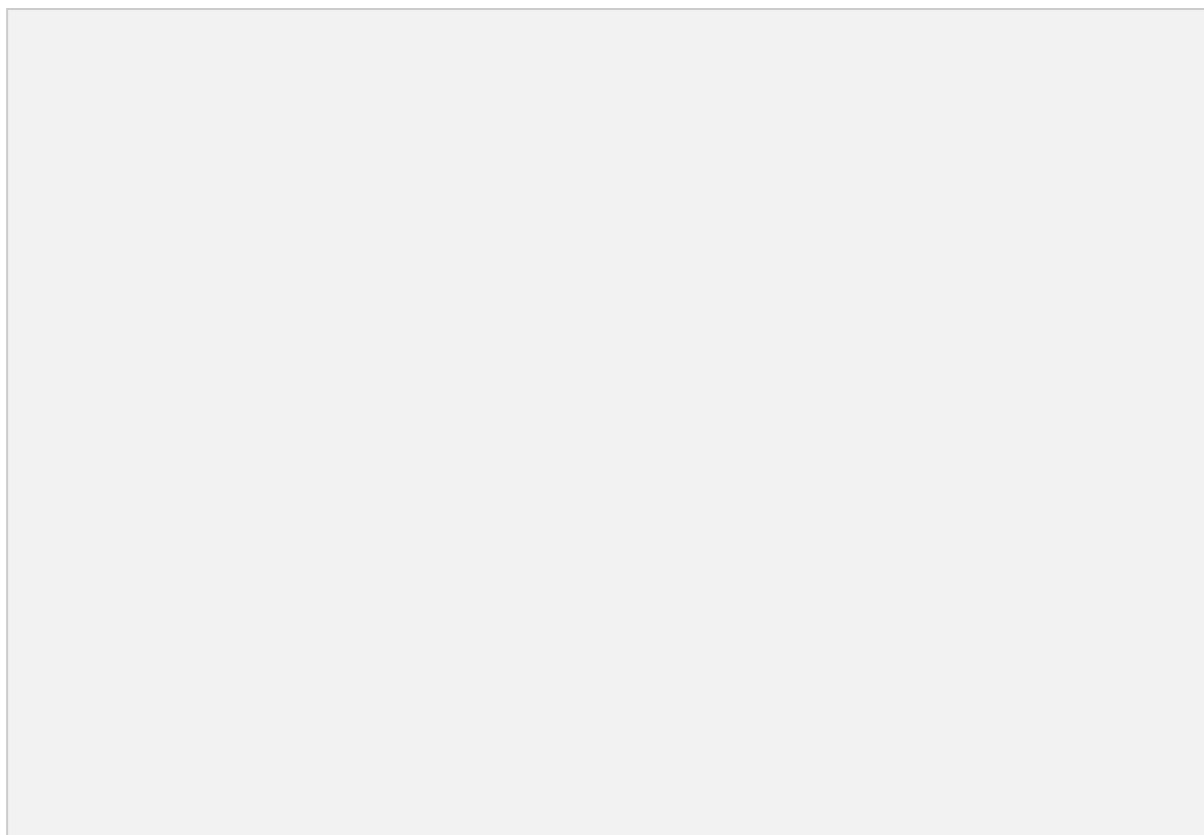


**Figura 5.4: Aspecto em campo da Unidade Córrego da Onça.** A) Afloramento em lajedo de anfibolito exibindo plano de foliação (032/85) (Coordenadas - X: 435133; Y: 8177948). B) Afloramento de xisto máfico exibindo a ocorrência comum de veios de quartzo de diferentes espessuras (Coordenadas - X: 434533; Y: 8179518).

Os **anfibolitos** possuem bandas finas, de coloração preto-esverdeadas a cinza claro-esverdeadas frequentemente intercaladas (Figura 5.4A). Em geral, exibem-se foliados (Figura 5.5), apresentam uma matriz fina, o que muitas vezes impede a distinção mineralógica precisa em análise macroscópica.

Microscopicamente, os anfibolitos apresentam textura granonematoblástica e granulação média a fina. São constituídos por hornblenda (40%), plagioclásio (30%) e actinolita (25%), na forma de cristais alongados na mesma direção da foliação. A presença de clorita e epidoto é muito variável entre as rochas. A fase acessória é marcada por apatita, titanita e minerais opacos, como pirita, magnetita e ilmenita. A fase secundária é representada por clorita que ocorre como produto de alteração do anfibólio.



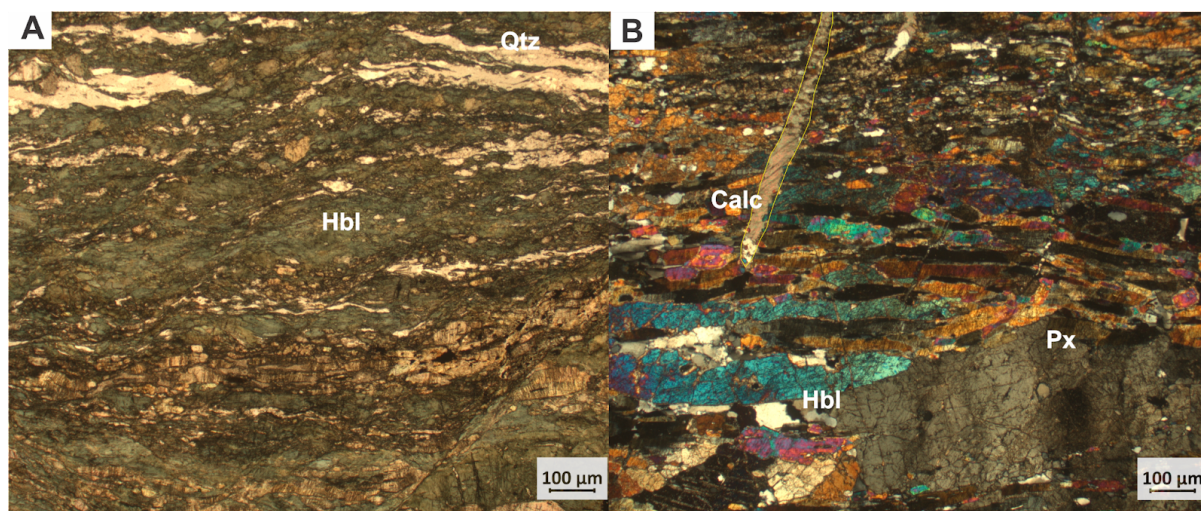


**Figura 5.5: Afloramento *in situ* de anfibolito da Unidade Córrego da Onça no córrego homônimo.** Observam-se níveis mais ricos em epidoto, caracterizados pela coloração esverdeada clara exibindo bandamento milimétrico a centimétrico. (Coordenadas - X: 434987; Y:8177956).

Os **xistos máficos**, de menor representatividade na área, apresentam coloração verde escuro a verde claro e, eventualmente, exibem estruturas do tipo bandamento composicional, com variações percentuais da assembleia mineralógica. A foliação é penetrativa, sendo observados crenulação, bandas de cisalhamento tipo S-C', bandas fragmentadas tipo dominó com rotação antitética e estiramentos minerais, causando a ruptura de alguns cristais. Apresentam atitude subvertical com orientação N-S. Dos xistos máficos, foi confeccionada a lâmina TF23-VII-104.

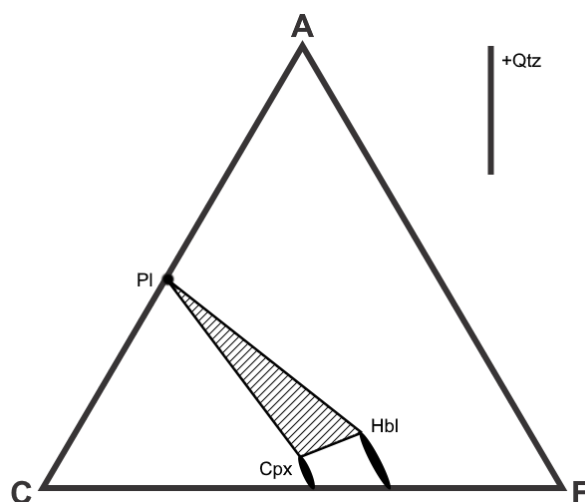
Estas rochas apresentam textura nematoblástica (Figura 5.6A) com domínios granoblásticos e lepidoblásticos. São constituídas por clinopiroxênio, caracterizado possivelmente como diopsídio (32%), quartzo (21%), hornblenda (19%), epidoto (14%), plagioclásio (8%), muscovita (3%) e magnetita (3%). Não foi possível obter o teor de anortita devido a ausência de geminações nos cristais de plagioclásio. Observa-se variação percentual da composição, destacando-se domínios principalmente ricos em diopsídio, epidoto ou hornblenda. Como acessórios ocorrem apatita e rutilo. Secundariamente, ocorrem veios e fraturas preenchidas por quartzo

e calcita (Figura 5.6B), e clorita como produto de alteração. Desta forma, estas rochas foram classificadas como plagioclásio-epidoto-hornblenda-diopsídio xistos.



**Figura 5.6: Características dos xistos máficos da Unidade Córrego da Onça em lâmina.** Essas rochas são caracterizadas por textura nematoblástica compostas majoritariamente por hornblenda (A), com domínios ricos em cristais de diopsídio e microfraturas com preenchimento por calcita (B) (TF23-VII-104, Coordenadas - X: 434533; Y: 8179518). Abreviações: Hbl: Hornblenda, Plg: Plagioclásio, Qtz: Quartzo, Calc: Calcita, Px: Piroxênio.

A volumosa presença dessas microestruturas indica proximidade com uma zona de cisalhamento, mais detalhes serão abordados no capítulo de Geologia Estrutural. A assembleia mineralógica presente nas rochas metamáficas permite reconhecer um pico de metamorfismo na fácies anfibolito superior (Figura 5.7), em que o metamorfismo atinge temperaturas entre 450 °C e 650 °C, com retrometamorfismo na fácies xisto verde, marcado por clorita e epidoto. De acordo com as características apresentadas, infere-se que o protólito dessas rochas é uma rocha ígnea básica.



**Figura 5.7:** Diagrama composicional dos xistos máficos da Unidade Córrego da Onça.

### Fácies Metaultramáfica

As rochas metaultramáficas ocorrem em corpos esparsos distribuídos na Unidade Córrego da Onça e subordinadas às outras subunidades. Afloram principalmente como blocos *in situ* e rolados. Foram identificadas clorititos e tremolititos, com textura lepidoblástica e/ou nematoblástica fina e estrutura foliada do tipo xistosidade.

Os **clorititos** são rochas de coloração esverdeada, textura lepidoblástica e foliação marcada por xistosidade. São compostas por clorita (80%), talco (3%) e opacos (6%). Exibem textura lepidoblástica com granulação fina a média. No geral, apresentam-se alterados, devido à ação intempérica.

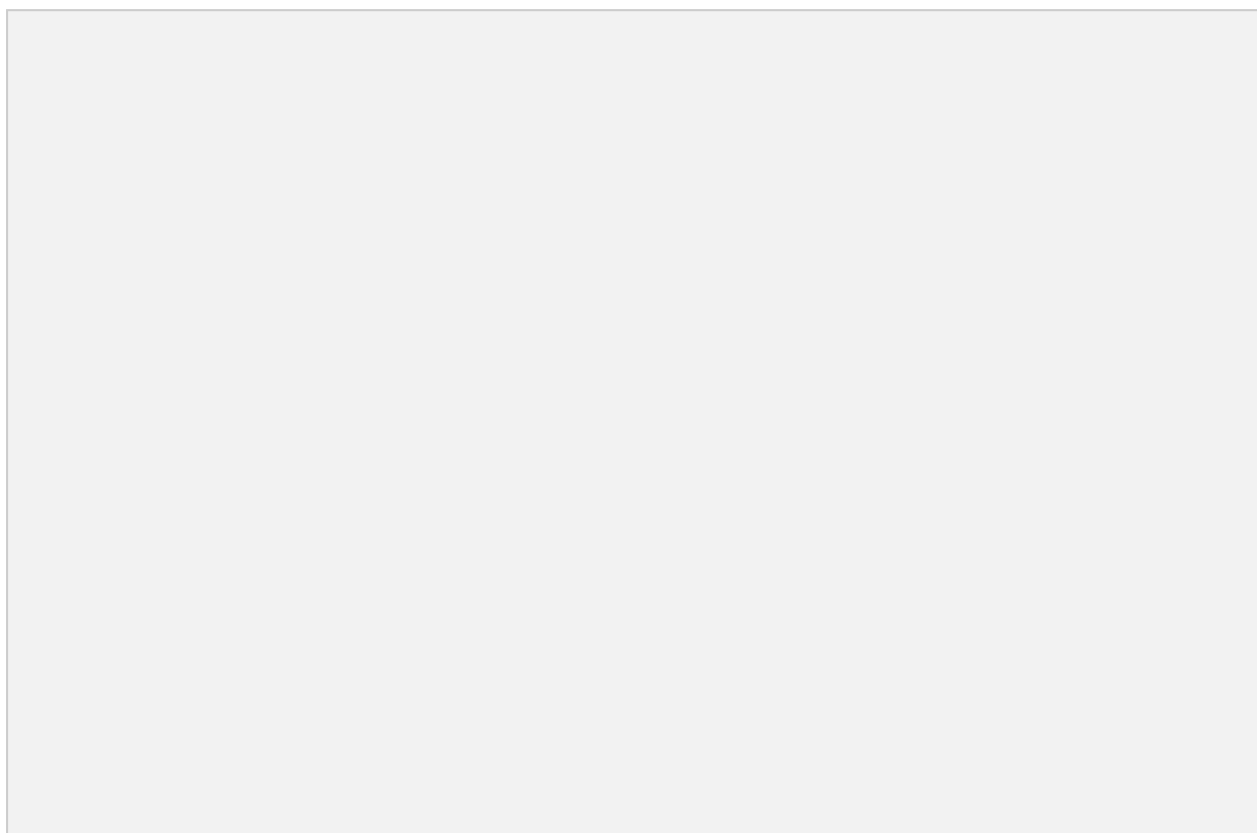
Os **tremolititos** são rochas de coloração cinza-escuro e textura granonematoblástica, em geral, com foliação. Essas rochas são compostas por tremolita-actinolita (~70%), clinopiroxênio (~20%), plagioclásio (~5%), com teor  $An_{42}$ , talco (~5%) e minerais opacos, majoritariamente magnetita, devido ao magnetismo presente nessas rochas.

### Fácies Metassedimentar

As rochas metassedimentares da Unidade Córrego da Onça estão concentradas principalmente na Área VII do Projeto Arenópolis. Ocorrem em larga faixa de direção NE-SW e em pequenas lentes em meio aos anfibolitos da unidade. São rochas variadas que incluem muscovita xisto, clorita-muscovita quartzito,

granada-muscovita xisto (Figura 5.8D) e muscovita xisto grafitoso. Apresentam atitude com orientação N-S e mergulho variado, de 30° a subvertical.

São rochas esbranquiçadas, avermelhadas e acinzentadas, caracterizadas por foliação penetrativa do tipo xistosidade e forte crenulação (Figura 5.8A; 5.8B). Dessa fácies, foi feita uma lâmina de muscovita xisto grafitoso (TF23-VII-202).



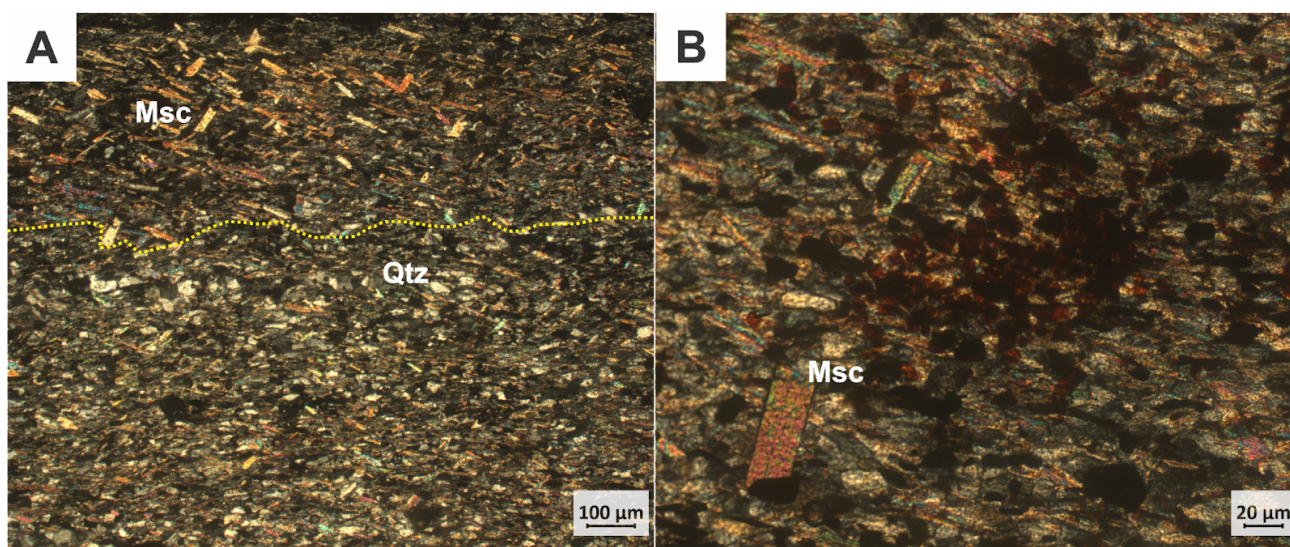
**Figura 5.8: Características em amostras de mão dos diferentes tipos de rochas metassedimentares que ocorrem associadas à Unidade Córrego da Onça.** A) Clorita-muscovita quartzito com ênfase nas crenulações presentes (TF23-VII-198 Coordenadas - X: 433118; Y: 8178708). B) Muscovita xisto grafitoso de coloração vermelho-esverdeada (TF23-VII-204 Coordenadas - X: 432770; Y: 8179462). C) Muscovita xisto grafitoso de coloração acinzentada (TF23-VII-202 Coordenadas - X: 433012; Y: 8178907). D) Granada-muscovita xisto (TF23-VII-67 Coordenadas - X: 423033; Y: 8178943).

#### *Muscovita Xisto Grafitoso*

Os muscovita xistos grafitosos (Figura 5.8C) apresentam coloração cinza-avermelhada, brilho micáceo e porções pretas marcadas pela presença de grafita. Essas rochas apresentam foliação do tipo xistosidade. A mineralogia principal é constituída por quartzo (~38%), muscovita (~38%), magnetita e grafita

(~20%), além de um mineral opaco avermelhado (4%), que possivelmente é de alteração química.

Na análise microscópica foram identificados dois domínios distintos, o primeiro domínio é composto essencialmente por muscovita e o segundo é predominantemente composto por quartzo (Figura 5.9A). Observa-se granulação fina, com textura granolepidoblástica, caracterizada pela orientação dos minerais que define a foliação penetrativa. Observam-se cristais lamelares de muscovita com direção divergente à foliação, próximo a 45° (Figura 5.9B). Essa disposição sugere a presença de duas distintas gerações de muscovita: a primeira geração, que define a xistosidade, e a segunda geração, formada após a deformação. Os minerais opacos foram classificados por meio da identificação de grafita em amostra de mão e associação com o hábito observado em lâmina.



**Figura 5.9: Aspecto em lâmina do muscovita xisto grafitoso da Fácies Metassedimentar da Unidade Córrego da Onça.** A) Textura granolepidoblástica e orientação dos minerais, destaca-se muscovita com direção diferente da foliação, caracterizando cristais de textura decussada. B) Detalhe dos agregados de minerais opacos e cristais de muscovita de diferentes orientações. Abreviações: Msc:Muscovita, Qtz:Quartzo.

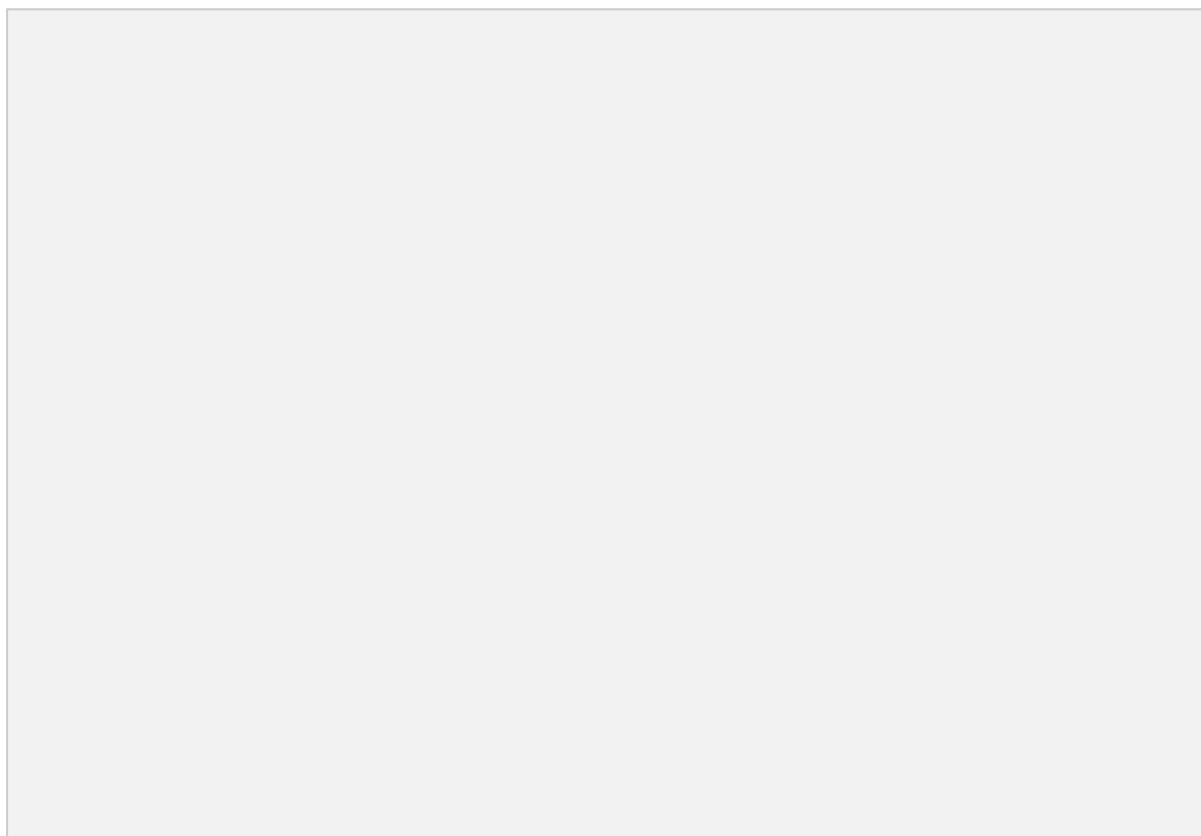
### 5.1.2. Unidade Córrego do Santo Antônio (CSA)

A Unidade Córrego do Santo Antônio corresponde a 56% da Área VII. O relevo varia consideravelmente, indo de plano a fortemente ondulado, dependendo das rochas predominantes. As rochas desta unidade podem ser agrupadas em três fácies: metassedimentares, metaultramáficas e metamáficas. A fácies metassedimentares inclui a maior variedade de rochas da unidade, e predomina em

terrenos aplainados, podendo também ser encontrada em terrenos suavemente ondulados, principalmente quando acompanhadas por anfibolitos subordinados. As rochas metaultramáficas são encontradas em pequenos morrotes e são caracterizadas pela densa vegetação que as cobre. A fácies metamáficas está associada a relevos ondulados e, geralmente, forma morrotes. A foliação dessas rochas é predominantemente NNW-SSE e o mergulho, em geral, é subvertical, entre 60° e 90°, embora sejam observadas variações em algumas rochas, o que pode ser explicado pela ocorrência de dobras na unidade.

### ***Fácies Metassedimentar***

As rochas metassedimentares representam a maior porcentagem e a maior diversidade da Unidade Córrego do Santo Antônio. Na Área VII afloram mármore, rochas calcissilicáticas e xistos metapelíticos (Figura 5.10A e C). Localmente, observam-se afloramentos de metacherts (Figura 5.10B), quartzitos (Figura 5.10D) e gnditos. Ocorrem ao longo de lajedos, canais de drenagem, estradas de terra, cortes de estrada, blocos rolados e blocos *in situ*. É comum a ocorrência de foliação e bandamentos composicionais nestas rochas com atitude variável.

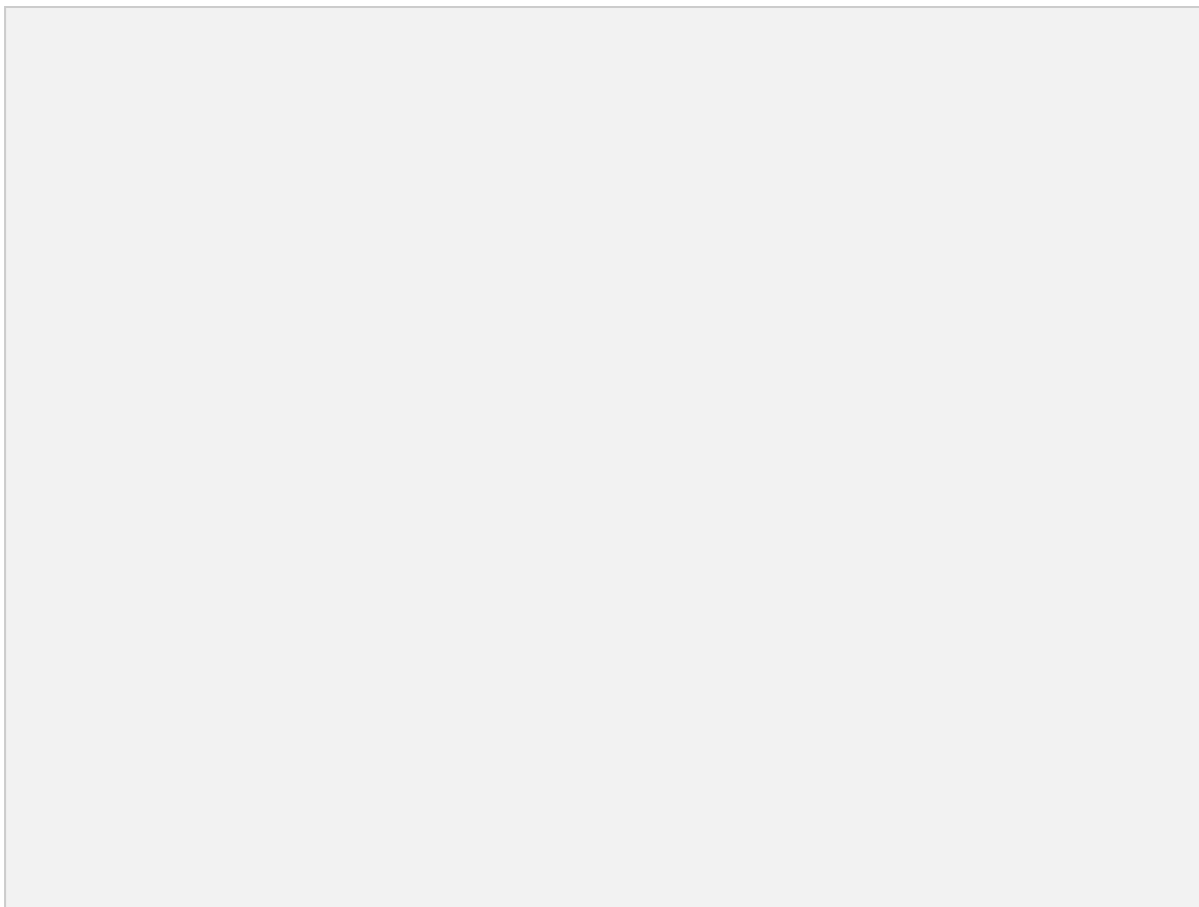




**Figura 5.10: Diferentes rochas observadas na Fácies Metassedimentar da Unidade Córrego do Santo Antônio em amostras de mãos.** Observa-se uma variedade de rochas, desde muscovita xistos, comumente intemperizados e de coloração avermelhada (A - Coordenadas - X: 420130; Y: 8180308), metacherts exibindo intercalação de bandas cinza escuro e cinza claro (B - Coordenadas - X: 424089; Y: 8179876), muscovita xistos, com grãos quartzosos e coloração avermelhada devido ao intemperismo (C - Coordenadas - X: 431055; Y: 8179100), e muscovita xistos com níveis ricos em quartzo e opacos preservando essas rochas (D - Coordenadas - X: 423906; Y: 8180165).

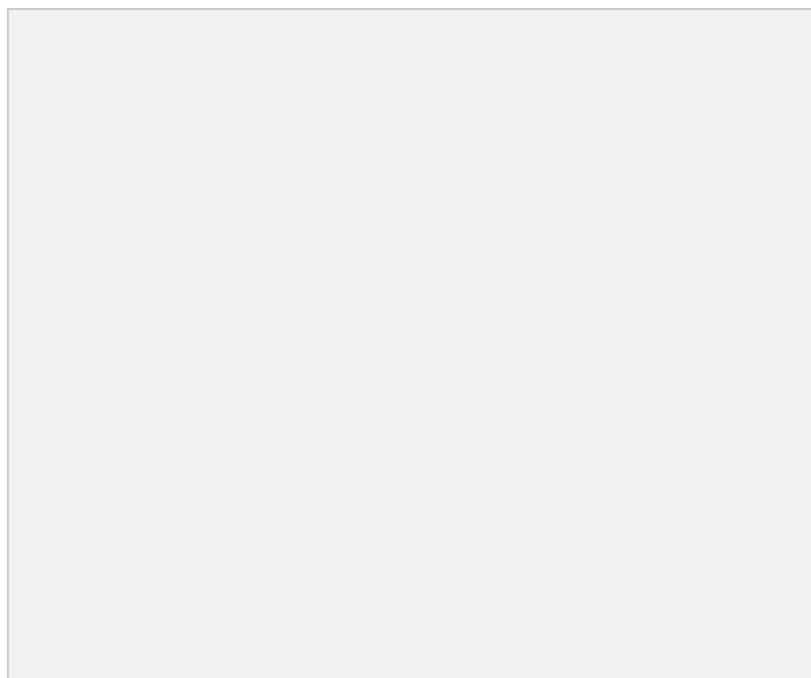
### *Mármore*s

A presença de mármore associados com a Unidade Córrego do Santo é restrita a apenas uma lente no centro da Área VII e é representada pela lâmina TF23-VII-162. Apresentam foliação subvertical, entre 60° e 90°, e direção NNW-SSE. São representados por muscovita-epidoto-biotita mármore, caracterizando um mármore impuro (Figura 6.11). Essa rocha se destaca pela estrutura bandada heterogênea, foliação bem marcada e textura granolepidoblástica. Observa-se bandamento composicional, onde bandas carbonáticas róseo-esbranquiçadas a acinzentadas, intercalam-se com níveis máficos de coloração preta com presença de epidoto e biotita. A mineralogia essencial é formada por calcita (~33%), quartzo (~23%), biotita (~17%), epidoto (~14%) e muscovita (~5%). Localmente, observam-se concentrações de pirita e magnetita e a ocorrência de feldspato alcalino. Por vezes, os cristais lamelares de muscovita ocorrem em direções distintas à foliação, caracterizando textura localmente decussada.



**Figura 5.11: Aspecto em campo dos mármore associados à Unidade Córrego do Santo Antônio.** A) Aspecto de blocos rolados de mármore impuro mostrando dobramento isoclinal B) Amostra de mármore exibindo bandamento composicional, os níveis esbranquiçados, correspondem a veios de quartzo formados durante a deformação. C) Amostra de mármore com nível centimétrico de calcita de coloração rosa. (TF23-VII-162, Coordenadas - X: 424697; Y: 8178812).

Microscopicamente, a rocha apresenta granulação fina a grossa e bandamento composicional expresso em ao menos dois domínios distintos (Figura 5.12). O primeiro é composto por calcita e quartzo como mineralogia principal e subordinadamente por cristais finos de epidoto. O segundo domínio, definido como domínio máfico, conta com a predominância de biotita e epidoto. Observam-se ainda quartzo, calcita e feldspato alcalino em menores proporções. Existem veios de quartzo paralelos à foliação, formados durante o metamorfismo e eventos deformacionais.



**Figura 5.12: Fotomicrografia de mármore impuro da fácies Metassedimentar Unidade Córrego do Santo Antônio (TF23-VII-162).** O bandamento composicional observado macroscopicamente nos mármore impuros da Unidade Córrego do Santo Antônio pode ser observado em lâmina, formando domínios máficos e calcíticos (Coordenadas X: 424697; Y: 8178812). Abreviações: Msc: Muscovita, Ep: Epidoto, Calc: Calcita, Qtz:Quartzo.

### *Calcissilicáticas*

As rochas calcissilicáticas ocorrem de forma subordinada em relação às outras rochas da Unidade Córrego do Santo Antônio, como pequenos blocos *in situ* e rolados. Elas se destacam devido à presença de minerais hidrotermais, como epidoto, titanita, calcita, muscovita e quartzo, bem como à sua coloração esverdeada com fundo esbranquiçado. Essas rochas exibem textura granoblástica e frequentemente apresentam bandamento que varia de milimétrico a centimétrico, com intercalação de cores verde-acinzentadas e beges. A mineralogia é marcada por quantidades variadas de plagioclásio, epidoto, quartzo, muscovita, hornblenda, calcita, titanita, biotita, clorita e minerais opacos.

