

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Thomas Johannes Schrage**

**EVOLUÇÃO DA PAISAGEM E RELAÇÃO SOLO-RELEVO:**

**Caracterização, gênese e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio  
Preto (GO, DF, MG).**

**Orientador: Prof. Dr. Rogério Uagoda**

**Dissertação de Mestrado**

**Brasília  
Julho de 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Thomas Johannes Schrage

**EVOLUÇÃO DA PAISAGEM E RELAÇÃO SOLO-RELEVO:**

**Caracterização, gênese e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG).**

Dissertação apresentada ao Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Uagoda

Linha de Pesquisa: Análise de Sistemas Naturais.

Eixo: Estudos dos processos erosivos

**Brasília  
Julho de 2015**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Thomas Johannes Schrage

**EVOLUÇÃO DA PAISAGEM E RELAÇÃO SOLO-RELEVO:  
Caracterização, gênese e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio  
Preto (GO, DF, MG).**

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração em Análise dos Sistemas Naturais.

Aprovado por:

---

Prof. Dr. Rogério Uagoda (Orientador)  
Dep. de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

---

Prof. Dr. Júlio Cesar Paisani (Membro Externo).  
Dep. de Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Beltrão – PR.

---

Prof. Dr. André de Souza Avelar (Membro Externo).  
Dep. de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.

---

Prof. Dr. Éder de Souza Martins (Membro interno).  
Dep. de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

**Brasília, 30 de julho de 2015.**

SCHRAGE, THOMAS JOHANNES.

EVOLUÇÃO DA PAISAGEM E RELAÇÃO SOLO-RELEVO: Caracterização, gênese e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG). (UnB-DG, Mestre, Análise de Sistemas Naturais, 2015).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Evolução da Paisagem  | 2. Morfopedologia     |
| 3. Depressão Doliniforme | 4. Bacia do Rio Preto |

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Thomas Johannes Schrage

## Agradecimentos

---

Devo o primeiro dos meus “muito obrigados” inicialmente ao professor e orientador deste trabalho, Dr. Rogério Uagoda por todas as contribuições, ensinamentos, confiança e paciência.

Agradeço ao Exército Brasileiro, cujo apoio, logística e permissão para a entrada no Campo de Instrução de Formosa foi fundamental para a realização deste trabalho. Especial agradecimento aos soldados e oficiais sob o comando do Major Aristóteles e ao empenho do Tenente Vanessa Pacheco.

Agradeço aos estudantes do Laboratório de Geografia Física do Departamento de Geografia. Sobretudo aos que participaram das etapas de laboratório, campo ou processamento de dados. Ao laboratório, por disponibilizar os equipamentos.

Ao Departamento de Geociências, sobretudo na parte de geoquímica realizada pelo professor Dr. Garnier Jérémie. Na mesma linha ao Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes - CEFTRU, por ceder o espaço para boa parte das análises físicas de solo. A Faculdade da Engenharia Civil, pelo empréstimo de equipamentos. A professora Dra. Roselir Nascimento, também pelo apoio.

Aos outros pesquisadores, na área do CIF, como Me. João Paulo S. Souza, e Ma. Omolabake Arimoro. Ao Sr. Antônio F. Almeida, pela ajuda na escavação das trincheiras (em tempo recorde) e desatolar muitas vezes meu carro.

Aos professores Dr. Welitom Borges e Dr. Éder Martins, por contribuições ao rumo que este trabalho deveria tomar desde a qualificação. A este primeiro, por todo o apoio na elaboração da Geofísica deste trabalho, ao segundo, no entendimento da paisagem do Rio Preto.

Agradeço também a Dra. Grace Alves, que compartilhou seu empolgado conhecimento acerca de “dolinas” e “couraças”.

A Dra. Valeria Lopes, pela significativa leitura deste trabalho e conselhos.

Ao professor Dr. Júlio Paisani, que em trabalho de campo em outra pesquisa, em outro local e por outros motivos, deu grandes e significativas indicações para este trabalho.

Na mesma linha, aos professores Dr. Astolfo G. M. Araujo e Dra. Sidneide Manfredni, que apesar de não participarem diretamente neste trabalho, contribuíram enormemente à minha evolução acadêmica.

Agradeço ao Ministério de Minas e Energia, em especial a chefia Ma. Maria Ceicilene e colegas da Assessoria Especial em Gestão Ambiental (AESAs), por entender o feito deste trabalho e dar todo o apoio. A Ma. Rita Alves pelos empurrões e ajuda no contato com a professora Dra. Fernanda Almeida para cálculos químicos na solução dispersante.

Agradeço ao *sensei* Diego-Sam e demais amigos do *dojo* Daishizen, por uma orientação além da ciência, que se impregna na forma de se pensar e ver o mundo. *Kannagara Tamashii Haemasse*.

De modo bastante especial a companheira Ma. Rúbia Rúbio, presente diretamente na elaboração do projeto, execução e redação final deste trabalho, revisando textos e carregando trados. Mas, mais importante, por todo o carinho, compreensão e conforto.

Agradeço aos meus pais George e Julia, irmã Barbara, e meus falecidos avós. Crescer nas paisagens da Serra da Juréia-Itatins e Serra do Paranapiacaba-Ibiúna junto às suas companhias me tornou apaixonado por tudo isso.

*“Soil is the hidden, secret friend . . . the root domain of lively darkness and silence.”*

Francis D. Hole

## Índice

---

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	15
1.2	RECORTE NO TEMPO E ESPAÇO. ....	18
	<i>Escala.....</i>	<i>18</i>
	<i>Bacia do Rio Preto e depressões estudadas.....</i>	<i>19</i>
1.3	OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS .....	23
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
2.	BASES CONCEITUAIS .....	26
2.1	GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA. ....	26
	<i>Introdução.....</i>	<i>26</i>
	<i>Conceitos.....</i>	<i>27</i>
	<i>Primeiros estudos sobre a Geomorfologia da bacia do alto Rio Preto.....</i>	<i>36</i>
	<i>Descrição geomorfológica e pedológica sintetizada.....</i>	<i>51</i>
2.2	GEOLOGIA.....	52
	<i>Geologia Regional e Estrutural.....</i>	<i>52</i>
	<i>Geologia da bacia do alto Rio Preto.....</i>	<i>59</i>
	<i>Geologia de Formosa-Cabeceiras, limite leste da bacia do alto Rio Preto. ....</i>	<i>65</i>
	<i>Unidades Litológicas.....</i>	<i>69</i>
2.3	DEPRESSÕES.....	77
	<i>Revisão teórica e bibliográfica .....</i>	<i>77</i>
	<i>Depressões na bacia do Rio Preto.....</i>	<i>84</i>
3.	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE DEPRESSÕES NA BACIA DO ALTO RIO PRETO (GO, DF, MG) E SUAS RELAÇÕES COM CONTROLES GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS. ....	85
	<i>Resumo.....</i>	<i>85</i>
	<i>Abstract.....</i>	<i>85</i>
3.1	INTRODUÇÃO.....	86
3.2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	87
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
	<i>Mapeamento.....</i>	<i>89</i>
	<i>Geoestatística básica.....</i>	<i>90</i>
	<i>Compartimentação Geológica e Geomorfológica.....</i>	<i>91</i>
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
	<i>Morfometria e Índices.....</i>	<i>92</i>
	<i>Agrupamentos, Rosetas e Paralelismo.....</i>	<i>95</i>
	<i>Compartimentação Geológica.....</i>	<i>97</i>
	<i>Compartimentação Geomorfológica.....</i>	<i>100</i>
3.5	CONCLUSÃO.....	103
	AGRADECIMENTO .....	104

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
4. O PAPEL DE DEPRESSÕES NA PAISAGEM DA BACIA DO ALTO RIO PRETO, BRASIL CENTRAL .....	108
<i>Resumo</i> .....	108
<i>Abstract</i> .....	108
4.1 INTRODUÇÃO .....	109
4.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	110
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	114
<i>Análise de subsuperfície: Solos e Geofísica</i> .....	114
<i>Granulometria e Susceptibilidade Magnética</i> .....	115
<i>Química do Solo</i> .....	117
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	117
<i>Tradagens</i> .....	118
<i>GPR</i> .....	122
<i>Relação Solo-Relevo-Bioma</i> .....	127
<i>Caracterização da subsuperfície das depressões e entorno imediato</i> .....	130
<i>Depressão aberta e intermitente (D1)</i> .....	131
<i>Depressão fechada e intermitente (D2)</i> .....	135
<i>Depressão fechada e seca (D3)</i> .....	138
4.5 CONCLUSÃO.....	149
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	150
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	161

## Lista de Figuras

---

1.2.1	Localização da área de estudo.....	19
1.2.2	Caracterização da área de estudo.....	20
1.2.3	Localização das depressões doliniformes.....	22
1.4.1	Plano de Trabalho.....	24
2.1.1	Tipos de superfície de aplainamento.....	27
2.1.2	Relação entre superfícies de aplainamento e litologia.....	28
2.1.3	Ciclo Geográfico para Davis (1989).....	29
2.1.4	Evolução do Relevo para Penck (1924).....	31
2.1.5	Evolução do Relevo para King (1956, 1957).....	32
2.1.6	Evolução Geomorfológica para Büdell (1957).....	35
2.1.7	Geomorfologia do DF por Penteadó (1976) e CODEPLAN (1984).....	40
2.1.8	Unidades Morfológicas do DF de Maio (1986).....	41
2.1.9	Compartimentação Geomorfológica do DF de Novaes Pinto (1987).....	44
2.1.10	Compartimentação geomorfológica do DF de Martins e Baptista (1998).....	45
2.1.11	Compartimentação geomorfológica do DF de Steink (2003).....	46
2.1.12	Fragilidade ambiental da bacia do alto Rio Preto por Filho (2006).....	47
2.1.13	Geomorfologia da bacia do Rio Preto por Campos <i>et al.</i> (2006).....	49
2.1.14	Unidades geomorfológicas para o alto Rio Preto por Lima <i>et al.</i> (2009).....	50
2.1.15	Classificação do relevo para área do CIF, GO, por Sena-Souza (2015).....	51
2.2.1	Faixa Brasília no contexto da Província Tocantins.....	53
2.2.2	Domínios tectônicos e estratigráficos de Goiás e Distrito Federal.....	54
2.2.3	Domínios da FDB.....	56
2.2.4	Secção Piracanjuba até Unai.....	57
2.2.5	Roseta de lineamentos da bacia do Rio Preto.....	58
2.2.6	Conjuntos litológicos da Faixa Brasília.....	59
2.2.7	Mapa geológico de Goiás, com recorte para o alto Rio Preto.....	60
2.2.8	Mapa geológico da bacia do alto Rio Preto.....	62
2.2.9	Mapa geológico do Distrito Federal.....	63
2.2.10	Mapa geológico da bacia do Rio Preto.....	64
2.2.11	Localização dos estudos entre Formosa-Cabeceiras.....	66
2.2.12	Geologia regional de Formosa-Cabeceiras.....	67
2.2.13	Geologia da área de Formosa.....	68
2.2.14	Geologia da área de Bezerra-Cabeceira.....	68
2.2.15	Distribuição do Grupo Paranoá nas porções interna e externa da FDB.....	71
2.2.16	Correlação estratigráfica entre o Grupo Paranoá em áreas tipo.....	72
2.2.17	Posição e fácies de laterita em borda de chapada.....	76
2.2.18	Modelo de evolução de um perfil de laterita.....	77
3.2.1	Localização da área de estudo.....	88
3.4.1	Histograma de distribuição da área de depressões.....	95
3.4.2	Distribuição das depressões em relação à distância com a drenagem.....	95
3.4.3	Índice de Circularidade das depressões.....	96

3.4.4	Mapa de Densidade Kernel, Valores de Incidência e Distribuição Direcional.....	97
3.4.5	Gráficos do tipo roseta evidenciando as direções da hidrografia e depressões.....	98
3.4.6	Compartimentação geológica.....	100
3.4.8	Frequência das depressões (n/km <sup>2</sup> unidade) em cada compartimento geológico.....	100
3.4.8	Ocorrência das depressões (n/unidade) em cada compartimento geológico.....	101
3.4.9	Compartimentação geomorfológica.....	101
3.4.10	Frequência das depressões (n/km <sup>2</sup> unidade) em cada compartimento geomorfológico.....	103
3.4.11	Ocorrência das depressões (n/unidade) em cada compartimento geomorfológico.....	104
4.2.1	Localização da bacia do alto Rio Preto e o seu contexto geomorfológico.....	113
4.2.2	Gráficos de direção de depressões e lienamentos.....	115
4.4.1	Localização dos mosaicos de GPR e tradagens.....	120
4.4.2	Chave com os principais elementos encontrados nas tradagens.....	121
4.4.3	Sequência de tradagens I.....	121
4.4.4	Sequência de tradagens II.....	121
4.4.5	Sequência de tradagens III.....	122
4.4.6	Sequência de tradagens IV.....	122
4.4.7	Sequência de tradagens V.....	122
4.4.8	Mosaico de fotos.....	123
4.4.9	Perfil GPR A-A'.....	125
4.4.10	Perfis GPR B-B'-B''.....	126
4.4.11	Perfis GPR C-C' e D-D'.....	127
4.4.12	Localização das depressões estudadas.....	133
4.4.13	Detalhe da depressão aberta (D1).....	134
4.4.14	Transepto da depressão aberta (D1).....	135
4.4.15	GPR e Eletroresistividade de perfil E-E'.....	137
4.4.16	Detalhe da depressão fechada (D3).....	138
4.4.17	Transepto da depressão fechada e intermitente (D2).....	139
4.4.18	GPR e Eletroresistividade de perfil F-F'.....	140
4.4.19	GPR e Eletroresistividade de perfil G-G'.....	140
4.4.20	GPR e Eletroresistividade de perfil H-H'.....	140
4.4.21	Detalhe da depressão fechada (D3).....	142
4.4.23	Transepto da depressão fechada e seca (D3).....	142
4.4.24	Fotografias evidenciando a coloração da cobertura pedológica na depressão (D3).....	144
4.4.25	Conjunto de análise química para Depressão Aberta (D1).....	145
4.4.26	Conjunto de análise química para Depressão Fechada e Intermitente (D2).....	146
4.4.27	Conjunto de análise química para Depressão Fechada e Seca (D3).....	147
4.4.28	Fração areia na vertente.....	148
5.5.1	Croqui da esquemático das vertentes.....	162

## Lista de Tabelas

---

2.1.1 Superfície de Aplainamento no Distrito Federal.....	39
2.2.1 Geologia da bacia alto Rio Preto.....	61
3.4.1 Quantidade absoluta a Área Total das depressões da bacia do alto Rio Preto conforme situação e sub-bacia.....	94
3.4.2 Parâmetro R e resultado da Análise do Vizinho mais Próximo.....	96
4.4.1 Susceptibilidade Magnética de afloramento de laterita e de metarritmito.....	123
4.4.2 Resultados da química do solo, em porcentagem, por ICP-AES, para a depressão aberta e intermitente (D1).....	149
4.4.3 Resultados da química do solo, em porcentagem, por ICP-AES, para a depressão fechada e intermitente (D2).....	150
4.4.4 Resultados da química do solo, em porcentagem, por ICP-AES, para a depressão fechada e seca (D3).....	151

## Resumo

---

Neste trabalho, estuda-se a formação e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio Preto, no Brasil Central. Apresenta-se revisão bibliográfica sobre a pedologia, geomorfologia e geologia da área, com foco nestas feições. Através de mapeamento de detalhe por meio da associação entre MDT, cartas topográficas e imagens de satélite, foram identificadas 177 dolinas, que se apresentam principalmente abertas, circulares e fortemente relacionadas a controles estruturais, em alinhamentos condizentes com os apresentados para a porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília. Constatou-se ainda que as depressões se concentram sobre o Grupo Bambuí e aparecem agrupadas em vertentes suaves e baixas ou em planícies aluviais. Realizou-se estudo *in situ* de subsuperfície do entorno de três depressões com técnicas da morfopedologia e geofísica. Assim, constatou-se nítida relação entre vegetação campestre com couraças e vegetação arbórea com Latossolos, bem como a presença de depressões neste segundo ambiente. Foi observado que as dolinas da área se formam sobre rochas carbonáticas bastante intemperizadas, e que a modelação do relevo da bacia sugere uma evolução por etchplanação. Por fim, interpreta-se que estas feições são originadas após a degradação de couraças ferruginosas na formação de profundos Latossolos, o que possivelmente influencia na dissolução do embasamento geológico em zonas de falhas, o que ocasiona a subsidência das coberturas superiores.

## Abstract

---

In this work, we study the formation and development of depressions in the upper Rio Preto basin in Central Brazil. It presents a literature review about the soil science, geomorphology and geology of the area, focusing on these features. Through detailed mapping by association between MDT, topographic maps and satellite images, we identified 177 dolines, which are present mostly open, circular and strongly related to structural controls in consistent alignment with those presented to the outer portion of the Brasilia Folded Belt. It was also found that depressions are concentrated on the Bambuí Group and appear clustered in soft and low slopes or in floodplains. It occurred in situ study of subsurface surrounding three depressions with techniques of pedogeomorphology and geophysics. Thus, there was a clear relationship between grassland with laterites and tree vegetation with Oxisols, as well as the presence of depressions in this second environment. It was observed that the dolines are formed on weathered carbonate rocks, and that the relief evolution suggest an origin by etchplanation. Finally, we interpret that these features are originated after the degradation of laterites in the formation of ferruginous deep Oxisols, which might influence the dissolution of geological background in fault zones and the subsidence of the top covers.

## 1. Introdução

---

### 1.1 Apresentação do tema

---

Depressões se apresentam com forma geralmente côncava de perímetro circular, cujo centro é sempre mais profundo que suas bordas. Estas feições, dentre outras, foram inicialmente associadas ao relevo formado sobre rochas carbonáticas, o que foi então chamada de paisagem cárstica. A partir do século XVIII estudos sobre a gênese desta paisagem a colocava como resultado da dissolução química, junto de intensa ação de águas subterrâneas (KÖHLER, 1989; PILÓ, 1998). No entanto, estas formas foram também observadas em áreas de embasamento não-carbonático, colocando em debate o termo *feições cársticas* ser restrito a um único tipo de litologia, ampliando-o para qualquer rocha, desde que sobre a atuação predominantemente de processos químicos na modelação do relevo (WRAY, 1997a, 1997b; UAGODA, 2011; FABRI *et al.* 2014). Deste modo, o termo *dolina*, antes restritas ao relevo cárstico, também passou a ser utilizado para depressões em litologias diversas.

A pesquisa aqui apresentada parte da ideia de que as depressões são feições pouco estudadas, apesar de exponencial interesse na bibliografia internacional e que podem representar típicos estágios na evolução de paisagens, onde há adaptação do relevo para novas condições ambientais.

Exemplos disso são discutidos em autores como Queiroz Neto (2010), Espindola (2010) e Alves (2015), que interpretam que depressões fechadas ocorrem como uma fase inicial, desconectada da drenagem, porém posteriores a uma fase de intensa pedogênese produtora de profundos solos oxidados. Solos estes que são rejuvenescidos quando as depressões se conectam à drenagem. Outros autores, tais como Twindale (1986), Coelho Neto (1993) e Paisani *et al.* (2006) apresentam o vínculo que depressões possuem com as fraturas e estruturas litológicas que as sustentam, o que demonstra correlação entre lineamento de estruturas, hidrografia e depressões.

Há de se destacar que todas estas interpretações estão correlacionadas entre si, sendo que a instalação de drenagem, a gênese de depressões, a presença de fraturas no embasamento geológico e desenvolvimento de solos oxidados profundos, são todos elementos de uma única evolução da paisagem. Neste sentido, Filizola (1993), Thomas (1994), Filizola e Boulet (1996), Bigarella (2007), Uagoda (2011) e

Coltrinari (2011) demonstram como depressões são importantes para o debate sobre formação do relevo em baixas latitudes, onde se destaca contraposição entre erosão química e física.

Desta forma, a pesquisa proposta se volta para a bacia do alto Rio Preto e suas depressões. A bacia se inicia nas nascentes do Rio Preto e do Rio Bezerra até a confluência entre eles, o que delimita também o planalto do alto Rio Preto. Entre a margem esquerda do Rio Preto e da direita do Rio Bezerra, se localiza o Campo de Instrução de Formosa (CIF), área onde os estudos de subsuperfície desta pesquisa se concentram.

As depressões na bacia do alto Rio Preto se apresentam em diversas formas e estágios. Podem surgir em contato superficial com nascentes, com outras depressões, ou como sumidouros. Em alguns casos, formam cabeceiras de drenagem importantes e expressivas. Em outros, se apresentam fechadas.

Apesar de serem distintas na paisagem do Distrito Federal e Entorno (SILVA, 2003), as depressões presentes nesta área não possuem estudos específicos voltados à sua formação, sendo estas explicações mais modelares do que empíricas.

Braun (1970) cita a relação entre depressões e relevos aplainados, ao revisar o trabalho percussor de King (1956). Para tanto, concebeu os chapadões brasileiros como remanescente do Ciclo Sul-Americano, o qual teria se iniciado com o soerguimento do continente durante o Devoniano, era Paleozoica, sob um paleoclima árido ou semiárido. Assim, as rasas depressões sobre este relevo teriam se originado como meandros abandonados em amplos vales, em uma fase de pediplanação.

Esta visão é condizente com a de outros autores de mesma época, como Björnberg *et al.* (1964, 1966) e Penteado (1976), que interpretaram a gênese de depressões em superfícies geomorfológicas cenozoicas no sudeste brasileiro por mesmo processo de pediplanação. Estes pesquisadores estavam alinhados com o pensamento de suas épocas, ao se perceber que até as décadas de 1960-1970 apenas dados geomorfológicos eram considerados válidos para se explicar a origem da paisagem brasileira (COLTRINARI, 2013).

Com o advento de outras teorias, dentre elas a etchplanação, processos químicos foram mais bem exploradas, aproximando uma abordagem conjunta entre solos e relevo. Um dos primeiros e mais significativos estudos para a explicação das Chapadas sob esta ótica, foi realizada por Novaes Pinto (1987) que citou a presença

de *dales* no Vale do Rio São Bartolomeu, e as próprias depressões no alto Rio Preto, como resultado direto de uma evolução química da paisagem.

Nesta linha, Moraes (2004) e Campos *et al.* (2006) delimitam as depressões na bacia do alto Rio Preto como feições resultantes ou do abatimento ou da dissolução de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Contudo, não foi explicado em detalhes como a dissolução ou o abatimento desta litologia é responsável pela sua origem, nem como isso se coloca frente a uma evolução mais geral da paisagem.

Além de depressões, em camadas elevadas no planalto também aparecem crostas lateríticas (NOVAES PINTO, 1987), sobretudo nas áreas de rebordo, além de sobreposição por depósitos detríticos recentes, de idade quaternária (SILVA, 2003). Investigações acerca destas crostas e de sua cobertura detríticas permitem relacionar as suas geometrias e localizações como marcadores de datação indireta para a formação do relevo atual.

Outro elemento notável na área são as espessas coberturas de Latossolos Vermelho e Latossolos Vermelho-Amarelo. É debatida na literatura a inter-relação entre ambos, sendo os Latossolos Vermelho-Amarelo resultantes da perda de ferro e presença de goethitas, originários de Latossolos Vermelhos. Os Latossolos Vermelho-Amarelo, no entanto, podem voltar a originar solos vermelhos, como exposto na própria área da bacia por Novais Pinto (1987). Este tipo de relação já foi observado em outras áreas, por Macedo e Bryant (1987), Ladeira (1995), Schrage (2012), Araujo *et al.* (2013), Alves *et al.* (2014), e Alves (2015), dentre outros.

A presença destes solos, cuja cor não é reflexo direto de litologias diferentes, pode ser causada pela condição ambiental dos solos, sobretudo hídrica e vegetal, relacionada ao modelado do relevo e posição na vertente. Os Latossolos Vermelho e são associados a um solo areado, com presença, sobretudo de hematita. Por sua vez os Latossolos Vermelho-Amarelos ou Amarelos estão em ambientes de má drenagem, em fase redutora; onde prevalece a formação de goethitas (SCHWERTMANN, 1985; MACEDO e BRYANT, 1987).

Porquanto, para além da origem destas depressões propriamente ditas, não foi explicada como a relação entre as depressões, a geoquímica dos solos e a erosão do relevo interagem entre si, por meio de um conhecimento realmente integrado, o que permite também o estudo da evolução da paisagem local através de inferências sobre o passado e o futuro do planalto do alto Rio Preto. É necessário, portanto, um

exaustivo mapeamento de tais feições e o estudo de seus substratos, de modo a integrar elementos diversos da paisagem.

Dessa forma, o interesse por tal área de estudo reside no fato de que, sendo uma área que detém região de preservação ambiental mantida e garantida pelo Exército Brasileiro em um campo de instrução militar, possui pouca influência antrópica, o que permite que se trabalhe com variáveis naturais de forma mais consistente.

Esta dissertação integra pesquisa mais ampla, associada à Universidade de Brasília e ao Exército Brasileiro. Há, entre as instituições, um acordo de cooperação técnica - ACT 12-047-00 - que envolve variados grupos de pesquisadores e estudantes em geociências e ciências biológicas com foco em estudos geotécnicos e biológicos do Campo de Instrução de Formosa – GO, o que contribui localmente para o planejamento e a gestão ambiental da fauna, flora e meio abiótico (erosão, solos e recursos hídricos) e cientificamente com o conhecimento da origem e interações entre geossistemas do Cerrado.

## 1.2 Recorte no Tempo e Espaço.

---

### Escala

A escala de estudos nas ciências da Terra sempre é, necessariamente, uma escala espaço-temporal (KOHLENER, 2001). Neste sentido, o espaço está obrigatoriamente relacionado ao tempo de sua construção. Feições de escala local podem ocorrer em uma escala temporal de séculos ou décadas, tais como ravinamentos. No entanto, no contexto de uma evolução de paisagem, estas fazem parte de uma readaptação do contexto ambiental em escalas temporais e espaciais de maior abrangência e significância.

Sendo assim, nesta pesquisa, pretendemos correlacionar escalas diferentes de trabalho (RENDMAN, 1973). Deste modo, acreditamos poder inferir os tempos difusos da formação das depressões e os controles que as guiam, bem como discutir sua importância na evolução da paisagem.

Por este motivo, o recorte espacial do trabalho é de *escala regional*, para toda a *bacia do alto Rio Preto*, com mapeamento das depressões e seus controles geomorfológicos e geológicos; e de *escala local*, para indicadores pedológicos e

geomorfológicos próximo a *três dolinas e seu entorno*, escolhidas junto à etapa de mapeamento.

### Bacia do Rio Preto e depressões estudadas

O Rio Preto faz parte da bacia do Rio Paracatu, importante afluente do Rio São Francisco. Sua área total de drenagem é de aproximadamente 10.500 km<sup>2</sup>, em sua maioria em Minas Gerais. Por sua vez, a bacia do alto Rio Preto possui área aproximada de 3.500 km<sup>2</sup>, distribuída nos estados de Goiás (GO), Distrito Federal (DF) e Minas Gerais (MG), conforme **Figura 1.2.1**.



Figura 1.2.1 – Localização da área de estudo. Escala federal, estadual e municipal. A bacia abrange os estados de GO, DF e MG. A divisão entre os estados de GO e DF, dentro da bacia, é o próprio Rio Preto. Elaborado pelo autor. Datum WGS 84.

Tem como limite jusante o encontro do Rio Preto com o Rio Bezerra. Da confluência até as cabeceiras destes dois rios, a bacia hidrográfica delimita também o que chamamos neste trabalho de planalto do alto Rio Preto (**Figura 1.2.2**).

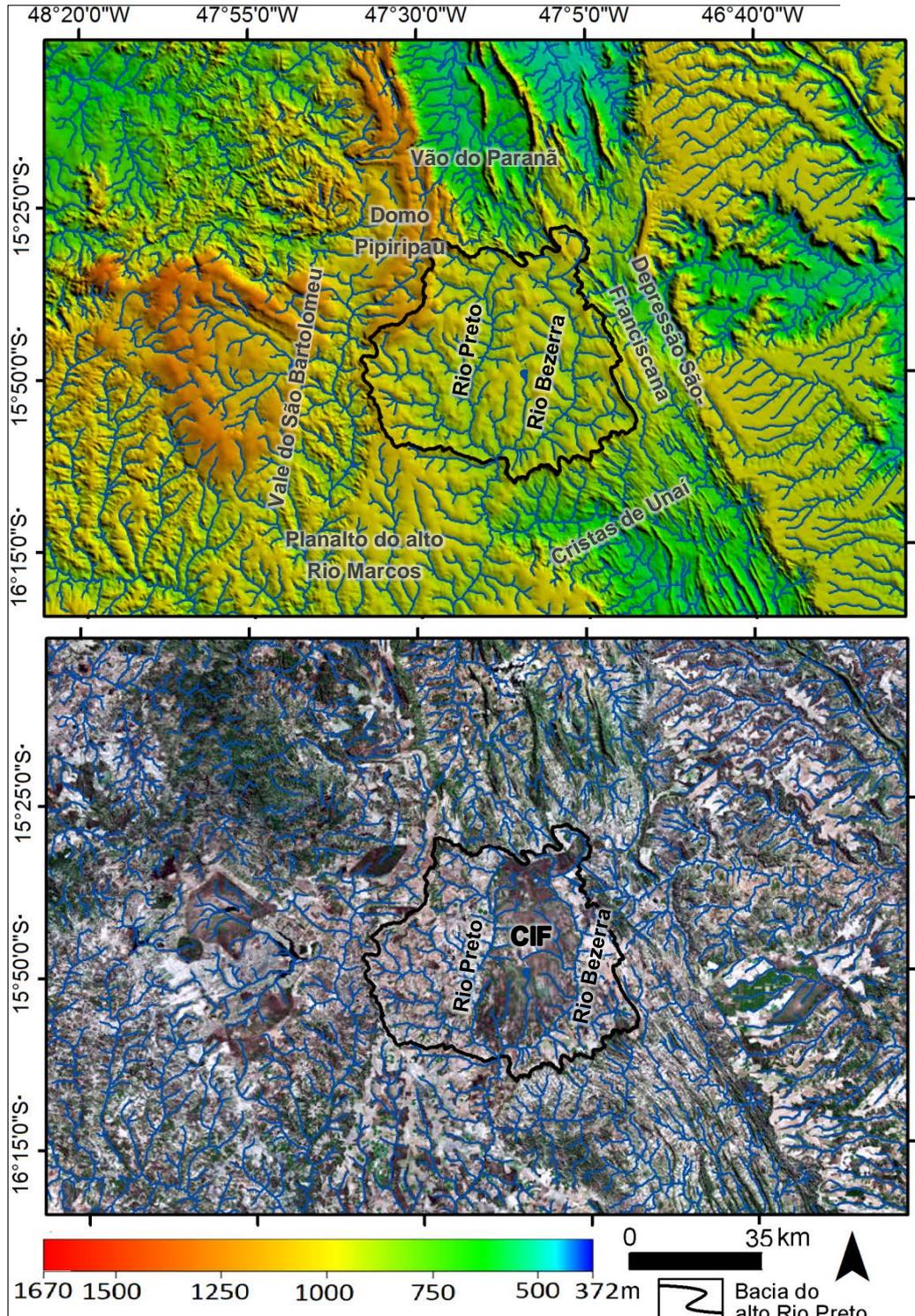


Figura 1.2.2 – Caracterização da área de estudo. (A) Composição de relevo e hidrografia gerada por Modelo Digital de Terreno (MDT) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) Banca-C arco 3". (B) Delimitação da bacia de estudo e seu planalto homônimo, sobre composição Landsat 8. A porção mais escura, que reflete cerrado preservado, entre os rios Bezerra e Preto é a área delimitada pelo CIF. Elaborado pelo autor. *Datum* WGS 84.

Conforme pode ser observada na figura anterior (Figura 1.1.2), a bacia do alto Rio Preto é delimitada ao norte por abrupta escarpa, que separa a bacia da depressão

do rio Paranã, também chamada de Vão do Paranã. Nesta depressão ocorrem alongadas serras, tais como Carreira Comprida, Laranjeiras e Manhoso.

A oeste, a bacia é delimitada por rebordos, que a separam do encaixado vale do São Bartolomeu. A sudoeste, a delimitação ocorre sem mudanças bruscas de relevo, através do morfologicamente semelhante planalto do alto Rio Marcos, antigo planalto do Rio Preto. Localmente, o planalto também é chamado de Chapada do Catingueiro.

De sudeste a leste, a bacia é separada da depressão São-Franciscana por rebordos, seguidos de escarpas. No limite sudeste, onde corre o Rio Preto após sua captura para a bacia do São Francisco, destacam-se alongadas serras, que conjuntamente recebem o nome de Cristas de Unaí, que despontam desde próximas ao município de Unaí.

Dentro da bacia do alto Rio Preto, se insere território ambientalmente preservado de administração do Exército Brasileiro, intitulado como Campo de Instrução do 6º Grupo de Lançadores Múltiplos de Foguetes, ou apenas Centro de Instrução de Formosa (CIF) (**Figura 1.2.3**), de área total de 117.000 ha. O campo é utilizado para treinamentos diversos e defesa nacional, que abriga o Sistema de Artilharia de Foguetes para Saturação da Área (ASTROS II). Nesta área, se concentrou os estudos em escala local de subsuperfície, em três depressões e seu entorno.

A escolha destas depressões se deu por três motivos principais: por localizarem-se no interior de área preservadas do CIF, o que se configura numa minimização de questões antrópicas advindas do uso do solo, além de relativa facilidade de deslocamento entre elas. Pelo fato de que estas representam pelo menos três estágios diferentes do desenvolvimento de depressões em relação à hidrografia. Por fim, pois se assentam em significativa área de densidade de depressões.

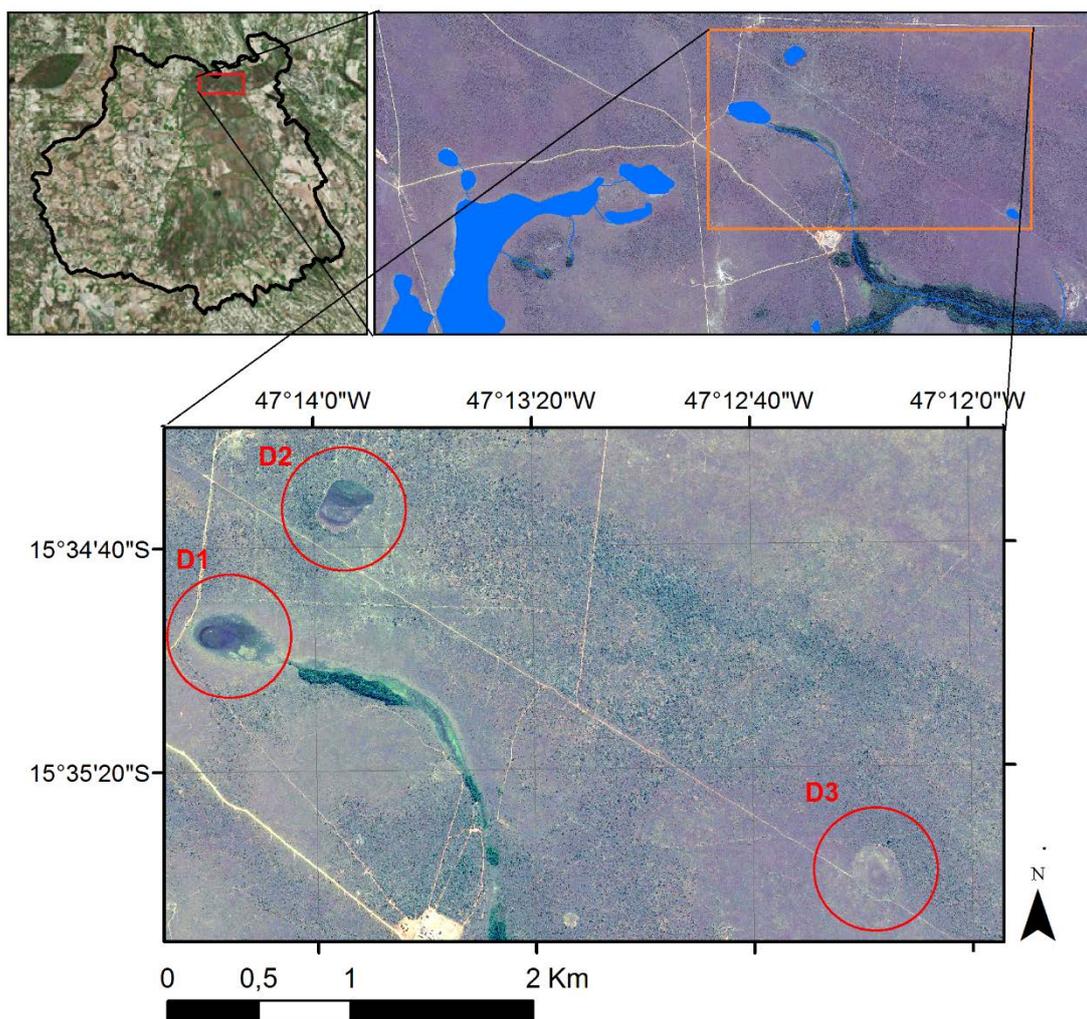


Figura 1.2.3 – Localização das depressões doliniformes. D1) Depressão intermitente e aberta. D2) Depressão fechada e intermitente. D3) Depressão fechada, sem água em superfície. Elaborado pelo autor, no Global Mapper® sobre banco de dados World Imagery®. Datum WGS 84.

**(1)** D1 – Lagoa Brejinho<sup>1</sup> - Depressão aberta e intermitente, com ligação superficial a um canal de primeira ordem perene<sup>2</sup>.

*Coordenada: WGS 84, 15° 34' 55.9" S / 47° 14' 17.2" W*

**(2)** D2 - Lagoa Santa Cruz<sup>1</sup> - Depressão fechada, com horizonte *glei* aparente em toda sua extensão e caráter intermitente<sup>2</sup>.

*Coordenada: WGS 84, 15° 34' 32.1" S / 47° 13' 53.8" W*

**(3)** D3 – Sem nome, Depressão fechada, isolada de outras dolinas e sem água superficial tanto nos períodos de chuva quanto de estiagem<sup>2</sup>.

*Coordenada: WGS 84, 15° 35' 39.4" S / 47° 12' 16.7" W*

<sup>1</sup> Toponímias conforme IBGE (1990).

<sup>2</sup> Conforme observação do autor entre 2013 e 2015, carta IBGE (1975a, 1990) e relatos orais de membros do CIF.

### 1.3 Objetivos: Geral e Específicos

---

O objetivo geral desta pesquisa é investigar controles pedológicos, geológicos e geomorfológicos que contextualizam as depressões na bacia do alto Rio Preto.

Para tanto, traduzindo-se em objetivos específicos, buscaremos:

- (1) Mapear e classificar as depressões da área de estudo, observando suas distribuições e relações com tais controles, a fim de se observar sua distribuição espacial e organização
- (2) Caracterizar tais depressões, e seu entorno, com ênfase nos solos e colúvios que as circundam pelo ponto de vista macromorfológico, tanto físico como químico.
- (3) Analisar os resultados no que concerne à espacialidade das depressões e o seu entorno pedogeomorfológico, a fim subsidiar discussões acerca destas feições com a evolução da paisagem local.

### 1.4 Estrutura do Trabalho

---

Optou-se neste trabalho pela utilização do método dedutivo, que para Popper (1956) é esquematizado da seguinte forma: através de um conhecimento prévio sobre determinado assunto a ser estudado (1), detecta-se uma lacuna, uma pergunta ou conflito (2). Assim, a solução ou resposta leva a um objetivo, que possui por sua vez uma predição (3). Testa-se e examina-se (4), qualitativa e quantitativamente, tal predição. O resultado (5) pode ser sua comprovação ou refutação (6).

Tal método, influenciado pelo advento de tecnologias e técnicas, além do surgimento de novos paradigmas, tem sido cada vez mais comum em diversas ciências da Terra e Ecológicas, em contraposição com o Método Indutivo (VITTE, 2010).

Desta forma, a pesquisa está assim estruturada, evidenciando a escolha dos métodos e a apresentação dos resultados (**Figura 1.4.1**):

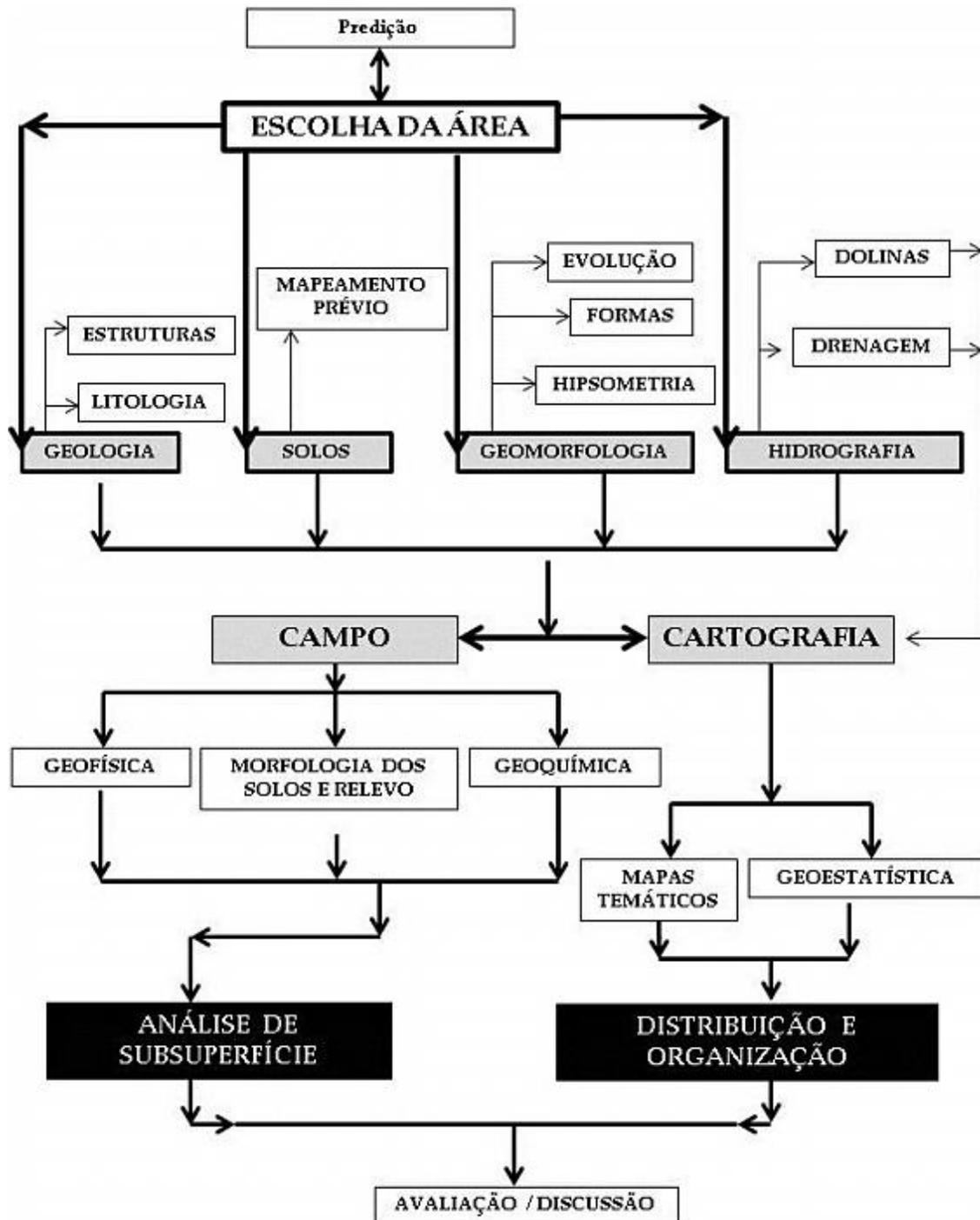


Figura 1.4.1 – Plano de Trabalho. Em destaque, duas etapas de trabalho: a de campo e cartografia, comportando-se por retroalimentação. Essas etapas originam dois resultados, apresentados em artigos próprios: Análise de Subsuperfície, com enfoque em solos e geofísica, e Distribuição e Organização de Dolinas. A leitura da bibliografia esteve presente em toda a pesquisa. Elaborado pelo autor.

A predição e os objetivos, como recorte do objeto de estudo são apresentados neste capítulo, intitulado como **Capítulo 1: Introdução**. Na sequência, o **Capítulo 2: Bases Conceituais** discute o embasamento para a pesquisa, sendo o contexto

geomorfológico, pedológico e geológico da área um elemento ativo na análise deste trabalho, que vai além de uma mera descrição.

Conforme citado anteriormente, foram utilizadas duas escalas de análise, uma mais regional (bacia hidrográfica) e outra local (entorno das dolinas), sendo que a escolha desta última se deu em retroalimentação à análise da primeira.

Optamos por apresentar as técnicas e os resultados de cada etapa e escala de análise já no formato de artigo, como opção disponível no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília. Desta forma, foram realizados dois artigos, que compõem o **Capítulo 3** e **Capítulo 4**.

O primeiro artigo e **Capítulo 3**, intitulado **Distribuição espacial de depressões na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG) e suas relações com controles geológicos e geomorfológicos**, apresenta a distribuição das depressões da área de estudo, com elementos de geoestatística simples sobre sua caracterização e controles geológicos e geomorfológicos.

O segundo artigo e **Capítulo 4**, intitulado **O papel de depressões na paisagem da bacia do alto Rio Preto, Brasil central**, apresenta a caracterização do subsolo no entorno e dentro de tais depressões, com elementos de geologia e geomorfologia.

Por fim, no **Capítulo 5** apresenta-se a conclusão geral para a dissertação, onde ocorre a discussão envolvendo os resultados obtidos em cada uma das etapas anteriores.

## 2. Bases conceituais

---

### 2.1 Geomorfologia e Pedologia.

---

#### Introdução

Em trabalho precursor, Braun (1970, p. 3), ao descrever as chapadas na região central do Brasil, inicia sua elucidação com a qual tomamos a licença e iniciaremos também a nossa: “as extensas coberturas colúvio-aluviais e eluviais que revestem as extensas áreas aplainadas do Brasil constituem-se em um desagradável inconveniente para o mapeamento geológico”.

Para a bacia desse estudo, poucos avanços científicos neste tema ocorreram desde então. Ainda não foram realizados mapeamentos específicos e de precisão do substrato de tais coberturas, sobretudo em escalas compatíveis com o recorte dado a este trabalho, apesar de inegável desenvolvimento sobre a história e tectônica geológica regional.

Sobre estas coberturas colúvio-aluviais e eluviais, a área de estudo carece de datações específicas, realizadas diretamente no sedimento (datação absoluta), ou em amostras orgânicas - apesar da grande quantidade de carvão disponível nos solos e da baixa taxa de decomposição nas depressões e veredas (datação relativa ou palinologia). Também não há relatos de vestígios arqueológicos para a região, os quais poderiam permitir inferências dentro da escala do quaternário.

Portanto, a datação relativa de tais coberturas é explicada através de considerações da geomorfogênese das superfícies aplainadas e sua correlação com ciclos de denudação. Deste modo, diversos autores buscaram explicar a evolução geomorfológica da região, cuja discussão foi sistematizada em Martins (2000), Martins *et al.* (2004a), Steink *et al.* (2007) e Nascimento (2011).

No entanto, tais autores, apesar de sistematização bibliográfica sobre a Geomorfologia do Distrito Federal, não enfatizaram especificamente a bacia do alto Rio Preto. Por este motivo, neste capítulo apresentaremos nossa revisão bibliográfica acerca da geomorfologia desta bacia. Optou-se por utilizar um viés cronológico, revisando os trabalhos que, de certa maneira, discutem a evolução do planalto do Rio Preto, dando subsídios sobre a formação das depressões encontradas no mesmo.

Consideramos que esta discussão é de suma importância para o debate realizado por esta dissertação.

No entanto, os autores que serão trazidos à discussão, tais como Braun (1970), Penteadó (1976), Maio (1987) e Novaes Pinto (1987), utilizam principalmente as técnicas, teorias e paradigmas vigentes em suas épocas; como não poderia deixar de ser. Destarte, para entendermos a discussão da evolução geomorfológica referente à área de estudos, devemos antes adentrar nos conceitos que a permeia.

### Conceitos

Por superfície aplainada, assume-se neste trabalho como um nível altimétrico elaborado pela denudação do relevo independentemente da litologia, das estruturas geológicas e de sua gênese. Assim, o relevo pode apresentar uma forma discordante da estrutura. Para Small (1978), quando a estrutura e a litologia são homogêneas e influenciam neste aplainamento, o termo correto utilizado deve ser superfície estrutural (**Figura 2.1.1**).

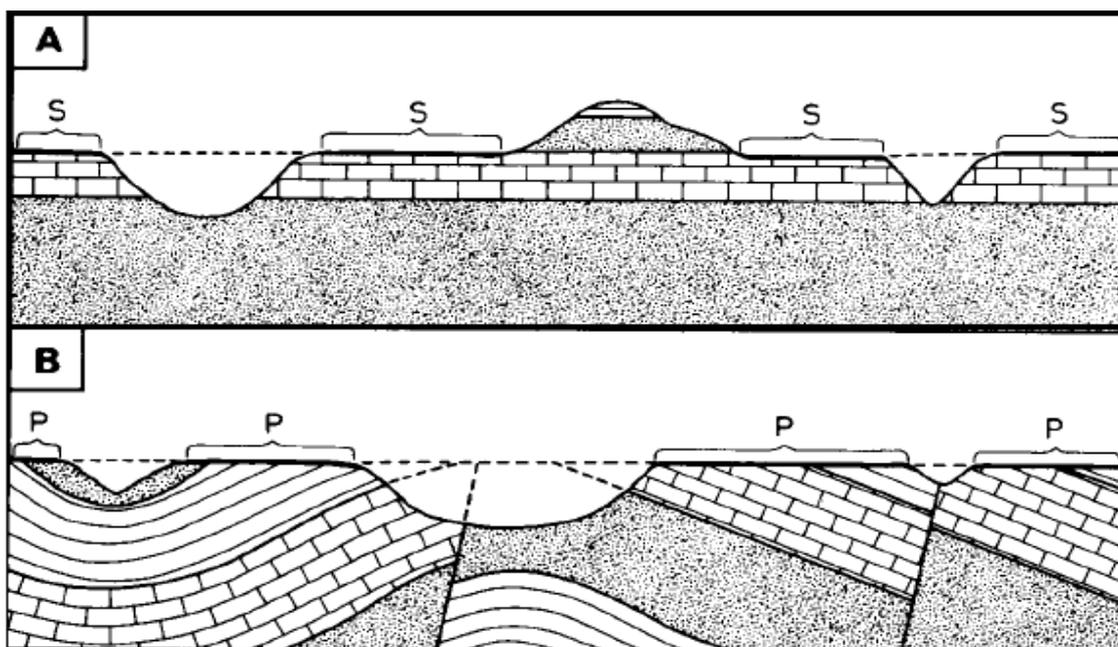


Figura 2.1.1 – Tipos de superfície de aplainamento. A) Superfícies Estruturais (S) e B)- Superfícies de Aplainamento (P). Observa-se mesmo nível altimétrico, independente da litologia. Elaborado por Small (1978).

Conforme Silva (2009), as superfícies aplainadas encontram-se altimetricamente acima dos níveis de bases atuais, sendo que quanto mais antiga for a superfície, maior será sua altitude. Estas superfícies mais antigas encontram-se geralmente descontínuas e isoladas, enquanto que as mais recentes se encontram

mais perceptíveis e recorrentes na paisagem. A autora prefere utilizar o termo Superfície Geomorfológica.

O fator da resistência da rocha não pode ser desconsiderado, ao passo que é determinante no tempo de intemperismo e na erosão que possa ocorrer (**Figura 2.1.2**). A presença de fraturas e densa rede hidrográfica também contribuem para maior velocidade de denudação.

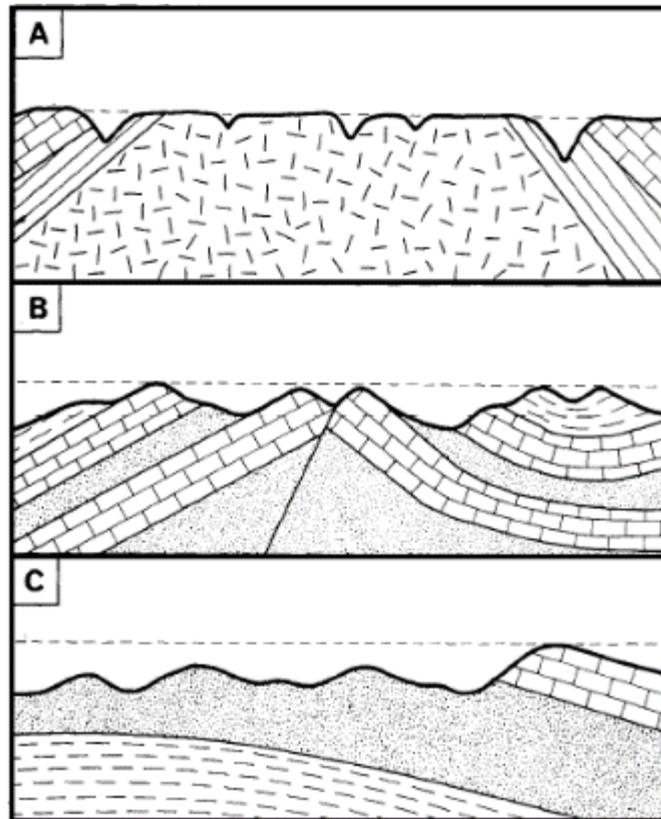


Figura 2.1.2 – Relação entre superfícies de aplainamento e litologia. A - Em rochas resistentes, a altimetria tende a ser homogeneizada, com divisores planos. B- Com diferenciação litológica, os pontos mais altos tenderão a ser de litologias mais resistentes. C- Níveis altimétricos diferentes tendem a difundir em exposições prolongadas. Elaborado por Silva (2009).

A gênese de superfícies de aplainamento trata-se de uma discussão presente em autores tais como Peulvast e Sales (2002), Caseti (2005), Bigarella (2007), Salgado (2007), Silva (2009) e Klein (2012). Segundo Paisani *et al.* (2013), as mais importantes teorias acerca da gênese de superfícies aplainadas são: O ciclo geográfico de W. M. Davis (1898), superfície de Penck (1924), a pediplanação de King (1948, 1953, 1956, 1957) e etchplanação de Wayland (1933) atualizada por Büdel (1957). Millot (1982) também se destaca ao inserir o papel da Pedologia com mais ênfase na evolução da paisagem.

## Peneplanação

A teoria de Ciclo Geográfico de W. Davis (1898), apesar de não ser mais recorrentemente utilizada em interpretações modernas sobre o relevo, é vista como fio condutor e pilar aos pensamentos mais atuais (BIGARELLA, 2007).

Esta teoria, e o contexto no qual foi elaborada, é revista incisivamente no texto de Monteiro (2001). Para este autor, Davis (1898) foi influenciado pelos desenvolvimentos acerca da erosão fluvial e da ideia de ciclo geológico da época, fazendo-o refletir indutivamente sobre um ciclo de erosão *ideal* para a evolução do relevo, com foco em climas temperados. Para Monteiro (ob. cit.), a desvirtuação do conceito de *ideal* para *normal* ocorreu principalmente por uma visão eurocêntrica de pesquisadores futuros, sendo esta “uma curiosíssima normalidade quando refletimos que aqueles condicionamentos climáticos vigoram apenas em cerca de 10% da superfície do globo terrestre” (ob cit, p. 5).

Para Davis (1898), visando se aproximar de uma linguagem matemática, o relevo é a função das variáveis endógena (estruturais), exógena (processuais) e tempo (cronologia) (CHORLEY *et al.*, 1973). A formação do relevo passa então por fases, o que configura o Ciclo Geográfico (**Figura 2.1.3**).

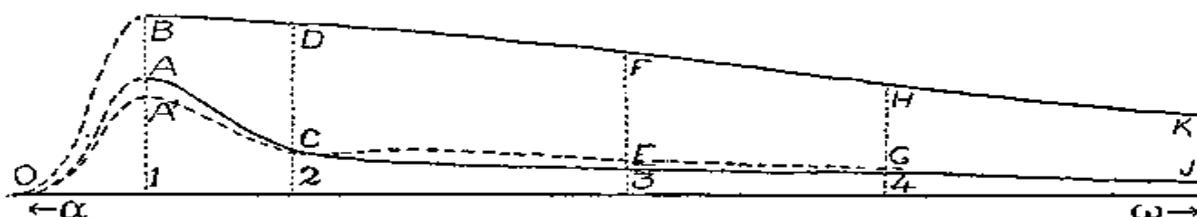


Figura 2.1.3 – Ciclo Geográfico para Davis (1898). A linha *aww* representa o tempo. No momento 1, “A” representa os vales e “B” os divisores. No momento 2, as altitudes dos vales diminuem até cota “C” e “D” representa os divisores. Este é o momento de maior gradiente entre topo e base. Nas fases 3 e 4, percebe-se que a elevação entre “C” e “E” não diminuiu tanto, porém as cotas mais altas tendem a diminuir lentamente. O aprofundamento, na fase entre 1 (juventude) e 2 (maturidade) é principalmente o dos vales principais, enquanto nas fases subsequentes, são nos planaltos, até se atingir um equilíbrio<sup>3</sup>. A curva pontilhada demonstra a incisão dos vales. Elaborado por Davis (1898)

Pensando o ciclo em três fases, Davis (1898) descreve que a primeira fase, chamada de Juventude, inicia-se com um rápido soerguimento de um bloco continental. Com a elevação do gradiente entre esse novo relevo e o nível de base

<sup>3</sup> Na maioria das representações gráficas de Davis (1898), o momento de Juventude é representado com vales profundos e topos altos. Contudo, observando o gráfico original do autor, é na verdade no momento de Maturidade, e não Juventude, que isto ocorre.

geral - em sua teoria, o mar - aumenta-se a energia de incisão dos canais fluviais, aumentando o seu poder de erodibilidade e transporte

A segunda fase, chamada de Maturidade, surge como uma fase intermediária. Trata-se de fase com o maior número de canais de baixa ordem e maior força de incisão.

Na terceira fase, intitulada Senil, o rio principal perde sua energia em função do quase nulo gradiente entre seu leito e o nível de base, perdendo poder de transporte. Dessa forma, é comum o relevo estar plano e o rio, com alta taxa de sedimentação, possuir meandros. A partir deste momento, pode surgir um novo e elevado soerguimento, rejuvenescendo a paisagem.

Pequenos movimentos tectônicos podem ocorrer ao longo do processo de acordo com Davis (1989), porém, apenas na fase de senilidade que o mesmo será significativo. A importância da erosão fluvial faz com que as superfícies se aplainem na direção do litoral ao interior do continente. Os relevos residuais que por ventura existam, têm o nome de *Monadnocks* (CASSETI, 2005; BIGARELLA, 2007).

### **Pediplanação**

Penck (1924) se atenta para a falha na teoria indutiva de Davis (1989) em não considerar a possibilidade de movimentos tectônicos significativos antes da fase de senilidade, *i. e.*, concomitante com a dissecação do relevo. O autor pensa, portanto em um balanço de equilíbrio entre forças endógenas e exógenas concomitantes na modelação do relevo, e não excludentes.

Em sua teoria, observou a não aplicabilidade para grande parte das paisagens do mundo do modelo do Ciclo Davisiano. Boa parte desta visão se dá pelo conhecimento através de expedições que se deram naquela época para regiões diversas, associados a um método mais sistematizado de se pensar a ciência, sendo o próprio Penck estudioso de regiões montanhosas glaciais – paisagem diferenciada em relação a Davis.

