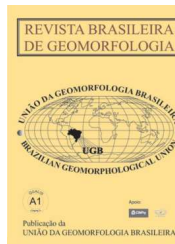


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 2 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i2.805>



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE DEPRESSÕES NA BACIA DO ALTO RIO PRETO (GO, DF, MG) E SUAS RELAÇÕES COM CONTROLES GEOLÓGICOS E PEDOGEOMORFOLÓGICOS

SPATIAL DISTRIBUTION OF DEPRESSIONS IN UPPER RIO PRETO BASIN (GO, DF, MG) AND RELATIONSHIP TO GEOLOGICAL AND ITS PEDOGEOMORPHOLOGICAL CONTROLS

Thomas Johannes Schrage

*Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: 70910900. Brasil.*

Email: thomjs.geo@gmail.com

Rogério Elias Soares Ugoda

*Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: 70910900. Brasil.*

Email: rogeriougoda@unb.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

15/09/2016

Aceito (Accepted):

12/02/2017

Palavras-chave:

Dolinas, Mapeamento Geomorfológico, Bacia do Alto Rio Preto.

Keywords:

Dolines, Geomorphological Mapping, Upper Rio Preto Basin.

Resumo:

O presente estudo tratou das feições doliniformes na bacia do alto rio Preto. De um total de 177 feições identificadas, a maioria está próxima ou conectada à drenagem, sendo menos circulares que outras identificadas como isoladas. Tais feições possuem agrupamentos nítidos e sua distribuição indica que são controladas por falhas associadas a dobras da Faixa de Dobramentos Brasília, diante da comparação de seus eixos de orientação com alinhamentos geológicos. Foi observado que 90% das depressões se assentam sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

Abstract:

This paper presents the doline-like forms in the Upper rio Preto basin. From a total of 177 identified features, most are next or connected to the drainage, but it are less circular than other identified as isolated. Such features have crisp clusters and indicate a control by fault folds from The Brasília Mobile Belt, on comparing the axes with geological alignments. It is important to consider that 90% of depressions occur on carbonated lithology's of the Bambuí Group.

1. Introdução

No seu sentido original, o termo “dolina” refere-se a depressões circulares ou elípticas que se formam na superfície em função da dissolução do embasamento carbonático. Em termos morfogenéticos, Piló (2000) classifica-as como dolinas de dissolução, dolinas de abatimento ou colapso e dolinas aluviais ou de subsidência. Conforme aquele autor, estas são unidades hidrográficas comparáveis a bacias, que convergem a água por meio de seu sistema de vertentes. A água, por sua vez, dentro das depressões, converge para a superfície e/ou embasamento subterrâneo.

Atualmente, o referido termo passou a ser utilizado para formas de relevo deprimidas, modeladas em embasamentos variados por processos de erosão química (UAGODA, 2011). Assim, Twindale (1987) relata que dolinas ocorrem em substratos quartzosos, carbonáticos, lateritas e solos.

Feições doliniformes têm sido largamente utilizadas em interpretações da paisagem. Assim, Queiroz Neto (2010), Espindola (2010), Alves *et al.* (2014) e Alves (2015) conceberam que tais feições são originadas após uma fase de intensa pedogênese. Coelho Neto (1993) e Paisani *et al.* (2006) demonstraram haver correspondência entre os lineamentos dos eixos de depressões e cabeceiras de drenagem com os de estruturas geológicas e da hidrografia, sugerindo possível vínculo entre eles. Xavier e Coelho Neto (2008) sugeriram que depressões fechadas podem ser interpretadas como uma fase anterior à instalação da drenagem ou como protovales, ou seja, como feições que poderiam originar vales de cabeceiras de drenagem.

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

Neste ínterim, o presente estudo se voltou para as feições doliniformes, ou depressões, na bacia do alto rio Preto (situada entre os Estados de Goiás, Minas Gerais e o Distrito Federal) e seu planalto homônimo – área per-

tencente ao sistema hidrográfico do Rio São Francisco. Apesar de serem recorrentes na paisagem regional, as feições ali encontradas não possuem estudos específicos voltados à sua formação.

As depressões nas Chapadas do Centro-Ocidente brasileiro – nas 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 semi-árido. As depressões na região foram posteriormente relatadas por Novaes Pinto (1987) e Silva (2003), sendo consideradas como marcadores de uma evolução por etchplanação. Mais tarde, Moraes (2004) e Campos *et al.* (2006) interpretaram tais feições como tipicamente cársticas, originadas em rochas carbonáticas. No entanto, os autores supramencionados tomaram por base modelos geomorfológicos teóricos e em observações, sem estudos sistemáticos.

Em suma, a presente pesquisa teve por objetivo explorar tal lacuna, investigando a distribuição, espacialização e caracterização das depressões nesta bacia, como primeiro passo de um estudo mais amplo para a compreensão da origem e evolução destas feições geomorfológicas. Assim, buscou-se a identificação de fatores condicionantes destas feições, que permitam compreender se estas estão associadas a um ambiente cárstico ou não, e quais os controles pedogeomorfológicos e estruturais necessários a sua formação.

Neste momento, complementam-se informações já apresentadas por Schrage *et al.* (2014) com novos dados relacionados à frequência das depressões em litologias e compartimentos geomorfológicos diversos, além de mais detalhada descrição de suas características morfológicas, associando-as com a geologia estrutural regional.

2. Área de Estudo

A bacia do alto rio Preto, pertencente à bacia do Rio São Francisco, possui área aproximada de 3.500 km², distribuída entre os Estados de Goiás, Minas Gerais e o Distrito Federal. Tem como limite jusante o encontro do rio Preto com o Rio Bezerra (vide Figura 1, a seguir). Ela 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 Paraná (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987; SILVA, 2003).

A bacia em questão possui extensa superfície aplainada, com divisores tabulares nas altitudes de 900 a 950 m, vales a partir de 820m e topos acima de 1000m. De acordo com Silva (2003) e Moreira *et al.* (2008), em quase toda a bacia tem-se a presença de extensas formações superficiais, compostas de depósitos diversos, coberturas detríticas de textura e origem diversas, além de couraças ferruginosas autóctones, sobretudo, nas porções do rebordo do planalto e interflúvios. Assim, a bacia está capeada por coberturas detrítico-lateríticas terciárias, geralmente associada à ocorrência de depósitos detríticos, de idade quaternária.

A baixa declividade da superfície, aliada à baixa

densidade de drenagem, contribui para a baixa erosão interna da bacia. Na área, predominam os Latossolos Vermelhos, com ocorrência de Latossolos Vermelhos-Amarelos. A sequência mais comum é a de Latossolos Vermelhos em áreas planas e altas, gradualmente transformando-se em Latossolos Vermelhos-Amarelos em zonas baixas, úmidas, ou nos limites do planalto. Os solos são provavelmente originados *in situ*.

Do ponto de vista geológico, a bacia hidrográfica do alto rio Preto assenta-se sobre três principais unidades geológicas, a saber: 1) Grupo Bambuí; 2) Grupo Paranoá; e, 3) Grupo Canastra, cada qual se situando em domínios específicos da Faixa de Dobramentos Brasília (vide Figura 2 e Tabela 1, a seguir), conforme compartimentação de Uhlein *et al.* (2012). Localmente, estas unidades estão recobertas por diversas formações superficiais.