### *Xistos metapelíticos*

Os xistos metapelíticos são os principais representantes da Unidade Córrego do Santo Antônio na Área VII. Afloramentos bem preservados destas rochas não são frequentes, devido ao alto grau de intemperismo de suas exposições. Apesar disso, são visualizados em estradas de terra, cortes de estrada, blocos rolados e

blocos *in situ*. Quando intemperizados, caracterizam-se pela xistosidade e pela coloração avermelhada. Em campo, essas rochas apresentaram a maior variação de atitude, tanto de direção da foliação, quanto de mergulho. Também, foram as rochas que apresentaram maior deformação, principalmente dúctil, expresso na presença de dobras em diversos afloramentos. Trata-se de muscovita xistos, granada-muscovita xistos e estaurolita-granada-muscovita xistos, de textura lepidoblástica e porfiroblástica. Biotita e magnetita marcam a fase acessória. Secundariamente, ocorre clorita como produto de alteração de muscovita e biotita.

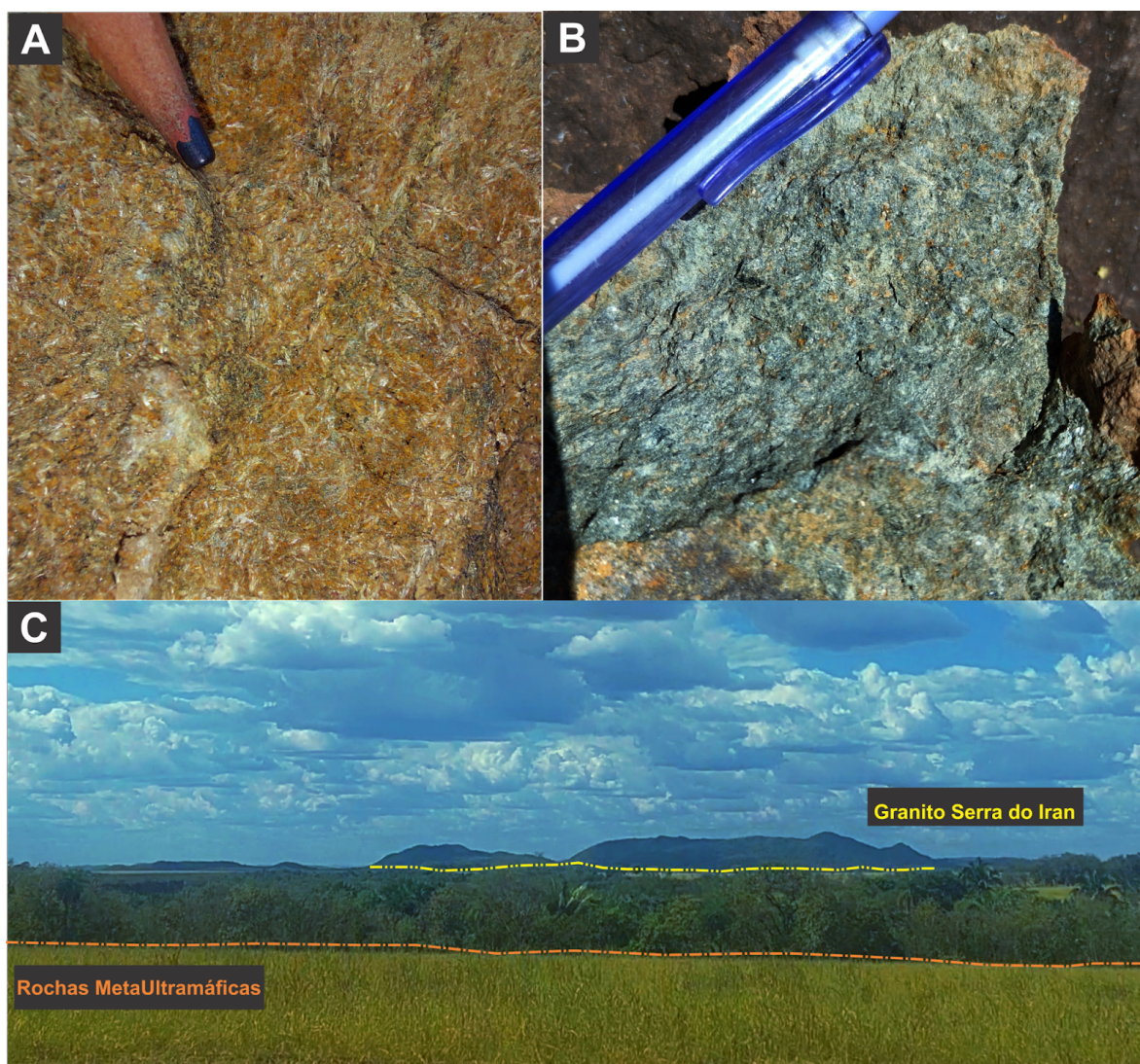
Intercalados nos xistos, observam-se ocorrências locais de muscovita quartzitos, gonditos, anfibolitos e metacherts.

### **Fácies Metaultramáfica**

As rochas metaultramáficas ocorrem na Área VII, em faixas restritas de espessuras limitadas ou como afloramentos restritos em meio aos xistos metapelíticos. Trata-se de tremolititos constituídos por anfibólio (tremolita-actinolita e hornblenda), piroxênio, clorita, serpentina e talco.

#### ***Tremolititos***

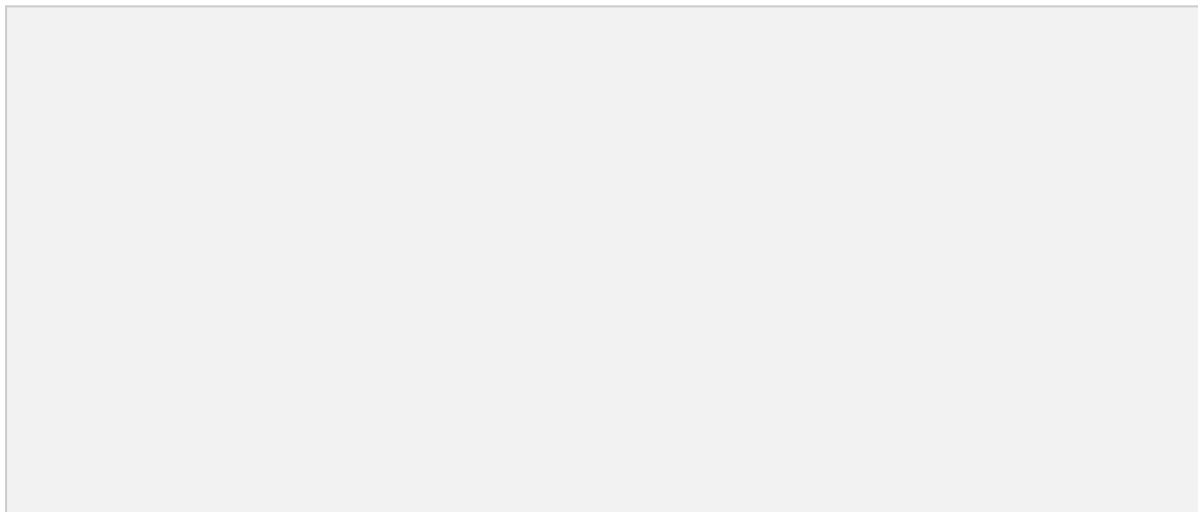
Os tremolititos ocorrem bastante intemperizados na Área VII. Apresentam uma cor bege clara (Figura 5.13A) quando intemperizados e cinza-esverdeados quando não alterados (Figura 5.13B). Como características marcantes, apresentam granulação média e orientação aleatória dos minerais, o que configura textura diablástica. São constituídos por tremolita (>80%) e matriz esverdeada de difícil distinção. Também, foram observadas pequenas quantidades de talco em algumas amostras de mão.



**Figura 5.13: Características dos tremolitos da Fácies Ultramáfica da Unidade Córrego do Santo Antônio.** Os tremolitos ocorrem comumente intemperizados, destacando-se por coloração amarronzada e textura diablástica formada por cristais aciculares de tremolita sem orientação definida (A - TF23-VII-68, Coordenadas - X: 423227; Y: 8178852), quando não alterados apresentam coloração cinza-esverdeado (B - TF23-VII-179, Coordenadas - X: 422880; Y: 8181040). Tipicamente, ocorrem em paisagens de vegetação densa, que é característico das rochas metaultramáficas da Unidade Córrego do Santo Antônio (C).

Microscopicamente, observa-se textura granoblástica e granulação fina a média. A mineralogia é caracterizada por tremolita (~70%), ortopiroxênio (~15%), clorita (~10%) e magnetita (~5%), sendo classificada como um tremolito. A clorita é formada a partir da alteração da tremolita, com granulação variável. A tremolita aparenta ter origem a partir da alteração de mineral reliquiar de granulação grossa e hábito prismático, possivelmente ortopiroxênio. O ortopiroxênio constitui a composição ígnea residual destas rochas. Possivelmente, o protólito destas rochas

é um ortopiroxenito quase completamente alterado ou, no qual a olivina e o piroxênio foram totalmente transformados.



**Figura 5.14:** Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados exibindo mineralogia essencial dos tremolititos em que se observa hábito radicular e por vezes aciculares dos cristais de tremolita.

Abreviações: Tre: Tremolita, Opx: Ortopiroxênio.

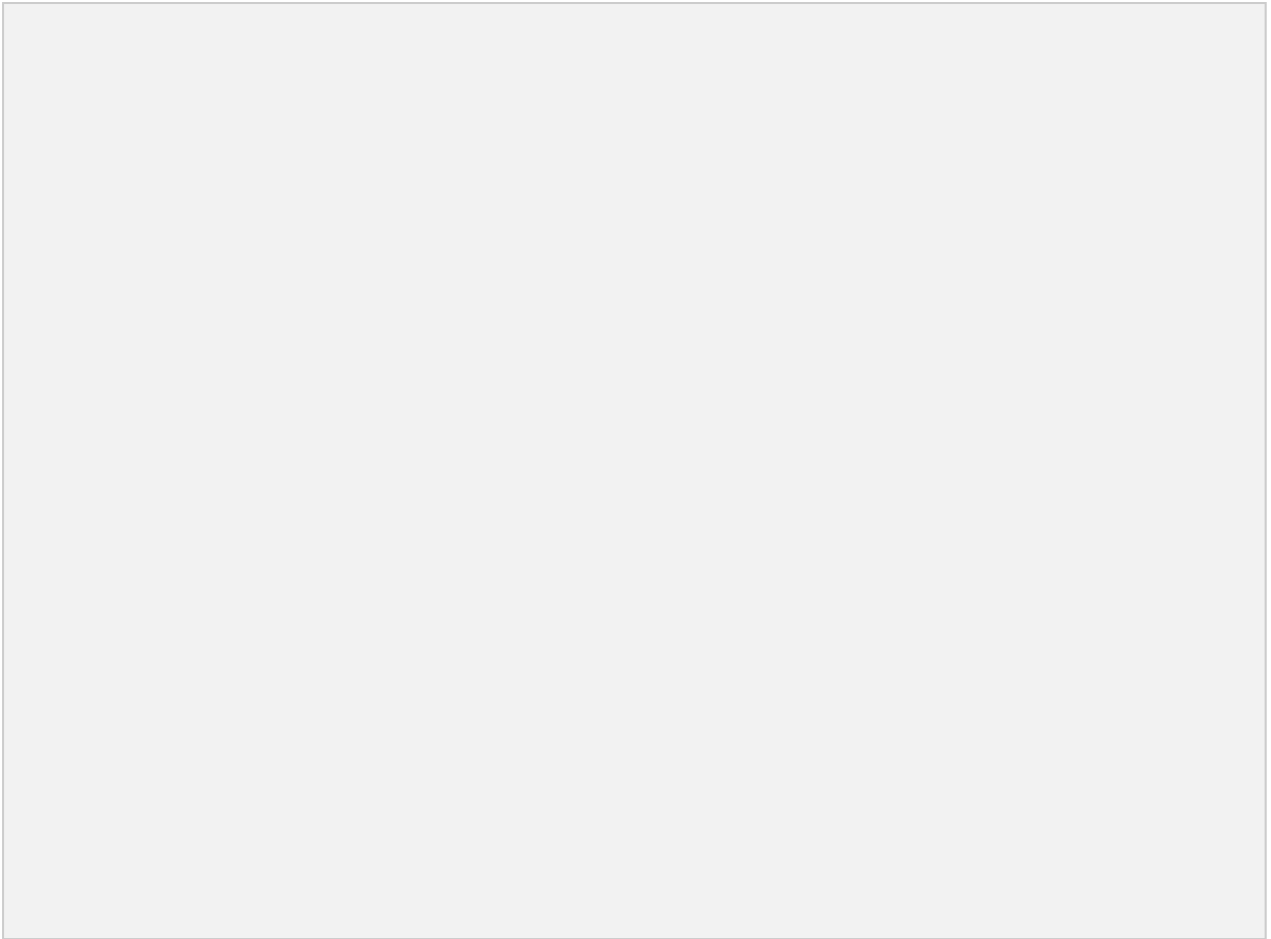
### **Fácies Metamáfica**

A fácies Metamáfica é representada por anfibolitos, os quais predominam na porção leste da Unidade Córrego do Santo Antônio e ocasionalmente ocorrem intercaladas entre as rochas metassedimentares da unidade.

Os anfibolitos são rochas de coloração acinzentadas e preto-esverdeadas, podendo apresentar orientação mineralógica ou não. São rochas muito variadas em termos de granulação, de espécimes grossas (Figura 5.15A), médias (Figura 5.15B) e finas (Figura 5.15C). Apresentam caráter granular, inequigranular, textura granoblástica caracterizada em domínios distintos, e cristais hipidiomórficos. Foi realizada uma lâmina desta fácies da amostra TF23-VII-04.

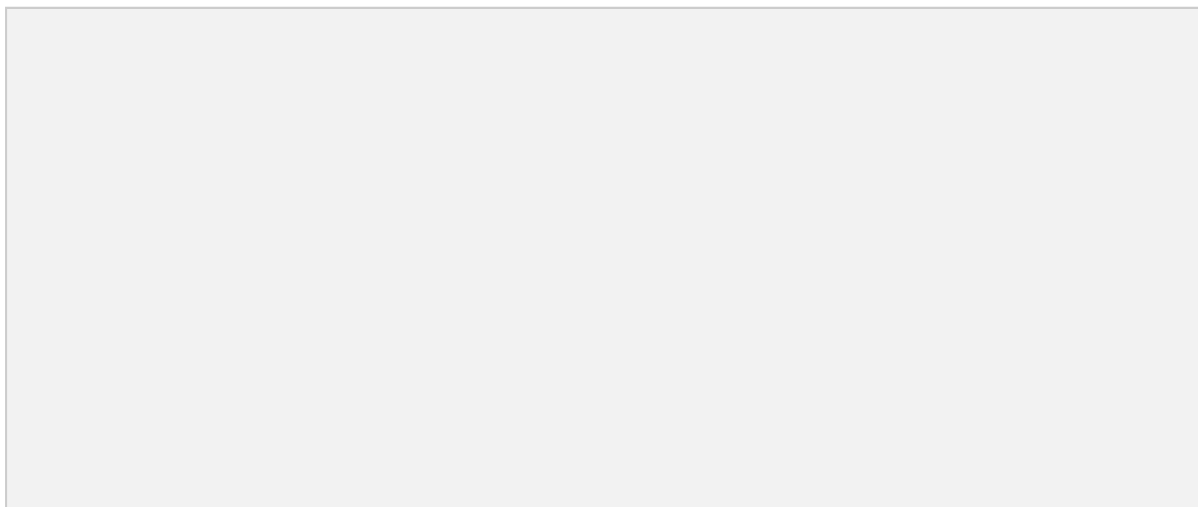
Microscópicamente, apresentam granulação fina a média, textura granoblástica (Figura 5.16B), com porções nematoblásticas. Observam-se tanto rochas isotrópicas quanto rochas com foliação milimétrica. São constituídas por hornblenda (~48%), plagioclásio (~34%) com teor de anortita condizente a andesina, quartzo (~8%), epidoto (~10%). A fase acessória é marcada por magnetita, biotita, e titanita. A fase secundária é representada por calcita e muscovita. A análise petrográfica permitiu caracterizá-los como epidoto anfibolitos.





**Figura 5.15: Amostras de mão de anfibolitos de diferente granulação, da Fácies metamáfica da Unidade Córrego do Santo Antônio.** A) Anfibolito de granulação grossa sem orientação preferencial mineral (Coordenadas - X: 431332; Y: 8179304). B) Anfibolito de granulação média a grossa com minerais máficos de caráter globular (Coordenadas - X: 425601; Y: 8180135). C) Anfibolito de granulação fina (Coordenadas - X: 427936; Y: 8180205). D) Anfibolito de granulação fina e foliação proeminente (Coordenadas - X: 421519; Y: 8180575).

O primeiro domínio é caracterizado por grandes aglomerados de hornblenda verde e menores quantidades de plagioclásio e epidoto, exibindo textura nematoblástica. O segundo domínio é caracterizado por textura granoblástica, em arranjo com cristais de quartzo, epidoto, plagioclásio e hornblenda (em menores proporções). Observa-se ainda, junções tríplices entre minerais, que pode caracterizar deformação em baixo grau metamórfico.



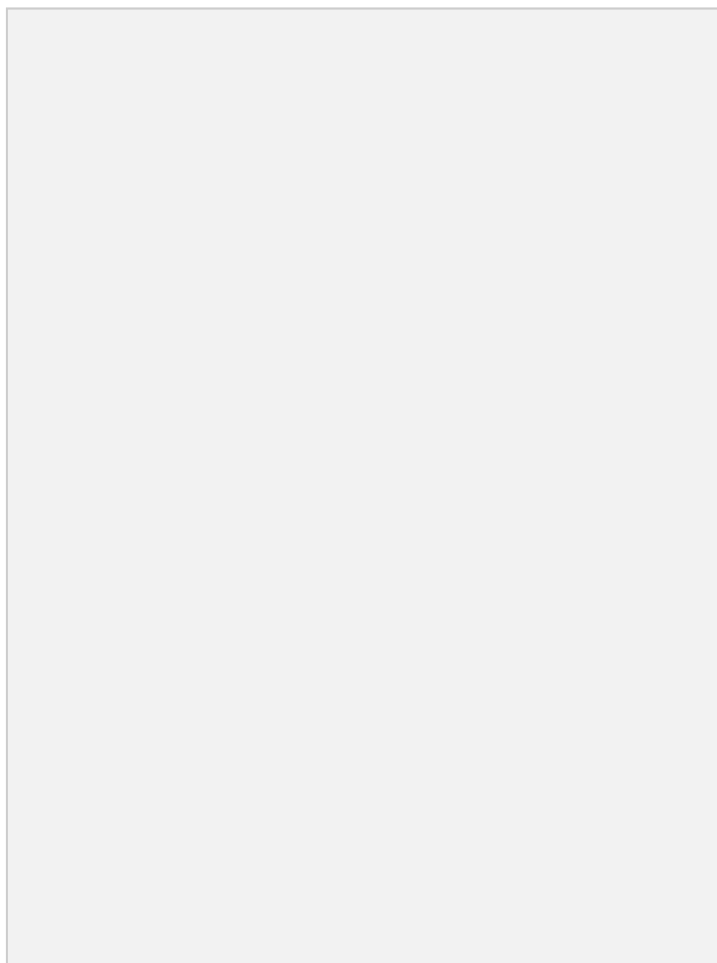
**Figura 5.16:** Fotomicrografia do anfibolito fino a nicóis paralelos (A) e cruzados (B), no qual é possível observar agregados de hornblenda envolto por matriz formada por plagioclásio, epidoto e hornblenda (TF23-VII-04, Coordenadas - X: 425601; Y: 8180135). Abreviações:Hbl: Hornblenda, Plg: Plagioclásio,Qtz:Quartzo, Ep:Epidoto.

## 5.2. Gnaiss Arenópolis

O Gnaiss Arenópolis ocorre em faixa restrita entre a Unidade Córrego da Onça e o Granito Serra do Tatu, a oeste e a leste respectivamente. O Granito Serra do Tatu apresenta um contato interdigitado com esta unidade. Ocorrem como blocos *in situ* e rolados em relevo forte ondulado, caracterizado como porção desconexa da formação geomorfológica Serra do Tatu. Esta unidade representa 1% da Área VII.

Caracteriza-se por ortognaisses rosados classificados como hornblenda-biotita gnaisses e biotita gnaisses de composição monzogranítica, textura granoblástica e granulação média. São fortemente foliados e milonitizados (Figura 5.17), apresentando bandamento composicional milimétrico de bandas máficas e félsicas. A mineralogia essencial é marcada por quartzo (~30%), plagioclásio (~20%) com teor de anortita de oligoclásio, microclínio (~15%), biotita (~15%) e hornblenda (~15%) . Observa-se ainda minerais de alteração, que chegam a representar até 15% da assembleia mineralógica, variando os percentuais de epidoto, muscovita e titanita. Subordinadamente, ocorrem clorita, magnetita, apatita e zircão. A assembleia mineralógica configura metamorfismo em fácies anfibolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde. Pimentel (1985) interpreta os gnaisses rosados do Gnaiss Arenópolis como produtos de migmatização, na qual

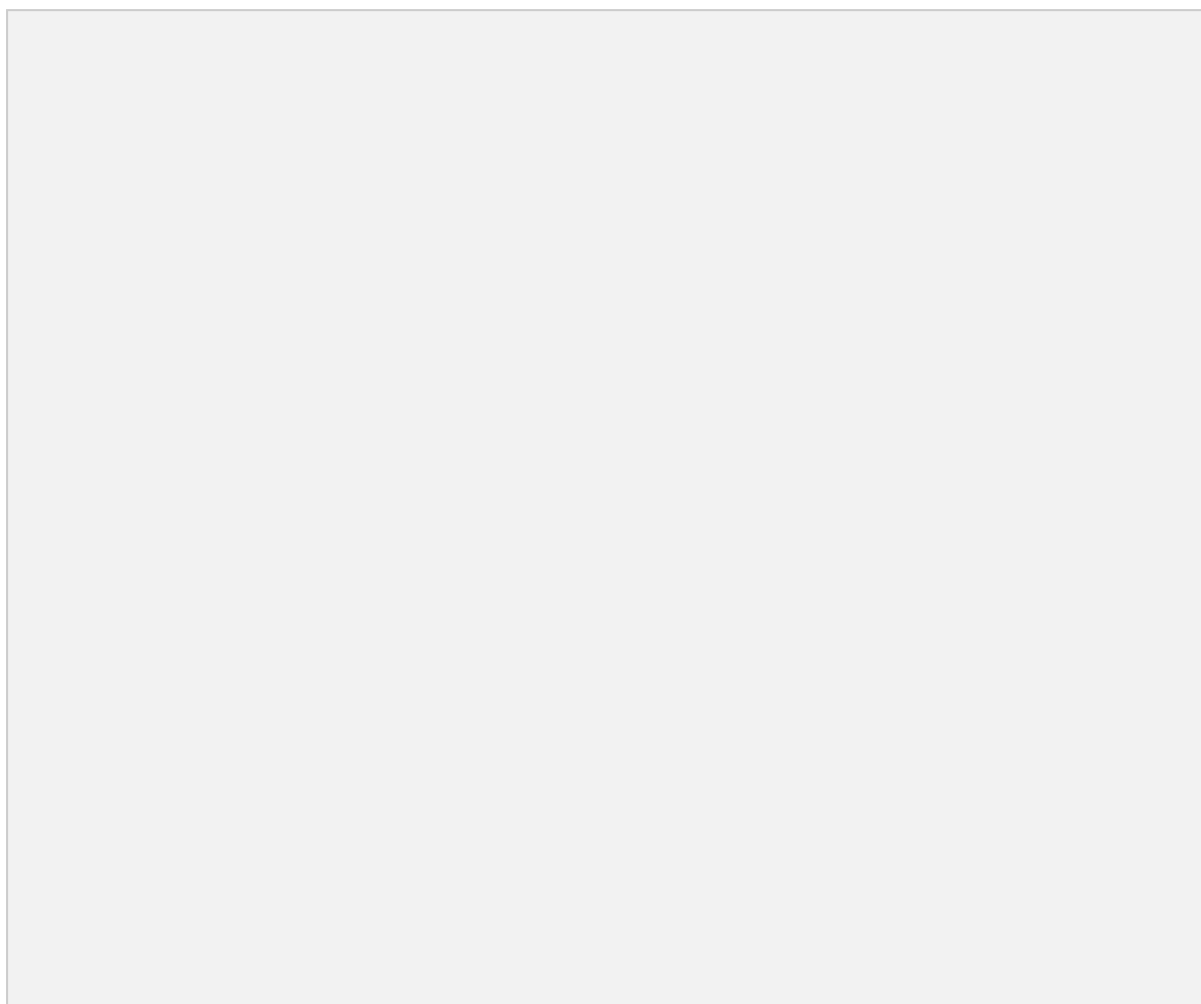
massas ricas em anfibólio são envoltas por mobilizados róseos de composição granítica.



**Figura 5.17:** Afloramento do Gnaiss Arenópolis exibindo foliação intensa e bandamentos marcando diferença composicional (TF23-VII-92, Coordenadas X: 436311; Y: 8179119).

Microscopicamente, a unidade é marcada por granulação fina a grossa, sendo que a orientação observada é definida pela biotita e por fitas de quartzo (Figura 5.18B). A textura é granoblástica a porfiroblástica, subordinadamente lepidoblástica. Caracterizam-se dois domínios composicionais: máfico e félsico.

Os domínios máficos formam aglomerados minerais parcialmente transformados para clorita e opacos, que formam uma massa esverdeada de baixa cor de interferência. Já os domínios félsicos apresentam aspecto sujo devido à sericitização dos cristais de feldspato potássico e plagioclásio, que acabam por formar uma massa de difícil distinção, que mascara as bordas e a geminação desses minerais.



**Figura 5.18: Aspecto em lâmina da Unidade Gnaisse de Arenópolis.** Fotomicrografia a nicóis paralelos (A) e a nicóis cruzados (B) exibindo foliação gnáissica definida pelas bandas de hornblenda, biotita e fitas de quartzo e plagioclásio. C) Agregado de minerais máficos e intensa sericitização no cristais de plagioclásio e feldspato alcalino (TF23-VII-92, Coordenadas X: 436311; Y: 8179119). (D) Relação de contacto entre cristais de clorita que representam a biotita e plagioclásio intensamente alterado (TF23-VII-94, Coordenadas X: 436085; Y: 8179237). Abreviações: Chl: Clorita, Bt: Biotita, Hbl: Hornblenda, Plg: Plagioclásio, Qtz: Quartzo, KF: Feldspato Potássico.

### 5.3. Granitos Criogenianos

#### 5.3.1 Granito Ribeirão Água Limpa

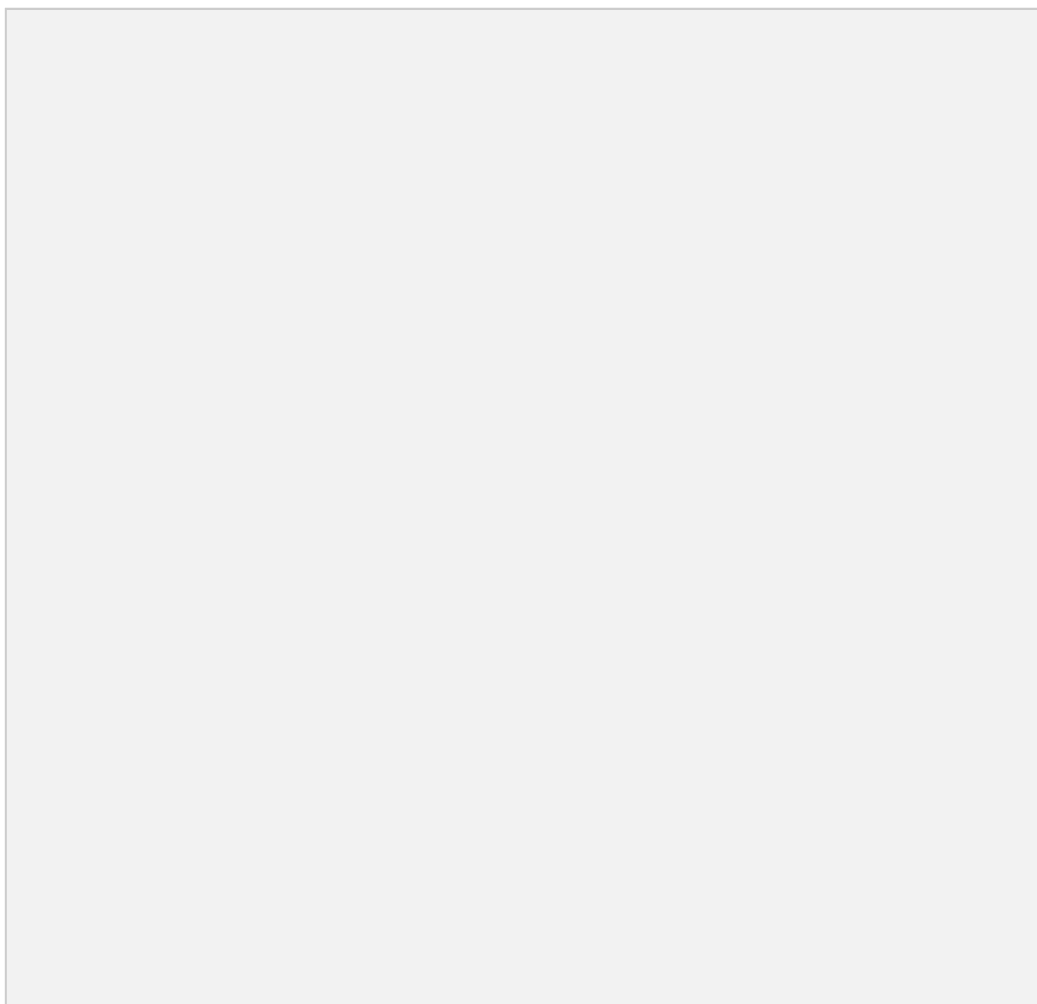
O Granito Ribeirão Água Limpa aflora na porção oeste do Projeto Arenópolis como uma faixa ondulada, cuja direção varia entre NW-SE e NE-SW. No contexto da Área VII essa unidade apresenta tendência predominante na direção NW-SE e abrange aproximadamente 15% do setor.

A unidade faz contato apenas com a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas a oeste por intermédio da Zona de Cisalhamento Piranhas. O relevo relacionado a essa unidade é ondulado, sendo observado depressão que tende ao Córrego Sucuri, no extremo oeste da área. Além disso, destaca-se a ausência de coberturas lateríticas e a presença de solos arenosos.

As exposições rochosas ocorrem como blocos *in situ* e como blocos rolados e/ou basculados. De forma geral, as rochas apresentam foliação milonítica leve na porção central, que vai se intensificando em direção à zona de cisalhamento a leste. Predominam granitos e tonalitos, que se encontram milonitizados próximo à Zona de Cisalhamento Piranhas e, por vezes, hidrotermalizados. Os granitos predominam na Área VII, enquanto o restante ocorre de forma subordinada ou restrita. Por este motivo, apenas os granitos apresentam escala mapeável e puderam ser representados no mapa geológico da área.

Petrograficamente, os biotita sienogranitos apresentam coloração escura, textura inequigranular-porfirítica, fenocristais de Feldspato alcalino, granulação grossa e matriz de granulação fina a média (Figura 5.19B). Do ponto de vista deformacional, as rochas são muito variadas. No geral, a presença de foliação (Figura 5.19A) incipiente é dominante e marca a tendência de orientação dos cristais, principalmente na capa de intemperismo (Figura 5.19D) caracterizando por vezes um lineação de estiramento mineral (Figura 5.19C), mas também ocorrem rochas isotrópicas e rochas milonitizadas (5.19A). A mineralogia dos granitos é marcada por quantidades variadas de biotita, quartzo, plagioclásio e porfiroclastos rotacionados de feldspato alcalino, podendo conter muscovita ou não.

Os tonalitos ocorrem em meio aos granitos em áreas restritas. São caracterizados por granulação fina a média, inequigranular seriada e coloração esbranquiçada. São compostos por plagioclásio, quartzo, biotita e menor quantidade de feldspato alcalino. Em algumas rochas também observaram-se muscovita e granada. Próximo às zonas de cisalhamento, ocorrem rochas milonitizadas, com marcante alteração hidrotermal, evidenciada por matriz esverdeada. Essas rochas são constituídas por epidoto, clorita, quartzo, muscovita, plagioclásio, biotita e feldspato alcalino.