Outro importante avanço de Penck foi considerar a existência de níveis de base local, e não apenas um marítimo.

Em síntese, a teoria de Penck (1924) pode ser explicada do seguinte modo: um soerguimento de uma superfície quase plana forma um domo (dado que o centro estará mais elevado que seu entorno). Se a força endógena for menor do que a força

exógena, a erosão física (ou química) passa a aplainar o “domo”, da sua periferia até o seu interior.

Pode ser que um novo processo de soerguimento se inicie e se encerre, o que criaria nova etapa de erosão. Assim, surgiriam duas superfícies diferentes: a do centro do domo e sua periferia já aplainada, da etapa anterior, e uma nova periferia, separadas por uma escarpa da antiga superfície, cuja erosão estaria se iniciando. Vários ciclos destes poderiam criar uma ideia de “escadaria” para o relevo (**Figura 2.1.4**).



Figura 2.1.4 – Evolução do Relevo para Penck (1924). (r) Relevo residual. (S1) Superfícies Paleogênica, do tipo domo. (SPH) superfície pós-herciniana; (SEC) superfície eocretácea; (S2) superfície mesoterciária; (J) terrenos jurássicos; (C) Terrenos cretáceos; (T) terrenos terciários. Em cinza, região de soerguimento de subsidência. Os produtos da pedimentação (solos ferralíticos, siderolíticos de transporte) fossilizam as partes deprimidas de S1. Redesenhado de Klein (1993) por Peulvast e Sales (2002).

Como em Davis (1989), o rebaixamento interno dentro de uma mesma superfície de aplainamento se dará de modo vertical. No entanto, o avanço de uma superfície sobre outra, delimitada por escarpas, se dará por recuo lateral.

Esta teoria (PENCK, 1924) junto à de Davis (1989) deu bases a de King, importante autor para a Geomorfologia brasileira, o qual influenciou as primeiras interpretações geomorfológicas para área de estudo desta pesquisa.

King (1948, 1953, 1957), baseado em sua experiência no sul da África, local em que viveu, introduz a noção de pedimentos, como material resultante de uma superfície que aparece nas regiões de clima quente árido ou semiárido, sob baixa cobertura vegetal. Assim, traz a ideia de que o clima é importante fator determinante na dissecação do relevo.

Assim como Davis (1989), King (1948, 1953) acredita que o ciclo se inicia com um soerguimento do relevo por fenômenos endógenos, sendo um soerguimento inicial e significativo. No entanto, pode-se também ser iniciado por um rompimento do nível de base (como uma captura fluvial).

A evolução do relevo tenderá a um equilíbrio quando o rio principal tiver vencido o gradiente do nível de base, o que inicia o processo de alargamento de seus vales (KLEIN, 1993). A evolução do relevo se dará de forma lateral, por escarpas. A

retração deixará os detritos, chamados por King (1956), de pedimentos. Estes detritos são trazidos por grandes rios e depositados à saída da *frente de erosão*. A coalescência dos pedimentos dá origem ao pediplano. Assim, a erosão física seria a grande responsável pelo recuo paralelo das vertentes, semelhante à teoria de Penck (1924).

Caso ocorra um novo soerguimento, o ciclo se repetirá sobre as superfícies já existentes, também criando um escalonamento de superfícies conforme exposto por Penck (1924), sendo a mais recente a de menor nível (**Figura 2.1.5**).

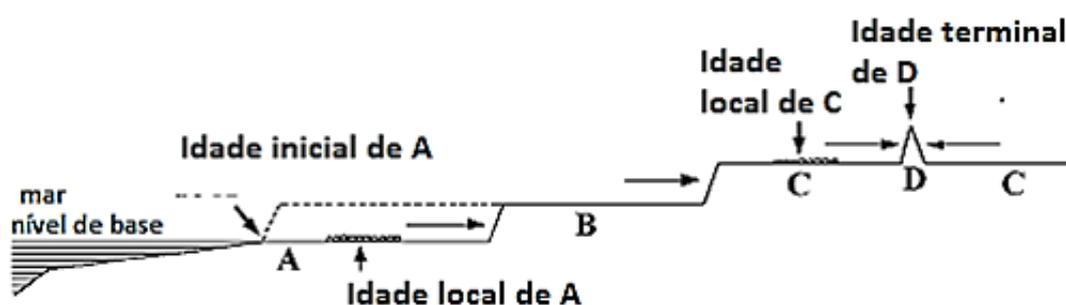


Figura 2.1.5 – Evolução do Relevo para King (1956, 1957). Imagem conceitual sobre a evolução do relevo. As superfícies A até C evidenciam três episódios de rebaixamento do nível de base. A datação do depósito sobre cada uma pode dar a idade local da superfície. O último vestígio de uma dada superfície fornece sua idade terminal. Desenho de Summerfield (1991 *apud* PEULVAST e SALES, 2002), adaptado pelo autor.

### ***Etchplanação***

Desde o século XVIII, pesquisadores perceberam particularidades na paisagem tropical nas baixas e médias latitudes do planeta. É neste sentido que Thomas (1994) cita os trabalhos de Branners's (1896), na região de Ouro Preto em Minas Gerais como pioneiro. Já Vitte (2005) destaca os estudos de Von Humbold, no México e J. D. Dana na Austrália.

Os autores Thomas (1994) e Vitte (2005) sublinham o papel de *Inselbergs* como o impulso na Geomorfologia para se pensar em processos específicos para climas úmidos, sobretudo ao contrapor feições corriqueiras das zonas tropicais com as teorias vigentes de Geomorfologia, estas originadas em altas latitudes.

Uma superfície originada de materiais pedogeneisados ou intemperizados é comumente nomeada como *etchplano*, conforme termo de B. Willis (Wayland, 1933). No entanto, a ideia de superfícies geomorfológicas relacionadas à gênese química e

estritamente climática, só se tornou ampla após Büdell (1957), apesar do mesmo não utilizar o termo *etchin* (MIGNON, 2004).

O conceito *etching*, traduzido para o português como “corrosão” (BIGARELLA, 2007), significa o ataque químico de uma superfície por reagentes agressivos, sendo utilizado na Geomorfologia para descrever a decomposição de rochas, as quais originam profundos mantos intemperizados.

Para Wayland (1933) a paisagem de Uganda na África, cuja atual superfície se apresenta particularmente rochosa, foi resultado da criação de espessos sedimentos em uma fase úmida, posteriormente denudados (mecanicamente) durante fase de epirogênese lenta. Para o autor, o ciclo entre denudação e corrosão pode ocorrer repetidas vezes.

Nesta teoria, a superfície se apresenta principalmente de forma homogênea, mas o autor não nega a existência de diferenças altimétricas relacionadas a resistências geológicas. O autor também não nega pediplanícies, no conceito de King (1953) na região da África, apesar de acreditar que o conceito não deva ser utilizado ao que ele observou.

Por sua vez, Büdell (1957) considera este modelo de Wayland (1933), complementando-o com a ideia de que a exumação do relevo ocorre através de uma dupla superfície de aplainamento, independente de ciclos.

A dupla superfície de aplainamento se dá pela diferença de umidade sazonal em porções diversas no solo. Na porção superior do solo, ocorre o escoamento superficial e difuso, sobretudo durante a estação úmida. Na porção basal do solo ocorre a alteração química durante todo o ano, dado que nesta profundidade o solo é permanentemente úmido.

Deste modo, a denudação do relevo se inicia com a alteração de saprólitos e rochas basais no *front* de alteração inferior (primeira superfície de aplainamento), de forma irregular conforme as particularidades estruturais e de resistência do embasamento geológico. Na superfície do solo, *front* de alteração superior (segunda superfície de aplainamento), por sua vez, ocorre a lixiviação de material fino, o que fragiliza o solo à erosão física e enriquece o lençol freático, que circula no *front* de alteração inferior.

Vitte (2005, p.107), ao revisar a etchplanação nos trópicos, expõe que para Büdell (1957) “existe uma integração dialética entre a alteração geoquímica das rochas e a erosão superficial”. Deste modo, os processos de lixiviação e lessivagem

fragilizam os horizontes superficiais ao disjuntar as ligações de ferro-argila. Assim, ocorre o carreamento vertical de íons, argilas, oxi-hidróxidos de ferro e alumínio e ácidos orgânicos, o que aprofunda o perfil de intemperismo e deixa o solo propenso à erosão em sua superfície.

Esta lixiviação nas porções superiores do solo ocasiona a criação de crostas (couraças) ferruginosas, por deixar áreas de concentração de óxidos resistentes ao transporte químico. Este processo, junto à bioturbação, origina os Latossolos.

Para Wirthmann (1999 *apud* UAGODA, 2011), nas couraças prevalecem a concentração de gibsitita ( $\text{Al}[\text{OH}]_3$ ), de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e de goethita ( $\text{FeO}[\text{OH}]$ ). Quando ocorre a remoção de bases e desilificação desse material, geram-se os solos tropicais. Assim, o acúmulo de sesquióxidos é residual ao processo de lixiviação.

Assim, D'Hoore (1954 *apud* ALVES, 2015) destaca que couraças ferruginosas podem se formar por dois processos distintos: pela importação de sesquióxidos (acumulação absoluta), ou pela lixiviação de não sesquióxidos (acumulação relativa), sendo este segundo processo descrito nos parágrafos anteriores.

Para o caso de importação de sesquióxidos, a couraça se forma pela adição de elementos cimentantes eluviados a partir de horizontes ou estratos superiores, através da água do solo, o que gera sua formação. Este processo em princípio é isovolumétrico.

A cimentação pode ocorrer em áreas planas, caso se acumulem os elementos transportados. Nestes casos, pode inclusive ocorrer a comaltação do fundo de acumulação, o que permite a criação de lagoas. O acúmulo de sesquióxidos também pode ocorrer a partir da retenção da drenagem por causa de uma mudança no horizonte ou estrato no solo, por uma camada de rocha ou horizonte mais impermeável. (MAIGNEIN, 1954; ALVES, 2015).

Em solos ferralíticos sobre rochas sujeitas a altas taxas de dissolução sob controle estrutural, as depressões fechadas tornam-se comuns, inclusive, podendo originar sumidouros pseudocárticos (FILIZOLA, 1993). Em áreas com duricrostas, são comuns depressões rasas, rodeadas por cornijas com laterita (BIGARELLA, 2007).

Assim, solos com acúmulo de ferro, depressões e couraças se destacam na paisagem tropical. Thomas (1994), além destas feições, cita a presença de seixos e cascalhos em interflúvios e ferrólise das argilas em ambientes hidromórficos também como características intrínsecas ao relevo em baixas latitudes.

Em síntese generalizada, podemos conceber o modelo da teoria de etchplanação em três etapas (MIGNON, 2004), conforme demonstrado na **Figura 2.1.6**.

A primeira etapa se inicia em uma superfície aplainada independente de sua gênese, conforme exposto por Adams (1975). Nesta superfície, durante um clima úmido, ocorre intensa meteorização das rochas e dos sedimentos já existentes. Desta forma, os modelos de evolução da paisagem, como proposto por Davis (1989), Penck (1924) ou King (1957), junto ao modelo acíclico da etchplanação (BÜDELL, 1957), podem se sobrepuser.

Em um segundo momento, há a retirada do material gerado na fase anterior, expondo novamente o embasamento, sobretudo por conta de uma denudação em ambiente semiárido. Neste momento, matacões e *inselbergs* se destacam na paisagem.

Após ocorrer a destituição do manto de intemperismo, o embasamento pode aflorar em cotas diversas, não necessariamente aplainadas, tendo em vista a erosão preferencial em rochas brandas, em zonas de fraturas, etc. Neste caso, Mignon (2004) prefere utilizar o termo *etchsurface* (etchsuperfície) do que *etchplain* (etchplano).

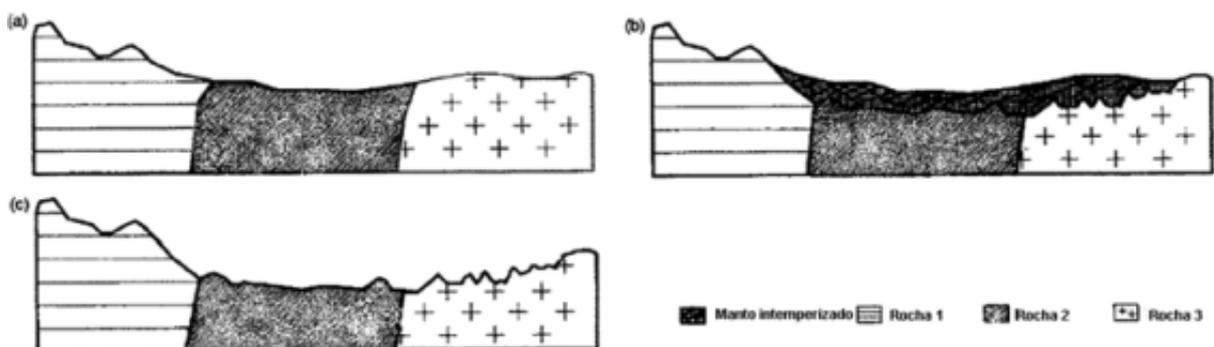


Figura 2.1.6 – Evolução Geomorfológica para Büdell (1957). Em superfície já aplainada, ocorre a produção de um profundo manto de intemperismo, o qual é erodido posteriormente. O relevo apresenta irregularidade topográfica, conforme a litologia. Adaptado de Mignon (2004) pelo autor.

Há que se destacar, no entanto, que Büdell (1957) não deu ênfase para mecanismos pedogenéticos. O papel dos solos na evolução do relevo (BIRKELAND, 1999) passou a ser enfatizado após os trabalhos de Millot (1982), assim como em pesquisadores como Boulet (1978, 1992) e Boulet *et al.* (1982a, 1982b, 1982c) e Tricart (1968), que influenciaram os pesquisadores brasileiros nos estudos da Pedologia na evolução do relevo (QUEIROZ NETO, 2010; ESPINDOLA, 2010).

Para Millot (1982), o rebaixamento da superfície pode ocorrer por perda de íons, e não só pela relação entre lixiviação e erosão física, como em Büdell (1957). Assim, o processo principal para o futuro aplainamento da superfície se dá pela separação entre o plasma do solo e seu esqueleto. O plasma migra por lixiviação, restando apenas o esqueleto de quartzo, que leva à formação de um solo arenoso, eluvial, lixiviado e móvel. A perda do plasma, portanto, diminui o volume total da paisagem.

Além disso, Büdell (1957) destaca que a erosão física ocorre principalmente no período de estiagem, em mudanças sazonais do clima, enquanto que Millot (1982) dá maior importância às mudanças climáticas em escala geológica.

Thomas (1984) classifica as paisagens criadas por etchplanação da seguinte maneira: (1) Etchplano recoberto (*Mantled etchplain*), cujo manto pode ser tanto do clima atual como uma relíquia, em toda a superfície, não expondo o embasamento geológico. (2) Manto parcialmente denudado (*Partly stripped etchplain*), onde até 10% do embasamento pode aflorar. (3) Etchplano denudado (*Stripped etchplain*) com a maior parte do embasamento aflorando. (4) Etchplano complexo (*Complex etchplain*), com focos de etchplanação em vales ou em renovação. (5) Etchplano soterrado (*Buried etchplain*), por lavas ou sedimentos recentes e (6) Etchplano enxumado (*Enxumed etchplain*), no caso de ter sido soterrado e, posteriormente, reexposto.

No Brasil, desde a década de 80, autores brasileiros tem discutido a formação de relevo em região tropical em relação à etchplanação, como os trabalhos de NOVAES Pinto (1987), Filizola (1993), Filizola & Boulet (1993, 1996), Vitte (1998, 2005), Martins (2000), Ladeira (2002), Coltrinari (2003), Bricalli (2006), Paisani *et al.* (2008, 2014), Rocha (2011), Uagoda (2011), Alves (2015), dentre outros.

Assim, seguindo estas teorias de Peneplanação, Pediplanação e Etchplanação, pesquisadores brasileiros estudaram a evolução geomorfológica da região central do Brasil, no qual no seguinte tópico destacamos os estudos voltados à bacia do alto Rio Preto,

### **Primeiros estudos sobre a Geomorfologia da bacia do alto Rio Preto**

O primeiro escrito sobre a paisagem da região do Distrito Federal e entorno se deu pela expedição exploratória denominada de Missão Cruls, em 1894. Tal missão, no entanto, não deixou relatos cartográficos, além de apresentar apenas

considerações breves sobre os recursos naturais das chapadas da região, interpretadas como maduras peneplanícies, sem produção efetiva de material cartográfico (STEINK *et al.*, 2007).

O próximo relatório importante, dentro da possibilidade da transferência da capital para o Centro-Oeste, foi realizado no contexto da Missão Belcher no final da década de 1940 (NASCIMENTO, 2011). Este relatório se focou na descrição das chapadas mais elevadas acima de 1200m, não individualizando desta forma o planalto do alto Rio Preto.

### **Braun (1970)**

Na sequência, um dos pioneiros a descrever a paisagem da região centro-ocidental do Brasil foi Braun (1980).

O autor revisa o trabalho de King (1956), mas mantém o conceito de pediplano e a nomenclatura dos principais ciclos de aplainamento. Sua justificativa para a revisão é a possibilidade de passar a utilizar mapeamentos em larga escala e imagens de fotografias aéreas, além de conhecimentos estratigráficos do Mesozoico e Cenozoico.

Braun (1970) afirma que toda a superfície atual do Brasil foi esculpida sobre o *Ciclo Sul-Americano*, assim, as superfícies mais antigas no relevo nacional são remetidas a esta fase. Esse ciclo teve seu início com o soerguimento do continente durante o Devoniano, na Era Paleozoica. Nesta época, o mar regrediu e se estabeleceram pelo menos três principais níveis de base para o Brasil: o amazônico, o nordestino e o leste-setentrional.

O ciclo se encerrou, para o autor, no Terciário<sup>4</sup> Superior, aproximadamente há 5 milhões de anos (Mioceno-Plioceno).

Para Braun (1970), as chapadas do Centro-Occidente do país são remanescentes do ciclo Sul-Americano. Cita como exemplos a chapada dos Veadeiros, na cota média de 1500 m e a chapada entre Cristalina e Luziânia (GO), em cotas de 1200 m, as quais, na maioria dos casos, são sustentadas por quartzitos.

---

<sup>4</sup> A nomenclatura de *Terciário* não é mais oficial atualmente. No entanto, sua referência é muito comum na bibliografia geomorfológica, de modo que a manteremos. Atualmente deu lugar ao Período Paleógeno (dividido nas Épocas Paleoceno, Eoceno e Oligoceno); e o Período Neógeno (dividido nas Épocas Mioceno e Plioceno).

Por sua vez, as superfícies mais baixas estão condicionadas a rochas menos resistentes.

O ciclo posterior ao Sul-Americano se iniciou durante o Oligoceno (33-24 milhões de anos), quando ocorreu novo soerguimento do continente, por arqueamento. Neste ciclo, chamado de *Velhas*, se destacam áreas planas, como os talwegues das principais bacias de drenagens atuais, recobertas por detritos aluviais. O ciclo também é responsável pela exposição de rochas carbonáticas e pela origem de grande parte do relevo cárstico brasileiro.

Para Braun (1970), a Superfície Velhas possui os níveis altimétricos atuais de até cerca de 800 metros de altitude. Assim, as cotas intermediárias entre a Superfície Velhas (800 m) e Sul Americana (1000 m) remetem a *Zonas de Dissecação*.

O autor salienta que no centro-oeste, por pediplanação, o relevo se apresenta em extensas chapadas, capeados por concreções no solo, cuja resistência é importante na sustentação das mesmas. Descreve, por atualismo, a existência de lagoas rasas, como remanescentes de antigos meandros que remontam a formação dos pediplanos do ciclo Sul-Americano. Feição que aparece junto a delgadas capas sedimentares.

Características semelhantes ao descrito pelo autor sobre superfícies de aplainamento Sul-Americana são encontradas na porção noroeste da bacia do Rio Preto, sendo constituída pelo domo de Pípiripau, onde nascem afluentes importantes como Rio Extrema e Rio Jardim.

Com base nisto, podemos interpretar o domo como remanescente desta fase. A sustentação deste domo, que se apresenta como chapada elevada, de fato está associada à litologia do Grupo Paranoá, constituído principalmente de quartzitos, seguido de metarritmitos arenosos.

Também podemos interpretar sobre o escrito de Braun (1970) que o planalto do alto Rio Preto está quase que totalmente em uma Zona de Dissecação, entre a Superfície Velhas e a Superfície Sul Americana. Dentro do próprio planalto, as cotas mais baixas do vale do Rio Preto e Bezerra estariam equivalentes às da Superfície Velhas. Já fora do planalto, nos compartimentos geomorfológicos que o rodeiam, a Superfície Velhas surge nos limites norte, leste e sul, todos relacionados à depressão São-Franciscana, separados do planalto por escarpas.

***Penteado (1976) e Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN (1984):***

Nos anos seguintes, Penteado (1976) apresenta trabalho específico para o Distrito Federal, com base nos trabalhos de King (1953), Bigarella *et al.* (1965) e Braun (1970), utilizando-se para tanto a teoria de Pediplanação. Deste modo, ela define cinco superfícies geomorfológicas para a região, as quais foram mantidas pela CODEPLAN (1984), em relatório que a própria autora trabalhou. No entanto, Penteado (1976) optou por gerar sua própria nomenclatura.

Optamos por sistematizar as superfícies delimitadas por Penteado (1976) e CODEPLAN (1984) em forma de tabela (**Tabela 2.1.1**).

Tabela 2.1.1. – Superfícies de Aplainamento no DF. Elaborado pelo autor.

<b>Nomenclatura Bigarella e Silva (1965) / Penteado (1976)</b>	<b>Idade</b>	<b>Altitude</b>	<b>Formas de Relevo</b>
Pd3 / Contagem	Paleogeno	> 1200 (topos)	Chapada, Chapadões, Interflúvios Tabuliformes
Pd2 / Brasília - Cimeira	Eoceno-Oligoceno	950-1200	Chapada, Chapadões, Interflúvios Tabuliformes
Depressão Interplanáltica peneplanada e Planalto Dissecado do Alto Maranhão	Fim do Terciário	950-800	Colinas, Interflúvios Tabulares (Depressão). Testemunhos Tabulares, Cristas, Interflúvios de vertentes íngremes (Planalto). <b>Evoluídas por processos de acumulação.</b>
Pd1 / Planície aluviais e aluviões	Plio-Pleistocênio	< 800	Plano (assoalho de várzeas)

CODEPLAN (1984) apresenta mapa delimitando estes planaltos (**Figura 2.1.7**). Neste, podemos observar que a bacia do alto Rio Preto, pelo menos na sua porção do Distrito Federal, está situada no *Pediplano Brasília* e na *Depressão Interplanáltica*. Este primeiro, restrito para os divisores entre o Rio Preto e o Rio São Bartolomeu, o segundo, mais amplo e evoluído por processo de acumulação em erosão terciária sobre os primeiros, presente nas médias e baixas vertentes.

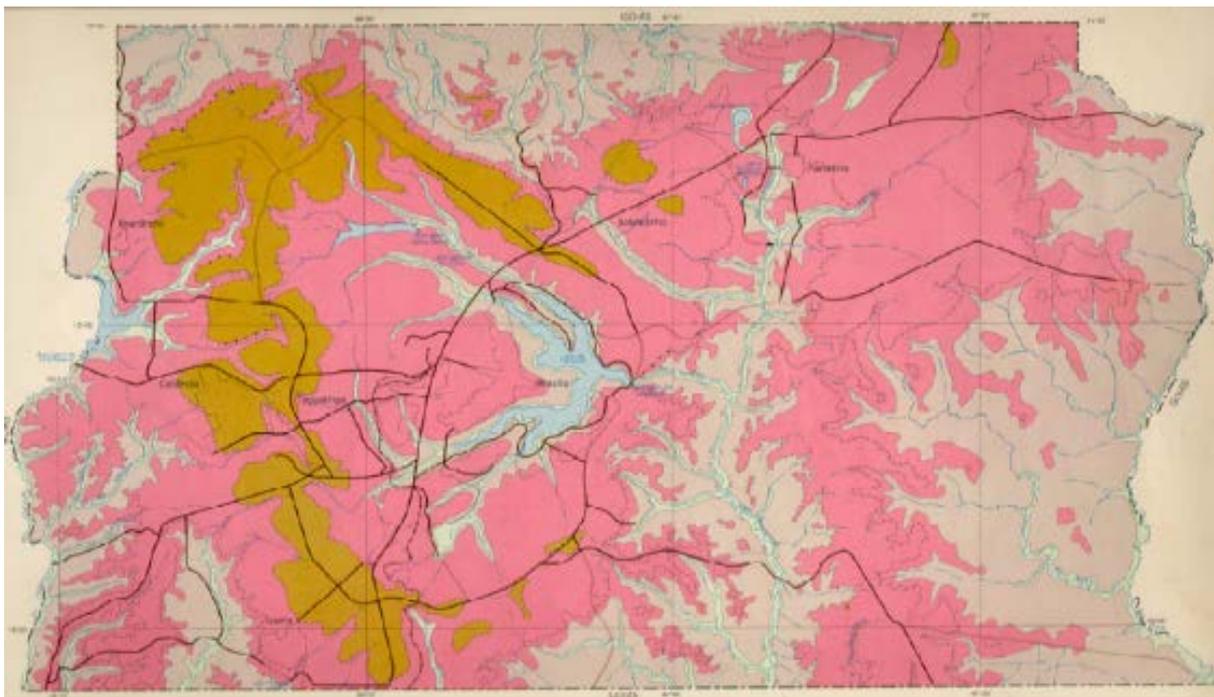


Figura 2.1.7 – Geomorfologia do DF por CODEPLAN (1984). Em rosa, superfície Pd2 (Superfície Brasília); em ocre, superfície Pd3 (Superfície Contagem). Em cinza, depressão interplanáltica e planalto Alto Maranhão. Em azul claro, Pd1 (Planícies Aluviais e Aluviões). Elaborado por CODEPLAN (1984 *apud* NASCIMENTO, 2011).

### **Maio (1986, 1987)**

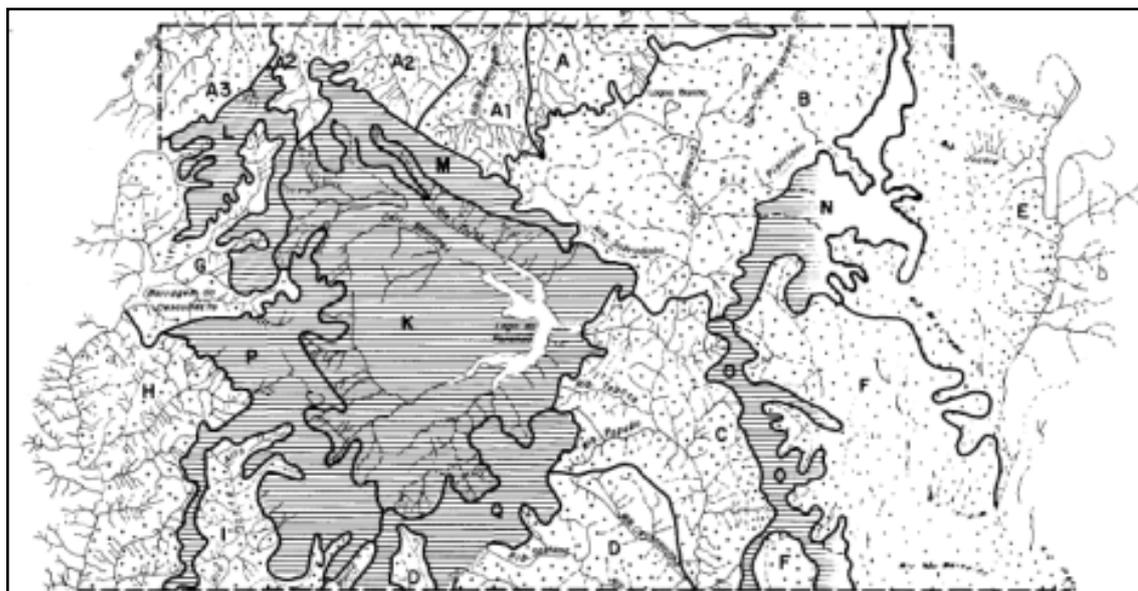
Outro significativo trabalho acerca da Geomorfologia do DF foi elaborado por Maio (1986). O trabalho da autora é o primeiro a subdividir a região em compartimentos menores, no qual ela utiliza para tanto o conceito de Unidades Geomorfológicas, dentro de uma concepção geossistêmica e da morfologia da paisagem<sup>5</sup>. O propósito do trabalho é uma compartimentação mais focada em alterações ambientais e ocupação humana, do que uma compartimentação voltada a uma evolução ampla da paisagem (**Figura 2.1.8**).

Neste propósito, a autora descreve a área com foco em processos pretéritos, mas também atuais, principalmente no que se refere à de interferência antrópica.

No ano seguinte, Maio (1987) apresenta maior detalhamento de sua compartimentação morfológica. Conforme sua descrição, na *Margem direita do alto vale do Rio Preto (E-15)*, atividades tectônicas elaboraram dobramentos anticlinais e sinclinais. Em sua maioria, as nascentes se encontram na Superfície Geomorfológica

<sup>5</sup> Conforme conceito de SAUER (1925).

de Brasília conforme compartimentação de Penteadó (1976). Por sua vez, os rios principais possuem grandes planícies aluviais.



**I VALES DISSECADOS / EM DISSECAÇÃO**



**II SUPERFÍCIES APLAINADAS**



**A= Altos da bacia do rio Maranhão**

**A1= Ribeirão da Contagem**

**A2= Ribeirão da Palma**

**A3= Vale do Rio do Sol**

**B= Alto vale do rio São Bartolomeu**

**C= Alto médio vale do rio São Bartolomeu**

**D= Médio vale do rio São Bartolomeu**

**E= Margem direita do alto vale do rio Preto**

**F= Margem direita do médio vale do rio Preto**

**G= Alto vale da bacia do rio Descoberto**

**H= Médio vale da bacia do rio Descoberto**

**I= Alto vale da sub-bacia do rio Alagado**

**J= Alto vale da sub-bacia do rio Santamaria**

**K= "Planalto" de Brasília**

**L= Altos do Rodeador**

**M= "Chapada" da Contagem**

**N= Alto divisor rio São Bartolomeu — rio Preto**

**O= Baixo divisor rio São Bartolomeu — rio Preto**

**P= Altos do Descoberto — Alagado — São Bartolomeu**

**Q= Divisor do Ribeirão do Gama — rio São Bartolomeu**

Figura 2.1.8 – Unidades Morfológicas do DF de Maio (1986). A bacia do alto Rio Preto é composta por (E) Margem direita do alto vale do Rio Preto, Margem direita do médio vale do Rio Preto; (N) Alto divisor rio São Bartolomeu; (O) Baixo divisor rio São Bartolomeu e (F) Margem direita do médio vale do Rio Preto. Maio (1987) posteriormente substituiu a nomenclatura numérica para alfabética, mantendo as delimitações semelhantes. São respectivamente: 15, 4, 5, 16. Elaborado por Maio (1986), modificado pelo autor.

A dissecação na unidade é fraca, com presença de glaciais e pedimentos, indicando alternância de climas secos e úmidos. O padrão de drenagem tende ao subparalelo, com caráter também em sub-arco, o que demonstra geossinclíneo ocorrido no empurrão do cráton São Francisco na estruturação da Faixa de

Dobramentos Brasília. Para Maio (1987, p. 117) são presentes “encostas entalhadas em drenagem, com formas semelhantes às *dales* da bacia de São Bartolomeu”.

Na *Margem direita do médio vale do Rio Preto (F-16)*, Maio (1987, p. 107) descreve “concauidade nas cabeceiras”, evidenciando estágio de “regressão das encostas”, sucedidas por ravinamentos acelerados pela má utilização dos solos. Os contatos da área dissecada de rios importantes com os pediplanos superiores ocorrem por meio de ressaltos, o que caracteriza oscilação paleoclimáticas. O interior da bacia apresenta remanescentes de dissecação Plio-Plesitocência.

Nas duas unidades acima, a autora destaca cabeceiras em semiarcos e intermitentes, enquanto que os rios principais são perenes e longitudinais. A drenagem apresenta forte dissimetria em densidade e morfologia, o que apoia uma interpretação dela ser influenciada por forte controle estrutural.

Nas unidades N (4) e O (5), referente aos *divisores do Rio São Bartolomeu – Rio Preto*, existem nítidas diferenças entre o lado oriental do divisor, pertencente ao Rio Preto, constituído por rochas do subgrupo Paraopebas, se comparado com o lado ocidental, junto ao Rio São Bartolomeu constituído por rochas do Grupo Paranoá.

Para Maio (1987, p. 95) há para a porção ocidental, “modelado de vertentes, em largas lombadas para os vales” com elevada incisão, e para leste, “rebordos muito digitados, de perfis sinuosos”. Nesta superfície, aplainada durante o ciclo Velhas, a couraça ferruginosa foi retirada, evidenciando zona de contato entre as litologias dos grupos geológicos citados.

### ***Novaes Pinto (1986a, 1986b, 1987, 1994)***

Steink *et al.* (2007) consideram os estudos de Novaes Pinto os de maior repercussão acadêmica. Associada aos estudos de Maio (1987), Novaes Pinto publica sua síntese em 1987, compilando e complementando estudos realizados por ela mesma em ano anterior (NOVAES PINTO, 1986a, 1986b). Na década seguinte, a autora publica nova compilação sobre seus estudos acerca da geomorfologia do Distrito Federal (NOVAES PINTO, 1994).

Novaes Pinto (1987, 1994) é a primeira a explicar a evolução da paisagem no Distrito Federal pelo conceito de etchplanação. Sua premissa é de que a textura de amostras de solos é correspondente à litologia de seu embasamento, ou seja,

prevalência de argila em solos que recobrem ardósias, xistos e filitos; enquanto que sobre rochas quartzíticas, o solo é arenoso.

Além da simples textura, a pesquisadora se volta para um maior estudo de solos, utilizando conceitos e entendimentos da Geomorfologia Tropical, sem dissociar o relevo da pedologia.

Novaes Pinto (1987) descreve a presença de Latossolos Vermelho-Amarelos como originários de Latossolos Vermelhos-Escuros, estes concentrados nas bordas dos planaltos, onde há maior zona de abastecimento hídrica, ocasionando a perda de ferro (consequentemente, perda da cor vermelha) por solubilização e lixiviação. Para a pesquisadora, solos com perda de ferro e tendência de cor amarelada, possuem menos de 8% de  $Fe_2O_3$ , apresentando principalmente goethitas, enquanto solos puramente vermelhos, possuem mais de 8% de  $Fe_2O_3$ , apresentando tanto goethitas quanto hematitas. Para a autora a lixiviação ocorre intensa e verticalmente nos períodos chuvosos típicos de região savânica. Durante o período seco, no entanto, óxidos de ferro ascendem à superfície, em nódulos e crostas.

A autora também se baseia em elementos da paisagem como comprovação de erosão química, tais como depressões alongadas ou côncavas, amplos vales sem terraços, zonas de várzeas, veredas e lagoas.

Especificamente para a região do alto Rio Preto, Novaes Pinto (1987, p 12) descreve a seguinte situação:

No vale do Rio Preto ocorre uma grande mancha de Latossolo Vermelho-Amarelo em posição estratigráfica superior ao Latossolo Vermelho-Escuro, em virtude de uma alteração do nível de base do rio, que provocou retomada da ação erosiva que, por sua vez, transportou a capa de latossolo mais antigo, já transformado em Latossolo Vermelho-Amarelo. Tal fato possibilitou uma reação dos processos de alteração química do substrato rochoso, que vai, aos poucos, culminando nos processos de lateritização, dando origem aos Latossolos Vermelho-Escuros, mais recente.

Sua compartimentação geomorfológica é sistematizada na **Figura 2.1.9**.

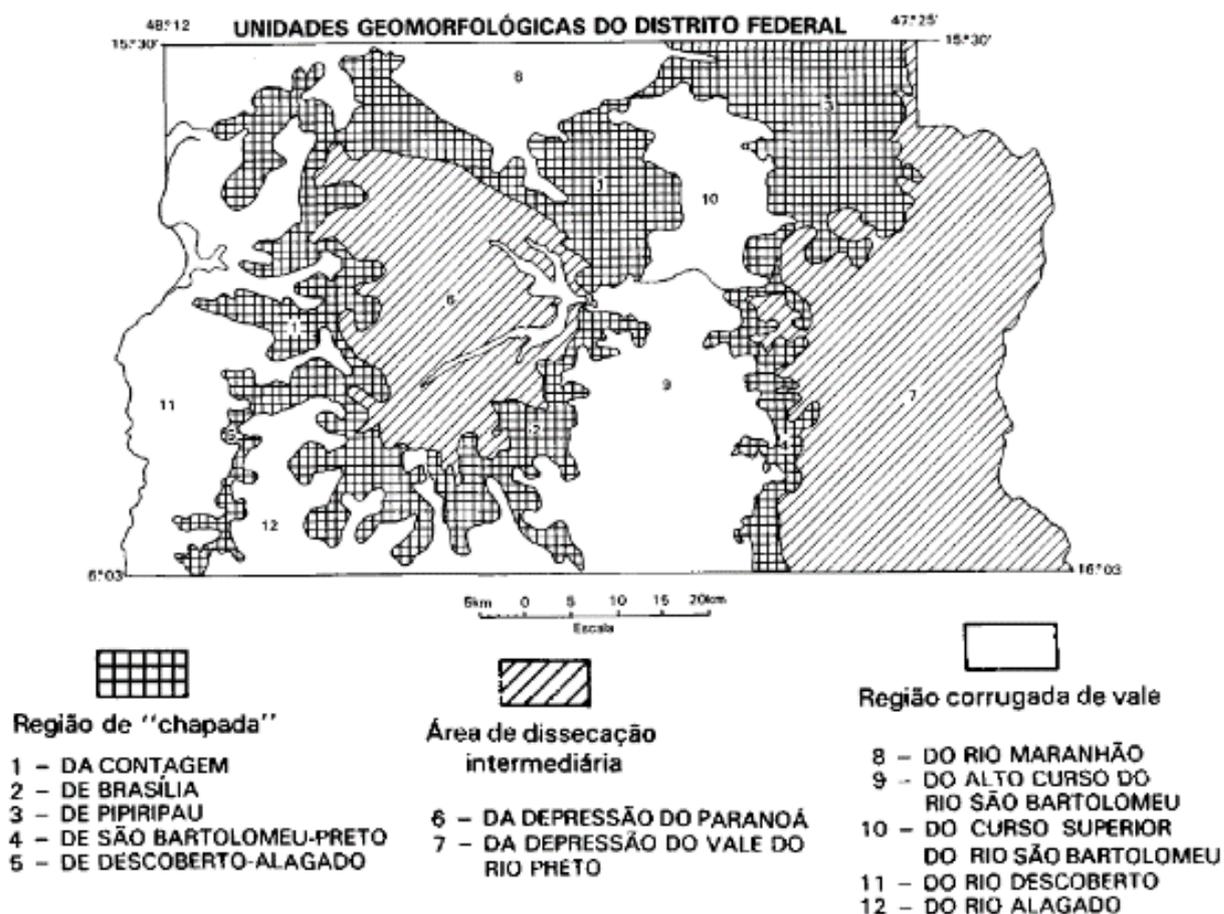


Figura 2.1.9 – Compartimentação Geomorfológica do DF de NOVAES Pinto (1987). Observa-se na região do alto Rio Preto zona de dissecação intermediária, seguido de região de chapada. Elaborado por NOVAES Pinto (1987), modificado pelo autor.

Deste modo, podemos observar que a bacia do alto Rio Preto é considerada como *Área de Dissecação Intermediária*, cujos afluentes direito do Rio Preto nascem em regiões de *Chapadas* (*Pipiripau* e *São Bartolomeu-Preto*).

Para as chapadas, cujo aplainamento ocorreu por etchplanação durante o terciário, Novaes Pinto (1987) descreve a presença de couraças ferruginosas e Latossolos. Considera também que durante a mudança climática do semiúmido para o semiárido, na mudança do Plioceno ao início do Pleistoceno, junto a uma reativação neotectônica, ocorreu alteração nos níveis de base local, remodelando a área por pedimentação em áreas de depressão, como nas bacias do Rio Preto e Paranoá.

Deste modo, para o Distrito Federal, a autora descreve as áreas de dissecação intermediária como superfícies aplainadas pelo processo de pediplanação também no Plioceno-Pleistoceno.

### **Estudos Recentes**

Os estudos mais recentes, após década de 1990, passaram a se utilizar ferramentas de geoprocessamento. Na revisão bibliográfica, são encontrados estudos mais voltados à geomorfologia do Distrito Federal, sendo que a bacia do Rio Preto ainda foi pouco estudada, principalmente nas porções de Goiás e Minas Gerais.

Martins e Baptista (1998) compartimentam o DF através de dados hipsométricos (**Figura 2.1.10**). Para os autores, a bacia do alto Rio Preto se constitui em planícies e planos intermediários.

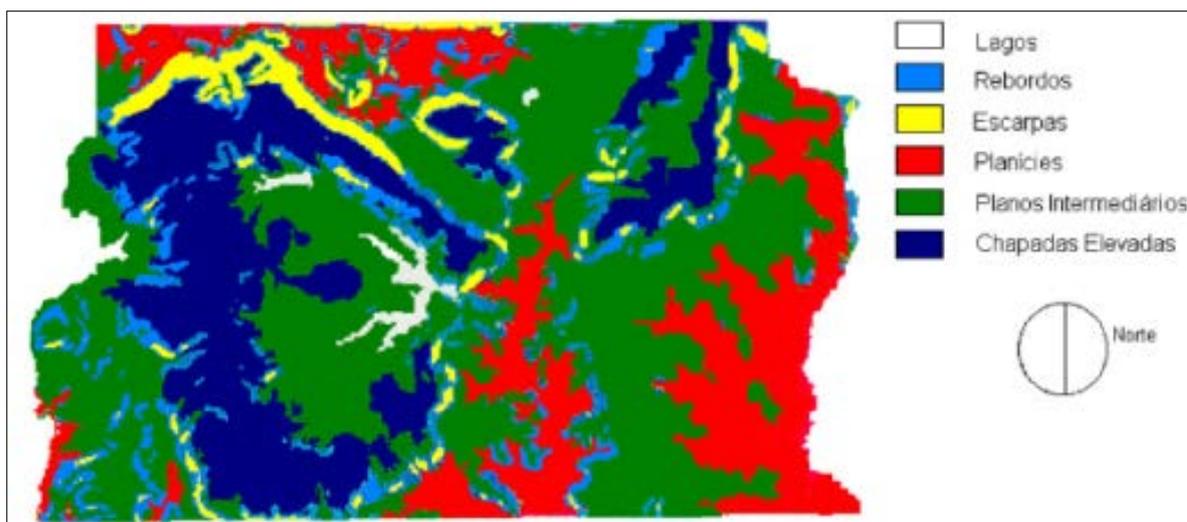


Figura 2.1.10 – Compartimentação geomorfológica do DF de Martins e Baptista (1998). A compartimentação demonstra grandes planícies para os rios da bacia, com planaltos intermediários nos divisores. No limite com o rio São Bartolomeu, rebordos, escarpas e chapadas elevadas em áreas restritas. Elaborado por Martins e Baptista (1998), adaptado pelo autor

Steink (2003) também descreve a geomorfologia do Distrito Federal, sendo que na área do alto Rio Preto aparecem as superfícies aplainadas e colinas, em diferentes graus de dissecação (**Figura 2.1.11**).

Para o autor, a bacia do alto Rio Preto se apresenta com menor taxa de dissecação que o restante do relevo do Distrito Federal, sendo que seu limite com outros compartimentos se dá sobretudo por rebordos junto à outros vales e por escarpas junto à chapadas elevadas.

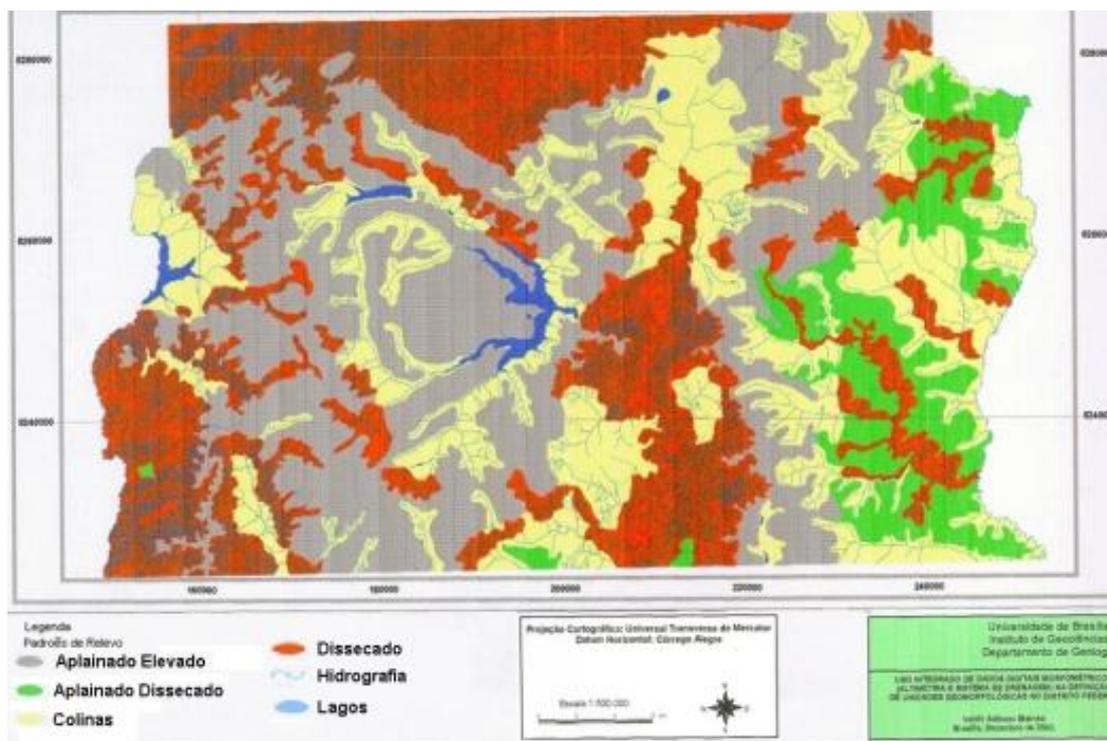


Figura 2.1.11 – Compartimentação geomorfológica do DF de Steink (2003). O mapa apresenta maior variedade geomorfológica se comparado aos anteriores, enfocando em áreas mais dissecadas no alto Rio Preto, sobretudo no rio Jardim. Elaborado por Steink (2003), adaptado pelo autor.

O relatório do Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (ZEE-RIDE) descreve o planalto do alto Rio Preto tanto na porção do Distrito Federal quanto na de Goiás e Minas Gerais (SILVA, 2003).

Para o ZEE-RIDE (SILVA, 2003), a drenagem local é dentrítica. No entanto cita Mauro *et al.* (1982) que identificaram drenagem anelar, com aspecto semicircular, interpretada como decorrente de uma possível antiga estrutura dômica, decapitada por um aplainamento paleogênico.

Concordando com outras descrições para a área, o relatório afirma a existência de depósito arenoso recobrendo as crostas lateríticas, intitulada como Cobertura Arenosa Indiferenciada (QP<sub>i</sub>). Segundo os autores, o caráter arredondado e bem selecionado das areias desta cobertura indica condição de sedimentação em paleoclimas severos, variando entre semiárido e árido, por processo eólico durante o Pleistoceno.

Silva (2003) destaca o fato da captura de drenagem do Rio Preto para a bacia do Rio São Francisco. O rio, em seu leito original fluía para sul, em direção ao vale do rio São Marcos, pertencente a bacia do rio Paranaíba. Para o autor, a captura é recente, de idade pliocênica ou pleistocênica e configura o mais importante nível de

base local para o planalto do alto Rio Preto. No vale abandonado, ainda corre o pequeno córrego com o insinuativo nome de Arrependido, em direção norte. Os autores também destacam a densa existência de depressões e lagos no planalto como uma característica particular se comparado com demais áreas do Distrito Federal.

A origem do planalto para o autor está vinculada a processos de etchplanação podendo estar associados a episódios de reativações tectônicas.

Silva Filho (2006), por cruzamento de dados entre Uso de Solo, Pedologia, Relevo e Declividade para a bacia do alto Rio Preto, elabora carta de Fragilidade Ambiental para o planalto do alto Rio Preto (**Figura 2.2.12**).

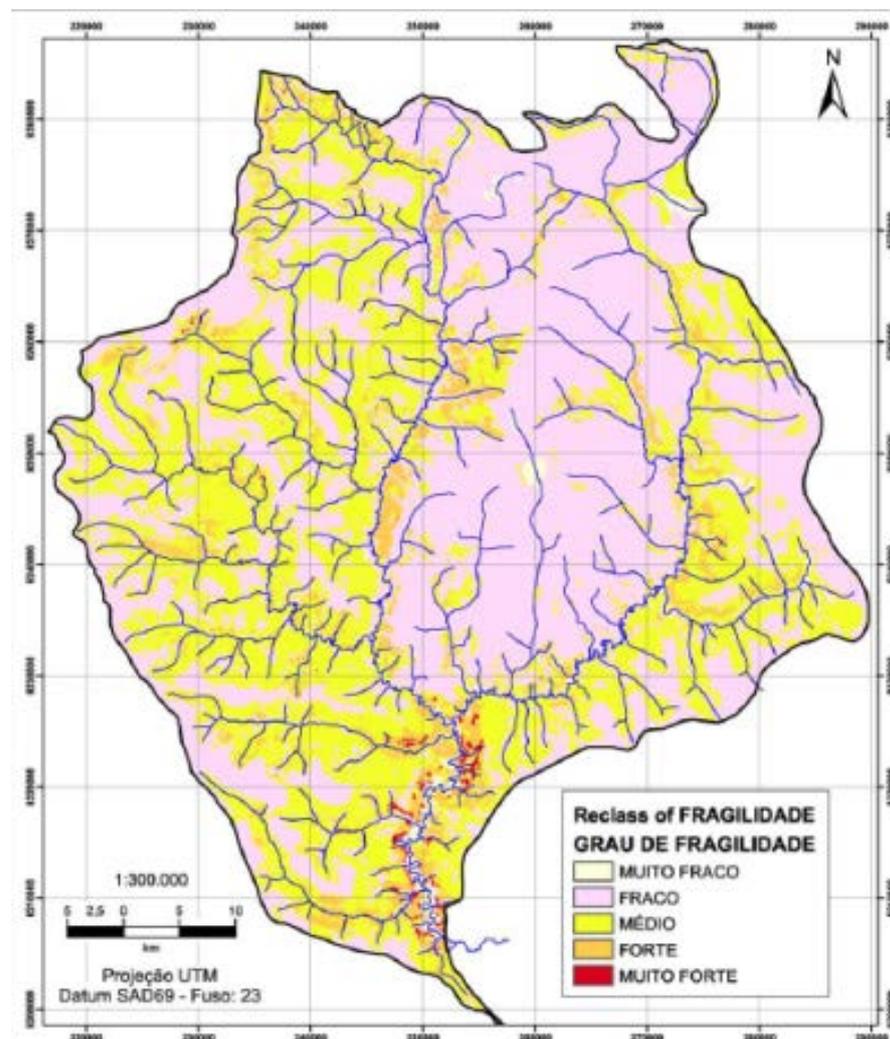


Figura 2.1.12 – Fragilidade ambiental da bacia do alto Rio Preto por Filho (2006). Observa-se que a área do CIF (entre os Rio Preto e Bezerra) apresenta menor fragilidade que outras áreas. Elaborado por Silva Filho (2006).

O autor define como fraca a fragilidade para a área do CIF, semelhante às áreas dos principais divisores. As áreas de fragilidade muito forte ocorrem apenas após confluência dos rios Preto e Bezerra ou em pontos isolados nos vales dos rios Jardim e Extrema, enquanto que as áreas muito frágeis seriam duas áreas deprimidas dentro do CIF (Lagoa Grande e Lagoa dos Veados)<sup>6</sup>.

As áreas de fragilidade média seriam a grande maioria das vertentes, enquanto que a fragilidade forte estaria isolada em algumas cabeceiras de drenagem e nas vertentes do Rio Preto, principalmente após confluência do Rio Bezerra.

Campos *et al.* (2006), baseado em Novaes Pinto (1994) define a geomorfologia para a bacia do Rio Preto como um todo, principalmente com o enfoque na condutividade hídrica para recarga do aquífero Bambuí, conforme exposto na **Figura 2.1.13**.

Na primeira compartimentação, relativa à *Chapada Intermediária (I)*, a qual o planalto do Rio Preto se situa, a prevalência é de altitudes acima de 800 m e solos desenvolvidos por rochas pelíticas do grupo Bambuí, os quais são importantes para a recarga aquífera. A característica do compartimento de Chapada Rebaixada (II) é semelhante ao anterior, cuja principal diferenciação é a prevalência de altitudes abaixo de 600 m.

O *Compartimento de Serras e Cristas Alinhadas (III)* possui relevo ondulado, de cotas entre 600 m e 100 m, sendo os pontos altos associados ao Grupo Paranoá, onde estão presentes Neossolos. Nos vales intermontanas deste compartimento, desenvolvidos sobre as rochas pelíticas do Bambuí, desenvolvem-se Cambissolos e Latossolos, os quais são pontos significativos de recarga do aquífero Bambuí.

No *Compartimento de Dissecação (IV)*, o desenvolvimento é sobre rochas do Grupo Vazante, com baixo sistema de fluxo hídrico. Na *Borda da Chapada Dissecada (V)*, o autor também destaca baixa condutividade hidráulica. Já a *Borda da Chapada (VI)*, localmente denominada Chapada de Guarapuava, o relevo é bastante aplainado, com Latossolos profundos.

---

<sup>6</sup> Silva Filho (2006) não diferenciou e considerou a fragilidade do ecossistema lacustre destas depressões em relação às áreas secas do cerrado.

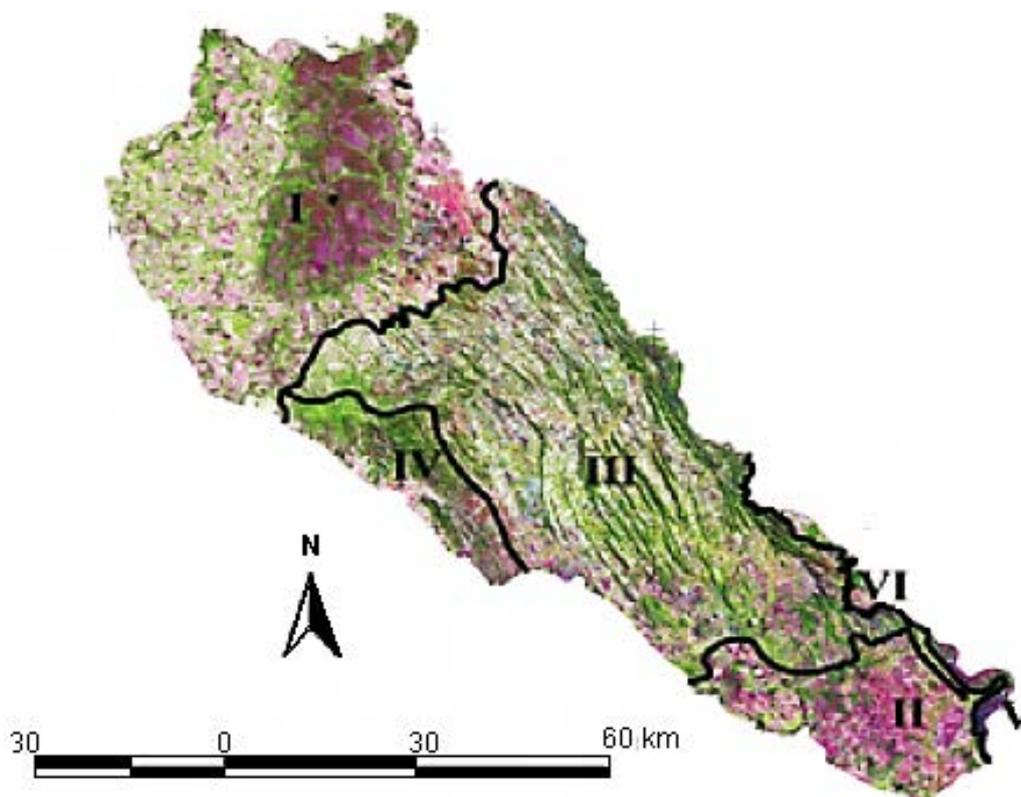


Figura 2.1.13 – Geomorfologia da bacia do Rio Preto por Campos *et al.* (2006). Legenda: I - Compartimento de Chapada Intermediária, II - Compartimento de Chapada Rebaixada, III - Compartimento de Serras e Cristas Alinhadas, IV - Compartimento de Dissecção, V - Compartimento de Bordas de Chapada Dissecada, VI - Compartimento de Borda de Chapada. Elaborado por Campos *et al.* (2006), modificado pelo autor.

Lima *et al.* (2009), através de parâmetros morfométricos, delimitaram para a bacia do alto Rio Preto duas unidades geomorfológicas: Planalto Retocado do Distrito Federal, e Planalto Retocado do Alto Rio Preto, estes divididos em topos de chapadas, superfícies tabulares, degrau estrutural, planícies aluviais e, por fim, vales encaixados (**Figura 2.1.14**).

De acordo com os autores, a presença em quase toda a bacia de Latossolos, a despeito de sua alta permeabilidade, possibilitou baixa atividade de drenagem e vertentes suaves. Isto, somado às couraças lateríticas nas bordas das chapadas, define baixa erosão à bacia.