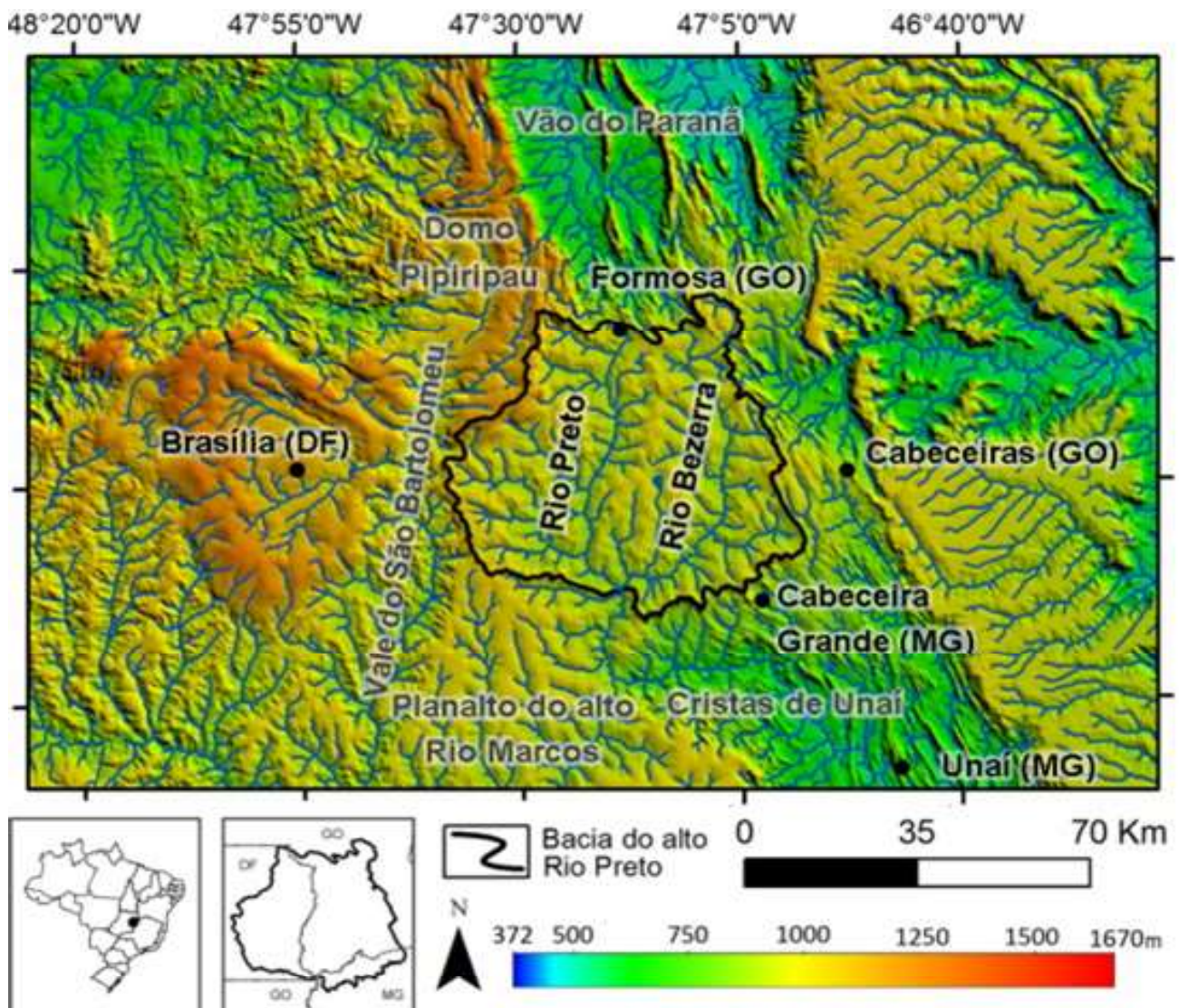


Figura 1 - Localização da área de estudo. Escala municipal, federal e estadual. Fonte: IBGE.

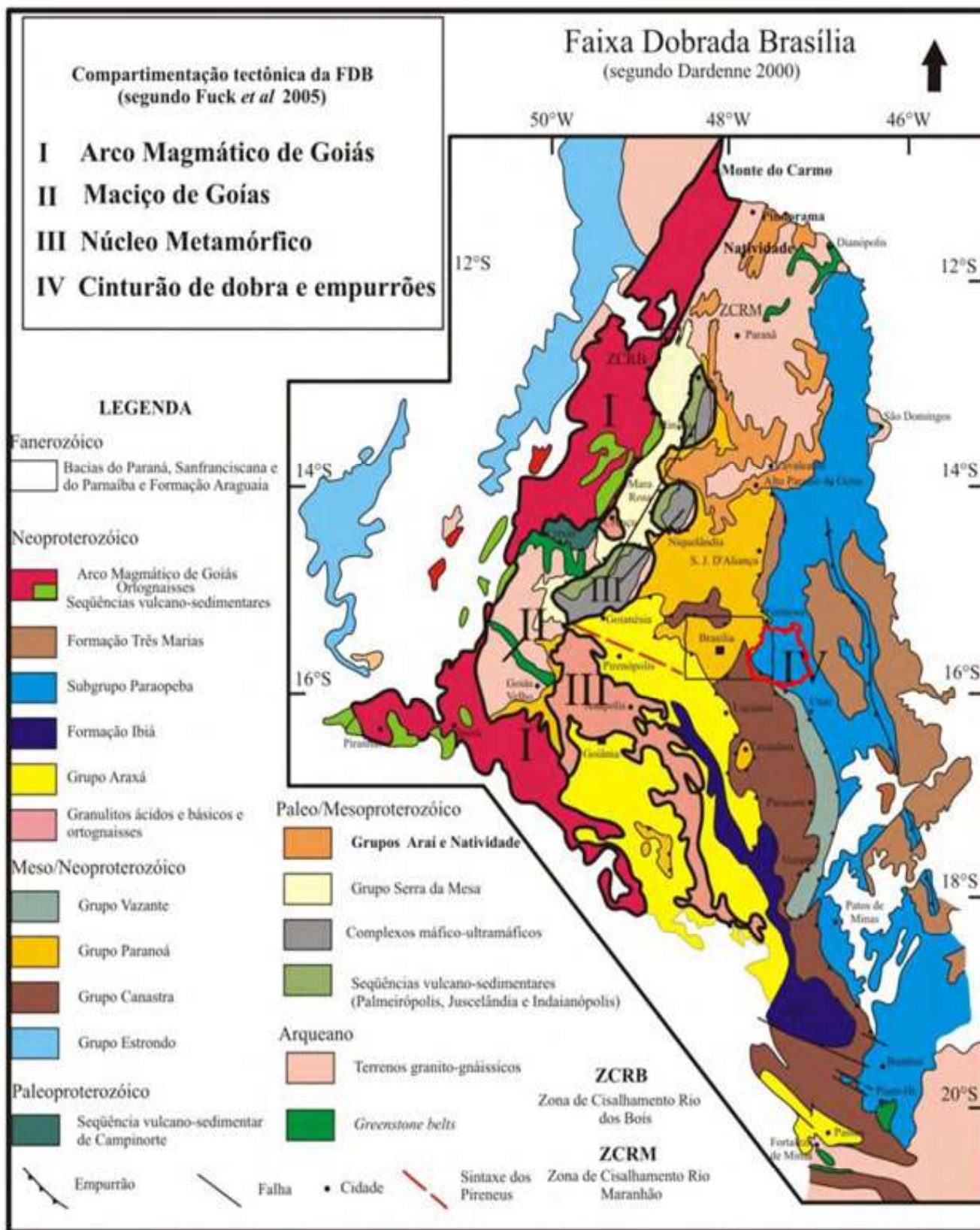


Figura 2 - Mapa simplificado ilustrando a Faixa de Dobramentos de Brasília (DARDENE 2000), seguindo compartimentação de Fuck *et al.* 2005. Adaptado de Marques (2009). Em vermelho, área da bacia do alto rio Preto.