**Figura 5.19:** Características das Fácies Granítica do Granito Ribeirão Água Limpa. Estas rochas exibem milonitização (A - TF23-VII-128, Coordenadas - X: 418334; Y: 8177473), lineação de estiramento mineral e forte orientação mineral (B;C, TF23-VII-146, Coordenadas - X: 417882; Y: 8179301) e, mais evidente próximo a ZCP. Aspecto da amostra de mão de granito porfirítico do Granito Ribeirão Água Limpa. Observa-se o aspecto inequigranular-porfirítico dada pelos fenocristais de feldspato potássico com tamanhos que variam entre 0,55 e 1 cm. Os cristais estão imersos em matriz de quartzo, plagioclásio e biotita (D - TF23-VII-147, Coordenadas X: 418239; Y: 8178291).

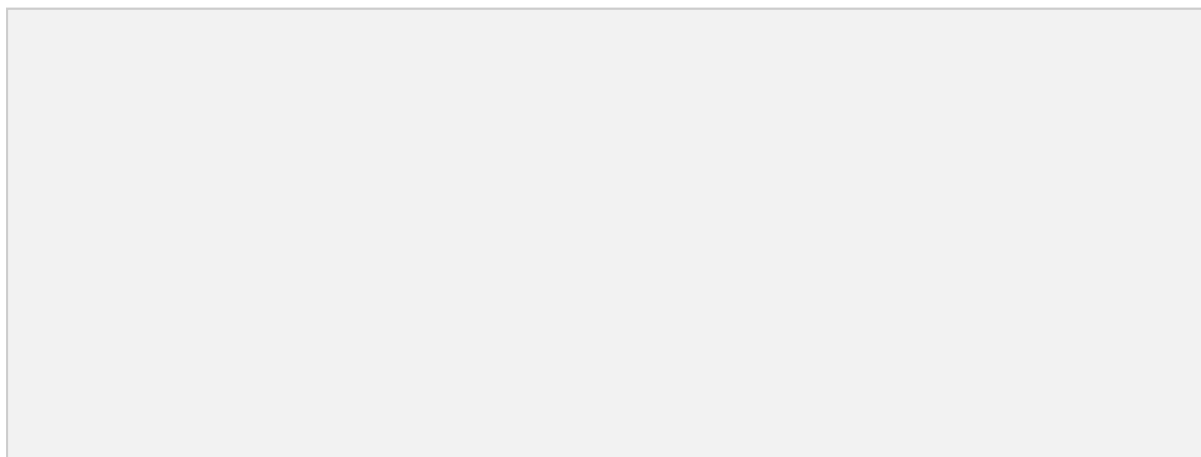
### 5.3.2. Granito Serra do Tatu

As exposições de rochas referentes a esta unidade situam-se especificamente no maior alto topográfico da área, denominado como Serra do Tatu, no extremo leste da Área VII. A unidade Granito Serra do Tatu estabelece contato por intermédio da Zona de Cisalhamento Ribeirão com a Unidade Córrego da Onça e o Gnaiss Arenópolis a oeste. Apresenta-se frequentemente como grandes lajedos (Figura 5.20A), blocos *in situ* e rolados e matacões. Intercalados a estas exposições, ocorrem rochas gnáissicas de caráter metagranítico que podem estar



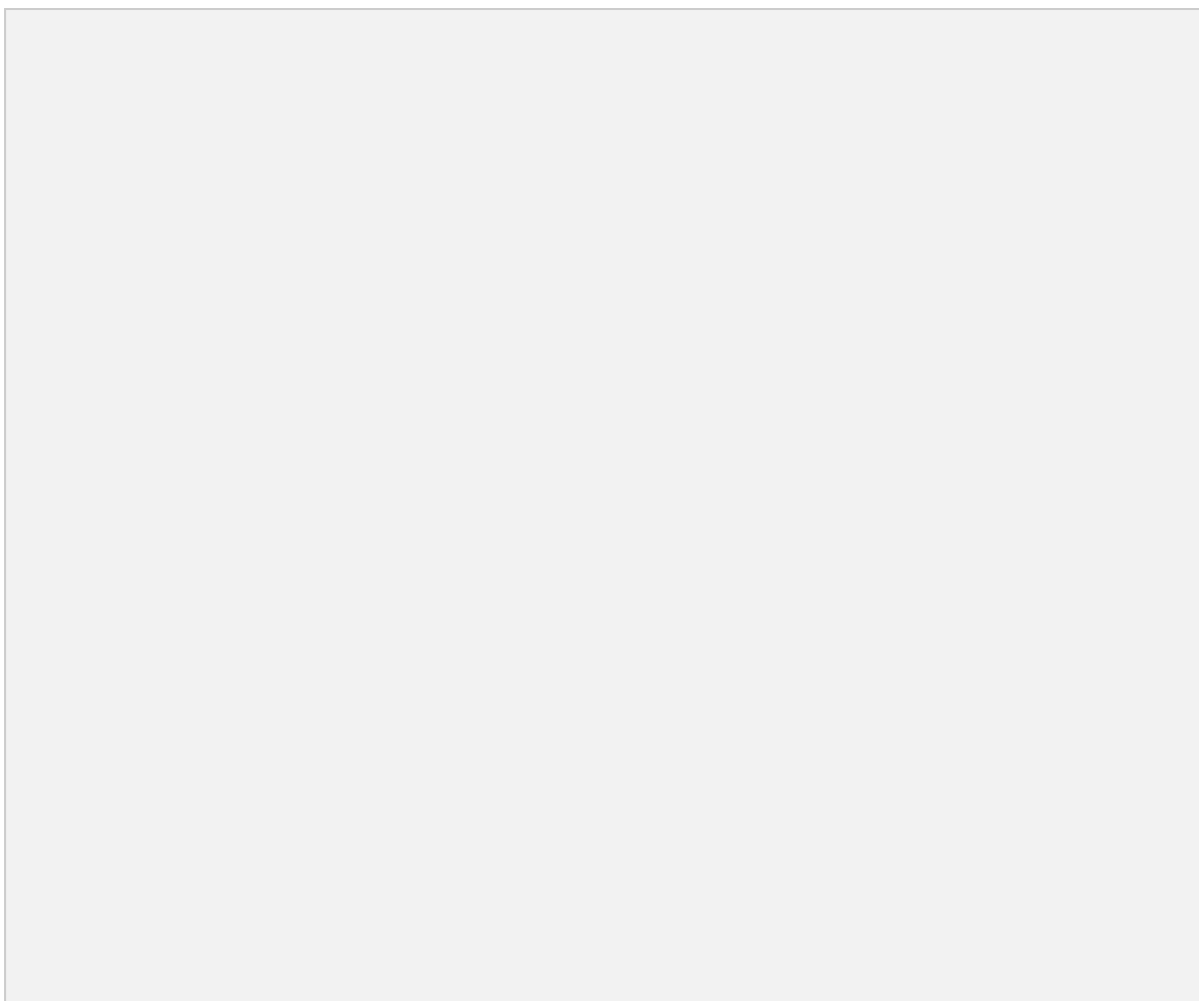
correlacionadas com o Gnaiss Arenópolis, estando interdigitadas ao Granito Serra do Tatu. A unidade representa cerca de 7% da área.

O Granito Serra do Tatu é constituído por rochas monzograníticas a sienograníticas faneríticas, e granulação média a grossa, sendo o tamanho relativo inequigranular e forma geométrica hipautomórfica. As rochas apresentam foliação protomilonítica no centro do corpo e milonítica próxima às bordas. A foliação é marcada por *ribbons* de quartzo, estiramento dos grãos de feldspato alcalino, filmes de biotita e porfiroclastos de feldspato alcalino com cinemática sinistral.



**Figura 5.20.** Aspecto de afloramento em lajedo no sopé da Serra do Tatu (TF23-VII-79, Coordenadas X: 437028; Y: 8179502), referente a unidade monzo a sienograníticas do Granito Serra do Tatu (A). Amostra de mão exibindo textura sacaroidal (B).

As fácies monzograníticas a sienograníticas observadas apresentam composição mineralógica marcada por feldspato alcalino (~37%), quartzo (~25%), biotita (~15%), plagioclásio (~15%) com teor de anortita igual a andesina, magnetita (~5%) e clorita (~3%). Os minerais observados no sienogranito constituem textura granular (Figura 5.18A;B). Observam-se ainda texturas de reação do tipo mirmequítica (Figura 5.19C) e pertítica (Figura 5.19D) no microclínio, bem como alteração frequente para muscovita. Como acessórios, foram observados titanita, hornblenda, zircão e opacos. Secundariamente, foi identificado clorita, que é produto de alteração da biotita.



**Figura 5.21:** Fotomicrografias da amostra TF23-VII-77 (Coordenadas - X: 436931; Y: 8179997) de sienogranito do Granito Serra do Tatu. Aspecto inequigranular a nicóis paralelos (A) e a nicóis cruzados (B). Fenocristais de ortoclásio com textura pertítica. A matriz é formada por quartzo, plagioclásio, ortoclásio e biotita. (C) Detalhe das texturas pertíticas. Também se observam cristais de quartzo e plagioclásio inclusos em fenocristais de ortoclásio. D) Textura mirmequítica no contato entre ortoclásio e plagioclásio. Abreviações: Chl: Clorita, Bt: Biotita, Plg: Plagioclásio. Qtz: Quartzo, KF: Feldspato Potássico.

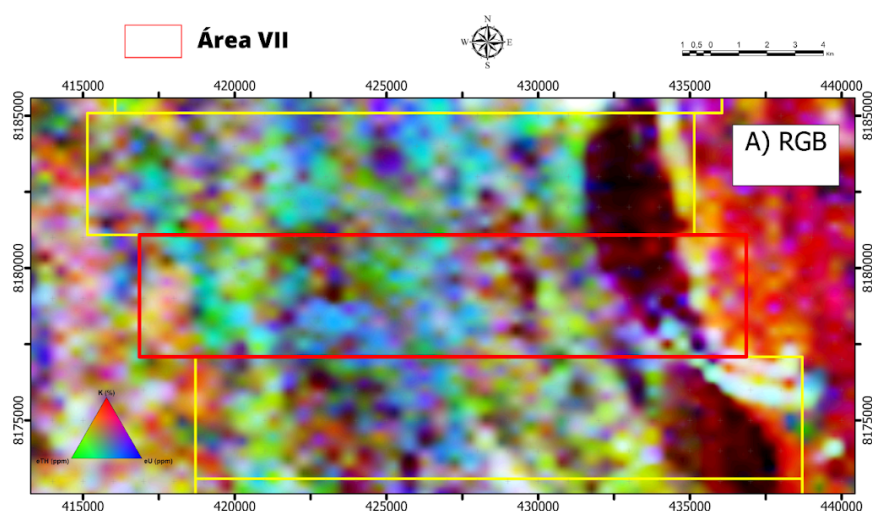
### **Hornblenda Tonalito Milonitizado**

Na porção leste do Granito Serra do Tatu, foi identificada uma rocha com forte bandamento, que apresenta domínios ricos em quartzo e plagioclásio e domínios ricos em anfibólio. Ambos os domínios apresentam orientação mineral. O domínio com presença de hornblenda verde é caracterizado por textura nematoblástica, já os domínios quartzo-feldspáticos apresentam feições de recristalização, como *grain boundary migration*, esmagamento e estão fortemente

estirados. Composicionalmente, a rocha é formada por quartzo (~40%), plagioclásio (~16%), hornblenda verde (~38%) e clorita (~6%), como mineral de alteração. A moda permite classificar a rocha no campo dos tonalitos. Provavelmente representa a fácies relativa a borda Granito Serra do Tatu.

#### 5.4. Vulcânicas Córrego do Horácio

As rochas da unidade Vulcânicas Córrego do Horácio representam cerca de 0,6% da Área VII. A unidade se destaca nitidamente nos produtos geofísicos gamaespectrométricos, evidenciando enfaticamente sua presença, como pode-se observar no produto ternário RGB (Figura 5.22).

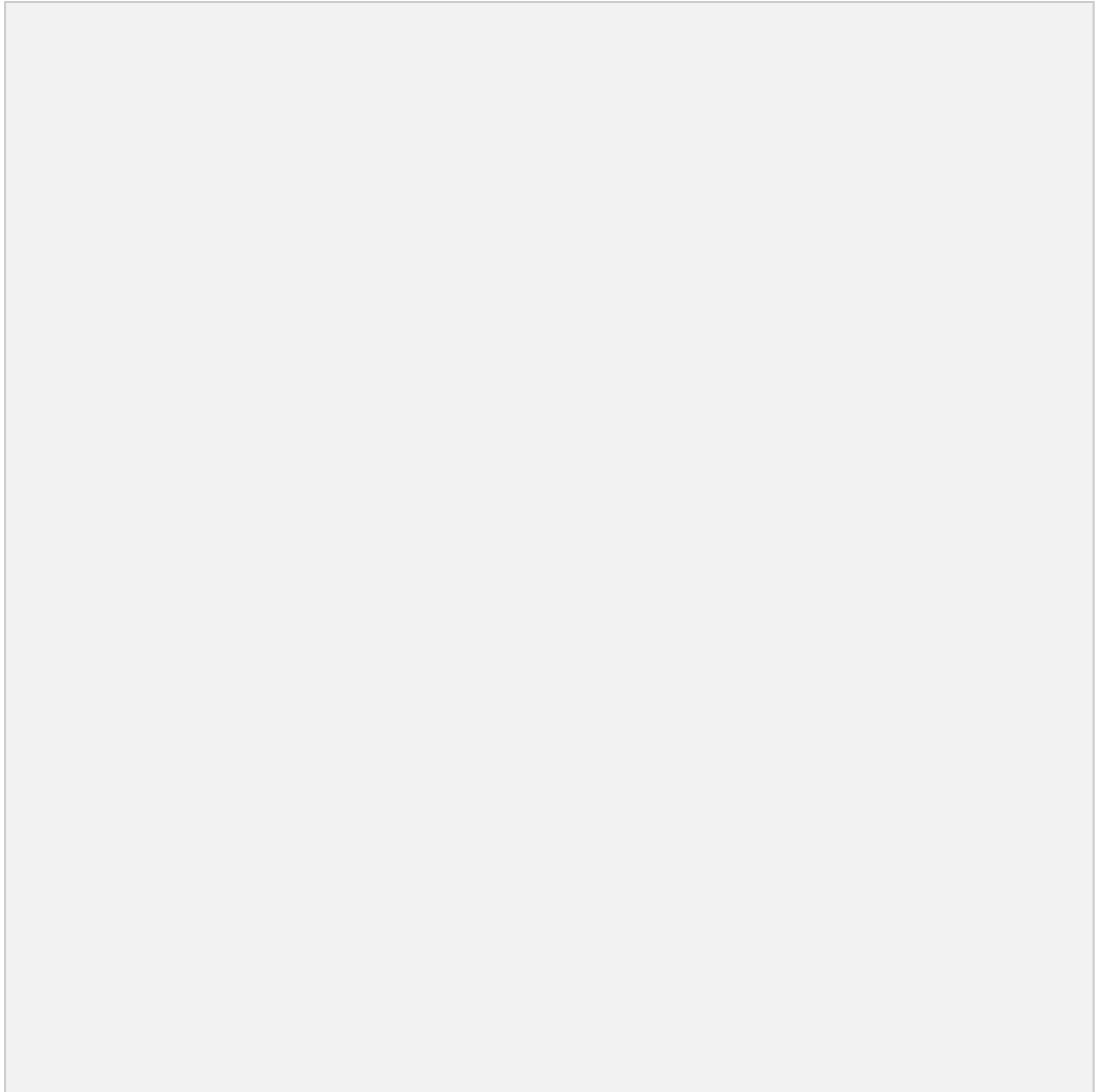


**Figura 5.22:** Produto de gamaespectrometria ternário RGB com destaque para a Área VII em vermelho. As Vulcânicas Córrego do Horácio exibem cor branca denotando alto teor de K, Th e U.

Os diques apresentam-se como duas lentes descontínuas, ora alojando-se em anfibolitos do Córrego da Onça e ora intrudindo em milonitos de borda do Serra do Tatu. O primeiro corpo observado não apresenta caráter deformacional, porém o último conta com a presença de deformação rúptil caracterizada por falhamentos. Em campo, foram identificados um enxame de diques e um dique espesso, que serão descritos a seguir.

As rochas descritas são riolitos. Caracteristicamente são rochas félsicas, de coloração rosada com níveis esbranquiçados, subfaneríticas, de textura inequigranular-porfirítica compostas por fenocristais de quartzo e glomeropórfiros (Figura 5.23) de quartzo e feldspato alcalino granulação fina a grossa (cristais de

plagioclásio e quartzo). Estima-se que sua composição seja caracterizada por cerca de 29% de matriz felsítica, em que fenocristais destacam-se na matriz. Estima-se que estes fenocristais são feldspato alcalino (~27%), quartzo (~25%) e plagioclásio (~7%).



**Figura 5.23: Características estruturais e texturais das rochas riolíticas das Vulcânicas Córrego do Horácio.** A) Amostra de mão exibindo textura porfirítica em riolito. B) Esferulitos em riolito. C) Amostra de riolito intemperizada com presença de estrutura de fluxo (TF23-VII-26, Coordenadas - X: 434457; Y: 8177694).

Em escala de afloramentos são observadas estruturas que simbolizam contatos “quentes” (Figura 5.24A) entre os riolitos e os anfibolitos, que possivelmente foram gerados pela assimilação parcial dessas rochas pelos magmas riolíticos, estruturas de fluxo magmático como laminação/bandamento por fluxo com

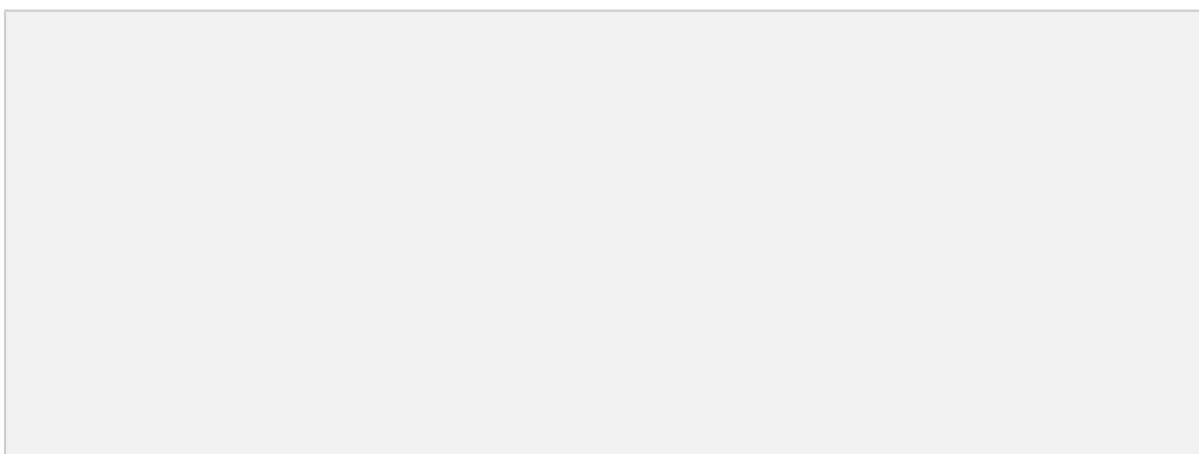
presença de autoclastos (Figura 5.24B), dobras de fluxo (Figura 5.C e D), estruturas de contato intrusivo (Figura 5.24E), material juvenil incorporado pelo fluxo e evidências de devitrificação à alta temperatura, como esferulitos de menos de 1 mm.

O segundo grupo de diques riolíticos identificado na Unidade Córrego da Onça, é um dique maciço de aproximadamente 2-3 m de espessura. Esse dique não apresenta qualquer tipo de estrutura de fluxo como aquelas descritas anteriormente para o enxame de diques. Em amostra de mão são rochas porfiríticas com microfenocristais de quartzo que se sobressaem em matriz rosa felsítica. Os fenocristais de quartzo apresentam texturas de engolfamento, possivelmente relacionadas à descompressão magmática.

**Figura 5.24:** Estruturas diversas observadas em afloramentos de riolitos. A) Estrutura de contato quente entre anfibolito e riolito (Coordenadas, X:434987;Y:8177956). B) Estrutura de fluxo e

laminação/bandamentos (Coordenadas, X:434987;Y:8177956). C) e D) Dobras de fluxo (Coordenadas, X: 434628;Y:8177809). E) Estrutura de contato intrusivo (Coordenadas, X:435526;Y:8177932).

Microscopicamente, a matriz é alotriomórfica, com tamanho de 0,1 a 0,5 mm. Os fenocristais são formados de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo (Figura 5.25A), possuem forma subhedral com tamanho variando de 0,5cm a 1 cm. O plagioclásio está alterado, exibindo sericitização, o que confere aspecto visual “sujo” para a lâmina. Também, foram identificados esferulitos na matriz (Figura 5.25B), que possivelmente foram gerados por processos de devitrificação ou resfriamento rápido.

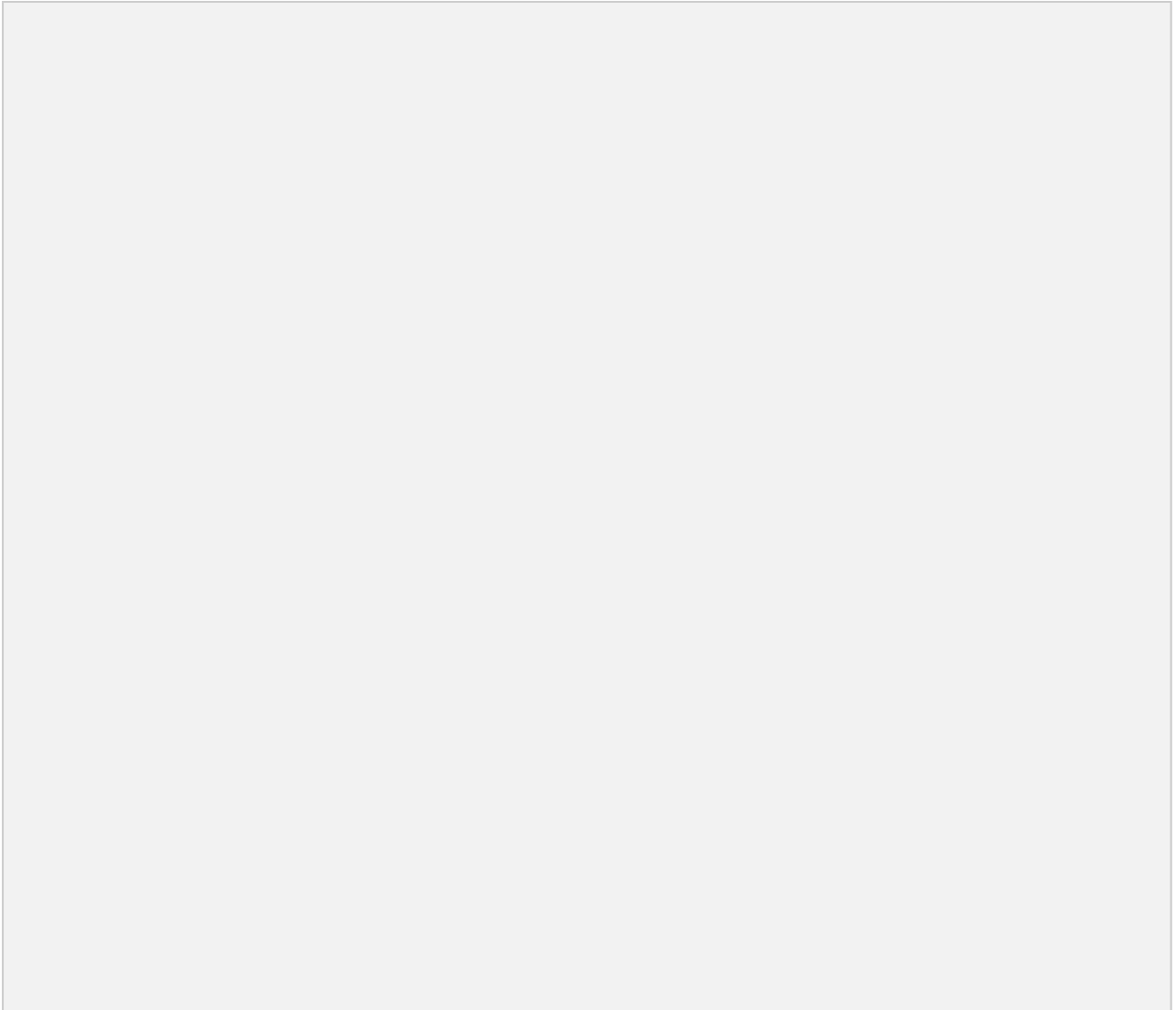


**Figura. 5.25:** Fotomicrografias a nicóis paralelos (A) e cruzados (B) da amostra APA-33. A rocha é caracterizada como riolito porfíritico composto por fenocristais de quartzo e sanidina em aglomerados porfíricos imersos em matriz félsica na qual se observam pequenos esferulitos. Destaque para a ausência de deformação nessa rocha. Abreviações: Qtz:Quartzo, KF: Feldspato Potássico.

### 5.5. Suíte Alcalina de Iporá

A unidade ocorre como blocos isolados ou alinhados, identificados pelo alinhamento contínuo de blocos e árvores (Figura 5.26A e B), e menos frequentemente como diques intrudidos (Figura 5.26C) nas unidades do embasamento. Na Unidade Córrego da Onça, próximo às Vulcânicas Córrego do Horácio, foram identificados pelo menos dois diques de diferentes orientações, um N-S e outro W-E, de aproximadamente 80 cm de largura. Podem ocorrer também como corpos contínuos de caráter maciço (Figura 5.26D).



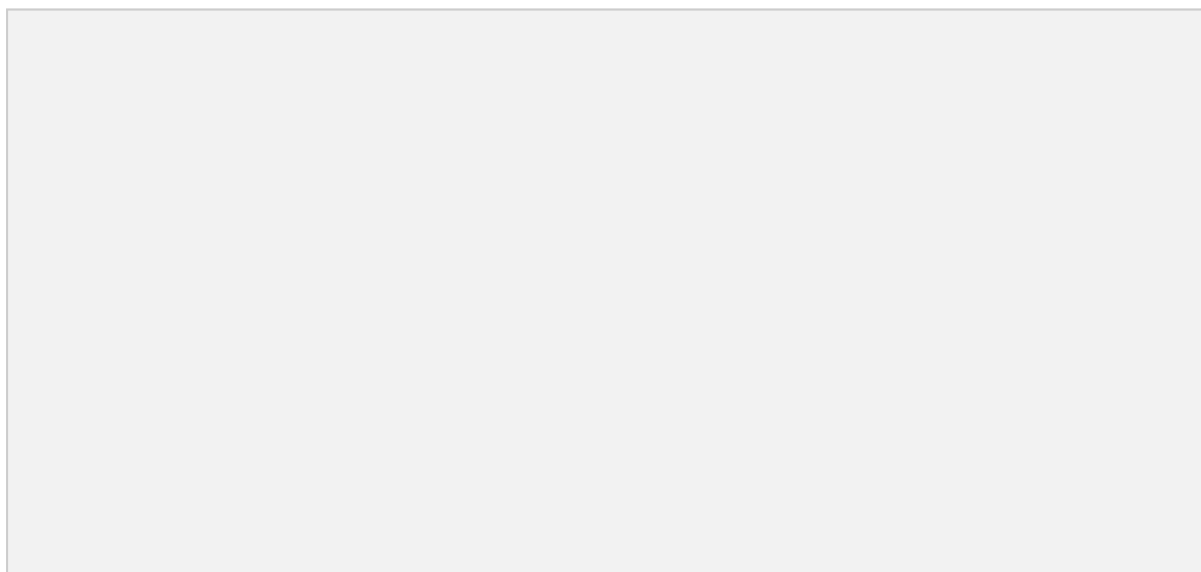


**Figura 5.26:** A) Aspecto em campo das rochas alcalinas subvulcânicas da Suíte Alcalina de Iporá. Estas rochas são encontradas em afloramentos em blocos alinhados como em A (TF23-VII-156, Coordenadas - X: 431410; Y: 8177514) ou B (TF23-VII-45, Coordenadas - X: 431690; Y: 8178284). Menos frequentemente se encontra como diques intrudidos possivelmente em alguma unidade do embasamento, no caso C e D estão intrudidos na Unidade Córrego da Onça da SMAP, no córrego homônimo (TF23-VII-XXX, Coordenadas X:435133 ;Y:8177948 ). Em D se observa caráter de centro porfítico e uma borda afanítica com disjunção colunar pelo resfriamento rápido (TF23-VII-140, Coordenadas - X: 434922; Y: 8177863).

As rochas de maior ocorrência na Área VII correspondem a um membro subvulcânico alcalino, especificamente basanita porfirítico. A rocha apresenta matriz

afanítica, com fenocristais de olivina e piroxênio bem desenvolvidos, destacando-se na matriz. A coloração escura, cristalinidade hipocristalino, grau de visibilidade subfanerítico, com granulação muito fina, (matriz) a grossa (olivina e piroxênio), sendo o tamanho relativo dos cristais porfirítico, com geometria dos cristais automórfica a hipautomórfica. O tipo litológico de maior ocorrência na Área VII corresponde a basanita porfirítica. A rocha ainda apresenta intenso magnetismo.

Estima-se uma composição de 30% de titano-augita e 23% de olivina, na forma de fenocristais médios a grossos, comumente zonados, enquanto a matriz representa cerca de 47% dessas rochas, sendo constituída por plagioclásio (~14%), nefelina (~4%), titano-augita (~8%), olivina (~6%) e minerais opacos (~15%), provavelmente magnetita (Figura 5.27). Subordinadamente, ocorrem rochas com fenocristais de leucita em meio à matriz afanítica.

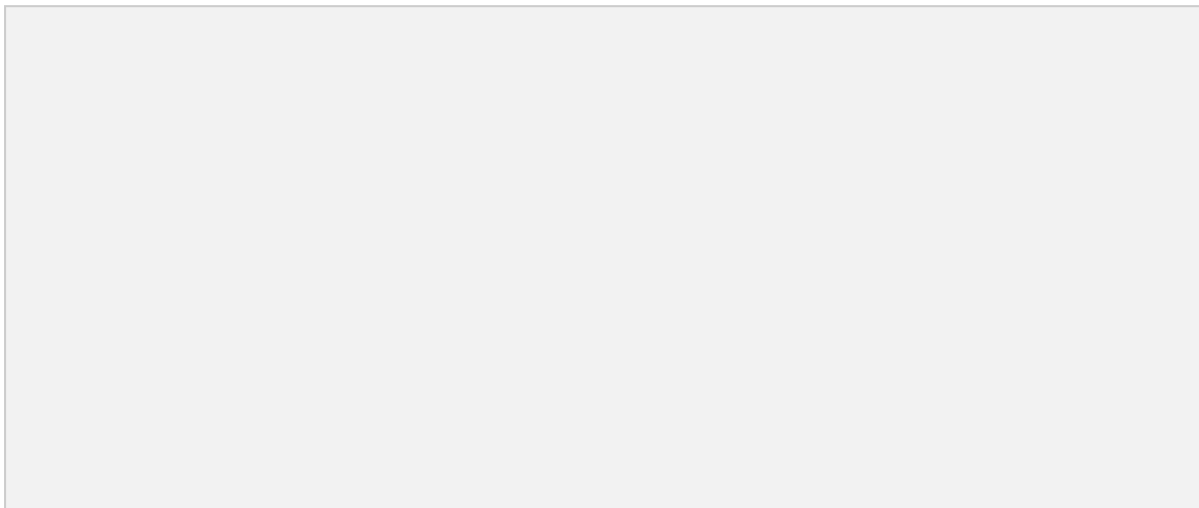


**Figura 5.27:** Aspecto em amostra de mão dos basanitos da Suíte Alcalina de Iporá. B e C) Basanitos porfiríticos, compostos por fenocristais de titanoaugita e olivina em matriz cinza e muito fina. (TF23-VII-45, Coordenadas - X: 431690;Y: 8178284).

Microscopicamente, os basanitos apresentam texturas porfiríticas a glomeroporfiríticas conformadas por fenocristais médios a grossos de olivina, titano-augita e augita. Os fenocristais de olivina geralmente exibem formas euédricas a subédricas, com tamanhos de até 0,5 cm, e estão frequentemente alterados para serpentina, iddingsita e calcita (Figura 5.28A). Já a titanoaugita, ocorre como fenocristais submilimétricos (~8 mm a 0,5 m), exibindo formas

euédricas a subédricas. Frequentemente mostram zonação. A matriz é fina a muito fina (Figura 5.28B) e é composta por microfenocristais de titanoaugita, plagioclásio, nefelina, minerais opacos, possivelmente magnetita e micrólitos de plagioclásio.

A textura observada na rocha indica que possivelmente a rocha encontrava-se em estágio avançado da cristalização quando foi forçada a ascender na superfície.



**Figura 5.28: Fotomicrografia de basanitos porfiríticos (ARE-28A).** A) Típica textura porfirítica destas rochas. No canto superior esquerdo observam-se fenocristais de titanoaugita zonados e abaixo fenocristais euedrais de olivina. Glomeropórfiros de microfenocristais de titano-augita também foram identificados. B) Detalhe da matriz fina da rochas com microfenocristais de titano-augita, plagioclásio e magnetita, além de micrólitos de plagioclásio. Abreviações: Ti-Aug: Titanoaugita, Ol: Olivina, Plg: Plagioclásio.