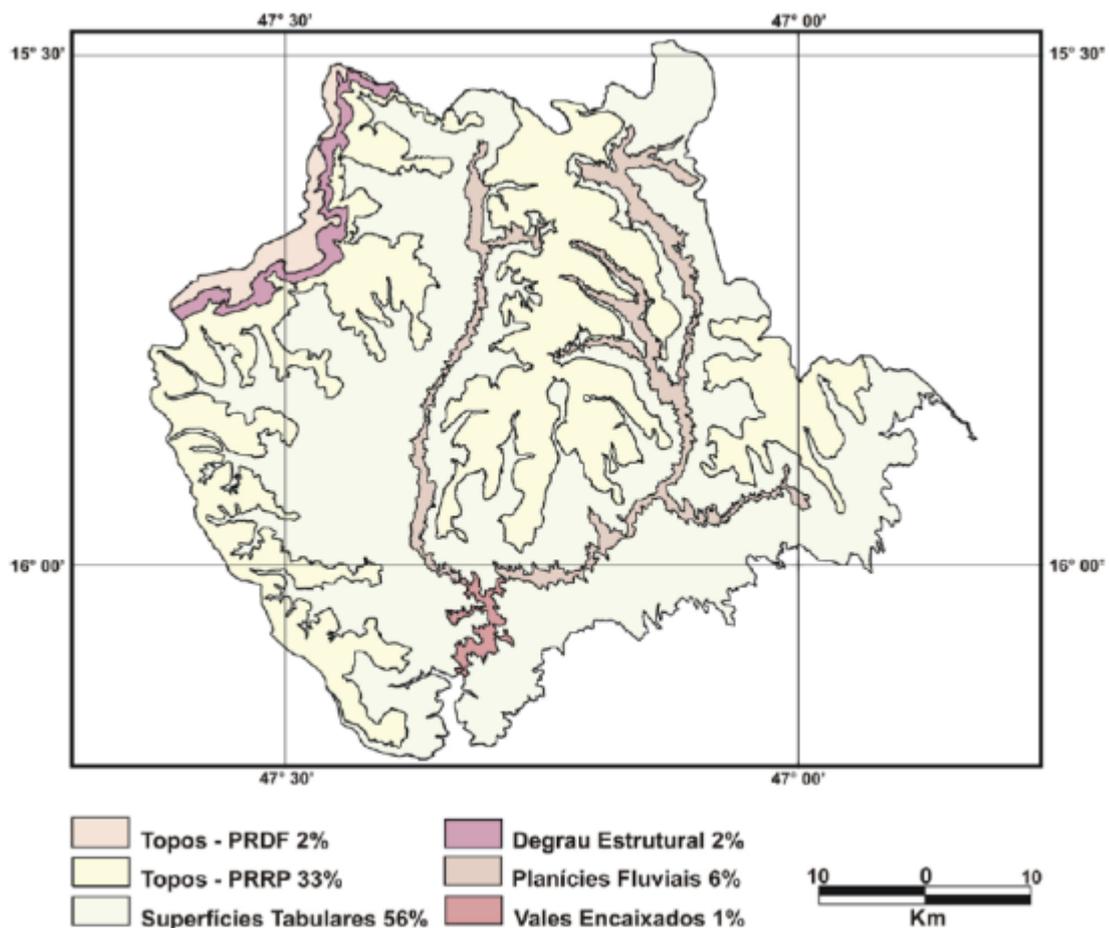


Figura 2.1.14 – Unidades geomorfológicas para o alto Rio Preto por Lima *et al.* (2009). PRDF – Planalto Retocado do Distrito Federal, PRRP – Planalto Retocado do Rio Preto. Elaborado por Lima *et al.* (2009)

Por sua vez, Sena-Souza (2015) através de dados SRTM gera duas formas de classificação automática para 14 assinaturas (formas topográficas) do relevo da área do CIF (**Figura 1.2.3**), por *Spectral Angle Mapper* (SAM) e Distância Euclidiana (DE), obtendo dois resultados, o qual comparou (**Figura 2.1.15**).

Para o autor, no método SAM, a superfície se mostrou fragmentada, com predomínio das formas Convexa-Retilínea e Côncava-Retilínea e com muitas áreas Convexa-Côncava. No método DE as formas que mais apareceram são Retilínea-Côncava e Retilínea-Retilínea, com relevo mais plano e menos fragmentado que o anterior, além de concavidade mais acentuada. Para o autor, o modelo por DE foi o mais coerente com o real.

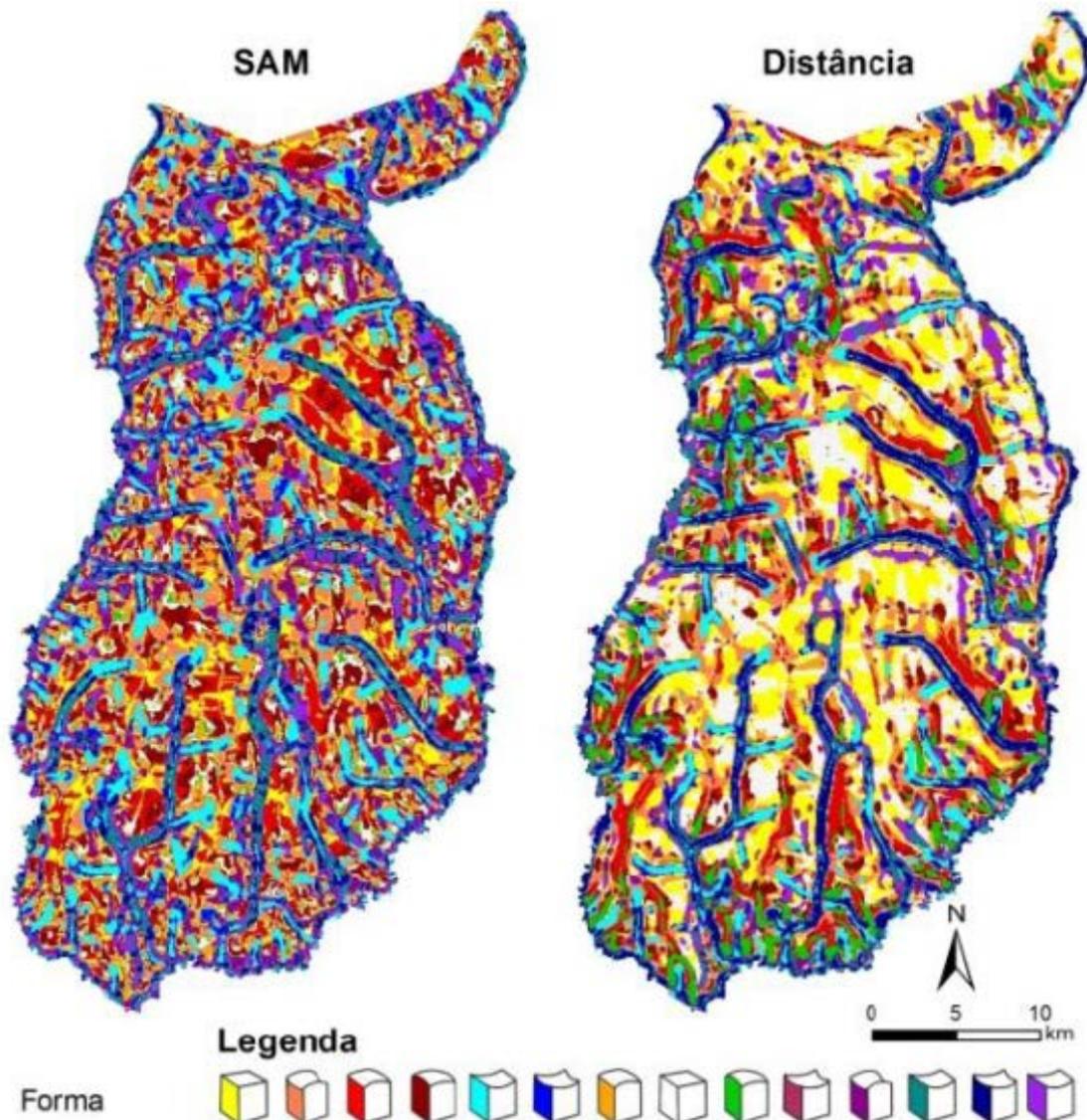


Figura 2.1.15 – Classificação do relevo para área do CIF, GO, por Sena-Souza (2015). Ambos os modelos demonstram predomínio de formas com variações retilíneas, sendo no método SAM como Convexa-Retilínea e o DE Retilínea-Côncavo. Elaborado por Sena-Souza (2015), adaptado pelo autor.

### Descrição geomorfológica e pedológica sintetizada

O planalto do alto Rio Preto é caracterizado por extensa superfície tabular, cujas cotas mais alta estão no divisor com a bacia do Rio São Bartolomeu, no domo de Pipiripau, a 1050 m. A maioria dos divisores estão em cotas de 900 m a 1000 m. Já os dois rios principais, Rio Preto e Rio Bezerra, dissecam o relevo até cotas de 850 m. Esta dissecação fluvial é considerada baixa, se comparado com o restante do relevo do Distrito Federal e seu entorno.

O padrão na sub-bacia do Rio Preto e na sub-bacia do Rio Bezerra é de subparalelismo, aumentando de paralelismo em direção a leste, sobre o

embasamento do grupo Bambuí, onde lineamentos estruturais são mais presentes. Nas rochas do Grupo Paranoá e Grupo Canastra o padrão de drenagem possui caráter dendrítico e em arco, com subparalelismo apenas em zonas de contato litológico.

Todos os autores que estudaram a evolução deste relevo concordam que a geomorfologia do planalto do alto Rio Preto hoje se configura uma superfície de aplainamento, no entanto, cada qual descrevendo um processo genético e paleoclima diverso do outro.

Esta superfície está capeada por coberturas detrito-lateríticas do Terciário, geralmente associada à ocorrência de depósitos detríticos, de idade quaternária. As couraças ferruginosas aparecem, sobretudo, nas porções do rebordo do planalto. A baixa declividade da superfície, aliada à baixa densidade de drenagem, contribui para a baixa erosão interna da bacia. Alguns autores, como Penteado (1976) inclusive, consideram o planalto como na verdade uma depressão, tendo em vista o recebimento de detritos durante erosão das chapadas mais elevadas.

Na área, predominam os Latossolos Vermelhos, com ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelos. A sequência mais comum que surge é a de Latossolos Vermelhos em áreas planas e altas, gradualmente transformando-se em Latossolos Vermelho-Amarelos em zonas baixas, úmidas, ou nos limites do planalto. Os solos são provavelmente originados *in situ*, sobre o embasamento geológico da área.

No estudo realizado pela DBO (*apud* SANTOS, 2005) – empresa de engenharia para instalação do quartel no CIF – constata-se que o solo na área do exército é argiloso, com presença de nódulos de couraças e de silte/argila endurecido, derivada da formação subjacente. Também é encontrado saprólitos derivados de rochas pelíticas do Grupo Paraopeba.

## **2.2 Geologia**

---

### **Geologia Regional e Estrutural**

A bacia do alto Rio Preto pertence à região oriental da Faixa de Dobramento Brasília (FDB), inserida na Província Tocantins, composta por diversos e importantes

sistemas de falhas de empurrões e cavalgamentos, cujo grau de metamorfismo é crescente de leste a oeste (DARDENNE, 1978; SILVA, 2006) (**Figura 2.2.1**).

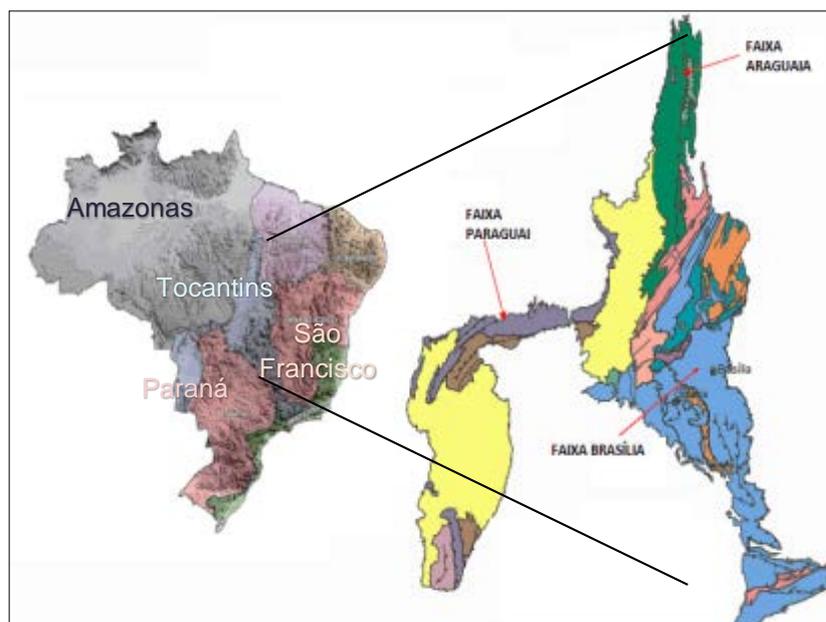


Figura 2.2.1 – Faixa Brasília no contexto da Província Tocantins. À esquerda, principais províncias geológicas brasileiras, à direita, detalhe da Província Tocantins. A área de estudo, próxima à Brasília, está no limite leste da faixa. Elaborado por Filho e Frasca (2006), adaptado pelo autor.

Esta província foi constituída no Neoproterozoico, durante a Orogênese Brasileira, como resultado da convergência entre o cráton São Francisco, o cráton Amazônico e o cráton Paranapanema. Fuck *et al.* (1993) dividiram a Província Tocantins em Zona Cratônica, Faixa Brasília, Maciço de Goiás, Arco Magmático do Oeste de Goiás e Faixa Paraguai-Araguaia. Esta compartimentação é simplificada habitualmente apenas como Faixa Brasília, Faixa Araguaia e Faixa Paraguai em concordância com Dardenne (2000) e Moreira *et al* (2008)

Na região de Goiás e Distrito Federal, Moreira *et al.* (2008) compartimentaram a Província Tocantins em Bacia de Antepaís, Faixa Paraguai, Faixa Araguaia e Faixa Brasília. Esta última especificamente em Arco-Magmático de Goiás, Zona Interna e Zona Externa (**Figura 2.2.2**).

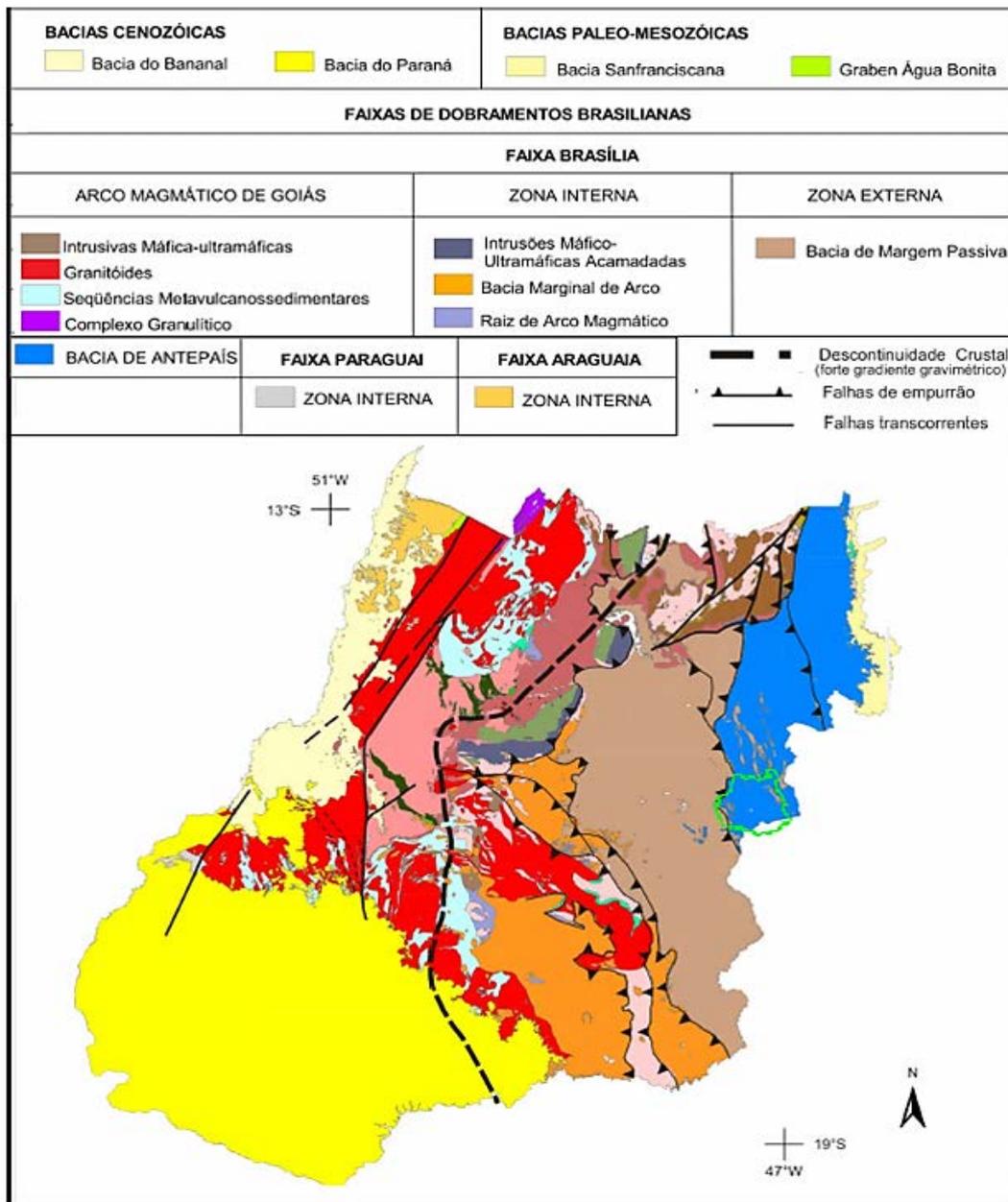


Figura 2.2.2 – Domínios tectônicos e estratigráficos de Goiás e Distrito Federal. Em Verde, bacia do alto Rio Preto, plotado conforme coordenadas da imagem original. Mesmo com a imprecisão das escalas, percebe-se que a bacia está em local de transição entre a Bacia de Margem Externa e Bacia de Antepaís. Adaptado de Moreira *et al.* (2008) pelo autor.

Desta forma, a bacia do alto Rio Preto está em local de transição entre a Bacia de Margem Passiva, dentro da Zona Externa da FDB, com a Bacia de Antepaís, que para os autores (MOREIRA *et al.*, 2008) é externa a FDB.

Para Moreira *et at.* (2008), a *Bacia de Margem Passiva* instalou-se em um período de relativa estabilidade tectônica. A deposição na bacia ocorreu durante a formação dos arcos insulares na borda do cráton São Francisco, no Mesoproterozoico

e Neoproterozoico. Nesta, depositaram-se os sedimentos pelíticos, expressos principalmente nos Grupo Paranoá e Grupo Canastra.

A *Bacia de Antepaís* teve origem no soerguimento de bloco continental durante o Brasiliano I, o qual gerou área deprimida em área cratônica. Nesta bacia, depositaram-se os sedimentos argilo-carbonáticos, expressos principalmente no do Grupo Bambuí e Grupo Vazante.

Outra divisão da FDB foi proposta por Uhlein *et al.* (2012). Os autores descreveram cinco seções geológicas e estruturais entre FDB e cráton São Francisco, a fim de delinear aspectos da evolução tectônica da região, além de delimitar seus limites (**Figura 2.2.3**). Através destes, os autores delimitaram três grandes domínios para a faixa.

1) Domínio Cratônico, constituído pelo Grupo Bambuí e Grupo Vazante, de sedimentos argilo-carbonáticos, suavemente dobrados e sub-horizontais. O domínio é autóctone, cujo limite do cráton com a FDB é indicado por falhas de empurrão de baixo a médio ângulo, os quais expõem o grupo Paranoá ou o Canastra. Para os autores, o Domínio Cratônico se estende desde a Serra da Saudade, em Minas Gerais, até Alto Paraíso, Goiás.

2) Domínio Externo, constituído por unidades metassedimentares do Mesoproterozoico, sobretudo Grupos Araí, Natividade, Paranoá e Canastra, assim como porções do embasamento Arqueano-Paleoproterozoico, que se mostra rejuvenescido devido à tectônica brasileira.

O Grupo Paranoá (UHLEIN *et al.*, 2012) é formado por uma sequência psamítica-pelítica (leste) que transita para uma sequência pelítica-carbonática (oeste). O Grupo Canastra é considerado como um equivalente lateral do Grupo Paranoá, mas mais metamórfico, de ocorrência no centro-sul da Faixa Brasília.

3) Domínio Interno, fora da área de estudo, inclui unidades alóctones do Grupo Araxá e Grupo Serra da Mesa, além do embasamento rejuvenescido pela tectônica brasileira. São encontrados também complexos máfico-ultramáficos granulitizados e sequências vulcano-sedimentares proterozoicas (PIMENTEL *et al.*, 2000 *apud* UHLEIN *et al.*, 2012).

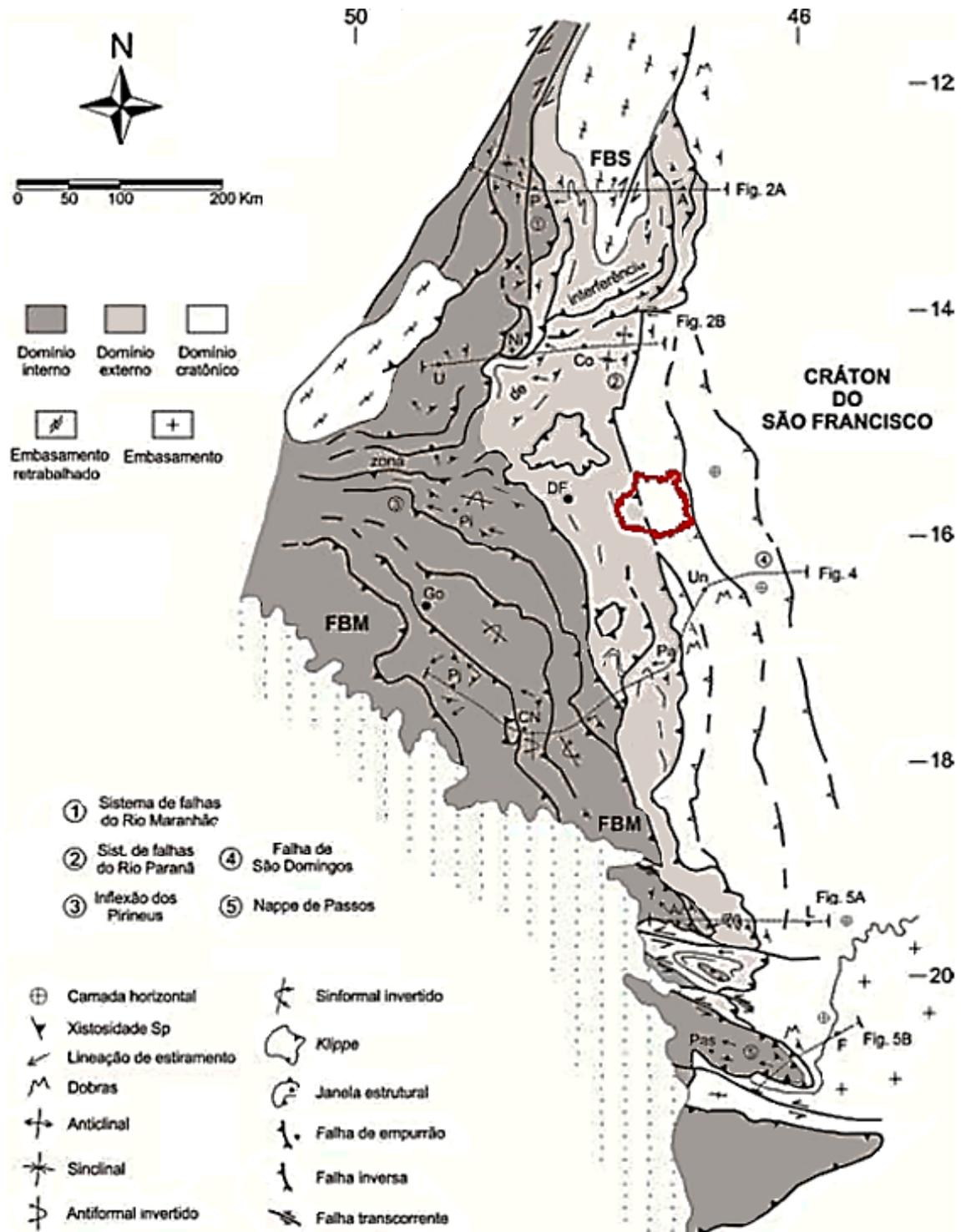


Figura 2.2.3 – Domínios da FDB. Em vermelho, bacia do alto Rio Preto, conforme coordenadas da imagem original. Mesmo com a imprecisão das escalas, percebe-se que a bacia está em local de transição entre o Domínio Externo e Domínio Cratônico, entre falhas de empurrão e falha inversa. P-Palmeirópolis; A-Arraias; U-Uruaçu; Ni-Niquelândia; Co-Colinas; DF-Distrito Federal; Pi-Pirenópolis; Go-Goiânia; Pj-Piracanjuba; CN-Caldas Novas; Pa-Paracatu; Un-Unaí; Ar-Araxá; L-Luz; Pas-Passos; F-Formiga. Adaptado de Uhlein *et al.* (2012) pelo autor.

A secção de interesse para este trabalho é a Piracanjuba-Caldas Novas-Ipameri-Paracatu-Unaí (*Figura 4* no original dos autores, **Figura 2.2.4** deste trabalho),

por descrever a transição entre Domínio Interno, Domínio Externo e a Domínio Cratônico, a sul da área de estudo deste trabalho.

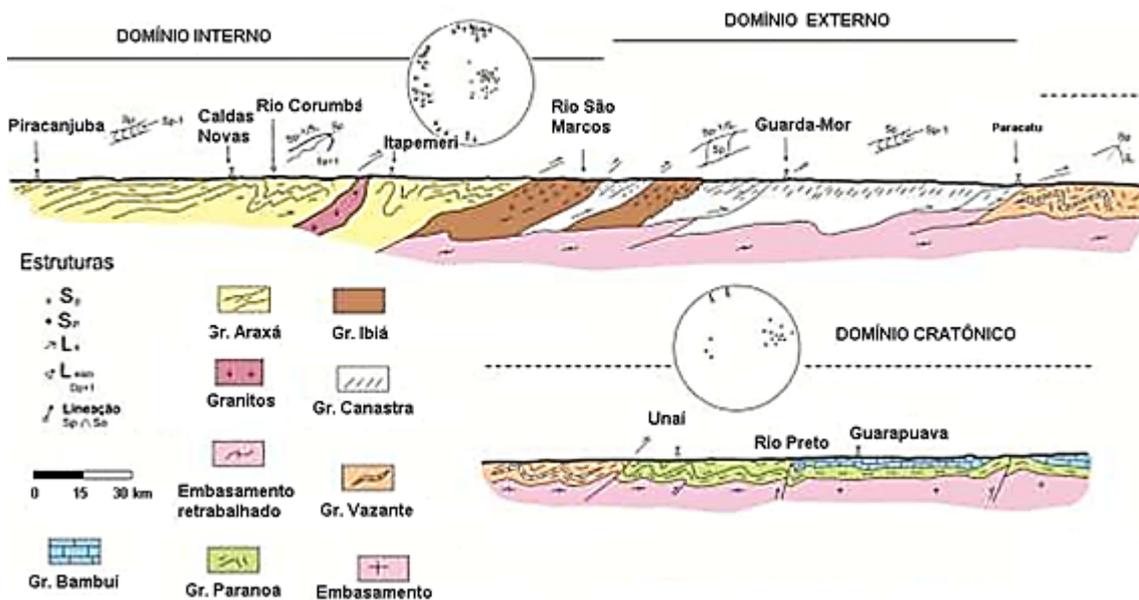


Figura 2.2.4 – Secção Piracanjuba até Unai. Elaborado por Uhlein *et al.* (2012), adaptado pelo autor.

Nesta secção, entre o Domínio Externo para Cratônico, os autores observaram limite estrutural nos arredores de Paracatu, no qual uma tectônica tangencial sub-horizontal, de foliação de baixo ângulo, passa para um domínio dobrado, com foliação plano-axial, de mergulho íngreme, que sugere uma deformação do tipo antepaís.

Seguindo para Leste, entre Paracatu e Unai, ocorrem dobras anticlinais e sinclinais. Seguindo ainda mais adiante para leste, há o predomínio de camadas horizontais, que mostram dobramentos somente associados às falhas reversas de mergulho íngreme, como a Falha do Rio Preto.

Esta secção mostra que a Faixa Brasília é um cinturão de dobras e empurrões de intensas deformações. No entanto, na região cratônica, a deformação é menor, com metamorfismo incipiente e sem lineação de estiramento.

Sobre tais deformações, especificamente para o Distrito Federal, Freitas-Silva e Campos (1998) descrevem cinco fases predominantes, denominadas F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub> e F<sub>5</sub>. Estas estão estreitamente relacionadas à propagação das frentes de cavalgamento. A última fase, F<sub>5</sub>, foi responsável pela formação das fraturas que condizem à rede superficial e subterrânea, por erosão diferencial, da atual hidrografia. Os domos e bacias do Distrito Federal, como o Domo de Brasília, Domo de

Sobradinho e Domo do Pípiripau formaram-se pela interferência de dobras da fase F<sub>4</sub> com dobras das fases F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

Para Campos *et al.* (2006), um evento compressivo de direção N-S na bacia do Rio Preto redobrou arcabouço existente, de modo que foram geradas novas estruturas que resultaram na atual propagação do padrão de domos e bacias na região. A compressão N-S pode ter sua origem por distensão em momentos de alívio da compressão E-W principal. Este evento de direção aproximada E-W deu origem aos lineamentos marcados pelo traço do plano de falhas de empurrão e eixos de dobras sinclinais e anticlinais na direção NW-SE, predominante para a bacia do Rio Preto (**Figura 2.2.5**).

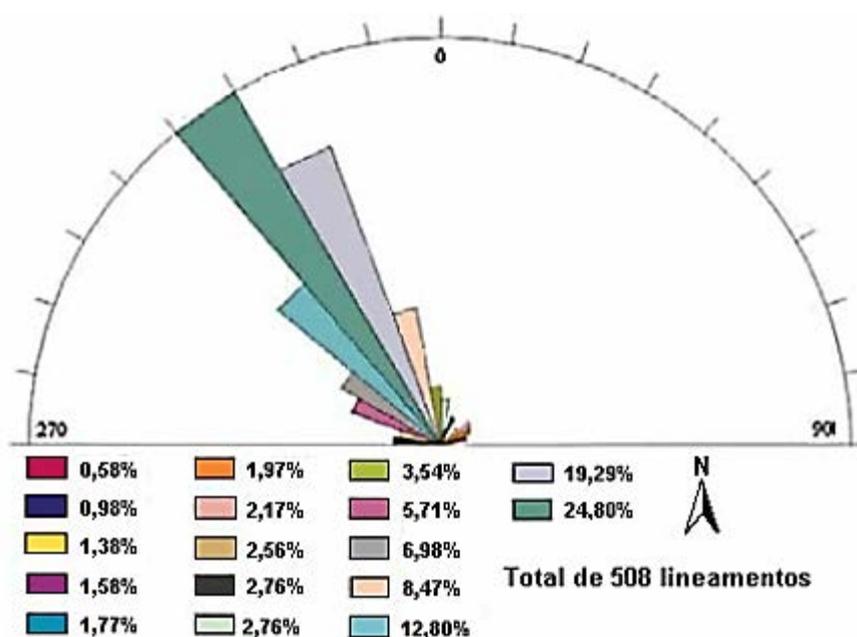


Figura 2.2.5 – Roseta de lineamentos da bacia do Rio Preto. Observa-se que as estruturas assinaladas pelos autores possuem direção predominante de NW-SE. Adaptado de Campos *et al.* (2006) pelo autor.

As fraturas nas rochas observadas na bacia pelos autores (CAMPOS *et al.*, 2006) são variadas, sem aparente padrão direcional e com maior tendência de ocorrência em quartzitos e rochas carbonáticas. Estas fraturas podem possuir aberturas milimétricas ou centimétricas, preenchidas ou não.

A divisão litológica da FDB pode ser mais bem observada na **Figura 2.2.6**. Nesta, a bacia do alto Rio Preto se localiza na Faixa de Dobras e Empurrões Antepaís, sendo constituída por rochas do *Grupo Bambuí*, *Grupo Paranoá* e do *Grupo Canastra* (LIMA *et al.*, 2009; SILVA, 2003).

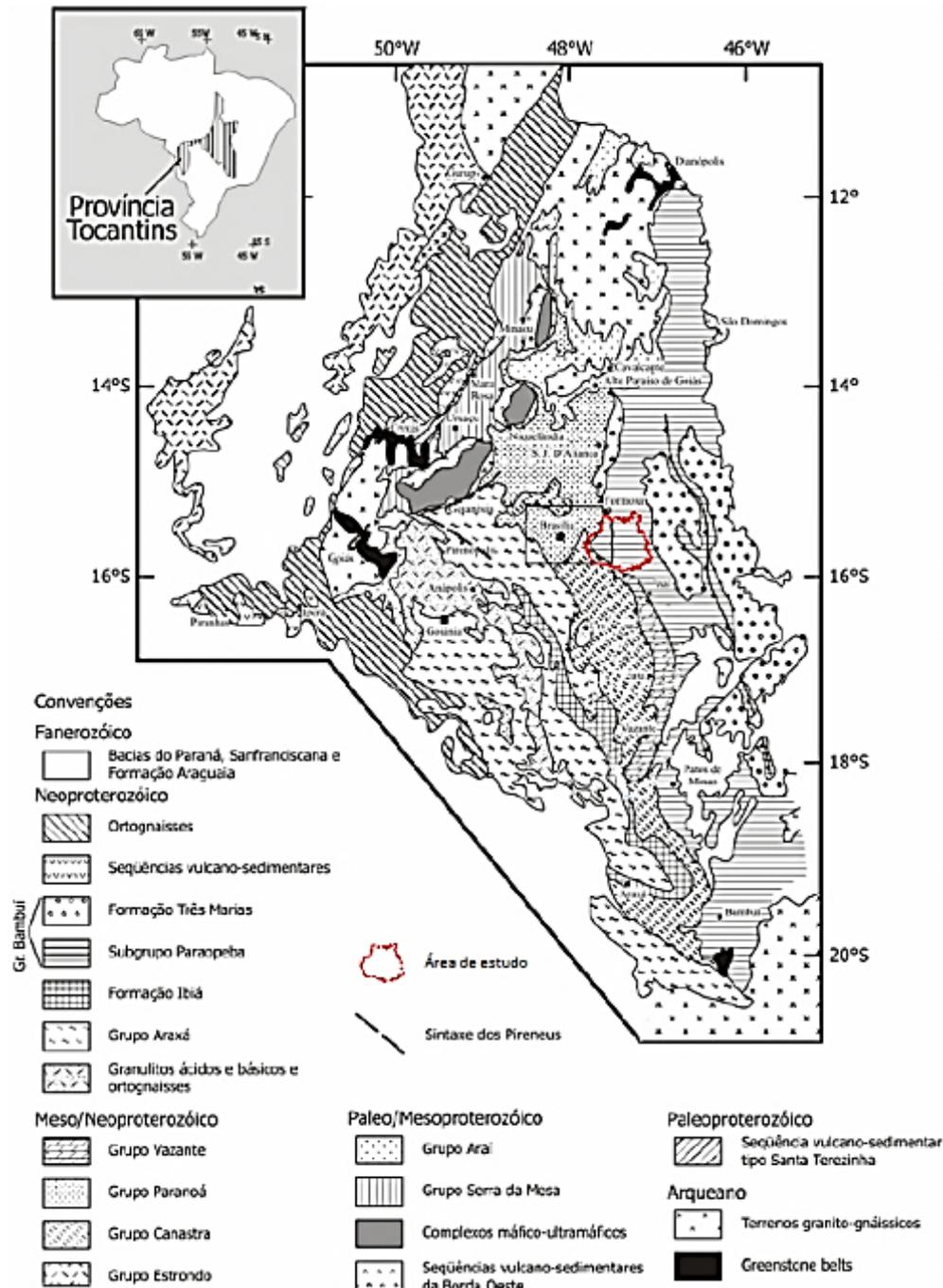
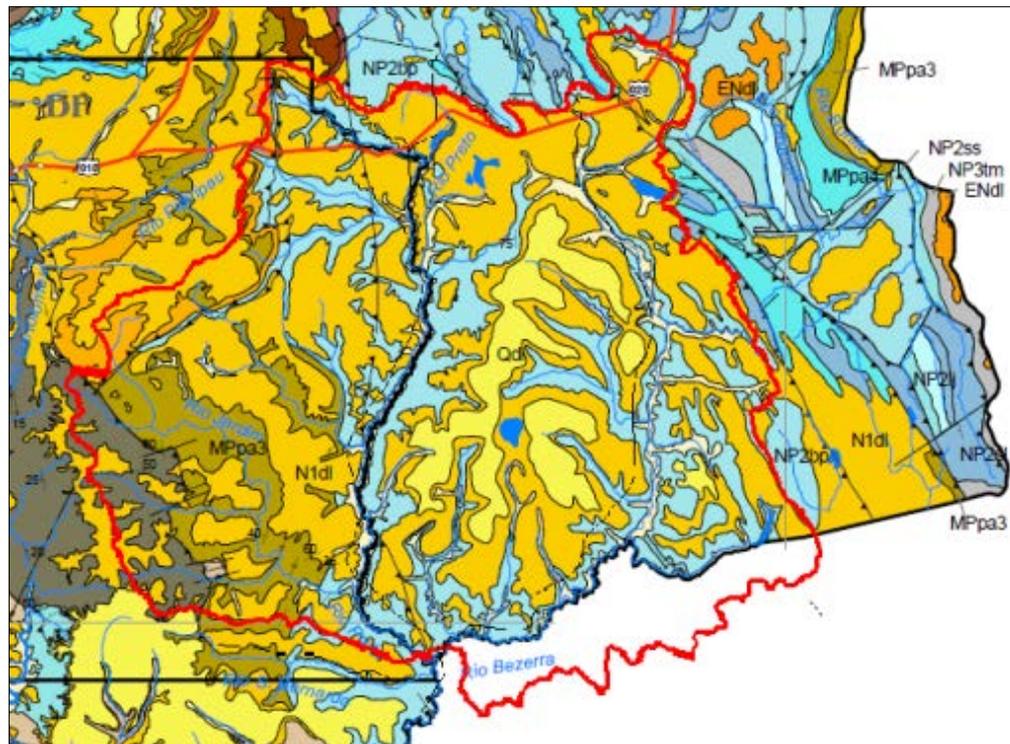


Figura 2.2.6. Conjuntos litológicos da Faixa Brasília. Adaptado de Dardenne (2000) e Silva (2003) pelo autor.

## Geologia da bacia do alto Rio Preto

Em uma escala maior, podemos observar melhor a distribuição litológica e estrutural da área de estudo (**Figura 2.2.7**). Nesta, nota-se que a bacia está circundada por falhas diversas, as quais em muitos casos se evidenciam em cristas e serras, expondo rochas do Grupo Canastra e Grupo Paranoá, que predominam no

oeste da bacia. A partir destas falhas, seguindo para leste, o Grupo Bambuí é predominante.



#### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

Q2a	Depósitos aluvionares: aluviões arenosos a areno-argilosos com níveis de cascalho.
Qdi	Coberturas detriticas indiferenciadas: areia fina a grossa, silício-argilosa com níveis conglomeráticos.
N1dl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas: sedimentos inconsolidados.
NQC	Depósitos colúvio-eluviais: areia vermelha e conglomerado.
<b>BACIA DE ANTEPAÍS</b>	
Grupo Bambuí	
NP2bp	Subgrupo Paraopeba: metassilito e metargilito calcífero e calcário com intercalações de metarenito; quartzito subordinado (qt).

#### FAIXA BRASÍLIA

##### ZONA EXTERNA

##### Bacia de Margem Passiva

##### Grupo Paranoá

MPpa3  
qt) Unidade 3 - Ritmica Quartzítica Intermediária: quartzito fino a muito fino (qt) alternados com lâminas de filito carbonoso, argilito e metassilito; ardósia, quartzito fino a médio e raro conglomerado intraformacional e calcário,

##### Grupo Canastra

MPsi Formação Serra do Landim: calcita-clorita-sericita filito, quartzito fino, quartzo-sericita-clorita filito,

MPp Formação Paracatu: quartzo-sericita-clorita filito, às vezes carbonoso e lentes de ortoquartzito.

Figura 2.2.7 – Mapa geológico de Goiás, com recorte para o alto Rio Preto. Escala original em 1: 500 000. Em vermelho, bacia do alto Rio Preto. Porção sem informações é a porção mineira da bacia. A legenda reduzida para apenas ocorrências na área de estudo. As linhas pretas e serrilhadas representam falhas de empurrão. Adaptado de Moreira *et al.* (2008) pelo autor.

Também se percebe que a bacia é mapeada como sendo recoberta por coberturas sedimentares e lateríticas do Terciário. No Quaternário, por sua vez,

ocorreram formações aluviais nos terraços ou detríticas, indiferenciadas, nos divisores (SILVA, 2003).

Desta forma, sintetizamos na **Tabela 2.2.1** a legenda apresentada na figura anterior, associando as litologias aos seus grupos geológicos, idades de formação e domínios geológicos.

Tabela 2.2.1 – Geologia da bacia alto Rio Preto. Elaborado pelo autor com informações de Moreira *et al.* (2008).

Domínio	Grupo	Sigla	Formação / Unidade	Litologia	Idade
Bacia de Antepaís e Domínio Externo	<i>Formação Superficial</i>	<b>Q2a</b>	Depósitos aluviais	Aluviões arenosos e areno-argilosos com níveis de cascalho	Quaternário
		<b>Qdi</b>	Coberturas detríticas indiferenciadas	Areia fina a grossa, silto-argilosa com níveis conglomeráticos	
		<b>N1dl</b>	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	Sedimentos inconsolidados	Neogeno
Bacia de Antepaís	Bambuí	<b>Np2bpqt</b>	Indiviso	Metasiltito e metargilito calcífero e calcário com intercalações de metarenito; quartzito subordinado (qt)	Neoproterozoico
		<b>Np2bp</b>	(Subgrupo Paraopebas)		
Domínio Externo	Canastra	<b>MPp</b>	Paracatu	Quartzito - sericita - clorita filito, às vezes carbonoso e lentes de ortoquartzito	Mesoproterozoico
		<b>MPsl</b>	Serra do Landim	Calcita - clorita - sericilita filito, quartzito fino, quartzito - sericita - clorita filito	
	Paranoá	<b>MPpa3qt</b>	Unidade 3	Quartzito fino a muito fino (qt) alternado com lâminas de filito carbonoso, argilito e metasiltito; ardósia, quartzito fino a médio e raro conglomerado intraformacional e quartzito.	
		<b>MPpa3</b>	Unidade 3 - qt		

Em material disponível pelo ZEE-RIDE (SILVA, 2003), observamos mapa semelhante, no qual o recorte para a bacia do alto Rio Preto possui as mesmas unidades que em Moreira *et al.* (2008), apenas com alguns limites e nomenclatura diferenciada (**Figura 2.2.8**).

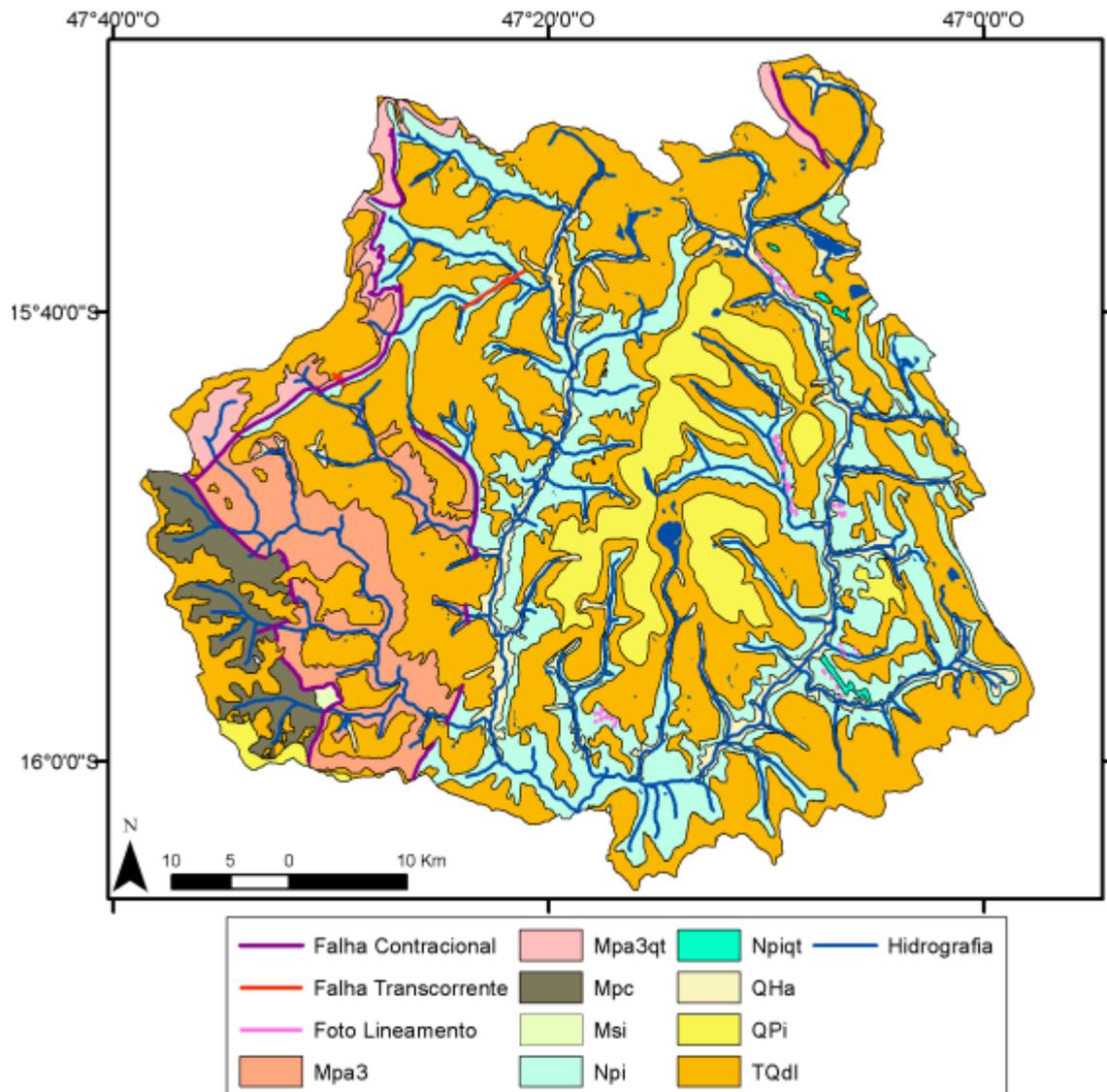


Figura 2.2.8 – Mapa geológico da bacia do alto Rio Preto. Mpa3 e Mpa3qt - Grupo Paranoá, Unidade 3, Rítmica Quartzítica Intermediária, com ocorrência de quartzito fino a médio (Qt). Mpc - Grupo Canastra, Formação Paracatu. Msi - Grupo Canastra, Formação Serra do Landim. Npi e Npiqt - Grupo Bambuí, subgrupo Paraopeba Indiviso, com ocorrência de quartzitos (Qt). QHa - Depósito aluvial. QPi - Coberturas detríticas indiferenciadas, TQdl - Coberturas Detrito-Laterítica. Elaborado pelo autor, sobre material de ZEE-RIDE (SILVA, 2003) de escala original em 1: 500 000

Através da observação destes mapas, é bastante notável a predominância de Coberturas Detrito-Lateríticas, recobrando unidades do Grupo Bambuí, Paranoá e Canastra. No entanto, depressões podem se formar tanto em coberturas lateríticas quanto nos grupos geológicos que as sustentam (TWIDALE, 1986). Deste modo, é

importante buscar mapas que não considerem as coberturas lateríticas, de modo que possamos ver se as depressões estão restritas a um único grupo geológico.

No entanto, grande parte dos mapas disponíveis na bibliografia demonstra predominância do Grupo Bambuí como embasamento geológico sem diferenciar sua estratigrafia e seus contatos, determinando apenas o subgrupo Paraopebas para a área, não especificando litologias e formações. Exemplo disto está exposto na **Figura 2.2.9**.

O grande motivo para essa lacuna é a dificuldade de se observar afloramentos do grupo Bambuí, bastante raros na região. Além da própria aparente homogeneidade do grupo.

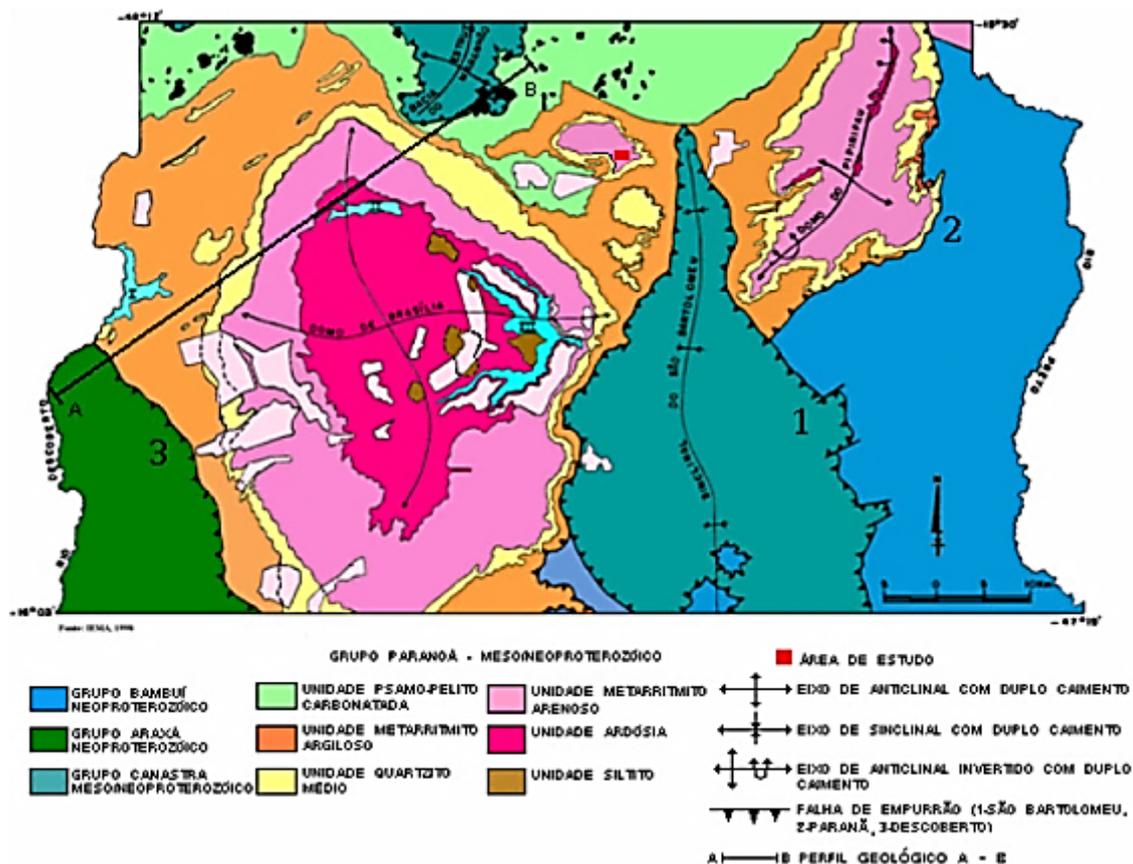


Figura 2.2.9 - Mapa Geológico do Distrito Federal. A porção da bacia do Rio Preto na figura é constituída principalmente por rochas do grupo Bambuí. Elaborado por Freitas-Silva e Campos (1998), *apud* Nascimento (2012).

Percebe-se também que o grupo Paranoá não é bem descrito para a região, sendo que em mapas, mesmo que simplificados, diferenciam a geologia desta porção sudoeste da bacia do alto Rio Preto. O mapa acima, de Nascimento (2012), baseado

em Freitas-Silva e Campos (1998) (**Figura 2.2.9**) desenham para esta porção o Grupo Araxá, composto por xistos e quartzitos de elevado grau de metamorfismo.

Por sua vez, Campos *et al.* (2006) apresenta mapa geológico específico (**Figura 2.2.10**) para a bacia do Rio Preto, elaborado através de trabalhos de campo e sensoriamento remoto. Para a região do CIF, localizado no alto Rio Preto, de acordo com os autores (p. 26) “o mapeamento não foi possível, sendo a geologia atribuída ao grupo Bambuí”. No limite oeste do planalto, ocorrem por sua vez rochas do Bambuí atribuída à formação Três Marias.

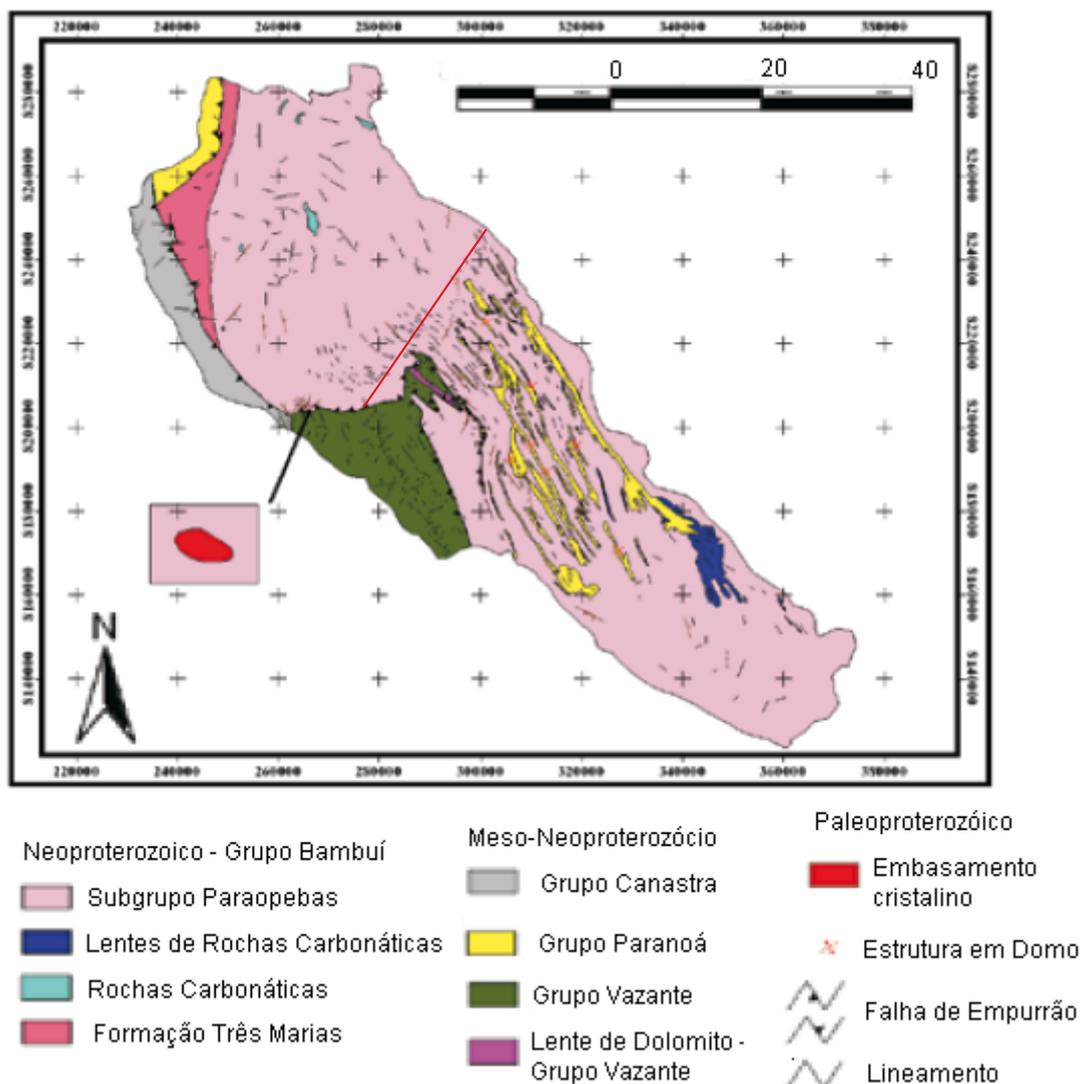


Figura 2.2.10 – Mapa Geológico da bacia do Rio Preto. A linha vermelha indica aproximadamente o limite da bacia do alto Rio Preto, com sua porção média. Notam-se as cristas expondo o grupo Paranoá, na região do médio Rio Preto. Na região da bacia do alto Rio Preto não há divisão do subgrupo Paraopeba, a não ser na sua porção oeste, composta pela Formação Três Marias. Adaptado de Campos *et al.* (2006) pelo autor.

Este mapa de Campos *et al.* (ob cit.) se difere por apresentar maior presença do Grupo Vazante, diretamente em contato como Grupo Bambuí, Formação Três Marias, sem a intermediação do Grupo Paranoá, como em Moreira *et al.* (2008).

### **Geologia de Formosa-Cabeceiras, limite leste da bacia do alto Rio Preto.**

Para a região entre Formosa a Cabeceiras, ambas em Goiás, foram realizados estudos detalhados, cujas áreas de abrangência são demonstradas na **Figura 2.2.11**. Destes, se destaca o estudo de Guimarães (1997), que ao estudar a diagênese de ritmitos do Paranoá, elabora perfil estratigráfico e mapeamento generalizado para a geologia de Cabeceiras (**Figura 2.2.12**). Sua área de estudo abarca o limite oeste do alto Rio Preto, entre o distrito de Bezerra, pertencente à Formosa, e o município de Cabeceiras. Posteriormente, baseando neste estudo, Costa Neto (2006) (**Figura 2.2.13**) estudou os ritmitos superiores na região do Vão do Paranã, no município de Formosa, e Chaves *et al.* (2003) o sinergismo entre dados ópticos e de radar em Cabeceiras (**Figura 2.2.14**). Em área coincidente com Costa Neto (2003), ocorreram também estudos técnicos para a instalação de uma mina de calcário (CPX-DBO, 2013).

De modo geral, como assinalado nos trabalhos de CPX-DBO (2013) e Costa Neto (2006), ocorreu na região uma grande dobra anticlinal assimétrica, de caimento moderado (45-60°) para o flanco oeste e vertical a subvertical no flanco leste, tendo no centro formações carbonáticas. Dobras secundárias aparecem como travessões paralelos à dobra principal.

Após tais dobramentos a região foi afetada por um processo rúptil, apresentando duas principais direções de falhas. A mais antiga e principal possui direção N-S. Esta falha é responsável pelo contato entre as várias litologias, além do alçamento de parte do corpo calcítico por meio de falhas normais. De forma secundária, mas não menos importante, ocorreram falhas de direções transversais ao falhamento principal, na qual se instalou a drenagem atual (CPX-DBO, 2013).

Contudo, enquanto Costa Neto (2006), CPX-DBO (2013), descrevem dobramentos e falhas principais em eixo N-S, Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2003) sinalizam dobras de direção NO-SE. Podemos observar, pelo alinhamento das cristas, originadas por tais dobramentos e falhas, que elas possuem um formato em curvo,

ora em direção N-S, ora em direção NO-SE. Estas direções são importantes, por guiar a drenagem local.