Tabela 1: Geologia da bacia alto rio Preto. Adaptado de Silva (2003), Moreira et al. (2008) e Uhlein et al. (2012).

| Domínio | Grupo | Sigla | Formação / Unidade | Litologia | Idade |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|--|------------------|
| Bacia de Antepaís e Domínio Externo | Formações Superficiais | QHa | Depósitos aluviais | Aluviões arenosos e areno-argilosos com níveis de cascalho | Quaternário |
| | | QP _i | Depósitos indiferenciados | Areia fina a grossa, silto-argilosa com níveis conglomeráticos | |
| | | TQdl | Coberturas detrito-lateríticas | Sedimentos inconsolidados | Neogeno |
| Bacia de Antepaís | Bambuí | Npt | Subgrupo Paraopebas (Indiviso) | Metasiltito e metargilito calcífero e calcário com intercalações de metarenito; quartzito subordinado (qt) | Neoproterozoico |
| | | Nptqt | | | |
| Domínio Externo | Canastra | Mpc | Paracatu | Quartzo - sericita - clorita filito, às vezes carbonoso e lentes de ortoquartzito | Mesoproterozoico |
| | | Msi | Serra do Landim | Calcita - clorita - sericilita filito, quartzito fino, quartzo - sericita - clorita filito | |
| | Paranoá | MPpa3 | Unidade 3 | Quartzito fino a muito finot (qt) alternado com lâminas de filito carbonoso, argilito e metasiltito; ardósia, quartzo fino a médio e raro conglomerado intraformacional e quartzito. | |
| | | MPpa3 qt | Unidade 3 - qt | Idem Unidade 3, com quartzito subordinado. | |

O Grupo Bambuí se encontra no Domínio Cratônico, configurando-se como uma Bacia de Antepaís, preenchida por sedimentos argilo-carbonáticos, suavemente dobrados e sub-horizontais, devido ao soerguimento na Faixa Brasília, no início da Orogênese Brasileira (MARTINS-NETO; ALKIMIN 2001). A idade de deposição do Grupo Bambuí tem sido atribuída ao Neoproterozoico, que está relacionada a um ambiente marinho. Na área de estudo, o grupo Bambuí é quase que totalmente coberto por Latossolos Vermelhos e Amarelos de textura média argilosa e configura relevo plano.

Em mapeamento para a bacia do alto rio Preto, Campos *et al.* (2006) definem que o grupo Bambuí é subdividido possivelmente na Formação Sete Lagoas, onde se tem o predomínio de extensas e espessas lentes de calcários cinzas a roxos, e dolomitos de coloração cinza clara, depositados ao meio de pelitos, às vezes, com presença de silexitos; e na Formação de Santa Helena, descrita por aqueles autores como predominantemente composta por uma sucessão sedimentar

predominantemente pelítica, como siltitos, folhelhos, argilitos e margas de cores esverdeadas e intercalações de calcários cinza escuros. Ambas as Formações compõem o Subgrupo Paraopebas – indiviso na região de estudo dada a carência de afloramentos e de estudos *in situ*.

O Grupo Canastra é considerado como um equivalente lateral do Grupo Paranoá, contudo mais metamorfizado que este último. Ambos situados no Domínio Externo. Conforme Campos *et al.* (2006), o Grupo Canastra 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-horizantal a sub-vertical, e fraturas verticais a sub-verticais – estas últimas possivelmente preenchidas 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).

O Grupo Paranoá (UHLEIN *et al.*, 2012) é formado por uma sequência psamítica-pelítica (leste), que transita para uma sequência pelítica-carbonática (oeste). Na região leste do alto rio Preto, próximo a Cabeceiras, Goiás, Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2003) apresentam uma coluna estratigráfica alocando o Grupo Bambuí, de origem no Neoproterozoico, acima das rochas do Grupo Paranoá, de origem no Mesoproterozoico. Contudo, conforme aqueles autores, este segundo grupo pode ser exposto por falhas diversas e dobras sinclinais.

3. Materiais e Métodos

Realizou-se previamente a delimitação da drenagem superficial e das depressões com base em cartas de escala 1: 25 000, elaboradas pelo Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE) e pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), entre as décadas de 1970 e 1980, e por meio de Modelo Digital de Terreno (MDT), elaborado por tais cartas e associado ao imageamento da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com resolução de 90 m (CARVALHO e BAYER, 2008).

Fazendo uso do MDT, também foi delimitado o contorno das sub-bacias do rio Preto e Rio Bezerra, que juntas, formam a bacia do alto rio Preto.

Soma-se ao primeiro mapeamento, a delimitação da drenagem superficial e das 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 (vide Figura 3, a seguir).



Figura 3 – A) Imagem de satélite disponível pelo @Esri World Imagery evidenciando duas feições doliniformes, sendo uma fechada, mais ao norte, e outra aberta, mais ao sul B) Fotografia evidenciando uma dolina fechada e seca na bacia do alto rio Preto.

Com o uso destes, associados às imagens de satélite, mediram-se cinco parâmetros. Inicialmente, determinou-se a área (1), o perímetro (2) e a direção do maior eixo (3), no sentido montante-jusante, das depressões e canais superficiais. Para estes últimos, foram elaborados gráficos do tipo roseta, comparados com o lineamento estrutural elaborado por Campos *et al.* (2006). Em seguida, fez-se uso do índice de circularidade para definir a forma (4) (Equação 1) para as depressões fechadas.

Equação 1: Índice de Circularidade

$$IC = A / A_c,$$

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

Além destas variáveis básicas, as feições doliniformes também foram classificadas quanto à 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 funcionam como cabeceiras de drenagem. Em complemento, foi determinada a distância do centroide das depressões em relação às cabeceiras. Para tanto, foram elaborados *buffers* sobre a drenagem, com intervalos de 500 m.

As feições mapeadas foram transformadas em pontos (centroides) sobre os quais foi realizada a Análise de Vizinho Mais Próximo (ARAUJO, 2001; DRUCK *et al.*, 2004). O método em questão tem por base a divisão da distância média real entre as depressões e uma distância média entre mesmo número de pontos (depressões), em uma mesma área (bacia), mas dispostos aleatoriamente. O resultado é um parâmetro *R*, que indica a distribuição aleatória (valor maior que 1), a distribuição sistemática (valor igual ou próximo a 1) e a distribuição agrupada (valor menor que 1).

Para a delimitação de agrupamentos, optou-se pela utilização da Densidade Kernel (DRUCK *et al.*, 2004), que permite a formação de 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.

Tendo por base o fato de que algumas depressões aparecem com área muito superior a outras, é preciso comparar tais valores com o desvio padrão da média das áreas, em km², do conjunto de amostras, para a obtenção dos índices de valores de incidência (DRUCK *et al.*, 2004). Valores muito acima do desvio padrão são chamados de *hotspots* (pontos quentes). Assim, é possível observar se as maiores depressões se localizam em áreas de alta densidade – indicando, por exemplo, que pequenas depressões evoluem a ponto de se aglutinarem em uma única forma – ou se ocorrem isoladas e em quais locais – por exemplo, em qual posição de vertente ou se sobre um embasamento específico.

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 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).

As feições doliniformes aqui mapeadas foram cruzadas com os mapas Geológico e Geomorfológico. A síntese das informações geológicas tiveram por base os trabalhos de Silva (2006), Moreira *et al.* (2008), Campos *et al.* (2006), Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2006).