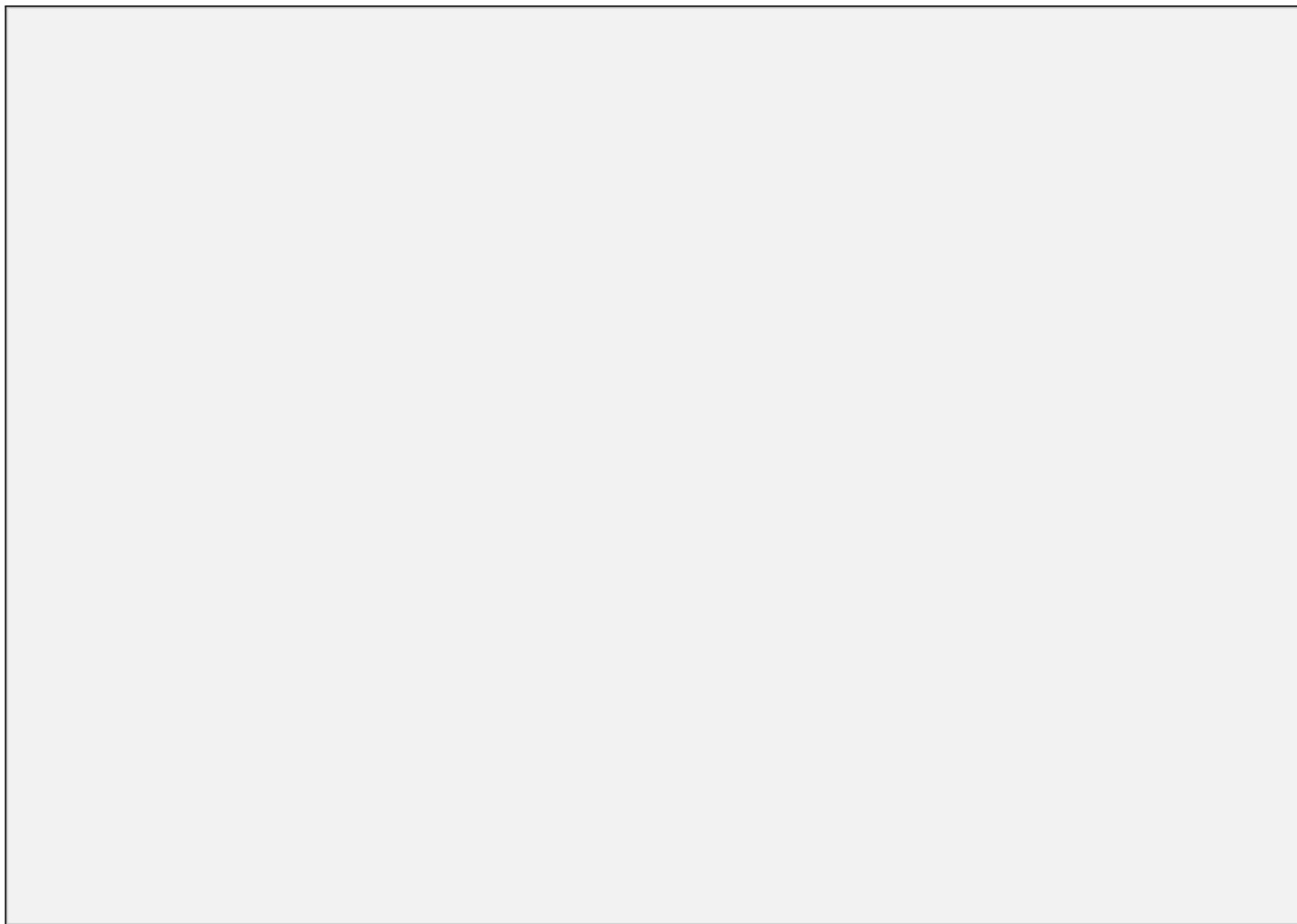
## 6. Geologia Estrutural

Este capítulo aborda a análise estrutural do Projeto Arenópolis, com foco na Área VII, levando em consideração suas fases deformacionais dúctil e rúptil. A análise engloba a caracterização e descrição dos domínios estruturais presentes, os dados coletados em campo na Área VII, bem como as descrições e interpretações das estruturas geológicas observadas. Também, são apresentadas interpretações dos eventos de deformação identificados na Área VII, considerando suas correlações espaciais, temporais e metamórficas.

### 6.1. Domínios Estruturais do Projeto Arenópolis

Os domínios estruturais da região mapeada no Projeto Arenópolis foram delimitados a partir de integração de dados conjunta de todas as áreas, baseando-se em critérios tipológicos, espaciais e geométricos observados nas estruturas vistas durante o trabalho de campo. Os dados estruturais analisados incluem a orientação preferencial das estruturas planares e lineares, sua natureza e estilos deformacionais, bem como suas correlações espaciais, temporais e com os produtos geofísicos e de sensoriamento remoto. Esses dados foram tratados utilizando o *software* Stereonet para gerar diagramas e estereogramas dos dados coletados.

O Projeto Arenópolis possui arcabouço estrutural marcado por eventos deformacionais neoproterozóicos, evidenciados por lineamentos quilométricos de orientação preferencial NNW-SSE e NNE-SSW. Foram definidos três domínios estruturais regionais para a área de estudo (Figura 6.1). Esses domínios foram caracterizados de oeste para leste como: Domínio Piranhas, Domínio Caiapônia e Domínio Arenópolis.



**Figura 6.1:** Mapa estrutural integrado do Projeto Arenópolis.

### 6.1.1. Domínio Piranhas

O Domínio Piranhas situa-se na porção oeste da área de mapeamento do Projeto Arenópolis e ocupa cerca de 7% da área. O Domínio Piranhas abarca apenas a unidade Granito Ribeirão Água Limpa, compreendendo rochas metagraníticas, metatonalíticas e miloníticas. Esse domínio encontra-se separado do Domínio Caiapônia por uma zona de cisalhamento sinistral a leste, denominada Zona de Cisalhamento Piranhas (ZCP).

O Domínio apresenta geometria de faixa sinuosa com orientação NNW-SSE e inflexão para NNE-SSW em sua porção norte, caracterizando dois *trends* estruturais de orientações distintas. As estruturas planares representativas resumem-se, em sua maioria, à foliação do tipo bandamento gnáissico e milonítica, de direção preferencial NNW-SSE e estruturas lineares caracterizadas por lineações de estiramento mineral. Além disso, essas estruturas geralmente exibem mergulhos moderados a altos ( $42-87^\circ$ ) em direção a WNW. Observa-se que o ângulo de mergulho e a intensidade da deformação tendem a aumentar à medida que se aproxima da ZC Piranhas.

O primeiro *trend* é observado na porção sul, entre as áreas IV a X, apresentando estruturação NNW-SSE marcada por mergulhos moderados a altos ( $42-83^\circ$ ) para leste. O segundo *trend* está localizado ao norte, nas áreas III e IV, apresentando foliação de direção NNE-SSW com mergulho moderado a alto ( $41-86^\circ$ ) para ESE. Esse *trend* é influenciado por *splays* da ZCP, de movimentação dextral e sinistral.

### 6.1.2. Domínio Caiapônia

O Domínio Caiapônia situa-se na porção central da área e constitui cerca de 66% da área do mapeamento geológico. Estão compreendidas as unidades Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Gnaiss Ribeirão, Gnaiss Arenópolis, Gabro Morro do Baú e Granito Serra do Tatu. O domínio estabelece contato com os domínios adjacentes por intermédio de zonas de cisalhamento sinistrais. Observa-se uma geometria na forma de faixa meandrosa de direção NNW-SSE, que é influenciada pela presença de corpos graníticos metamorfizados.

As foliações deste domínio são definidas por foliações metamórficas, como bandamentos gnáissicos e xistosidade, que tendem a acompanhar a deformação.

São observados dois *trends* principais. O *trend* dominante é caracterizado por orientação predominantemente N-S e zonas de inflexão que modificam a orientação. Ao sul, nas áreas IX e X, ocorre inflexão na qual a direção da foliação tende a NE-SW. Na porção norte é observado entre as áreas I a III, inflexão em que a foliação observada é NNW-SSE. O segundo *trend* está associado a uma porção da Unidade Córrego do Santo Antônio, da SMVS Arenópolis-Piranhas, em que a orientação da foliação não é bem definida. Ocorrem foliações de direção NE-SW, NW-SE e ENE-WSW. A foliação mergulha, em geral, para leste, entretanto observam-se mergulhos tanto para leste quanto para oeste, que é justificado pela ocorrência de dobras e mergulhos subverticais. O mergulho da foliação é variado, sendo observadas medidas de baixo a alto ângulo (22-90°).

A deformação neste domínio é refletida em esforços dúcteis e rúpteis. O arcabouço dúctil apresenta foliações de xistosidade, crenulações e dobras (suaves, abertas e apertadas). O arcabouço rúptil é caracterizado por fraturamentos, juntas, veios e estruturas de cisalhamento do tipo dominó.

### 6.1.3. Domínio Arenópolis

O Domínio Arenópolis é caracterizado por intrusões ígneas tardi a pós-tectônicas (ca. 590 a 480 Ma, Pimentel & Fuck 1994), abrangendo as unidades Granito Serra do Iran e Granito Rio Caiapó. Esse domínio está situado na porção norte do Projeto Arenópolis, entre as áreas I e V, e ocupa cerca de 27% da área de mapeamento. É dividido em duas partes: a primeira contempla o Granito Serra do Iran, no centro de área, sendo limitada e englobada pela Zona de Cisalhamento Ribeirão (ZCR), que configura um sistema sigmóide de cinemática sinistral, enquanto a segunda porção contempla o Granito Rio Caiapó, sendo limitada pela Zona de Cisalhamento Córrego da Areia (ZCCA) a oeste.

O domínio é caracterizado pela presença de foliação milonítica nas bordas dos corpos intrusivos e, exclusivamente, no segmento do Granito Rio Caiapó observam-se foliações de fluxo magmático. A foliação apresenta direção preferencial NNE-SSW com mergulhos moderados a altos (42-82°) na direção SSE, embora a direção possa variar nas proximidades das bordas e de estruturas como falhas e zonas de cisalhamento, que ocorrem dentro dos corpos.



## 6.2. Arcabouço Estrutural da Área VII

A Área VII inclui os domínios estruturais Piranhas e Caiapônia (Figura 6.2). Neste tópico, será descrito a geologia estrutural vista na Área VII, contemplando as estruturas observadas e suas características, bem como a relação destas estruturas com cada um dos domínios estruturais descritos.

As deformações associadas aos domínios presentes na Área VII se manifestam de diferentes formas, a depender das unidades às quais estão associadas, por meio de estruturas de trama dúctil e rúptil. Para a análise do arcabouço dúctil, foram observadas foliações ( $S_n$ ), eixos de dobras ( $b$ ) e lineações de estiramento mineral ( $L_x$ ). Para o arcabouço rúptil, são consideradas fraturas, falhas, veios e diques.



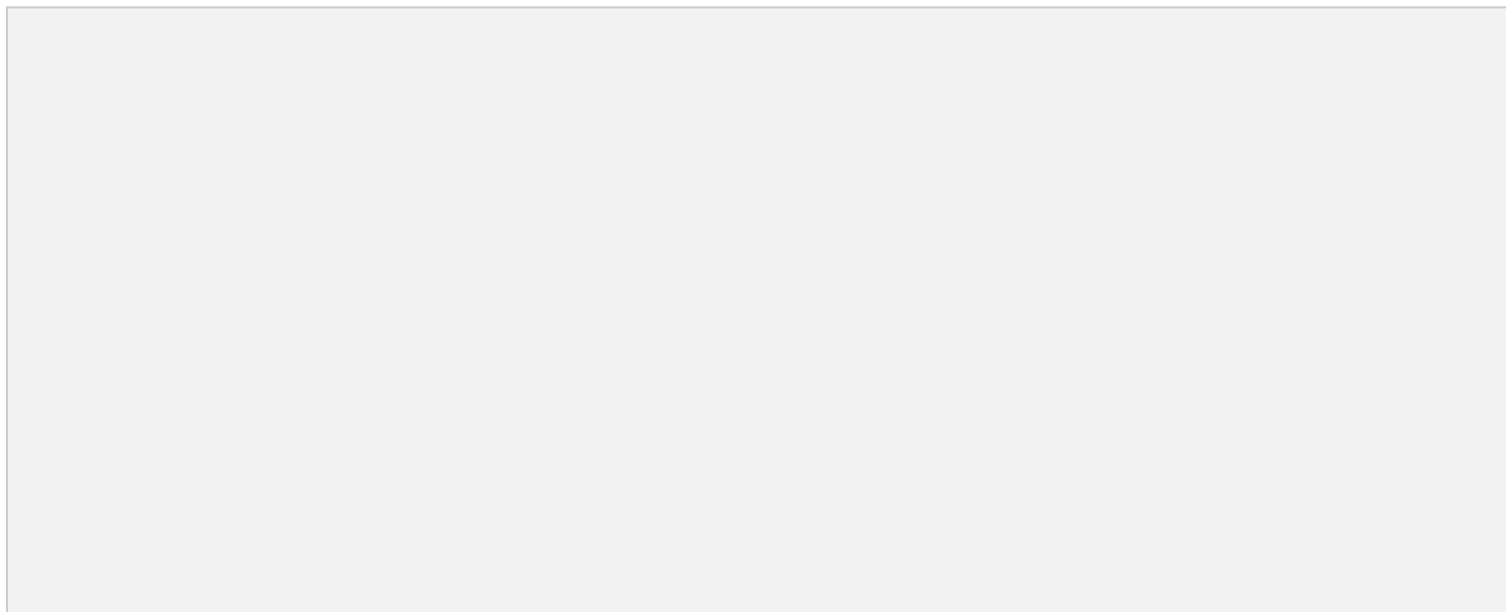
**Figura 6.2:** Mapa de domínio estruturais presentes na Área VII.

### 6.2.1 Arcabouço Estrutural Dúctil

#### Foliações

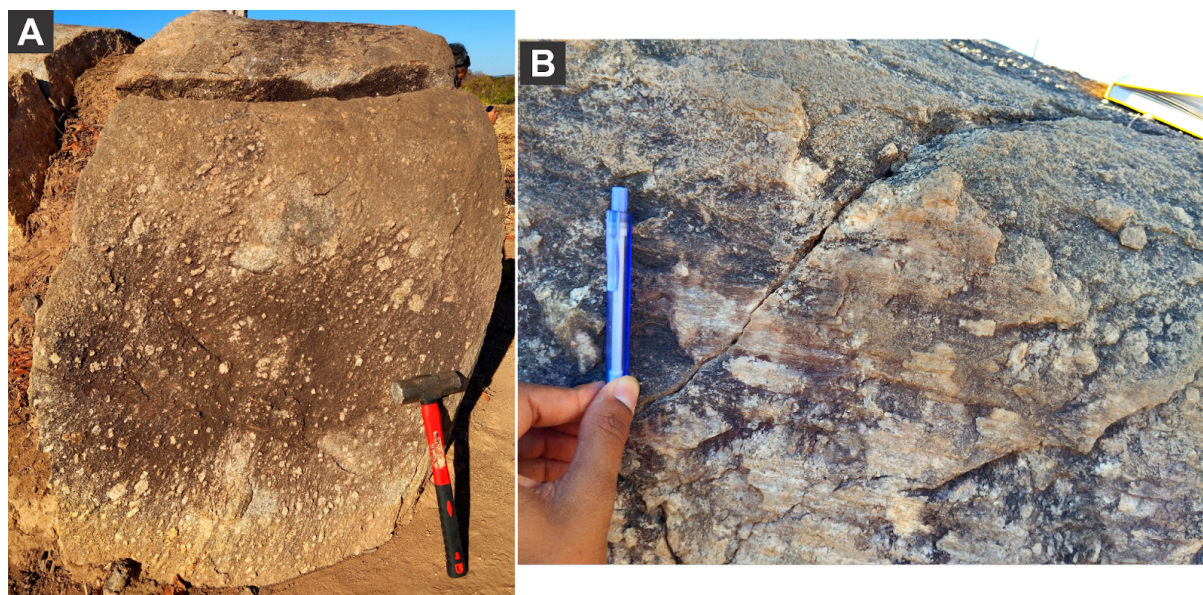
A foliação ( $S_n$ ) ocorre como estrutura planar comum aos diferentes domínios estruturais que aparecem na Área VII. Apresentam estruturação geral com orientação NNW-SSE e mergulhos subverticais predominantemente para ENE

(Figura 6.3). Essa estruturação reflete as orientações observadas nos produtos geofísicos e em imagens de satélites.



**Figura 6.3:** A) Foliações medidas na Área VII referentes ao Domínio Piranhas, abarcando exposições referentes ao Granito Ribeirão Água Limpa. B) Foliações medidas na Área VII referentes ao Domínio Caiapônia, abarcando as exposições da SMVS Arenópolis-Piranhas e Serra do Tatu.

O arcabouço dúctil observado nas rochas do Domínio Piranhas é caracterizado por foliação de *trend* geral NNW-SSE, com mergulho variando de 63-84° para ENE. A foliação ocorre na forma de bandamentos composicionais e de foliação milonítica, com orientação forte a moderada dos minerais. Próximo à ZCP, a deformação impressa nas rochas se torna mais evidente, principalmente pela presença de rochas graníticas milonitizadas. Ademais, observam-se lineações de estiramento mineral paralelas à foliação, sendo caracterizadas pelo estiramento de quartzo e de feldspato alcalino. Devido ao basculamento dos afloramentos, não foi possível aferir a atitude das lineações de estiramento mineral. Os cristais de feldspato alcalino observados exibem cinemática sinistral.



**Figura 6.4:** A) Cristais de feldspato potássico como indicadores cinemáticos mostrando o movimentação dextral e foliação milonítica proeminente, indicando proximidade com a ZCP. B) Lineação de estiramento mineral em bloco milonitizado.

O estereograma de contornos de densidade dos polos de foliação do Domínio Piranhas na Área VII (Figura 6.3A) mostra maior densidade de polos próxima a atitudes iguais a 081/77, com pouca variação na direção das bandas e no ângulo de mergulho. A tendência geral das foliações é NNW-SSE, seguindo a orientação regional do Domínio Piranhas.

As rochas do Domínio Caiapônia, por sua vez, apresentam três padrões principais de foliação. São elas, uma foliação NNW-SSE, observada na porção leste e oeste, uma N-S observada na porção oeste e foliações sem padrão definido, concentradas na porção central da área. As foliações NNW-SSE e N-S foram agrupadas formando um primeiro subdomínio, já o restante foi agrupado no segundo subdomínio.

O primeiro subdomínio é representado por foliações do tipo xistosidade, bandamento composicional e milonítico. Nos xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, em ambas as unidades, a foliação ocorre na forma de xistosidade contínua a descontínua, por vezes intercaladas com domínios de quartzo e porfiroblastos de granada e/ou estaurolita rotacionados em meio aos planos da foliação, marcando uma cinemática sinistral. Também foram observadas rochas com crenulação. Os anfíbolitos da SMVS Arenópolis-Piranhas

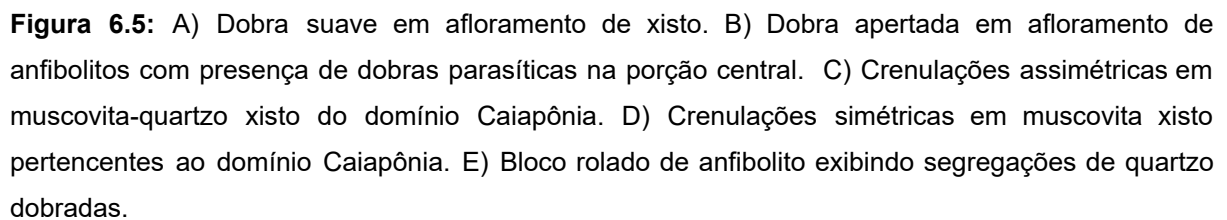
apresentam foliação marcada por bandamento composicional, com cristais de quartzo e plagioclásio estirados, principalmente próximo às zonas de cisalhamento. Os monzogranitos do Granito Serra do Tatu e os ortognaisses do Gnaiss Arenópolis são caracterizados por foliação protomilonítica a milonítica, que se intensifica à medida que se aproxima da ZCR.

O segundo subdomínio concentra-se na porção central da Unidade Córrego do Santo Antônio, distante das zonas de cisalhamento. A foliação é caracterizada por xistosidade e bandamento composicional. A atitude da foliação é variável, desde NW-SE até NNE-SSW, com mergulhos moderados a acentuados (45-90°).

### **Dobras e Indicadores Cinemáticos**

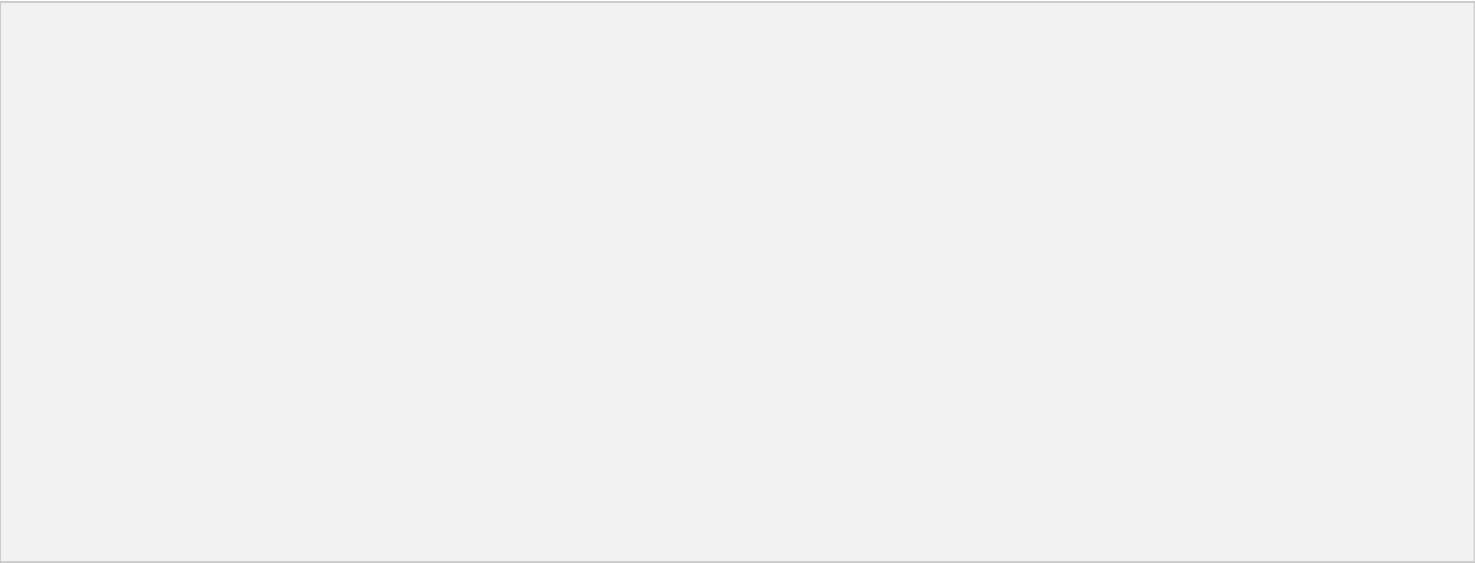
Diferentes tipos de dobras ocorrem nos subdomínios pertencentes à Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Nos xistos desenvolvem-se dobras suaves, abertas e crenulações e nos anfibolitos observa-se predomínio de dobras apertadas.

Crenulações assimétricas e simétricas são observadas nos diferentes xistos situados dentro do primeiro subdomínio. Essas estruturas estão concentradas especificamente na porção centro leste do domínio (Figura 6.5). A simetria evidente nas dobras pode estar correlacionada com possível alteração na cinemática, indicando movimentação direcional no caso das dobras simétricas ou até mesmo mudança de regime deformacional no caso das dobras assimétricas.



**Figura 6.5:** A) Dobra suave em afloramento de xisto. B) Dobra apertada em afloramento de anfibolitos com presença de dobras parasíticas na porção central. C) Crenulações assimétricas em muscovita-quartzo xisto do domínio Caiapônia. D) Crenulações simétricas em muscovita xisto pertencentes ao domínio Caiapônia. E) Bloco rolado de anfibolito exibindo segregações de quartzo dobradas.

Ainda próximo à ZCR, observa-se a presença de estruturas do tipo *augen* e dobras em bengala, formadas a partir de veios de quartzo. Ambas as estruturas foram utilizadas como identificadores cinemáticos do Domínio Caiapônia, evidenciando movimentação tipicamente sinistral (Figura 6.6).



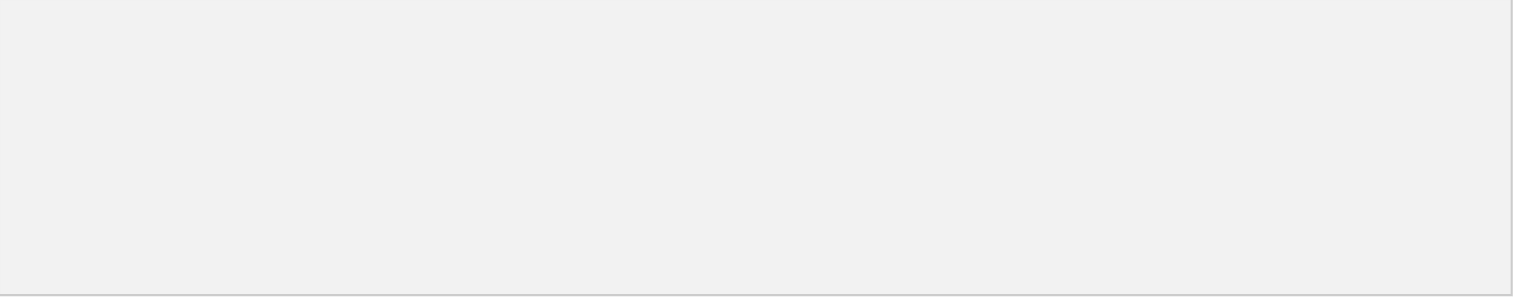
**Figura 6.6:** A) Estrutura tipo *augen* sinistral em afloramento de anfibolito. B) Dobra intrafolial formada a partir de veio de quartzo.

### 6.2.2 Arcabouço Rúptil

O arcabouço rúptil da Área VII é caracterizado majoritariamente por fraturas, juntas, veios e diques. Em menor escala, ocorrem estruturas associadas às zonas de cisalhamento. As estruturas rúpteis ocorrem em todos os domínios e, em geral, truncam as demais estruturas, o que caracteriza origem posterior à formação do arcabouço dúctil.

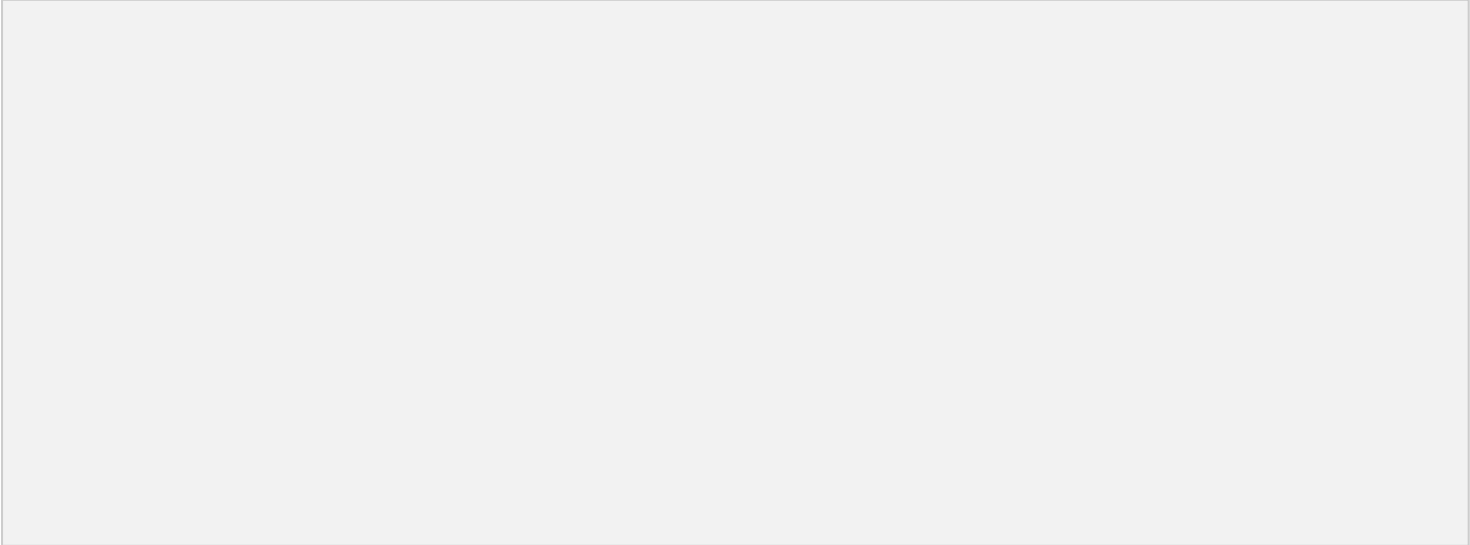
Fraturas e juntas são observadas em todos os domínios da Área VII. No total, foram registradas 73 medidas de fraturas, sendo 56 medidas do Domínio Caiapônia e 17 do Domínio Água Limpa (Figura 6.7). Essas estruturas frequentemente se organizam em famílias aproximadamente ortogonais. Ocasionalmente, observa-se o preenchimento das fraturas por quartzo leitoso e calcita. O espaçamento entre as fraturas exhibe variação, com intervalos medidos variando de 2 a 10 cm.

O diagrama de rosetas de fraturas revela predominância de fraturas de direção preferencial NNE-SSW (30°). Além disso, nota-se famílias de fraturas alternativas, uma de direção E-W (85°) e outra NW-SE (300°). Especificamente no Domínio Piranhas, as fraturas possuem praticamente uma única direção preferencial (NNE-SSW - 30°). Já no Domínio Caiapônia, a atitude das fraturas é muito heterogênea. Os mapas de DV e lineamentos magnéticos corroboram com as direções observadas para as estruturas.



**Figura 6.7:** Diagramas de roseta dos dados de fratura presentes na Área VII. A) Diagrama de roseta de todas as medidas de fratura. B) Diagrama de roseta do Domínio Piranhas. C) Diagrama de roseta do Domínio Caiapônia.

A ocorrência de veios de composição quartzosa e calcítica é observada em poucos afloramentos na Área VII. Em geral, os veios ocupam fraturas ou aproveitam o plano de foliação (Figura 6.8), principalmente, de xistos e anfibolitos.

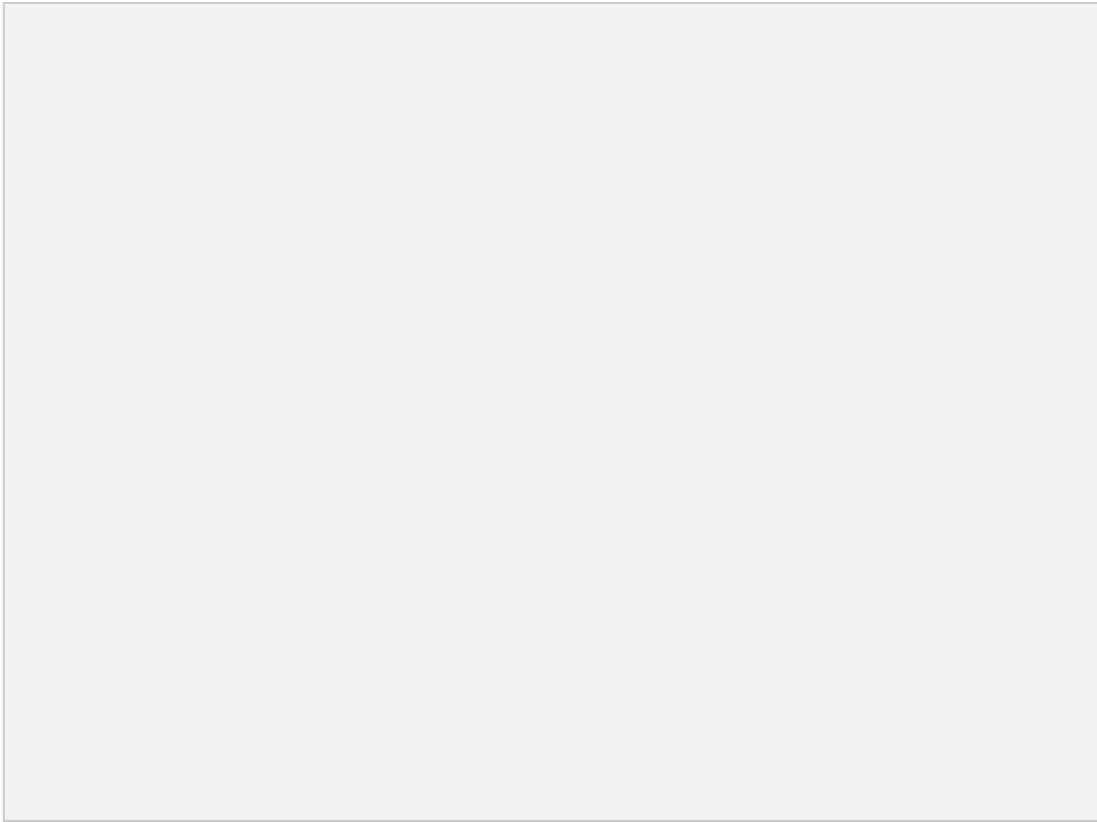


**Figura 6.8:** A) Veio de quartzo na direção da fratura em anfibolito. B) Veio de quartzo no plano da foliação em anfibolito da Unidade Córrego da Onça.

