

CONTRIBUIÇÃO A GEOMORFOLOGIA CÁRSTICA EM ROCHAS QUARTZÍTICAS: MÉDIO VALE DO RIO PRETO, RJ/MG*.

UAGODA, R.¹

¹Mestrando, PPGG/UFRJ; bolsista FAPERJ-uagoda@yahoo.com.br

AVELAR, A.S.²

² Prof. Adjunto I, Depto.de Geografia-UFRJ;

COELHO NETTO, A.L.³

³ Professora Titular, Depto. de Geografia/UFRJ, Pesquisador 1B/CNPq
GEOHECO – Laboratório de Geo-Hidroecologia, DEGEO-IGEO, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza-CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ.

RESUMO

Feições cársticas são geralmente desenvolvidas em rochas carbonáticas, mas também podem ocorrer em rochas siliciclásticas, como é o caso dos quartzitos. A presente pesquisa objetiva realizar mapeamento da morfologia superficial e reconhecimento de depósitos de área cárstica em rochas quartzíticas. O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Ribeirão Santana (210 km²), médio vale do rio Preto, que é tributário do rio Paraíba do Sul, localizando-se entre os estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais, Brasil. Foi realizada restituição de fotografias aéreas na escala 1:25.000 em ambiente 3D, donde resultou carta planialtimétrica em escala 1:10.000, com localização de depressões fechadas, concavidades com e sem canal e depósitos. Em campo foi executado levantamento topográfico de precisão, 1:500, resultando em mapeamentos planialtimétricos de formas já identificadas. Também foram feitas coletas de solo em fundos de vale, encostas e depressões, analisadas segundo os critérios de cor, textura e morfoscopia de grãos, resultando em perfis de solo, para depósitos confinados em fundos de depressões e concavidades; e representações esquemáticas, para sedimentos de fundos de vale e encosta. Os resultados indicam que as depressões fechadas posicionam-se geralmente nos divisores de drenagem e que há boa distribuição de concavidades com canal em cabeceiras. Quanto aos pacotes deposicionais, há predominância da fração areia em todas as amostras dos perfis de depósitos de encosta e fundos de vale fluviais, o que pode indicar que os finos são carreados em solução. Nos depósitos confinados em depressões e concavidades são encontrados perfis orgânicos e/ou hidromórficos em profundidade, semelhante ao que é descrito em outros trabalhos sobre o tema, que interpretam as depressões como sendo possíveis estágios da evolução de concavidades suspensas em encostas. Os dados subsidiarão pesquisa futura que levará em conta características geológicas, hidrológicas e geoquímicas, a fim de interpretar a gênese e desenvolvimento das feições cársticas.

Palavras chave: Geomorfologia cárstica, Cabeceiras de drenagem, Depressões fechadas.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O termo carste aplica-se as feições morfológicas em rochas solúveis e sua origem está relacionada aos estudos clássicos de A. Penck na região da península balcânica em um sistema cárstico sob rochas calcáreas (KÖHLER, 1994). Na evolução do sistema cárstico em rocha calcárea predomina a reação de dissolução ácida do carbonato de cálcio (CaCO₃), sob altas taxas, principalmente em regiões de clima quente e úmido. Em última instância, o termo

* Apoio Financeiro: CNPQ (Editais PRONEX, CT-HIDRO e EDITAL UNIVERSAL) e FAPERJ (editais Cientistas do Estado, PADCT e Bolsista Nota 10.)

refere-se às feições geradas predominantemente pela ação química em rochas solúveis, com deposição de elementos mais estáveis, e posterior ação gravitacional associada principalmente ao colapso de fragmentos de rocha e ação da água subterrânea para transporte de detritos residuais e de elementos em solução (FORD & WILLIAMS, 1989, *apud* DOERR, 1999). No Brasil, destacam-se os estudos sobre carste em rochas carbonáticas desenvolvidos por KOHLER (1989), AULER (1995) e PILÓ (1996), principalmente em carbonatos da bacia do rio das Velhas, no estado de Minas Gerais.