A compartimentação geomorfológica aqui utilizada buscou diminuir a subjetividade das compartimentações geomorfológicas clássicas, mas sem desconsiderá-las. Fez-se uso da ferramenta Índice de Posição Topográfica (*Topographic Index Position – TPI*) (WEISS, 2001; REU *et al.*, 2013), com base nos MDTs supramencionados.

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-os também pela declividade (WEISS, 2001). Utilizou-se uma vizinhança de 5 km, relativa à distância dos principais rios; a classe de declividade inferior a 2°, que permite considerar 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 e tampouco permite uma compartimentação geomorfológica mais voltada à evolução do relevo, necessária no presente estudo, optou-se, com base na interpretação dos produtos de sensoriamento remoto (CRUZ, 1981) e na observação de 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 teve por base o estudo de Martins e Batista (1998), para as Chapadas Elevadas, e o estudo de Penteado (1976), para os Interflúvios Tabulares, Interflúvios Dissecados, Média Vertentes Íngremes ou Suaves, Baixas Vertentes Suaves e Planícies Aluviais e Aluviões. Assim, elaboraram-se histogramas e gráficos de frequência das depressões junto aos referidos elementos da paisagem, a fim de se observar seus fatores condicionantes.

4. Resultados e Discussão

Calculou-se que a área total da bacia do alto rio Preto é de aproximadamente 3470 km², com 2344,045 km de drenagem, perfazendo uma densidade aproximada de 0,68 km/km².

Aqui se faz 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/km² e 0,55 km/km², respectivamente.

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 os lineamentos estruturais são mais presentes. Nas rochas pelíticas dos Grupos Paranoá e Canastra, o padrão de drenagem possui caráter dendrítico e em arco, com subparalelismo apenas em zonas de contato litológico.

Referente à situação das depressões, em geral, é possível observar que o número de depressões abertas é aproximadamente o dobro que o de depressões fechadas, ocupando uma área total quatro vezes maior (vide Tabela 2, a seguir).

Tabela 2: Quantidade absoluta e frequência das depressões da bacia do alto rio Preto segundo situação e sub-bacia.

| Situação | Bacia alto Rio preto | Sub-bacia rio Preto | Sub-bacia Rio Bezerra |
|---|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Quantidade absoluta (n) das depressões | | | |
| Abertas | 113 | 45 | 68 |
| Fechadas | 64 | 22 | 42 |
| <i>Total</i> | <i>177</i> | <i>67</i> | <i>110</i> |
| Área somada (km²) das depressões | | | |
| 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> |
| Quantidade relativa (%) das depressões | | | |
| Abertas | 63,84% | 67,16% | 61,82% |
| Fechadas | 36,16% | 32,84% | 38,18% |
| Quantidade da área somada (%) das depressões | | | |
| Abertas | 79,55% | 89,55% | 76,47% |
| Fechadas | 20,45% | 10,45% | 23,58% |

Como é possível observar na Figura 4, a seguir, as depressões abertas e fechadas se apresentam em mais de 90% dos casos com área de até 0,5km². Por sua vez, as depressões maiores, acima de 1,1 km², aparecem unicamente abertas.

A distância máxima encontrada de uma depressão em relação às linhas de água não ultrapassou 2,5km, estando elas dispersas ao longo de todo este intervalo. Considerando o somatório, 20% das depressões encontram-se até 500 m, 51% até 1000m, 69% até 1500 m e 100% até 2500 m (vide Figura 5, a seguir).

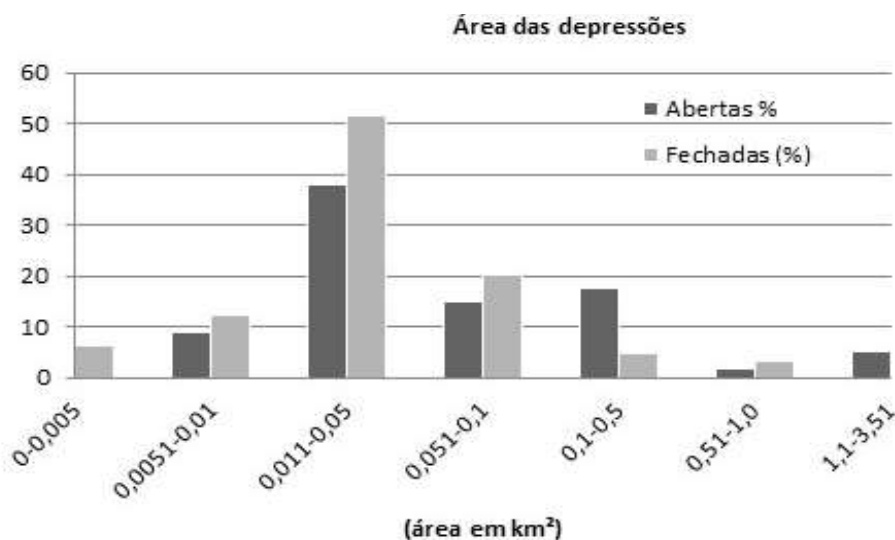


Figura 4 - Histograma de distribuição da área de depressões.

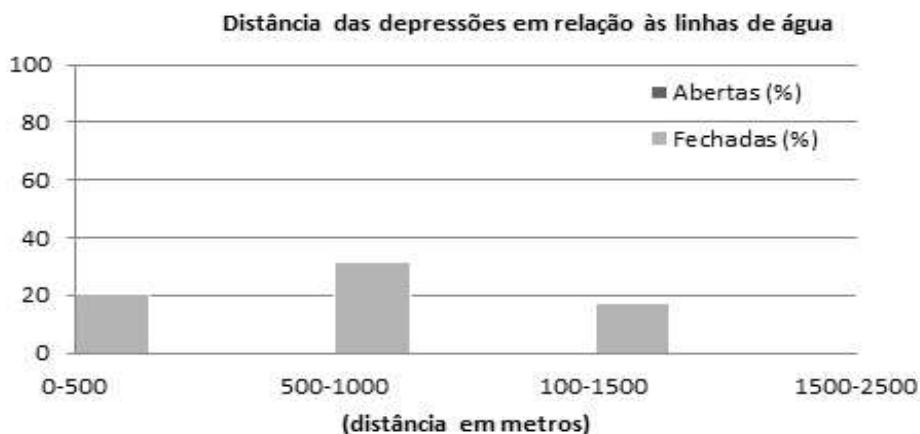


Figura 5 - Distribuição das depressões em relação à distância com as linhas de água.

E ainda, a média do índice de circularidade das depressões que se apresentam fechadas é de 0,75, e daquelas que se apresentam abertas, de 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 (vide Figura 6, a seguir).

Tais depressões apresentam distância média entre si de 1,136 km. O resultado da Análise do Vizinho Mais Próximo (vide Tabela 2, a seguir) demonstra que tal valor é inferior a uma distância média de pontos aleatórios, comprovando o evidente agrupamento entre elas.

Na Figura 7, a seguir, sistematizam-se os agrupamentos por densidade Kernel, os valores de incidência e a distribuição direcional.

Conforme o exposto, é possível observar, pela densidade Kernel, que o maior e principal agrupamento

está na porção superior do Rio Bezerra. E ainda, 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.

Também é preciso considerar que na dissecação de uma bacia no sentido 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 o agrupamento de pequenas depressões e de grandes depressões, longe do *front* de erosão lateral, em local que 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.