Os diques na Área VII são caracterizados por duas famílias composicionais de destaque: riolíticas e alcalinas. Além disso, no Domínio Piranhas, observou-se um dique granítico de granulação mais fina do que a encontrada nos granitos porfíricos comuns na unidade Gnaiss Água Limpa.

Os diques graníticos no Domínio Piranhas parecem ter explorado os planos de foliação e provavelmente são os diques mais antigos, uma vez que exibem deformações, conforme ilustrado na Figura 6.9.

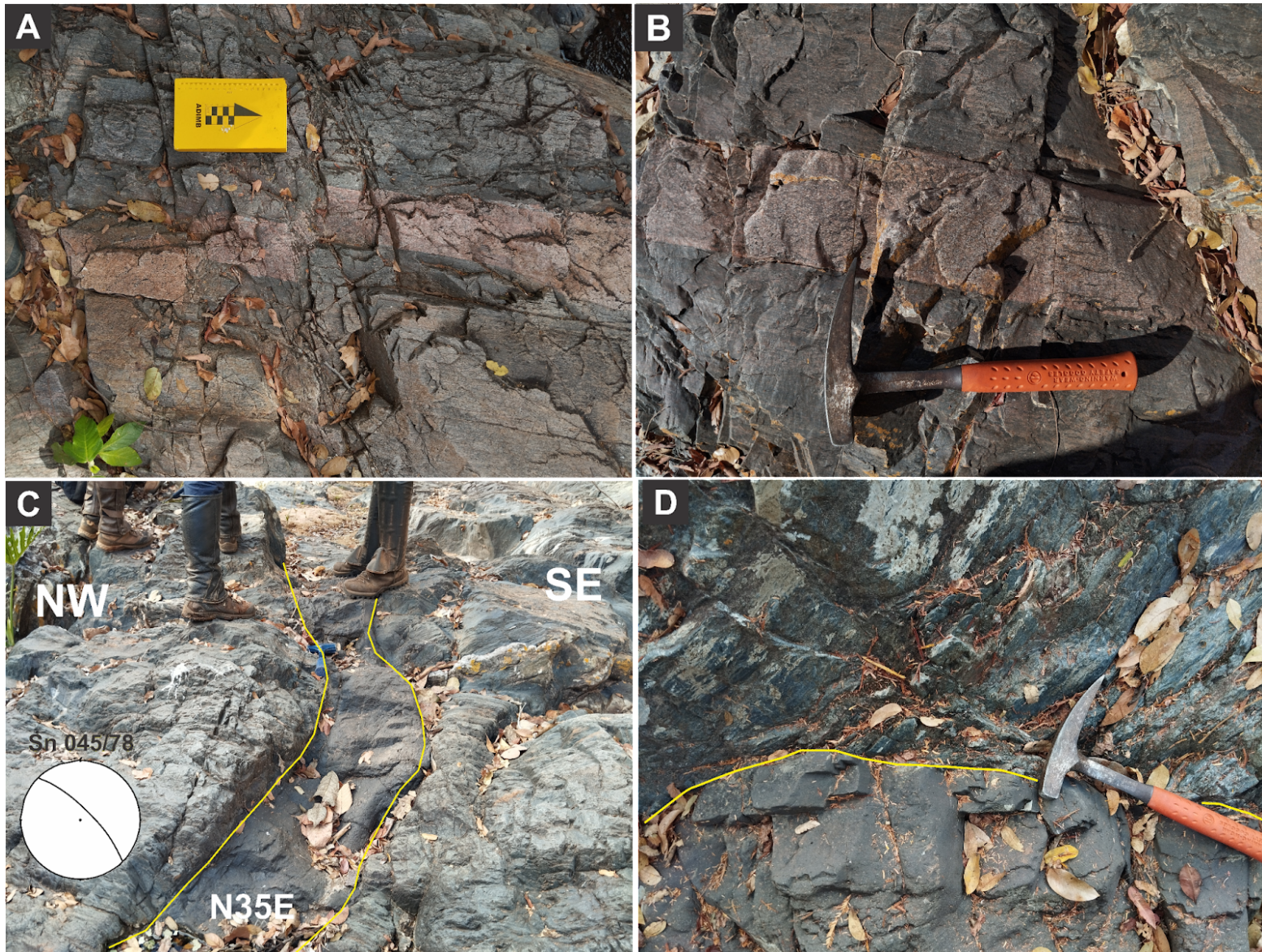




**Figura 6.9:** Injeção posterior de granulação média intrudindo granitos porfíricos grossos da unidade Granito Ribeirão Água Limpa.

Os diques alcalinos se manifestam como corpos contínuos, formando blocos *in situ*, que se estendem por dezenas a centenas de metros. São observados em todos os domínios e podem ocorrer truncando ou aproveitando planos de outras estruturas. Na maioria dos casos, esses diques seguem orientação preferencial E-W, embora também tenham sido identificados diques de grandes dimensões nas direções NW-SE e ENE-WSW.

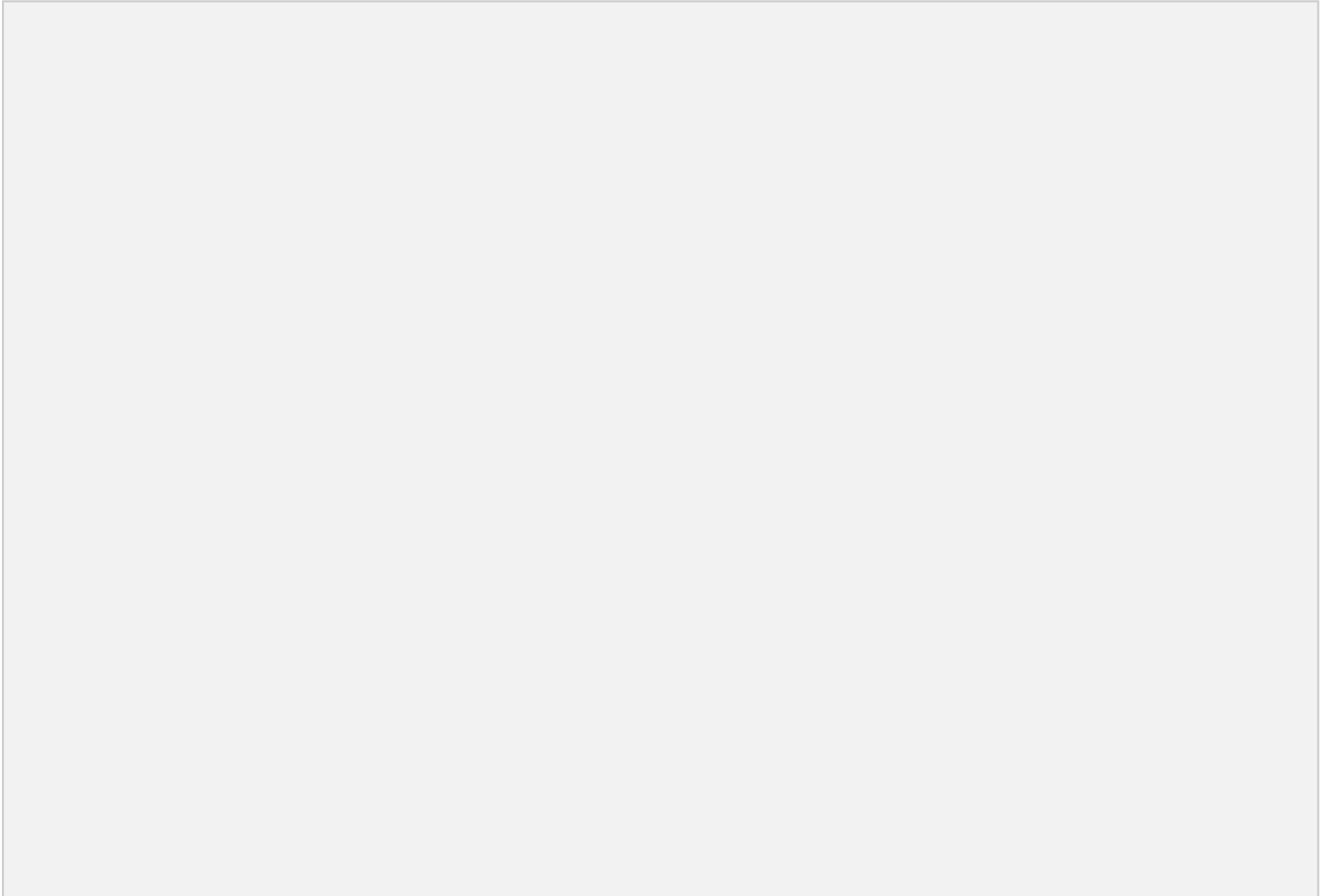
Localmente, nas proximidades do Córrego do Horácio, observam-se diques de composição riolítica que intrudem os anfíbolitos da Unidade Córrego da Onça pelo plano de foliação preferencial. Estes diques por vezes encontram-se falhados (Figura 6.10A). Quanto aos diques alcalinos, eles intrudem os anfíbolitos, tanto perpendicularmente quanto seguindo o plano de foliação (Figura 6.10C e D).



**Figura 6.10:.** A) Dique de composição riolítica fraturado e falhado. B) Dique riolítico intrudido em anfibolito. C) Dique alcalino cortando perpendicularmente a foliação de anfibolito. D) Dique alcalino intrusivo em anfibolito no plano da foliação.

Ainda neste domínio, são observadas evidências geológicas de movimentação puramente transcorrente. Essa afirmação tem como base a lineação de estiramento mineral ( $344/10^\circ$ ) observada no *strike-slip* da foliação ( $340/83^\circ$ ) de muscovita-quartzo xisto da Unidade Córrego da Onça (Figura 6.11A). Além disso, observam-se nos xistos máficos da mesma unidade, estruturas de cisalhamento do tipo dominó (*i.e. bookshelves*), que são importantes indicadores cinemáticos (Figura 6.11B). A ocorrência desta estrutura na Área VII é caracterizada por rotação antitética assimétrica de cinemática sinistral. A assimetria da rotação gera espaços

que, posteriormente, são preenchidos pela migração de fluido quartzoso ou carbonático.



**Figura 6.11:** A) Lineação de estiramento em quartzo-muscovita xisto nas proximidades das Vulcânicas Córrego do Horácio, caracterizando movimentação transcorrente. B) Xisto máfico da Unidade Córrego da Onça com estrutura *bookshelf* caracterizando uma cinemática sinistral. C) Anfibolito da Unidade Córrego da Onça exibindo deformação sinistral.

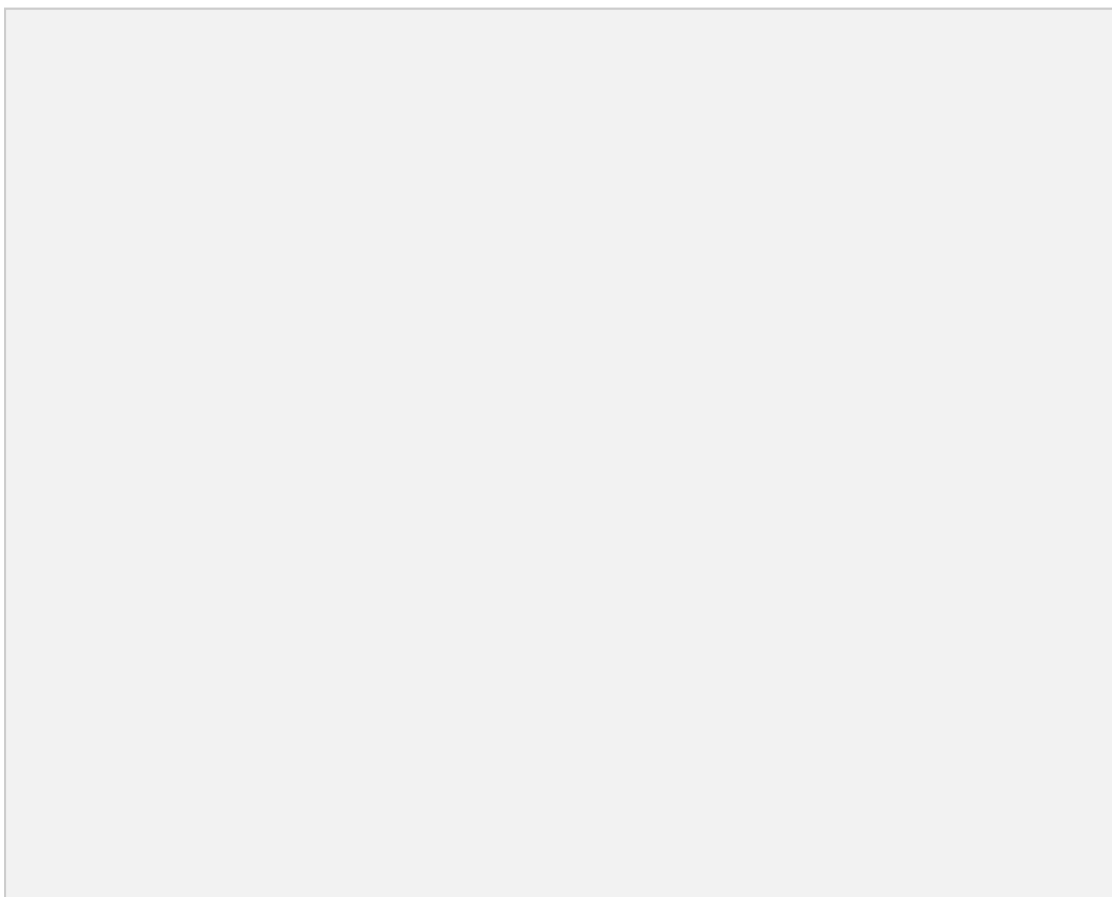
### 6.3. Microestruturas

As microestruturas são feições estruturais importantes para o melhor entendimento dos processos tectono-metamórficos, permitindo observar os mecanismos de deformação atuantes na área do Projeto Arenópolis. Este tópico visa descrever os mecanismos de deformação em microestruturas observados nas rochas da Área VII.

Próximo à Zona de Cisalhamento Ribeirão foram observadas feições microestruturais nas rochas das unidades Córrego da Onça, Gnaiss Arenópolis e Granito Serra do Tatu, dentro do Domínio Estrutural Caiapônia. Nos ortognaisses e



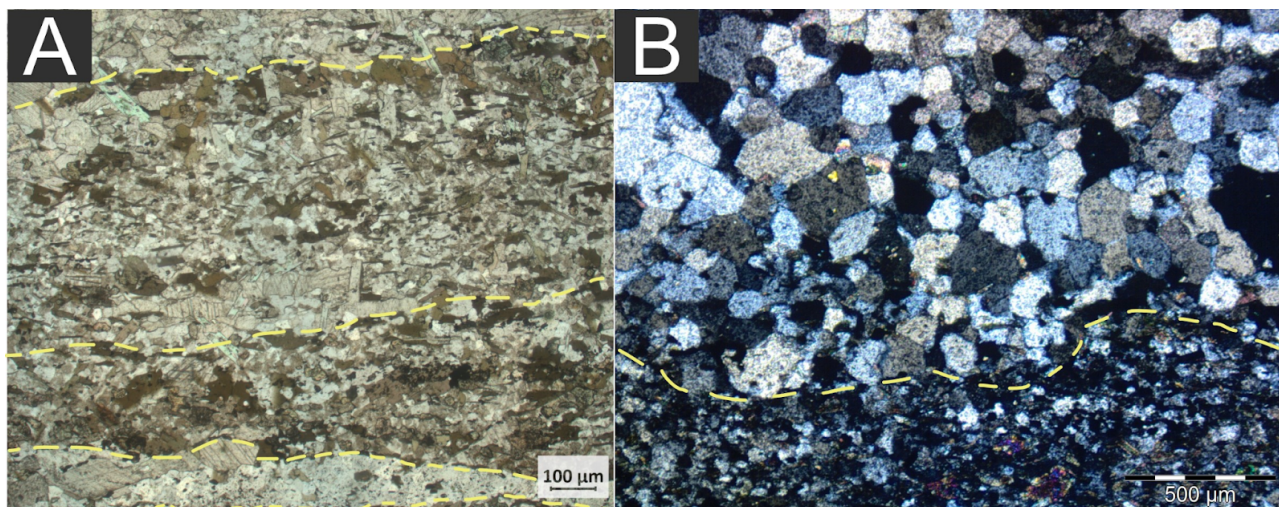
granitos miloníticos, quartzo se apresenta com feições de recristalização dinâmica caracterizada pela formação de novos grãos por mecanismo de rotação de subgrãos (SGR). Os grãos encontram-se aglomerados em *ribbons*, ligeiramente alongados e orientados segundo a foliação (Figura 6.11A). Ainda nestas rochas, foram identificados porfiroclastos de feldspato alcalino rotacionados (Figura 6.11B). Nos xistos máficos da Unidade Córrego da Onça observam-se fraturas preenchidas por calcita e quartzo alongado muito deformado (Figura 6.11C). Também, foram identificadas estiramento dos cristais de piroxênio, com eventuais fraturas preenchidas (Figura 6.11D).



**Figura 6.11: Fotomicrografias exibindo aspectos microestruturais em diferentes unidades do Projeto Arenópolis.** A) *Ribbon* de quartzo a nicóis cruzados em amostra do Gnaiss Arenópolis (TF23-VII-92). B) Fotomicrografia a nicóis cruzados de porfiroclasto de feldspato alcalino com movimentação horária em amostra não orientada do Granito Serra do Tatu (TF23-VI-101). C) Quartzo deformado a nicóis cruzados preenchendo fratura (TF23-VII-104). D) Cristais de piroxênio a nicóis descruzados estirados e fragmentos, com espaços preenchidos por quartzo (TF23-VII-104).

Ainda no Domínio Estrutural Caiapônia, na Unidade Córrego do Santo Antônio, pode-se observar no mármore impuro textura granoblástica e domínios

composicionais (Figura 6.12A). A textura granoblástica é definida por cristais recrystalizados de quartzo, que formam diferentes domínios microestruturais equigranulares diferenciados pelo tamanho dos cristais, que variam de fino a grosso (Figura 6.12B). Quartzo ocorre majoritariamente como agregados policristalinos com contatos retilíneos, tendendo ao poligonal.



**Figura 6.12: Fotomicrografias exibindo aspectos microestruturais em diferentes unidades do Projeto Arenópolis.** A) Fotomicrografia de mármore impuro com domínios composicionais delimitados em amarelo (TF23-VII-162). B) Fotomicrografia de mármore impuro com domínios microestruturais distintos caracterizados pela diferença de tamanho dos agregados recrystalizados de quartzo (TF23-VII-162).

## 7. Geologia Econômica

### 7.1. Potencial Econômico do Projeto Arenópolis

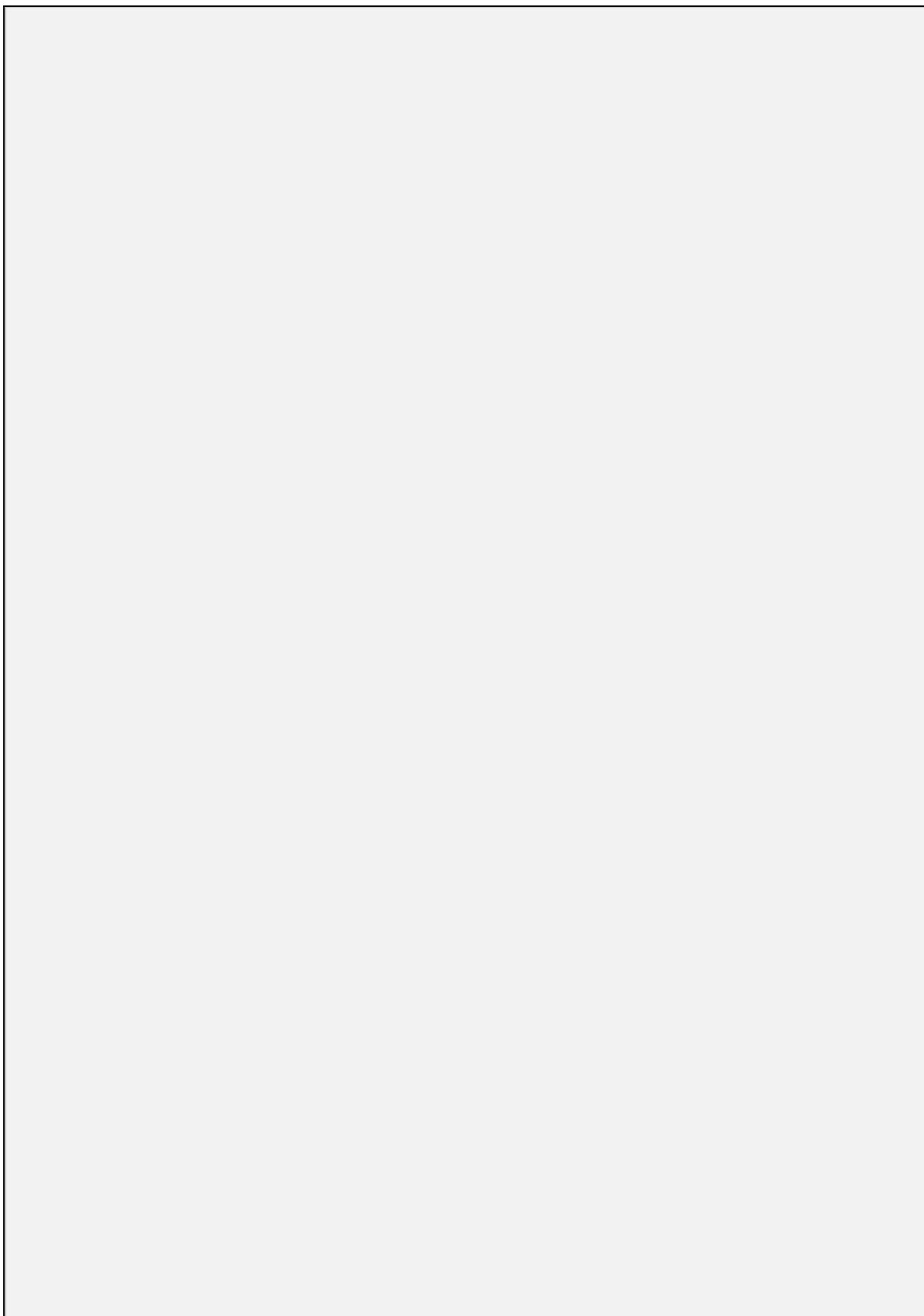
A área do Projeto Arenópolis apresenta ocorrências minerais de interesse econômico e potencialidades para depósitos de natureza metálica e minerais e rochas industriais. Nessa seção, serão abordados os potenciais sistemas mineralizantes que ocorrem na área do Projeto Arenópolis por meio de evidências adquiridas em trabalho de campo e auxílio de produtos geofísicos.

Conforme exposto por Pimentel (1985), na década de 1980, houve uma campanha de pesquisa mineral na área do Projeto Arenópolis, mais especificamente na área ocupada pela Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Os trabalhos de prospecção foram realizados pela B.P. Mineração e ocorreram pela análise de sedimentos de corrente com foco em Cu, Zn, Pb, Ni, Cr e Au. Como resultados, destacam-se os valores anômalos em Cu e Zn nos cursos do Córrego da Onça. As

anomalias de Zn apresentaram os valores mais elevados, comumente acima de 39 ppm, com *background* de 23 ppm, além de forte correlação com as anomalias de cobre.

No Relatório do Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás, Lacerda Filho *et al.* (2021) compilaram algumas informações a respeito de recursos minerais e do potencial metalogenético da porção oeste do Estado de Goiás. A Figura 7.1 traz um recorte do mapa de recursos minerais levantado pelos autores, para a região do Projeto Arenópolis.

No produto, são destacadas áreas com predominância de diferentes tipos de alteração hidrotermal, sendo possível perceber a epidotização em diversos locais, a tremolitização principalmente associada às rochas ultramáficas da unidade Córrego do Santo Antônio e a expressão de áreas hidrotermalizadas com presença de sulfeto associadas principalmente às unidades Gnaisse Arenópolis e Córrego da Onça. Também foram traçadas linhas de diferentes cores que demonstram distintas anomalias geoquímicas advindas de análises de sedimento de corrente ou de concentrados de bateia, as quais mostram que há anomalias de Cu, Pb, Cr e U no contexto do projeto. Por fim, são apresentadas algumas áreas potenciais para: IIb - Níquel, Cobalto, Cromo e vermiculita; IIc - Níquel, Cobalto, Cromo e Cobre; V - Manganês; VIII - Diamante e Ouro; XI - Calcário e XIV - Rocha Ornamental.



**Figura 7.1.** Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Modificado de Lacerda Filho *et al.* (2021).



O conceito de sistema mineral compreende os processos mineralizantes por meio do entendimento da compartimentação geológica local e regional. A importância de se entender os sistemas mineralizantes é cada vez maior, principalmente na indústria mineira, a fim de aumentar a capacidade exploratória de determinada área. Dessa forma, os sistemas minerais serão abordados conforme as afinidades metalogenéticas das ocorrências identificadas, de acordo com a classificação de Robb (2005), em modelos magmático-hidrotermais, hidrotermais (Sistema Aurífero Orogênico e Vulcanogênico) e sistema associado ao magmatismo alcalino.

#### **7.1.1. Sistema Magmático-Hidrotermal**

De acordo com Robb (2008), a palavra "*skarn*" é um antigo termo sueco que originalmente se referia às rochas compostas predominantemente por minerais calcissilicáticos, com granada rica em cálcio, piroxênio, anfibólio e epidoto que identificam as associações de alteração bastante incomuns. Atualmente, é amplamente utilizada para se referir à substituição metassomática de rochas carbonáticas (calcário e dolomito) por associações minerais calcissilicáticas durante processos metamórficos de contato ou regionais. Depósitos minerais relacionados a associações mineralógicas do tipo são denominados depósitos de skarn e são tipicamente o resultado de metamorfismo de contato e metassomatismo associados à intrusão de granito em rochas carbonáticas.

No Projeto Arenópolis, foi reconhecida uma associação de rochas calcissilicáticas na extremidade sul do Granito Serra do Iran. Vale ressaltar que a intrusão ocorreu na Sequência MVS Arenópolis-Piranhas, a qual apresenta lentes de mármore em diversas porções. O domínio calcissilicático compreende gnaisses constituídos por assembleia mineralógica de alteração hidrotermal com anfibólio, quartzo, epidoto, clorita, biotita, titanita e calcita. Essa mineralogia se assemelha à observada no estágio de alteração retrógrada em sistemas skarníferos, em que o resfriamento do plúton associado e o influxo de fluidos meteóricos geralmente é acompanhado da precipitação de metais. Embora não tenha sido observada mineralização relacionada ao sistema, nas Áreas II e III ocorrem *skarns* com veios de quartzo associados, que podem representar importantes vetores prospectivos para a região mineralizada.

### 7.1.2. Sistema Hidrotermal

O Sistema Aurífero Orogênico é caracterizado por mineralização de Au, comumente acompanhado de Ag, associada à sulfetação em estruturas de segunda ou terceira ordem (geralmente na forma de veios) em relação a zonas de cisalhamento. São sistemas epigenéticos, isto é, cuja metalogênese ocorre em contexto posterior à formação da rocha, como o próprio nome sugere, em deformação relacionada à orogênese. O metamorfismo relacionado a esses sistemas em geral é de fácies xisto verde a anfibolito, em condições mesocrustais entre 5 e 20 km de profundidade. A área do Projeto Arenópolis é composta por três sistemas anastomosados de zonas de cisalhamento que, em produtos geofísicos, apresentam continuidade em profundidade. Assim, a ocorrência de veios de quartzo conectados a essas estruturas pode constituir importante vetor prospectivo para a descoberta de depósitos desse tipo no projeto.

Outro sistema hidrotermal identificado na área do Projeto Arenópolis refere-se à ocorrência de sulfetos de cobre e malaquita nas rochas máficas da Unidade Córrego do Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Tais ocorrências foram identificadas com maior frequência na Área IX. Sulfetos de ferro, como pirita e pirrotita, foram identificados na unidade Córrego da Onça, associados a rochas metavulcânicas. Essas ocorrências são classificadas como um sistema vulcanogênico do tipo VMS (*volcanogenic massive sulfide*). Segundo Robb (2005), esse sistema geralmente está relacionado com a precipitação de metais a partir de soluções hidrotermais circulantes em ambientes submarinos vulcanicamente ativos.

### 7.1.3. Sistema associado ao magmatismo alcalino

O Corpo Arenópolis compreende uma associação de rochas alcalinas com afinidade sódica da série ijolítica. Sabe-se que é comum a ocorrência de carbonatitos como parte de um complexo intrusivo alcalino, em que estão associados com sequências de rochas alcalinas silicáticas, incluindo uma variedade expressiva de rochas ultramáficas a félsicas que ocorrem em áreas geologicamente estáveis, em contexto tectônico intraplaca, normalmente associados à movimentação de plumas mantélicas (Nascimento, 2018).

Atualmente, a área ocupada pelo Corpo Arenópolis está em processo de solicitação de lavra em análise para ilmenita (Figura 8.2) pela Terra Goyana

Mineradora. A ilmenita está entre os minerais mais comuns em complexos alcalino-carbonatíticos, juntamente com carbonatos, apatita, magnetita, pirocloro, flogopita, monazita, barita e sulfetos (pirita, pirrotita e calcopirita).

#### **7.1.4. Minerais e rochas industriais**

Conforme Ciminelli (2007), minerais e rochas industriais é um termo que engloba todas as rochas e minerais predominantemente não-metálicos, naturais ou sintéticos, aplicados em produtos e processos industriais, como matérias primas, insumos ou aditivos, em diversos segmentos industriais. como as indústrias de cerâmica, como materiais refratários, vidrarias, fertilizantes, alimentos, siderúrgicas, indústrias químicas e construção civil.

##### ***Cianita***

No que tange ao presente Projeto, vale ressaltar as ocorrências de cianita na Área IX, que são classificadas, segundo Bennet e Castle (1975), como um depósito do tipo cianitito. A cianita é utilizada industrialmente como refratário, ou seja, material resistente à expansão térmica, alto ponto de fusão e estável mecanicamente à altas temperaturas na forma de mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Dentre as principais aplicações da cianita e sua forma calcinada, a mulita, estão a construção de fundição, artigos para cozinha, abrasivos, moldes para fundição de materiais ferrosos e não-ferrosos (Joffily, *et al.*, 2008).

##### ***Mármore***

Na área do Projeto Arenópolis há ocorrências de mármore, principalmente na porção meridional associada à Unidade Córrego do Santo Antônio da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Os mármore observados possuem faixas centimétricas avermelhadas e esbranquiçadas, expressando a presença de calcita e quartzo. Observa-se ainda, faixas milimétricas de coloração cinza, com presença de quartzo, calcita, epidoto e anfibólio.

O mármore possui várias aplicações industriais. Entre elas, destaca-se o uso na construção civil, usado como matéria-prima na produção de cimento, concreto e argamassa. Além disso, o mármore tem destaque no ramo do agronegócio, sendo fonte essencial de cálcio e magnésio para as plantas e usado para neutralizar a acidez do solo, equilibrando o pH. Atualmente, na região do Projeto Arenópolis, esta *commodity* é explorada pela Mineração de Calcário Montividiu que possui

concessão de lavra para exploração de calcário e a Votorantim Cimentos está em fase de pesquisa, ambos na Área X do projeto (Figura 7.2).

### ***Talco***

Em algumas Áreas do Projeto Arenópolis, mais especificamente nas Áreas I, V, VI, IX e X, há ocorrências de talco associadas às rochas metaultramáficas da unidade Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Segundo Luz & Lins (2008), o talco possui diversas aplicações no setor industrial, em destaque para indústrias de cerâmicas, refratários, de produtos asfálticos, plásticos e entre outras que utilizam deste filossilicato como matéria prima devido às suas características cristalógicas.

### ***Areias e seixos***

Ao longo de todas as áreas do Projeto Arenópolis foram observados terraços aluvionares de areias e seixos presentes nas drenagens locais. Esses terraços estão localizados nas margens do Córrego da Areia, Córrego Ribeirão e Córrego da Onça. A extração de areia e seixos possui aplicações na forma de agregados para construção civil e produção industrial para fabricação de vidros e cerâmicas.