As feições cársticas também têm sido descritas em formações rochosas compostas por rochas siliciclásticas, como é o caso de arenitos, quartzitos ou gnaisses compostos por alto grau de sílica (SiO_2), mineral que possui baixas taxas para dissolução em CNTP (condições normais de temperatura e pressão). Destacam-se os trabalhos realizados na Austrália, Venezuela, África do Sul e Inglaterra, em rochas que estão sob ou já sofreram a ação do clima quente e úmido (DOERR, 1999, WRAY, 2003, JENNINGS, 1983). No Brasil, os estudos sobre carste em rochas quartzíticas foram desenvolvidos principalmente por CORREA NETTO (1993) e SILVA (2003), na serra da Mantiqueira, localmente denominada serra de Ibitipoca, ou ainda em trabalhos mais abrangentes sobre o tema (AULER, 2004). Vale ressaltar que os trabalhos acima indicados nas áreas sob rochas quartzíticas, tanto no Brasil como no exterior centram seus objetivos na descrição de espeleotemas, formas e tamanhos de grutas ou cavernas, e também na discussão dos mecanismos de dissolução em rochas siliciclásticas. Ainda é rarefeito o estudo dos processos geomorfológicos associados à origem e desenvolvimento das formas superficiais, assim como em suas relações com a evolução das encostas no contexto de bacias de drenagem.

O presente trabalho insere-se em um projeto de pesquisa que busca conhecer e explicar os processos cársticos associados à origem e evolução geomorfológica sob rochas quartzíticas, com atenção especial sobre os domínios de cabeceiras de drenagem e fundos de vales fluviais. Por ora apresentam-se os resultados dos estudos iniciais voltados ao reconhecimento e mapeamento das formas cársticas hipoteticamente relacionadas à origem e desenvolvimento dos vales de cabeceiras de drenagem e dos fundos de vales fluviais no domínio dos quartzitos do Grupo Andrelândia, particularmente no médio vale do rio Preto, afluente do rio Paraíba do Sul. Apresenta-se ainda uma primeira caracterização física dos regolitos nos domínios de cabeceiras e dos depósitos fluviais. Ressalta-se que este mapeamento vem ocorrendo em paralelo ao mapeamento geológico na escala 1: 25 000 da área de estudo (Avelar et al., neste simpósio). Desta forma, tenta-se reconhecer a relação entre o substrato geológico em seus aspectos litológicos e estruturais e os processos de denudação

química e mecânica associada ao desenvolvimento do modelado superficial no recorte espacial de bacias de drenagem.

ÁREA DE ESTUDO

A Figura 1 indica a localização da bacia do rio Preto no médio vale do rio Paraíba do Sul, e da área específica deste estudo na sub-bacia do Ribeirão Sant'ana ($21^{\circ}55'S/44^{\circ}L - 22^{\circ}05'S/43^{\circ}45'L$). Ressalta-se que esta sub-bacia apresenta inúmeras formas endocársticas e exocársticas, destacando-se cavernas, dolinas e relevos ruíniformes.

No contexto regional a área de estudo situa-se no compartimento tectônico do Grupo Andreândia, inserido na Faixa Móvel Ribeira descrita por HEILBRON (1995). A unidade geológica deste grupo inclui rochas metassedimentares de idade pré-cambriana. Localmente ocorre o quartzito grosso, quartzito fino e gnaiss bandado (Avelar et al., neste Simpósio).

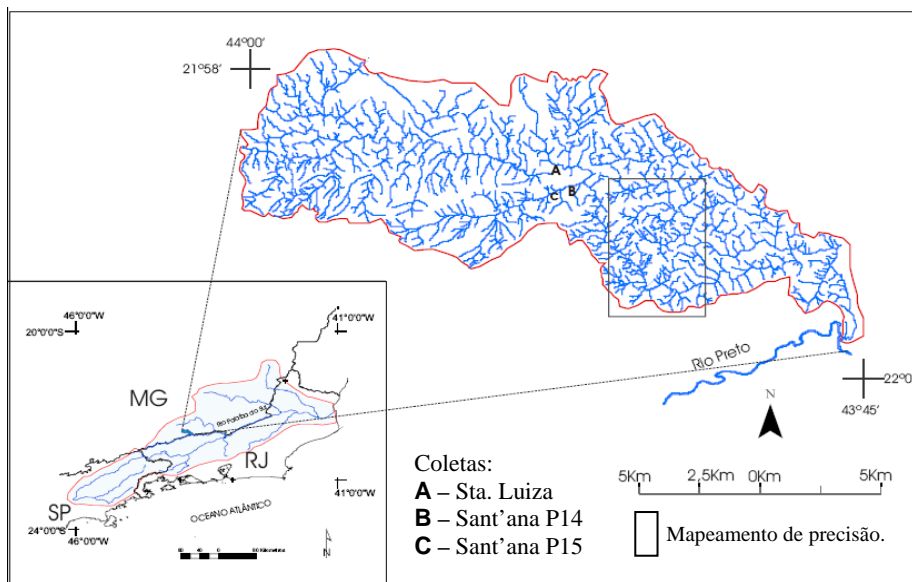


Figura 1. Localização da bacia do ribeirão Sant'ana no contexto da bacia do rio Paraíba do Sul com detalhe para áreas de mapeamento e de coletas de solo.