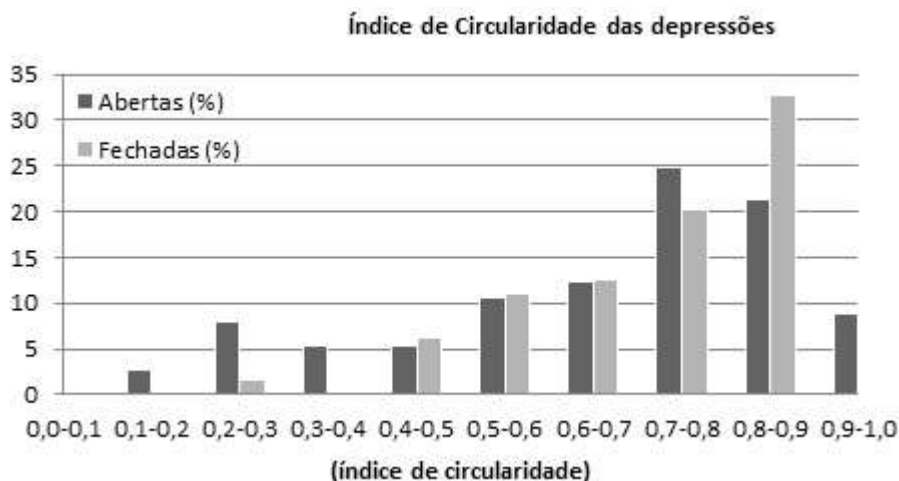


Figura 6 - Histograma de distribuição do índice de circularidade das depressões. Eixo Y em porcentagem, eixo X intervalos de índice de circularidade. Observam-se índices superiores para depressões fechadas.

Tabela 2: Parâmetro R e resultado da Análise do Vizinho Mais Próximo.

| Número de Pontos | Área (km ²) | Média real (km) | Média esperada (km) | Parâmetro R |
|------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| 177 | 2818,414 | 1,136 | 1,995 | 0,57 |

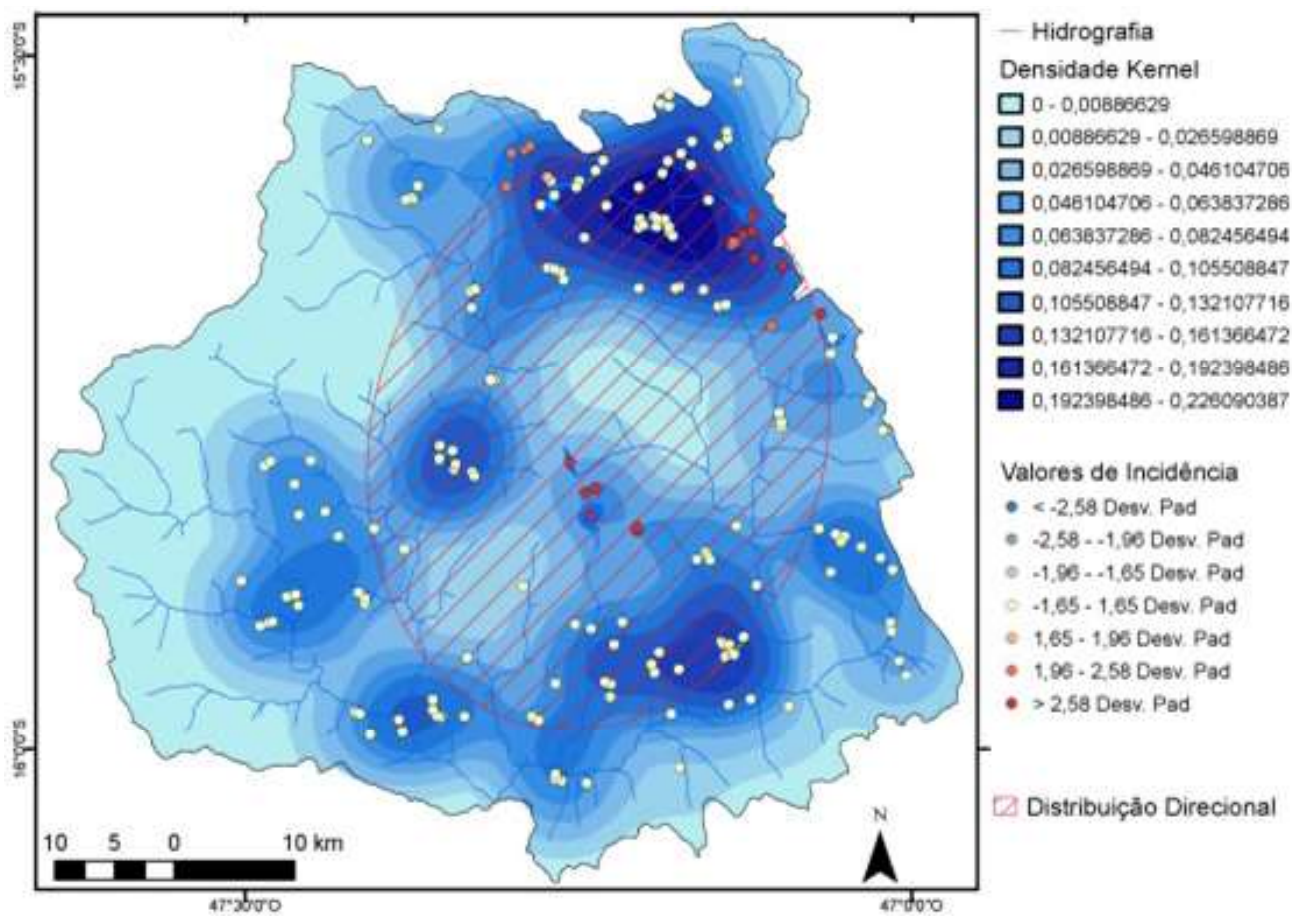


Figura 7 - Mapa de Densidade Kernel, Valores de Incidência e Distribuição Direcional. Destaque para o norte da bacia, onde se concentram hotspots e agrupamentos de depressões.

Ainda na Figura 7 tem-se 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 foi comparada com a dos canais superficiais (vide Figura 8, a seguir).

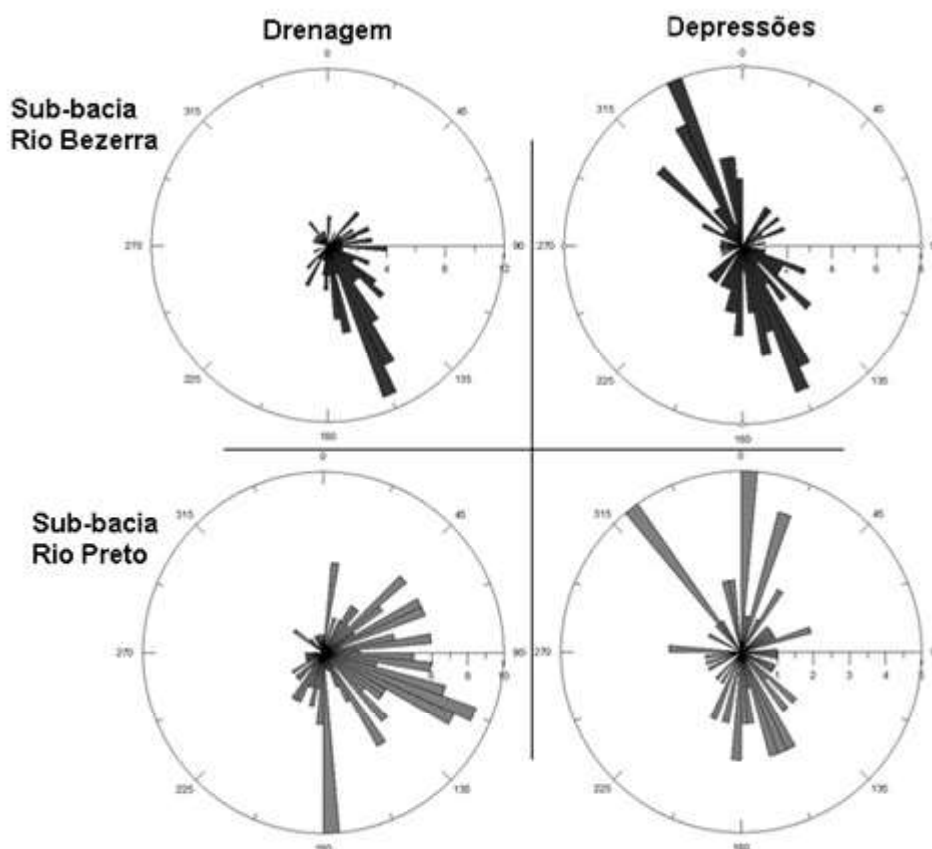


Figura 8 - Gráficos do tipo roseta evidenciando as direções dos canais superficiais e depressões.