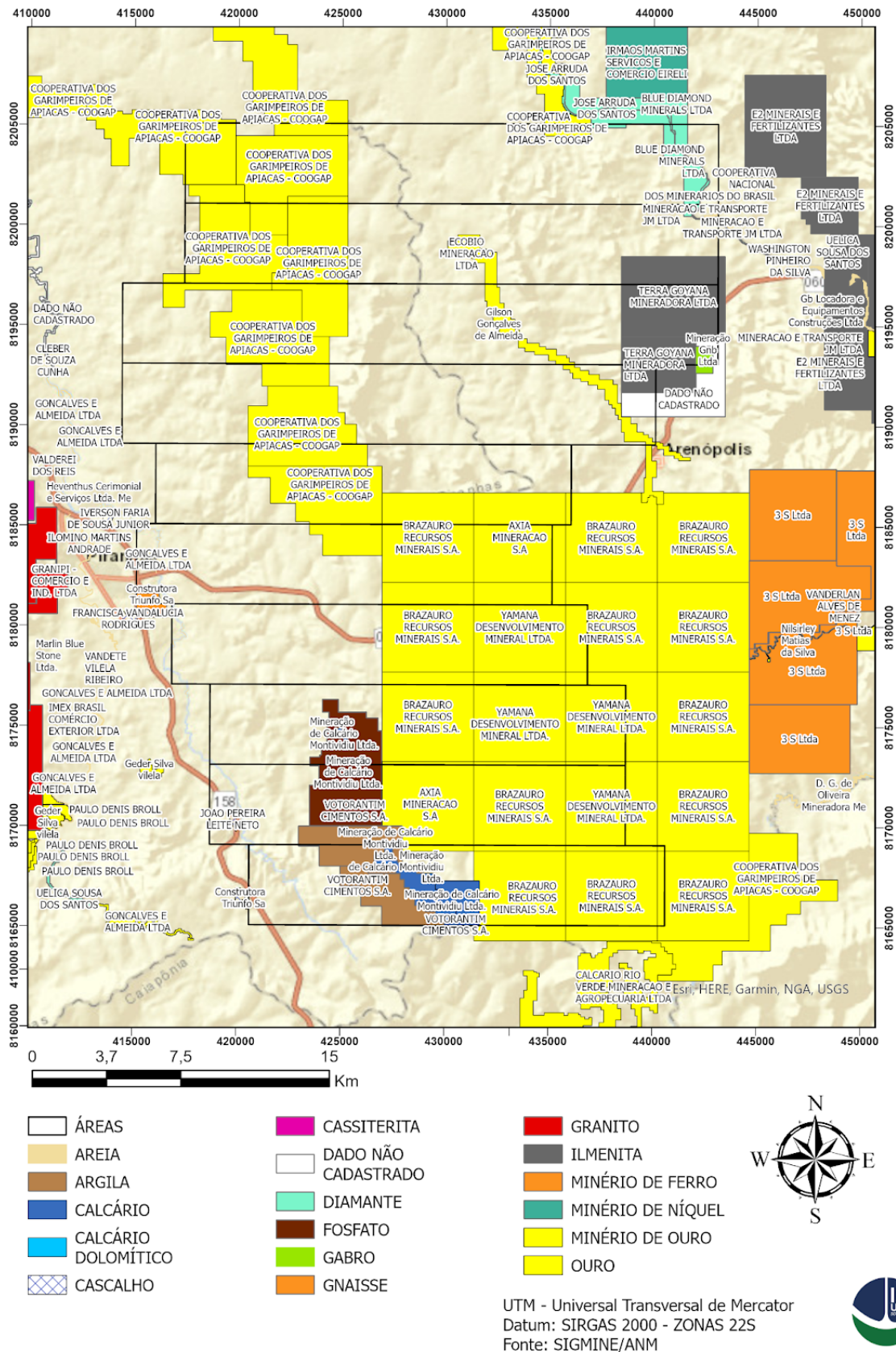
### ***Argilas***

A região do Projeto Arenópolis apresenta potencial para extração de argilas, já que apresenta regiões de baixa declividade e próximas a drenagens (várzeas) que possibilitaram o acúmulo de material argiloso. A extração de argila é importante para produção de cerâmica vermelha (telhas e tijolos) e para fabricação de cimento Portland a partir de argilas pozolânicas.

### ***Rochas ornamentais/revestimento***

Segundo a NBR 15012:2003, rocha ornamental é definida como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçãoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida), utilizado para exercer função estética e a mesma norma define rocha de revestimento como rocha natural que, submetida a processos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, e em obras de construção civil. Conforme Sossai (2006), o Brasil possui forte atuação no setor de produção de rochas ornamentais e/ou revestimentos no mercado mundial, prática que tem ótima aceitação das matérias primas brasileiras no mercado internacional, especialmente os granitos.

A cerca de 15km de Piranhas (GO), encontra-se a Pedreira Marlin Blue Stone Ltda que possui a finalidade da extração de blocos do Conglomerado Piranhas conhecido comercialmente como Verde Piranhas para fins ornamentais. Atualmente não há empresas explorando as rochas da área do projeto com este fins ornamentais e/ou de revestimento, contudo há potenciais rochas que se encaixam nos requisitos devido a sua coloração (estética) e seu baixo grau de fraturamento: Granito Serra do Iran localizado no centro das cinco primeiras áreas do projeto, Granito Ribeirão Água Limpa exposto em praticamente todas áreas do projeto no extremo ocidente e o Conglomerado Piranhas restrito à Área VI, rocha que é explorada com finalidade ornamental em outra região dentro do limites de Piranhas no qual a rocha é conhecida como Verde Piranhas.



**Figura 7.2.** Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

## **7.2. Recursos Minerais da Área VII**

Os recursos minerais encontrados na Área VII incluem rochas industriais, agregados para construção civil e remineralizadores. As ocorrências metálicas estão concentradas em outras áreas do Projeto Arenópolis, como elucidado no capítulo anterior. Na Área VII foi observada apenas a ocorrência de gonditos, que podem apresentar potencial para a formação de depósitos residuais de enriquecimento supergênico.

### **7.2.1. Sistema Residual/Supergênico**

O sistema supergênico está relacionado à mineralização resultante das alterações físicas e químicas das rochas submetidas ao intemperismo, o que leva ao enriquecimento de um mineral de relevância econômica. Para a formação de depósitos, os processos supergênicos devem atuar sobre protominérios, tais como gonditos, escarnitos, queluzitos e anfibolitos manganésíferos. O enriquecimento mineral depende, no entanto, da mobilidade dos elementos. Elementos menos móveis permanecem no manto de intemperismo, e os elementos mais móveis são lixiviados. No final do processo, ocorre a concentração química dos elementos de menor solubilidade, gerando os depósitos de enriquecimento residual.

No caso da Área VII, observa-se a ocorrência de gonditos intercalados nos xistos da Unidade Córrego do Santo Antônio, na SMVS Arenópolis-Piranhas. Embora a presença de gonditos não indique necessariamente a existência de um depósito mineral, esse protominério pode servir como importante indicador prospectivo para a presença de depósitos de enriquecimento intempérico e de crostas lateríticas manganésíferas. Juntamente com gonditos, a ocorrência frequente de crostas lateríticas também pode ser melhor investigada, uma vez que podem apresentar teores anômalos de manganês, evidenciando assim o potencial econômico da área.

### **7.2.2. Remineralizadores**

Os remineralizadores são rochas ou outros materiais de origem mineral que sofreram redução por processos mecânicos e que melhoram a fertilidade do solo, a partir da adição de macro e micronutrientes para plantas e melhoramento físico e químico do solo (SGB/CPRM, 2022). O uso deles serve como alternativa para a



utilização de fertilizantes solúveis, em especial aqueles de base NPK, produtos que o Brasil é altamente dependente de importação.

O potencial exploratório para a prospecção de áreas de remineralizadores tem como uma das principais condicionantes a química mineral das rochas alvo, que devem apresentar enriquecimento em elementos considerados macronutrientes, tais como P, K, S, Ca, e Mg, além de outros micronutrientes.

A Área VII do Projeto Arenópolis abriga rochas com potencial para serem utilizadas como agrominerais silicáticos. As rochas metaultramáficas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas se destacam pelo seu considerável potencial como remineralizadores, uma vez que possuem composições ricas em Ca e Mg, além de serem pouco resistentes ao processo de cominuição. Além disso, as rochas alcalinas, amplamente distribuídas na região, também apresentam elevado potencial, uma vez que, além de serem compostas por minerais ferromagnesianos ricos em Ca e Mg, podem conter níveis significativos de K, sobretudo quando a flogopita está presente. Em menor quantidade na Área VII, os mármores também podem ser utilizados como remineralizadores. A existência de pedreiras de mármore nas áreas mais ao sul, pode auxiliar a viabilizar plantas de beneficiamento de remineralizadores como subproduto dessa atividade, permitindo também expandir o aproveitamento destas rochas em outras porções do Projeto Arenópolis.

### **7.2.3. Minerais e Rochas Industriais**

De acordo com Ciminelli (2005), Minerais e Rochas Industriais são todas as rochas e minerais, sejam naturais ou sintéticos, cujas propriedades físico-químicas permitem sua utilização como matéria prima para a atividade industrial. Esses recursos têm aplicabilidade na indústria de construção civil, cerâmica, refratários, cimento, fertilizantes, metalurgia, química, celulose, vidros, tecnologia, entre outros. Na Área VII foram identificados potenciais de aplicação industrial em ocorrências de areia, grafita, talco e rochas ornamentais.

A areia e, ocasionalmente, seixos são observados ao longo de canais de drenagem e tendem a se acumular nas concavidades dos canais. A areia também pode ser encontrada nos solos quartzarênicos associados aos terrenos graníticos das unidades Gnaiss Água Limpa e Granito Serra do Tatu. Os depósitos de areia tendem a apresentar composição quartzosa, com seleção moderada a alta e granulometria de areia fina a grossa. Os eventuais acúmulos de seixos são

encontrados nas porções centrais de canais de drenagem, expostos em leitos de rios secos. Esses materiais podem apresentar potencial como matéria-prima industrial, agregados para construção civil e ornamentos para fins paisagísticos.

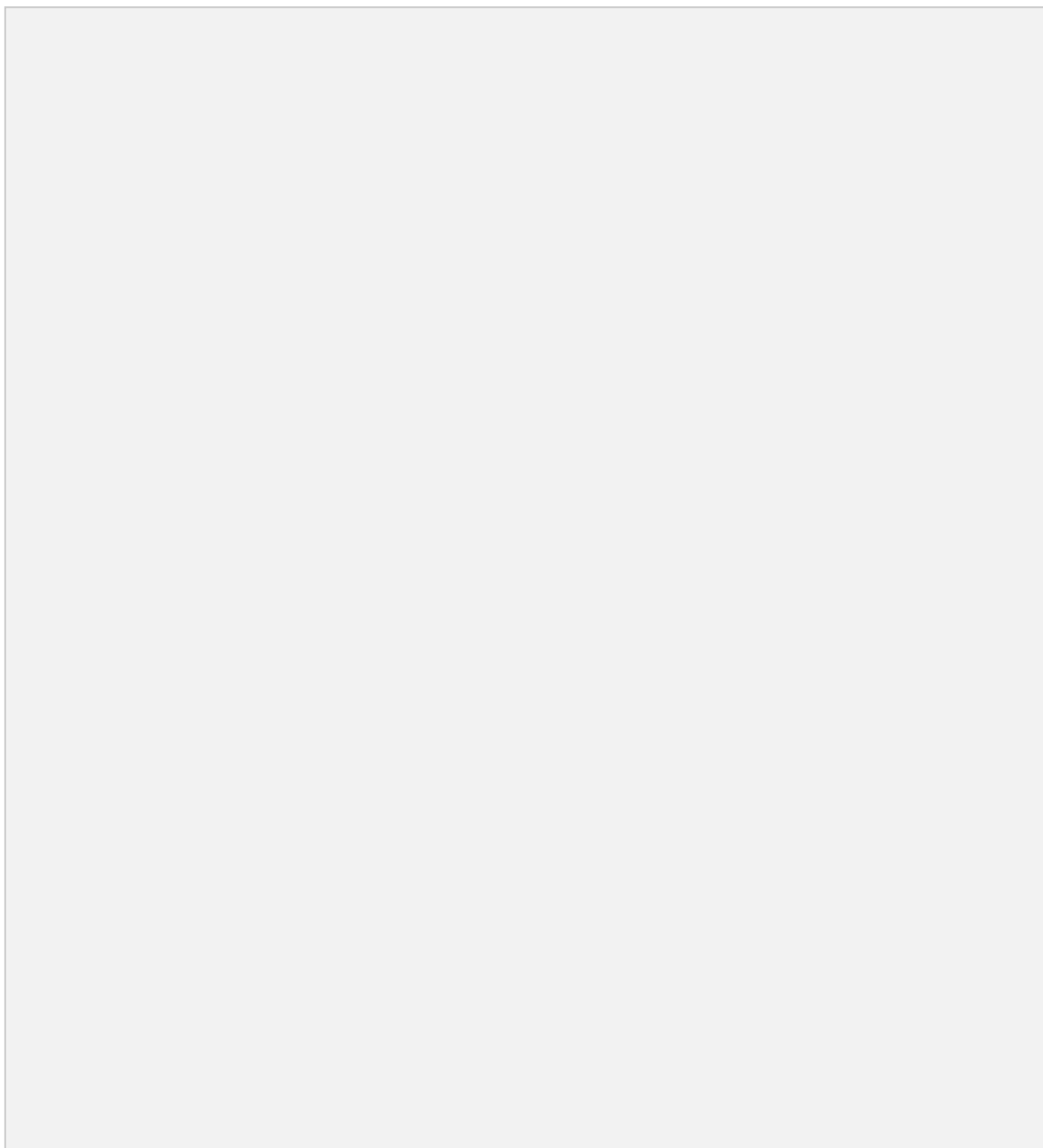
As rochas ornamentais são definidas como material rochoso natural que quando submetido a diferentes graus de beneficiamento ou afeiçoamento pode ser utilizado para exercer uma função estética, como em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário, entre outros (ABNT, 2013). Na Área VII as rochas com potencial de aplicação para fins ornamentais estão no Gnaiss Água Limpa, Granito Serra do Tatu e na Unidade Córrego do Santo Antônio.

O Gnaiss Água Limpa destaca-se pelos granitos de granulação média a grossa de coloração róseo-esbranquiçada, com grandes cristais de feldspato alcalino orientados segundo uma mesma direção, semelhantes ao Granito Rosa Iracema (Figura 7.3A). Em menor proporção, ocorrem granitos miloníticos marcados por forte alteração hidrotermal, que se destacam por suas tonalidades esverdeadas e seu caráter exótico.

O Granito Serra do Tatu apresenta destaque como rocha ornamental devido às suas ocorrências como granito porfirítico de granulação grossa na sua porção central e como granito milonítico bem foliado em suas bordas. Sua ocorrência se assemelha ao Amarelo Ornamental (Figura 7.3B).

Os mármorees da Unidade Córrego do Santo Antônio ocorrem apenas em uma lente intercalada com xistos dentro da unidade, porém apresenta potencial como rocha ornamental devido às suas singularidades. Estas rochas apresentam-se bandadas com comuns ondulações devido ao seu caráter dúctil e com tonalidades que variam majoritariamente entre branco e cinza, com destaque para bandas formadas por calcita rósea.

Os mármorees encontrados na Unidade Córrego do Santo Antônio estão limitados a uma lente inserida entre os xistos da unidade. No entanto, podem possuir um potencial como rochas ornamentais devido às suas características singulares e exóticas. Essas rochas exibem bandamentos composicionais, apresentando ondulações devido à sua natureza dúctil. Suas tonalidades predominam entre o branco e o cinza, com ênfase especial em bandas rosadas compostas por calcita. Apesar de apresentarem mineralogias distintas, os mármorees assemelham-se visualmente ao Granito Rosa Raissa (Figura 7.3C).



**Figura 7.3:** A) Comparação entre o Gnaiss Água Limpa em sua fácies granítica porfirítica e o Granito Rosa Iracema. B) Comparação entre o Granito Serra do Tatu em sua fácies protomilonítica grossa e o Amarelo Ornamental. C) Comparação entre mármore da Unidade Córrego do Santo Antônio e o Granito Rosa Raíssa.

## 8. Evolução Tectônica

O propósito deste capítulo é introduzir as fases de evolução tectônica das unidades mapeadas no Projeto Arenópolis, utilizando modelos propostos na literatura, em conjunto com os dados estruturais e petrográficos coletados durante a execução do projeto. O enquadramento geotectônico do Projeto Arenópolis está situado na Província Tocantins, no Orógeno Brasília. Essa área tem sua estruturação influenciada pela colisão entre os crátons do São Francisco, Amazônico e Paranapanema, com o desenvolvimento do Lineamento Transbrasiliano (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970). O desenvolvimento do Orógeno Brasília abrange a evolução do Arco Magmático de Goiás durante o Neoproterozóico. Essa evolução inclui estágios de arco intra-oceânico, colisão arco-continente, colisional a pós-colisional e extensional, conforme o modelo proposto por Lacerda Filho *et al.* (2021).

A evolução do Arco Magmático de Goiás é descrita nos segmentos Mara Rosa e Arenópolis, com dois principais eventos magmáticos: o primeiro, em ambiente de arco intra-oceânico, com a geração de magmatismo com idade entre 920 e 800 Ma; e mais tarde, magmatismo em ambiente de arco continental que ocorreu entre 660 e 630 Ma (Pimentel *et al.*, 2000; Brito Neves *et al.*, 2014).

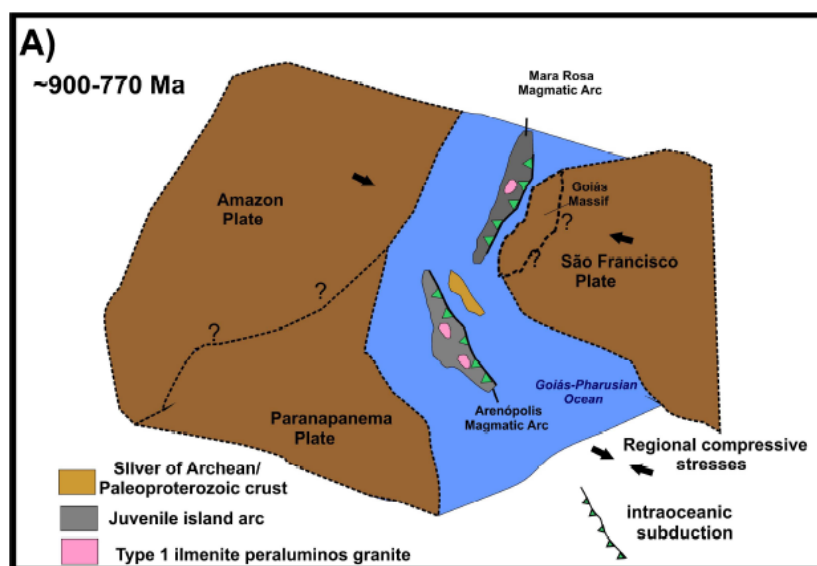
A evolução tectônica do Projeto Arenópolis (Tabela 8.1) pretende contribuir com entendimento da geodinâmica da região entre Piranhas e Arenópolis, levando em consideração o modelo inicialmente proposto por Pimentel (1985) e posteriormente por Lacerda Filho *et al.* (2021). As interpretações foram realizadas com base em observações de campo, análises petrográficas do Projeto Arenópolis, e dados geoquímicos disponíveis no relatório do Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás (2021) do SGB-CPRM.

**Tabela 8.1:** Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente às unidades do Projeto Arenópolis.

Estágio Tectônico	Fase Evolutiva	Evidência	Unidade
<b>Paleoproterozóico (2300-2000 Ma)</b>	Bloco Alóctone	Dados isotópicos Rb-Sr e TDM Sm-Nd.	Gnaiss Ribeiro (1816 ± 110 - Rb-Sr)
<b>Arco Intra-Oceânico Neoproterozóico - Toniano (900-800 Ma)</b>	Arco Vulcânico ou Bacia de Forearc	Geoquímica - Anomalia de Sr e Ba (Hattingh, 2020).	Unidade Córrego da Onça (900 ± 8 - U-Pb)
	Prisma de acreção	Rochas típicas de assoalho oceânico (metamorfizadas), justapostas por rochas sedimentares químicas e siliciclásticas (Carneiro <i>et al.</i> 2021; TF 2023).	Unidade Cór. Santo Antônio - Idade máxima de sedimentação ~900Ma
	Equivalente plutônico da SMVS Arenópolis-Piranhas - Edifício de arco de ilhas.	Geoquímica - granitos não-fracionados formados em ambientes pré-colisão de placas com evidência de enriquecimento por subducção (Hattingh, 2020).	Gnaiss Arenópolis (899 ± 7 - U-Pb)
	Contemporâneo ao Gnaiss Arenópolis. Intrudiu o Gnaiss Ribeiro	Geoquímica - Contaminação com crosta continental arqueana (Pimentel <i>et al.</i> 2003).	Gabro Morro do Baú (890 ± 6 - U-Pb)
<b>Arco Continental - Colisional Neoproterozóico - Criogeniano (670-600 Ma)</b>	Arco vulcânico ao estágio colisional	Sistemas de ZC (TF 23); Heterogeneidade isotópica pode indicar contaminação de granitogênese pós tectônica (Pimentel <i>et al.</i> 1985).	Granito Serra do Tatu (692 ± 110 - Rb-Sr)
		Assinatura geoquímica de adakitos: geração de magmas a partir da fusão de crosta oceânica (alto Nb/Yb e Th/Yb) e alojamento em crosta continental (altas razões Th/Yb).	Granito Ribeiro Água Limpa (639 ± 3 - U-Pb)
<b>Colisional a Pós-Colisional Neoproterozóico - Ediacarano (590-560 Ma)</b>	Final do estágio colisional	Geoquímica - razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.70382 (Pimentel & Fuck, 1987) e $\epsilon\text{Nd}(t)$ entre -4,2 e +1,5 (Hattingh, 2020). Dados sugerem origem mantélica e crustal.	Granito Rio Caiapó (587 ± 20 - U-Pb)
	Pós-Colisional	Geoquímica - $\epsilon\text{Nd}(t)$ de -2.7 a +2.0 (Hattingh, 2019); Caráter bimodal do magmatismo e sem deformação no centro do plúton (TF 23).	Granito Serra do Iran (564 ± 5 - Rb-Sr)
<b>Extensional (Paleozóico - Cambriano)</b>	Bacia Intracratônica	Formação Furnas e Ponta Grossa; Conglomerado Piranhas (TF 23).	Grupo Paraná
<b>Intraplaca Mesozóico - Cretáceo (135-63 Ma)</b>	Pluma ou soerguimento do manto	Datação - idades entre 94 ± 5 e 74.3 ± 1.6 Ma (Sonoki and Garda, 1988). Complexo alcalino carbonatítico Arenópolis (Danni, 1976; TF 23)	Complexo Arenópolis (94 ± 5 - K-Ar)

### 8.1. Estágio de Arco Intra-Oceânico

A formação do Arco Magmático de Goiás é marcada pelo fechamento do Oceano Goiás-Farusiano (Kröner & Cordani, 2003; Caby, 1994; Valeriano *et al.*, 2004). Enquanto a formação do segmento Mara Rosa é iniciada pela aproximação dos Crátons Amazônico e São Francisco, a geração do segmento Arenópolis é iniciada a partir do movimento convergente entre os crátons Paranapanema e do São Francisco, conforme o modelo de Marques (2017) e detalhado na Figura 8.1.



**Figura 8.1:** Fechamento do Oceano Goiás-Farusiano com desenvolvimento das primeiras assembleias de arcos intra-oceânicos (cerca de 900 a 770 milhões de anos). Adaptado de Marques (2017).

De acordo com Laux *et al.* (2005), a história evolutiva do Arco Magmático Goiás se inicia com a geração de arcos intra-oceânicos, o qual é representado por rochas metamáficas com idades entre 890 e 815 Ma e ortognaisses e granitóides com idades entre 821 e 782 Ma. Nesse período se formaram, inicialmente, o arco de Arenópolis-Piranhas, seguido pelo arco de Anicuns-Itaberaí. Associadas a estes arcos, houve o desenvolvimento de bacias do tipo *forearc*, *backarc* e zonas de trincheira, com sedimentação e derrames de rochas vulcânicas.

No cenário do Projeto Arenópolis, o estágio de arco intra-oceânico é representado pelo Gnaisse Arenópolis, o qual foi descrito como ortognaisse metaluminoso de composição tonalítica. A idade de  $899 \pm 7$  Ma (Pimentel *et al.*, 1991) indica que estaria relacionado aos primeiros eventos de formação do arco.

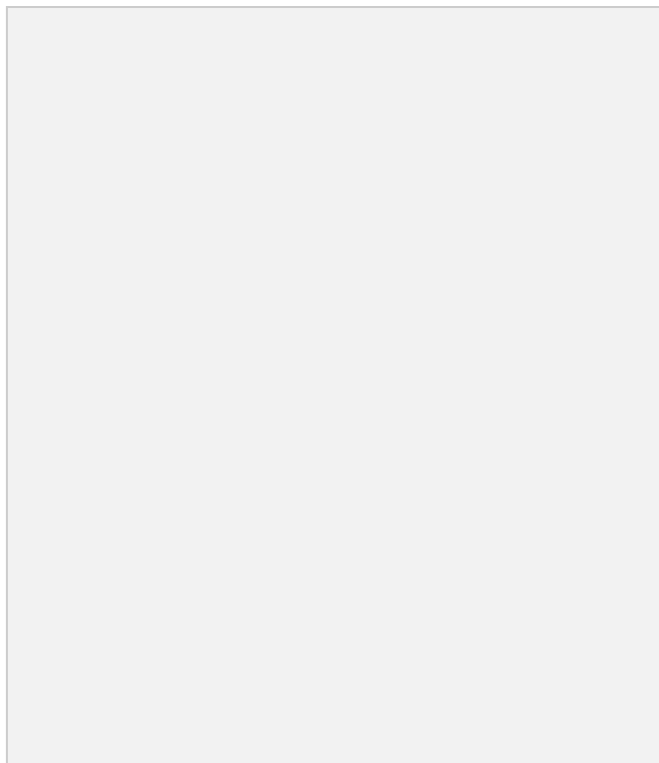
Concomitantemente, mais para oeste (na posição atual), havia sedimentação na zona de trincheira (Carneiro *et al.*, 2021) a qual daria lugar à Unidade Córrego do Santo Antônio, da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Os anfibolitos da Unidade Córrego da Onça poderiam ter sido formados no próprio arco de ilhas (Pimentel, 1985) ou em bacia de *forearc*. A obducção de parte dessa crosta oceânica, junto com os sedimentos de trincheira, geraria mais tarde a superposição de lascas de rochas máficas e ultramáficas ao lado de rochas carbonáticas pertencentes a uma provável plataforma carbonática (Figura 8.3).

Além disso, dados litogeoquímicos apontam para magmas de série calci-alcalina, com granitos formados em ambiente pré colisão, com evidências de enriquecimento por subducção (Hattingh, 2020). Ademais, Rodrigues *et al.* (1999) mostram que diferentes ortognaisses do Segmento Arenópolis, apresentam caráter metaluminoso (Pimentel & Fuck 1992b, Viana *et al.* 1995). Na Figura 8.4 evidencia-se tal caráter do Gnaiss Arenópolis.

O modelo proposto pelo Projeto Arenópolis inclui as rochas da Unidade Córrego da Onça em ambiente de bacia de *forearc*, uma vez que foram mapeadas rochas metavulcânicas máficas e intermediárias intercaladas com rochas metassedimentares. O diagrama de Pearce (1996) permite a classificação dos protólitos de anfibolitos, pertencentes às unidades da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas, como basaltos toleíticos (Figura 8.2).

O fato de haver sequências de trincheiras, junto com espessa sequência de basaltos intercalados com rochas sedimentares, principalmente químicas, aponta para um modelo de *Shallow “Benioff Style Subduction”* (Chelle-Michou *et al.*, 2022). Os autores defendem que a placa oceânica entra em subducção com ângulo aproximado de 45°. Essa interpretação corrobora o modelo inicialmente proposto por Pimentel (1985) e posteriormente por Carneiro *et al.* (2021).





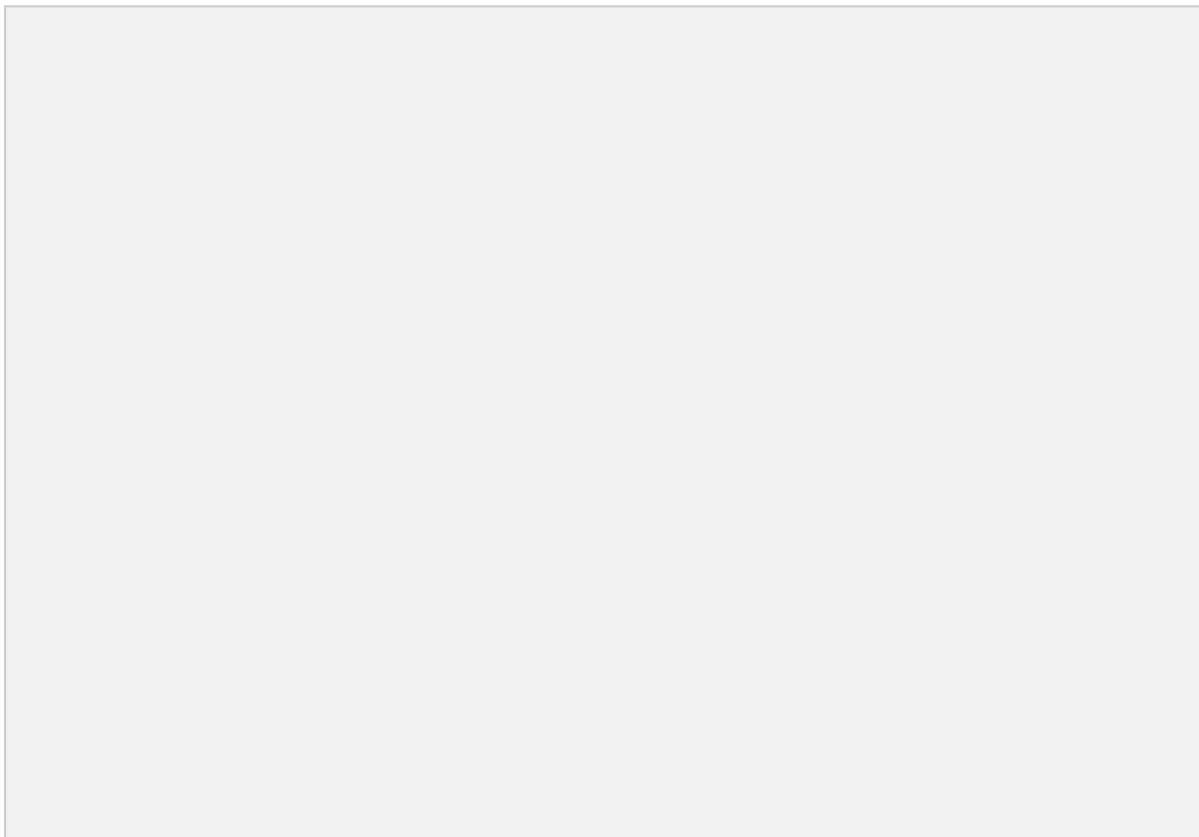
**Figura 8.2:** Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

O Gabro Morro do Baú tem idade de cristalização de  $890 \pm 6$  Ma (Pimentel *et al.*, 2003). A idade indica que essa intrusão é contemporânea, ou um pouco mais jovem que as rochas vulcânicas da Unidade Córrego da Onça. No Projeto Arenópolis, o Gabro Morro do Baú aflora na Área X, em aparente contato intrusivo com o Gnaiss Ribeirão e Gnaiss Arenópolis a leste e com a Unidade Córrego do Santo Antônio a oeste.

A composição isotópica de Nd do Gabro do Morro do Baú,  $T_{DM}$  de 2.8 Ga e  $\epsilon Nd$  negativo de  $-8.7$ , indica contaminação com material siálico arqueano (Pimentel *et al.* 2003). No Projeto Arenópolis o Gabro Morro do Baú foi mapeado em contato com o Gnaiss Ribeirão e com a Unidade Córrego do Santo Antônio. Dessa forma, considerando a idade de  $1816 \pm 110$  (Pimentel *et al.*, 1992) no modelo proposto (Figura 8.3), o Gnaiss Ribeirão é uma das unidades encaixantes do Gabro Morro do Baú e pode ser a fonte de contaminação observada pelos dados Sm-Nd.