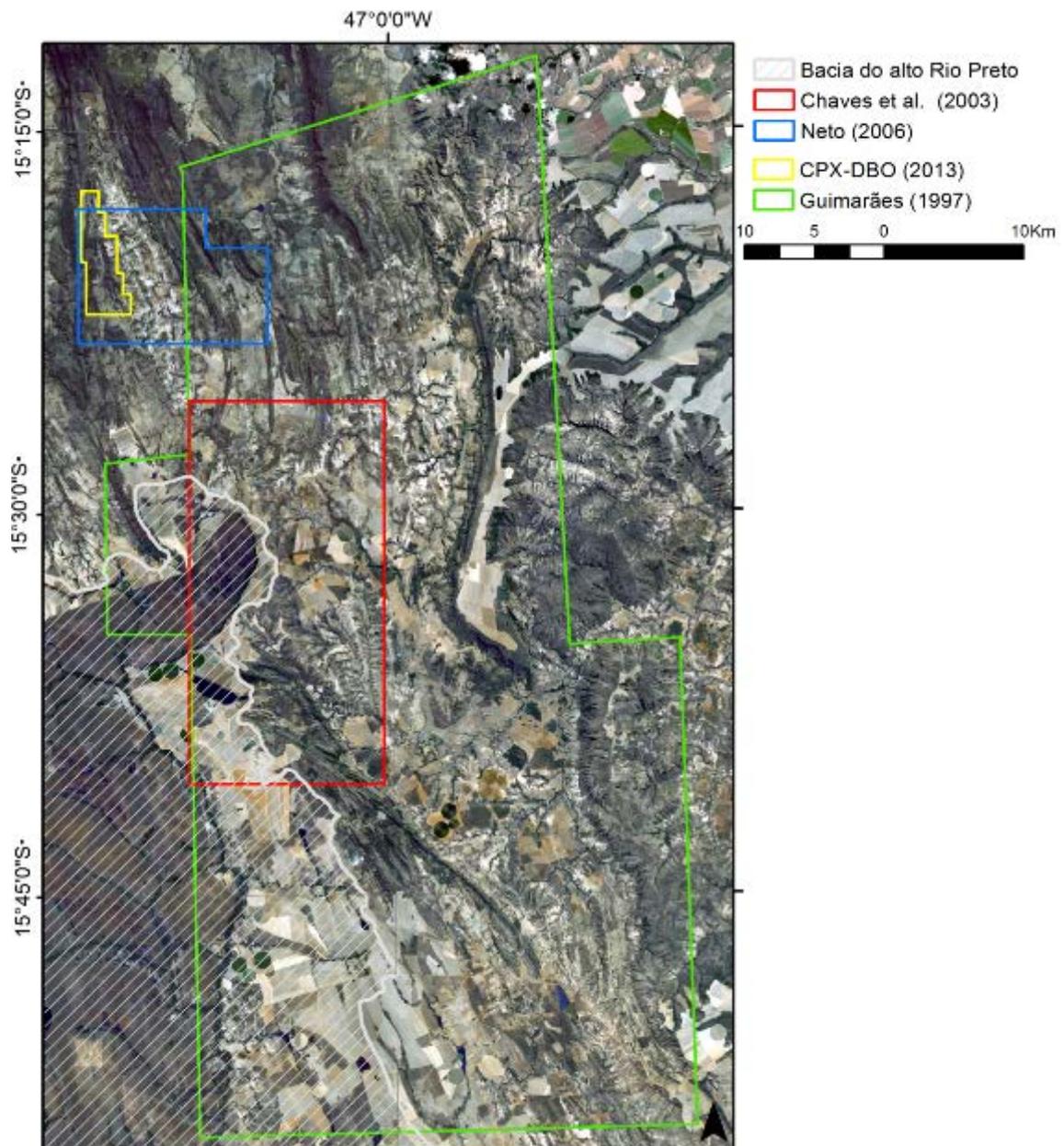


Figura 2.2.11 – Localização dos estudos entre Formosa-Cabeceiras. Observa as cristas, em formato curvo, de direção N-S em Formosa (canto esquerdo da imagem) e NO-SE em Cabeceiras (centro da imagem). Elaborado pelo autor.

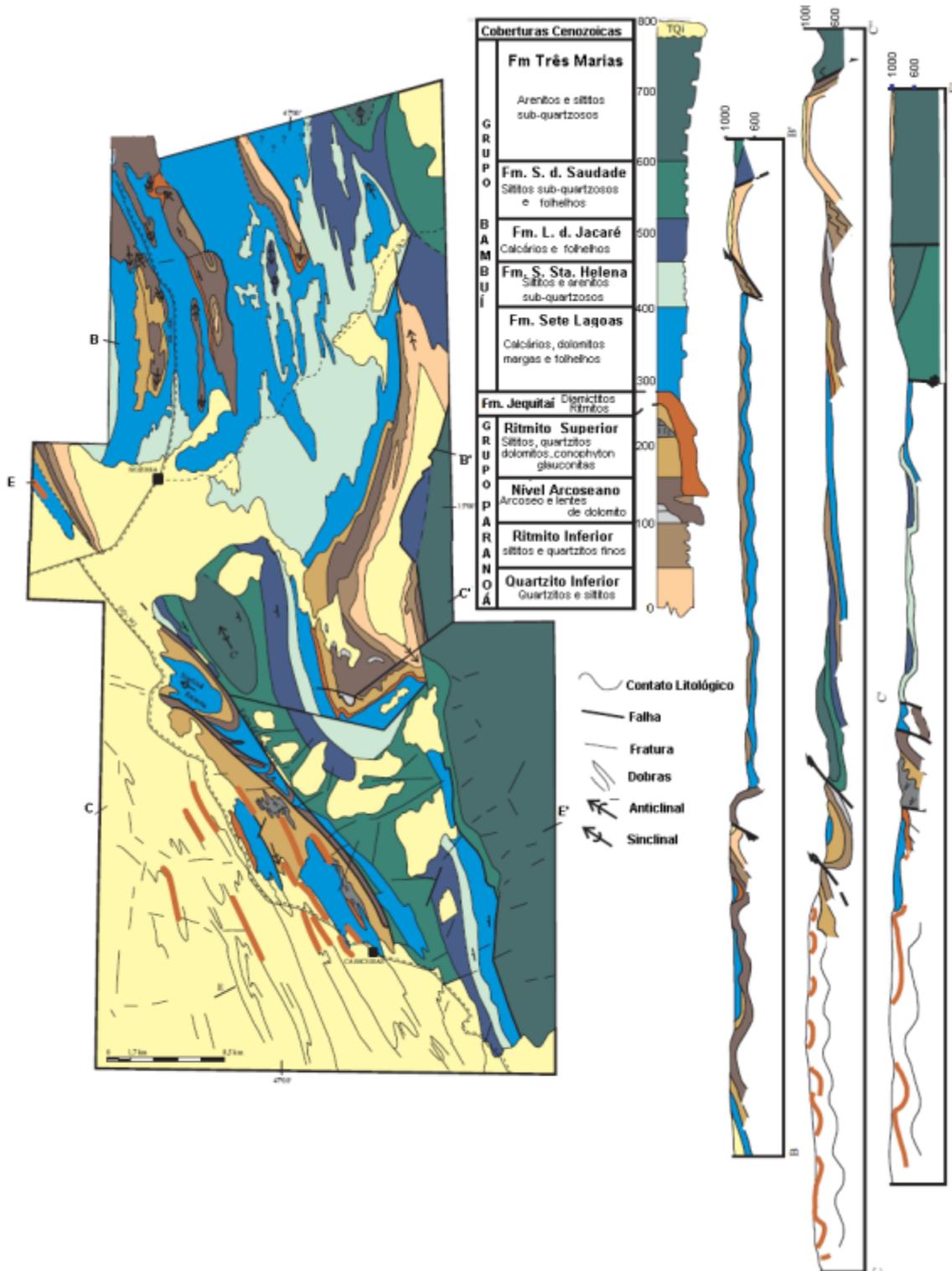


Figura 2.2.12 – Geologia regional de Formosa-Cabeceiras. Nota-se que uma possível continuação da sinclinal de Raizama está possivelmente coberta por depósitos cenozoicos. Elaborado por Costa Neto (2006) sobre trabalho de Guimarães (1997).

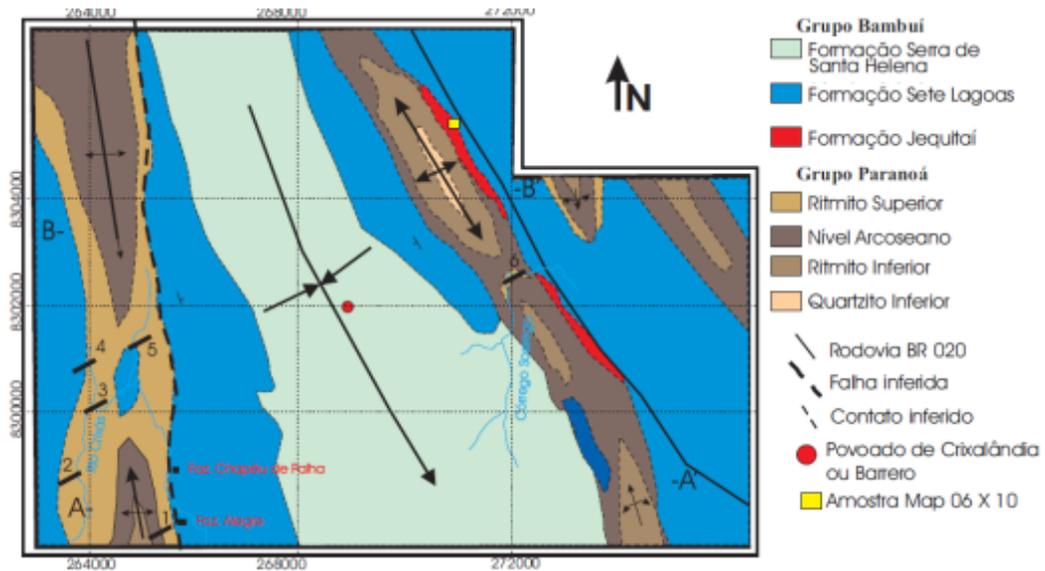


Figura 2.2.13 – Geologia da área de Formosa. O grupo Bambuí aparece no centro da sinclinal e em porção mais baixas, enquanto o grupo Paranoá surge em níveis altimétricos mais altos. Elaborado por Costa Neto (2006), adaptado pelo autor.

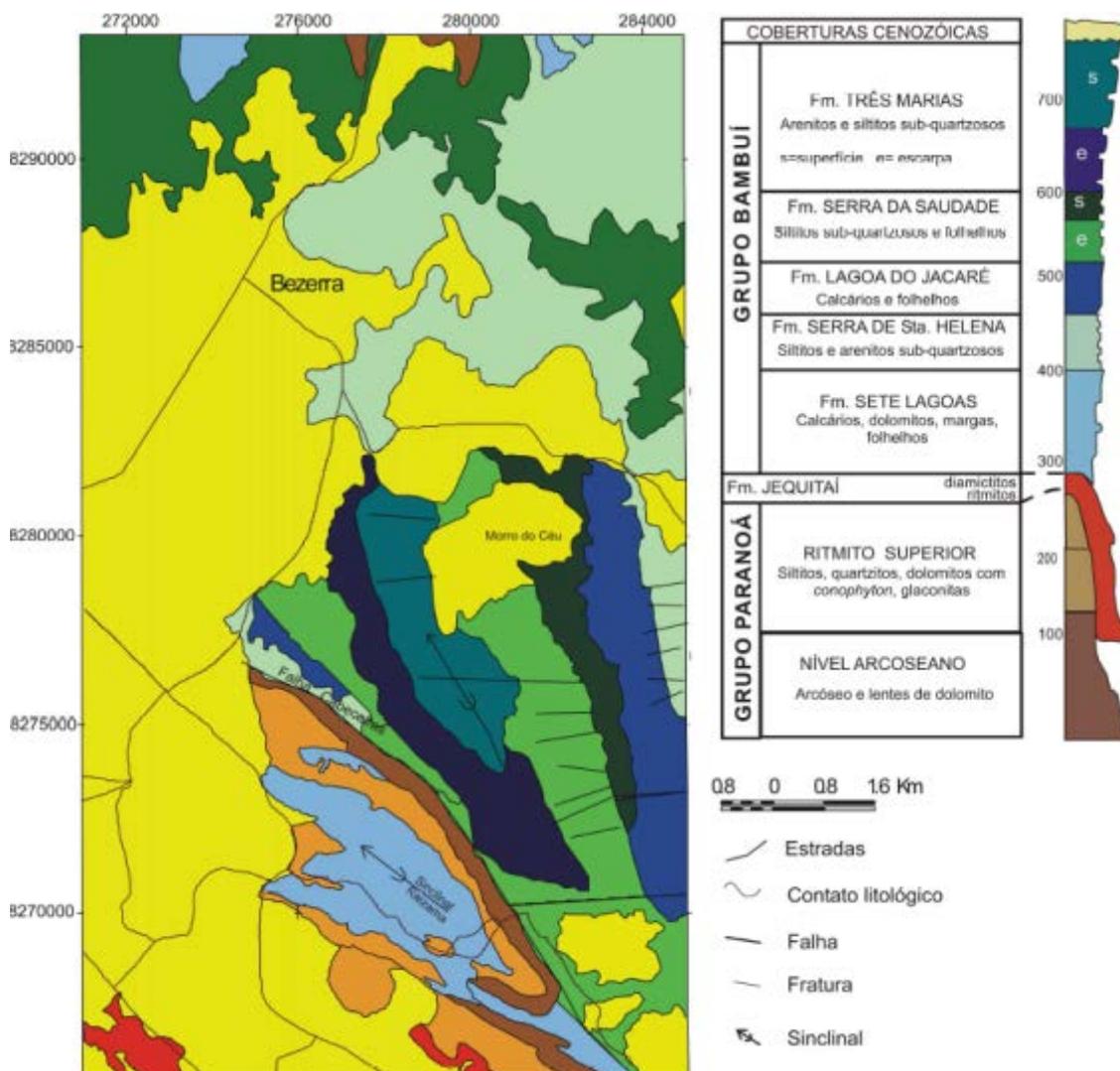


Figura 2.2.14 – Geologia da área Bezerra-Cabeceira. Observa-se também sinclinal de Raizama, dentre outras, e diversas falhas transversais ao eixo principal de dobras.

Assim, se observa na área descrita pelos autores a presença de intensas falhas e a presença de dobramentos apresentando o Grupo Bambuí em sinclinais, e o Grupo Paranoá em anticlinais, o que permite a exposição deste segundo grupo.

Há destaque para a falha de Cabeceiras, junto à sinclinal de Raizama (Serra de Raizama), que muito provavelmente tem continuidade abaixo das coberturas cenozoicas recentes, já dentro da bacia do alto Rio Preto, em região com a presença de depressões doliniformes, que inclusive, acompanham a direção estrutural deste dobramento.

### **Unidades Litológicas**

Com o exposto acima, neste trabalho utilizaremos a divisão proposta por Moreira *et al.* (2008), conforme **Tabela 2.2.1** apresentada anteriormente. Com esta, soma-se ao mapeamento de Silva (2003) que juntos integram compilação bibliográfica e material cartográfico em melhores detalhes e escalas, além de ser trabalho sistemático mais atual, compatível aos objetivos desta pesquisa. Desta forma, a seguir, apresentamos as principais unidades litológicas para a área de estudo.

#### ***Grupo Paranoá***

As rochas do Grupo Paranoá se encontram dispostas estruturalmente em domos (domo de Brasília, Pipiripau e Sobradinho), compondo os relevos mais altos da região do Distrito Federal e entorno. Neste sentido, no limite noroeste da bacia do alto Rio Preto, em sua porção de maior altitude, o grupo apresenta-se correlacionado às chapadas de Pipiripau, originária de dobra anticlinal recumbente de metamorfismo de baixo grau (Campos *et al.*, 2006).

O Grupo Paranoá também se apresenta nas chapadas elevadas e nas serras alinhadas no entorno externo da bacia, sobretudo na depressão São-Franciscana. Isto ocorre como resultado de compressão regional durante o ciclo Brasileiro, que ocasionou falhas de empurrão e dobras para a região, expondo o grupo junto ao Grupo Bambuí.

Neste sentido, Campos *et al.* (2013) compilam os estudos até então realizados sobre o Grupo Paranoá e o descrevem para a porção externa da Faixa Brasília, demonstrando sua espacialidade que se estende de Cristalina até Alto Paraíso (**Figura 2.2.15**). Nota-se que o grupo está associado a falhas de empurrão, evidenciando, portanto, forma alongada, como delgadas faixas.

Para os autores, o Grupo Paranoá corresponde a uma sucessão variada de quartzitos, dolomitos, ardósias, filitos e metarritmitos, depositados em condições de transgressão-regressão de marés no Mesoproterozoico (1.542 a 1.042 Ma). O Grupo Paranoá representa uma sequência de preenchimento de bacia de primeira ordem que se estende para o interior do cráton, recoberta por unidades do Grupo Bambuí.

Especificamente na bacia do Rio Preto, o Grupo Paranoá é representado por quartzitos pertencentes às unidades Quartzito Conglomerático, Quartzito Médio e Quartzito Inferior; por metarritmitos referentes às unidades Metarritmitos Arenoso, Metarritmitos Inferior, Metarritmitos Argiloso, Metarritmitos Superior e por unidade Psamo Pelito Carbonatada. Especificamente no alto do Rio Preto, ocorrem os Quartzitos Conglomerático e Médio, além de Metarritmitos Arenosos e Argilosos, localizados na Chapada do Pípiripau (CAMPOS *et al.*, 2006).

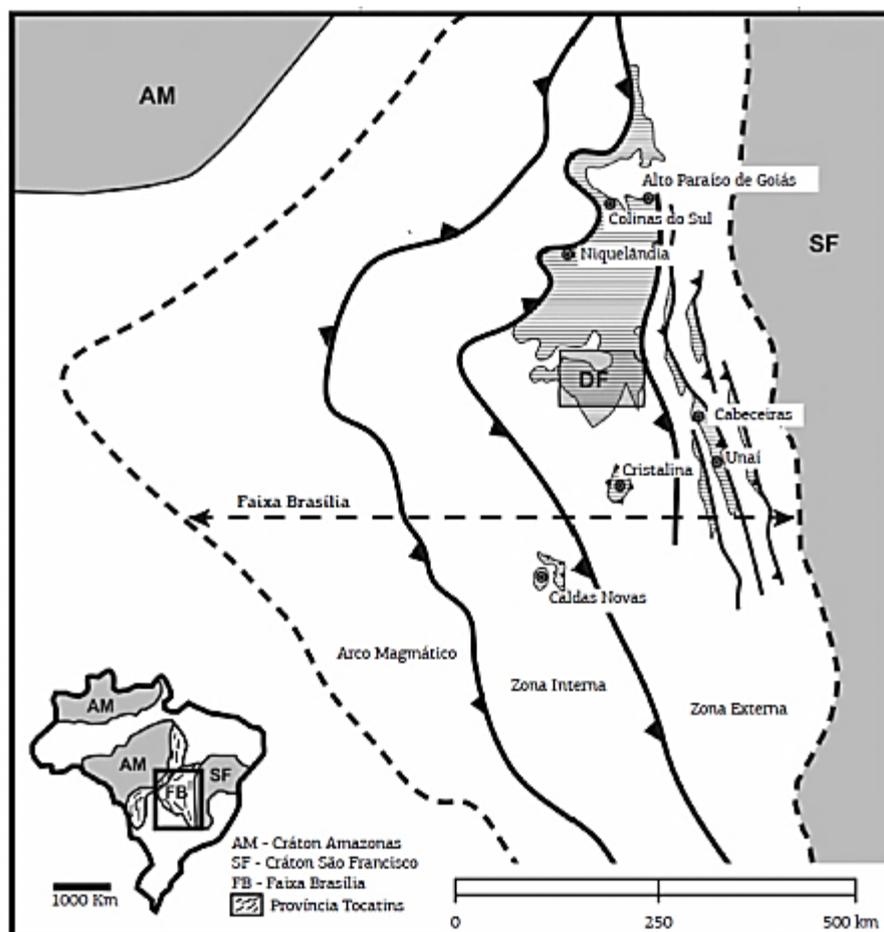


Figura 2.2.15 - Distribuição do Grupo Paranoá nas porções interna e externa da Faixa de Dobramentos Brasília. Elaborado por Campos *et al.* (2006)

Baptista (2004) e posteriormente Campos *et al.* (2012) apresentam correlação regional do Grupo Paranoá em diferentes áreas de ocorrência. Os autores selecionam os perfis estratigráficos das áreas-tipo de Alto Paraíso-Distrito Federal com as áreas de Colinas-Niquelândia (FUCK *et al.* 1988 *apud* CAMPOS *et al.*, 2012); Cabeceiras-Unai (GUIMARÃES, 1997); Cristalina (FARIA, 1995 *apud* CAMPOS *et al.*, 2012); Caldas Novas (CAMPOS *et al.* 2012).

Costa Neto (2006) considera que o Grupo Paranoá é uma unidade terrígena, com contribuição carbonáticas na base e no topo. A unidade superior do grupo, definida no DF como Pelítico-Carbonatada ou Psamo-Pelítico-Carbonatada é correlacionável ao Ritmito Superior, na região de Cabeceiras-Bezerra. Para o autor, nesta região, o Grupo Paranoá se apresenta por Quartzito Inferior, Ritmito Inferior de intercalação de siltitos e arenitos, Nível Arcoseano, e Ritmito Superior de intercalação de siltitos, argilitos e arenitos, concordando desta forma com Guimarães (1997).

Na **Figura 2.2.16**, demonstramos correlação estratigráfica entre Cabeceiras-Bezerra e Distrito Federal-Alto Paraíso, conforme Campos *et al.* (2012), o qual concorda com Batista (2004) e Costa Neto (2005).

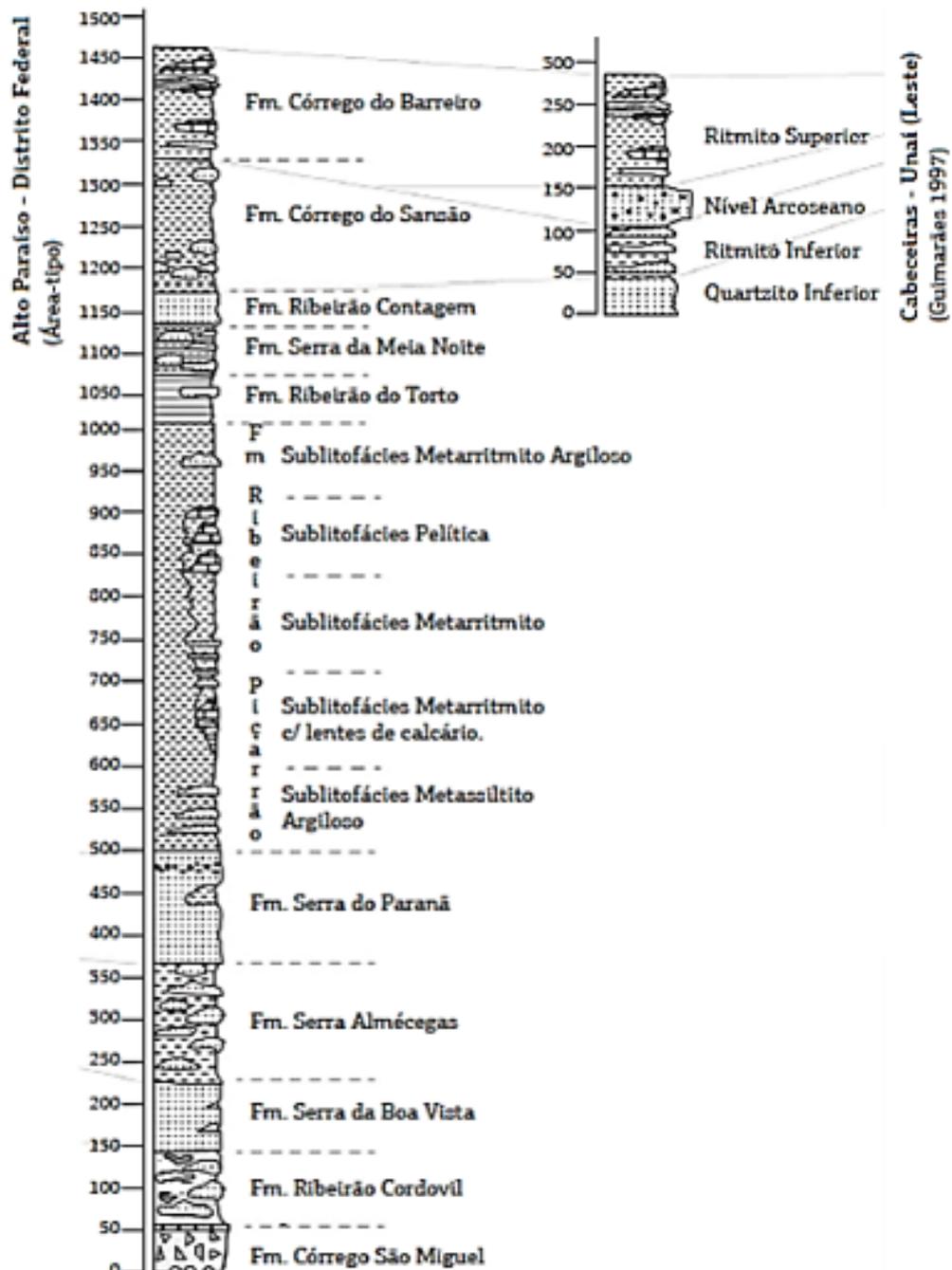


Figura 2.2.16 – Correlação estratigráfica entre o Grupo Paranoá em áreas tipo. Elaborado por Campos *et al.* (2012), adaptado pelo autor.

### **Grupo Canastra**

No Distrito Federal, o Grupo Canastra é associado à Formação Serra do Landim e à Formação Paracatu. Contudo, o grupo é complexo e variado, de forma que nem todas as suas localidades de ocorrência foram devidamente analisadas.

Desta forma, na área de estudo desta pesquisa, há carência de perfis estratigráficos completos, sendo que, segundo Silva *et al.* (2012) apenas as regiões em Minas Gerais, de Vazante e Lagamar (CAMPOS NETO, 1984), Paracatu e Vazante (FREITAS-SILVA e DARDENNE, 1994), Coromandel e Guarda-Mor (PEREIRA, 1992), Araxá (SIMÕES e NAVARRO, 1996), e Passos (SIMÕES, 1995) foram devidamente analisadas (*apud* SILVA *et al.*, 2012). O próprio autor citado estudou o grupo na região de Itabira, MG.

Silva *et al.* (2012) e Dardenne (2000) descrevem que o Grupo Canastra apresenta quartzitos e filitos com subordinação de rochas carbonáticas e carbonáceas metamorfizadas. Há um aumento gradual da contribuição arenosa sobre os filitos, conforme se parte da base ao seu topo, na estratigrafia (PEREIRA *et al.*, 1994).

Campos *et al.* (2006) define que o grupo constitui serras de morros arredondados com vales encaixados, cujas rochas apresentam-se empurradas por falhas sobre o Grupo Paranoá, Vazante e Bambuí. Na região oeste da bacia do Rio Preto, os autores atribuem o grupo “com algum grau de incerteza ao Membro Serra da Anta, topo da formação Paracatu” (*ob cit.*, p. 20).

Assim, para Campos *et al.* (2006), o grupo na região é composto de clorita filitos e fengita-quartzo-clorita filitos, alterados geralmente em coloração cinza e arroxeadas. Há abundante presença de *boudins* de quartzo. As rochas deste grupo possuem foliação com caimento para oeste, de mergulho sub-horizontal a subvertical e fraturas verticais a subverticais, estas últimas que podem ser preenchidos por sílica.

O ambiente de formação possível para o Grupo Canastra é o de deposição em ambientes marinhos, associados à maré, durante ciclos regressivos. De acordo com datações realizadas em zircões detríticos, sobretudo na Formação Paracatu, sua idade situa-se aproximadamente em 1030 Ma (RODRIGUES *et al.*, 2010).

### **Grupo Bambuí**

O Grupo Bambuí é o de maior ocorrência na área de estudo, sustentando os terrenos mais planos e dissecados, associados à bacia cratônica do São Francisco, como já exposto anteriormente.

Apesar de ser um grupo conhecido desde o início do século XIX, seu estudo sistemático, incluindo subdivisões litoestratigráficas, foi proposto na década de 1960 por Costa e Branco (1961). A “seção tipo” definida pelo autor se dá ao longo da BR-040, desde Belo Horizonte, em Minas Gerais, até a região de Brasília no Distrito Federal. Foi proposta a subdivisão da “série Bambuí” nas formações Carrancas (unidade basal), Sete Lagoas (unidade intermediária) e Rio Paraopeba (unidade superior), esta, por sua vez, subdividida em Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Três Marias e Serra da Saudade. Até o presente, apesar de certa discussão em pequenas alterações, é a subdivisão mais aceita (MARTINS-NETO e ALKMIN, 2001).

A idade de deposição do Grupo Bambuí tem sido atribuída ao final do Pré-Cambriano (BAPTISTA, 2004), a qual está relacionada a um ambiente marinho. Baptista (2004) concorda com Castro (1997) e Martins-Neto e Alkmin (2001) que, dentre outros, propõem que a sedimentação do Grupo Bambuí ocorreu em bacia *foreland* (antepaís), devido ao soerguimento na Faixa Brasília, no início da Orogênese Brasileira, como já apresentado.

Em mapeamento para a bacia do alto Rio Preto, Campos *et al.* (2006) define que, para a Formação Sete Lagoas, há o predomínio de extensas e espessas lentes de calcários cinzas a roxos, e dolomitos de coloração cinza claro, depositados ao meio de pelitos, às vezes com presença de silexitos. Para a Formação de Santa Helena, o autor descreve predominância de pelitos. Tal formação é comumente composta por uma sucessão sedimentar predominantemente pelítica, como siltitos, folhelhos, argilitos e margas de cores esverdeadas e intercalações de calcários cinza escuro (MARTÍNEZ, 2007).

A Formação Santa Helena assenta-se diretamente sobre a Formação Sete Lagoas através de contato concordante e gradativo representado pelo aumento gradual do conteúdo de pelitos nos carbonatos de topo da Formação Sete Lagoas gradando para margas cinza-esverdeadas (MARTÍNEZ, 2007).

Silva (2003), Campos *et al.* (2006) e Moreira *et al.* (2008), não dissociam quais das formações são predominantes, nem sua espacialização, para a área do CIF, definido para a área então o termo “Subgrupo Paraopeba”, que, no caso, englobaria as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena. Para Campos *et al.* (2006), a

dissolução destas rochas favorece a circulação de água subterrânea, preferencialmente em linhas de fraturas.

Quanto à idade do grupo Bambuí, Dardenne *et al.* (2003), por meio de datação U/Pb em zircões detríticos da Formação Samburá, chegaram a uma idade de 650 a 620 Ma para deposição do Grupo Bambuí.

### **Formações Superficiais**

De modo geral, as formações superficiais recobrem todas as áreas planas da área de estudo, estando presentes sobre todas as litologias. Trata-se para Moreira *et al.* (2008) de depósitos aluviais, coberturas detríticas indiferenciadas e coberturas detrito-lateríticas ferruginosas.

No entanto, há que se discorrer brevemente sobre o termo “cobertura detrito-lateríticas ferruginosa”. Este termo confunde-se com diversos outros, tais como “corpos lateríticos”, “petroplintita”, “ferricrete”, “*duricrust*”, “lateritas”, “carapaças” e “couraças”, todos utilizados de forma bastante genérica para depósitos residuais endurecidos, originados por processos de acumulação ferruginosas (TARDY e NAHON, 1985; TARDY, 1993; ESPINDOLA e DANIEL, 2008; AUGUSTIN *et al.*, 2014; ALVES, 2015).

Originalmente, para depósitos ferruginosos, o termo utilizado foi o de “laterita” por Buchanan no início do século XIX na Índia. No entanto, o termo posteriormente passou a ser utilizado para se referir também a solos vermelhos com concentrações de ferro, dentre qualquer outro material ferruginosos seco e endurecido (AUGUSTIN *et al.*, 2014), além de possuir qualquer morfologia, podendo ser concrecionária, vermicular, vesicular, pisolítico ou maciça.

Assim, Tardy e Roquin (1998 *apud* ALVES, 2015) defendem que este termo deva ser utilizado apenas de forma genérica para todos os materiais, tanto friáveis quanto endurecidos, que expressem em sua cor e textura a predominância de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro ou de alumínio livres com minerais primários resistentes.

Nos estudos de solo no Brasil, principalmente no que concerne à classificação de solos, o conceito mais usual é o de “petroplintita”, que designa acumulações ferruginosas endurecidas, que não podem ser quebradas à mão, se configurando como resistentes acumulações de ferro (EMBRAPA, 2013) que podem se apresentar

como nódulos ou concreções. Esta origem está associada à influência norte americana no sistema de classificação de solos do Brasil.

Para os estudos de solos por pesquisadores franceses, que influenciaram a Pedologia mais ligada à Geomorfologia (QUEIROZ NETO, 2010; ESPINDOLA, 2010), os termos mais utilizados são “carapaça” e “couraça”. O primeiro pode ser fragmentado com a mão, sem muito esforço, já o segundo, não.

Desta forma, neste trabalho se utiliza os termos como expressos originalmente pelos autores citados, que no caso da bibliografia geológica, preferem utilizar “coberturas detrito-lateríticas”, enquanto o próprio autor, em suas considerações próprias, prefere o termo “couraça ferruginosa”.

Ainda sobre este material, Martins (2000) selecionou cinco áreas de borda de chapada no Distrito Federal e realizou estudos mineralógicos em perfis de lateritas. Concluiu que há uma variação lateral de fácies na laterita, seguindo a vertente (**Figura 2.2.17**).

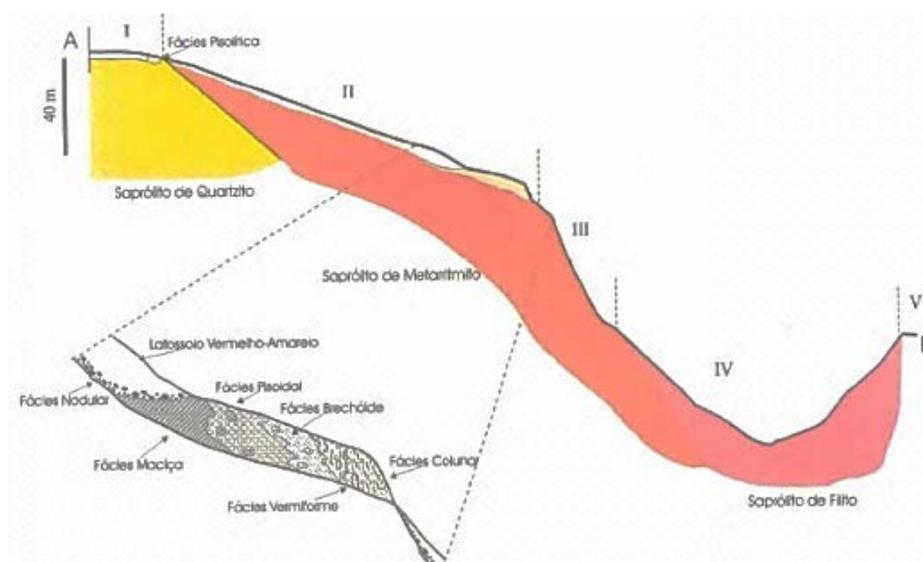


Figura 2.2.17. Posição e fácies de laterita em borda de chapada. I- Chapadas Elevadas. II- Bordas de Chapadas. III- Escarpa adaptada à falha. IV- Planos Intermediários. V – Chapadas Baixas. Elaborado por Martins (2000).

O autor esquematizou um modelo de evolução da paisagem para o DF, relacionando-a com controle estrutural e litológico e ciclos paleoclimáticos, responsáveis pela destruição e construção de lateritas (MARTINS, 2000; MARTINS *et al.*, 2004a). Para Martins (2000), a superfície denominada de Chapadas Elevadas, por exemplo, é controlada por uma camada de Quartzito, a qual delimita este relevo com suas bordas, constituída de metarritmitos

Nascimento (2011) concorda com modelo evolutivo de Martins (2000) e Martins *et al.* (2004a), ao concluir que lateritas e os depósitos detríticos formados *in situ* possuem um ciclo de construção-destruição, conforme o momento climático que o relevo está exposto. Deste modo, em ambiente seco, as lateritas se formaram, enquanto que em ambientes úmidos, elas se degradam e originam solos (**Figura 2.2.18**).

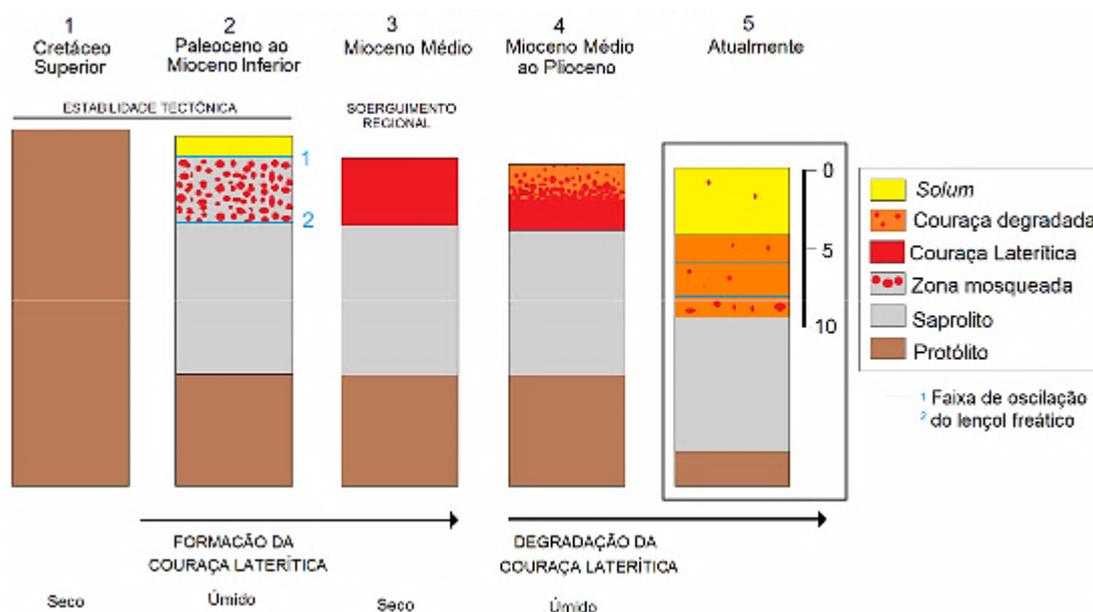


Figura 2.2.18 – Modelo de evolução de um perfil de laterita. Observa-se a importância de ciclos climáticos. Elaborado por Nascimento (2011)

No entanto, Lima (2003, *apud* NASCIMENTO, 2011) ao estudar as couraças na região da bacia do Rio Preto, em três compartimentos localizados nas cotas entre 1100-1160 m, 850-1100 m e 850-980 m, concluiu por meio de dados geoquímicos e mineralógicos, que os Latossolos existentes não evoluem da degradação das couraças, mas sim da pedogênese sobre rochas locais.

De qualquer modo, é assinalada a existência de detritos transportados durante o Pleistoceno, associados a um transporte eólico em uma fase seca, que recobrem estas crostas lateríticas (SILVA, 2003).

## 2.3 Depressões

### Revisão teórica e bibliográfica

Depressões, chamadas de dolinas em relevo cárstico, podem ser consideradas como uma das feições mais particulares do exocárste, assim denominado o conjunto morfológico superficial do carste. Outras feições seriam os poljes, lapiás, maciços e vales cegos ou recuados (PILÓ, 2000).

As dolinas, conforme conceito inicialmente utilizado por Cvijici (*apud* PILÓ, 2000) se referem a depressões circulares ou elípticas que se formam na superfície, em função da dissolução do embasamento carbonático. São unidades hidrográficas comparáveis a simples bacias, que convergem a água por meio de seu sistema de vertentes. As águas, por sua vez, dentro das depressões convergem para a subsuperfície e embasamento subterrâneo (PILÓ, 2000).

Dolinas podem ser classificadas, em termos morfogenéticos, em quatro tipologias (KOHLENER, 1989; PILÓ, 1999): dolinas de dissolução; de abatimento; colapso, devido ao carste subjacente; aluviais ou de subsidência. Os processos de formação delas são explicados por Piló (1999; 2000).

Nas primeiras, o processo predominante é a dissolução da rocha carbonática em pontos suscetíveis, como em fraturas, juntas, planos de acamadamento. Com a água convergindo para esta área, se acentua a dissolução.

Nas dolinas de abatimento e colapso, o principal processo é o colapso do teto de uma caverna ou parede, abaixo da superfície. Em carste coberto por solos ou couraças, tanto na região de contato solo-rocha quanto nas próprias rochas, pode ocorrer o transporte de materiais móveis para essas zonas de fraturas ou juntas (local de escoamento). Assim, criam-se “vazios na área de contato com a criação de um arco entre a rocha e o solo remanescente”. Com a perda de sustentação deste, pode ocorrer o colapso do solo em superfície.

Por fim, dolinas aluviais e de subsidência ocorrem com a perda do solo, ou outro material móvel, em zonas de escoamento, com a pequena criação de depressões na superfície.

Inicialmente, depressões estavam mais associadas à dissolução química de rochas carbonáticas, sobretudo sobre calcários. Contudo, com o aumento de estudos de feições tipicamente cársticas em rochas não-carbonáticas, o termo *cárstico* foi posto em discussão.

Deste modo, o termo *feições cársticas* passou a ser mais amplo, sendo utilizado para o resultado de processo predominantemente químico, apesar da ocorrência conjunta também de processos físicos (UAGODA, 2011; FABRI *et al.*,

2014). Nesta linha, Cole (1993) propõem que o termo *pseudo-carste* seja utilizado para processos físicos, mas cuja forma resultante é semelhante à dissolução química.

Coltrinari (1975) ao estudar a região de Guaratinguetá mapeou a presença de depressões úmidas fechadas em interflúvios largos de baixa declividade, especialmente nos setores de colinas mais baixas, assentadas sobre a bacia de Taubaté. A autora assinala que tais depressões são similares às cabeceiras em anfiteatros que ocorrem nas vertentes e rampas de colúvios da região.

Também é descrita a formação de depressões em solos provenientes de embasamentos cristalinos, como no caso daquelas localizadas no Planalto Médio do Rio Grande do Sul (DPFS, 1967) sobre basaltos, ou em solos originados em quartzitos e/ou gnaisses (UAGODA, 2011; UAGODA *et al.* 2009, 2011) e em embasamentos compostos por halitas (GUERREIRO *et al.* 2013).

Uagoda (2011) conclui que as feições cársticas em sua área de estudo no Médio Paraíba tem uma densidade de ocorrência superior as de feições de encostas, como ravinas. O controle litológico se demonstra no fato de que dolinas de abatimento e cavernas estão restritas a quartzitos grosseiros, enquanto que dolinas de dissolução aparecem em todas litologias da área.

Souza e Salgado (2014) também examinam dolinas em relevo originado em quartzitos, mas com taxas diferentes das de Uagoda (2011), sendo que os autores calcularam uma densidade de dolinas de apenas 0,04/ km<sup>2</sup>, inferior ao apresentado por Uagoda (2011) de 9,1/km<sup>2</sup>, no entanto, encontraram maior quantidade de feições fluviocársticas.

Nos arenitos no Paraná, Melo *et al.* (2011) cita o caráter cárstico dos arenitos da Formação Furnas, o que favorece a existência de feições típicas de dissolução química, como dolinas de abatimento, dolinas de dissolução e cavernas. Para os autores, ocorre a dissolução das argilas que cimentam os arenitos. Assim, as argilas podem voltar a se precipitar novamente como caulinitas criptocristalinas, em microfissuras ou em pequenos espeleotemas superficiais (MELO e GIANNINI, 2007).

Sallun Filho e Karmann (2007) também estudaram feições cársticas nos arenitos da Formação Furnas do Paraná, comparando-as com feições sobre os arenitos da Formação Aquidauana no Mato Grosso do Sul. Para os autores, nos primeiros prevalecem dolinas de dissolução, sendo que nos segundos há maior quantidade de dolinas de abatimento, sendo ambos os arenitos fortemente controlados pela estrutura geológica local. No entanto, os autores consideram que

estas feições ocorrem na verdade causados pela dissolução de rochas carbonáticas do Grupo Açungui na base da estratigrafia, e não nos arenitos.

Sobre as dolinas formadas nos arenitos da Formação Rio Claro, em São Paulo, os estudos se iniciaram por Björnberg *et al.* (1964, 1966) e Penteado (1976), os quais consideravam as dolinas presentes na região como antigos meandros abandonados, de uma antiga fase de pediplanação durante paleoclima mais seco. Nos anos seguintes Penteado (1981) por sua vez, interpretou tais lagoas também como possíveis antigas cabeceiras de drenagem, abandonadas durante um rebaixamento do nível de base local.

Zaine (1994, 2000) por sua vez interpretou as dolinas em Rio Claro como resposta complexa de diversos elementos. São eles: a erosão química, condicionada a alinhamentos estruturais, solos bem drenados e a presença de uma superfície de aplainamento Neogênica de período úmido e estável.

No entanto, Melo (1995) observou preenchimento sedimentar de argilas lacustres em algumas lagoas na região de Rio Claro, dentre elas esmectitas detríticas que podem sugerir condicionantes paleoclimáticos mais secos. Schrage (2012) destaca que, independente da origem de tais depressões, há visível perda de óxidos nas suas vertentes, expressa na perda de cor avermelhada dos Latossolo em direção a dolina, além de possível aprofundamento da mesma, guiando os colúvios que recobrem sítio arqueológico (ARAUJO, 2012) e paleossolo durante o Quaternário.

Twidale (1987) apresenta revisão bibliográfica de estudos de dolinas no meio tropical, sobretudo em sedimentos e rochas não carbonáticas e em solos laterizados. Em seu próprio estudo, chegou à conclusão de que muitas dolinas em um platô no norte da Austrália podem ter sido originadas pelo colapso do embasamento carbonático aliado a fraturas na rocha. Porém, relata que outras dolinas ocorrem em substrato quartzoso e em lateritas. Para o autor, durante o Cenozoico ocorreu ascendência do lençol freático, intemperizando as lateritas e quartzitos, também preferencialmente em zonas de fraturas. Com o atual rebaixamento do lençol, os canais e cavidades criados na fase anterior colapsaram, originando desta forma depressões.

Sponholz (1994a, 1994b) correlaciona a presença de couraças com a dissolução em arenitos quartzosos na Nigéria, observando que todas as feições possíveis de um típico relevo cárstico são presentes no país, em diversas litologias. Para o autor, as dolinas maiores estão relacionadas a sedimentos do Terciário,

recobertas por paleossolos. Por sua vez, os paleossolos são soterrados por sedimentos inconsolidados do Quaternário.

Ao estudar o solo próximo a uma destas dolinas, Sponholz (1994a) observa os efeitos de intensa bioturbação e de degradação das couraças com mobilização do ferro. Assim, canais criados pela bioturbação são então preenchidos por material fino do solo e por ferro mobilizado da degradação das couraças. Para o autor, o intemperismo primeiro dissolve e lixivia a sílica dos sedimentos, criando as depressões. Seguidamente, o próprio ferro é mobilizado.

Willems (2000) também estuda as formações cárstica na Nigéria, comparando-as com outras estudadas por ele em Camarões e com a bibliografia sobre o tema para a África. O autor observa que tais feições surgem tanto em arenitos, quartzitos, granitos, gnaisses e xistos como em lateritas, em todo o continente. Também conclui que a erosão química é dominante na gênese de várias formas subterrâneas estudadas em rochas não-carbonáticas.

Para o autor (ob cit), em rochas profundas, independente da superfície e inclusive na falta de disponibilidade hídrica, as bactérias anaeróbicas podem gerar ácidos orgânicos que dissolvem o embasamento geológico em longo prazo. Para o autor, todo o Sahel pode estar propenso à carstificação, mesmo sobre baixas taxas de precipitação. Esta mesma hipótese, sobre condições anaeróbicas para desenvolvimento do carste por dissolução bioquímica, foi apresentado pelo autor para Minas Gerais no Parque Estadual do Rio Preto, 70 km de Diamantina (WILLEMS *et al.* 2008).

No Brasil, Pereira *et al.* (2012) estudaram depressões fechadas em Itabirito e couraças na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. Para os autores, as mais desenvolvidas depressões observadas estão em área de canga. Os autores então levantam duas hipóteses principais, sendo a primeira a dissolução de dolomitos da Formação Gandarela e do itabirito dolomítico da Formação Cauê anterior à formação de cangas. Assim, após a dissolução das rochas que surgiram as cangas, de modo então que a depressão é anterior à mesma. A canga deste modo passa a ser importante na preservação da própria depressão. Outra possibilidade é a dissolução destas mesmas Formações, mas após a existência da canga. Neste caso, a canga cedeu em superfície pela perda de sustentação de sua base.

Costa *et al.* (2005) estudaram os sedimentos lacustres na bacia sedimentar de Lagoa Grande. Os autores observaram que a sedimentação da Lagoa Grande é

posterior a formação laterítica de Carajás, instalando-se no Pleistoceno Superior, através de ciclos climáticos alternados. Os sedimentos constituem-se de minerais lateríticos herdados da própria laterita (goethita, gibbsita, caulinita, hematita e anatásio), e minerais formados no ambiente lacustre (siderita, illita, esmectitas e vivianita).

Alves *et al.* (2014) e Alves (2015), no sudoeste de Maracá, São Paulo, criam um modelo para o desenvolvimento das depressões na região. Para os autores, sobre uma estrutura basáltica ocorreu o depósito de material rico em ferro, que originou couraças em uma fase seca. No entanto, com a mudança para um clima mais úmido, as couraças foram transformadas em Latossolos, sobretudo nos locais com presença de fraturas no basalto, onde a drenagem seria mais lenta, desenvolvendo solos mais amarelados, que por sua vez permitem a posterior instalação de processos de iluviação e eluviação.

Higgins e Schoner (1997) concluíram que o uso de água em pequenas bacias, rebaixando o nível de água no solo acarreta no aparecimento de pequenas dolinas. Os autores acreditam que com a retirada de água de grandes poros e cavidades pela agricultura, pode-se ocorrer perda de material fino do solo, causando o colapso de sua superfície, semelhante com o descrito por Twidale (1987). Apesar de o processo originar pequenas depressões, os autores citam que é processo semelhante a grandes dolinas na Espanha.

Sassen (2003) observa também a importância do rebaixamento do lençol freático, no colapso de canais originados por dissolução, bioturbação ou *pipings*. Contudo, a origem de depressões também pode estar associada à salinização e a respectiva deflocação de argilas. Para o autor, o uso da água em uma região no Texas, associada à salinização natural do terreno, permitiu que a evaporação da água no solo superasse sua recarga, ocasionando a desagregação de macroestruturas nas argilas, ocasionando eluviação das partículas de argila, elevando a densidade no solo, conduzindo ao selamento superficial e à formação de camadas impermeáveis em subsuperfície.

Filizola (1993) e Filizola e Boulet (1993, 1996) ao estudar dolinas cársticas também na bacia sedimentar de Taubaté, em São Paulo, relataram que tais feições estão ligadas à dissolução química, em taxas de até 23 m de aprofundamento em 10.000 anos. Os autores concluem que o desenvolvimento destas dolinas está vinculado a provável existência de fluxos, ocasionados pelo cruzamento de linhas de

fratura e falhas de embasamento. Tais feições evoluem lateralmente, revelando forte exportação geoquímica da cobertura pedológica, o que indica uma erosão química da paisagem, mais relacionada com uma dinâmica interna, do que uma própria captura fluvial.

Nesta lógica, uma possível abertura superficial para a captura de tais depressões pela drenagem, estaria aliada a um momento de predomínio da erosão física. Assim, podem-se interpretar estas segundas como uma fase sequencial em uma evolução da paisagem, como destacado em outras regiões por Penteado (1981), Feltran Filho (1997), Coelho Neto (2003), Bricalli (2006), Paisani *et al* (2006), Xavier e Coelho Neto (2008), Queiroz Neto (2010), Uagoda (2011), Alves (2015), dentre outros.

Especificamente, Coelho Neto (2003) e Xavier e Coelho Neto (2008) demonstram que depressões fechadas podem ser interpretadas como uma fase anterior à instalação da drenagem ou como protovais, ou seja, como feições que poderiam originar vales de cabeceiras de drenagem.

Queiroz Neto (2010) apresenta o caso da chapada de Uberlândia que contém as depressões da lagoa Irara e do covoal da Fortaleza. Para o autor, a Lagoa Irara se apresenta menos profunda e fechada. Os solos de coloração vermelha escura permanecem paralelos às vertentes, acompanhando-as em direção ao centro da depressão. O autor (QUEIROZ NETO, 2010, p. 1) descreve que “nessa direção o teor de argila diminui e a coloração passa de vermelho escuro para tonalidades mais claras, com manchas de hidromorfia em profundidade”.

Por sua vez, o covoal da Fortaleza, mais profundo e maior, representa uma etapa mais avançada da evolução da hidrografia. As transformações da cobertura pedológica são mais presentes, apresentando mosqueamento que se acentua até um material branco na parte central da depressão, demonstrando perda considerável do ferro. O covoal apresenta um exutório que deságua no rio Uberabinha, o que para o autor comprovada o início da formação de um curso de água (QUEIROZ NETO, 2010).

Alves *et al.* (2014) e Alves (2015) observam que em algumas topossequências em Maracá, São Paulo, o solo não se demonstra adaptado à rede de drenagem atual, mas apenas adaptado às depressões, mesmo que estas já estejam ligadas à cursos superficiais. Dessa forma, para a autora, as depressões são anteriores a formação da hidrografia.

## Depressões na bacia do Rio Preto

Para a região do alto Rio Preto, há poucas referências sobre a origem e caracterização de suas depressões, principalmente no que concerne em estudos *in situ* sobre suas formações.

Um dos primeiros a descrever tais feições foi Braun (1970) que ao estudar superfícies de aplainamento nas chapadas do Centro-Oeste, define que as depressões típicas deste relevo estão relacionadas a meandros abandonados. O autor se baseia na comparação de meandros abandonados em extensas planícies modernas, vinculadas a superfícies de aplainamento atuais.

A partir de Novaes Pinto (1987), no entanto, as depressões na região passam a serem vistas como feições típicas de um processo de etchplanação. A autora, assim como Maio (1987) compara estas depressões do alto Rio Preto aos *dales* no Vale do São Bartolomeu, mas não chega a explicar necessariamente sua gênese. Nesta mesma linha segue Silva (2003), que destaca a particularidade da presença de tais depressões na paisagem do Distrito Federal e seu entorno, também as associando a evolução por etchplanação do relevo, mas também sem especificar sua formação.

Por sua vez, Moraes (2004) e Moraes *et al.* (2004) ao estudar a disponibilidade hídrica de lagoas no Distrito Federal, percebem um rebaixamento do lençol freático nas mesmas, principalmente por acelerado uso antrópico dos aquíferos. A autora cita a hipótese de que a Lagoa Feia em Formosa, GO, nascente do Rio Preto, assim como outras lagoas por ela estudadas em outras bacias no DF, são originadas pela dissolução de rochas carbonáticas em zonas de fraturas e o posterior solapamento dos embasamentos superiores, por processos tipicamente cárstico em rochas carbonáticas. A comprovação desta hipótese, ou o seu rebatimento, está em aberto.

Nesta mesma linha, Campos *et al.* (2006), ao mapear a bacia do Rio Preto, especificamente na porção do planalto do alto Rio Preto, utilizaram as depressões como exemplo para delimitação do Grupo Bambuí, também considerando, portanto, sua formação como indicadores de um relevo carbonático.

### 3. Distribuição espacial de depressões na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG) e suas relações com controles geológicos e geomorfológicos<sup>7</sup>.

---

#### Resumo

Este artigo apresenta as depressões na bacia do alto Rio Preto. De um total de 177 feições identificadas, a maioria estão conectadas à drenagem, sendo menos circulares que outras identificadas como isoladas. Tais feições possuem agrupamentos nítidos e indicam ser controladas por falhas de dobras da Faixa de Dobramentos Brasília, diante da comparação de seus eixos de orientação com alinhamentos geológicos. É importante ao considerar que 90% das depressões se assentam sobre o Grupo Bambuí, mas não é possível dizer se por dissolução de suas rochas ou por coberturas que as revestem.

**Palavras-Chave:** Dolinas, Mapeamento, Etchplanação, alto Rio Preto, Geomorfologia Cárstica.

**Spatial distribution of depressions in upper Rio Preto basin (GO, DF, MG) and relationship to geological and geomorphological controls.**

#### Abstract

This paper presents the depressions in the Upper Rio Preto basin. From a total of 177 identified features, most are connected to drain, but is less circular than other identified as isolated. Such features have crisp clusters and indicate be controlled by fault folds from Faixa de Dobramentos Brasília, on comparing the axes with geological alignments. It is important to consider that 90% of depressions dwell on the Group Bambuí, but can not say whether by dissolving its rocks or by dissolving covers.

**Keywords:** Dolines, Mapping, Etchplanation, alto Rio Preto, Karst Geomorphology.

---

<sup>7</sup> Texto preparado para ser submetido como artigo para a Revista Brasileira de Geomorfologia ou equivalente.

### 3.1 Introdução

---

Dolinas, originalmente se referiam a depressões circulares ou elípticas que se formam na superfície, em função da dissolução do embasamento carbonático. Contudo, em termos morfogenéticos, podem também ser classificadas como originadas por abatimento ou colapso, aluviais e de subsidência (PILÓ, 2000). Estas são unidades hidrográficas comparáveis a simples bacias, que convergem a água por meio de seu sistema de vertentes. A água, por sua vez, dentro das depressões converge para a subsuperfície e embasamento subterrâneo (PILÓ, 2000). O termo, ainda, passou a ser utilizado para paisagens modeladas em embasamentos variados, que não só carbonático (UAGODA, 2011).

Depressões doliniformes têm sido largamente utilizadas em interpretações da paisagem. Queiroz Neto (2010), Espindola (2010) e Alves *et al.* (2014) e Alves (2015) concebem que estas feições são originadas após uma fase de intensa pedogênese. Estes solos, por sua vez, são rejuvenescidos quando as depressões se conectam a cabeceiras de drenagem. Junto a estes, Twindale (1987) relata que dolinas ocorrem em substratos quartzosos, carbonáticos e em lateritas, sendo que a variação do lençol freático e a intercalação de paleoclimas são responsáveis pela construção destas feições.

Coelho Neto (1993) e Paisani *et al.* (2006) apresentam semelhança nos lineamentos de depressões e cabeceiras de drenagem com os de estruturas geológicas e da hidrografia, demonstrando o vínculo entre eles. Xavier e Coelho Neto (2008) demonstram que depressões fechadas podem ser interpretadas como uma fase anterior à instalação da drenagem ou como protovais, ou seja, como feições que poderiam originar vales de cabeceiras de drenagem.

Há de se destacar que todas estas interpretações estão correlacionadas entre si, sendo que a instalação de drenagem, a gênese de depressões, a presença de fraturas no embasamento geológico e desenvolvimento de profundos solos oxidados, são todos elementos de uma única evolução da paisagem. Neste sentido, Filizola (1993), Thomas (1994), Filizola e Boulet (1993), Uagoda (2011) e Coltrinari (2011), dentre outros, demonstram como depressões são importantes para a interpretação da formação do relevo em baixas latitudes, onde se destaca o balanço entre erosão química e física.

Deste modo, o presente artigo se volta para as depressões doliniformes na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG) e seu planalto homônimo, área pertencente ao sistema hidrográfico do Rio São Francisco. Apesar de serem recorrentes na paisagem regional, as depressões ali encontradas não possuem estudos específicos voltados à sua formação, sendo suas explicações mais teóricas do que empíricas (BRAUN, 1970; NOVAES PINTO, 1987; MORAES, 2004; CAMPOS *et al.* 2006).

Este trabalho objetiva explorar esta lacuna, investigando os reais controles que determinam a formação e a espacialidade destas depressões nesta bacia, como primeiro passo de uma pesquisa mais ampla para a compreensão da origem e evolução destas feições geomorfológicas.

Assim, apresenta-se a distribuição espacial, a caracterização e a identificação de fatores condicionantes destas feições. Neste momento, complementam-se informações já apresentadas por Schrage *et al.* (2014) com novos dados relacionados à frequência das depressões em litologia e compartimentos geomorfológicos diversos, além de mais detalhada descrição de suas características morfológicas, associando-as com a geologia estrutural regional.

### 3.2 Localização e características gerais

---

A bacia do alto Rio Preto, pertencente à bacia do Rio São Francisco, possui área aproximada de 3.500 km<sup>2</sup>, distribuída nos estados de Goiás (GO), Distrito Federal (DF) e Minas Gerais (MG). Tem como limite jusante o encontro do Rio Preto com o Rio Bezerra (**Figura 3.2.1**).

A bacia é interpretada como um compartimento intermediário entre superfícies aplainadas mais altas, comumente relacionadas ao ciclo Sul Americano, com superfícies mais novas e baixas, concebidas durante ciclo Velhas, representadas pelo Vale do São Bartolomeu e pela Depressão São Franciscana, compartimentada nas Cristas de Unai e Vão do Paranã (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987; SILVA, 2003).