Com base no exposto, é importante notar que a direção NW-SE para as depressões na bacia equivale à mesma direção encontrada por Campos *et al.* (2006) para lineamentos estruturais. Para aqueles autores, a direção reflete um evento compressivo de direção N-S que acarretou em novas estruturas sobre o 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 o encontro com o Rio Paracatu.

A partir daí, é preciso refletir se as depressões que estão fechadas ainda não se tornaram cabeceiras de drenagem por uma insuficiência cronológica – sendo iminente sua captura – ou se existem fatores locais, que influenciam nesta situação, principalmente ao se observar a grande relação entre a geologia estrutural na

influência da hidrografia e das depressões.

Fazendo uso do mapa geológico com localização das depressões (vide Figura 9, a seguir), é possível contabilizar a ocorrência de depressões (total de depressões por unidade geológica) (vide Figura 10, a seguir) e a frequência (total de depressões por área da unidade) (vide Figura 11, a seguir).

Grande parte das depressões se encontra nos grupos Qha – Depósitos Aluviais, e TQdl – Coberturas Detrito-Lateríticas (vide Tabela 1). Neste sentido, faz-se importante notar que o grupo de Coberturas Detrito-Lateríticas é bastante generalizado. Observações em campo têm indicado que as depressões estão mais associadas a profundos Latossolos do que, de fato, junto a couraças. E ainda, é discutível se tais depressões são originadas diretamente nestas coberturas ou no substrato rochoso abaixo destas.

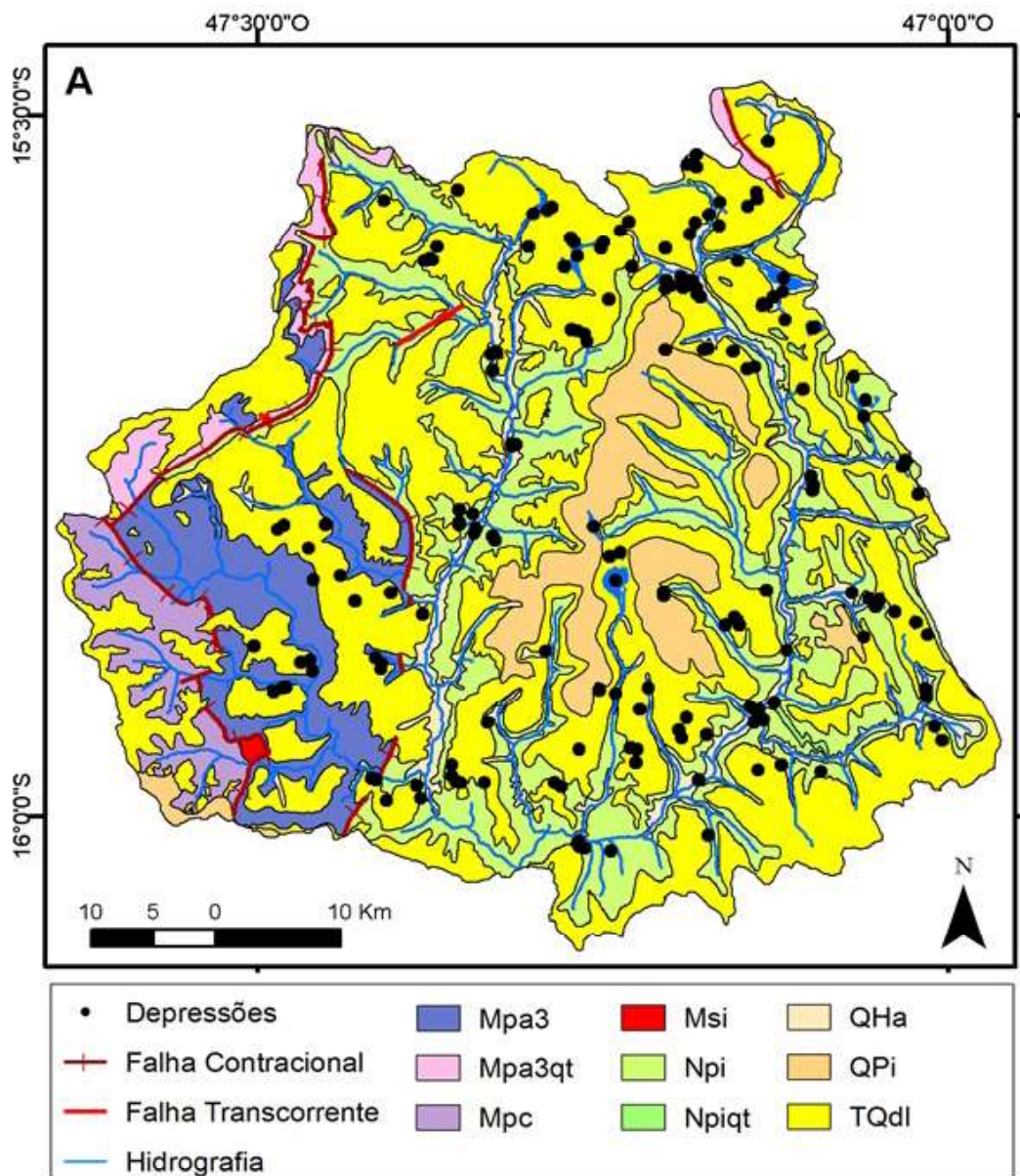


Figura 9 - Compartimentação geológica. Legenda conforme Tabela 1: Mpa3 – Grupo Paranoá, unidade 3 (Qt – ocorrência de quartzito); Mpc, Grupo Canastra, Formação Paracatu; Msi, Grupo Canastra, Serra do Landin; Npi, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba (Qt – ocorrência de quartzito); QHa, Depósitos Aluviais; QPi, Depósitos indiferenciados; TQdl, Coberturas Detrito-Lateríticas.

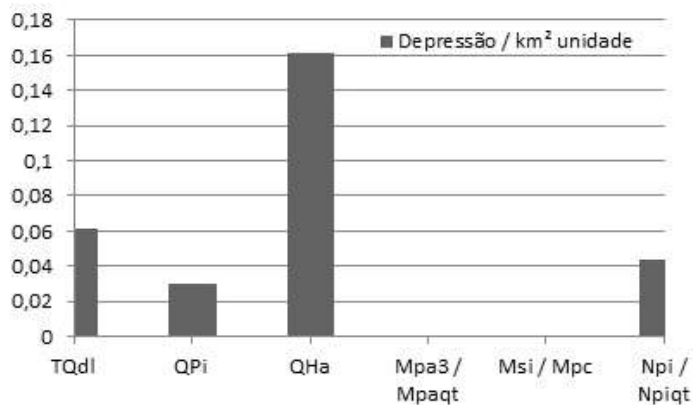


Figura 10 - Ocorrência das depressões (n/unidade) em cada compartimento geológico.