Considerando todas as informações mencionadas, é proposta, assim como de Lacerda Filho *et al.* (2021), subducção no estágio de arco intra-oceânico com mergulho para leste. Pimentel (1985) propõe a mesma polaridade de subducção, com base em metamorfismo crescente em direção à oeste na Unidade do Córrego

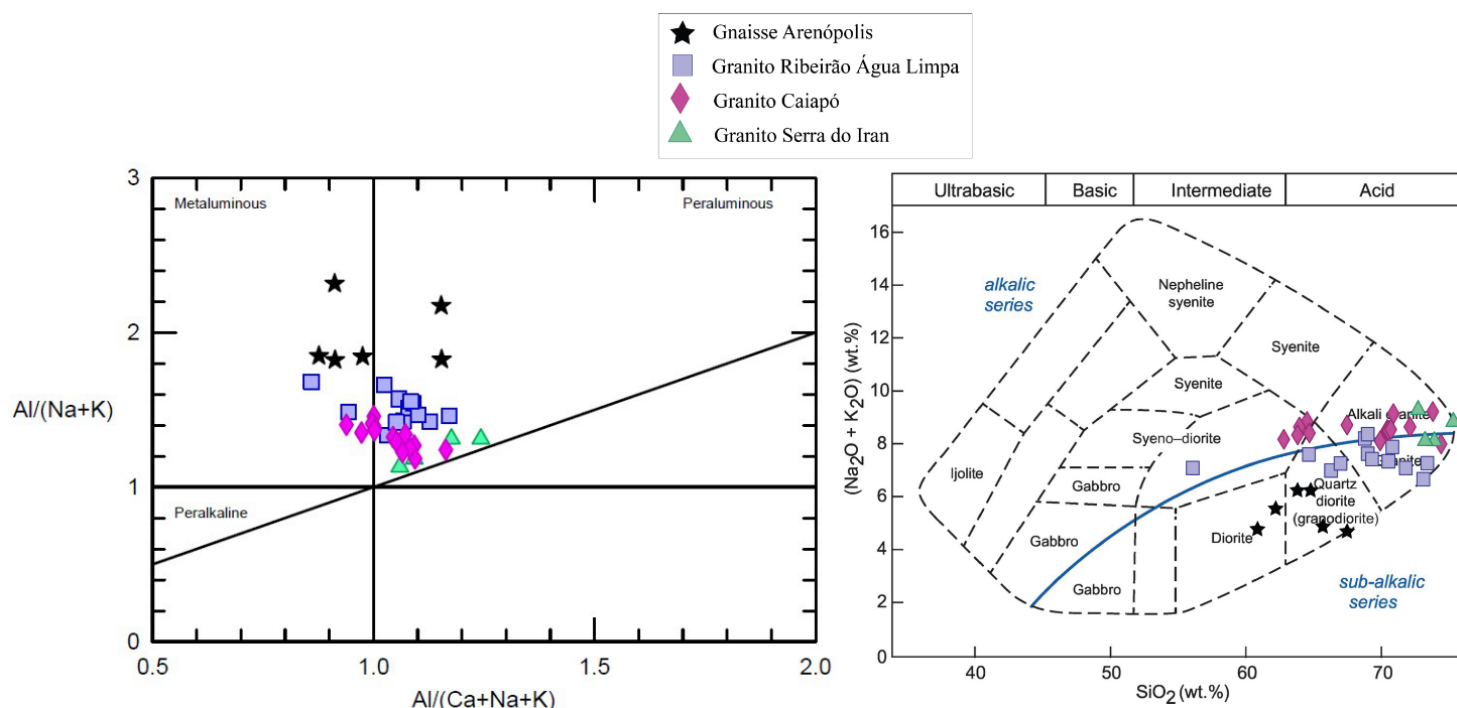
Santo Antônio. As unidades Córrego Santo Antônio e Córrego da Onça representam a zona de trincheira e bacia *forearc*, respectivamente. O Gabro Morro do Baú representa um corpo plutônico intrudido e associado a esse estágio, enquanto o Gnaiss Arenópolis representa o próprio edifício vulcânico. É interessante destacar que o Gnaiss Arenópolis também foi identificado a oeste do Gnaiss Ribeirão. Até o momento não existem idades mais acuradas e geoquímica desses dois gnaisses para colocá-los em contexto mais preciso dentro da evolução.



**Figura 8.3:** Modelo evolutivo do estágio de arco intra-oceânico na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda Filho *et al.* (2021).

## 8.2. Estágio Arco Continental - Colisão Continente-Continente

O estágio Arco continental-Colisão Continente-Continente é caracterizado por magmatismo misto de fontes juvenis e crustais por volta de 670 a 600 Ma. Nessa fase de acreção do AMG, observa-se aumento de magmas calci-alcalinos, peraluminosos, com aumento de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , além de diagramas multielementares e padrões de ETR condizentes com contaminação crustal, sendo também obtidos valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  cada vez mais negativos (Frasca, 2015).

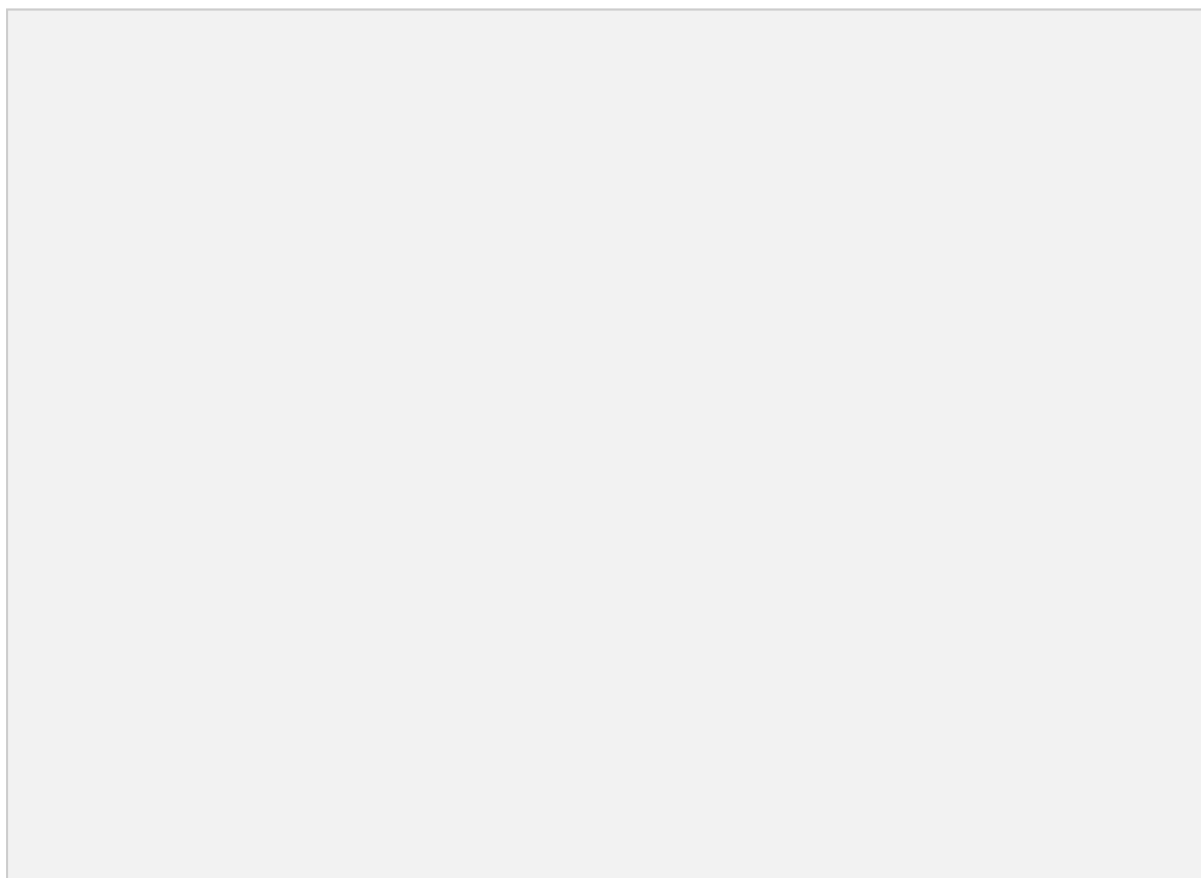


**Figura 8.4:** Diagrama de classificação do índice de Shand (alumina-saturação) à esquerda e diagrama TAS para todas as unidades plutônicas e metaplutônicas do Projeto Arenópolis à direita. Fonte: SGB-CPRM (2021).

No contexto do Projeto Arenópolis, as unidades que representam o magmatismo relacionado a esse estágio são o Granito Serra do Tatu, o Granito Ribeirão Água Limpa e o Granito Rio Caiapó, conforme mostra o modelo proposto na Figura 8.5. O Granito Serra do Tatu representa granito tipo-S de caráter peraluminoso, com idade de  $690 \pm 110$  Ma, obtido pelo método Rb-Sr por Pimentel (1985). É caracterizado por se apresentar fortemente milonitizado. Já o Granito Ribeirão Água Limpa constitui rochas metaplutônicas graníticas a tonalíticas milonitizadas. Hattingh *et al.* (2021) obtiveram, pelo método U-Pb, idade de  $692 \pm 3$  Ma para a unidade. Os resultados geoquímicos indicam que são rochas calci-alcalinas e peraluminosas, com padrão de ETR e razão  $K_2O/Na_2O$  que permitem classificá-las como adakitos de alto K, além de apresentarem baixas concentrações de HFSE em padrões ETR normalizados para condrito. Essas características foram consideradas pelos autores para interpretar que o Granito Ribeirão Água Limpa tem fonte mantélica profunda, em contexto de extremo espessamento crustal e consequente fusão parcial da quilha eclogítica delaminada. O entendimento dos autores contribui com o modelo proposto pelo Projeto

Arenópolis, permitindo estabelecer a formação da unidade em fase avançada de subducção em ambiente de arco continental.

Seguindo o modelo apresentado por Lacerda Filho *et al.* (2021), o Granito Ribeirão Água Limpa representaria o Arco Continental do Arco Bom Jardim, localizado a oeste. Fica ainda a esclarecer, em função da idade, se o Granito Serra do Tatu é um dos representantes desse estágio no Arco de Arenópolis-Piranhas. Diversos corpos gabro-dioríticos e graníticos com e sem deformação foram encontrados durante o mapeamento. Possivelmente estejam relacionados com este momento da evolução, mas não existem até o presente dados isotópicos e geoquímicos para fazer essa correlação. Não obstante, o estágio de Arco Continental parece ter sido muito restringido no tempo para o Arco Arenópolis-Piranhas.



**Figura 8.5:** Modelo evolutivo do estágio de arco continental na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda Filho *et al.* (2021).

No presente modelo (Figura 8.5), o Granito Rio Caiapó foi colocado no estágio final da colisão continente-continente. Ele tem idade de  $587 \pm 17$  Ma

(Pimentel & Fuck, 1994) e características geoquímicas de granitos tipo-I, típicas de arco. Não obstante, a idade, o erro analítico poderia indicar que este granito é mais antigo, descartando sua relação com o magmatismo granítico bimodal pós-Brasiliano mais antigo (entre ca. 590 a 560 Ma, Pimentel *et al.*, 1987b, 1996b e 1999). As evidências de campo, como zonas de cisalhamento, foliação e evidências de deformação em microestruturas em amostras tanto das bordas quanto no centro do corpo corroboram a hipótese de que o mesmo estaria relacionado aos estágios finais da colisão continente-continente e não ao ambiente pós-colisional.

### **8.3. Estágio Colisional-Pós Colisional: magmatismo bimodal em ambiente transicional**

A evolução do Arco Magmático Goiás se deu pelo fechamento do Oceano Goiás-Farusiano e está correlacionada com o amálgama do continente Gondwana. Este então, é seguido pelo desenvolvimento de mega-cisalhamento denominado Lineamento Transbrasiliano (Schobbenhaus, 1975), o qual é composto por diversas zonas de cisalhamento que se estendem até a base da litosfera (*sub-continental lithospheric mantle* - SCLM). O lineamento, então, atua como uma série de condutos para a ascensão, estocagem e posteriormente, anatexia. Com isso, se dá origem ao magmatismo bimodal e granitos do tipo-A (Vauchez & Tommasi, 2003; Pirajno, 2010).

Segundo Pimentel *et al.* (1987b, 1996b e 1999), o magmatismo bimodal pós-Brasiliano pode ser resumido em dois eventos distintos: (i) um mais antigo entre ca. 590 a 560 Ma e (ii) um mais recente entre ca. 508 a 485 Ma. Ambos os episódios apresentam grupos de granitóides metaluminosos, contendo razões  $K_2O/Na_2O > 1$ , bem como afinidades transicionais entre calci-alcalinas a calci-alcalinas de alto-K. O grupo de granitóides de idades mais antigas é similar a granitos do tipo-I, ao passo que os mais jovens seriam comparáveis a granitos do tipo-A. Além disso, ambos os grupos apresentam razões isotópicas de Sr e Nd com razões iniciais de Sr entre 0.703-0.710 e  $\epsilon_{Nd}(T)$  entre -4.6 a +3.0, compatíveis com fusão de granitóides e rochas metavulcânicas de arco mais antigo. Ainda, Pimentel *et al.* (1999) atribuem a origem deste magmatismo bimodal à fusão crustal acarretada por intensa produção de calor, possivelmente relacionada a episódio de *underplating* de magmas mantélicos na base da crosta continental. No modelo tectônico proposto (Figura 8.6) tal evento seria promovido por mecanismo de

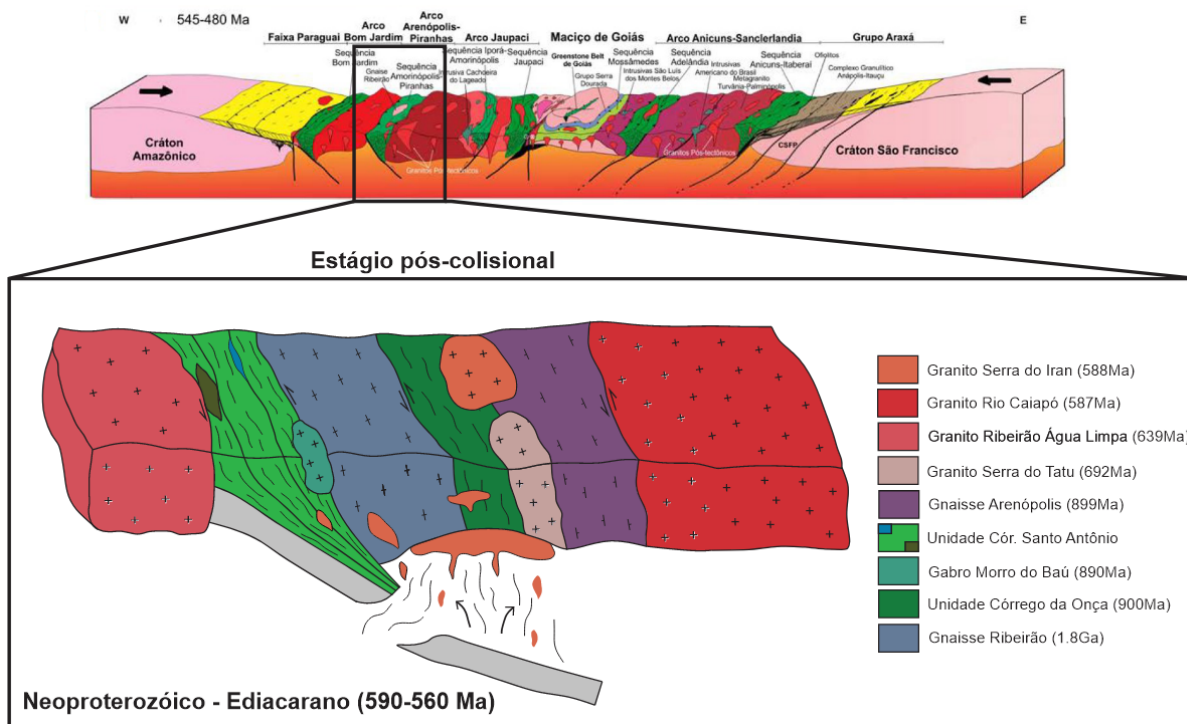
*slab-breakoff* (Davies & Blanckenburg, 1995; Atherton & Ghani, 2002), após os últimos estágios da Orogenia Brasileira. Este mecanismo de *slab-breakoff* é responsável pelas denominadas “janelas astenosféricas”, ou seja, a subida do manto astenosférico, descompressão, fusão parcial e *underplating* e magmas na base da crosta.

As unidades que estão inseridas nesse contexto e presentes no Projeto Arenópolis corresponde ao Granito Serra do Iran. Vale ressaltar que, embora o Granito Rio Caiapó ( $587 \pm 17$  Ma, Pimentel & Fuck 1994) e o Granito Serra do Iran ( $588 \pm 17$  Ma, Pimentel & Fuck 1994) tenham idades próximas, o erro analítico, a geoquímica e as relações de campo observadas durante o mapeamento permitem interpretar que os dois corpos não foram alojados no mesmo momento da evolução no estágio *tardi* a pós tectônico.

Enquanto o Granito Rio Caiapó apresenta zonas de cisalhamento, foliação e evidências de deformação em microestruturas em amostras, tanto das bordas, quanto no centro do corpo, o Granito Serra do Iran se mostra com características predominantemente isotrópicas no centro do corpo. Dessa forma, as zonas de cisalhamento desenvolvidas apenas nas bordas indicam alojamento do plúton nos últimos estágios do período colisional. Conforme Pimentel *et al.* (1985), o Granito Serra do Iran se destaca pelo caráter isótropo da trama, ao contrário do Granito Rio Caiapó, e constitui um pequeno plúton no qual se desenvolveu uma auréola termal na sequência xistosa encaixante.

Por fim, ao longo dos estágios finais de transpressão sinistral ao longo da região, entende-se que houve a nucleação de um domínio transtrativo de mesma cinemática. A atuação de tectônica distensiva geraria, então, ao longo da Unidade Córrego da Onça e do Granito Serra do Tatu, o equivalente a uma bacia do tipo *pull-apart* com rampas extensionais com direção E-W a WNW-ESE em cisalhamento NNW-SSE. Tal deformação seria responsável pela geração e principalmente, intrusão de diques riolíticos, paralelos ao cisalhamento NNW-SSE. De maneira subordinada, ao longo dos sítios extensionais nessa bacia, houve a colocação de diques riolíticos de menor escala, com direção E-W. Desse modo, compreende-se que a extensão E-W gerada atuou como sistema de encanamento para ascensão de magma ácido. Sendo assim, pela ausência de deformação presente ao longo dos diques, é possível afirmar que a unidade Córrego do Horácio foi gerada no final do evento deformacional transpressivo. Isto se dá em função da presença apenas de

estruturas de fluxo localizadas e domínios não deformados relacionados a resfriamento tardio.



**Figura 8.6:** Modelo evolutivo do estágio pós-colisional na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda Filho *et al.* (2021).

#### 8.4. Estágio Extensional

O estágio extensional é o mais recente evento na área de estudo, de idade fanerozóica, tendo ocorrido após o estágio compressivo e o soerguimento do orógeno. Nesse estágio há o predomínio de falhas e juntas, que ocorrem a partir de reativações de estruturas mais antigas do embasamento, em direção preferencial aproximadamente N-S, o que gerou feições como *grabens* e bacias marginais (Lacerda Filho *et al.* 2021). Esse estágio inicial de graben, com o aporte de material oriundo do Arco Magmático de Goiás, foi o que deu origem à Formação Piranhas (Pimentel, 2016). Esta formação é representada no presente projeto pelo Conglomerado Piranhas, que aflora em estreita faixa de direção N-S em *graben* inserido no Granito Ribeirão Água Limpa. Sua gênese está relacionada à deposição molássica em decorrência de aulacógeno ordoviciano (Faria *et al.*, 1975).

A deposição da Bacia do Paraná também está relacionada a esse estágio, tendo ocorrido durante o Ordoviciano-Siluriano, em que as reativações de estruturas do embasamento geraram depressões alongadas, que controlaram a deposição dos



sedimentos da Bacia do Paraná. Inicialmente, com os sedimentos do Grupo Rio Ivaí, e depois dos arenitos da Formação Furnas e transição gradual para os sedimentos mais finos da Formação Ponta Grossa (Devoniano) em ciclos transgressivo-regressivos, ambas presentes no sul da área do Projeto Arenópolis (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

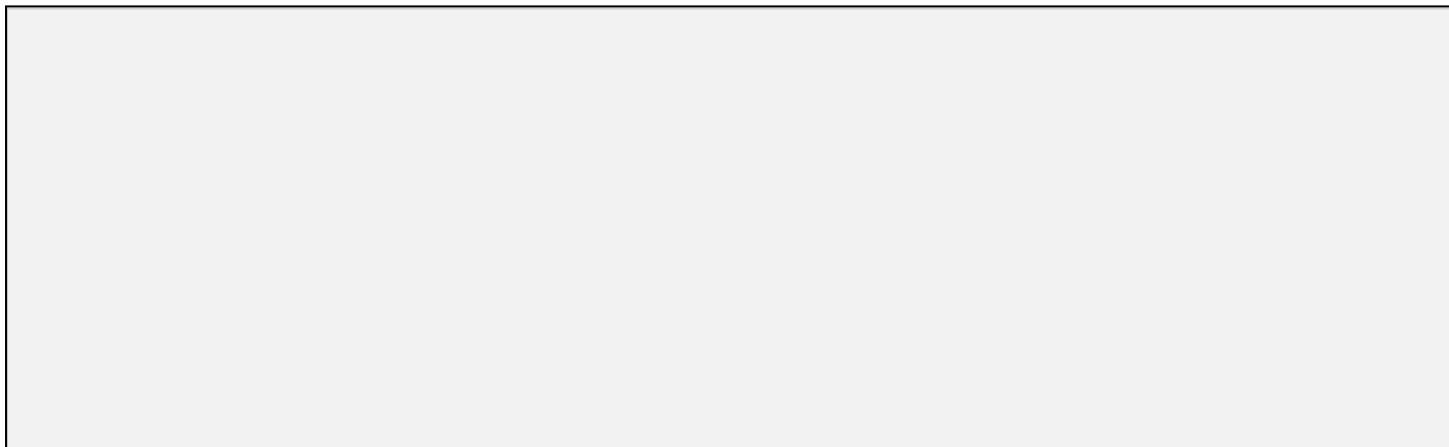
Em relação às estruturas rúpteis presentes na área de estudo, podem ser correlacionadas ao Lineamento Az 125°. Essas estruturas foram o lugar de ascensão de magmas básicos relacionados à Pluma Trindade há cerca de 90 Ma, que é o evento responsável pelos corpos alcalinos da Suíte Alcalina Iporá, presentes na área de estudo (Crough *et al.*, 1980; Gibson *et al.*, 1995b, 1997b; Thompson *et al.*, 1998).

### 8.5 Magmatismo alcalino

Uma das teorias sugeridas na petrogênese do magmatismo alcalino cretáceo no Brasil decorre do modelo de plumas mantélicas, apoiando-se em evidências geofísicas (e.g Gibson *et al.*, 1999). De acordo com esse modelo, a Província Alcalina de Goiás representa um local com intrusões alcalinas ao longo de uma trilha direcionada para sudeste, também chamada de Lineamento Azimute 125. Nesta interpretação a pluma foi desviada para sul em direção à litosfera mais fina, onde gerou a Província Serra do Mar entre 85 e 55 milhões de anos (Thompson *et al.*, 1998).

Entretanto, novos modelos sugerem a origem de magmas alcalinos a partir do soerguimento do manto litosférico subcontinental metassomatizado em processo de rifteamento. De acordo com Ferreira *et al.* (2022), a fusão derivada do manto pode ser consequência de episódios de rifteamento e células convectivas do manto, ou seja, a incidência de um ponto quente ou um ponto de fusão do manto não seria necessária. Os autores propõem que a extensão litosférica pode ser o modelo mecânico mais aplicável para a geração do magmatismo alcalino e toleítico do Mesozóico na América do Sul. Esse mecanismo inclui a reativação de estruturas profundas herdadas da colagem orogênica do Neoproterozóico, atuando assim como condutos de magma ou reservatórios temporários, conforme o modelo proposto pelos autores na Figura 8.7. A colocação das províncias alcalinas em terrenos formados por processos anteriores de subducção e colagem orogênica,

teria enriquecido o manto de forma mais eficiente em  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e elementos incompatíveis (Ferreira *et al.* 2022).



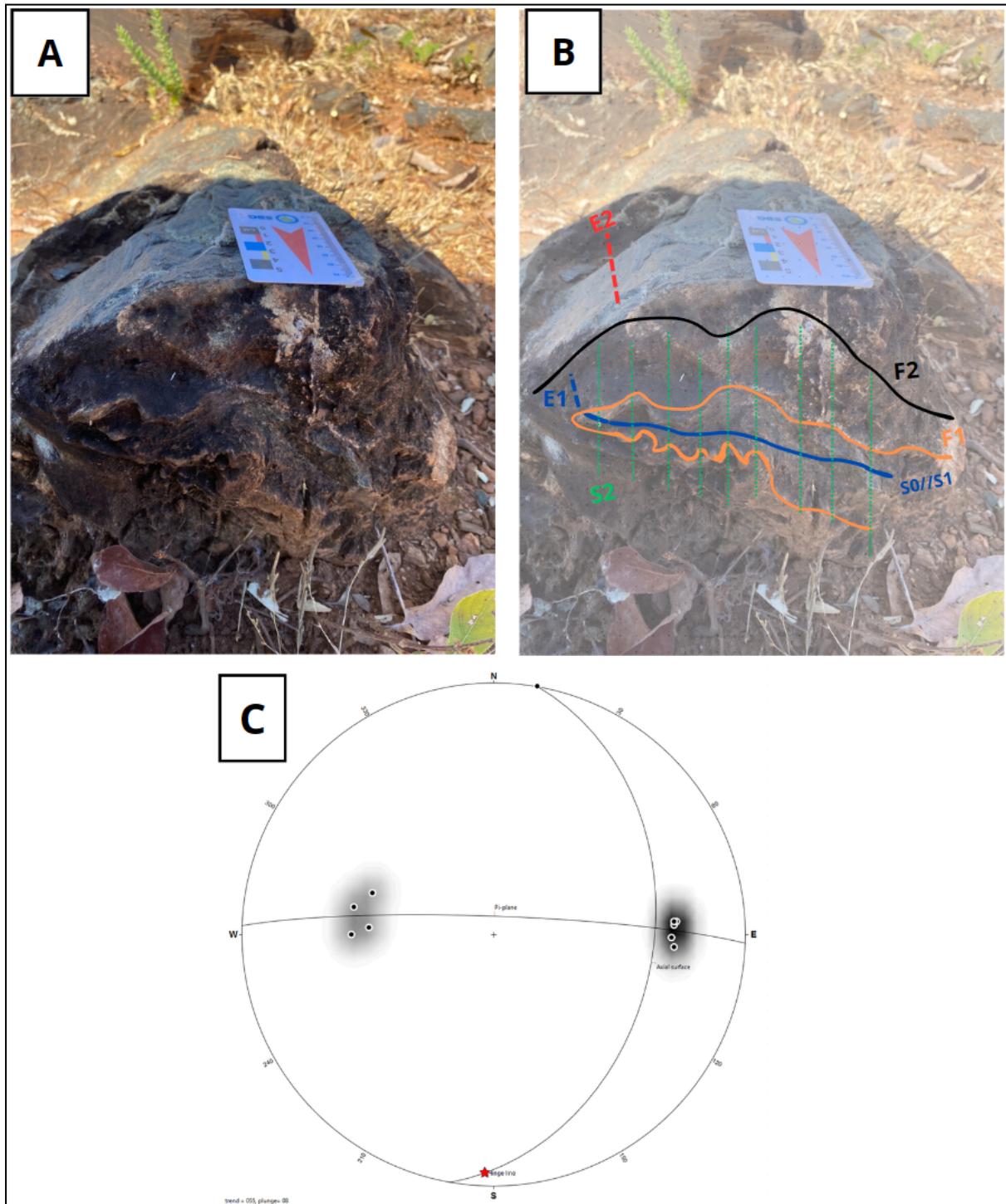
**Figura 8.7:** Modelo proposto por Ferreira *et al.* (2022) para a evolução da litosfera facilitando a colocação dos magmas toleíticos e alcalinos de aproximadamente 130 milhões e 80 milhões de anos. Adaptado de Ferreira *et al.* (2022).

## 8.6 Fases de deformação e metamorfismo

Um dos aspectos que ficaram evidentes durante o trabalho de campo do Projeto Arenópolis diz respeito à natureza polideformada da região, envolvendo feições estruturais complexas, como sobreposições, estilos de dobramentos variados, distintas gerações de foliações, lineações e fraturas. Deste modo, por meio da integração das informações de campo, foi possível construir uma concepção de eventos metamórficos e deformacionais e, logo, relacioná-los com as fases da evolução tectônica na escala do mapeamento.

O estágio de Arco Intra-oceânico (Figura. 8.3) é vislumbrado a partir de uma fase ( $D_{n-1}$ ) de natureza compressional e orientação geral E-W, responsável por gerar sistemas de empurrões, falhas oblíquas e dobramentos pelo surgimento das primeiras zonas de subducção. Este cenário é estabelecido em regime dúctil-rúptil, sob condições metamórficas de fácies xisto-verde. Além disso, as superfícies iniciais ( $S_0$ ) de deposição das camadas vulcanossedimentares e edifícios vulcânicos experienciaram um primeiro evento ou fase de dobramentos ( $F_1$ ), gerando foliações plano-axiais ( $S_1$ ). Estas são então redobradas por uma segunda fase de dobramentos ( $F_2$ ) que transpõe e paraleliza as superfícies  $S_0$  e  $S_1$ . Os elementos desta primeira fase de deformação são de difícil identificação em campo, porém em alguns casos é possível abstraí-los pela exibição de dobras apertadas,

recumbentes, com eixos horizontais, se manifestando entre planos dos dobramentos  $F_2$  (Figura 8.9).



**Figura 8.9:** (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente à Unidade Córrego do Santo Antônio (416244E/8190590S), evidenciando (B) o padrão de interferência de dobra  $F_2$  com dobra  $F_1$  e as relações de sobreposição das gerações de foliações. A Foliação plano-axial  $S_2$  compõe a foliação predominante na área do projeto, enquanto a foliação  $S_1$  se mostra transposta e incluída nos planos

de  $F_2$ . (C) Estereograma mostrando os polos dos flancos da dobra  $F_2$ , bem como o seu perfil e superfície axial, além do eixo.

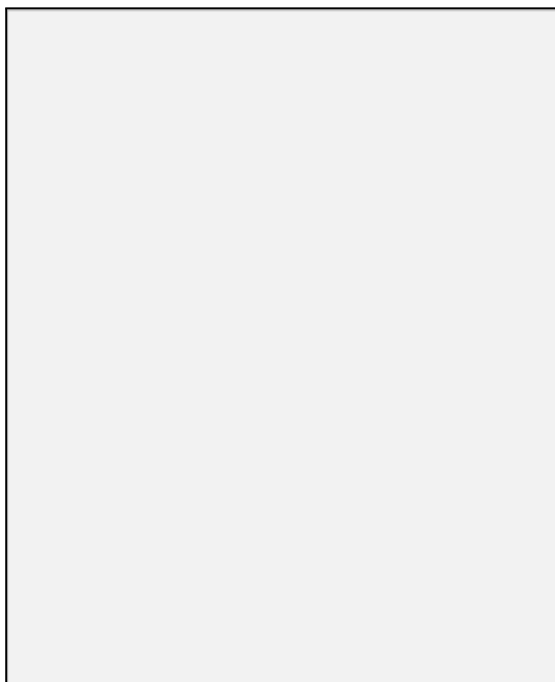
Ainda na fase de deformação  $D_{n-1}$ , ocorreria a amálgama de outros sistemas de arcos intra-oceânicos e a eventual instalação de um ambiente de arco vulcânico, aqui retratado como estágio de arco continental (Figura 8.5). As condições metamórficas neste cenário conteriam padrões barrovianos mais distribuídos, com condições de fácies xisto-verde a xisto-verde transicional nas frentes de subducção, podendo atingir fácies anfibolito nas porções sob as raízes do arco continental.

Em termos estruturais, esse estágio também é caracterizado pela transposição da foliação  $S_1$  a partir da interferência da fase de dobramentos ou redobramentos  $F_2$  anteriormente mencionada. Sistemas de empurrões e falhas oblíquas continuam a se manifestar devido à permanência dos esforços compressoriais de direção E-W advindos das zonas de subducção em evolução. Os elementos deformacionais típicos dessa fase de dobramentos são caracterizados pela presença de foliações plano-axiais  $S_2$ , lineações em planos de falhas (*slickensides*) de caráter frontal ou oblíquo, dobras assimétricas fechadas a abertas com planos axiais normais a inclinados e eixos horizontais a fortemente inclinados. Vale ressaltar que grande parte dos estilos de dobramentos evidenciados em campo são referentes a esta fase.

Ao estágio colisional é creditado o pico metamórfico da região, em que as condições de fácies anfibolito se tornam predominantes. Tal cenário é condizente com o principal evento tectono-metamórfico da Orogenia Brasileira ao redor de ca. 630 Ma (Pimentel *et al.*, 1991a; 1999), interpretado como resultante dos episódios colisionais entre o Cráton Amazônico e o Cráton do São Francisco, que a esta altura já estaria soldado ao Bloco Paraná. Além disso, esta etapa inaugura eventos transcorrentes de direção NW-SE, com a implantação da fase de deformação  $D_n$  em regime de caráter mais dúctil. A trama NW-SE é referente à principal estruturação da área do Projeto Arenópolis, em que ocorre a superposição e aproveitamento dos planos de falhamentos das fases  $F_1$  e  $F_2$  por extensas zonas de cisalhamento de caráter transcorrente associadas ao Lineamento Transbrasiliano a oeste (Lacerda Filho *et al.*, 2021; Curto, 2015). Deste modo, as zonas de cisalhamento Piranhas, Ribeirão e Córrego da Areia seriam nucleadas nesse evento. Os elementos atribuídos a essa etapa são foliações miloníticas ( $S_3$ ), dobras apertadas a isoclinais

com flancos rompidos, lineações de estiramento mineral e transposição das foliações  $S_1$  e  $S_2$ .