Assim, a área de estudo apresenta-se como extensa superfície aplainada, com divisores tabulares nas altitudes de 900 a 950 m, vales a partir de 820m e mais elevados topos acima de 1000m, estando constituída por pelo menos três principais unidades geológicas, Grupo Bambuí, Grupo Paranoá e Grupo Canastra, recobertas por diversas coberturas cenozoicas.

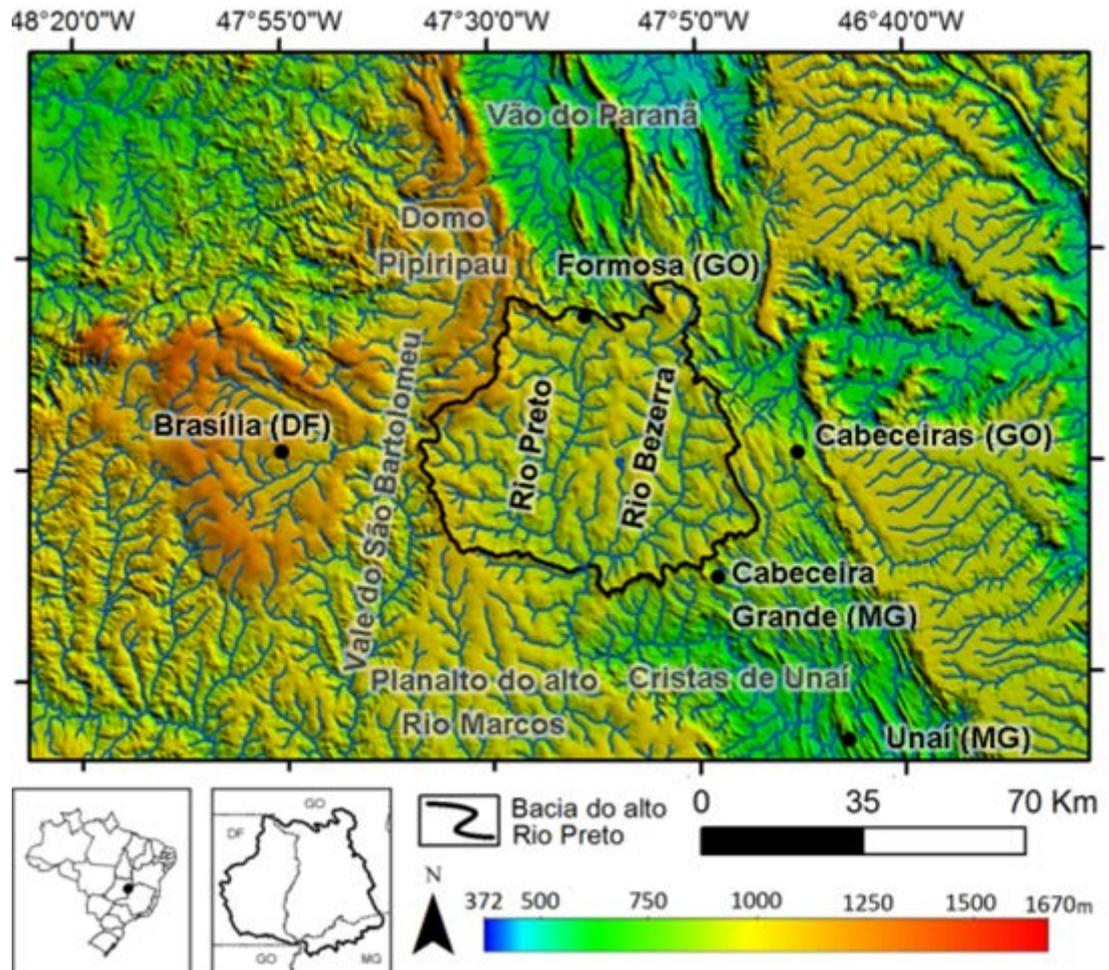


Figura 3.2.1 – Localização da área de estudo. Escala municipal, federal e estadual. Elaborado pelos autores. Datum WGS 84.

Também é notável sua localização em área de transição entre Domínio Externo e Domínio Cratônico da Faixa de Dobramentos Brasília, conforme compartimentação de Uhlein *et al.* (2012).

De acordo com Moreira *et al.* (2008) e Silva (2003) em quase toda a bacia há presença de extensas formações superficiais, compostas de depósitos diversos, coberturas detríticas de textura e origem diversas, além de couraças ferruginosas autóctones, em posições variadas da vertente.

O Domínio Cratônico se configura como uma Bacia de Antepaís, preenchida por sedimentos argilo-carbonáticos, suavemente dobrados e sub-horizontais. No alto Rio Preto, os sedimentos são relacionados ao Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopebas (CAMPOS *et al.*, 2006).

No Domínio Externo, há presença das rochas do Grupo Canastra, Formações Paracatu e Serra do Landim, e do Grupo Paranoá, Unidade 3 (MOREIRA *et al.*, 2008).

O Grupo Paranoá (UHLEIN *et al.*, 2012) é formado por uma sequência psamítica-pelítica (leste) que transita para uma sequência pelítica-carbonática (oeste). O Grupo Canastra é considerado como um equivalente lateral do Grupo Paranoá, contudo mais metamorfizado. Na região leste do alto Rio Preto, próximo a Cabeceiras (GO), Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2003) apresentam coluna estratigráfica alocando o Grupo Bambuí, de origem no Neoproterozoico acima das rochas do Grupo Paranoá, de origem no Mesoproterozoico. Contudo, de acordo com os autores, este segundo grupo pode ser exposto por falhas diversas e dobras sinclinais.

Depressões nas Chapadas do Centro-Ocidente brasileiro – às quais se insere o planalto do alto Rio Preto, foram interpretadas por Braun (1970) como meandros abandonados remanescentes de uma fase de pediplanação pretérita, em paleoclimas seco ou semiárido. As depressões na região foram especificamente relatadas por Novaes Pinto (1987) e por Silva (2003), que as consideram como marcadores de uma evolução por etchplanação. Moraes (2004) e Campos *et al.* (2006) interpretam estas feições como tipicamente cárstica, originadas em rochas carbonáticas. No entanto, todos os autores citados baseiam-se em modelos teóricos, conforme teorias geomorfológicas, sem estudos específicos, por mapeamento ou de subsuperfície, para as depressões desta área apresentada.

### 3.3 Materiais e Métodos

---

#### Mapeamento

Realizou-se previamente a delimitação da drenagem e das depressões com base em cartas de escala 1: 25 000, elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Diretoria de Serviço Geográfico, entre a década de 1970 e 1980. Por meio destas cartas, também foi delimitada o contorno das sub-bacia do Rio Preto e Rio Bezerra, que juntos, formam a bacia do alto Rio Preto.

Soma-se a este primeiro mapeamento a delimitação da drenagem e depressões por meio da interpretação visual monoscópica, conforme Pinheiro (2009), de imagens de satélite disponíveis pelo *ESRI World Imagery*®, com resolução de 2,5 metros. O limite considerado para as depressões foi a mudança da forma da vertente, de convexa para côncava. Cabe salientar que este mapeamento foi testado por diversas vistorias em campo.

Para a interpretação do relevo foram gerados dois Modelos Digitais de Relevo (MDT). O primeiro foi elaborado por meio das cartas topográficas em trechos escolhidos, e outro mais geral, para toda a bacia, elaborado com base no imageamento da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com escala horizontal aproximada de 90 m (CARVALHO e BAYER, 2008).

Com o uso destes, mediu-se a **área (1)**, **perímetro (2)** e **direção do maior eixo (3)**, no sentido montante-jusante, das depressões e drenagens. Para este último, foram elaborados gráficos do tipo roseta, os quais foram com o lineamento estrutural elaborado por Campos *et al.* (2006).

Também foi medida a distância do centroide das depressões em relação à drenagem. Para tanto, foram elaborados *buffers* sobre a drenagem, com intervalos de 500 m.

De acordo com Paisani *et al.* (2006), cabeceiras de drenagem podem ser entendidas também como bacias côncavas de ordem zero, permitindo que se utilize índice de circularidade para definir sua **forma (4)** (**Equação 3.3.1**). Utilizamos este índice também para as depressões fechadas.

Equação 3.3.1: Índice de Circularidade

$$IC = A \setminus Ac,$$

*IC = índice de circularidade; A = área da depressão; Ac = área de um fictício círculo com mesmo perímetro da depressão.*

Além destas variáveis básicas, as depressões também foram classificadas quanto a sua **situação (5)**, sendo consideradas fechadas quando não apresentam ligação superficial com drenagem, e abertas quando estão em ligação superficial à drenagem, ou seja, quando cabeceiras de drenagem.

## Geoestatística básica

As depressões mapeadas foram transformadas em pontos (centroides) sobre os quais foi realizada **Análise de Vizinho Mais Próximo** (ARAUJO, 2001; DRUCK *et al.*, 2004). O método se baseia na divisão de da distância média real entre as depressões e uma distância média entre mesmo número de pontos (depressões), em uma mesma área, mas dispostos aleatoriamente. O resultado é um parâmetro R, que

indica distribuição aleatória (valor maior que 1), distribuição sistemática (valor igual ou próximo a 1) e agrupada (valor menor que 1).

Para delimitação de agrupamentos, optou-se pela utilização da **Densidade Kernel** (DRUCK *et al.*, 2004) por esta permitir agrupamentos (núcleos) gerando uma superfície onde os valores são proporcionais a intensidades de eventos por unidade de área. O valor escolhido como unidade de área foi um raio de 8 km, e o valor de cada evento, a própria área da depressão.

Observado que algumas depressões aparecem com área muito superior a outras, deve se comparar estes valores com o desvio padrão da média das áreas, em km<sup>2</sup>, do conjunto de amostras, para obter índices de **valores de incidência** (DRUCK *et al.*, 2004). Valores muito acima positivamente do desvio padrão são chamados de *hotspots* (pontos quentes).

Por fim, a **Distribuição Direcional** (DRUCK *et al.*, 2004) permite que se crie um polígono indicando a densidade e orientação da distribuição das depressões. Este polígono identifica uma tendência de distribuição de pontos e permite perceber se a distribuição destes é alongada e qual a sua orientação, ou seja, em que eixo os fenômenos aparecem. O polígono foi gerado através dos seguintes parâmetros: ângulo de rotação, dispersão ao longo do eixo maior, dispersão ao longo do eixo menor e centro médio (ponto médio entre todos demais pontos).

### **Compartimentação Geológica e Geomorfológica**

As depressões mapeadas nesse trabalho foram cruzadas com mapas Geológico e Geomorfológico. A síntese das informações geológicas foi elaborada sobre os trabalhos de Silva (2006), Moreira *et al.* (2008), Campos *et al.* (2006), Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2006).

A compartimentação geomorfológica utilizada nesse trabalho procurou diminuir a subjetividade das compartimentações geomorfológicas clássicas, mas sem desconsiderá-las. Foi utilizada a ferramenta Índice de Posição Topográfica (*Topographic Index Position* - TPI) (WEISS, 2001; REU *et al.*, 2013), utilizando as MDTs já citadas.

O índice compara a elevação de cada célula do MDT com a elevação média de uma área circundante específica, ao redor dessa célula. Assim, o TPI permite que se divida a vertente em vários compartimentos, diferenciando-as também pela

declividade (WEISS, 2001). Utilizou-se uma vizinhança de 5 km, relativa à distância dos principais rios; classe de declividade de 2°, que permite se dividir áreas tabulares, e uma vizinhança com forma circular a partir de cada célula do MDT.

Como o índice permite a compartimentação da vertente, mas não observa suas formas, nem permite uma compartimentação geomorfológica mais voltada à evolução do relevo, necessária para este trabalho, optou-se por meio da interpretação dos produtos de sensoriamento remoto (CRUZ, 1981) e observando compartimentações realizadas por outros autores (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987; MARTINS e BAPTISTA, 1998), delimitar as regiões de Interflúvios Dissecados e de Chapadas Elevadas de forma manual. No TPI elas podem ser observadas por não apresentarem vertentes suaves, de declividade inferior a 2,0°.

A nomenclatura para a compartimentação geomorfológica foi baseada em Martins e Batista (1998), para Chapadas Elevadas, e em Penteado (1976) para Interflúvios Tabulares, Interflúvios Dissecados, Vertentes Íngremes ou Suaves, Baixas Vertentes e Planícies Aluviais e Aluviões.

Assim, elaboraram-se histogramas e gráficos de frequência das depressões junto a estes elementos da paisagem, a fim de se observar seus fatores condicionantes.

### 3.4 Resultados e discussão

---

#### Morfometria e Índices

Através do mapeamento, calculou-se que a área total da bacia do alto Rio Preto é de aproximadamente **3.470 km<sup>2</sup>**, com **2344,045 km** de canis, perfazendo uma densidade aproximada de **0,68 km/km<sup>2</sup>**. Importante notar que a sub-bacia do Rio Preto possui densidade de drenagem superior à da sub-bacia do Rio Bezerra, com **0,90 km/km<sup>2</sup>** e **0,55 km/km<sup>2</sup>**, respectivamente.

Referente à situação das depressões, observa-se que o maior número de ocorrência se dá em depressões abertas (**Tabela 3.4.**).

Desta forma, percebe-se que há quase o dobro de depressões abertas em relação às fechadas, ocupando uma área total quatro vezes maior.

Tabela 3.4.1 – Quantidade absoluta e frequência das depressões da bacia do alto Rio Preto conforme situação e sub-bacia. Elaborado pelos autores.

Situação	Bacia alto Rio preto	Sub-bacia Rio Preto	Sub-bacia Rio Bezerra
<b>Quantidade absoluta (n) das depressões</b>			
Abertas	113	45	68
Fechadas	64	22	42
<i>Total</i>	<i>177</i>	<i>67</i>	<i>110</i>
<b>Área somada (km<sup>2</sup>) das depressões</b>			
Abertas	20,80	5,57	15,24
Fechadas	5,345	0,65	4,70
<i>Total</i>	<i>26,15</i>	<i>6,22</i>	<i>19,93</i>
<b>Quantidade relativa (%) das depressões</b>			
Abertas	63,84%	67,16%	61,82%
Fechadas	36,16%	32,84%	38,18%
<b>Quantidade da área somada (%) das depressões</b>			
Abertas	79,55%	89,55%	76,47%
Fechadas	20,45%	10,45%	23,58%

Contudo, como se pode observar na **Figura 3.4.1**, tanto as depressões abertas, quanto as depressões fechadas se apresentam em mais de 90% dos casos, com área de até 0,5km<sup>2</sup>. No entanto, as depressões maiores, até 3,55 km<sup>2</sup>, aparecem unicamente abertas.

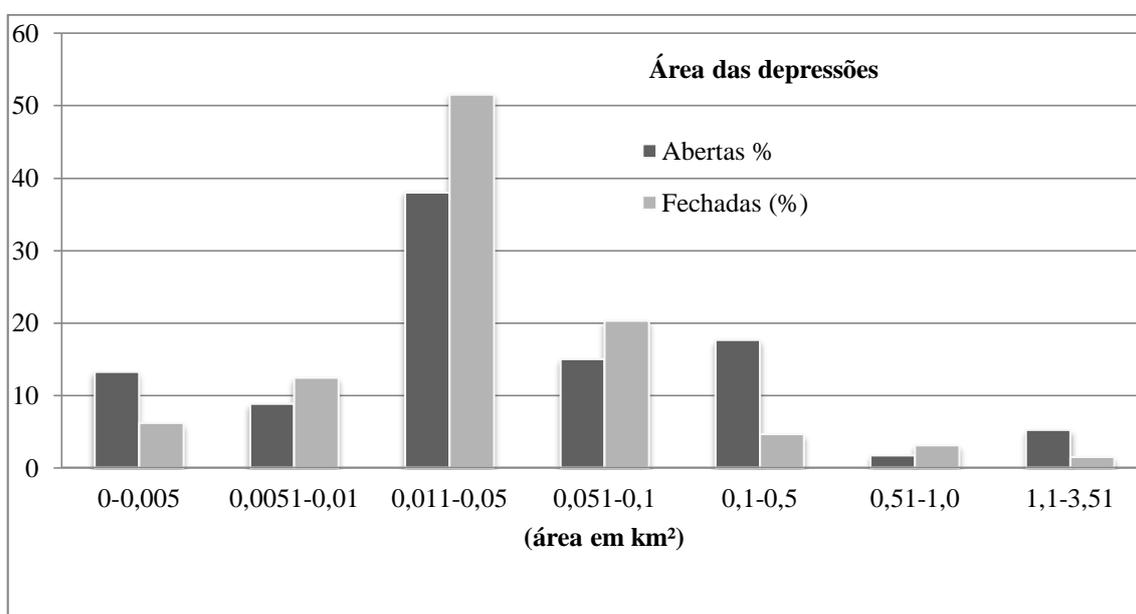


Figura 3.4.1. Histograma de distribuição da área de depressões. Elaborado pelos autores.

A distância máxima encontrada de uma depressão em relação às drenagens não ultrapassou 2,5km, estando elas dispersas ao longo de toda esta distância.

Considerando o somatório, 20% encontram-se até 500 m, 51% até 1000m, 69% até 1500 m e 100% até 2500 m (**Figura 3.4.2**).

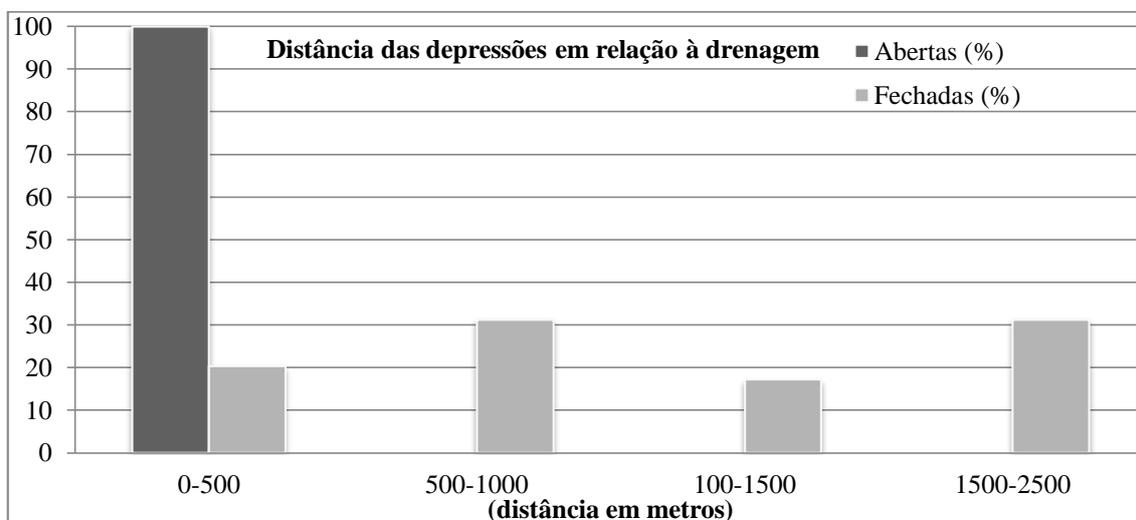


Figura 3.4.2 – Distribuição das depressões em relação à distância com a drenagem. Elaborado pelos autores.

Também é observado que a média do índice de circularidade das depressões que se apresentam fechadas é de 0,75 e das que se apresentam abertas é 0,65. No entanto, a maioria das depressões fechadas está no intervalo entre 0,8 a 0,9; enquanto que a maioria das depressões abertas está no intervalo de 0,7 a 0,8 (**Figura 3.4.3**).

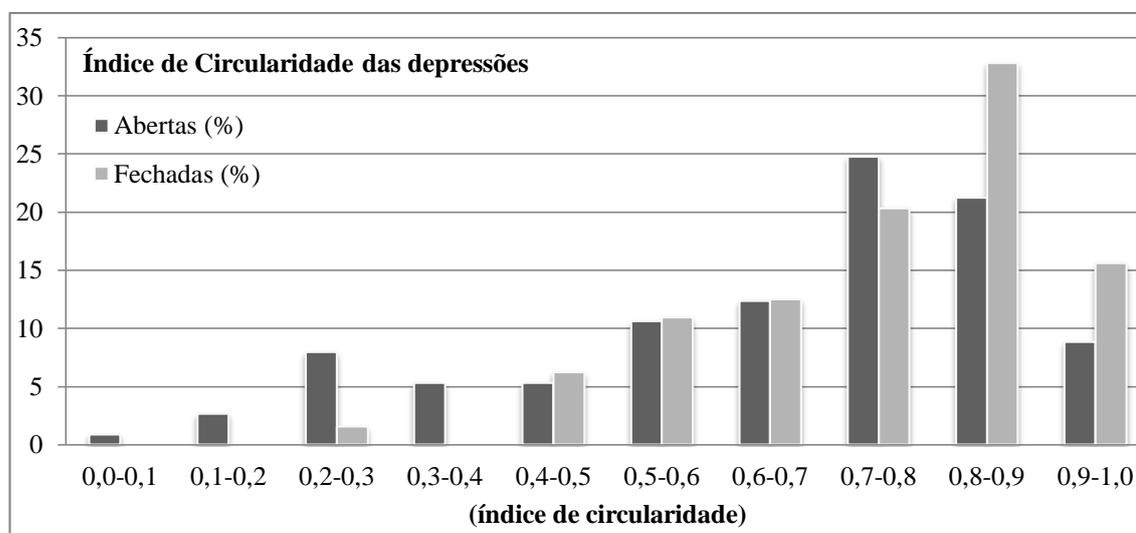


Figura 3.4.3. Histograma de distribuição do índice de circularidade das depressões. Eixo Y em porcentagem, eixo X os intervalos de índice de circularidade. Observam-se índices superiores para depressões fechadas. Elaborado pelos autores.

### Agrupamentos, Rosetas e Paralelismo.

Tais depressões apresentam distância média entre si de 1,136 km. O resultado da Análise do Vizinho Mais Próximo (Tabela 3.4.2) demonstra que este valor é inferior a uma distância média de pontos aleatórios, comprovando o evidente agrupamento entre elas.

Tabela 3.4.2 – Parâmetro R e resultado da Análise do Vizinho Mais Próximo. Elaborado pelos autores.

Número de Pontos	Área (km <sup>2</sup> )	Média real (km)	Média esperada (km)	Parâmetro R
177	2818,414	1,136	1,995	0,57

No **Figura 3.4.4** sistematiza-se os agrupamentos por densidade Kernel, os valores de incidência e distribuição direcional.

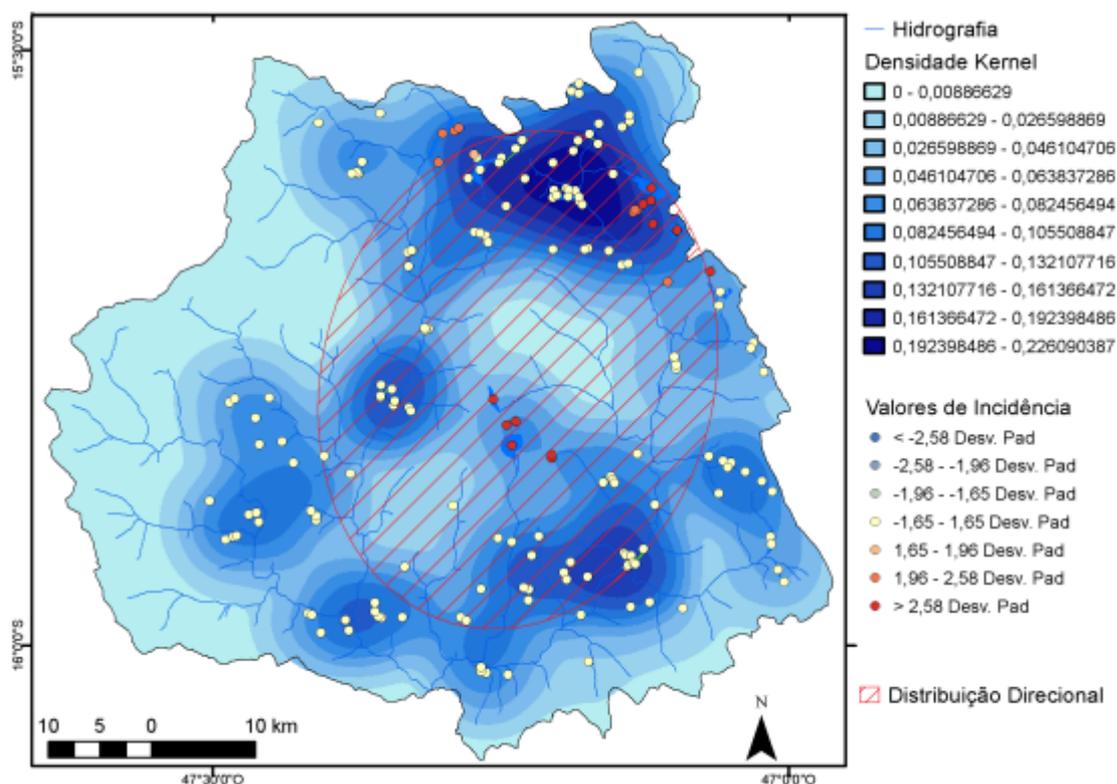


Figura 3.4.4. Mapa de Densidade Kernel, Valores de Incidência e Distribuição Direcional. Destaque para o norte da bacia, onde se concentram hotspots e agrupamentos de depressões. Elaborado pelos autores.

Observa-se, pela densidade Kernel, que o maior e principal agrupamento está na porção superior do Rio Bezerra. Ainda se observa, na mesma figura, que as depressões de maior área (*hotspots*) se concentram ao redor deste principal

agrupamento, na região de cabeceiras das duas sub-bacias, em região distante do ponto de confluência entre o Rio Bezerra e Rio Preto.

Considerando que a dissecação de uma bacia se dá remontante, a partir do nível de base local – no caso, confluência do Rio Preto com o Rio Bezerra - os canais menos dissecados estariam justamente nesta região de grande incidência e agrupamento de pequenas depressões e de grandes depressões, longe do *front* de erosão lateral, em local que se permite a erosão química. Um segundo local de presença de grandes depressões, mas isoladas de outras pequenas, sem criar uma área significativamente densa, é a região central da bacia, junto à Lagoa Grande, em divisor de águas entre o Rio Preto com Rio Bezerra (**Figura 3.4.4**).

Ainda na **Figura 3.4.4**, é evidenciado que a distribuição direcional das depressões, segue a direção da própria bacia hidrográfica, cujo ângulo principal é NE-SW tendendo para N-S, mostrando claro vínculo no papel da água subterrânea na distribuição das mesmas.

Além da distribuição do conjunto das depressões, a distribuição individual das depressões uma indica processos de controle geológico (**Figura 3.4.5**).

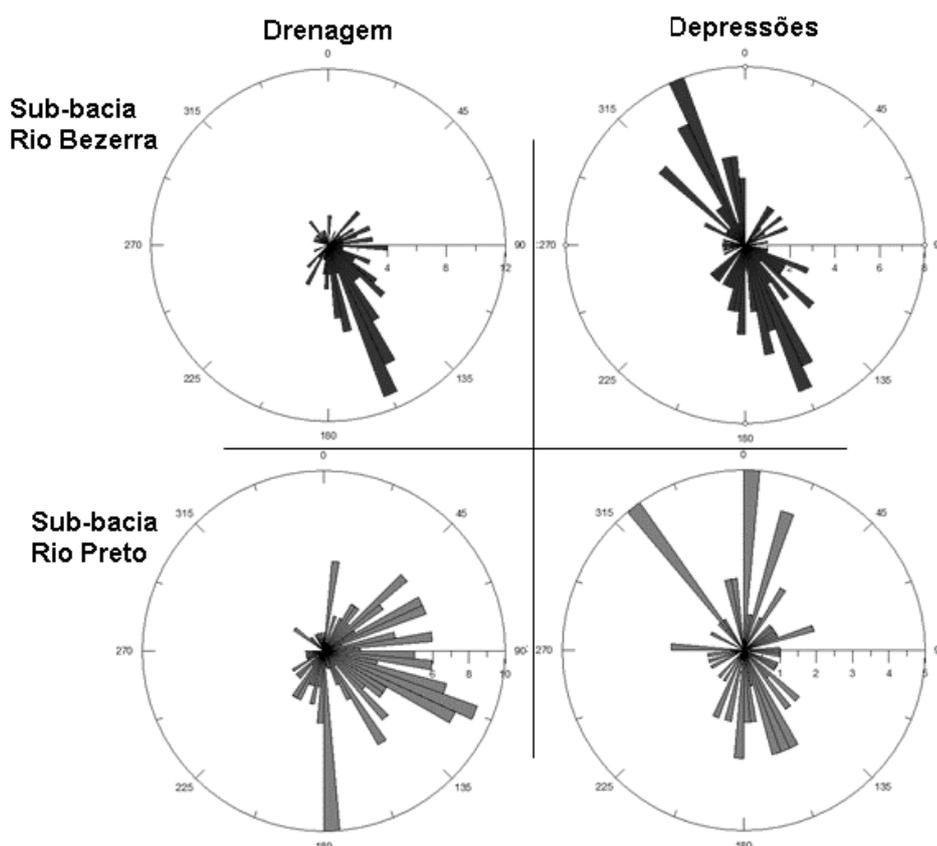


Figura 3.4.5. Gráficos do tipo roseta evidenciando as direções da drenagem e depressões. Elaborado pelos autores.

É importante notar que a direção NW-SE para as depressões na bacia está equivalente com mesma direção encontrada por Campos *et al.* (2006) para alinhamentos estruturais. Para o autor, a direção reflete de um evento compressivo de direção N-S que gerou novas estruturas sobre arcabouço já existente após um evento mais antigo, de direção E-W, o qual, por sua vez, deu origem aos lineamentos marcados pelo traço do plano de falhas de empurrão e eixos de dobras sinclinais e anticlinais na direção NW-SE, predominante para a bacia do Rio Preto em sua totalidade, até encontro com o Rio Paracatu.

A partir disto, deve-se refletir se as depressões que estão fechadas ainda não se tornaram cabeceiras de drenagem por uma insuficiência cronológica – sendo iminente sua captura – ou se há fatores locais, que influenciam nesta situação, principalmente ao se observar a grande relação entre a geologia estrutural na influência da hidrografia e das depressões.

### **Compartimentação Geológica.**

Utilizando o mapa geológico com localização das depressões (**Figura 3.4.6**), podemos contabilizar a frequência (total de depressões por área da unidade) (**Figuras 3.4.7**) e a ocorrência de depressões (total de depressões por unidade) (**Figuras 3.4.8**).

Grande parte das depressões se encontra em coberturas aluvias e em coberturas detrito-lateríticas. Possivelmente a localização delas em depósitos aluviais se expressa na própria escala do mapeamento, estando elas muito próximas à drenagem, onde ocorre uma generalização pelo mapeamento.

É discutível, no entanto se tais depressões, de fato, são originadas nas coberturas detrito-lateríticas e aluviais, por degradação e dissolução destas, ou se na bacia do alto Rio Preto ocorre processo semelhante relatado por Pereira *et al.* (2012) para depressões no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. Desta forma, indaga-se: primeiro ocorreu dissolução de rochas do embasamento (para este caso, Grupo Bambuí e Paranoá) e posteriormente se formaram coberturas detrito-lateríticas, ou ocorreu dissolução destas mesmas rochas, mas em tempo posterior à existência das couraças? Neste caso, a couraça pode ter cedido em superfície, pela perda de sustentação de sua base (depressão de subsidência ou abatimento).

Há ainda situações em que a associação de depressões e couraças tão somente refletem condições climáticas ou cronológicas diferentes na atuação da pedogênese na evolução do relevo, como, por exemplo, discutido em Alves (2005) para depressões em Maracaí, SP. A autora descreve que couraças ferruginosas são originadas após uma fase de intensa pedogênese e que em uma mudança para um clima mais úmido e em zonas de fraturas, a couraça é destruída, originando depressões, que, por sua vez, poderão estar rodeadas de couraças ainda remanescentes.

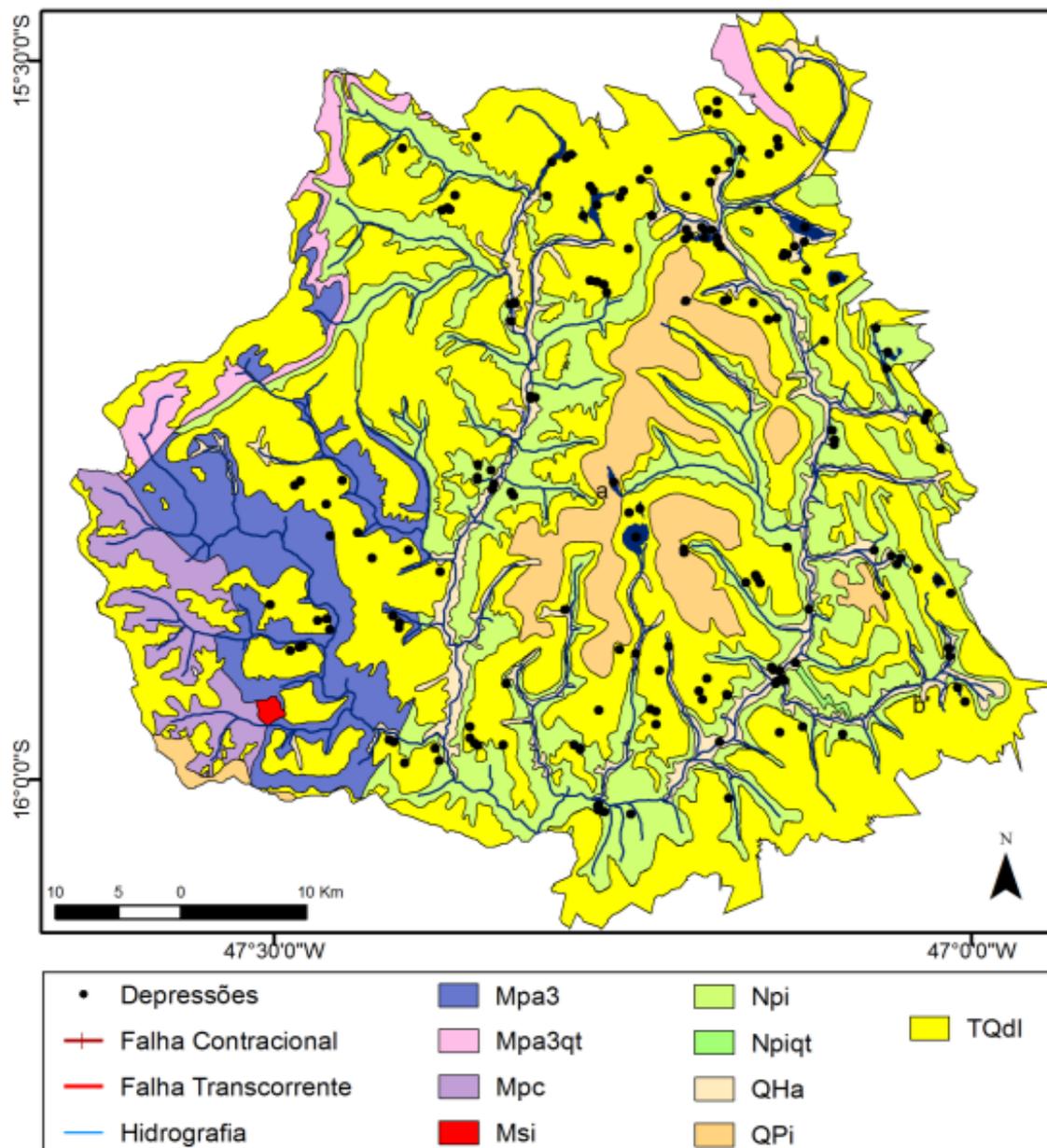


Figura 3.4.6. Compartimentação geológica. Mpa3 – Grupo Paranoá, unidade 3 (Qt – ocorrência de quartzito); Mpc, Grupo Canastra, Formação Paracatu; Msi, Grupo Canastra, Serra do Landin; Npt, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba (Qt – ocorrência de quartzito); QHa, Depósitos Aluviais; QPi, Depósitos indiferenciados; TQdl, Coberturas Detrito-Lateríticas. Fonte: Silva (2003), escala original: 1 : 500.000. Elaborado pelos autores.

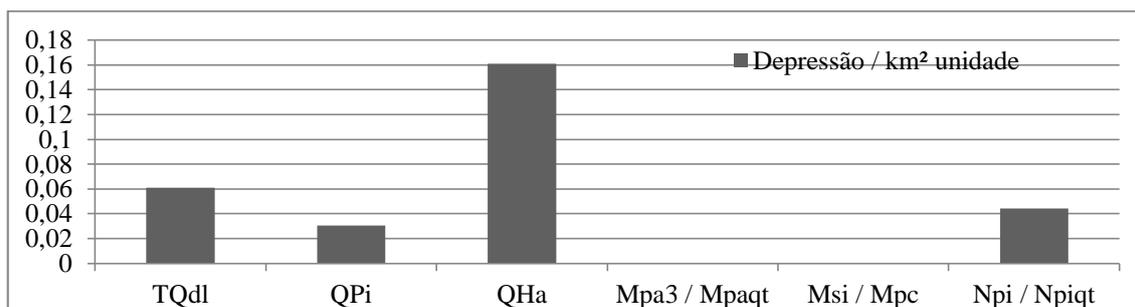


Figura 3.4.7. Frequência das depressões (n/km<sup>2</sup> unidade) em cada compartimento geológico. Elaborado pelos autores.

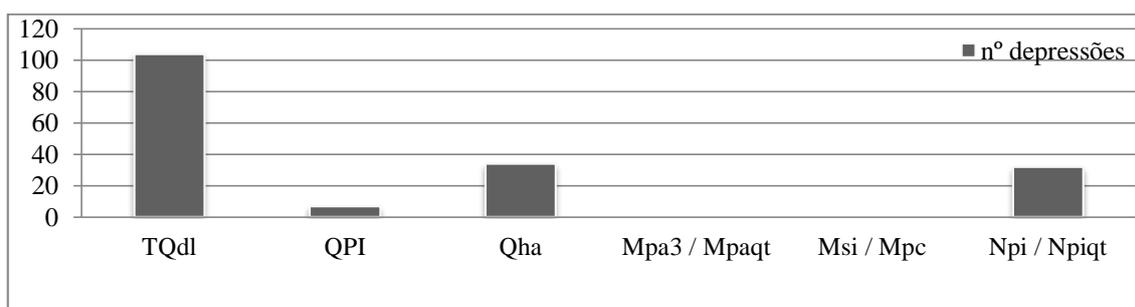


Figura 3.4.8. Ocorrência das depressões (n/unidade) em cada compartimento geológico. Elaborado pelos autores.

Dessa forma, considerando que as depressões podem não refletir diretamente a dissolução das coberturas detrito-lateríticas, mas sim do substrato anterior ou posterior à formação do mesmo, é importante inferir mapa geológico apenas com o embasamento, sem coberturas recentes.

Dessa forma, ao desconsiderar as coberturas que recobrem o embasamento geológico na bacia, percebe-se que quase 90% das depressões estão em área de embasamento do Grupo Bambuí, e que pouco menos de 10% das depressões estão em área de embasamento do Grupo Paranoá.

Contudo, cabe destacar que o Grupo Paranoá não é bem descrito para a região, sendo que em mapas, mesmo que simplificados, se diferenciam quanto à geologia desta porção sudoeste da bacia do alto Rio Preto. Freitas-Silva e Campos (1998) desenham para esta porção o Grupo Araxá, enquanto que Campo *et al.* (2006), desenha o Grupo Canastra.

No caso de depressões ocorrerem diretamente sobre o Grupo Araxá, composto de xistos e quartzitos de elevado metamorfismo (MARTINS *et al.*, 2004b), ou sobre o Grupo Paranoá ou Canastra (CAMPOS *et al.*, 2006), constituído de rochas pelíticas, teríamos exemplos de depressões originadas por processo cárstico em

rochas não-carbonáticas e, a princípio, menos dependentes de um controle litológico, apesar de controle estrutural e pedogeomorfológico.

### **Compartimentação Geomorfológica**

Por do TPI e análise da paisagem, chegou-se a cinco classes principais, sendo elas Chapadas Elevadas, Interflúvios Tabulares, Interflúvios Dissecados, Vertentes Suaves, Vertentes Íngremes, Baixa Vertente e Planícies Aluviais e Aluviões (**Figura 3.4.9**).

Desta forma, ocorreu a elaboração de gráfico de frequência das depressões (**Figura 3.4.10**) e de ocorrência (**Figura 3.4.11**).

Observa-se predominância de depressões na compartimentação geomorfológica de baixas vertentes, seguindo de planícies aluviais. Há casos quase que isolados em outras compartimentações, sendo nula a ocorrência desta feição em chapadas elevadas ou interflúvio dissecado.

Da mesma forma, ocorrem depressões principalmente na unidade de coberturas aluviais, seguido da presença em coberturas detrito-lateríticas ou indiferenciadas, e, posteriormente, sobre o Grupo Bambuí. Nota-se que não há depressões diretamente sobre o Grupo Paranoá ou Canastra.

A concentração das depressões, em compartimento de baixas vertentes indica uma importante discussão. Constata-se que há um escalonamento no relevo da bacia do alto Rio Preto. Na escala da vertente, este é composto por um primeiro nível dos terraços, seguido por um nível de baixas vertentes e suaves, e, posteriormente, pelos topos. A presença de depressões principalmente neste segundo compartimento, enquanto que nas altas vertentes predominam-se couraças de acordo com mapeamento geológico, indicaria possivelmente que as depressões foram formadas em uma etapa intermediária,

Possivelmente as depressões estão neste compartimento por haver um primeiro ciclo de erosão, que disseca as couraças e solos profundos, fazendo o embasamento mais exposto à erosão química e física.

Pode ser também que as depressões foram formadas em interflúvios, e que, com uma possível retomada da dissecação física da bacia - expressa em vários ravinamentos entre as depressões e as drenagens - foram capturadas. Assim, antigos

interflúvios tornarem-se atualmente baixas vertentes. As maiores lagoas, como a Lagoa Grande, na região central da bacia, seria um indicador deste processo.

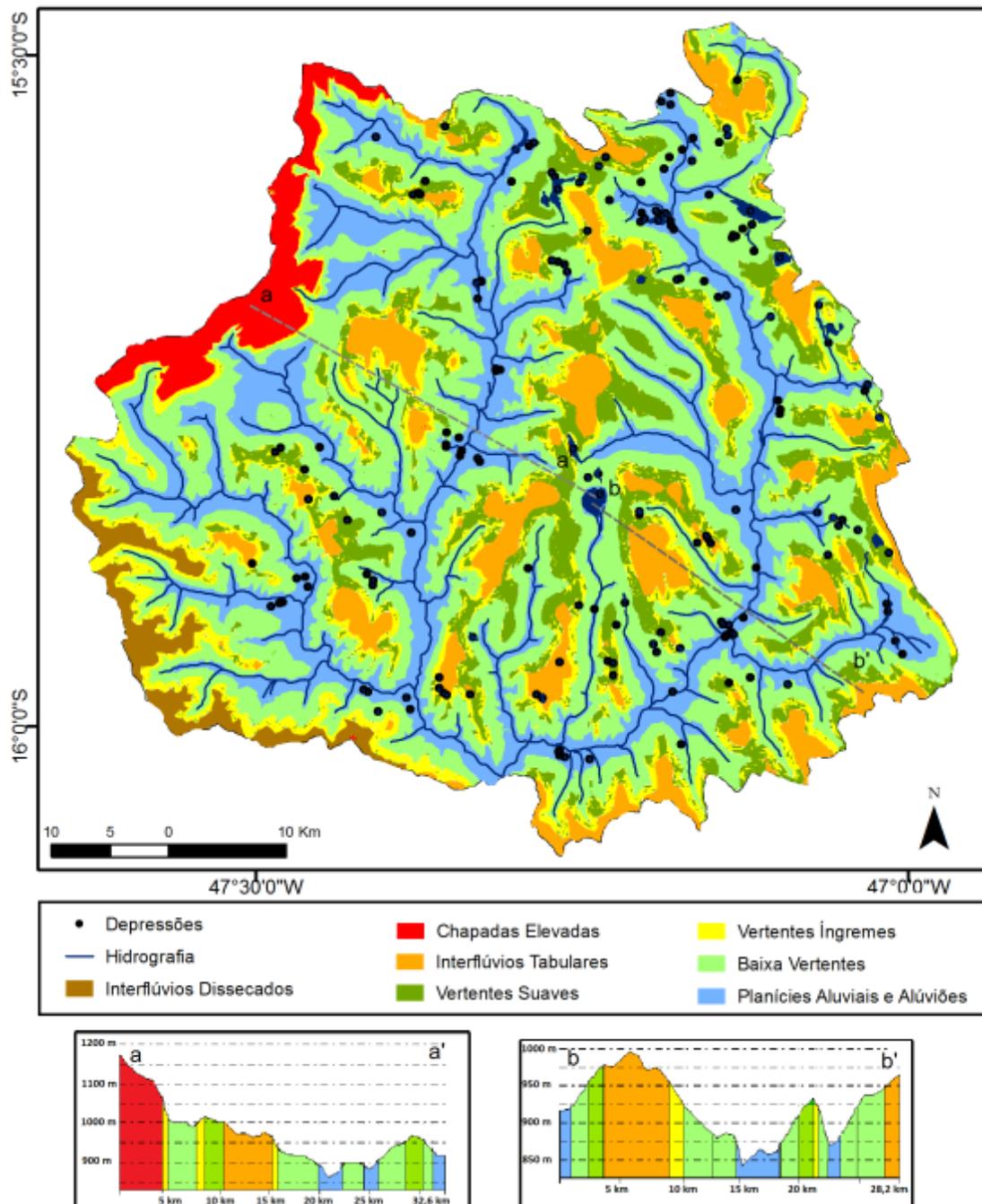


Figura 3.4.9. Compartimentação geomorfológica, com perfil topográfico, cortando a unidade no sentido NW-SE e passando por uma depressão central (Lagoa Grande). Elaborado pelos autores.

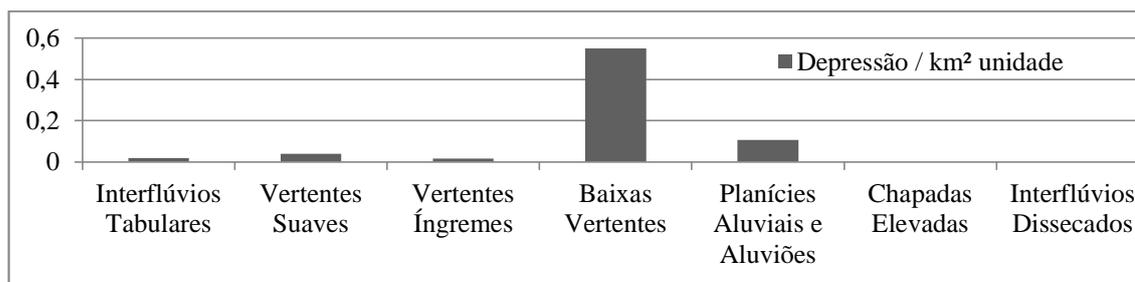


Figura 3.4.10. Frequência das depressões (n/km<sup>2</sup> unidade) em cada compartimento geomorfológico. Elaborado pelos autores.

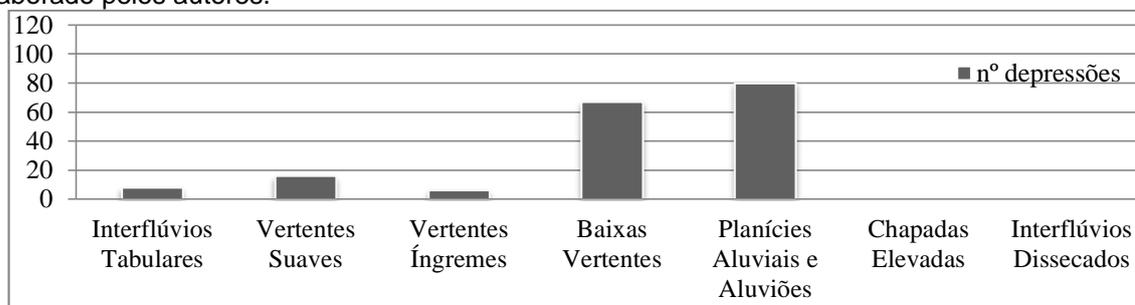


Figura 3.4.11. Ocorrência das depressões (n/unidade) em cada compartimento geomorfológico. Elaborado pelos autores.

Este escalonamento se apresenta também em uma escala menor, da própria bacia. Esta possui uma região mais dissecada nos vales, uma região intermediária, composta de planos e vertentes suaves, e uma superfície superior, de Interflúvios Dissecados e Chapadas Elevadas.

Na região de Chapadas Elevadas e Interflúvios Dissecados não foram encontradas depressões. Esta interpretação pode se dar por três motivos principais. O primeiro é a característica geral das vertentes neste compartimento, que, mais íngremes, dificultam a percolação da água para uma erosão química – além de apresentarem Cambissolos associados ao Grupo Paranoá, que, por sua vez, possuem menor potencial hidrogeológico que o Grupo Bambuí, onde predominam topos tabulares e vertentes suaves. Nas áreas superiores especificamente associadas a Chapadas Elevadas do Centro-Oeste, apesar de serem relativamente planos e possuírem solos bem drenados, são, nesta porção, capeados por impermeáveis couraças ferruginosas.

Outro motivo pode ser a própria evolução do planalto. Estas cotas superiores relacionadas a Chapadas Elevadas de visível morfologia diferenciada são associadas a uma evolução Sul-Americana, mais antiga do que possivelmente o restante da bacia do alto Rio Preto, comumente interpretada como formada por pediplanação (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987). O restante da bacia é interpretado como superfícies intermediárias (PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987), com

predominância de dissecação sobre as superfícies mais elevadas – evidenciado na compartimentação de Interflúvios Dissecados. Portanto, as depressões apresentam-se restritas a um único processo evolutivo, específico para uma superfície de cronologia mais recente.

E o terceiro motivo é a pequena área destes compartimentos em relação à bacia do alto Rio Preto. No entanto, não há na bibliografia estudos específicos ou a delimitação de depressões doliniformes nestes chapadões elevados vizinhos a área de estudo, de modo que não podemos dizer que os mesmos não existam neste compartimento.

### **3.5 Conclusão**

---

Foram delimitadas 177 depressões, as quais surgem principalmente como cabeceiras de drenagem, com formas circulares – principalmente quando fechadas – e com nítido alinhamento estrutural. Este alinhamento é a mesma de estruturas para toda a bacia do Rio Preto, como as elaboradas dobras e falhas na porção externa da Faixa Brasília. Este caráter é mais bem exposto na sub-bacia do Rio Bezerra, porção leste da bacia.

Desta forma, indica-se que as depressões possuem forte controle estrutural, e que, além disso, a própria bacia possui substrato variado e possivelmente heterogêneo. Assim, é possível que tais dobras e falhas se estendam também para a área da bacia, abaixo de coberturas recentes. Necessita-se, portanto, realizar mapeamento de profundidade, abaixo das camadas cenozoicas, para delimitar exatamente estas estruturas, as quais controlam as depressões.

No entanto, apesar deste controle estrutural, não é observado controle litológico de acordo com os mapas geológicos disponíveis para a bacia. Assim, as depressões podem surgir tanto diretamente no nível dos solos e couraças ferruginosas, ou no embasamento geológico abaixo destes. Evidencia-se assim a necessidade de estudos de caso de subsuperfície, a fim de se buscar a relação estratigráfica e cronológica entre depressões, solo e geologia.

Outro elemento observado para as depressões é a sua localização em baixas vertentes ou planícies aluviais. Isso destaca que, não só a erosão química, mas um forte controle de dissecação está capturando tais depressões.

É sugerido que as depressões indicam uma etapa intermediária da evolução do relevo, contrapondo uma fase de formação de couraças e uma fase de incisão atual da drenagem. No entanto, isso também deve ser investigado em estudos de subsuperfície, além de mapeamento específico de formas erosivas, tais como ravinamentos, para seu relacionamento e comparação com as das depressões.

## Agradecimento

---

Agradecemos ao Exército Brasileiro, pelo apoio por meio do Acordo de Cooperação Técnica - ACT 12-047-00 – para a realização deste trabalho.

## Referências bibliográficas

---

- ARAUJO, A.G.M. **Teoria e Método em Arqueologia Regional**: Em estudo de Caso no Alto Paranapanema, Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Arqueologia), Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.
- ALVES, G. B. **O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e evolução de depressões no sudoeste de Maracá (SP)**. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- ALVES, G. B.; QUEIROZ NETO, J. P.; NAKASHIMA, M. R.; SILVA, J. P. - AS Couraças e seu papel no estudo da evolução do relevo em Maracá, SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.34-39, 2014.
- BRAUN, O. P. G. Contribuição à Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 32, n. 3, p. 3-39, 1970.
- CAMPOS, J. E. G.; MONTEIRO, C. F.; RODRIGUES, L. N. **Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto**, DF/GO/MG. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 172, 2006.
- CHAVES, J. M.; SANO, E. E.; GUIMARÃES, E. M.; SILVA, A. B., MENESES, P. R. Sinergismo entre dados ópticos e de radar no estudo geológico da região de Bezerra-Cabeceiras, Goiás. **Brazilian Jo. of Geology**, v.33, n.2, p.137-146, 2003.
- CARVALHO, T. M. e BAYER, M. Utilização dos produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRMT) no Mapeamento Geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.35-41, 2008.

- CRUZ, O. Alguns conhecimentos básicos para a fotointerpretação. **Aerofotogeografia**, n.25, São Paulo, IGEOG/USP, 1981.
- COLTRINARI, L. Paleosurfaces in southeastern Brazil: São José dos Campos plateau landform evolution, **Geociências**, v. 30, n. 1, p. 113-120, 2011.
- DRUCK, S.; Carvalho, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004
- ESPINDOLA, C. R. A pedologia e a evolução das Paisagens. **Revista do Instituto Geológico, São Paulo**, v. 31, n. 1/2, p. 67-92, 2010.
- FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília: IEMA/Sematec/UnB, p. 1-87, 1998.
- FILIZOLA, H. F. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté - SP**. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- FILIZOLA, H.; BOULET, R. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 312, n. 2, p. 693-700, 1993.
- GUIMARÃES, E. M.; **Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra – Cabeceiras (GO)**. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- MARTINS, E. S.; BAPTISTA, G. M. D. M. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. Brasília: IEMA/Sematec/UnB, p. 89-137, 1998.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 122, 2004 a
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Unidades de Paisagem do Distrito Federal, Escala 1: 100 000**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 124, 2004 b.
- MORAES, L. L. D.. **Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e Entorno: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais**: A interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

- MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; FILHO, J. V. L.; COSTA, H. F. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Texto explicativo do mapa geológico. Escala 1: 500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL, 141 p. 2008. Anexo 1 Mapa
- NOVAES PINTO, M. SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO DO DISTRITO. **Revista brasileira de Geografia**, v. 49, n. 2, p. 9-27, 1987.
- PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem na bacia do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): Distribuição Espacial, Propriedades Morfológicas e Controle Estrutural. **RA'E GA**, v 16, p. 211-219, 2006.
- PEREIRA, M. C.; RODET, J. G. M. A.; SALGADO, A. A. R. Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n.4, p. 465-476, 2012.
- PENTEADO, M. M. Tipos de concreções ferruginosas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto de Brasília. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 16, p. 39-53, 1976.
- PINHEIRO, M.R. **Técnicas cartográficas e aerofotográficas no estudo da erosão**: alta bacia do ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- PILÓ, L.B. Geomorfologia Cárstica – Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 1, n. 1, p. 88-102, 2000.
- QUEIROZ NETO, J. P. **O papel da pedogênese no modelado do relevo**: busca de novos paradigmas. Coimbra, 2010
- REU, J. D.; BOURGEIS, J.; BATZ, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORI, V.; SMEDT, P. D.; CHU, W. ATROP, M.; MAYER, P. D.; FINKE, P.; MEIRVENNE, M. V.; VERNIES, J.; CROMBÉ, P. - Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**, v.186, p. 39-49, 2013.
- SCHRAGE, T. J.; NORONHA, E.; UAGODA, R. Considerações iniciais sobre a distribuição de dolinas e sua relação com a hidrografia, relevo e litologia na bacia do alto Rio Preto, Goiás. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.101-106, 2014.
- SILVA, C. R. D, (Coord.). Zoneamento Ecológico-Econômico da **Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. Fase I. Coord. SILVA, C. R. D. CPRM; EMBRAPA; SCO-MI. Rio de Janeiro, p. 324. 2003.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**: A study of weathering and denudation in low latitude. Nova Iorque, John Wiley & Sons, p. 460, 1994.

- TWIDALE, C. R. Sinkholes (dolines) in Lateritised Sediments, Western Sturt Plateau, Northern Territory, Australia. **Geomorphology**, v. 1, p. 33-52. 1987.
- UAGODA, R. E; AVELAR, A; COELHO NETTO, A. L. Karstic morphology control in non-carbonate rocks: Santana Basin, middle Paraíba do Sul river valley, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**. v. 55. n. 1. p.1-13, 2011.
- UAGODA, R. E. **Evolução da paisagem em área cárstica não carbonática durante o quaternário tardio**: Bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, MG. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, v. 2, n. 12, p. 1-14, 2012.
- WEISS, A. D. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Apresentação, “ESRI Users Conference”, São Diego, EUA. 2001. Disponível em: [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf)
- XAVIER, R. A.; COELHO NETTO, A. L. Ocorrência de Depressões Fechadas em Divisores de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Geografias**, v.4, n.1, p. 61-68, 2008.

#### 4. O papel de depressões na paisagem da bacia do alto Rio Preto, Brasil Central.<sup>8</sup>

---

##### Resumo

O presente estudo se volta para a bacia do alto Rio Preto, Brasil Central, a fim de estudar a formação e desenvolvimento de suas dolinas. Por meio de técnicas de geofísica e análise estrutural da paisagem, é proposto que estas feições estão circundadas por espessos Latossolos em média e baixa vertente e relacionados a vegetação de Cerrado Típico. Estes solos, por sua vez se originaram da degradação de couraças, ainda presentes em interflúvios recobertas por campos. As depressões são formadas provavelmente por subsidência após a dissolução de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

**Palavras-Chaves:** dolinas, solos tropicais, evolução da paisagem, alto Rio Preto, geomorfologia cárstica.

#### The role of depressions in the landscape on upper Rio Preto basin, Central Brazil.

##### Abstract

This study turns to the upper Rio Preto basin, Central Brazil, to study the formation and development of their dolines. By means techniques of geophysical and structural landscape analysis, it is proposed that these features are surrounded by deep Oxisols, in middle and under slopes, and related with typical Cerrado (wooded Savanna). These soils are originated from the laterites degradation, which still presents in interfluves covered by grassland. The dolines are probably formed by subsidence after the dissolution of carbonate rocks of the Bambuí Group.

**Keywords:** Dolines, tropical soils, landscape evolution, alto Rio Preto, Karst Geomorphology.

---

<sup>8</sup> Esboço de texto escrito no formato da Revista Brasileira de Geociências e similares. Os resultados podem ser divididos ainda em dois artigos: um mais geral, para área do entorno das depressões, e outro mais específico para toposequências das depressões.

## 4.1 Introdução

---

Depressões em chapadões já foram observadas por Ab'Saber (1969), que as consideravam uma feição típica do Domínio dos Cerrados. Nesta mesma linha, Braun (1970), ao discorrer sobre a formação de superfícies aplainadas no Brasil central, as consideravam como originárias de meandros abandonados em época de pediplanação. Tal visão era comum na época, como em explicações para depressões em outras regiões do Brasil (BJONBERG *et al.*, 1966; PENTEADO, 1968).