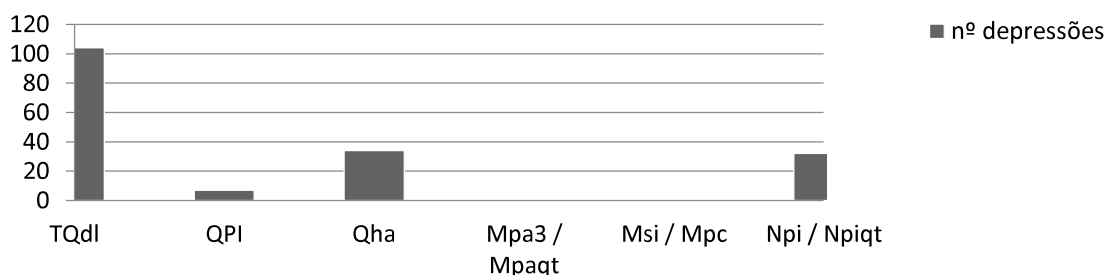


Figura 11 - Frequência das depressões (n/km² unidade) em cada compartimento geológico.

Considerando, portanto, que as depressões podem não refletir diretamente a dissolução das coberturas superficiais, mas sim, a do substrato geológico, é importante inferir o mapa geológico apenas com o embasamento, sem coberturas recentes. Ao desconsiderar estas (ou seja, excluindo-se os grupos Qha, QPi e TQdl), percebe-se que quase 90% das depressões estão em área de embasamento do Grupo Bambuí, de rochas carbonáticas, e que pouco menos de 10% das depressões encontra-se em área de embasamento do Grupo Paranoá, de rochas pelíticas e carbonáticas.

Contudo, cabe destacar que o grupo Paranoá não é bem descrito para a região, sendo que autores divergem quanto à geologia desta porção sudoeste da bacia do alto rio Preto. Sobre a questão, Freitas-Silva e Campos (1998) desenham para esta porção o Grupo Araxá, enquanto que Campo *et al.* (2006) desenham 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, ter-se-iam exemplos de depressões originadas por processo cárstico em rochas não-carbonáticas e, a princípio, menos dependentes de um controle litológico e mais relacionadas com controle estrutural e pedogeomorfológico.

Através do TPI e da análise da paisagem, chegou-se a cinco classes principais, a saber: (1) Chapada Elevadas e Interflúvios Tabulares; (2) Interflúvios Dissecados; (3) Médias Vertentes Suaves; (4) Médias Vertentes Íngremes; e, (5) Baixas Vertentes Suaves e Planícies Aluviais e Aluviões (vide Figura 12). Aqui se faz importante notar que não existem baixas vertentes íngremes.

A distribuição das depressões nestes compartimentos pode ser mais bem observada nos gráficos de ocorrência (vide Figura 13) e frequência (vide Figura 14).

Conforme o exposto, é possível observar a predominância de depressões na compartimentação intituladas Baixas Vertentes Suaves e de Planícies Aluviais e Aluviões. Por sua vez, não há ocorrência de depressões na compartimentação Chapadas Elevadas e Interflúvios Dissecados.

Tal elemento reforça a presença das depressões junto aos Latossolos, dado que na bacia do alto rio Preto, as couraças se encontram nos rebordos do planalto e interflúvios. Essa concentração no compartimento de Baixas Vertentes implica uma importante discussão.

Uma primeira possibilidade é que durante um clima seco, ou evento de mudança de nível de base local (como a captura do rio Preto ou neotectônica), ocorreu um momento de elevação da dissecação do relevo, expondo o embasamento, o qual originou as depressões.

Outra possibilidade é a ocorrência de, em um clima úmido, da degradação das couraças nas baixas vertentes, ou associadas com a própria posição na vertente ou em fraturas subterrâneas, originando Latossolos bastante permeáveis, dissecando quimicamente o embasamento geológico, originando as depressões.

Por fim, as depressões podem ter sido formadas em interflúvios, e que, com uma possível retomada da dissecação da bacia – expressa em vários ravinamentos entre as depressões e as linhas de água – foram capturadas. Assim, antigos interflúvios tornaram-se atualmente baixas vertentes.

Nos compartimentos Chapadas Elevadas e Interflúvios Dissecados não foram encontradas depressões. Tal fato pode se dar por três motivos principais. O primeiro é a característica geral das vertentes neste compartimento que, mais íngremes e com maior presença de Cambissolos, possuem baixa permeabilidade e potencial de infiltração. Este relevo está relacionado a rochas pelíticas e quartzosas do Grupo Paranoá, que possuem menor potencial hidrogeológico que o Grupo Bambuí, carbonático.