Ao final do estágio colisional, mais precisamente na etapa de transição para o pós-colisional (Figura 8.6), inicia-se regime de natureza tardi-tectônica, com a fase de deformação  $D_{n+1}$ , caracterizada pelo início do arrefecimento termal e, consequentemente, a incidência de retro-metamorfismo de fácies xisto-verde. Nesse período, as zonas de cisalhamento principais iniciam a nucleação de fraturas de cisalhamento transcorrentes sintéticas e antitéticas (R e R'). Essas fraturas de cisalhamento ou falhas transcorrentes são responsáveis por imprimir a estruturação subsidiária E-W evidenciada na área do Projeto Arenópolis. Além disso, dobramentos tardios na forma de crenulações, com eixos de direção aproximada NNE, afetam os planos de foliação  $S_2$  e  $S_3$ .



**Figura 8.10:** Modelo proposto para a região do Projeto Arenópolis. Destaca-se o cisalhamento regional sinistral com falhas antitéticas e sintéticas e as respectivas direções de encurtamento e estiramento.

Por fim, ao final do estágio pós-orogênico ocorreria um regime rúptil extensional  $D_{n+2}$ , com episódios de soerguimento e erosão, além da instalação da Bacia do Paraná. Nesse estágio são nucleadas falhas normais e falhas direcionais.

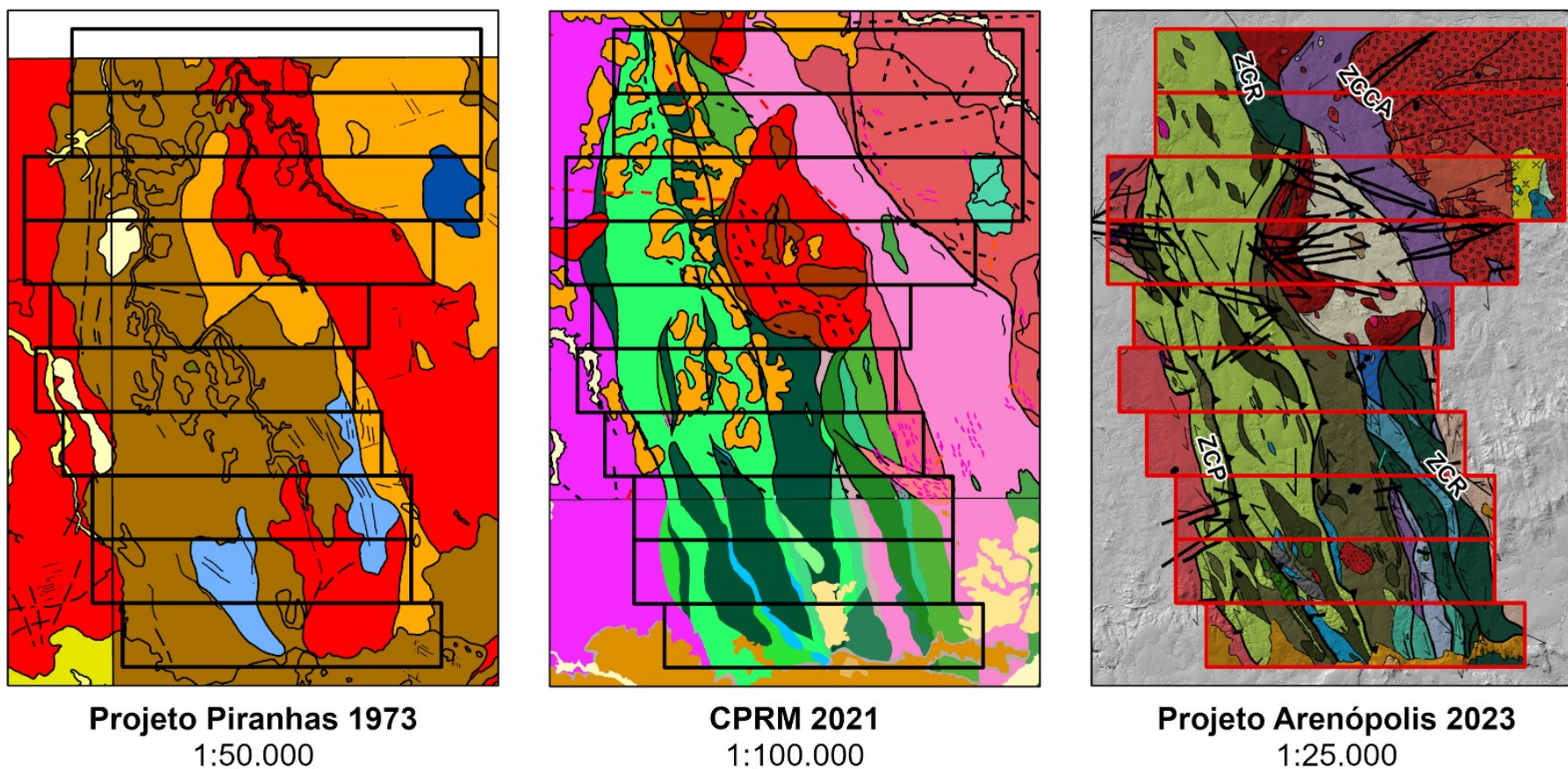
## 9. Considerações Finais e Recomendações

O Projeto Arenópolis teve como objetivo a confecção do mapeamento geológico em escala 1:25.000 da área de estudo, bem como sua caracterização petrográfica, estrutural, metalogenética e evolutiva. Como resultado, alcançou-se maior detalhamento cartográfico em comparação aos dados provenientes de estudos anteriores na região (Figura 9.1). As unidades geológicas cartografadas incluem rochas associadas ao Gnaiss Ribeirão, potencialmente representativas do embasamento paleoproterozóico da região; ao Arco Magmático de Arenópolis, tido como o segmento sul do Arco Magmático de Goiás, de idade neoproterozóica; aos Granitos Criogenianos e Ediacaranos; ao Grupo Paraná do Devoniano; e a Suíte Alcalina de Goiás do Cretáceo.

O impacto deste trabalho na área que recobre a Área VII é exposto, principalmente, na expansão do conhecimento acerca das rochas subvulcânicas alcalinas da Suíte Alcalina de Iporá e das rochas riolíticas das Vulcânicas Córrego do Horácio. Além destas, destaca-se a identificação de extensa área representativa das fácies metassedimentares da Unidade Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, que anteriormente era restrita a uma porção ínfima. Desta forma, o mapeamento geológico possibilitou uma identificação mais refinada dos limites cartográficos e compreensão mais aprofundada das unidades geológicas da área de estudo, com base na análise de aspectos estruturais e petrográficos.



## Evolução do Mapeamento Geológico da Região



**Figura 9.1:** Comparação da evolução do conhecimento geológico na área do Projeto Arenópolis.



De acordo com os modelos evolutivos propostos na literatura, cinco estágios principais são caracterizados na área do Projeto Arenópolis, envolvendo polideformação. O primeiro refere-se ao estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozóico-Toniano (900-800 Ma), caracterizado pela fase de deformação Dn-1, que apresenta caráter compressional e orientação E-W, sendo responsável pela geração de sistemas de empurrões, falhas oblíquas e dobramentos, pelo surgimento das primeiras zonas de subducção. O segundo estágio é atribuído à fase colisional no Neoproterozóico-Criogeniano (670-600 Ma). Atribui-se a este momento o pico metamórfico regional, em que as condições de fácies anfibolito se tornaram predominantes. O terceiro estágio representaria uma etapa de transição, para o instante pós-colisional Neoproterozóico-Ediacarano (590-560 Ma). Nele se inicia regime de natureza tardi-tectônica, com a fase de deformação Dn+1, caracterizada pelo início do arrefecimento termal e, consequentemente, incidência de retrometamorfismo em fácies xisto-verde. A fase final do ciclo evolutivo ocorre no estágio pós-orogênico (Paleozóico-Cambriano), caracterizando regime rúptil extensional Dn+2, com episódios de soerguimento e erosão, além da instalação da Bacia do Paraná. Nesse ainda, são geradas as falhas normais e falhas direcionais.

O potencial metalogenético do Projeto Arenópolis é baseado em sistemas minerais do tipo magmático-hidrotermal, aurífero orogênico, vulcanogênico, residual/supergênico e associado ao magmatismo alcalino. Valores anômalos em Cu e Zn nos cursos do Córrego da Onça pela análise de sedimento de corrente na década de 1980 e a identificação de zonas de alteração hidrotermal com presença de sulfetos nas unidades Gnaiss Arenópolis e Córrego da Onça, especialmente na sombra de pressão do Granito Serra do Iran destacam o potencial da área do Projeto Arenópolis para o sistema magmático-hidrotermal. Além disso, a ocorrência de gonditos na Unidade Córrego do Santo Antônio nas áreas VII e VIII demonstra a potencialidade para depósitos residuais/supergênicos de manganês.

Tendo em vista o trabalho desenvolvido, recomenda-se para a área de estudo do Projeto Arenópolis, estudos com maior detalhe com foco nos aspectos evolutivos, petrogenéticos e metalogenéticos da região. Análises geoquímicas e geocronológicas podem ser aplicadas para mapear a assinatura dos diferentes estágios evolutivos do Arco Magmático de Arenópolis e suas unidades associadas. As unidades Gnaiss Ribeirão e o Granito Serra do Tatu carecem de estudos com metodologias modernas de datação, dado que ambas unidades apresentam idades

divulgadas com erro igual a  $\pm 110$  Ma pelo método Rb-Sr, o que dificulta o entendimento da natureza dessas unidades. Além disso, ainda não foram publicados estudos quanto à idade e a natureza das rochas Vulcânicas Córrego do Horácio.

## Referências Bibliográficas

ACKERMAN, E. A. The Köppen classification of climates in North America. *Geographical Review*, p. 105-111, 1941.

ADÔRNO, R. R. Estudo cronobioestratigráfico da Formação Vila Maria: litoestratigrafia e paleontologia do limite Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Paraná, Estados de Goiás e de Mato Grosso, Brasil central. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ADÔRNO, R. R. Estudo cronobioestratigráfico da Formação Vila Maria: litoestratigrafia e paleontologia do limite Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Paraná, estados de Goiás e de Mato Grosso, Brasil Central. 2015.

ALMEIDA, F. F. M. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro no proterozóico superior. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, n. 40, p. 285-295, 1968.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, n. 7, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, Salvador, 8., 1977, Campina Grande. Anais. Salvador: SBG, 1977. p. 280-282.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17, 1–29.

ALVARENGA, C. J. S. de; GUIMARÃES, E. M. Siluro-Devoniano na margem noroeste da Bacia do Paraná, região entre Diorama e Amorinópolis, GO. *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, v. 4, p. 53-54, 1994.

AMARO, V. E. Geologia e petrologia da seqüência metavulcânica de Jaupaci-GO e lineamentos associados. Brasília. 213 p.(Disser, 1989.

ARAÚJO FILHO, JO de. 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.

ARAÚJO, V. A.; MORETON, L. C. Unidades Litoestratigráficas. In: MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. (Org.) *Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal. Texto explicativo do mapa geológico do estado de Goiás e Distrito Federal – escala 1:500.000*. Goiânia: CPRM / SICME-FUNMINERAL, 2008. p. 143.

ASSINE, Mario L.; SOARES, Paulo C.; MILANI, E. J. Sequências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, n. 2, p. 77-89, 1994.

BLAKELY, Richard J.; SIMPSON, Robert W. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, v. 51, n. 7, p. 1494-1498, 1986.

BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. G. Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic. *Precambrian Research*, v. 53, n. 1-2, p. 23-40, 1991.

Brod, J. A., Ribeiro, C. C., Gaspar, J. C., Junqueira-Brod, T. C., Barbosa, E. S. R., Riffel, B. F., ... & Ferrari, A. J. D. (2004). Geologia e mineralizações dos complexos alcalino-carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. In *Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá, Minas Gerais (Vol. 42, pp. 1-29)*.

Camolez, Aparecida & Biasi, Mário. (2023). Uso da terra nos arredores da represa Billings e em Bertiooga o sensoriamento remoto na avaliação da expansão urbana em áreas de mata atlântica e de proteção de mananciais.

CARNEIRO, J. S. M.; MENECHINI, P. F. V. B.; Carta Geológica, Folha Piranhas. Escala 1:100.000. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2020. Programa Novas Fronteiras - Levantamento Geológico e Potencial de Novas Fronteiras. Projeto Oeste de Goiás. Mapa colorido.

CARNEIRO, J. S. M. Sequência Arenópolis-Piranhas: evolução de bacia marginal ao arco magmático de Goiás. 2019. Tese de Doutorado.

CARNEIRO, Jônatas; FUCK, Reinhardt; DANTAS, Elton Luiz. Arenópolis sequence, evolution of a marginal basin in the Neoproterozoic Goiás magmatic arc, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 106, p. 103033, 2021.

CIMINELLI, R. R. (2005). 2. Desempenho Funcional dos Minerais. *Rochas & Minerais Industriais*, 31.

COIMBRA, K. T. O. Petrologia do Plutão Bom Jardim de Goiás (PBJG): implicação na evolução neoproterozoica da Província Tocantins. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Cordeiro, Pedro & Oliveira, Claudinei. (2017). The Goiás Massif: Implications for a pre-Columbia 2.2 to 2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil. *Precambrian Research*. 298. 403-420.10.1016/j.precamres.2017.06.021.

CORDEIRO, P. F. O. Compartimentação geológica e geocronológica dos terrenos do embasamento norte da Faixa Brasília. 2014.

CORDELL, Lindrith; GRAUCH, V. J. S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. Society of Exploration Geophysicists, 1985. p. 181-197.

CURTO, J. B.; VIDOTTI, R. M.; BLAKELY, R. J.; FUCK, R. A. Crustal framework of the northwest Parana Basin, Brazil: insights from joint modeling of magnetic and gravity data. *Tectonophysics*, v. 655, p. 58–72, 2015. DOI: 10.1016/j. tecto.2015.05.011.

CURTO, J. B.; VIDOTTI, R. M.; FUCK, R. A.; BLAKELY, R. J.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L. The tectonic evolution of the Transbrasiliano Lineament in northern Paraná Basin, Brazil, as inferred from aeromagnetic data. *Journal Geophysical Research Solid Earth*, n. 119, p. 1-19, 2014.

CROUGH, S. T. Hotspot swells. *Annuary Reviews of Earth Planet Sciences*, v. 11, p. 165-193, 1983.

DANNI, J. C. H.; TEIXEIRA, N. A. Características e sistematização das associações de rochas máficas e ultramáficas PréCambrianas do Estado de Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOCIA DO CENTRO-OESTE, 1., 1981, Goiânia. Atas [...]. Goiânia: SBG-CO/BSB, 1981. p. 376-401.

DANNI, J. C. M. Geologie des Complexes Ultrabasiques Alcalins de la Region d'Iporá - GO. 1974. 95 p. Tese (Doutorado) - Université Paris Sud, Orsay, França, 1974.

DANNI, J. C. M.; CAMPOS, J. E. G. Geologia e petrologia do Complexo Cachoeira do Lajeado, Iporá, Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., 1994, Brasília. Anais [...]. Brasília: SBG, 1994

DANNI, J. C. M.; FUCK, R. A.; LEONARDOS, O. H. Geologia e petrografia da Intrusão Ultramáfica-Alcalina de Arenópolis, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. Anais [...] Ouro Preto: SBG, 1976. v. 2, p. 265-271.

DANNI, J. C. M.; SILVA, A. J. G. C.; CAMPOS, J. E. G.; CERQUEIRA, M. R. Picritos Alcalinos do Sul de Goiás: Características Mineralógicas e Geoquímicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. Res. Expandidos [...] São Paulo: SBG, 1992. v. 2.

DARDENNE, M. A. The Brasília fold belt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. (Eds.) Tectonic Evolution of South America. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000. p. 231

DARDENNE, M. A.; BARROS, J. G.; DANNI, J. C.; FARIA, A.; FUCKI, R. A.; LADEIRA, E. A.; MARINI, O. J.; RIBEIRO, M. J.; SALOMÃO, E. P. Geologia da região de Goiás-GO, Brasil. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. Boletim de Resumos [...]. Belém: SBG, 1972. p. 97-98.

DARDENNE, M. A.; DANNI, J. C. M.; FUCK, R. A. Revisão Estratigráfica do Grupo Araxá na região da Serra DouradaGo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 1., 1981, Goiânia. Ata [...]. Goiânia: SBG, 1981. p. 664-681.

David J. Dunlop, Özden Özdemir – Rock Magnetism, Fundamentals and Frontiers. Cambridge University Press, 1997.

DEPAOLO, Donald J. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. Earth and planetary science letters, v. 53, n. 2, p. 189-202, 1981.

DICKSON, Bruce L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

FARIA, A.; FUCK, R. A.; VELOSO, J. A. V.; HIRSON, J. R.; MARINI, O. J.; ANDRADE, G. F.; FONSECA, M. R. C. B. Projeto Piranhas. Relatório final. 1975. 143 p. Trabalho Final de Graduação - – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1975.

FERREIRA FILHO, C. F.; KAMO, S.; FUCK, R. A.; KROGH, T.; NALDRETT, A. J. Zircon and rutile U-Pb geochronology of the Niquelândia layered mafic-ultramafic complex, Brazil. Precambrian Research, v. 68, n. 3-4, p. 241-255, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(94\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(94)90032-9).

FERREIRA FILHO, Cesar F.; NILSON, Aripilino A.; NALDRETT, Anthony J. The Niquelândia mafic-ultramafic complex, Goiás, Brazil: A contribution to the ophiolite x stratiform controversy based on new geological and structural data. Precambrian Research, v. 59, n. 1-2, p. 125-143, 1992.

FERREIRA, F.J.F. (2016). Gamaespectrometria Aérea e sua Aplicação na Cartografia Geológica. Tópicos Especiais em Cartografia Geológica. 2ª edição, Universidade Federal do Paraná, Curitiba

FERREIRA, Alanielson CD; CONCEIÇÃO, Rommulo Vieira; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel. Mesozoic to Cenozoic alkaline and tholeiitic magmatism related to West Gondwana break-up and dispersal. Gondwana Research, v. 106, p. 15-33, 2022.

FISCHEL, Danielle P. et al. U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of the Silvânia Volcanics and Jurubatuba Granite: juvenile Paleoproterozoic crust in the basement of the Neoproterozoic Brasília Belt, Goiás, central Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 73, p. 445-460, 2001.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. In: Imagens de satélite para estudos ambientais. 2002. p. 97-97.

Frasca, A.A.S., 2015. Amálgamas do West-Gondwana Na Província Tocantins. PhD Thesis. UnB, p. 172.

FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; BOTELHO, N. F.; ARMSTRONG, R.; LAUX, J. H.; JUNGES, S. L.; SOARES, J. E.; PRAXEDES, I. F. Paleoproterozoic crust-forming and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: a contribution for Atlantica supercontinente reconstruction. *Precambrian Research*, v. 244, p. 53-74, 2014.

Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Alvarenga, C.J.S., Dantas, E.L. (2017). The Northern Brasília Belt. In: Heilbron, M., Cordani, U., Alkmim, F. (eds) São Francisco Craton, Eastern Brazil. *Regional Geology Reviews*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0_11)

Fuck, R.A., Pimentel, M.M., D'el-Rey Silva, L.J.H., 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: 38º Geology Brazilian Congress, Expanded abstracts,, pp. 215–216.

Fuck, R.A., SÁ, E.F.J., Pimentel, M.M., Dardenne, M.A., Soares, A.C.P., 1993. In: Domingues, J.M.L., Misi, A., editores) (Eds), *As Faixas de dobramentos marginais do cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos*. O Cráton do São Francisco, pp. 161–185.

GASPAR, J. C.; BROD, J. A.; MENESES, P. R. VULCANISMO KAMAFUGÍTICO. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, p. 559, 2002.

Gibson S.A., Thompson R.N., Leonardos O.H., Dickin A.P., Mitchell J.G. 1995. The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: Evidence from large-volume, mafic potassic magmatism in SE Brazil. *Journal of Petrology*, 36(1):189-229.

Gibson, S., Thompson, R., Weska, R. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 126, p. 303-314, 1997.

Girardi V. A. V.; Kawashita, K.; Basei, M.A. S.; Cordani, U. 1978. Algumas considerações sobre a evolução geológica da região de Cana Brava, a partir de dados geocronológicos. In: Cong. Bras. Geol., 30, Recife, Anais SBG, 1:337-348.

GUIMARÃES, S. B.; MOURA, M. A.; DANTAS, E. L. Petrology and geochronology of the Bom Jardim de Goiás copper deposit (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 4, p. 841-862, 2012.

GUIMARÃES, S. B. Petrologia e metalogenia do depósito de cobre Bom Jardim de Goiás (GO). 2007. xv, 108 f., il. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.



Hasui, Y., Almeida, F. F., Brito Neves, B. B., Carneiro, C. D. R., Fuck, R. A., Ribeiro, C. M., ... & Villela, J. S. (2012). *Geologia do Brasil*. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

Hattingh, K.; Carneiro, J.S.M.; Frasca, A.A.S.; Gollmann, K.; Lacerda Filho, J.V.; Duarte, T.B.; Meneghini, P.F.V.B; Silva, E.R.; Vieira D.R.; Martins, F.R.; Souza, J.O. Inédito. Magmatismo com tendência adakítica de alto K no Arco Magmático de Arenópolis. Relatório Interno, CPRM-SUREG-GO. 2019.

IANHEZ, A.C. et al. 1983. *Geologia*. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 31.).

ISLES, David J.; RANKIN, Leigh R. Geological interpretation of aeromagnetic data. Society of Exploration Geophysicists and Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013.

JOFFILY, C.M.L.D.C. (2006). Caracterização descritiva e genética do cianitito da Serra das Araras, arco magmático Mara Rosa.

Junges, S.L., Pimentel, M.M., Dantas, E.L., Laux, J.H., 2003. New ID-TIMS U-Pb ages in the western portion of the Mara Rosa Arc: two hundred million years of arc building. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Short Papers, pp. 198–201.

Junges, S.L., Pimentel, M.M., Moraes, R., 2002. Nd isotopic study of the neoproterozoic Mara Rosa Arc, central Brazil: implications for the evolution of the Brasília belt. *Precambrian Res.* 117 (1–2), 101–108.

Junqueira-Brod, T., Bongioiolo, E. M., Tassinari, C. C. G., Teixeira, W., & Scarton, F. (2002). Província Alcalina de Goiás. In *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 4, 2002, Goiânia. Anais... Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Centro-Oeste, 2002.

Kuymjian, R. M., de Oliveira, C. G., Campos, J. E. G., & de Queiroz, C. L. (2008). Geologia do limite entre os terrenos arqueanos e o Arco Magmático de Goiás na região de Chapada-Campinorte, Goiás. *Brazilian Journal of Geology*, 34(3), 329-334.

KUYUMJIAN, R.M. (1989). The geochemistry and tectonic significance of amphibolites from the chapada sequence, central brazil. Imperial College London.

KUYUMJIAN, R. M.; DIAS, R. R. Anfíbolitos proterozóicos de Goiás, Brasil: representantes de vulcanismo de arcos magmáticos? *Geochimica Brasiliensis*, v. 5, n. 1-2, p. 35- 44, 1991.

LACERDA FILHO, J.V.; GOLLMANN, K; SANTOS, D.R.V; MARTINS, F.R.; SOUZA, J.O.; CARNEIRO, J.S.M.; MENEGHINI, P.F.VB; HATTINGH, K; SILVA, É.R.; EBERHARDT, D.B.. (2021). Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás.

Laux, J.H., Pimentel, M.M., Dantas, E.L., Armstrong, R., Armele, A., Nilson, A.A., 2004. Mafic magmatism associated with the Goiás magmatic arc in the Anicuns region, Goiás, Central Brazil: Sm-Nd isotopes and new ID-TIMS and SHRIMP U-Pb data. *J. S. Am. Earth Sci.* 16, 599–614.

Laux, J.H., Pimentel, M.M., Dantas, E.L., Armstrong, R., Junges, S.L., 2005. Two Neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília belt, central Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 18, 183–198.

Marini, O. J., Fuck, R. A., Dardenne, M. A., & Faria, A. D. (1977). Contribuição à geologia do Pré-Cambriano da porção central de Goiás. *Rev. Bras. Geoc.* 7(4), 304-324.

Marini, O.J., Fuck, R.A., Danni, J.C.M., Dardenne, M.A., Loguercio, S.O.C., Ramalho, R., 1984. As faixas de dobramento Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E., coordenadores (Eds), *Geologia Do Brasil*. Brasília, DNPM, pp. 251–303.

Marques, G. C., de Oliveira, C. G., Espada, E., & Dantas, E. L. (2019). The Fazenda Nova gold deposit, Goiás Magmatic Arc: Late Neoproterozoic intrusion-related auriferous mineralization controlled by intracontinental strike-slip faulting. *Ore Geology Reviews*, 107, 546-572.

MARQUES, G. C. Evolução tectônica e metalogenética no contexto do depósito aurífero de Fazenda Nova, Arco Magmático de Arenópolis, Goiás. 2017. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília.

Matsui, K.; Girardi, V.A.V.; Basei, M. A. S.; Hasui, Y. 1976. Geocronologia do complexo básico-ultrabásico de Cana Brava, Goiás. In: *Cong Bras Geol.*, 29, Ouro Preto. Anais, SBG, 4:269-277.

Milani, E. J., Rangel, H. D., Bueno, G. V., Stica, J. M., Winter, W. R., Caixeta, J. M., & Neto, O. P. (2007). Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. *Boletim de Geociencias da PETROBRAS*, 15(2), 183-205.

Milani, E. J., Araujo, L. M., Cupertino, J. A., Faccini, U. F., & Scherer, C. M. (1998). Sequences and stratigraphic hierarchy of the Parana Basin (Ordovician Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP. Série Científica*, 29.

Motta-Araújo J.G., Pimentel M.M. 2003. U-Pb ages, Sm-Nd isotopes and structural analysis of the Moiporá-Novo Brazil Shear Zone System: The limits between Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc and the Archean Uvã Complex, Tocantins Province, central Brazil. In: *South American Symposium on the Isotope Geology, Short Papers 1*, 4:221-224.

Pena G.S. & Figueiredo A.J.A. 1972. *Geologia da Intrusão Alcalina Ultramáfica de Montes Claros de Goiás, Projeto Alcalinas, Relatório Final, Volume 3*. DNPM/CPRM.

Pena G.S. 1975. Projeto Goiânia II, Relatório Final Integrado, Volume I. DNPM/CPRM. 236p

PENA, G. S; FIGUEIREDO, A. J. A. Projeto Alcalinas. CPRM, 1972.

PIMENTEL, M. M. A Sequência Vulcano-sedimentar de Arenópolis-GO: petrologia ígnea e metamórfica, contexto geotectônico e considerações metalogenéticas preliminares. 1985. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 1985.

Pimentel, M. M., Fuck, R. A., Cordani, U. G., & Kawashita, K. (1985). Geocronologia de rochas graníticas e gnáissicas da região de Arenópolis-Piranhas, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(1), 3-8.

Pimentel, M. M., Heaman, L., & Fuck, R. A. (1991). Zircon and sphene U-Pb geochronology of Upper Proterozoic volcanic-arc rock units from southwestern Goiás, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 4(4), 295-305.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Características geoquímicas e isotópicas de unidades metavulcânicas e ortognáissicas neoproterozóicas do Oeste de Goiás. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Centro-Oeste*, n. 15, p. 1-22, 1992a.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Geocronologia Rb-Sr da porção Sudoeste do Maciço de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 24, n. 2, p. 104-111, 1994

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Late Proterozoic Granitic Magmatism in Southwestern Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 17, n. 4, p. 415-425, 1987b

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Origem e evolução das rochas metavulcânicas e metaplutônicas da região de Arenópolis (GO). *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 17, n. 1, p. 2-14, 1987a

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; DEL'REY SILVA, L. J. H. Dados Rb-Sr e Sm-Nd da Região de Jussara – Goiás - Mossâmedes (GO), e o Limite entre Terrenos Antigos do Maciço de Goiás e o Arco Magmático de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 26, n. 2, 1996a, p. 61-70.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; GIOIA, S. M. C. L. The Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, central Brazil: a review and new Sm-Nd isotopic data. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 30, n. 1, p. 35-39, 2000.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; GIOIA, S. M. C. Novos dados Sm-Nd e o limite leste do Arco Magmático no sudeste de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, 1998. p. 39.

PIMENTEL, M. M.; HOLLANDA, M. H. B. M.; ARMSTRONG, R. Shrimp U-Pb age and Sr-Nd isotopes of the Morro do Baú mafic intrusion: implications for the evolution of the Arenópolis volcano-sedimentary sequence, Goiás Magmatic Arc. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75 (3), 331-339, 2003.

PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: MANTESSO NETO, V.; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B. B. de B.; ALKMIM, F. F. de; BARTORELLI, A. (org). *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo: Beca, 2004. p. 355-368. ISBN 8587256459.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., 1986. Geologia da Sequência Vulcano-sedimentar de Arenopolis (GO). *Rev. Bras. Geociências* 16 (2), 221–223.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology* 20, 375–379.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira Filho, C.F., Araújo, S.M., 2000b. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A., Rio de Janeiro, p. (Eds), *Tectonic Evolution of South America*, pp. 195–229.

Pimentel, M.M., Rodrigues, J.B., DellaGiustina, M.E.S., Junges, S., Matteini, M., Armstrong, R., 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: a review. *J. S. Am. Earth Sci.* 31, 345–357.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, p. 67-82, 2016.

PIUZANA, D.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ARMSTRONG, R. Neoproterozoic granulite facies metamorphism and coeval magmatism in the Brasília Belt, Central Brazil: regional implications of the new SHRIMP U-Pb and Sm-Nd data. *Precambrian Research*, v. 125, n. 3, p. 245-273, 2003a.

PIUZANA, D.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ARMSTRONG, R. SHRIMP U-Pb and Sm-Nd data for the Araxá Group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sediments and geodynamic context of the southern Brasília Belt, central Brazil. *Precambrian Research*, v. 125, n. 1-2, p. 139-160, 2003b.

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

RODRIGUES, J. B. Geocronologia e geoquímica da Sequência Metavulcanossedimentar de Iporá rochas graníticas associadas. 1996. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 1996.

RODRIGUES, J. B.; GIOIA, S. M. C. L.; PIMENTEL, M. M. Geocronologia e Geoquímica de ortognaisses de Região entre Iporá e Firminópolis: Implicações para a Evolução do Arco Magmático de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 207-216, 1999.

ROEST, Walter R.; VERHOEF, Jacob; PILKINGTON, Mark. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, v. 57, n. 1, p. 116-125, 1992.

SANTOS, B. L.; SIMOES, L. S. A.; SEER, H. J. Evolução estrutural do Domínio Interno da faixa Brasília meridional na região de Estrela do Sul, Minas Gerais, Brasil. *Geosciences = Geociências*, v. 40, n. 02, p. 287-305, 2021.

SCHOBENHAUS FILHO, C. (coord.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: folha Goiás (SD.22). Brasília: DNPM, 1975. 114 p. il. 1 mapa color.

SCHUTESKY, M. E. Geologia e geocronologia da sequência Vulcano-sedimentar Campinorte e do Complexo Uruaçu, província Tocantins. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SEER, H. J. Geologia, deformação e mineralização de cobre no Complexo Vulcano-Sedimentar de Bom Jardim de Goiás. Brasília. Un-published MSc thesis. Universidade de Brasília, 1985.

SILVA, J. M. O Complexo Máfico-ultramáfico Acamadado de Americano do Brasil e sua mineralização de Ni-CuCo. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2009. Disponível em: <https://repositorio.UnB.br/handle/10482/4671>. Acesso em: 04 nov. 2020.

SIMÕES, L. S. A. Geologia do Grupo Araxá na região de Mossâmedes-Goiás e as ocorrências minerais associadas. 1984. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, 1984.

SONOKI, I. K.; GARDA, G. M. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 19, p. 63-85, 1988.

Thompson R.N., Gibson S.A., Mitchell J.G., Dickin A.P., Leonardos O.H., Brod J.A., Greenwood J.C. 1998. Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brasil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume?. *Journal of Petrology*, 39(8):1493-1526.

Uhlein, A., Fonseca, M. A., Seer, H. J., & Dardenne, M. A. (2012). TECTÔNICA DA FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA–SETORES SETENTRIONAL E MERIDIONAL. *Geonomos*.

Vail, P. R., Mitchum, R. M. Jr., and Thompson, S., III (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part four: global cycles of relative changes of sea level. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, pp. 83–98.

Valeriano, C. D. M., Pimentel, M. M., Heilbron, M., Almeida, J. C. H., & Trouw, R. A. J. (2008). Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 294(1), 197-210.

VALERIANO, C.M. The Southern Brasília Belt. In: HEILBRON M., CORDANI, U.G., ALKMIM, FF. (Eds), São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent. Springer, Berlin, Germany, v. 1, p. 189-203, 2017.

VALERIANO, C. M. et al. U–Pb geochronology of the southern Brasilia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. Precambrian Research, v. 130, n. 1-4, p. 27-55, 2004.