Somente a partir da década de 1970 (conforme destaca QUEIROZ-NETO, 2010; COLTRINARI, 2011), a geomorfologia aliou-se ao estudo de solos tropicais, sobretudo tendo em vista que estas feições, junto a couraças ferruginosas, são bastante peculiares em paisagens de baixa latitude (THOMAS, 1994), independentemente de o embasamento geológico ser carbonático ou não (FABRI *et al.*, 2014). A partir disto, vários autores abordaram a relação entre solos, depressões e modelos de evolução da paisagem, contrapondo a erosão química e a erosão física (FILIZOLA, 1993; FILIZOLA e BOULET, 1993; QUEIROZ-NETO, 2010; UAGODA, 2011; ALVES *et al.*; 2014). Mais recentemente, é destacado o papel das estruturas geológicas como fator condicionador, principalmente em direções de fluxos hídricos subterrâneos para a formação de depressões (COELHO NETO, 2003; PAISANI *et al.* 2006, ALVES, 2015), o que demonstra que não só condições bio-climáticas, mas também que condições de substrato se fazem necessárias.

As depressões na bacia do alto Rio Preto são frequentemente abordadas e citadas em estudos regionais para a evolução da geomorfologia na região central do Brasil, principalmente no Distrito Federal. As explicações de suas origens se referem às teorias e paradigmas vigentes na época, (NOVAES PINTO, 1987; SILVA, 20003), ou como dolinas cársticas, originadas sobre rochas carbonáticas (MORAES, 2004), mas sem estudos de casos específicos por métodos evasivos e diretos.

No primeiro artigo (Capítulo 03), trabalhou-se o mapeamento e a caracterização das depressões para a bacia do alto Rio Preto. O trabalho sinalizou lineamento destas feições equivalente com o lineamento estrutural (CAMPOS *et al.*, 2006), concordantes com a direção de dobras sinclinais da região externa da Faixa de Dobramentos de Brasília (GUIMARÃES, 1997; CHAVES *et al.*, 2003). Também demonstraram que tais depressões estão em baixas vertentes e planícies aluviais, muitas já conectadas à rede de drenagem. Estão também em unidades litológicas

sedimentares e metassedimentares diversas, relacionadas ao Grupo Bambuí e Grupo Paranoá, ou, ainda em Coberturas Aluviais ou Detrito-Lateríticas. Contudo, ainda é impreciso o real processo de subsuperfície ou substrato que as originam.

Desta forma, este artigo objetiva determinar quais os fatores evolutivos que de fato formam tais depressões e qual a relação destas com a evolução do planalto do Rio Preto. Como estudo de caso, optou-se pela caracterização física e química pedológica dos solos de três depressões de morfologia e estágios evolutivos diferentes, analisados por meio de transeptos e geofísica, assim como da região do entorno destas.

A escolha deste recorte espacial e de técnicas variadas de prospecção e análise estrutural da paisagem guia-se pela necessidade de se aproximar as depressões, condicionadas a solos tropicais, com uma perspectiva multiescalar, proporcionando uma nova abordagem na direção das suposições de longa data sobre suas gêneses e desenvolvimento.

#### **4.2 Localização e Características Gerais**

---

A bacia do alto Rio Preto possui área de 3.500 km<sup>2</sup>, localizando-se nos estados de Goiás (GO), Distrito Federal (DF) e Minas Gerais (MG). Tem como limite jusante o encontro do Rio Preto com o Rio Bezerra (**Figura 4.2.1**) e faz parte da bacia do Rio São Francisco.

A bacia é interpretada como um compartimento intermediário entre superfície geomorfológica acima de 1000 m, comumente relacionada ao ciclo Sul Americano (Chapada do Pípiripau), e superfície mais baixas, relacionada ao ciclo Velhas (Depressão São Franciscana), inferior a 800m (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987). A bacia em quase sua totalidade é recoberta por espessas camadas de solos e depósitos aluviais detríticos, lateríticas ou indiferenciados (SILVA, 2003).

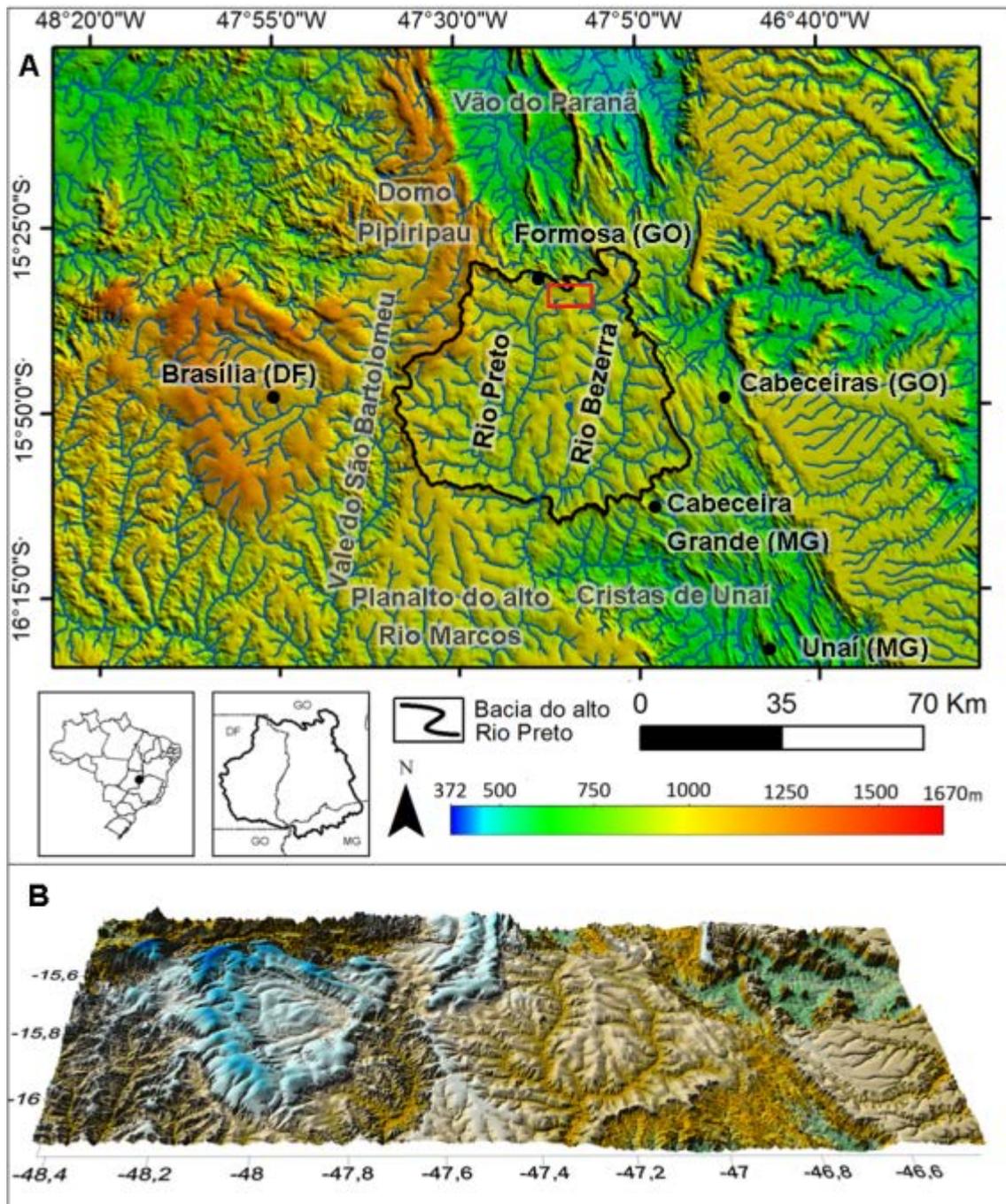


Figura 4.2.1 – Localização da bacia do alto Rio Preto e o seu contexto geomorfológico. O quadro vermelho sinaliza a concentração dos estudos de subsuperfície apresentado neste artigo. Modelos digitais de relevo com base em imageamento SRTM (Ver capítulo 3). Datum WGS 84.

A bacia localiza-se em zona de transição entre o Domínio Externo e Domínio Cratônico da Faixa de Dobramentos Brasília, conforme compartimentação de Uhlein (*et al.* 2012). Este primeiro domínio é constituído por sedimentos argilo-carbonáticos, suavemente dobrados e sub-horizontais, configurando uma bacia do tipo Antepaís. Na bacia do alto Rio Preto, estes sedimentos são relacionados ao Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopebas (CAMPOS *et al.*, 2006).

No Domínio Externo, há presença das rochas do Grupo Canastra, Formações Paracatu e Serra do Landim, e do Grupo Paranoá, Unidade 3 (MOREIRA *et al.*, 2008). O Grupo Paranoá (UHLEIN *et al.*, 2012) é formado por uma sequência psamítica-pelítica (leste) que transita para uma sequência pelítica-carbonática (oeste).

A exposição do Grupo Paranoá, em dobras sinclinais, cujo Grupo Bambuí constitui o seu centro, permite que se destaquem alongadas serras na depressão São-Franciscana. Estas tomam a direção NW-SE, ao leste da bacia do Rio Preto, na região de Cabeceiras e Bezerra (CHAVES *et al.* 2003; GUIMARÃES, 1997) e direção N-S em Formosa (COSTA NETO, 2006), ao norte da bacia. Para Campos *et al.* (2006), estes alinhamentos NW-SE que guiam as estruturas geológicas para toda a bacia do Rio Preto.

Na bacia, estudos anteriores (SCHRAGE *et al.*, 2014), demonstram alguns elementos básicos da localização e caracterizadas das suas depressões. Das depressões mapeadas, observou-se que possuem forma circular e predominantemente apresentam-se como cabeceiras de drenagem, podendo, no entanto, distar até 2,5km de canais quando fechadas

Ademais, é demonstrando que tais depressões possuem direção NW-SE, condizente com alinhamento geológico estrutural observado por Campos *et al.* (2006) para a bacia do Rio Preto (**FIGURA 4.2.2**), os quais, por sua vez, são lineamentos estruturais para toda a região externa da Faixa de Brasília (GUIMARÃES, 1997; CHAVES *et al.*, 2003). Contudo, além da geologia estrutural, é observado que as depressões se encontram em baixa vertente ou em planícies aluviais, associadas a coberturas diversas (Capítulo 03).

Fato que não há mapeamento específico sobre o embasamento que se situa abaixo de espessas coberturas cenozoicas que recobrem a bacia. Diante disto, acredita-se que as depressões podem refletir dissolução que ocorre diretamente no substrato rochoso – cujos alinhamentos indicam estar associadas a direções de falhas e dobras – ou que as depressões podem ocorrer pela dissolução direta do solo e couraças ferruginosas que recobrem estes substratos.

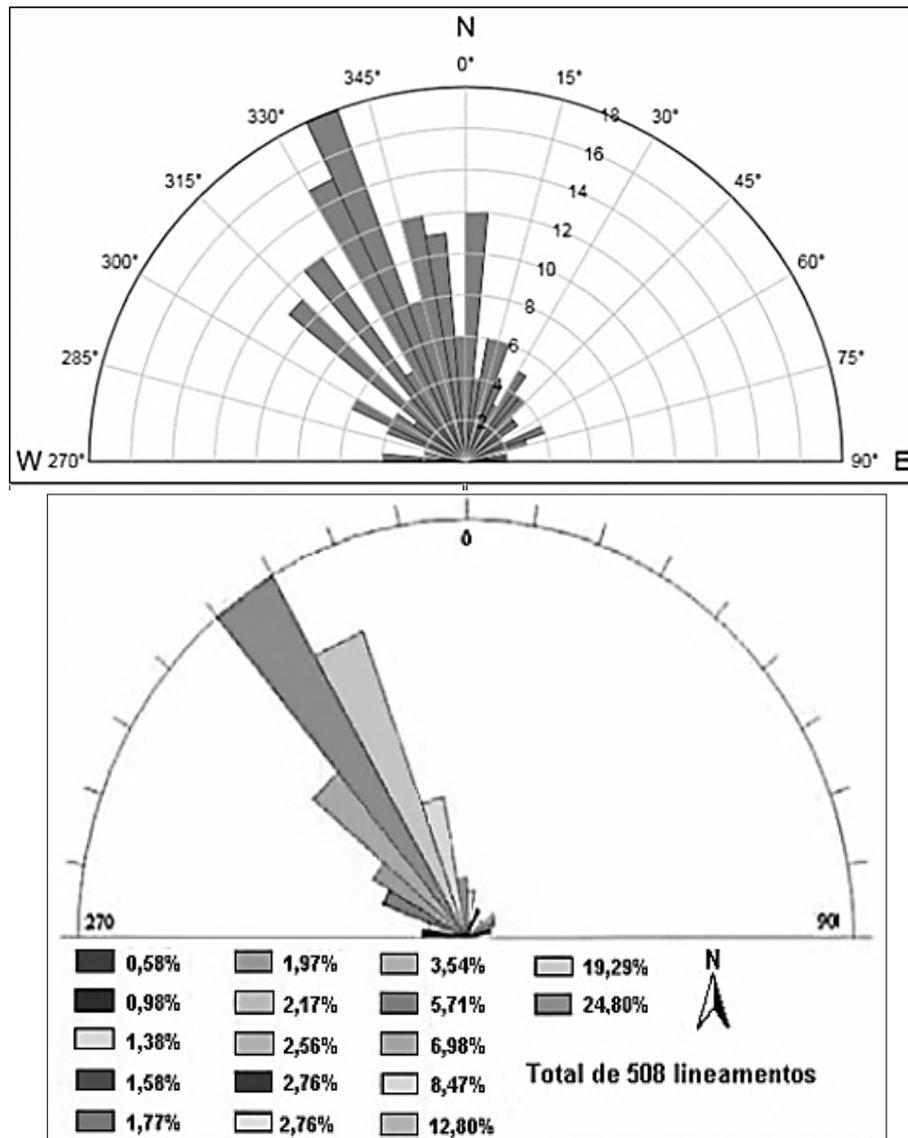


Figura 4.2.2 – Acima, direção das depressões na bacia do alto Rio Preto conforme artigo 1, Capítulo 03. Abaixo, direções estruturais observadas por Campos *et al.* (2006). Adaptado pelos autores.

Desta forma, buscou-se focar em algumas depressões específicas, para estudos de caso direto. Assim, destaca-se que dentro da bacia, se insere território ambientalmente preservado, de administração do Exército Brasileiro, intitulado como Campo de Instrução do 6º Grupo de Lançadores Múltiplos de Foguetes, ou apenas Centro de Instrução de Formosa (CIF), de área total de 117.000 ha, onde se concentraram os estudos de subsuperfície de três depressões e a região de seu entorno, apresentadas por esta pesquisa.

A escolha destas depressões se deu por três critérios principais: por localizarem-se no interior de área preservadas do CIF, o que se configura em uma minimização de questões antrópicas advindas do uso do solo, além de relativa facilidade de deslocamento entre elas. Seguidamente, há o fato de que estas

representam pelo menos três estágios diferentes do desenvolvimento de depressões em relação à hidrografia e, por fim, pois se assentam em significativa área de densidade de depressões (conforme Capítulo 03).

### 4.3 Materiais e métodos

---

#### **Análise de subsuperfície: Solos e Geofísica**

O trabalho apresentado possui aproximação com Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET, 1982a, 1982b, 1982c), à medida que foram realizados transeptos na vertente de sentido N-S de cada uma das três depressões analisadas, observando-se a variação horizontal e vertical do solo (BIRKELAND, 1999). Ao se constatar diferenciação pedológica evidenciada por tradagem ou geofísica, ou por nítida mudança de relevo e vegetação, foram escavadas trincheiras de 2 metros de profundidade (ou até se atingir o lençol freático) e 1,5 metros de largura, nas quais se decorreu a análise dos perfis de solos assim expostos.

Para tanto, a descrição do solo seguiu o proposto por Lemos *et al.* (2005). A identificação dos horizontes pedológicos ocorreu de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2013), a qual é condizente com *FAO 2006 World Reference Base for Soil Resources*. A topografia de cada vertente foi elaborada por meio de Nível Topográfico, da marca *Kolida*, modelo *KL-22*.

Para as tradagens, foi utilizado trado com caneco do tipo holandês de 1 1/2" de diâmetro, e caçamba de 10 cm, sendo este o intervalo de cada amostragem e anotação de elementos presentes no solo. Além disso, ocorreu a anotação da cor, através da carta Münsell, e coleta de material apenas nos intervalos de 90-100 cm e 190-200 cm ou em casos específicos de destaque. Estas tradagens, além de serem utilizadas nos transeptos, também foram realizadas em compartimentações do relevo observadas em mapeamento prévio (conforme Capítulo 03). Deste modo, foi investigado o solo em até 2 metros de profundidade (ou até se chegar a estratos intransponíveis, como couraças ferruginosas), em diversos setores da área, por meio de amostragem aleatória estratigráfica (BRUS e GRUIJTER, 1997).

Como método geofísico foi utilizado Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetration Radar – GPR*). Seu princípio é a transmissão de ondas eletromagnéticas radiadas para o subsolo a partir de uma antena em superfície. A propagação destas

ondas é subordinada a frequência do sinal emitido e das propriedades de cada um dos materiais presentes no subsolo, principalmente dependentes do conteúdo de água presente neles.

Os dados de GPR foram adquiridos no modo de afastamento constante (*constant offset*), por meio do equipamento SIR3000 (*Geophysical Survey Systems – GSSI*), acoplado a antenas blindadas de 200 MHz e 400 MHz, pertencente ao Laboratório de Geografia Física da Universidade de Brasília (UnB).

A rotina de processamento consistiu no ajuste do tempo zero, filtro temporal (passabanda), ganho (*energy decay*), migração (*diffraction stack*), análise espectral (*spectral whitening*) e conversão de tempo em profundidade. Os mesmos parâmetros de ganho e filtro foram aplicados a todas as seções com o intuito de comparação das amplitudes dos sinais. O processamento dos dados foi realizado no *software Reflex*.

Além do GPR, como técnica geofísica foi utilizada a eletrorresistividade (SMITH e RANDAZZO, 1986). A técnica usa de uma fonte artificial de corrente elétrica, a qual é induzida nas camadas da subsuperfície do solo por meio de eletrodos fixados na superfície do solo através de 2 eletrodos (A e B), que produzem uma diferença de potencial que é medida por outro par de eletrodos de potencial (M e N). As aquisições das seções de eletrorresistividade foram realizadas utilizando-se a técnica do caminhamento elétrico, com os arranjos Dipolo-Dipolo e Wenner-Schlumberger, com espaçamento entre os eletrodos de 4 metros. O equipamento utilizado foi o eletrorresistímetro multieletródico SYSCAL PRO 72 (fabricado pela empresa francesa IRIS Instruments), acoplado a cabos multicanais, com 54 eletrodos de aço inox e 04 conectores de cabos switch box, de propriedade do Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), do Instituto de Geociências da UnB.

A topografia da prospecção por geofísica e por tradagem, quando fora da elaboração dos transeptos das depressões, foi estimada por meio de cartas topográficas 1 : 25 000 (DSG, 1979; IBGE, 1985) e por imageamento da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com escala horizontal aproximada de 90 m.

### **Granulometria e Susceptibilidade Magnética**

Em solos tropicais, frente à sua inerente dinâmica, eventos de morfogênese podem facilmente ser mascarados pela pedogênese, cujos intensos processos intempéricos e pedoperturbativos tendem a homogeneizar o perfil (HOLE, 1961;

JOHNSON *et al.*, 1987). Apesar de dispendioso, utilizar-se de intervalos sistemáticos para análises físicas tem se mostrado um bom método para delimitar eventos de movimentos de solos ocasionados por mudanças climáticas sazonais ou geológicas (THOMAS, 2004), delimitando pequenos estratos ou zonas de contatos visualmente imperceptíveis (ARAUJO *et al.*, 2013).

Dessa forma, a coleta de amostras dos solos nos perfis dos transeptos ocorreu em intervalos sistemáticos a cada 10 cm. Contudo, optou-se por realizar a análise granulométrica a cada 20 cm, e, apenas caso fosse preciso - como na indicação de contrastes muito grande entre amostras sequentes - diminuir este intervalo.

Para tanto, testaram-se diversos dispersantes químicos e físicos em amostras testes, de modo que os melhores resultados foram apresentados pelo método de Almeida *et al.* (2012), com a utilização de hidróxido de sódio (NaOH) 1 L<sup>-1</sup> (99 % de pureza) na dispersão química e agitação mecânica em mesa do tipo Wagner, rotação de 150 RPM, durante 8 a 12 h. No caso, optou-se por iniciar as análises com 30g a 50g de TFSA. O método (ALMEIDA *et al.*, 2012) também foi utilizado para a divisão granulométrica das frações areia, silte e argila.

A análise da susceptibilidade magnética (SM) foi realizada nas mesmas amostras de granulometria. No entanto, amostras de 100 e 200 cm de profundidade, coletadas durante as tradagens em etapa da análise estratigráfica aleatória, também foram analisadas. Neste artigo, irá se demonstrar os resultados mais significativos.

Estas amostras, secadas, moídas e peneiradas abaixo de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar - TFSA) foram submetidas à análise em aparelho *MS2 Magnetic Susceptibility System* da *Bartington* no Laboratório de Análise de Textura dos Solos, EMBRAPA Cerrados. O sensor possui diâmetro interno de 36 mm e suporta amostras granulares ou líquidas, em capsula de 10cm<sup>3</sup>.

A suscetibilidade magnética volumétrica (unidade  $\kappa$ , adimensional) foi obtida em alta frequência ( $\kappa$ HF) e em baixa ( $\kappa$ LF). Para a obtenção do resultado por unidade de massa em baixa frequência ( $x$ LF  $10^{-6}$  m<sup>3</sup> Kg<sup>-1</sup>) utilizou-se a equação (DEARING *et al.*, 1996; DEARING, 1999). Contudo, os dados  $x$ LF e  $x$ HF foram normatizados para a unidade  $10^{-9}$  m<sup>3</sup> Kg<sup>-1</sup>, para melhor demonstração. Para a obtenção da percentagem de frequência, ( $x$ FD%), utilizou-se a equação 4.3.2 (DEARING *et al.*, 1996; DEARING, 1999).

Equação 4.3.1

$$x_{LF} = \frac{k_{LF} - k_{HF}}{\rho}$$

Sendo  $\rho$  a densidade do aparente da amostra em  $\text{kg} / \text{m}^3$  e  $x_{LF}$  em  $10^{-6} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$ . Para obter o resultado em  $10^{-9} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$ , deve-se multiplicar  $x_{LF}$  por 1000.

Equação 4.3.1

$$x_{FD}\% = \frac{100 \times (k_{LF} - k_{HF})}{k_{LF}}$$

### Química do Solo

A análise de química básica dos solos ocorreu por meio de Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (*Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry*, ICP-AES). As amostras secas, após serem moídas e peneiradas (TFSA), foram pulverizadas e posteriormente misturadas com  $\text{LiBO}_2$  em recipiente de grafite, aquecidas em forno a  $1.050 \text{ }^\circ\text{C}$  por 15 min e dissolvidas em ácido nítrico a 5 %. Esta análise foi elaborada pelo Laboratório de Geoquímica da UnB.

Desta forma, se obteve a composição química do centro dos horizontes diagnósticos dos perfis de solos expostos pela Transecto.

### 4.4 Resultados e Discussão

---

Na etapa de prospecção geral para a área de estudo, foram realizadas diversas tradagens, além da visita a voçorocas, afloramentos próximos à drenagem e duas cavas de mineração de couraça ferruginosa. Apresenta-se a seguir, as principais linhas de prospecção realizadas (**Figura 4.4.1**). Estas podem ser unidas em seis perfis, no qual se cruzaram informação de SM e morfologia do solo, sistematizando os resultados.

Especificamente perfis de GPR, com antena de 200 Mhz, foram obtidas 19 imagens, totalizando uma área linear prospectada de cerca de 7,3 km, as quais podem ser unidas em 5 mosaicos que sistematizam os resultados (**Figura 4.4.1**). Apresentamos os perfis linearmente sem topografia, pois dada a sua grande extensão

horizontal, assim permitem melhor visualização do que quando com exageros verticais elevados, como seria o caso.

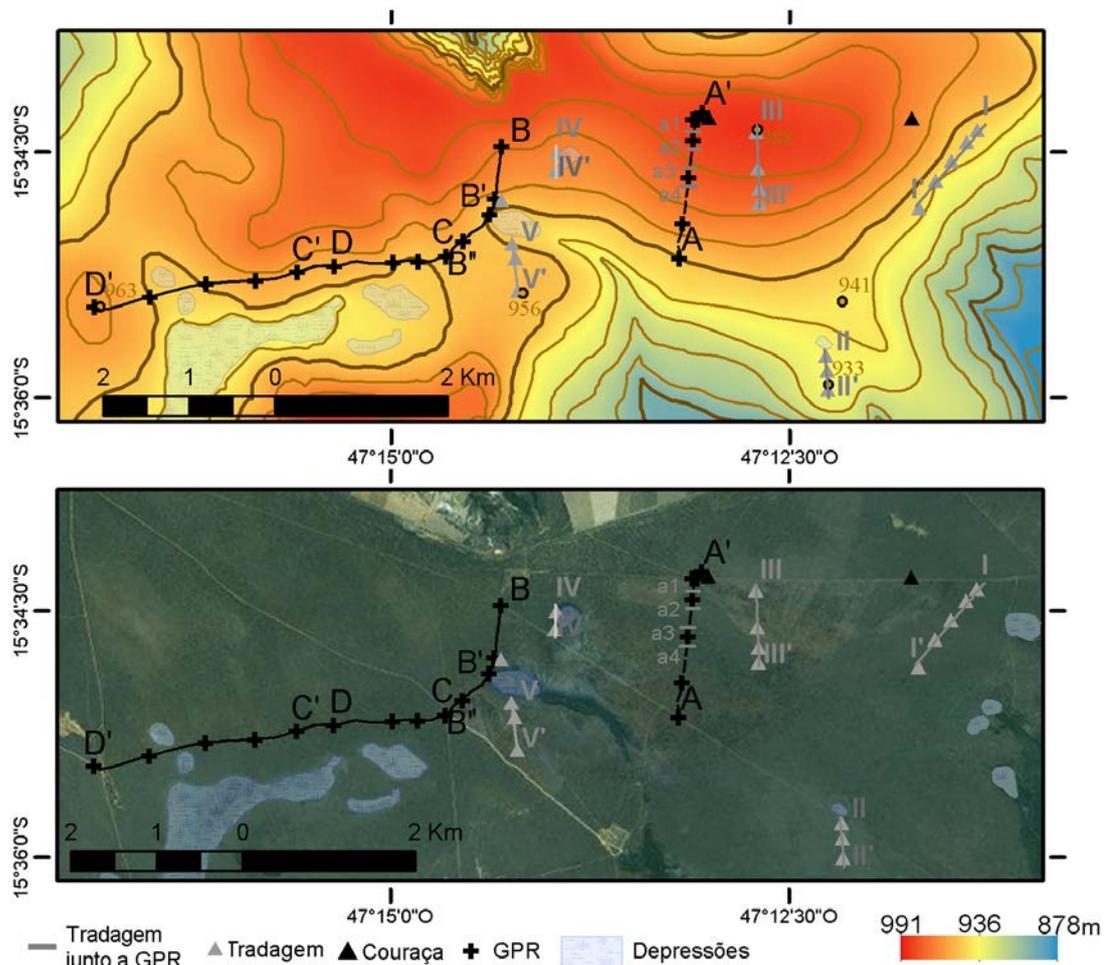


Figura 4.4.1 – Localização dos mosaicos de GPR (A-A', B-B', C-C', D-D') e dos transeptos de tradagem (I-I', II-II', III-III', IV-IV', V-V'). Acima, MDT evidenciando a topografia, com curvas de nível de 10 m. Abaixo, imagem de satélite *World Imagery*®. Elaborado pelos autores.

## Tradagens

Nas tradagens, buscou-se especificar alguns assuntos, observados durante fase de mapeamento. Os elementos observados nesta etapa são sistematizados na **Figura 4.4.2**. Desta forma, a sequência I (**Figura 4.4.3**) buscou seccionar a vertente de modo a interceptar sutis ondulações côncavas, relacionadas a alongadas faixas de Cerrado Típico circundadas por vegetação de Campo. A sequência II (**Figura 4.4.4**) objetiva unir depressão fechada com um ravinamento a ela direcionada. Na sequência III também se buscou diferenciar transição de vegetação (**Figura 4.4.5**). A sequência IV (**Figura 4.4.6**) foi realizada apenas para conferir dois pontos de mesma distância do centro da dolina, mas em vertentes opostas. Esta deu origem a Transepto específica, a ser apresentada posteriormente. A sequência V (**Figura 4.4.7**) teve como

objetivo comparar sua vertente oposta, realizada como Transepto específica para depressão aberta. Por fim, na figura 4.4.8 busca-se ilustrar a paisagem dos locais tradados.



Figura 4.4.2 – Chave com os principais elementos encontrados nas tradagens. Elaborado pelos autores.

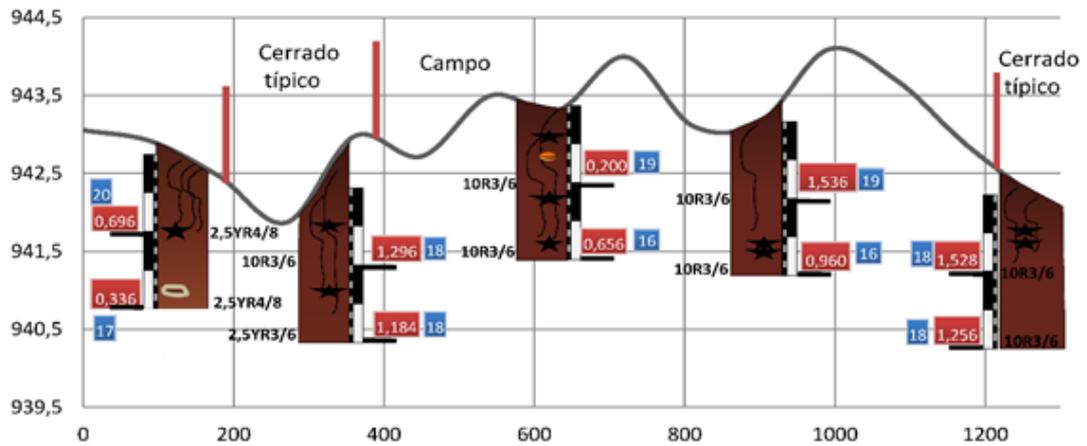


Figura 4.4.3 – Sequência de tradagens I. Elaborado pelos autores.

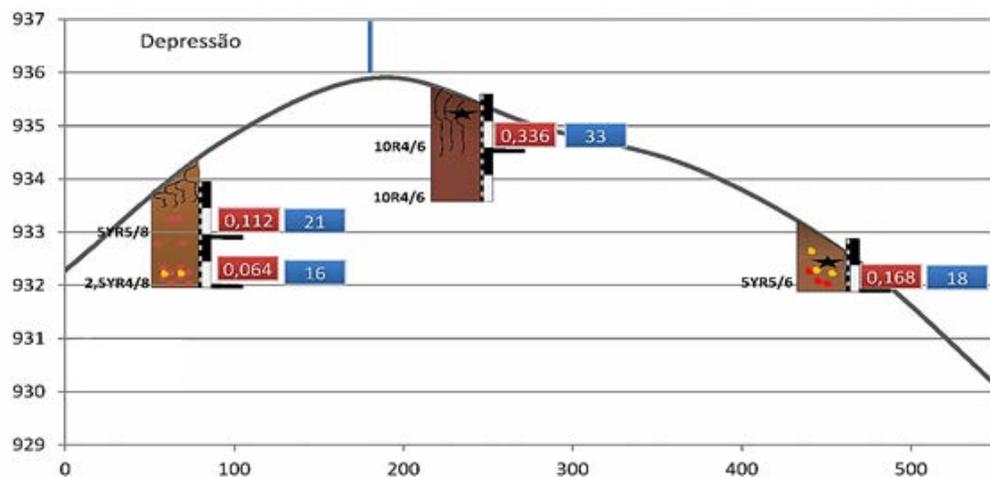


Figura 4.4.4 – Sequência de tradagens II. Elaborado pelos autores.

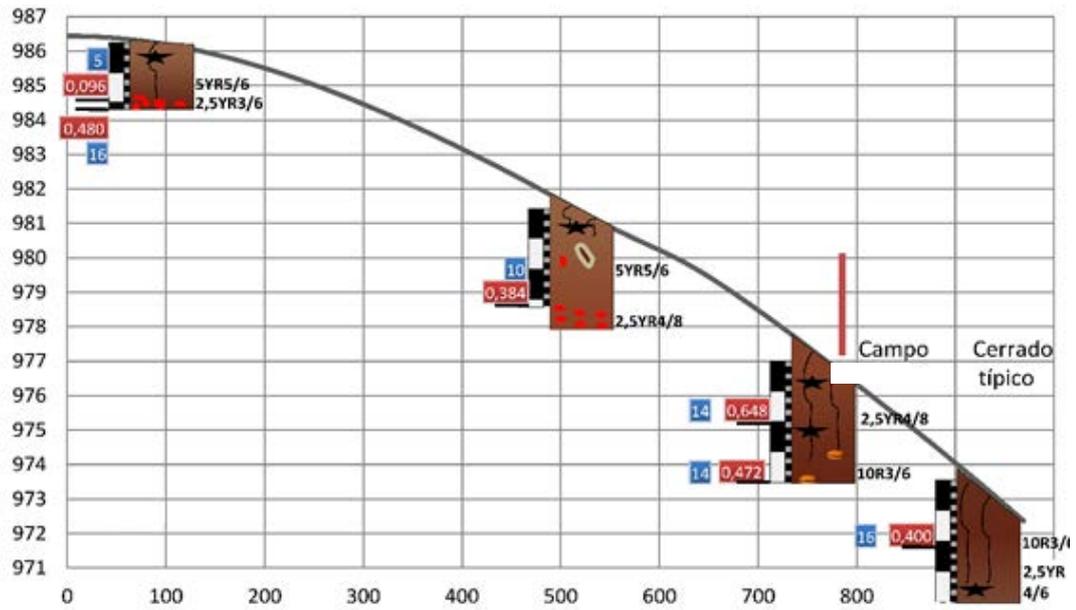


Figura 4.4.5 – Sequência de tradagens III. Elaborado pelos autores.

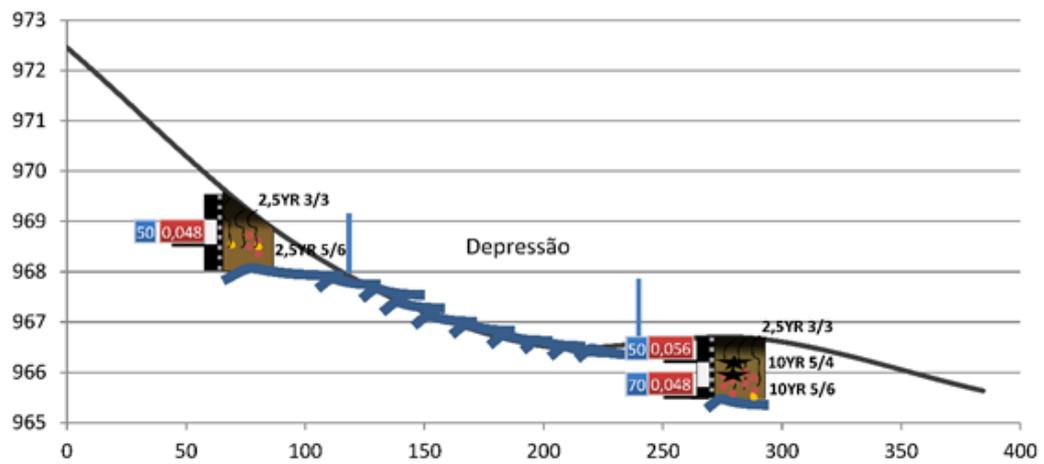


Figura 4.4.6 – Sequência de tradagens IV. Elaborado pelos autores.

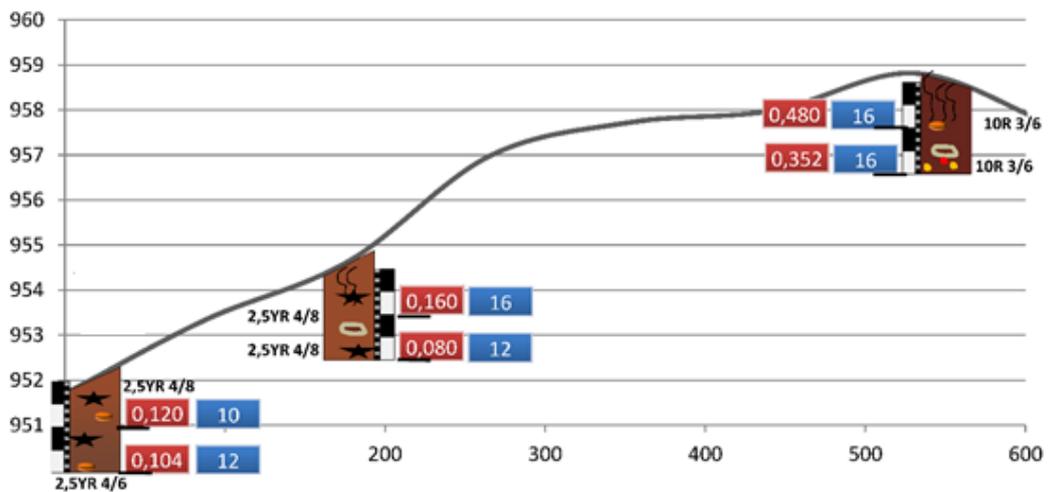


Figura 4.4.7 – Sequência de tradagens V. Elaborado pelos autores.

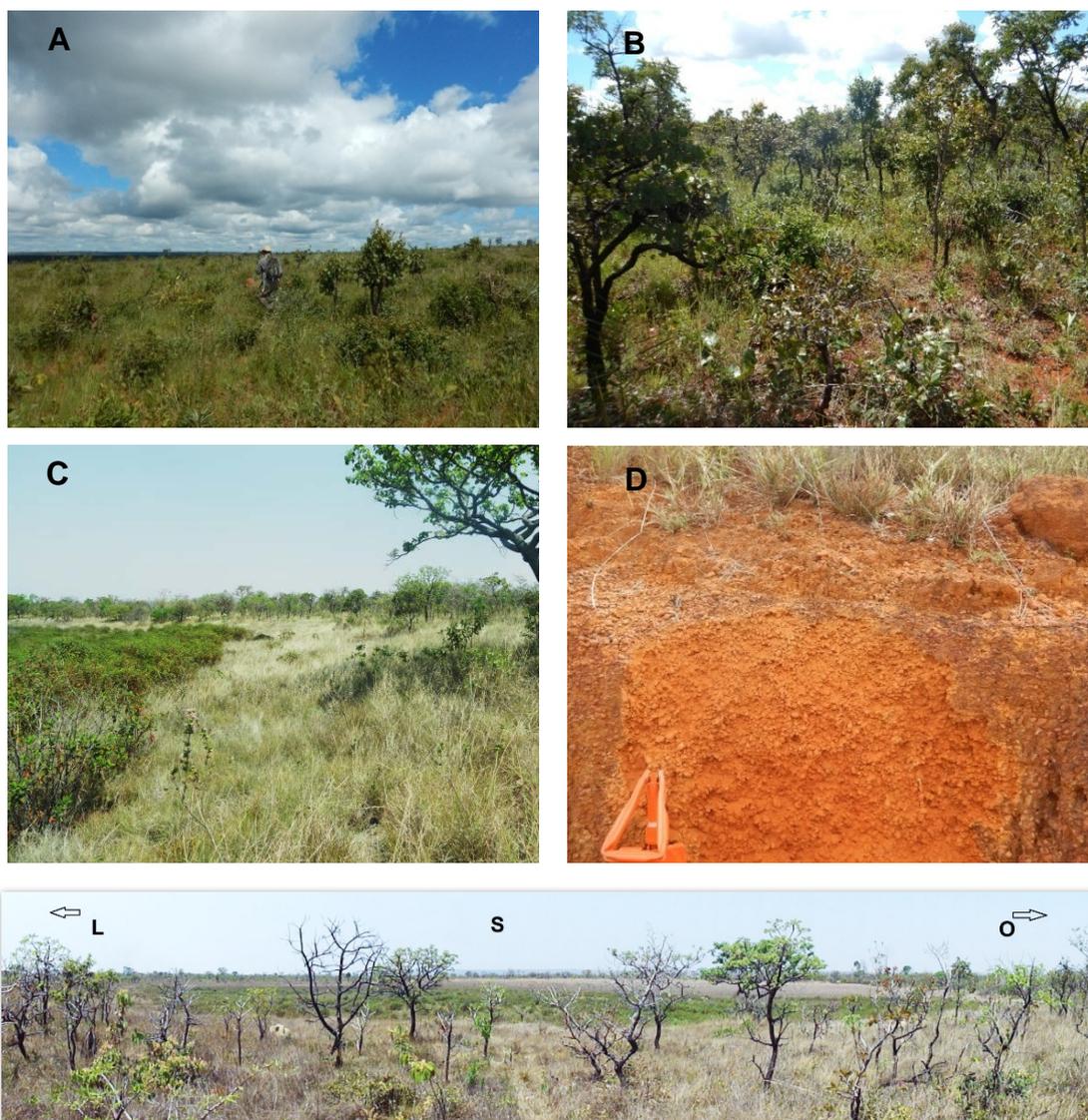


Figura 4.4.8 - Mosaico de fotos. A) Campo B) Área de Cerrado Típico. C) Vertente de depressão D) Couraça em superfície. E) Panorâmica de depressão. Elaborado pelos autores.

Coletas de amostras nas cavas de mineração, próximo à sequência III, e em afloramento de metarritmito em leito de drenagem, próximo à sequência I, também demonstraram dados interessantes para a SM (**Tabela 4.4.1**)

Tabela 4.4.1 – Susceptibilidade Magnética de afloramento de laterita e de metarritmito.  $Xfd\ 10^{-9}\ m^3\ Kg^{-1}$ .

Solo Cava Couraça < 2 mm. Cor 5YR 5/8. Prof. 0-10 cm		> 2 mm. Cor 5YR 5/8		Saprólito Metarritmito. Cor 10YR 4/6. Prof 20-30 cm	
Kfd%	Xfd	Kfd%	Xfd	Kfd%	Xfd
6	0,304	5	0,032	12	0,056

Na sequência I (**Figura 4.4.3**), a análise SM resultou em valores maiores solos sob Cerrado Típico e, sobretudo, em áreas mais baixas. Contudo não há aparente relação direta entre estes valores e as cores dos solos.

Na sequência II (**Figura 4.4.4**) foi observada semelhança no solo do entorno uma depressão fechada e o solo do entorno de um canal, tanto em morfologia quanto nos resultados de SM. Entre estas semelhanças, está a presença de um horizonte mosqueado em mesma profundidade. Isto indica que há contato subsuperficial da drenagem com a depressão.

A sequência III (**Figura 4.4.5**) demonstra nitidamente a relação entre a vegetação campestre com uma vegetação arbórea. Há solos mais amarelados, apesar disto ser sutil, no topo, condicionadas a presença de couraça que tende a ascender conforme se segue à montante. A degradação da couraça origina a cor mais avermelhada para os solos onde ela não foi encontrada. Os valores de SM no topo são relativamente menores, principalmente no topo.

A sequência IV (**Figura 4.4.6**) indica de uma maneira geral, solos com claro sinal de hidromorfismo e baixos valores de SM, em relação às trincheiras altimetricamente superiores, apresentadas nas outras sequencias. Esta sequência é melhor descrita posteriormente.

Por fim, a sequência V (**Figura 4.4.7**) parte de uma baixa vertente próxima a uma depressão, para um divisor. Nesta percebe-se a mudança de Latossolos Vermelho-Amarelo para Latossolos Vermelho, onde foram encontrados fragmentos de couraça bastante friáveis. A SM demonstra comportamento semelhante às demais sequências, com valor maior no topo, e valor menor na baixa vertente.

## **GPR**

Com o GPR, antena de 200 Mhz, analisou-se transição de vegetação Cerrado – Campo (A-A') e vertentes com depressões (B-B' e B'-B'; C-C' e D-D') (**Figura 4.4.9, 4.4.10 4.4.11**, respectivamente).

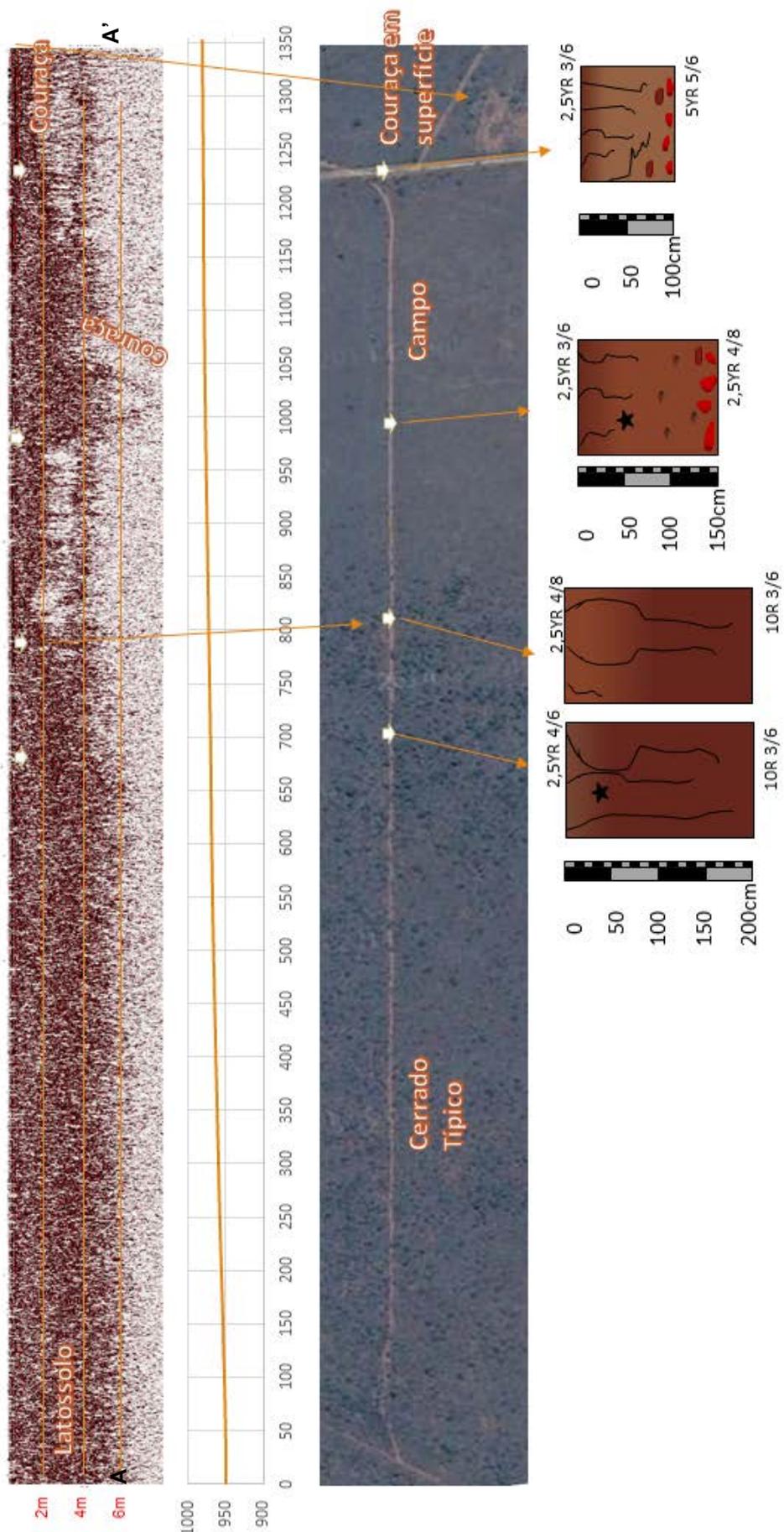


Figura 4.4 9 – Perfil GPR A-A'. Elaborado pelos autores



Figura 4.4 10 – Perfis GPR B-B'-B''. Elaborado pelos autores

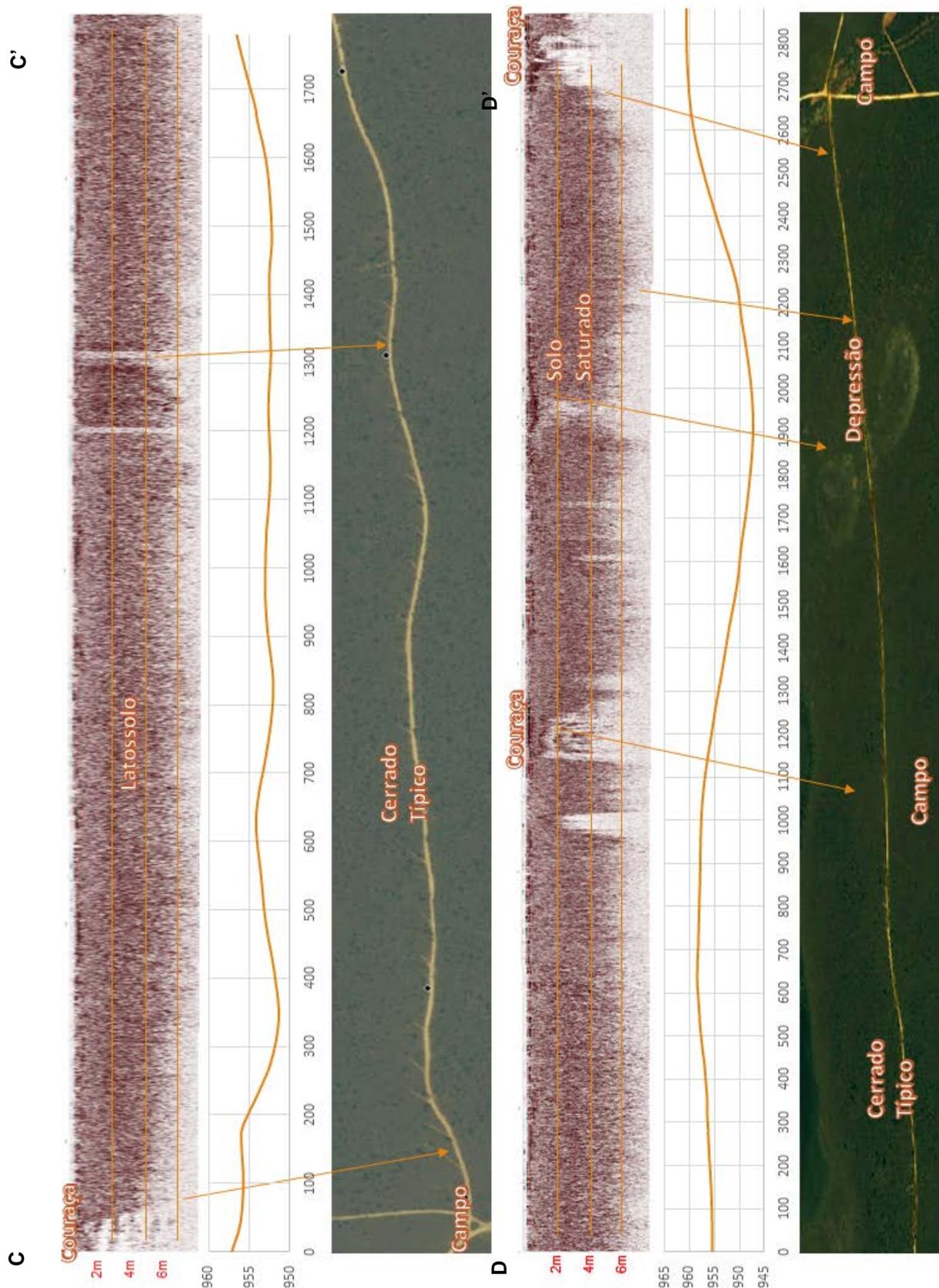


Figura 4.4 11 – Perfis GPR C-C' e D-D'. Elaborado pelos autores

Os resultados de GPR identificaram diferentes padrões de refletores, que podem ser sistematizados como:

1) Refletores de amplitude média relacionados à camada de Latossolo, conforme observado por tradagens, cuja profundidade tende até 6 metros, e cujo contato com outros padrões é relativamente estável.

2) Refletores de alta amplitude vinculados às camadas de couraças, também observados por meio de tradagens. Estes possuem sinal mais forte que os de Latossolos, além de possuir maior irregularidade no contato com os outros padrões observados.

3) Abaixo das couraças, há refletores de baixa amplitude. Trata-se possivelmente de saprólito fino, sendo este composto de caulinita e goethitas e permanentemente saturado, conforme modelo proposto por Tardy e Nahon, (1985). Abaixo deste saprólito, há uma nova camada de couraça (refletores de alta amplitude). Esta se forma possivelmente por material iluviado da couraça superior, assentando sobre saprólito grosso. Desta forma, a couraça surge em duas superfícies.

4) Refletores de forte atenuação do sinal. Estes podem estar relacionados, em áreas de depressões, como solo saturado, de intenso hidromorfismo e com saprólito grosso, originado pelo intemperismo do embasamento geológico. Os primeiros são comprovados por meio de trincheiras e tradagens, os segundos, por eletrorresistividade; os quais serão apresentados posteriormente.

Mais especificamente, podemos analisar estes comportamentos observando cada mosaico individualmente.

O mosaico A-A' (**Figura 4.4.9**) reflete de forma bastante clara a relação entre Cerrado-Campo e, associado a estes, Latossolo-Couraça. Neste, observa-se que couraça compõe um nítido estrato em cerca de 2m de profundidade, que lentamente ascende até a superfície, no final do perfil (sendo o final do perfil, o divisor da bacia do alto Rio Preto). Separado por saprólito fino, há outra camada paralela, no contato Solo-Saprólito Grosso, de couraça.

Contudo, este caráter do solo é abruptamente cortado por um “colapso” da camada de couraça superior, em forma de “V”, no qual o solo, por breve espaço, volta a ter as mesmas feições da média vertente, onde a couraça não é presente como unidade destacável. Tal colapso deve estar associado a uma fratura no embasamento geológico, o qual converge maior fluxo hídrico, e desta forma, degradando a couraça ou mesmo a transportando por subsidência. Outra possibilidade é o próprio

intemperismo diferencial do embasamento, que se mostra irregular, com áreas mais pedogeneisadas, como internamente neste colapso.

O perfil B-B' (**Figura 4.4.10**) evidencia bem o adelgaçamento do solo conforme se desce à vertente próximo à depressão. O perfil se inicia em área de campo, onde o solo possui uma espessura menor, além de maior irregularidade junto ao contanto com um possível saprólito fino saturado, demarcado por uma linha de sinal mais forte, indicando possivelmente a presença de hematita. Ao se adensar o cerrado, o solo se torna mais espesso e com contato menos irregular junto ao possível saprólito. Este solo se afina conforme se desce à vertente em direção à depressão. Ao voltar a subir a vertente (Perfil B'-B'', **Figura 4.4.10**), o solo volta se tornar espesso.

No entanto, subindo mais ainda a vertente, conforme a vegetação volta a ficar menos densa, mais uma vez temos uma irregularidade no contato solo-saprólito e uma espessura do solo em até 2m.

Como continuação do perfil B-B'-B'', o perfil C-C' (**Figura 4.4.11**) mostra o retorno de um Latossolo espesso. Esse, no entanto é seguida de um sutil rebaixamento na topografia e uma nítida linha de transição entre Cerrado e Campo. O Perfil D-D', continuação do anterior, mostra que o Latossolo, geralmente regular nos outros perfis, possui descontinuidades bastante destoantes, intercalando sinais refletores de maior amplitude com de menor amplitude. Considerando que as áreas de Latossolos ocorrem sobre embasamento de carbonático do Grupo Bambuí, pode-se interpretar que essas áreas podem indicar blocos residuais do embasamento. Desta forma, solos se aprofundam irregularmente, em forma de blocos ou torres. As couraças contribuem para que estes blocos residuais não se desmantelem totalmente.

Conforme se desce em direção à depressão, o solo volta a adelgar, como no perfil B. Contudo, ao passar no meio de uma possível ligação entre duas depressões, observa-se um formato em “funil” para a saturação no solo. Voltando a subir a vertente, o solo volta a ficar menos espesso, sendo que na superfície, o sinal forte, indica a presença de laterita.

### **Relação Solo-Relevo-Bioma**

Desta forma, aliando-se a geofísica com as tradagens, é observado que em alta vertente há presença de couraça ferruginosa. A mesma aparece associada à

vegetação de campo, sendo inexistente em áreas de cerrado mais denso. A tradagem por si só indicariam que as mesmas aparecem nos topos, aprofundando além do limite do trado nas médias vertentes, e voltando a aflorar próximo às drenagens, nas baixas vertentes, provavelmente mais rasas pela retirada do solo que as recobrem. A geofísica, no entanto, demonstra a couraça não se aprofunda, mas sim, possivelmente se desmantela.

Esta relação entre vegetação e couraças reflete conjuntamente um ambiente mais úmido (como em uma área côncava, por exemplo), sendo, a própria vegetação, um elemento tautológico desta dinâmica, dado que a umidade induz a existência de vegetação mais densa, a qual possibilita ainda mais uma acumulação/retenção de água e de matéria orgânica no solo, degradando fisicamente e quimicamente as couraças (MAIGNIEN, 1964).

Assim, as atuações combinadas entre umidade e bioquímica, tanto da vegetação quanto dos solos, ocasionam a hidratação do Fe, sobretudo na relação hematita-caulinita, enriquecendo o solo em Si e Al e destruindo a couraça, originando desta forma solos avermelhados (BEAUVAIS e TARDY, 1991). Mudanças climáticas mais gerais também estão relacionadas à mudança na vegetação, já discutidas anteriormente, e que podem estar associadas à destruição e construção de couraças, como evidenciada por Tardy (1993) para climas semiáridos e vegetação savânica e por Martins *et al.* (2004) especificamente para o Distrito Federal.

A coloração mais avermelhada nos solos sob esta condição de Cerrado parece ser predominante na bacia do alto Rio Preto. Contudo, como demonstrado na sequência I, não é determinativa, sendo que de cor vermelha aparecem também em locais sem ocorrência de vegetação densa e em baixa vertente.

Nos solos em baixas vertentes foram observadas feições hidromórficas, mostrando mosqueamento de coloração avermelhada e pequenas plintitas, bastante friáveis, formadas por acumulação de ferro. Junto a isso, constata-se aumento de tonalidade amarela no solo, indicando presença de goethitas, e também eluviação do plasma, compondo matriz de textura aparentemente mais grossa e com tonalidades mais claras.

Outra nítida correlação entre a couraça e os solos são valores mais elevados de Susceptibilidade Magnética para solos mais oxidados, onde a couraça desenvolveu espessos Latossolos. Conforme se aumenta a saturação de água no solo, os valores passam a serem menores. Em solos com presença de couraça, os valores

intermediários indicariam maior lixiviação na granulometria analisada (menor que 2 mm).

Tite e Linington (1975) evidenciam que as reduções dos valores de susceptibilidade magnética podem estar associadas a dois fenômenos principais: o primeiro ocorre pelo decaimento da matéria orgânica e depleção de óxidos de ferro em condições anaeróbicas, o segundo, sobre intensas queimadas, quando há redução da atmosfera necessária na oxidação de ferro. Jordanova *et al.* (2010) destaca que elevados valores de Fxd% estão proporcionalmente relacionados com a presença de grãos maiores em solos nestas condições anaeróbicas, principalmente areia. A contraposição entre a SM em perfis lacustres indicaria, inclusive, possível possibilidade de delimitação dos solos gerados localmente com outros transportados (MAHER e THOMPSON, 2001). Percebe-se que uma diferenciação de solo saturado por água com solo se evidencia de forma bastante nítida nos resultados menores para a susceptibilidade magnética nesses locais.