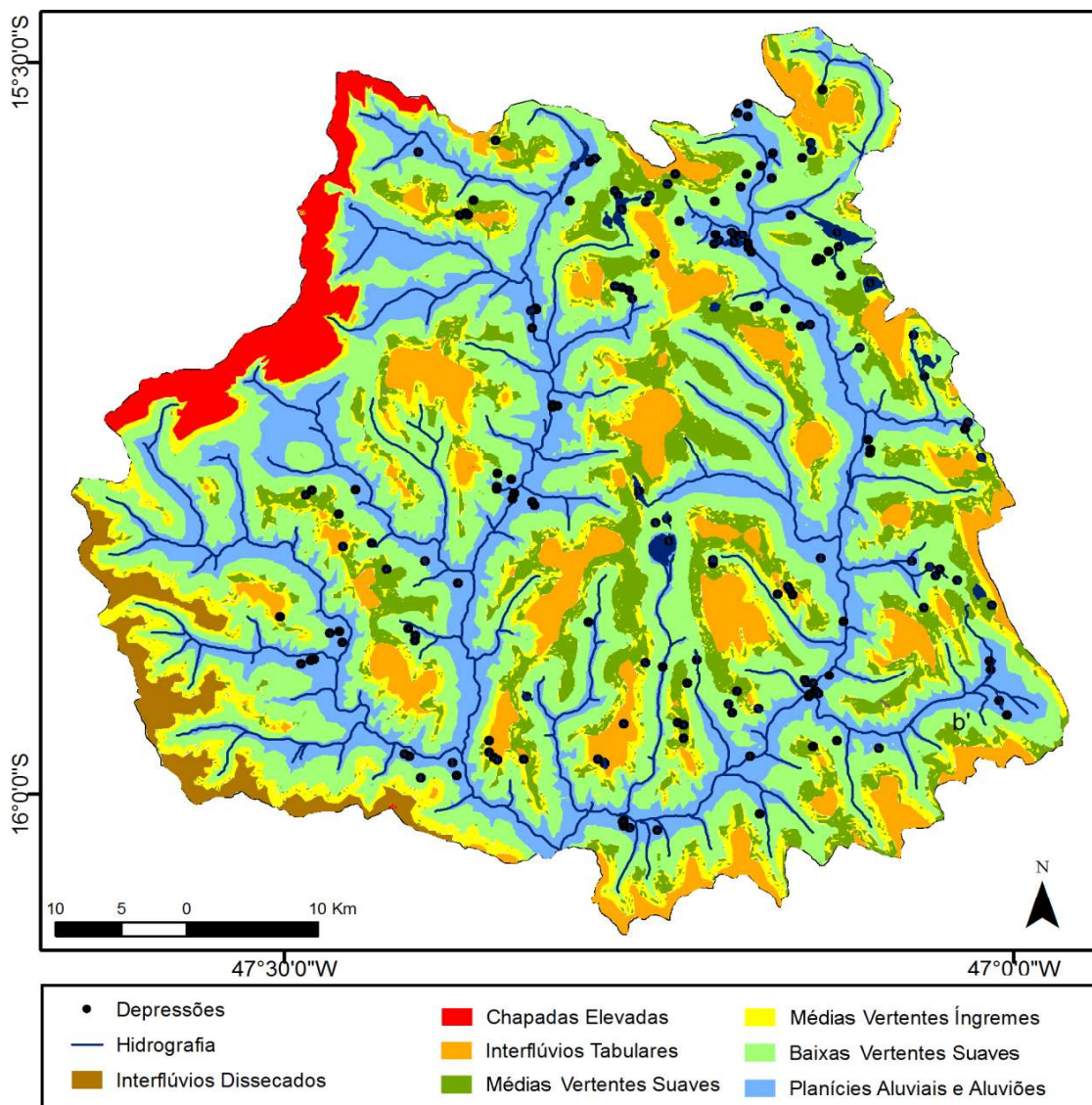


Figura 12 - Compartimentação geomorfológica.

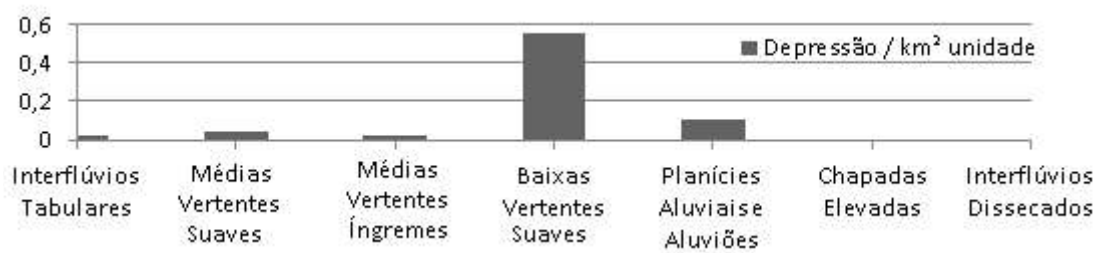


Figura 13 - Ocorrência das depressões (n/unitade) em cada compartimento geomorfológico.

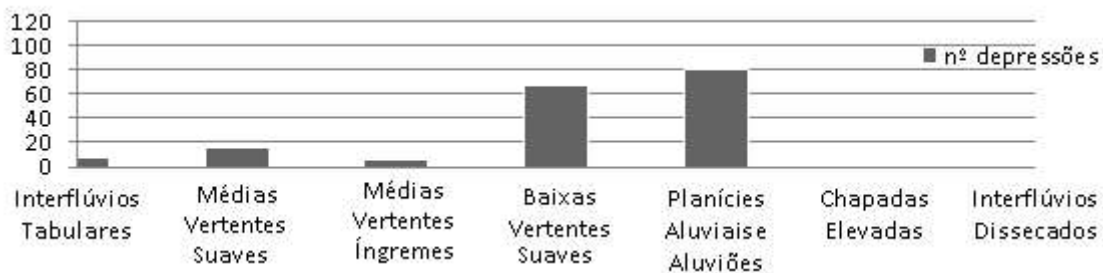


Figura 14 - Frequência das depressões (n/km² unidade) em cada compartimento geomorfológico.

Nas áreas superiores, especificamente associadas ao compartimento Chapadas Elevadas do Centro-Oeste, apesar de serem relativamente planos e possuírem solos bem drenados, são, nesta porção, capeados por couraças ferruginosas, reforçando o aspecto que as depressões estão restritas a áreas de ocorrência de Latossolos.

Outro motivo pode ser a própria evolução do planalto. As cotas superiores relacionadas ao compartimento de Chapadas Elevadas são associadas a uma evolução Sul-Americana, mais antiga do que possivelmente o restante da bacia do alto rio Preto (BRAUN, 1970; PENTEADO, 1976; NOVAES PINTO, 1987). Portanto, as depressões apresentam-se restritas a um único processo evolutivo específico posterior ao ciclo Sul-Americano.

O terceiro motivo é a pequena área destes compartimentos em relação à bacia do alto rio Preto. No entanto, na bibliografia não se tem estudos específicos ou a delimitação de feições doliniformes nestes chapadões elevados vizinhos a área de estudo, de modo que não é possível afirmar que os mesmos não existam neste compartimento.

5. Conclusão

Foram delimitadas 177 depressões, 90% destas com área até 0,5km², sendo o número de depressões fechadas metade do número de depressões abertas. Através do índice de circularidade, observou-se uma forma circular para estas, independentes de sua situação.

Foram evidentes os agrupamentos para as depressões, sobretudo, concentrados na porção mais montante da bacia. As depressões de áreas maiores, no entanto, não se encontram no centro destes grupos, mas isoladas principalmente em interflúvios.

Importante dado obtido é a direção prevalente de NW-SE para as depressões, equivalente ao encontrado por Campos *et al.* (2006) para lineamentos estruturais na bacia, sobretudo, das dobras sinclinais, as quais possuem as rochas carbonáticas do grupo Bambuí no centro, e as rochas pelíticas e quartzosas do grupo Paranoá nas bordas.

Os mapeamentos disponíveis na bibliografia generalizam os grupos geológicos, não delimitando exatamente tais dobras e estruturas, evidentes apenas onde as coberturas superficiais já foram dissecadas, como na região de Cabeceiras, Goiás (vide Figura 1),

analisadas por Guimarães (1997) e Chaves *et al.* (2003). Assim, é possível que tais dobras e falhas se estendam também para a área da bacia, abaixo de coberturas recentes, com reflexo no comportamento da drenagem e das depressões.

De fato, as depressões possuem forte controle estrutural, possivelmente associada ao centro de tais dobras, onde há zonas de fraturas associadas ao grupo Bambuí, criando zonas mais úmidas, associadas, portanto, à dissolução do substrato e à própria degradação das couraças, originando os Latossolos. Assim, faz-se importante realizar um mapeamento de profundidade para delimitar exatamente tais estruturas, as quais controlam as depressões.

Outro elemento observado para as depressões é a sua localização no compartimento de Baixas Vertentes Suaves ou Planícies Aluviais e Aluviões. Conforme o exposto, pode estar associada à estrutura de dobras e falhas, além de mudanças nos ciclos de dissecação do relevo – seja por mudanças paleoclimáticas ou mudanças nos níveis de base. Tal fato deve ser investigado em estudos de subsuperfície para especificar em que nível as depressões de fato se formam – se subterrâneo ou se apenas superficial – e quais as relações cronológicas entre solos, couraças e depressões.

Agradecimento

Agradecemos ao Exército Brasileiro, pelo apoio por meio do Acordo de Cooperação Técnica (ACT) 12-047-00 para a realização do presente estudo.

Referências Bibliográficas

- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- COLTRINARI, L. Paleosurfaces in southeastern Brazil: São José dos Campos plateau landform evolution, **Geociências**, v. 30, n. 1, p. 113-120, 2011.
- CRUZ, O. Alguns conhecimentos básicos para a fotointerpretação. **Aerofotogeografia**, n.25, São Paulo, IGEOG/USP, 1981.
- 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.
- FILIZOLA, H. F. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté - SP**. 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'Academie des Sciences de Paris**, v. 312, n. 2, p. 693-700, 1993.
- 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.
- 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 hidroológico 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, 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, 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**. 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

XAVIER, R. A.; COELHO NETO, 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.