Pela tradagem, também foram observados fragmentos de carvão e pedorelíqueas. Estes elementos, similares a linhas de pedras e cascalho, têm sido utilizadas como indicadores de antigas superfícies, agora soterradas (ARAUJO *et al.*, 2013). Contudo, ainda é discutível se podem ser utilizados como marcadores totalmente relacionados à morfogênese, indicando momentos de coluviamento, ou se então podem ser soterradas – e geralmente dispersas aleatoriamente em profundidades diversas - por bioturbação (MIKLOS, 1992; JOHNSON, 2002; PEACOCK e FANT, 2002; MEYSMAN *et al.* 2006;).

Na área de pesquisa, frente a pouca quantidade de tradagens, não se permite indicar se há de fato, uma horizontalidade para os elementos observados – indicando paleosuperfície, apesar de ser notável a presença de fragmento de carvão em profundidades diversas, quase sempre condicionadas aos primeiros 50 cm do solo, e, seguidamente após hiato, a partir de 150 cm.

Estudos em sedimentos lacustres demonstram que queimadas naturais, tão características para o Cerrado, e a intensa produção de carvão por elas, existe pelo menos desde 40.000 anos antes do presente (A.P) (SALGADO-LABORIAU e FERRAZ-VICENTINI, 1994; SALGADO-LABORIAU *et al.*, 1998; FERRAZ-VICENTINI, 1999; SALGADO-LABORIAU, 2005).

Para Lagoa Feia, dentro da bacia do alto Rio Preto e bastante próximo a área das tradagens (cerca de 7km), foi realizada análise paleoecológica por meio de

palinomorfos e carvões presentes em seus sedimentos por Ferraz-Vicentini (1999). É relatado que há sedimentos de mais de 10.000 anos para a lagoa (SALGADO-LABORIAU, 2005), mas é sistematizado melhor entendimento de oscilações climáticas, relacionadas com produção de carvão, apenas para 5.000 anos (FERRAZ-VICENTINE, 1999). Para Ferraz-Vicentini (1999), há uma fase mais seca no período de 5000 a 4000 A.P, seguida por fases oscilatórias climáticas, com, no entanto, uma tendência geral para o aumento da umidade, evidenciada em menor produção de carvão e mudanças florística – modelo que é equivalente a outros realizados em áreas próximas (SALGADO-LABORIAU, 2005).

Para períodos anteriores há 5.000 anos, estudos sobre paleoclimas no cerrado podem se dividir em pelo menos dois modelos principais (SALGADO-LABORIAU, 2005; ARAUJO *et al*, 2005): o primeiro modelo delimita um bastante seco Último Máximo Glacial (UMG), instalado desde cerca de 22,540 A.P, seguido de um aumento gradual na umidade, a partir de 6850–5710 (BARBERI *et al.*, 2000; FERRAZ-VICENTINI e SALGADO-LABORIAU, 1996; SALGADO-LABORIAU *et al.*, 1997, 1998). O segundo modelo propõe cenário seco e frio durante a UMG, seguido por um período frio e úmido perto de 11,400 – 9500 A.P, por sua vez, seguido por um novo período seco e quente, entre 9500 – 4600 A.P, a partir do qual há um aumento de gradual da umidade até condições atuais de clima (BEHLING, 2012; LEDRU, 1993).

### **Caracterização da subsuperfície das depressões e entorno imediato.**

Os estudos se focaram em três depressões, sendo elas (**Figura 4.4.12**):

**D1** – Lagoa Brejinho (IBGE, 2010). Depressão aberta e intermitente, com ligação superficial a um canal de primeira ordem perene.

*Coordenada: WGS 84, 15° 34' 55.9" S / 47° 14' 17.2" W*

**D2** - Lagoa Santa Cruz (IBGE, 2010). - Depressão fechada, com horizonte *glei* aparente em toda sua extensão e caráter intermitente.

*Coordenada: WGS 84, 15° 34' 32.1" S / 47° 13' 53.8" W*

**D3** – Sem nome, Depressão fechada, sem água superficial tanto nos períodos de chuva quanto de estiagem.

Coordenada: WGS 84, 15° 35' 39.4" S / 47° 12' 16.7" W

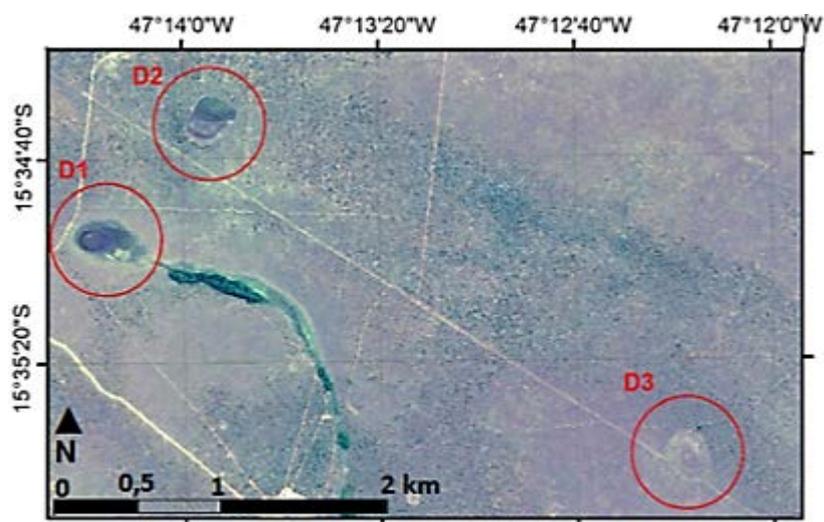


Figura 4.4.12 – Localização das depressões estudadas. Elaborado pelos autores.

### Depressão aberta e intermitente (D1)

Na depressão aberta e intermitente (D1) (**Figura 4.4.13**) ocorreu abertura de cinco trincheiras, além de perfis de GPR com antena 400 Mhz e eletrorresistividade.

Em referência à forma desta depressão, nota-se nítida direção para a drenagem superficial, sendo que a vertente de maior declividade é a oposta à drenagem. O maior eixo da depressão possui cerca de 460 m e o menor eixo cerca de 160 m.

Apresentamos representação gráfica da Transepto (**Figura 4.4.14**) de forma simplificada, focando-se nos principais resultados. A legenda desta representação pode ser observada na **Figura 4.4.2**, apresentadas junto às tradagens.

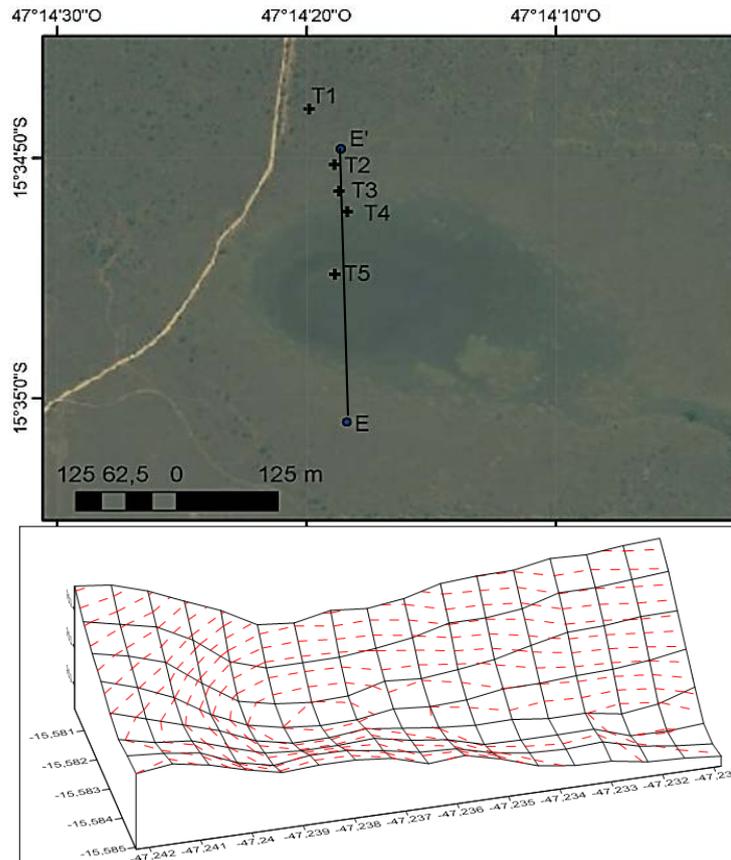


Figura 4.4.13 – Detalhe da depressão aberta (D1). A) Localização das trincheiras (T) e linha de Geofísica (E). B) Bloco diagrama mostrando a forma da depressão. Elaborado pelos autores. Datum WGS 84.

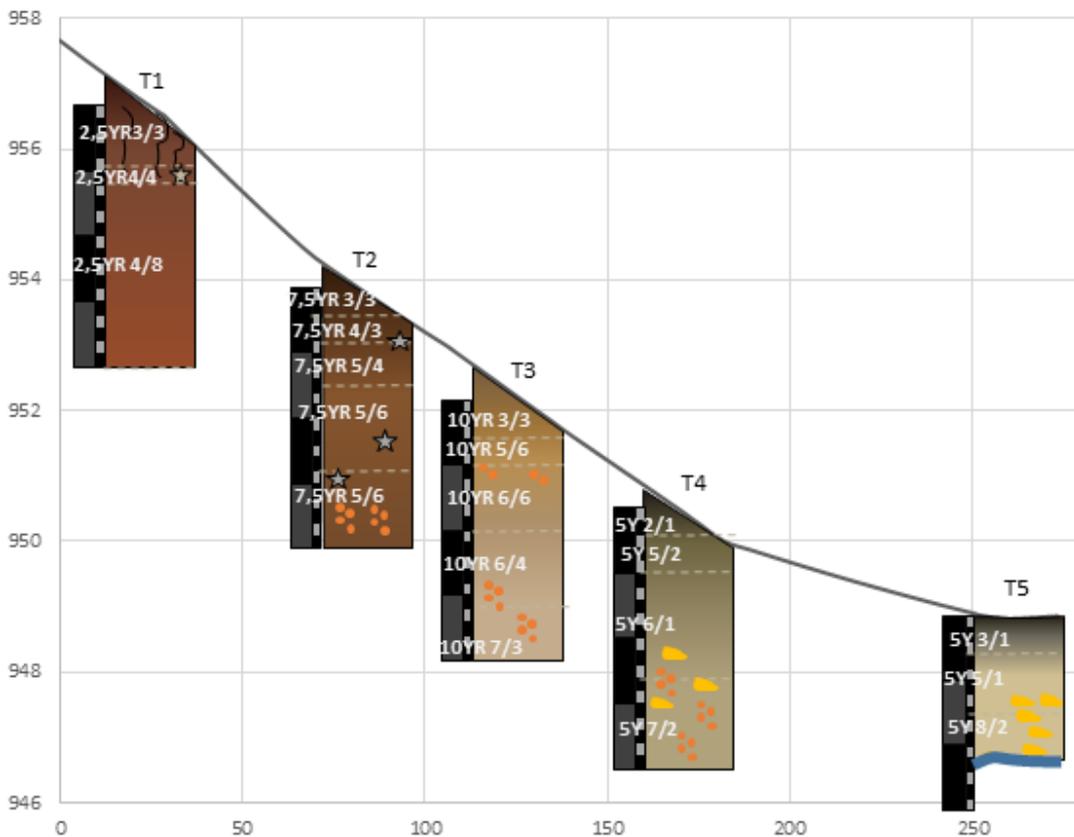


Figura 4.4.14 – Transepto da depressão aberta (D1). Elaborado pelos autores.

Nota-se que nesta Transepto há a substituição da coloração avermelhada para a uma coloração mais amarelada, o que sinaliza substituição de hematita para goethitas, conforme se desce a vertente. Há um horizonte mosqueado, com presença de plintita na baixa vertente, acompanhando a declividade da vertente.

A estrutura do solo se apresentou granular, gradativamente passando para maciça em horizontes de má drenagem. A transição de todos os horizontes se deu de forma plana e difusa, sendo que apenas na trincheira 5 ocorreu sobreposição de uma pequena camada superficial de cerca de 5 cm, de transição ondulada, de provável material transportado (areia fina lavada). De forma semelhante ao apresentado anteriormente na etapa prospectiva, o carvão surge em diversas profundidades, como elementos isolados nos perfis.

Em uma escala mais ampla, pode-se observar nitidamente um horizonte saturado e hidromórficos acompanhando as vertentes, sem grandes modificações no solo. O mesmo é indicado pela eletrorresistividade e GPR (**Figura 4.4.15**).

De modo geral, quando maior for a resistividade do material, maior é a indicação que o mesmo seja bem drenado, de modo que o material de menor resistividade é aquele que se mostra com má drenagem (SMITH E RANDAZZO, 1986).

Neste, observamos a ocorrência de cinco zonas bem demarcadas, conforme entendimento da paisagem e pela interpretação da resistência dos materiais.

A Zona 1 (Z1) é relacionada ao substrato rochoso não intemperizado, provavelmente relacionado aos calcários do Grupo Bambuí. É a zona de maior resistividade, acima da cota de 14.500 ohm.n, mostrado nas figuras com tonalidade roxa. É observado nos perfis de eletrorresistividade que este embasamento apresenta-se irregular, podendo ser fraturado ou atacado por intemperismo diferencial, gerando formas de blocos ou torres e capeados por um manto intemperizado, de menor resistividade.

A Zona 2 (Z2) é relacionada às formações pedológicas mais superficiais, que se apresentam com boa drenagem e não saturadas. O seu sinal é semelhante ao da Zona 1, com resistividade variando de 2.800 a mais de 14.000 ohm.n, simbolizado na coloração de amarelo ao roxo. Esta variedade está relacionada à saturação, sendo que quanto menos drenado o solo estiver, menor os valores de resistividade do

mesmo. Observa-se no perfil que o mesmo diminui em espessura em direção ao centro da depressão.

A Zona 3 (Z3) possui mesmo intervalo do que a zona anterior, portanto mesma coloração. Contudo, aparecem apenas em subsuperfície, na forma de blocos ou torres. Podem ser observadas zonas de maior fragilidade no calcário contrapondo os elementos de maior resistividade com os de menor, sendo estes segundos mais intemperizados e saturados.

A Zona 4 (Z4) é interpretada como material mais argiloso e mal drenado ou então relacionada à solos saturados. Possuem resistividade entre 250 e 2.800 ohm.m. Trata-se do saprólito, saturado, dos calcários no embasamento, evidenciando por coloração esverdeada.

Por fim, a Zona 5, (Z5) é a zona de menor resistência, de 50 a 250 ohm.m. Apresenta-se agrupada, o que indica que pode ser relacionada a uma fase mais avançada da dissolução do calcário, ou então zonas preenchidas por argila.

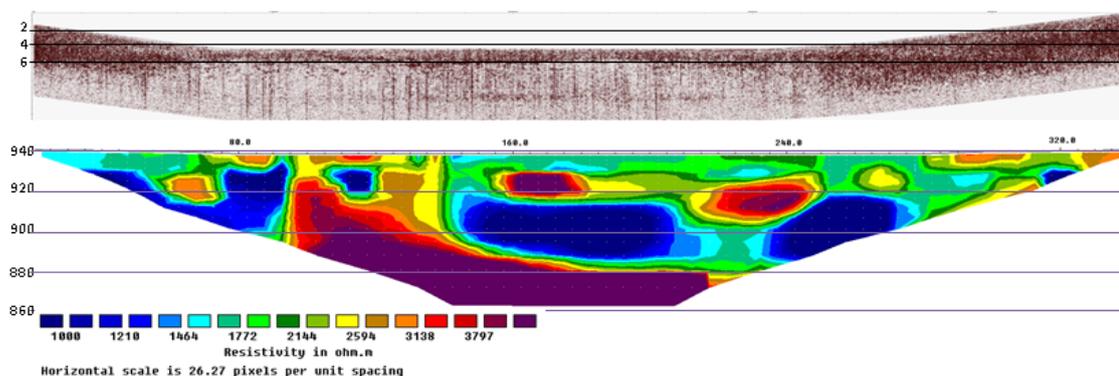


Figura 4.4.15 – GPR e Eletrorresistividade de perfil E-E', Depressão aberta e intermitente (D1). Topografia do GPR apenas ilustrativa para melhor comparação. Elaborado pelos autores.

Assim, observa-se que a depressão se localiza sobre embasamento carbonático, a mais de 40 metros de profundidade, o qual, por sua vez, apresenta-se em diversos estágios de intemperismo. Os solos, poucos profundos (cerca de 6 metros de profundidade) tornam-se menos espessos no centro da depressão. Por cerca de 20 metros de profundidade, há presença de blocos, até se entrar em um saprólito mais intemperizado, com áreas de concentração de níveis de argila.

Especificamente no perfil de GPR que acompanhou o da eletrorresistividade, não há grandes mudanças nítidas, sendo que o solo basicamente é composto de dois nítidos comportamentos: um inferior, hidromórficos e saturado, e outro superior, bem drenado. Observa-se, contudo, que no centro da depressão há pequena e sutil camada de sinal mais alto, o que pode ser interpretado como um possível horizonte

plúntico, conforme observado nas trincheiras realizadas nesta depressão. Este horizonte demarca uma sazonalidade do lençol freático.

### Depressão fechada e intermitente (D2)

Na depressão fechada e intermitente (**Figura 4.4.16**) ocorreu abertura de quatro trincheiras, além de três perfis de GPR com antena 400 Mhz e eletrorresistividade. Como anteriormente, apresentamos representação gráfica da Transepto de uma das suas vertentes (**Figura 4.4.17**) de forma simplificada, focando-se nos principais resultados, seguido da apresentação do resultado de Geofísica (**Figura 4.4.18, 4.4.19 e 4.4.20**).

Nota-se que esta depressão possui orientação para a depressão anterior, possuindo uma forma um pouco mais menos alongada que a depressão aberta. Por sua topografia, podemos perceber que há em suas vertentes norte maior declividade do que as vertentes no sul. Assim, a depressão possui ligeiramente a forma de um pequeno anfiteatro, mas sem sinais de escoamento superficial.

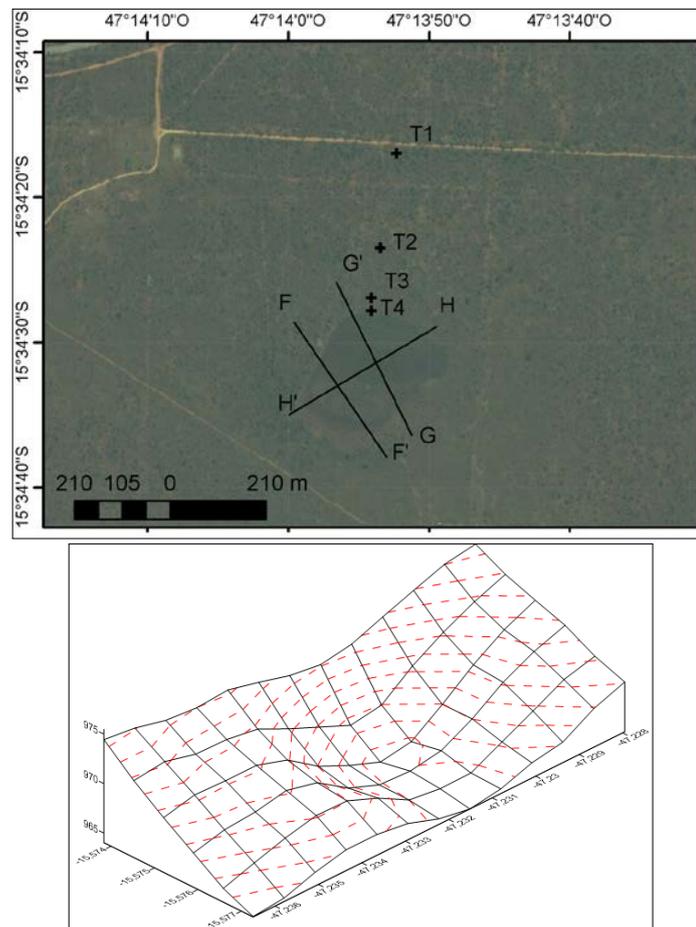


Figura 4.4.16 – Detalhe da depressão fechada (D3). A) Localização das trincheiras (T), das tradagens e linha de Geofísica (E). B) Bloco diagrama mostrando a forma da depressão. Elaborado pelos autores. Datum WGS 84.

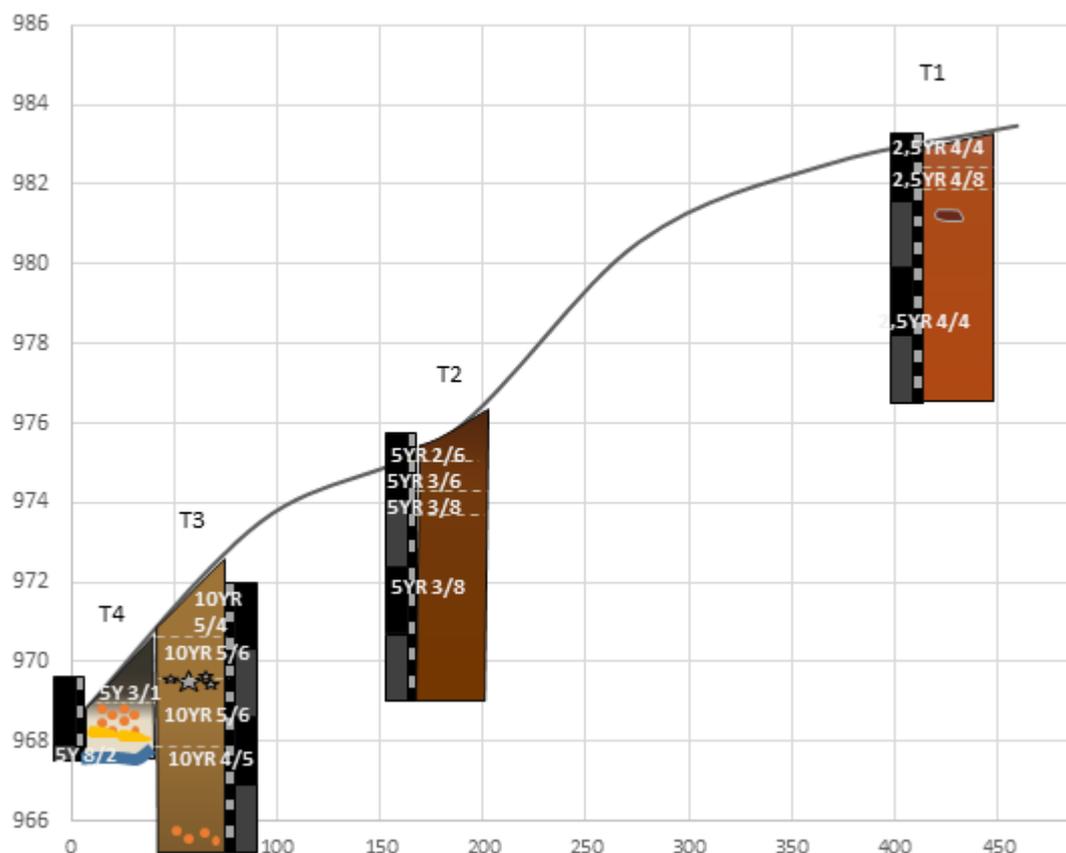


Figura 4.4.17 – Transepto da depressão fechada e intermitente (D2). Elaborado pelos autores.

Esta Transepto apresenta comportamento semelhante à Transepto anterior, com a mesma esperada perda tonalidade de coloração avermelhada. Um horizonte mosqueado também segue a inclinação da vertente, sendo que na última trincheira este mosqueamento está presente quase que em todo perfil, até se chegar ao lençol freático na profundidade de 64 cm (na época de estiagem) e 34 cm (época de chuvas). São bastante visíveis neste último perfil os canais de eluviação do ferro por poros e cavidades abertas pela bioturbação no solo.

Na trincheira três, em baixa vertente, foi observada espessa camada com carvões, de até 10 mm, e em todas as paredes, indicando um possível paleopavimento. A SM e análise granulométrica, no entanto não diferenciam este possível material transportado do que está sobreposto, como poderá ser observado posteriormente.

A seguir, nos perfis de Geofísica foram observadas as mesmas zonas já descritas para o perfil E-E', da depressão anteriormente apresentada.

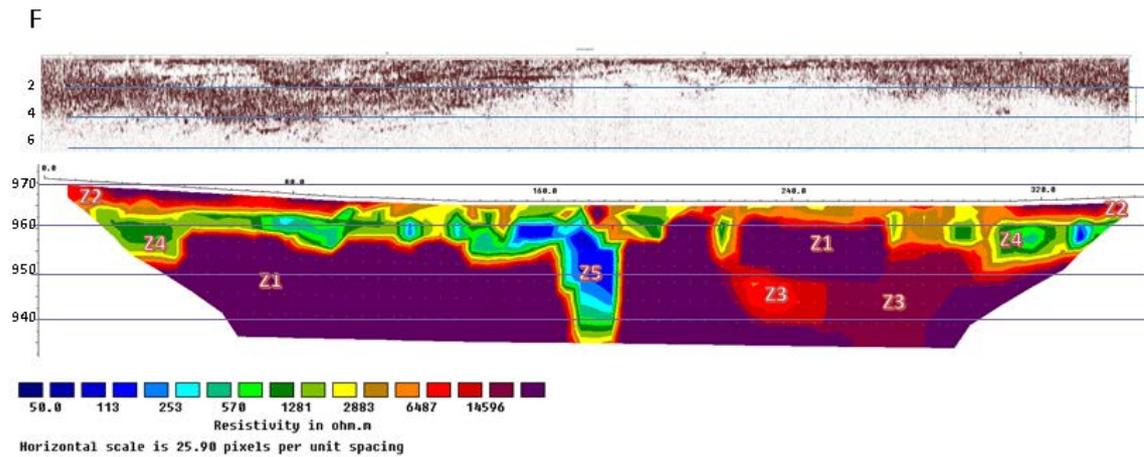


Figura 4.4.18 – GPR e Eletroresistividade de perfil F-F', Depressão seca e intermitente (D2). Elaborado pelos autores.

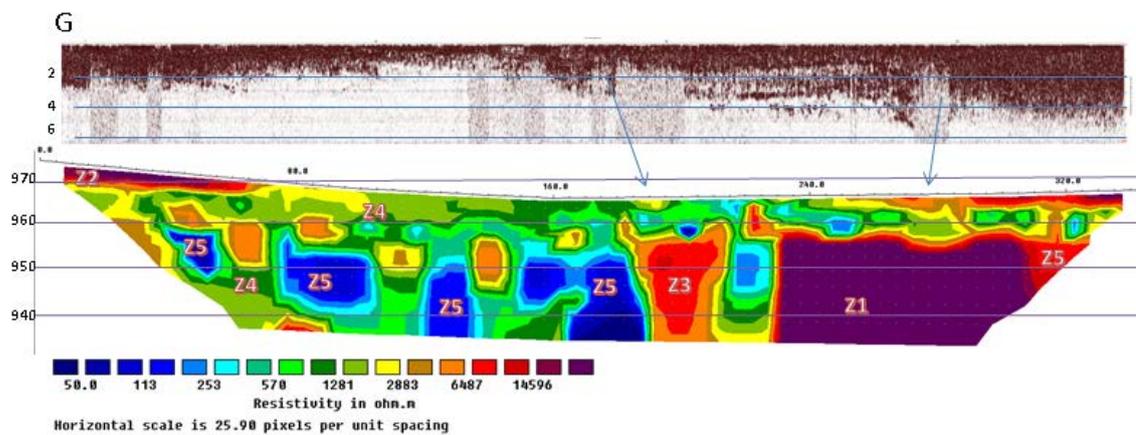


Figura 4.4.19 – GPR e Eletroresistividade de perfil G-G', Depressão seca e intermitente (D2). Elaborado pelos autores.

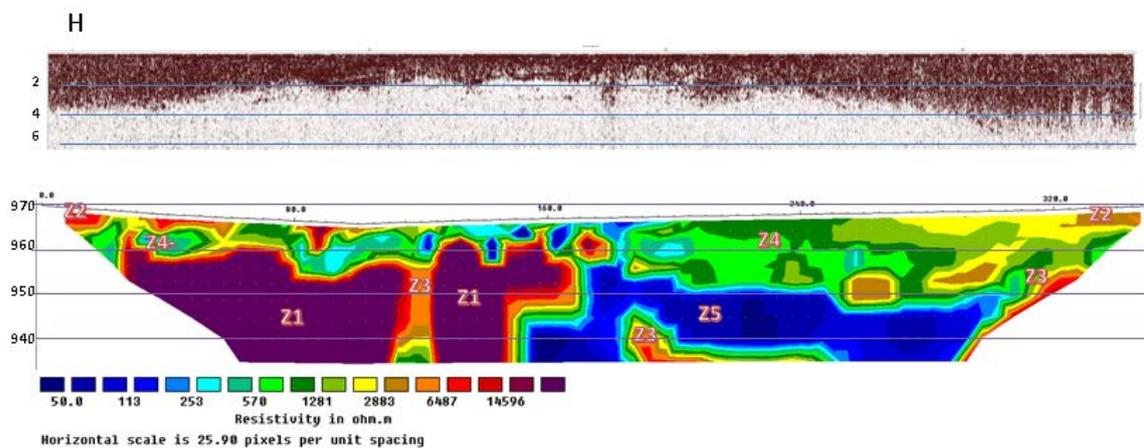


Figura 4.4.20 – GPR e Eletroresistividade de perfil H-H', Depressão seca e intermitente (D2). Elaborado pelos autores.

Portanto, é observado comportamento geral semelhante para a depressão aberta. Os solos (Z2) secos se apresentam com até 5 metros de espessura, adelgando em direção ao centro da depressão, onde predominará um solo saturado.

Após 10-20 metros de solo e saprólito saturado (Z4), apresenta-se embasamento maciço (Z1). No entanto, este possui comportamento variado. Hora apresenta-se ao sul da depressão, hora ao norte. Inclusive, em linhas paralelas, o mesmo bloco não surge, indicando que o mesmo não é espesso. Entre a superfície do solo e este embasamento, há outros blocos mais intemperizados (coloração avermelhada e amarelada).

Os perfis de GPR, no entanto, mostram que o solo é menos homogêneo nesta depressão que na depressão aberta. Na vertente norte da depressão (note que os perfis F-F' e G-G' possuem sentidos opostos) o solo apresenta-se com uma camada de sinal mais fraco, rodeada por um sinal mais forte. Trata-se provavelmente de um horizonte plúntico mais desenvolvido do que na depressão aberta, dado provável maior gradiente do lençol freáticos nas estações secas e úmidas. Se considerar todos os perfis em conjunto, se verá que as zonas de material mais intemperizado ou argiloso formam um núcleo cilíndrico no interior da dolina, enquanto que as zonas de maior resistência estão nas bordas.

### **Depressão fechada e seca (D3)**

A próxima depressão é fechada e seca em superfície durante o tempo desta pesquisa. Percebe-se nesta pequena direção, voltada à drenagem mais próxima, contudo esta é mais circular e possui área menor que as depressões anteriormente apresentadas, tendo seu maior eixo com cerca de 400 m e o menor com cerca de 200 m (**Figura 4.4.21 e 4.4.22**).

Também não foi encontrado o lençol freático nem mesmo nas tradagens ou abertura de trincheira, apesar de possuir horizontes com sinais de hidromorfismo, mas sem apresentar um nítido horizonte glei.

Na representação da Transepto, diferentemente das outras, iremos apresentar algumas tradagens, por serem interessante por demonstrar variação lateral do solo de forma bastante nítida (**Figura 4.4.23**).



Figura 4.4.21 – Detalhe da depressão fechada (D3). A) Localização das trincheiras (T), e tradagens. B) Bloco diagrama mostrando a forma da depressão. Elaborado pelos autores. Datum WGS 84.

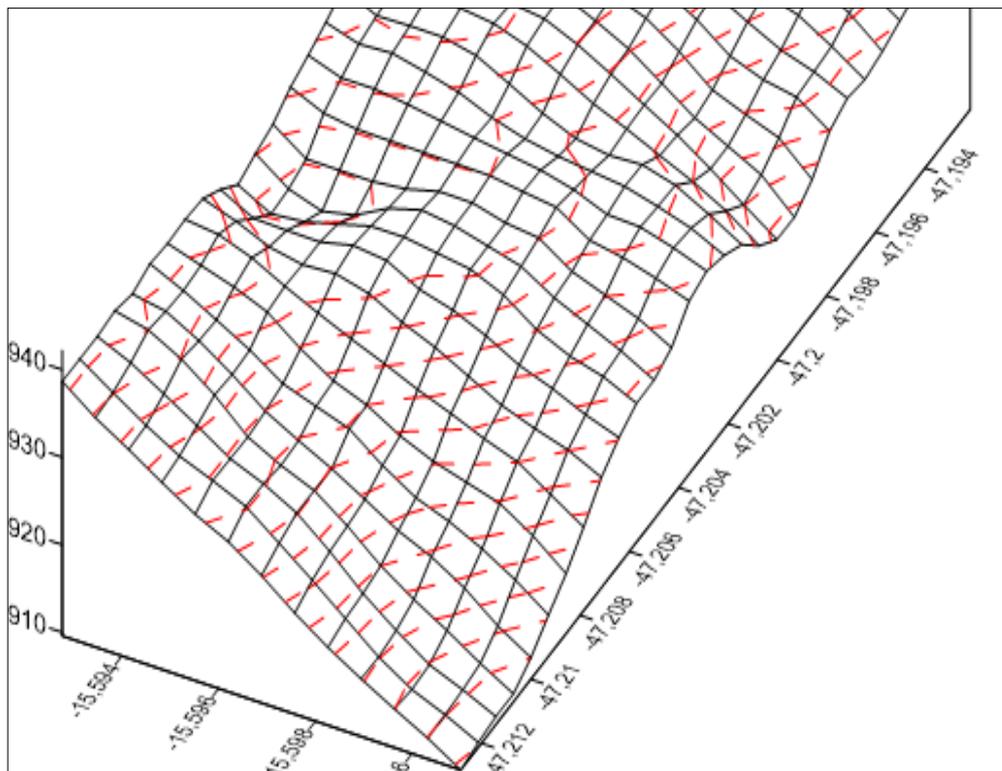


Figura 4.4.22. B) Bloco diagrama mostrando a forma da depressão D3. Elaborado pelos autores. Datum WGS 84.

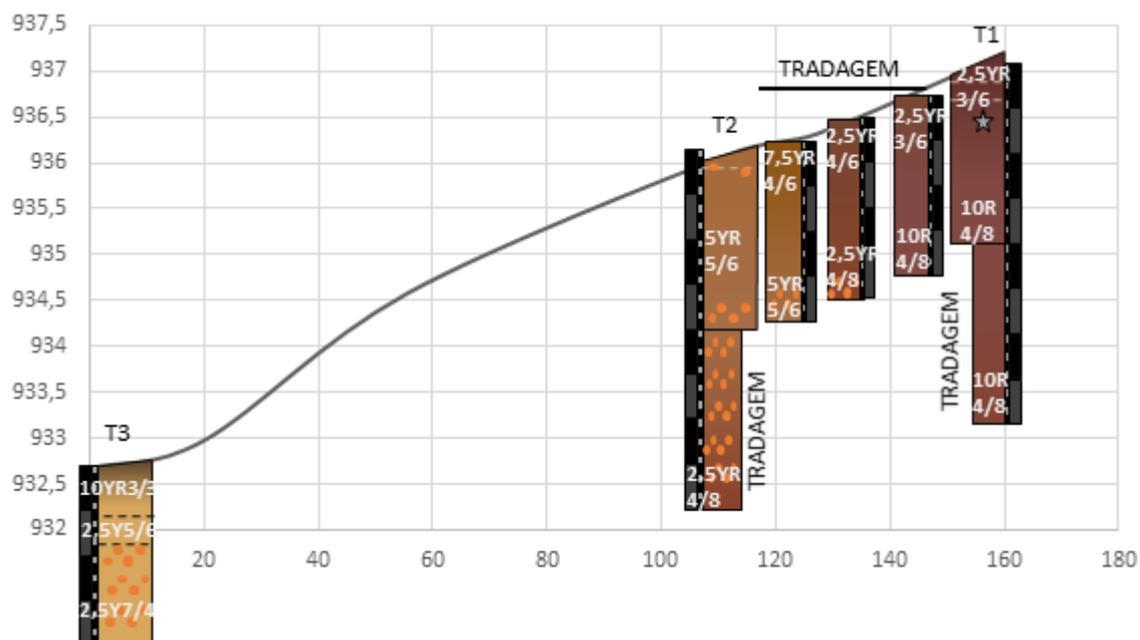


Figura 4.4.23 – Transepto da depressão fechada e seca (D3). Elaborado pelos autores.

No solo analisado para esta depressão temos a mesma perda de tonalidade vermelha apresentada dos demais transeptos. No entanto, esta se diferencia por possuir a maior mudança, que se apresenta gradual, em um menor espaço (**Figura 4.4.24**), mudando-se da cor Vermelho na T1 para cor Vermelho-Amarelo (T2), em menos de 70 metros de distância, e Amarelo-Claro-Acinzentado na T3, com 110 metros de distância.

A transição entre todos os horizontes também se apresenta como gradual e estrutural, com exceção do último perfil analisado. Neste, a transição é difusa para os horizontes superiores, delimitando um horizonte com estrutura blocosa (superior) e estrutura maciça (inferior), a partir de 60 cm.

Um horizonte mosqueado espesso, com mais de 2 metros, foi delimitado na T2. O mesmo, de acordo com tradagens realizadas a montante, possivelmente segue a declividade da vertente. Este, diferentemente do que ocorre nos demais transeptos, não foi acompanhado por plintitas ou pequenos agregados.



Figura 4.4.24 – Fotografias evidenciando a coloração da cobertura pedológica na depressão fechada e seca (D3). Partindo-se da direita: T1, T2 e T3

### Análises Laboratoriais

Os resultados das análises laboratoriais são melhores expressos em forma de gráficos, apresentados em conjunto para cada Transepto (**Figura 4.4.25, 4.4.26 e 4.4.27**, respectivamente). Neste, destacamos o conteúdo, em porcentagem, de  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $Fe_2O_3$ , principais elementos insolúveis de relevo cárstico (PILÓ, 2000). Nota-se ainda, que a química foi realizada em horizontes diagnósticos, enquanto que a SM e a granulometria ocorreram em intervalos sistemáticos. Nas tabelas **4.4.4, 4.4.5 e 4.4.6** apresenta-se o resultado completo da química para cada Transepto.

Lateralmente, seguindo à vertente, há uma diminuição dos valores da xLF, o que indica uma discreta perda do ferro por lixiviação. A trincheira mais a montante, com valores que se aproximam das tradagens em solo sem couraça, verticalmente também possui diminuição da SM, indicando mesma lixiviação.

Contudo, nas baixas vertentes, apesar de valores menores, dentro de cada perfil, em profundidade, há um discreto aumento nos valores da SM, associados à presença de mosqueamento. Há desta forma um claro comportamento de transporte de sesquióxidos em alta vertente que se acumulam na depressão.

No geral, todos os perfis demonstraram predominância de argila, sendo todo o solo da região, portanto, argilosos. Há algumas variações na quantidade de areia, sendo que a mesma diminui ou aumenta em relação à argila, enquanto que o silte se mantém estável, apesar de não existir mudanças significativas na textura do solo. Este, portanto, apresentam uma matriz essencialmente homogênea.

### D1 Química

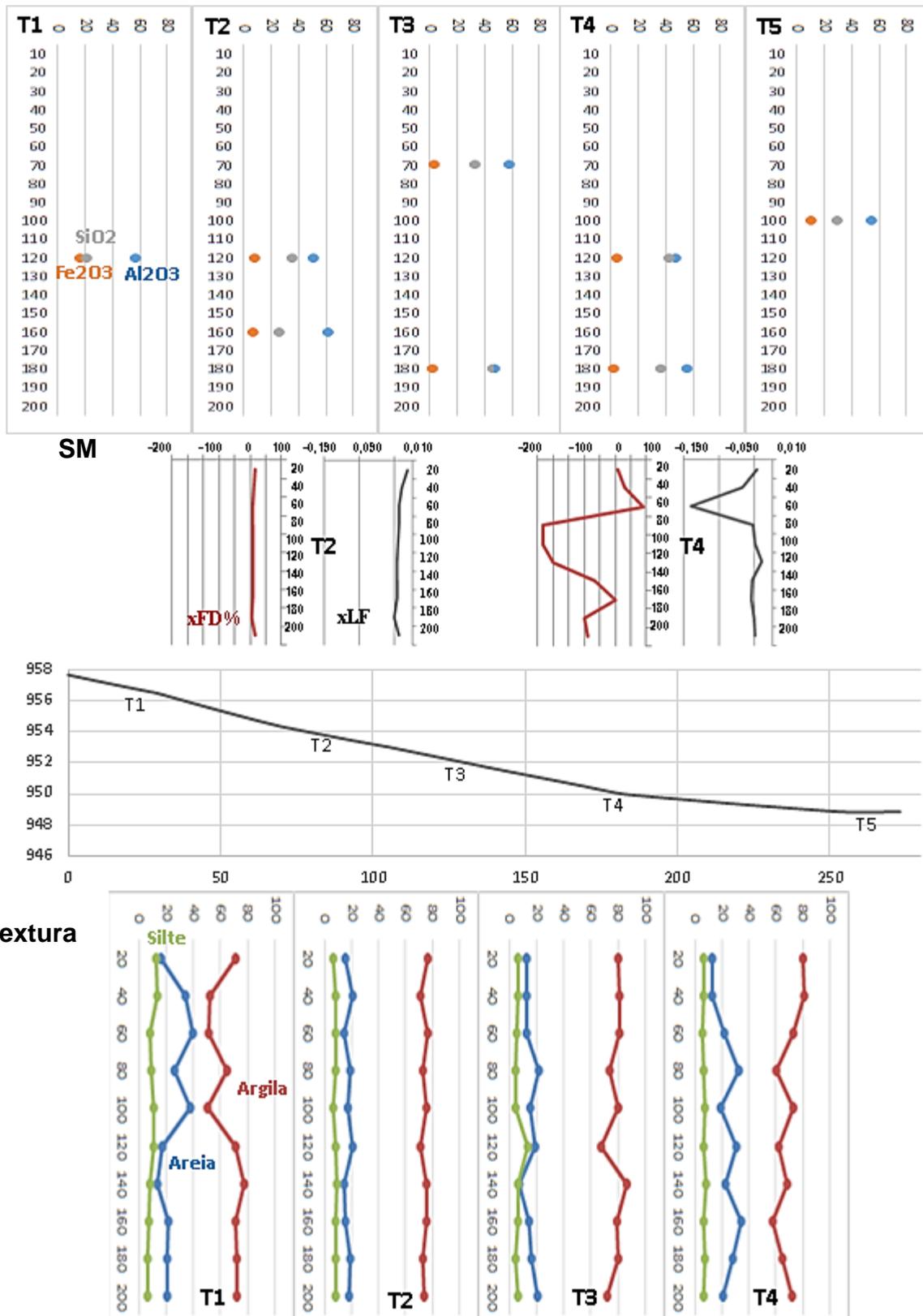
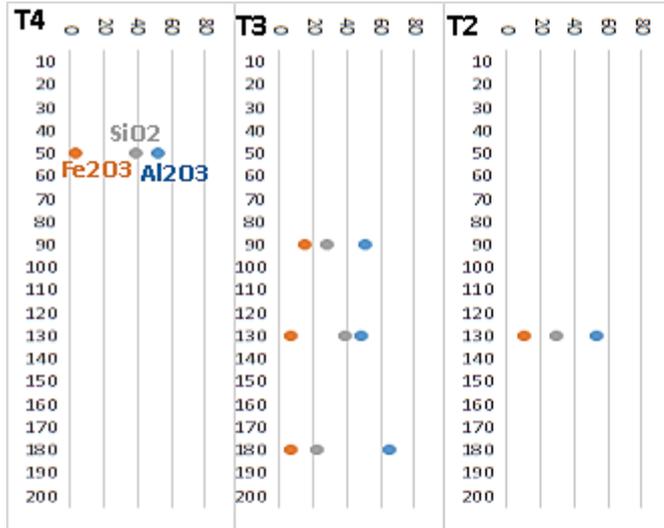
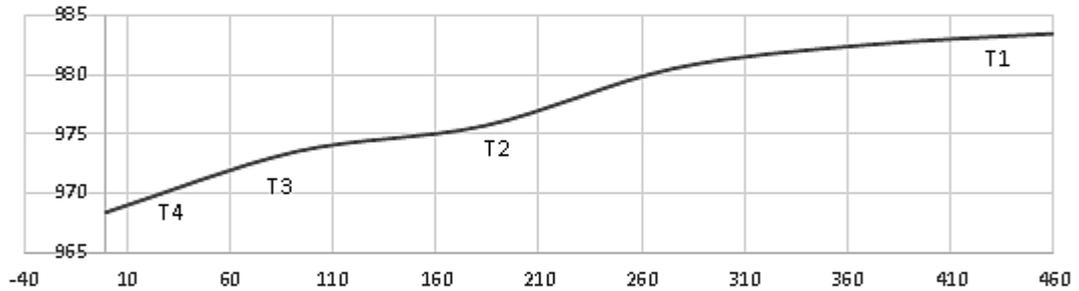
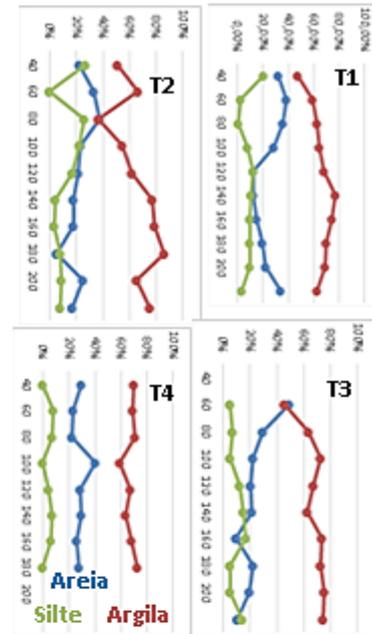


Figura 4.4.25. Conjunto de análise química para Depressão Aberta (D1), com base na análise de ICP, SM e Granulometria. Elaborado pelos autores.

D2 - Química



Textura



SM

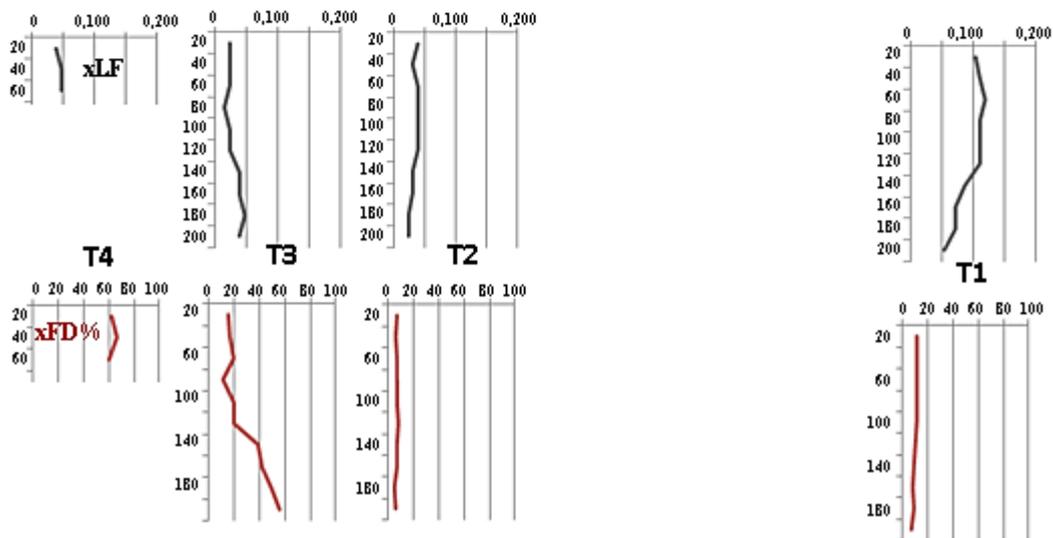
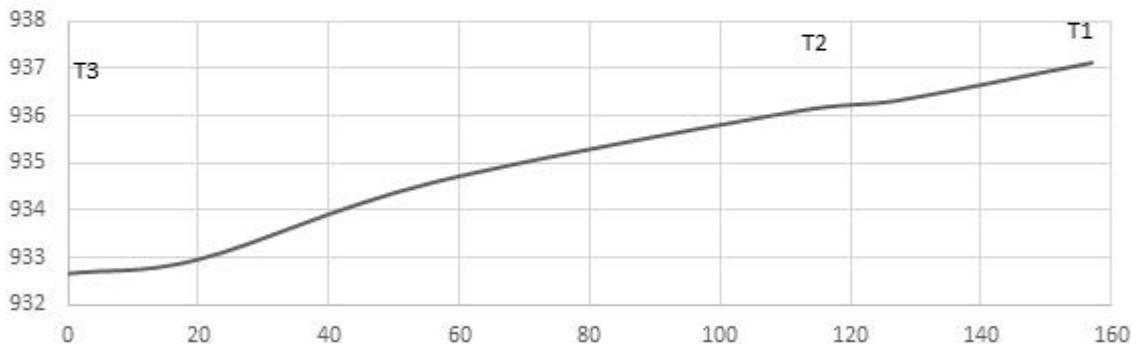
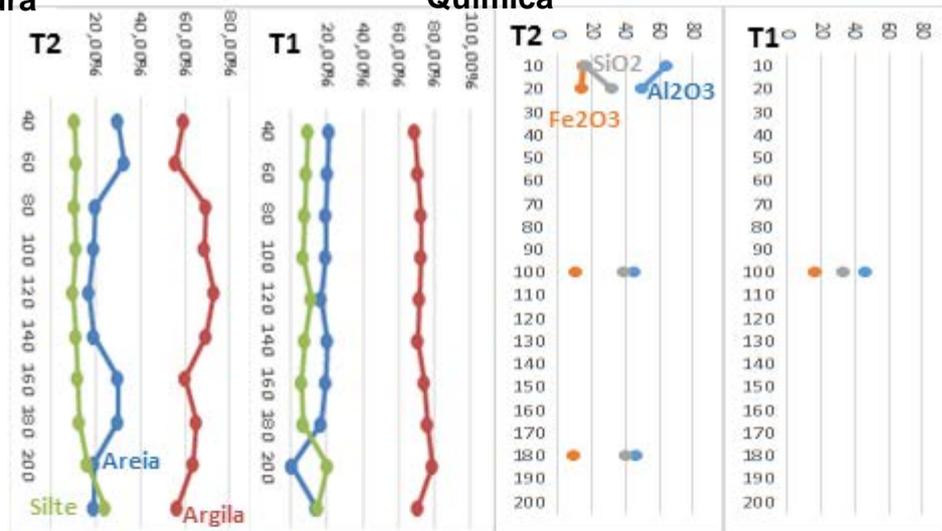


Figura 4.4.26. Conjunto de análise química para Depressão Fechada e Intermitente (D2), com base na análise de ICP, SM e Granulometria. Elaborado pelos autores.

D3 - Textura

Química



SM

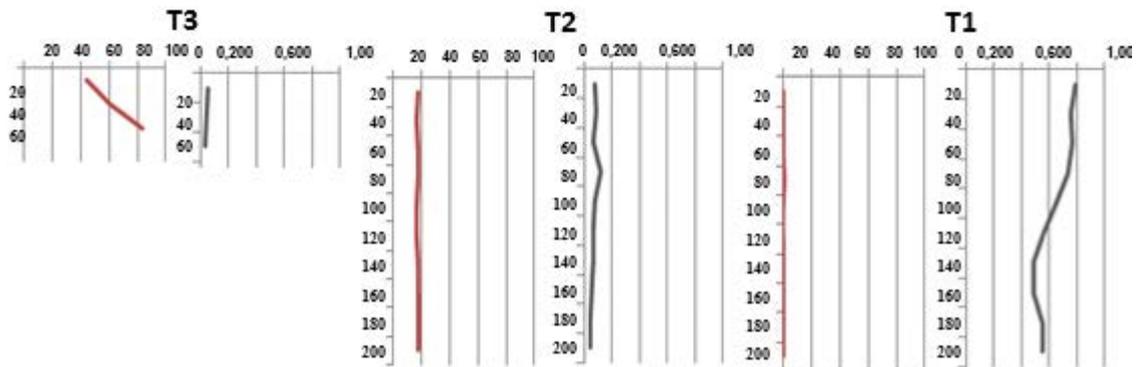
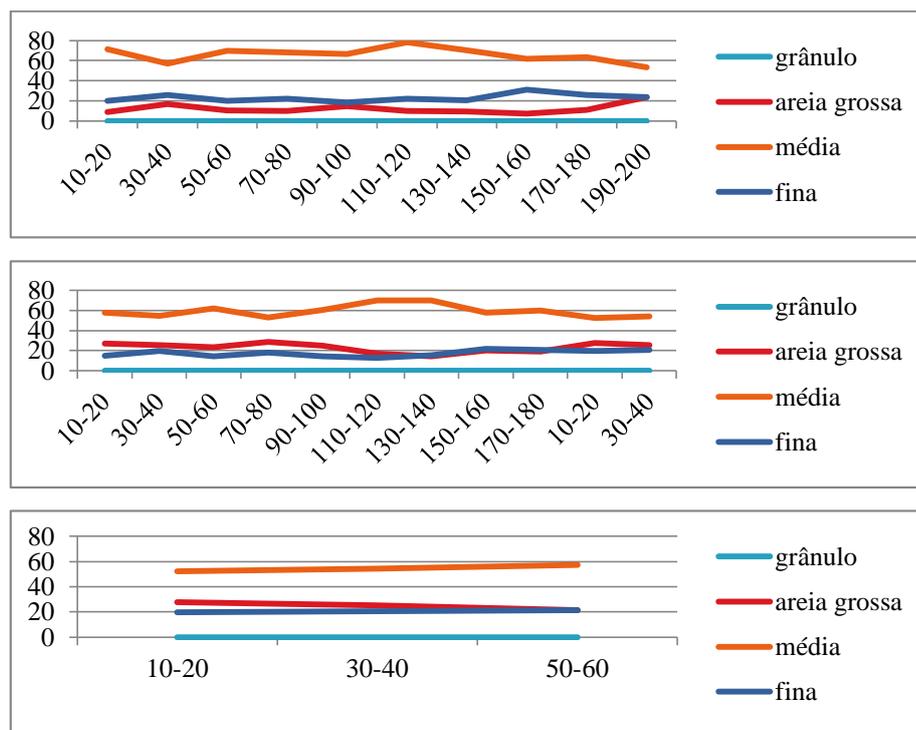


Figura 4.4.27. Conjunto de análise química para Depressão Fechada e Seca (D3), com base na análise de ICP, SM e Granulometria. Elaborado pelos autores.

Dentro da fração areia também não há mudanças significativas. Em todos os perfis há predominância de areia média (60% da fração total, em média), seguido ou de areia fina, nas altas vertentes, ou de areia grossa, nas baixas vertentes. Exemplifica-se isso na sequência de gráficos a seguir (Figura 4.4.28).



4.4.28 –Fração areia na vertente. Alta vertente (T1), baixa vertente (T3) e próximo à depressão (T4) fechada e intermitente (D2). Elaborado pelos autores

Nota-se na figura acima, na trincheira 3, que não há diferenciação na areia acima de 80 cm, nível com presença de uma pequena linha de carvão. Na análise da SM deste mesmo perfil, o comportamento tanto da xFD% quanto da xLF se mantém estável, mudando, posteriormente aos 80 cm, para uma tendência crescente. Contudo, esta mudança possivelmente está mais relacionada ao processo de mosqueamento no solo.

O elemento de maior presença nos solos estudados é o  $Al_2O_3$ , o que é esperado para Latossolos bastante intemperizados e lixiviados, inerente ao próprio desenvolvimento tropical (THOMAS, 1994).

Em relação à química, o Ca se mantém estável em quase todos os perfis, aumentando muito discretamente apenas naqueles com algum grau de hidromorfismo conforme se desce em profundidade, o que poderia estar associado a maior presença de componentes orgânicos. Os solos na depressão aberta, que se mantém mais úmida por mais tempo, corrobora essa hipótese. Contudo, pela alta dinâmica da dissolução e mobilidade deste elemento, raramente ele apresenta-se em frações significativas em solos, mesmo derivados de rochas carbonáticas (PILÓ, 2000).

O elemento  $Fe_2O_3$  se mantém com comportamento semelhante em todas as depressões, decaindo conforme se aprofunda no perfil e em direção à jusante da

vertente. Isto é evidenciado na Depressão Aberta (**Tabela 4.4.4**). De maneira geral, este comportamento do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é inversamente proporcional ao comportamento do  $\text{SiO}_2$ .

Na depressão fechada e seca os valores do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são discretamente maiores do que nas demais nos perfis próximos a depressão, o que está de acordo com os resultados da SM e da própria morfologia do solo. A morfologia do solo indica também que provavelmente o ferro se transforme de hematita, em solos de coloração vermelha, para goethitas, em solos de coloração amarelada.

Observa-se que a acumulação de ferro pode ocorrer por dois motivos principais, ambos expressos, mesmo que em pequenas proporções, na bacia do alto Rio Preto. O primeiro motivo é a importação de sesquióxidos (acumulação absoluta) e o segundo se dá pela lixiviação de elementos não sesquióxidos (acumulação relativa) (ALVES, 2005). Nas altas vertentes, sobretudo nos divisores e rebordos da bacia, conforme prospecção já apresentada, o mais provável é que ocorra o segundo caso.

Contudo, nas depressões ocorre importação de sesquióxidos, cuja eluviação de material cimentante permite a criação de pequenas plintitas e intenso mosqueamento no solo. Esta acumulação pode inclusive permitir a comaltação do fundo de acumulação, o que permitiria a própria manutenção das depressões. Se pensarmos a construção-destruição de couraças de modo cíclico (TARDY, 1993; MARTINS *et al*, 2004), se poderia inferir que em fases secas, ou com o drástico rebaixamento do lençol freático, o ferro e alumínio presente nas depressões poderiam formar couraças, que em nova fases úmidas, voltaria a ser destruída.

Tabela 4.4.2 – Resultados da química do solo, em porcentagem, por ICP-AES, para a depressão aberta e intermitente (D1).

Depressão	D1								
	T1 120-130	T2 120-130	T2 160-170	T3 70-80	T3 70-80 b	T3 180-190	T4 120-130	T4 180-190	T5 90-100
Horizonte:	<i>B<sub>w</sub></i>	<i>B<sub>w1</sub></i>	<i>B<sub>w2</sub></i>	<i>B<sub>w</sub></i>	<i>B<sub>w</sub></i>	<i>C</i>	<i>C<sub>g</sub></i>	<i>C<sub>f</sub></i>	<i>C<sub>gf</sub></i>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	57,17	51,28	61,43	57,61	59,27	47,16	47,83	55,73	54,57
<b>CaO</b>	0,0109	0,0109	0,0144	0,0107	0,0110	0,0102	0,0144	0,0107	0,0082
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16,58	8,02	7,53	3,53	3,63	1,68	4,70	2,25	10,08
<b>MgO</b>	0,0215	0,0263	0,0434	0,0334	0,0343	0,0469	0,0638	0,0461	0,0192
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,0029	0,0028	0,0031	0,0025	0,0026	0,0033	0,0037	0,0032	0,0029
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,0532	0,0697	0,1177	0,0785	0,0808	0,1224	0,1475	0,1045	0,0524

TiO2	3,43	3,40	3,13	3,05	3,14	2,61	3,40	3,65	3,09
SiO2	20,90	35,34	25,75	32,81	30,95	46,50	42,17	36,20	29,42
<i>total</i>	<i>98,16</i>	<i>98,16</i>	<i>98,02</i>	<i>97,13</i>	<i>97,13</i>	<i>98,13</i>	<i>98,33</i>	<i>97,99</i>	<i>97,24</i>
Li	13,69	16,54	17,59	20,12	20,70	28,37	41,06	40,98	10,07
P	334,18	267,99	250,28	248,73	255,91	208,51	214,73	187,33	308,94
V	239,46	234,66	250,85	218,88	225,20	267,90	296,23	260,80	218,91
Cr	148,93	172,75	165,15	162,06	166,74	155,72	151,72	168,31	151,60
Mn	56,72	33,32	48,81	23,21	23,88	17,82	19,75	10,83	48,04
Co	26,27	28,59	28,94	26,97	27,75	29,03	30,09	29,86	29,63
Ni	13,13	15,36	17,03	16,58	17,06	18,48	23,20	21,07	12,08
Cu	32,69	43,72	43,13	59,25	60,96	58,07	95,30	99,81	30,20
Zn	<LQ								
Sr	58,6773	59,0796 08	62,1444 98	57	58,2336 57	58,7258 98	46,0802 32	54,1503 82	61,8463 1
Mo	15,0884 49	14,6517 43	15,0395 36	13	13,1935 63	11,8771 48	9,09065 81	11,4154 86	15,5334 92
Cd	194,193 92	197,562 21	209,418 45	230	236,346 75	200,261 91	174,603 33	190,258 1	209,989 8
Pb	<LQ	<LQ	9,64800 43	<LQ	<LQ	11,5472 27	20,0621 42	14,9279 43	<LQ
Zr	29,3386 5	26,9403 01	28,6602 48	34	34,5762 34	27,3834 24	41,3781 68	24,8799 05	27,0397 82
Ba	350,666 72	376,218 94	388,474 06	346	355,998 72	400,193 9	393,406 07	372,320 46	355,832 03
<i>Perda ao Fogo</i>	<i>1,83939 81</i>	<i>1,84447 23</i>	<i>1,97625 78</i>	<i>2,87405 25</i>	<i>2,87405 25</i>	<i>1,86561 55</i>	<i>1,66820 67</i>	<i>2,00607 19</i>	<i>2,75928 75</i>

Tabela 4.4.3 – Resultados da química do solo, por ICP-AES, para a depressão fechada e intermitente (D2).

Depressão	D2	D2	D2	D2	D2
Trincheira	T2 (Topo)	T3	T3	T3	T4 (Base)
Horizonte	Bw1	Bw1	Bw1	Bw2	C
Profundidade (cm)	130-140	80-90	130-140	180-190	50-60
Al2O3	53,77	50,53	48,45	64,82	51,68
CaO	0,0101	0,0082	0,0098	0,0083	0,0090
Fe2O3	10,01	15,65	6,95	7,09	3,60
MgO	0,0182	0,0244	0,0252	0,0235	0,0318
Na2O	0,0029	0,0027	0,0031	0,0029	0,0029
K2O	0,0525	0,0588	0,0738	0,0716	0,0754
TiO2	3,24	2,96	3,03	3,49	3,40
SiO2	29,77	28,58	38,75	22,38	38,63
<i>total</i>	<i>96,88</i>	<i>97,82</i>	<i>97,30</i>	<i>97,89</i>	<i>97,43</i>
Li	10,73	12,66	13,65	12,32	18,69
P	290,59	358,25	300,30	270,72	273,03
V	214,90	247,02	217,84	212,80	225,53

<b>Cr</b>	157,47	141,16	164,91	149,38	162,21
<b>Mn</b>	46,69	51,84	40,95	30,92	28,55
<b>Co</b>	29,58	25,07	30,36	30,92	30,88
<b>Ni</b>	11,60	17,77	13,65	13,89	16,09
<b>Cu</b>	29,00	33,59	35,38	35,38	47,49
<b>Zn</b>	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
<b>Sr</b>	62,64184 9	56,949348	61,00716 4	61,848017	60,211075
<b>Mo</b>	15,37045 4	15,332517	14,48571 9	14,937869	13,755116
<b>Cd</b>	208,2261 5	196,40224	205,3072 1	205,46121	205,02909
<b>Pb</b>	<LQ	<LQ	7,521431 2	7,0758325	7,7859149
<b>Zr</b>	26,68078 8	37,236112	27,02143 8	26,992991	26,472111
<b>Ba</b>	340,1800 4	307,62383	379,9715 6	375,28119	398,37931
<i>Perda ao Fogo</i>	3,117512 4	2,1848722	2,701753 5	2,1095691	2,5712412

Tabela 4.4.4 – Resultados da química do solo, por ICP-AES, para a depressão fechada e seca (D3).

<b>Depressão</b>	<b>D3</b>	<b>D3</b>	<b>D3</b>	<b>D3</b>	<b>D3</b>
<b>Trincheira</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T1</b>
<b>Horizonte</b>	<b>A</b>	<b>AB</b>	<b>Bw1</b>	<b>Bw2</b>	<b>Bw1</b>
<b>Profundidade (cm)</b>	<b>10-20</b>	<b>20-30</b>	<b>100-110</b>	<b>180-190</b>	<b>100-110</b>
<b>Al2O3</b>	64,70	49,68	45,32	46,08	46,39
<b>CaO</b>	0,0085	0,0088	0,0086	0,0121	0,0086
<b>Fe2O3</b>	14,78	13,58	10,60	9,61	16,58
<b>MgO</b>	0,0242	0,0246	0,0234	0,0220	0,0214
<b>Na2O</b>	0,0028	0,0028	0,0029	0,0030	0,0029
<b>K2O</b>	0,0643	0,0595	0,0522	0,0540	0,0484
<b>TiO2</b>	2,51	2,81	2,44	2,51	2,36
<b>SiO2</b>	16,17	31,50	39,62	40,35	33,02
<i>total</i>	<i>98,27</i>	<i>97,67</i>	<i>98,08</i>	<i>98,64</i>	<i>98,43</i>
<b>Li</b>	13,02	13,59	13,05	12,80	11,13
<b>P</b>	359,98	362,22	350,59	283,12	299,73
<b>V</b>	261,95	241,48	237,78	302,18	227,36
<b>Cr</b>	147,71	139,71	132,52	148,81	168,47
<b>Mn</b>	60,57	51,27	43,21	34,71	65,04
<b>Co</b>	23,64	24,61	23,20	22,48	21,39
<b>Ni</b>	16,74	17,18	15,37	13,37	13,48
<b>Cu</b>	33,47	33,58	31,61	31,01	29,30
<b>Zn</b>	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
<b>Sr</b>	54,72706	56,396043	53,646432	49,794412	49,809106

<b>Mo</b>	14,345928	14,355356	13,339113	11,666119	13,184763
<b>Cd</b>	190,74772	192,00289	185,0077	172,71547	180,48476
<b>Pb</b>	5,0476415	<LQ	5,7996143	5,6907899	<LQ
<b>Zr</b>	37,458813	36,401082	33,347782	40,120069	34,573379
<b>Ba</b>	315,0791	322,48283	320,71867	304,45726	290,35779
<i>Perda ao Fogo</i>	1,7320282	2,3309214	1,9244345	1,3581156	1,5691077

#### 4.5 Conclusão

---

Há uma menor espessura para a cobertura pedológica em alta vertente, composta por couraças. Esta cobertura pedológica se torna mais espessa em média vertente, compondo Latossolos Vermelho, mais escuros, de textura argilosa. Em baixa vertente, isto é, próximo a depressões e drenagens, o solo passa gradualmente a uma coloração Vermelho-Amarela, aliada a transformação de hematita em goethitas em ambientes úmidos e saturados, se mantendo argilosos.

Contudo, há exceções para este caráter geral. Em uma sequência em alta vertente, observa-se colapso da couraça, originando solo friável, semelhante ao sinal no GPR de Latossolos. Já em um perfil em média vertente, temos o oposto: presenças abruptas de couraça e um encurtamento dos Latossolos.

Estes momentos de descontinuidade podem ser interpretados como ocasionados por irregularidades também no embasamento geológico, como em fraturas, ou por intemperismo diferencial. Inclusive, podem ser momentos diferentes da própria gênese do solo. O colapso da couraça em alta vertente se degradando no que pode ser uma possível fratura, seria o início da formação de Latossolos. Enquanto que a presença de couraças em baixas vertentes, como manchas isoladas, é um resquício ainda resistente ao intemperismo atual.

De qualquer modo, pode-se observar uma relação entre Cerrado-Latossolos e Campo-Couraças. Isso indicaria que a própria vegetação participa da degradação das couraças ou que, ainda, ambas refletem conjuntamente algum outro fator condicionante, com uma descontinuidade litológica. A orientação destas “faixas” de Cerrado na mesma direção NW-SE que as depressões e que as estruturas da região externa da Faixa de Dobramentos de Brasília, seria uma possível indicação de que há uma correlação entre estes elementos.

Na região, não foi observada depressão próxima a uma couraça ou fora de uma área de Cerrado Típico – relacionadas a um ambiente, portanto, mais úmido. Não se pode dizer que este panorama seja o mesmo para depressões em outras áreas na bacia do alto Rio Preto, mas, localmente, é um indicativo para que possa ser pensado em modelo de que há uma relação com a destruição de couraças, seguida da produção de Latossolos e, a partir destes, da formação de depressões.

Essa “destruição” da couraça estaria relacionada a condições hídricas, tais como mudanças climáticas tendendo a um aumento da umidade, ou a processos incisivos de drenagem já instalada, que destruiria as couraças em baixa vertente, expondo o calcário. De qualquer forma, ocorreria aumento na umidade do solo e seu consecutivo avanço de vegetação arbórea. Esta umidade ainda se concentraria em fluxos hídricos preferenciais ocasionados por descontinuidade ou fraturas no embasamento geológico, ou mesmo pela convergência de águas subterrâneas no centro das dobras sinclinais, de formação carbonática em contraposição às cristas de formação pelítica.

Portanto, nestes ambientes, se dissolveria mais intensamente as rochas do Grupo Bambuí, já próximas a drenagem (seja em falhas, ou em sinclinais, ou por erosão das couraças por dissecação fluvial), ocorrendo em seguida a subsidência da cobertura pedológica, originando rasas, largas e circulares depressões.

As depressões passariam a desencadear um fator cíclico, com a concentração de sesquióxidos, convergindo a migração lateral de todo o plasma dos solos à montante. A depender da sazonalidade do lençol freático e do ambiente redutor, este material iluviado cria intenso mosqueamento e horizontes plíntico. Em um futuro rebaixamento geral do lençol freático e instalação de condições oxidantes, conclui-se que, possivelmente, este material voltaria a se endurecer, reestabelecendo a formação de couraças.

#### 4.6 Referências bibliográficas

---

AB'SÁBER, A. N. Os baixos chapadões do oeste paulista. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 17, p. 1–8, 1969.

ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M. REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de Métodos para**

**Análise Granulométrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2012 (Comunicado técnico 66). 11 p.

ALVES, G. B.; QUEIROZ NETO, J. P.; NAKASHIMA, M. R. e SILVA, J. P. - AS Couraças e seu papel no estudo da evolução do relevo em Maracá, SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.34-39, 2014.

ALVES, G. B. **O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e evolução de depressões no sudoeste de Maracá (SP).** Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ARAUJO, A. G. M.; NEVES, W.; PILÓ, L. e ATUI, J. Holocene dryness and human occupation in Brazil during the Archaic Gap. **Quaternary Research**, v. 64, p. 298-307, 2005.

ARAUJO, A. G. D. M.; STRAUSS, A.; FEATHERS, J. K.; PAISANI, J. C. e SCHRAGE, T. J. Paleoindian Open-Air Sites in Tropical Settings: A Case Study in Formation Processes, Dating Methods, and Paleoenvironmental Models in Central Brazil. **Geoarchaeology**, v. 28, n. 3, 2013.

BARBERI, M., SALGADO-LABORIAU, M.L. e SUGUIO, .. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.13, p. 241–254. 2000

BEEUVAIS, A. e TARDY Y. Degradation and dismantling of iron crusts under climatic changes in Central Africa. **Chemical Geology**, v. 107, p. 277-280. 1991.

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19– 27, 2012

BIRKELAND, P W - **Soils and Geomorphology.** Nova Iorque: Oxford University Press. 1999.

BJÖRNBERG, A. J. S.; MACIEL, A. C.; GANDOLFI, N. Nota sobre os depósitos modernos na região de Rio Claro - São Carlos. **Pub. Esc. Eng. São Carlos**, n. 106, p. 21-36, 1964.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X. e LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **ORSTOM, Sér. Pédol**, v. 19, n. 4, p. 309-322, 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X. e LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **ORSTOM, Sér. Pédol**, v. 19, n. 4, p. 323-339, 1982b.

- BOULET, R.; HUMBEL, F. X. e LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie III. Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **ORSTOM, Sér. Pédol**, v. 19, n. 4, p. 341-351, 1982c.
- BRAUN, O. P. G. Contribuição à Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 32, n. 3, p. 3-39, 1970.
- BRUS, D.J. e GRUIJTER, J.J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil. **Geoderma**, v. 80, p. 1- 44, 1997.
- CAMPOS, J. E. G.; MONTEIRO, C. F. e RODRIGUES, L. N. **Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto**, DF/GO/MG. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 172, 2006.
- CHAVES, J. M.; SANO, E. E.; GUIMARÃES, E. M.; SILVA, A. B. e MENESES, P. R. Sinergismo entre dados ópticos e de radar no estudo geológico da região de Bezerra-Cabeceiras, Goiás. **Brazilian Journal of Geology**, v.33, n.2, p.137-146, 2003.
- COELHO NETTO, Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V.4, N. 2, p. 118-167, 2003.
- COLTRINARI, L. Paleosurfaces in southeastern Brazil: São José dos Campos plateau landform evolution, **Geociências**, v. 30, n. 1, p. 113-120, 2011.
- COSTA NETO, S. M. **Ritmito superior do grupo Paranoá e fim da deposição na margem passiva**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- DEARING, J. **Environmental magnetic susceptibility: Using the Bartington MS2 System**. 2.ed. Kenilworth: Chi Publishing, p.54, 1999.
- DEARING, J. DANN, R. J. L.; HAY, K. LEES, J. A.; LOVELAND, P. L.; MAHER, B. A.. e O'GRAY, K. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. **Geophysical Journal International**, v. 124, N. 1, p.288-240, 1996.
- DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. Carta topográfica, **CÓRREGO POÇÕES** - SD-23-Y-C-V-2-NO - 25.000, 1979
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE SOLOS). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

- FABRI, F.; AUGUSTIN, C. H. R. R. e AULER, A. S. Relevo Cárstico em Rochas Siliciclásticas: Uma revisão com base na literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 3, p.339-351, 2014.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R. **História do fogo no Cerrado**: uma análise palinológica. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- FILIZOLA, H. F. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté - SP**. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- FILIZOLA, H. e BOULET, R. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. **Comptes Rendus de l' Academie des Sciences de Paris**, v. 312, n. 2, p. 693-700, 1993.
- GUIMARÃES, E. M.; **Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra – Cabeceiras (GO)**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- HOLE, F. D - A classification of pedoturbations and some other processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. **Soil Science**, v. 91, p. 375–377, 1961.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica, **FORMOSA** - SD-23-Y-C-V-1-NE - 25.000, 1985
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica, **FORMOSA** - SD-23-Y-C-V – 100.000, 1990.
- JOHNSON, D. L. - Darwin Would Be Proud: Bioturbation, Dynamic Denudation, and the Power of Theory in Science. **Geoarchaeology**, v. 17, n. 1, pp. 7-40. 2002
- JOHNSON, D. L., WATSON-STEGNER, D.; JOHSON, D.N.; e SCHAETZLI, R.J -. Proistropic and proanisotropic processes of pedoturbation. **Soil Science**, v. 143, 278–292, 1987
- JORDANOVA, D.; JORDANOVA, N. e PETROV, P. Exploring the link between magnetic signature and physical/chemical parameters of anaerobic soils. **Geophysical Research Abstracts**, v. 12, 2010.
- LEDRU, M.P. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, p. 90–98. 1993
- LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; e ANJOS, L. H. C - **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa: SBSC/SNLCS, 2005.

- MAHER, B. A. e THOMPSON, R. **Quaternary Climates Envorionments and Magnetism**. Cambridge: Cambridge University Press, 2ed. 2001.
- MAIGNIEN, R. Différents processus de cuirassement en AOF. In : Comptes rendus de la 2e conférence interafricaine des sols. sl : sn, 1954, p. 1469-1486. **Conférence Interafricaine des Sols**, 2. Léopoldville (ZAR), 1954/08/09-14. MILLOT, G. Géologie des argiles: altérations, sédimentologie. 1964.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A. e GUIMARÃES, R. F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 122, 2004a.
- MEYSMAN, F. J. R.; MIDDELBURG, J. J. e HEIP, C. H. R. - . Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 21, p.688–695, 2006.
- MIKLÓS, A. A. W - **Biodynamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu (Brésil – SP)**. VI e VII. Tese (Doutorado), Université Paris VI, Paris, 1992.
- MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; FILHO, J. V. L.; COSTA, H. F. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Texto explicativo do mapa geológico. Escala 1: 500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL, 141 p. 2008. Anexo 1 Mapa
- NOVAES PINTO, M. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. **Revista brasileira de Geografia**, v. 49, n. 2, p. 9-27, 1987.
- PAISANI, J.C.; PONTELLI, M. E. e GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem na bacia do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): Distribuição Espacial, Propriedades Morfológicas e Controle Estrutural. **RA'E GA**, v 16, p. 211-219, 2006
- PEACOCK, E. e FANT, D.W - Biomantle formation and artifact translocation in upland sandy soils, an example from the Holly Springs National Forest, North–Central Mississippi, U.S.A. **Geoarchaeology** v.17, 2002, p. 91–114, 2002.
- QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. Coimbra, 2010
- SALGADO-LABORIAU, M. L. Alguns aspectos sobre a paleoecologia do cerrado. IN: **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. SOUSA-SILVA, A. S. J. e FELFILI, M. J. (Org.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 107-121, 2005.
- SALGADO-LABORIAU, M.L.; CASSETI V.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; MARTIN, L.; SOUBIES, F.; SUGUIO, K. e TURCQ, B. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 128, 215– 226, 1997.

- SALGADO-LABORIAU, M. L.; BARBERI, M., FERRAZ-VICENTINI, K.R., PARIZZI, M.G., A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 99, p. 115-129, 1998.
- SALGADO-LABORIAU, M. L e FERRAZ-VICENTINI, K. L. Fire in the Cerrado 32.000 years ago. **Curr. Res. Pleist**, V. 11, p. 85-87, 1994.
- SCHRAGE, T. J; NORONHA, E. e UAGODA, R. Considerações iniciais sobre a distribuição de dolinas e sua relação com a hidrografia, relevo e litologia na bacia do alto Rio Preto, Goiás. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.101-106, 2014.
- SILVA, C. R. D, (Coord.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. Fase I. Coord. SILVA, C. R. D. CPRM; EMBRAPA; SCO-MI. Rio de Janeiro, p. 324. 2003.
- SMITH, D. L e RANDAZZO, A. F. valuation of electrical resistivity methods in the investigation of karstic features, El Cajon Dam Site, Honduras. **Eng. Geology**, v. 22 n. 3, p. 217-230, 1986.
- TARDY, Y. Petrologie des laterites et des sols tropi- caux. **Masson**, Paris, p. 461, 1993.
- TARDY, Y. e NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe<sup>3+</sup>-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. **American Journal. Scientia**, v. 285, n. 10, p. 865-903, 1985.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**: A study of weathering and denudation in low latitude. Nova Iorque, John Wiley & Sons, p. 460, 1994.
- THOMAS, M. F. Landscape sensitivity to rapid environmental change a Quaternary perspective with examples from tropical areas. **Catena**, v. 55, p 107–124, 2004.
- TITE, M. S. e LININGTON, R. E. Effect of climate on the magnetic susceptibility of soils. **Nature**, v. 256, p. 565-566, 1975.
- UAGODA, R. E. **Evolução da paisagem em área cárstica não carbonática durante o quaternário tardio**: Bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, MG. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, v. 2, n. 12, p. 1-14, 2012.

## 5. Considerações Finais

---

A realização de análise que parte do geral (escala da bacia) para a escala local (entorno das depressões) permite que se pense em algumas relações entre o relevo, embasamento geológico, cobertura pedológica e vegetação na bacia do alto Rio Preto.

Por meio do mapeamento, foram delimitadas 177 depressões, que se mostram principalmente conectadas à drenagem (cabeceiras de drenagem) ou pelo menos próximas à drenagem. Também se percebe que as depressões possuem forma circular e se agrupam em baixas vertentes ou planícies aluviais, possuindo nítida direção NW-SE (lineamentos individuais), e N-S (lineamento do conjunto de depressões).

A direção N-S é a mesma dos dois principais rios na bacia, Rio Preto e Rio Bezerra, de modo que a maioria dos canais menores, de primeira e segunda ordem, convergem para eles. Estes possuem em sua maioria a direção NW-SE, assim como as depressões. Estas direções são equivalentes àquelas das estruturas da bacia do alto Rio Preto e, em escala mais abrangente, da região externa da Faixa de Dobramentos Brasília, nitidamente nas serras na depressão São-Franciscana, tal como nas do Vão do Paranã, ao norte de Formosa (GO) e nas cristas até Unaí (MG), no sul/sudeste da bacia.

Apesar disto, não é possível relacionar com precisão em qual embasamento as depressões se formam, isto é, se diretamente em depósitos cenozoicos ou se em substratos mais profundos. Os produtos geológicos cartográficos disponíveis tendem a generalizar o Grupo Bambuí para toda a região da Sub-Bacia do Rio Bezerra, onde se concentra justamente o maior sub-paralelismo na drenagem e nitidez direcional para as depressões.

Possivelmente, o mesmo sistema de falhas e dobras, que guiam as estruturas observadas no entorno da bacia do alto Rio Preto, também existam abaixo deste, mas apenas recoberta por material friável, seja solo ou outros depósitos ainda não erodidos. Em tais dobras sinclinais, encontra-se o Grupo Bambuí, carbonático em seu centro, e nas suas bordas há a exposição do Grupo Paranoá, que é pelítico.

Por outro lado, caso não exista este sistema de dobras na bacia do alto Rio Preto, pode-se pensar em um sistema de falhas de mesma direção, condicionado a um mesmo evento tectônico que originou os dobramentos nas áreas vizinhas à bacia. Seja como for, é neste local que se concentram os fluxos hídricos.

Neste trabalho, ao buscar este possível controle estrutural e fatores pedológicos na formação das depressões observadas na etapa do mapeamento, chegou-se à caracterização da cobertura pedológica do norte da bacia do alto Rio Preto, na região de cabeceiras do Rio Preto e Rio Bezerra. Neste local, há maior densidade de depressões na bacia, possivelmente protegidas de uma mais intensa dissecação que parte do nível de base da bacia – na confluência entre o Rio Bezerra e Rio Preto.

Assim, por meio de técnicas combinadas de geofísica e intervenção direta no solo – por meio de uma sintética Análise Estrutural da Paisagem – observou-se padrão na relação entre couraças, solos e depressões, no sistema de vertentes para esta região.

Nas altas vertentes e interflúvios tabulares, há a presença de um nível de couraça em profundidade rasa ou mesmo em superfície. Este nível é separado por outro de couraça através de um estrato que se interpreta neste trabalho estando constituído por saprólito fino que é composto de argilas e/ou goethita.

A possível presença de fraturas ou intemperismo diferencial permite a existência de pequenas manchas de solos mais desenvolvidos, com degradação das couraças em pequenas áreas. É marcante que esta cobertura pedológica é recoberta por uma vegetação de Campo, seja Campo Sujo ou Campo Limpo.

Em média vertente, há a presença de Cerrado Típico e profundos Latossolos, de até 6 metros. O nível superior das couraças presentes em alta vertente são, nesta região, degradadas. Interpreta-se, portanto, que estes solos possam ser originados das próprias couraças. O contato dos Latossolos com o saprólito é bastante delimitado – como é esperado para elúvios sobre rochas carbonáticas. No entanto, pode ocorrer em casos isolados blocos nestes Latossolos, interpretados como fragmentos mais resistentes do embasamento, o que, no entanto, deve ser melhor explorado por métodos evasivos e diretos.

Nas baixas vertentes, como já demonstrado na etapa de mapeamento por meio do Índice de Posição Topográfica, se concentram as depressões próximas a canais superficiais. Estas possuem papel fundamental na evolução das vertentes, ao convergir a migração de sesquióxidos para sua base, criando horizonte plíntico, mais resistente e demarcado em depressão fechada.

Na depressão mais isolada e circular estudada, foi percebido menor sinal da transformação do solo em sua vertente norte, sendo presente Latossolo Vermelho até

quase a borda da depressão. A depressão aberta possui, por sua vez, forma mais elíptica e maior intensidade na transformação lateral dos Latossolos e presença maior de hidromorfismo. A depressão aberta e intermitente se comporta como intermediária entre estas duas, ajudando a confirmar que tratam de fases evolutivas.

Estudos em topossequências comparando vertentes paralelas entre depressões abertas com a drenagem a que estas estão ligadas, poderiam comprovar esta hipótese, ao mostrar que as vertentes estão mais adaptadas às depressões que a drenagens.

De qualquer modo, através dos estudos de eletrorresistividade, percebeu-se um substrato carbonático relacionado ao Grupo Bambuí. Este mostra-se também em blocos, separados da cobertura pedológica por espesso saprólito saturado (mais de 30 m em alguns pontos), onde podem ainda ocorrer acúmulos de argila. Portanto, conclui-se que as depressões são originadas nestas rochas, e não diretamente nos solos ou depósitos diversos.

Com o exposto acima, pode-se pensar no seguinte modelo para as vertentes na região de cabeceiras do alto Rio Preto, entre o Rio Bezerra e Rio Preto (**Figura 5.1.1)**)

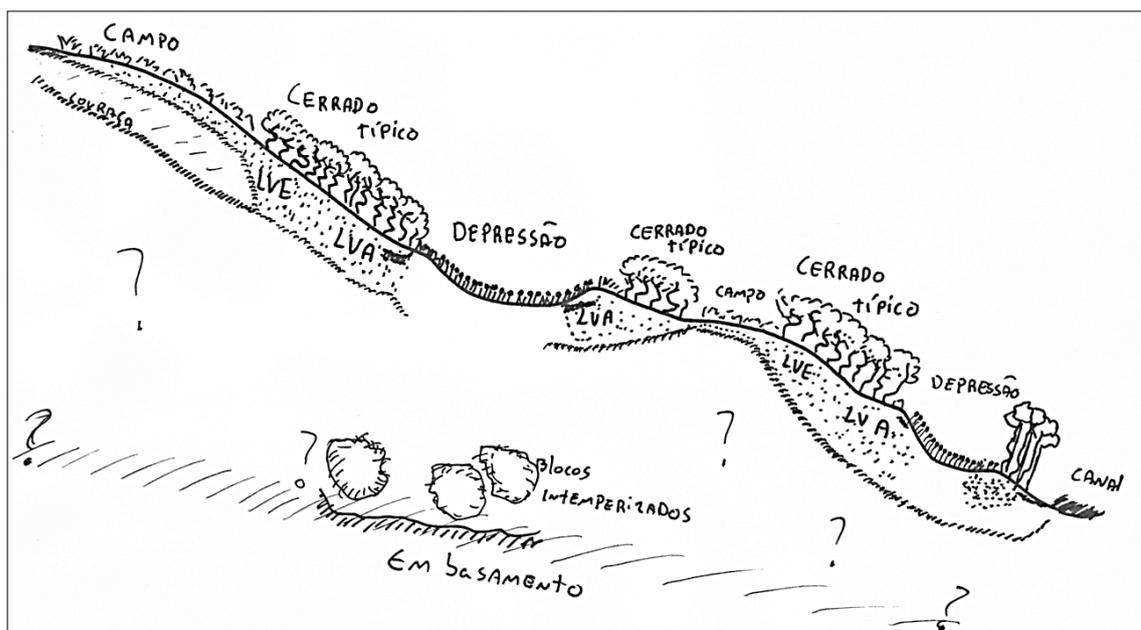


Figura 5.5.1 – Croqui esquemático das vertentes. LVA = Latossolos Vermelho-Amarelo, LVE = Latossolos Vermelho. Elaborado pelo autor.

Este modelo deve ser testado em outras áreas da bacia, principalmente próximo a depressões delimitadas mais ao leste, onde há menor presença de

controles estruturais, com depressões inclusive sinalizadas como assentando-se sobre o Grupo Paranoá.

No entanto, ainda não está claro o fator desencadeador para que as couraças se degradam, originando os profundos solos na bacia. Uma hipótese é isto ocorrer por mudanças climáticas que tendem para o aumento da umidade, sobretudo após o Último Máximo Glacial, ocasionando o avanço de vegetação arbórea que, em retroalimentação com a umidade do solo, desmantela as couraças, formando solos que permitem, por sua vez, ainda mais o desenvolvimento desta vegetação.

Ao se observar que o Cerrado Típico e os Latossolos aparecem como alongadas faixas, deve-se pensar se a concentração de umidade nesta porção está associada ao já citado sistema de falhas, ou dobras. Assim as depressões surgiriam conjuntamente com a drenagem nestas áreas de maior concentração hídrica, em rochas menos resistentes.

Há também a possibilidade de que as vertentes fossem recobertas por couraças e que, com um aumento da dissecação do relevo, nas baixas vertentes a couraça foi erodida, expondo as rochas do Grupo Bambuí e originando espessos Latossolos. Esta dissecação pode estar associada a recente captura do Rio Preto para a bacia do Rio São Francisco, de nível de base mais baixo que a bacia platina (onde outrora o rio corria).

Assim, há uma contraposição entre uma erosão química bastante aliada a condicionantes geológicos, na formação destas feições. As couraças, relacionadas a climas mais secos, poderiam voltar a se formar no fundo das depressões – onde hoje há níveis mosqueados e plínticos - com uma mudança climática. No entanto, ainda pode-se pensar que as depressões estão se conectando à drenagem por processos erosivos físicos, desencadeados por algum processo ainda desconhecido, como, por exemplo, mudança no nível de base da bacia por captura fluvial do Rio Preto.

Guiariam esta discussão a medição específica de processos e taxas de dissolução do embasamento e da dissecação do relevo, inclusive por meio de taxas de sedimentação das depressões, estudos de geocronologia para a bacia e para regiões circunvizinhas, como também estudos paleoambientais.

De qualquer forma, ao que tudo indica, seja por um aumento de umidade relacionada à mudança climática, à geologia estrutural ou à erosão fluvial, a formação ou presença dos Latossolos permitem maior dissolução nas rochas do Grupo Bambuí,

o que ocasiona a subsidência das coberturas pedológicas, o que originaria, portanto, as depressões abordadas neste trabalho.

## Referências Bibliográficas

---

- AB'SÁBER, A. N. Os baixos chapadões do oeste paulista. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 17, p. 1–8, 1969.
- ADAMS, G. F. **Planation surface**: peneplains, pediplains and etchplains. Stroudsburgo: Hutchinson & Ross, 1957.
- ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M. REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro**: Embrapa, 2012 (Comunicado técnico 66). 11 p.
- ALVES, G. B. **O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e evolução de depressões no sudoeste de Maracaí (SP)**. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- ALVES, G. B.; QUEIROZ NETO, J. P.; NAKASHIMA, M. R.; SILVA, J. P. - AS Couraças e seu papel no estudo da evolução do relevo em Maracaí, SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.34-39, 2014.
- ARAUJO, A.G.M. **Teoria e Método em Arqueologia Regional**: Em estudo de Caso no Alto Paranapanema, Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Arqueologia), Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.
- ARAUJO, A. G. M (Coord.). **Ocupação Paleoíndia no Estado de São Paulo**: Uma abordagem geoarqueológica. Fundação de Amparo Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Relatório final de atividades. Junho, 2012.
- ARAUJO, A. G. M.; NEVES, W.; PILÓ, L.; ATUI, J. Holocene dryness and human occupation in Brazil during the Archaic Gap. **Quaternary Research**, v. 64, p. 298-307, 2005.
- ARAUJO, A. G. D. M.; STRAUSS, A.; FEATHERS, J. K.; PAISANI, J. C.; SCHRAGE, T. J. Paleoindian Open-Air Sites in Tropical Settings: A Case Study in Formation Processes, Dating Methods, and Paleoenvironmental Models in Central Brazil. **Geoarchaeology**, v. 28, n. 3, 2013.
- AUGUSTIN, C. R.; LOPES, M. R. S.; SILVA, M. S. Lateritas: Um conceito ainda em construção. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 241-257, 2014.

- BAPTISTA, M. C. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Região de Lagoa Formosa (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004.
- BARBERI, M., SALGADO-LABORIAU, M.L., SUGUIO, K., 2000. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.13, p. 241–254.
- BARBOSA, I. O. **Distribuição dos solos nas Chapadas Elevadas do Distrito Federal, com emprego de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade de Brasília, 2007.
- BEEUVAIS, A. e TARDY Y. Degradation and dismantling of iron crusts under climatic changes in Central Africa. **Chemical Geology**, v. 107, p. 277-280. 1991.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19– 27, 2002
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**. v. 16 e 17. Curitiba: UFPR, p. 117-152, 1965.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, v. 3, 2007.
- BIRKELAND, P W - **Soils and Geomorphology**. Nova Iorque: Oxford University Press. 1999.
- BJÖRNBERG, A. J. S.; MACIEL, A. C.; GANDOLFI, N. Nota sobre os depósitos modernos na região de Rio Claro - São Carlos. **Pub. Esc. Eng. São Carlos**, n. 106, p. 21-36, 1964.
- BJÖRNBERG, A. J. S. **Sedimentos pós-cretáceo do leste do Estado de São Paulo**. Tese (Livre Docência) - Escola de Eng. de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1965.
- BOULET, R. Existence de systèmes a forte différenciation laterale em milieu ferrallitique guyannais; un nouvel exemple de couvertures pedologiques en desequilibre. **Science du Sol - Bulletin de l’A.F.E.S**, v. 2, p. 75-95, 1978.
- BOULET, R. Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. **Anais do III Congresso da Abequa**. Belo Horizonte, 1992. p. 43-58.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y.. Analyse structurale et cartographie en pedologie pédologie I. Prise em compte de l’organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **ORSTOM, Sér. Pédol**, v. 19, n. 4, p. 309-322, 1982a.

- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **ORSTOM, Sér. Pédol**, v. 19, n. 4, p. 323-339, 1982b.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie III. Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **ORSTOM, Sér. Pédol.**, v. 19, n. 4, p. 341-351, 1982c.
- BRAUN, O. P. G. Contribuição à Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 32, n. 3, p. 3-39, 1970.
- BRICALLI, L. L. **Evolução de uma depressão em embasamento cristalino e sua relação com os aspectos geológico-geomorfológicos regionais (Serra-ES)**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BRUS, D.J. e GRUIJTER, J.J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil. **Geoderma**, v. 80, p. 1- 44, 1997.
- BÜDELL, J. Double Surface of Leveling in the Humid Tropcis. In: ADAMS, G. A. **Planation surfaces: Peneplans, Pediplans and Etchplans**. Stroudsburgo: Hutchinson & Ross, [1975] 1957. p. 361-366.
- CAMPOS, J. E. G.; MONTEIRO, C. F.; RODRIGUES, L. N. **Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto**, DF/GO/MG. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 172, 2006.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A.; FREITAS-SILVA, F. H.; MARTINS-FERREIRA, M. A. C. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, p. 461-476, 2013.
- CARVALHO, T. M. e BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRMT) no Mapeamento Geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.35-41, 2008.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. FUNAPE-RECIFE, 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>.
- CASTRO, P. T. A. **Os Conglomerados Associados ao Grupo Bambuí na Porção Sudoeste do Cráton do São Francisco: Sedimentologia, Estratigrafia e Implicações Tectônicas**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 255p. 1997.
- CHAVES, J. M.; SANO, E. E.; GUIMARÃES, E. M.; SILVA, A. B.; MENESES, P. R. Sinergismo entre dados ópticos e de radar no estudo geológico da região de Bezerra-Cabeceiras, Goiás. **Brazilian Jo. of Geology**, v.33, n.2, p.137-146, 2003.

- CHORLEY, R. J.; BECKINSALE, R. P.; DUNN, A. J. **The History of Study of Landforms or the development of Geomorphology**: The life and work of William Morris Davis. Oxford e Nova Iorque: Routledge, v. 2, 1973.
- CODEPLAN. **Atlas para o Distrito Federal**. Brasília: CODEPLAN, 1984.
- COELHO NETTO, Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V.4, N. 2, p. 118-167, 2003.
- COLE, G. **Textbook of Limnology**. St Louis: C.V. Mosby Company, 1983.
- COLTRINARI, L. **Contribuição à Geomorfologia da Região de Guaratinguetá-Aparecida**. Tese (Doutorado em Geografia Física), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- COLTRINARI, L. **Evolução geomorfológica do planalto São José dos Campos (SP)**. Tese (Livre-Docência), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- COLTRINARI, L. Paleosurfaces in southeastern Brazil: São José dos Campos plateau landform evolution, **Geociências**, v. 30, n. 1, p. 113-120, 2011.
- COSTA, M. T. e BRANCO, J. J. R.. Roteiro da Excursão Belo Horizonte - Brasília. In.: **Congr. Brasileiro Geol.**, 14, SBG, Roteiro de Excursões, Belo Horizonte, 1961.
- COSTA, M. L.; CARMO, M. S.; BEHLING, H. Mineralogia e Geoquímica de sedimentos lacustres com substrato lateríticos na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n.2, p.165-176, 2005.
- COSTA NETO, S. M. **Ritmo superior do grupo Paranoá e fim da deposição na margem passiva**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- CPX-DBO (Goiania Mineração Ltda). **Resposta ao parecer técnico SUMIL/GAE, Nº 62/2012**: Extração de calcário no município de Formosa, GO. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). 2013. Disponível em: [http://www.semarh.goias.gov.br/site/uploads/files/gae/resposta\\_parecer\\_semarh\\_-\\_1\\_cpx\\_-\\_26-03-2013.pdf](http://www.semarh.goias.gov.br/site/uploads/files/gae/resposta_parecer_semarh_-_1_cpx_-_26-03-2013.pdf)
- CRUZ, O. Alguns conhecimentos básicos para a fotointerpretação. **Aerofotogeografia**, n.25, São Paulo, IGEOG/USP, 1981.
- DARDENNE, M. A. Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton São Francisco. **Anais do Congresso Brasileiro De Geologia**, Recife, p. 299-308, 1978.

- DARDENNE M.A. The Brasília Fold Belt. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (eds.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, p. 231-264, 2000.
- DARDENNE, M. A.; PIMENTEL, M.M.; ALVARENGA, C. J. S. Provenance of conglomerates of the Bambuí, Jequitaiá, Vazante and Ibiá Groups: Implications for the evolution of the Brasília belt. In: **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos**, 9, Búzios, 2003.
- DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, v. 14, p. 481-504, 1898.
- DEARING, J. **Environmental magnetic susceptibility: Using the Bartington MS2 System**. 2.ed. Kenilworth: Chi Publishing, p.54, 1999.
- DEARING, J. DANN, R. J. L.; HAY, K. LEES, J. A.; LOVELAND, P. L.; MAHER, B. A.; O'GRAY, K. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. **Geophysical Journal International**, v. 124, N. 1, p.288-240, 1996.
- DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. Carta topográfica, **CÓRREGO POÇÕES - SD-23-Y-C-V-2-NO - 25.000**, 1979
- DPFS (Divisão de Pedologia e Fertilidade dos Solos). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul; primeira etapa: Planalto Riograndense**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1967.
- DRUCK, S.; Carvalho, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE SOLOS). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE SOLOS). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- ESPINDOLA, C. R. A pedologia e a evolução das Paisagens. **Revista do Instituto Geológico, São Paulo**, v. 31, n. 1/2, p. 67-92, 2010.
- ESPINDOLA, C. R. e DANIEL, L, A. Laterita e solos lateríticos no Brasil. **Boletim Técnico da FATECSP**, n. 24, p. 21 – 24, Maio, 2008.
- FABRI, F.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; AULER, A. S. Relevo Cárstico em Rochas Siliciclásticas: Uma revisão com base na literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 3, p.339-351, 2014.

- FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro**. Tese (Doutorado em Geografia Física). FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R. **História do fogo no Cerrado**: uma análise palinológica. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- FILHO, J. V. L. e FRASCA, A. A. S. **Mapa Geotectônico do Estado de Goiás e Distrito Federal , 1:500.00**. Apresentação, CPRM, 2006.
- FILIZOLA, H. F. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté - SP**. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- FILIZOLA, H. e BOULET, R. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. **Comptes Rendus de l' Academie des Sciences de Paris**, v. 312, n. 2, p. 693-700, 1993.
- FILIZOLA, H. e BOULET, R. Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. **Geomorphology**, v. 16, n. 1, p. 77-86, 1995.
- FREITAS-SILVA, F. H. e CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília: Iema/Sematec/UnB, p. 1-87, 1998.
- FUCK, R. A.; JARDIM DE SÁ, E.F; PIMENTEL, M.M.; DARDENNE, M.A. As faixas de dobramentos marginais do Cráton São Francisco: síntese dos conhecimentos. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISSI, A. **O cráton do são francisco**. Salvador: SBG, 1993. p. 161-185.
- GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P. Large depressions, thickened terraces, and gravitation deformation in the Ebro River valley (Zaragoza area, NE Spain): Evidence of glauberite and halite interstratal karstification. **Geomorphology**. v.196, p. 162-176, 2013.
- GUIMARÃES, E. M.; **Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra – Cabeceiras (GO)**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- HIGGINS, C. G.; SCHONER, C. Sinkholes formed by piping into buried channels. **Geomorphology**, v. 20, p. 307-312, 1997.
- HOLE, F. D - A classification of pedoturbations and some other processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. **Soil Science**, v. 91, p. 375–377, 1961.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica, **FORMOSA** - SD-23-Y-C-V – 100.000, 1990.
- JOHNSON, D. L. - Darwin Would Be Proud: Bioturbation, Dynamic Denudation, and the Power of Theory in Science. **Geoarchaeology**, v. 17, n. 1, pp. 7-40. 2002
- JOHNSON, D. L., WATSON-STEGNER, D.; JOHNSON, D.N.; e SCHAETZLI, R.J -. Proistropic and proanisotropic processes of pedoturbation. **Soil Science**, v. 143, 278–292, 1987
- JORDANOVA, D.; JORDANOVA, N.; PETROV, P. Exploring the link between magnetic signature and physical/chemical parameters of anaerobic soils. **Geophysical Research Abstracts**, v. 12, 2010.
- KING, L. C. A theory of bornhardts. **The Geographical Journal**, v. 112, n. 1/3, p. 83-87, 1948.
- KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. **Bull. Geologic Society of America**, Washigton, 1953.
- KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- KING, L. C. The geomorphology of Africa. I - Erosion surfaces and their mode of origin. **Science progress**, v. 45, n. 177, p. 307-331, 1957.
- KLEIN, C. A noção de ciclo em geomorfologia. **Terræ Didactica**, v. 8, n. 1, 2012. Tradução feita por Wilian Zanete.
- KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 21-23, 2001.
- KOHLER, H. C. **Geomorfologia Cárstica na região de Lagoa Santa**. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1989.
- LADEIRA, F. B. **Paleossolos Silicificados na Serra de Itaqueri - Itirapina/SP**: subsídios para a reconstituição paleoambiental. Tese (Doutorado em Geografia Física), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- LADEIRA, F. S. B. **Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaira**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- LEDRU, M.P. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, p. 90–98. 1993

- LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; e ANJOS, L. H. C - **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa: SBCS/SNLCS, 2005.
- LIMA, L. A. de S.; MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CASTRO, K. B. de; SOUZA, V. V. S. Compartimentação geomorfológica e suas relações com solos na bacia do Alto Rio Preto, GO. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2009, 24p.
- MACEDO, J. e BRYANT, R. B. Morphology, mineralogy, and genesis of a hydrosequence of oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 3, p. 690-698, 1987.
- MAHER, B. A.; THOMPSON, R. **Quaternary Climates Environments and Magnetism**. Cambridge: Cambridge University Press, 2ed. 2001.
- MAIGNIEN, R. Différents processus de cuirassement en AOF. In : Comptes rendus de la 2e conférence interafricaine des sols. sl : sn, 1954, p. 1469-1486. **Conférence Interafricaine des Sols**, 2., Léopoldville (ZAR), 1954/08/09-14. MILLOT, G. Géologie des argiles: altérations, sédimentologie. 1964.
- MAIO, C. R. Alterações ambientais no Distrito Federal, baseadas na geomorfologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 48, n. 3, p. 259-284, 1986.
- MAIO, C. R. Análise Geoambiental na Compartimentação Morfológica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 49, n. 3, p. 69-116, 1987.
- MARTÍNEZ, M. I. **Estratigrafia e Tectônica do Grupo Bambuí No Norte do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- MARTINS, E. S. **Petrografia, mineralogia e geomorfologia de rególitos lateríticos no Distrito Federal**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- MARTINS, E. S. e BAPTISTA, G. M. D. M. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodiâmicos do Distrito Federal. In: **Inventário hidrológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. Brasília: lema/Sematec/UnB, p. 89-137, 1998.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 122, 2004a.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Unidades de Paisagem do Distrito Federal, Escala 1 : 100 000**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos 124, 2004b.
- MARTINS-NETO, M. A. e ALKMIM, F. F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: Registros da quebra de Rodínea e

colagem de Gondwana. In: Pinto, C. P. & Martins-Neto, M. **A Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG, p.31-54, 2001.

MELO, M. S. - **A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MELO, M. S. e GIANNINI, P. C. F. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, southern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 2149-2164, 2007.

MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; PONTES, H. S. Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da formação furnas, campos gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região. **Espeleo-Tema**. v.22, n.1. 2011.

MEYSMAN, F. J. R.; MIDDELBURG, J. J. e HEIP, C. H. R. - . Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 21, p.688-695, 2006.

MIGNON, P. Etching, etchplain and etchplanation. In: GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. Londres: Routledge, 2004. p. 345-347.

MIKLÓS, A. A. W - **Biodynamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu (Brésil – SP)**. VI e VII. Tese (Doutorado), Université Paris VI, Paris, 1992.

MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. **II International Conference on Lateritisation Process**. São Paulo: IUGS, UNESCO; IGCP; IAGC. 1982. p. 53-63.

MONTEIRO, C. A. D. F. William Morris Davis e a Teoria Geográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2001.

MORAES, L. L. D.. **Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e Entorno: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais**: A interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MORAES, L. L ; CAMPOS, J. E. G ; COSTA NETO, S. F . O rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e Entorno: A interação hidráulica entre águas suterrâneas e superficiais.. In: XLII **Congresso Brasileiro de Geologia**, 2004.

MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; FILHO, J. V. L.; COSTA, H. F. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Texto explicativo do mapa geológico. Escala 1: 500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL, 141 p. 2008. Anexo 1 Mapa

- NASCIMENTO, R. **Evolução de um perfil laterítico no domo estrutural de Sobradinho, Distrito Federal**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- NOVAES PINTO, M. Residuais de aplainamento na "chapada" dos Veadeiros - Goiás. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 48, n. 2, 1986a.
- NOVAES PINTO, M. Superfície de Aplainamento na bacia do rio São Bartolomeu - Distrito Federal/Goiás. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 48, n. 3, 1986b.
- NOVAES PINTO, M. SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO DO DISTRITO. **Revista brasileira de Geografia**, v. 49, n. 2, p. 9-27, 1987.
- NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: UnB Sematec, p. 285-344, 1994.
- PAISANI, J.C.; PONTELLI, M. E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem na bacia do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): Distribuição Espacial, Propriedades Morfológicas e Controle Estrutural. **RA'E GA**, v 16, p. 211-219, 2006.
- PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; ANDRES, J. Superfícies aplainadas em zona morfoclimática subtropical úmida no planalto basáltico da Bacia do Paraná (SW Paraná / NW Santa Catarina): Primeira Aproximação. **Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 541-553, 2008.
- PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; OSTERRIETH, M.L.; PAISANI, S. D. L.; FACHIN, A.; GUERRA, S.; OLIVEIRA, L. Paleosols in low-order streams and valley heads in the Araucaria Plateau - Record of continental environmental conditions in southern Brazil at the end of MIS 3. **Journal of South American Earth Science**, v. 54, p. 57-70, 2014.
- PEACOCK, E. e FANT, D.W - Biomantle formation and artifact translocation in upland sandy soils, an example from the Holly Springs National Forest, North–Central Mississippi, U.S.A. **Geoarchaeology** v.17, 2002, p. 91–114, 2002.
- PENCK, W. **Morphological Analysis of Landforms** (Die Morphologische Analyse). Nova Iorque: Hafner, [1953], 1924.
- PENTEADO, M. M. Tipos de concreções ferruginosas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto de Brasília. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 16, p. 39-53, 1976.
- PENTEADO, M. M. - **Geomorfologia do setor centro-oeste da Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1968

- PENTEADO, M. M. - Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). **Geomorfologia**, Campinas, v.21, n. 42, p. 23-56, 1981.
- PEREIRA, L.; DARDENNE, M. A.; ROSIÉRE, C. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. Evolução Geológica dos Grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. **Geonomos**, v. 2, p. 22-32, 1994.
- PEREIRA, M. C.; RODET, J. G. M. A.; SALGADO, A. A. R. Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n.4, p. 465-476, 2012.
- PEULVAST, J.-P. e SALES, V. C. Aplainamento e Geodinâmica: Revisando um problema clássico em Geomorfologia. **Mercator**, Recife, v. 1, n. 1, p. 113-144, 2002.
- PILÓ, L. B. **Morfologia Cárstica e Materiais Constituintes: Dinâmica e Evolução da Depressão Poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG.** Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PILÓ, L.B. Geomorfologia Cárstica – Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 1, n. 1, p. 88-102, 2000.
- PINHEIRO, M.R. **Técnicas cartográficas e aerofotográficas no estudo da erosão: alta bacia do ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- POPPER, K. **A Lógica da Pesquisa Científica.** 9. ed. São Paulo: Cultrix, [1956], 2011.
- QUEIROZ NETO, J. P. **O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas.** Coimbra, 2010
- RENDMAN, C. L. - Multistage Fieldwork and Analytical Techniques. **American Antiquity**, v. 38, n. 1, p. 61-79, 1973.
- REU, J. D.; BOURGEIS, J.; BATZ, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORI, V.; SMEDT, P. D.; CHU, W. ATROP, M.; MAYER, P. D.; FINKE, P.; MEIRVENNE, M. V.; VERNIES, J.; CROMBÉ, P. - Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**, v.186, p. 39-49, 2013.
- ROCHA, L. C - **Desnudação Geoquímica na Evolução da Serra do Espinhaço Meridional, MG, Brasil.** Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- RODRIGUES, J. B.; PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; ARMSTRONG, R. A. Age, provenance and tectonic setting of the Canastra and Ibiá Groups (Brasília Belt, Brazil): Implications for the

- age of a Neoproterozoic glacial event in central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. V. 29, n. 2, p. 512–521, 2010.
- SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, 2007.
- SALGADO-LABORIAU, M. L. Alguns aspectos sobre a paleoecologia do cerrado. IN: **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. SOUSA-SILVA, A. S. J. e FELFILI, M. J. (Org.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 107-121, 2005.
- SALGADO-LABORIAU, M.L.; CASSETI V.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; MARTIN, L.; SOUBIES, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 128, 215– 226, 1997.
- SALGADO-LABORIAU, M. L.; BARBERI, M., FERRAZ-VICENTINI, K.R., PARIZZI, M.G., A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 99, p. 115-129, 1998.
- SALGADO-LABORIAU, M. L e FERRAZ-VICENTINI, K. L. Fire in the Cerrado 32.000 years ago. **Curr. Res. Pleist**, V. 11, p. 85-87, 1994.
- SALLUN FILHO, W. e KARMANN, I. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**. v.37. n.3. p. 551-564, 2007.
- SANTOS, A. S. **Subsídios à implantação da gestão ambiental em áreas militares do exército brasileiro, tendo como estudo de caso o Campo de Instrução de Formosa - GO**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) Universidade da Católica de Brasília, Brasília, 2005.
- SASSEN, D. S - **Pseudokarst topography in a humid environment caused by contaminant-induced colloidal dispersion**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade do Texas, Texas, Estados Unidos da América, 2003.
- SCHRAGE, T. J.; NORONHA, E.; UAGODA, R. Considerações iniciais sobre a distribuição de dolinas e sua relação com a hidrografia, relevo e litologia na bacia do alto Rio Preto, Goiás. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.101-106, 2014.
- SCHRAGE, T. J. **Investigação Georquiológica do Sítio Paleoíndio Lagoa do Camargo, Rio Claro, SP**. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade de São Paulo, 2012.

- SCHRAGE, T. J e ARAUJO, A. G. M. Micromorfologia do solo do sítio arqueológico do Sumidouro: subsídio para estudos geoarqueológicos em Lagoa Santa, MG. In: 18 **Simpósio Internacional de Iniciação Científica**, 2010.
- SCHWERTMANN, U. Occurrence and Formation of Iron Oxides in Various Pedoenvironments. In: STUCK, W.; GOODMAN, B. A.; SCHWERTMANN, U. **Iron in Soils and Clay Minerals**. Amsterdã: Springer, Cap. 11, p. 267-308, 1985.
- SENA-SOUZA, J. P. **Comparação dos Métodos de Classificação por Ângulo Espectral e Distância Euclidiana no Mapeamento das Formas de Terreno**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- SILVA, C. R. D, (Coord.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. Fase I. Coord. SILVA, C. R. D. CPRM; EMBRAPA; SCO-MI. Rio de Janeiro, p. 324. 2003.
- SILVA, L. G. D. **Metodologia Geofísica para discriminação de corpos intrusivos na província alcalina do Alto Paranaíba - MG**. Dissertação (Mestrado em Geofísica), Universidade de Brasília, 2006.
- SILVA, T. M. D. Superfícies geomorfológicas do Planalto Sudeste Brasileiro: Revisão teórico-conceitual. **Geo UERJ**, v. 3, n. 20, p. 1-22, 2009.
- SILVA, C. H.; SIMÕES, L. S. A. S.; DEMÁZIO, W. L.; SAMUEL, N. F.; LUVIZOTOO, G. L. O Grupo Canastra em sua área-tipo, região de Tapira, sudoeste do estado de Minas Gerais. **Geologia USP**, Série científica, vol.12 n.2, 2012.
- SILVA FILHO, J. A. D. **Carta de Fragilidade Ambiental do alto da bacia do Rio Preto**. Monografia (Bacharelado em Cartografia), IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- SMALL, R. J. **The study of landforms: A textbook of Geomorphology**. 2. ed. Cambridge: Universidade de Cambridge, 1978.
- SMITH, D. L e RANDAZZO, A. F. valuation of electrical resistivity methods in the investigation of karstic features, El Cajon Dam Site, Honduras. **Eng. Geology**, v. 22 n. 3, p. 217-230, 1986.
- SOUZA, F. C. R.; SALGADO, A. A. R. S. Caracterização das Feições Exocársticas e Fluviocársticas Desenvolvidas em Quartzitos na Região Sudeste de Diamantina/MG, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.1, 2014.

- SPONHOLZ, B. Phénomènes karstiques dans les roches siliceuses au Niger Oriental. **Karstologia** v.1, n.23, p.23-32, 1994.
- SPONHOLZ, B. Silicate karst associated with lateritic formations (examples from eastern Niger). **Catena**, v. 21. p.269-278, 1994.
- STEINK, V. A.; SANO, E. E.; STEINK, E. T.; NASCIMENTO, R. O. O desenvolvimento dos estudos geomorfológicos no Distrito Federal. **Geografia**, v. 32, n. 1, p. 107-120, 2007.
- STEINK, V. A. **Uso integrado de dados digitais morfométricos (altimetria e sistema de drenagem) na definição de unidades geomorfológicas no Distrito Federal. Brasília.** Dissertação (Mestrado Em Geociências), IGC, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- TARDY, Y. Petrologie des laterites et des sols tropi- caux. **Masson**, Paris, p. 461, 1993
- TARDY, Y.; NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe<sup>3+</sup>-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. **American Journal. Scientia**, v. 285, n. 10, p. 865-903, 1985.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics:** A study of weathering and denudation in low latitude. Nova Iorque, John Wiley & Sons, p. 460, 1994.
- THOMAS, M. F. Landscape sensitivity to rapid environmental change a Quaternary perspective with examples from tropical areas. **Catena**, v. 55, p 107–124, 2004
- TITE, M.S.; e LININGTON, R.E. Effect of climate on the magnetic susceptibility of soils. **Nature**, V. 256, p. 565-566, 1975.
- TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícias Geomorfológicas**, v. 8, n. 1, p. 5-19, 1968.
- TWIDALE, C. R. Sinkholes (dolines) in Lateritised Sediments, Western Sturt Plateau, Northern Territory, Australia. **Geomorphology**, vol 1, p. 33-52. 1987.
- UAGODA, R. E. **Evolução da paisagem em área cárstica não carbonática durante o quaternário tardio:** Bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, MG. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- UAGODA, R. E. COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A. S. - Morfologia de depressões fechadas em domínio cárstico-quartzítico na bacia do Ribeirão Santana, MG: Datações Absolutas Iniciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.10, n. 2, 2009.

- UAGODA, R. E; AVELAR, A; COELHO NETTO, A. L. Karstic morphology control in non-carbonate rocks: Santana Basin, middle Paraíba do Sul river valley, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**. v. 55. n. 1. p.1-13, 2011.
- UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, v. 2, n. 12, p. 1-14, 2012.
- VITTE, A. C. **Etchplanação em Juquiá (SP):** Relações entre o Intemperismo Químico e as Mudanças Climáticas no Desenvolvimento das Formas de Relevo. Tese (Doutorado em Geografia Física), FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- VITTE, A. C. ETCHPLANAÇÃO DINÂMICA E EPISÓDICA NOS TRÓPICOS QUENTES E ÚMIDOS. **Revista do Departamento de Geografia da Unicamp**, v. 16 , p. 105-118, 2005.
- VITTE, A. C. Breves considerações sobre a história da Geomorfologia. **Geo UERJ**, v. 1, n. 21, p. 1-19, 2010.
- WAYLAND, E. J. Peneplains and some other platforms. In: ADAMNS, G. A. **Planation surfaces: Peneplains, Pediplains and Etchplans**. Stroudsburgo: Hutchinson & Ross, [1975] 1933. p. 355-358.
- WEISS, A. D. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Apresentação, “ESRI Users Conference”, São Diego, EUA. 2001. Disponível em: [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf)
- WILLEMS, L. **Phénomènes karstiques en roches silicatées non carbonatées : cas des grès, des micaschistes, des gneiss et des granites en Afrique sahélienne et équatoriale**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de Liège, Liège, França, 2000.
- WILLEMS, L.; RODET, J.; POUCKET, A.; MELO, S. RODET, M. J.; COMPÉRE, P.; HATERT, F.; AUGUSTO, A. Karst in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil. **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, v. 33, p.137-138, 2008.
- WRAY R. A. L. A Global Review of Solutional Weathering Forms on Quartz Sandstones. **Earth Science Reviews**, v. 42, n. 3, p. 137-169, 1997a.
- WRAY R. A. L. Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? **Cave and Karst Science**, v. 42, n. 2, p. 81-86, 1997b
- WRAY R. A. L. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers** 2, April 2003, p.2
- XAVIER, R. A.; COELHO NETTO, A. L. Ocorrência de Depressões Fechadas em Divisores de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Geografias**, v.4, n.1, p. 61-68, 2008.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Rio Claro, Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo**: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.