De acordo com Silva (2003) a região está sob clima do tipo Tropical de Altitude Mesotérmico, com inverno frio e seco e verão chuvoso; a pluviosidade média anual nas áreas abaixo de 1000 metros de

altitude atinge 1500mm anuais, e nas áreas acima desta cota altimétrica está em torno dos 1700mm anuais. As temperaturas médias oscilam entre 12° a 15° nos meses mais frios e 18° a 22° nos meses mais quentes. O mesmo autor indica que a área está inserida no bioma da Mata Atlântica onde, originalmente, teria prevalecido uma vegetação do tipo Mata Ombrófila Densa e Mata Ombrófila Montana. Hoje, entretanto prevalece uma vegetação marcada por fragmentos florestais e extensas áreas coberta por gramíneas, com fundos de vale alagados, brejos e vegetação mais rarefeita nos afloramentos de sedimentos quartzíticos. Historicamente esta área foi utilizada para extração de madeiras e criação de gado leiteiro (atividade que se encontra em declínio), explicando, assim, a distribuição de pastagens com gramíneas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para subsidiar o mapeamento geomorfológico foi executado levantamento planialtimétrico em duas escalas: 1:10.000, para representar o conjunto fisiográfico da área de interesse, e 1: 500, para representar formas específicas das cabeceiras de drenagem. No primeiro caso optou-se pela restituição semi-automática com fotografias aéreas na escala 1:25.000, que contempla as fases de *orientação de modelos*, com georreferenciamento de precisão, utilizando-se GPS (Global Position System) diferencial de marca ASHTECH e a fase de *restituição* de informações vetoriais em ambiente *stereo* (3D), utilizando-se o software MAPSTATION (MENDONÇA, 2002).

Esta restituição gerou um modelo de área da bacia em escala 1:10 000 sobre o qual restituiu-se a rede de canais. O mapeamento geomorfológico foi realizado em ambiente 3D com revisão em campo, sendo identificadas: depressões fechadas e os vales de cabeceiras (ou concavidades), com e sem canal; também foram mapeados os depósitos na transição dos domínios de encostas para os fundos de vales fluviais. O levantamento em escala 1:500 foi executado com apoio de uma estação total, marca TRIMBLE, com georreferenciamento dos pontos amostrais de solo.

Visando o reconhecimento e uma primeira caracterização dos regolitos, selecionou-se uma depressão fechada e uma concavidade com canal onde foram levantados alguns perfis de solo para fins de identificação das camadas com base nos levantamentos expeditos de granulometria e cor. Outras coletas de solo foram conduzidas em uma área próxima deste estudo, visando um primeiro reconhecimento dos aspectos granulométricos, morfológicos e mineralógicos dos depósitos de encosta na interface com os depósitos fluviais.

Os levantamentos de solos foram realizados com auxílio de um trado manual de 5 metros de comprimento, com coletor de 25 cm de diâmetro, e uma carta de cores de solos (MUNSELL, 1971). A análise granulométrica seguiu as técnicas de laboratório preconizadas por FOLK e WARD (1957); por ora apresenta-se uma primeira caracterização geral da textura destes materiais amostrados. A morfoscopia dos grãos foi identificada a partir da classificação proposta por KRUMBEIN, W.C. e PETTIJOHN (1938).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área de estudo (20km²) foram identificadas 41 depressões fechadas (2,05/km²), 13 concavidades sem canal (0,65/km²) e 57 concavidades com canal (2,85/km²) - ver Figura 2.

Ressalta-se que as depressões situam-se nos divisores de águas das colinas convexo-retilíneas, especialmente nos topos altimétricos.

Durante os trabalhos de campo realizados no início da estação seca (abril/2006) observou-se a ocorrência de pontos de exfiltração à jusante das cabeças de canais que drenam

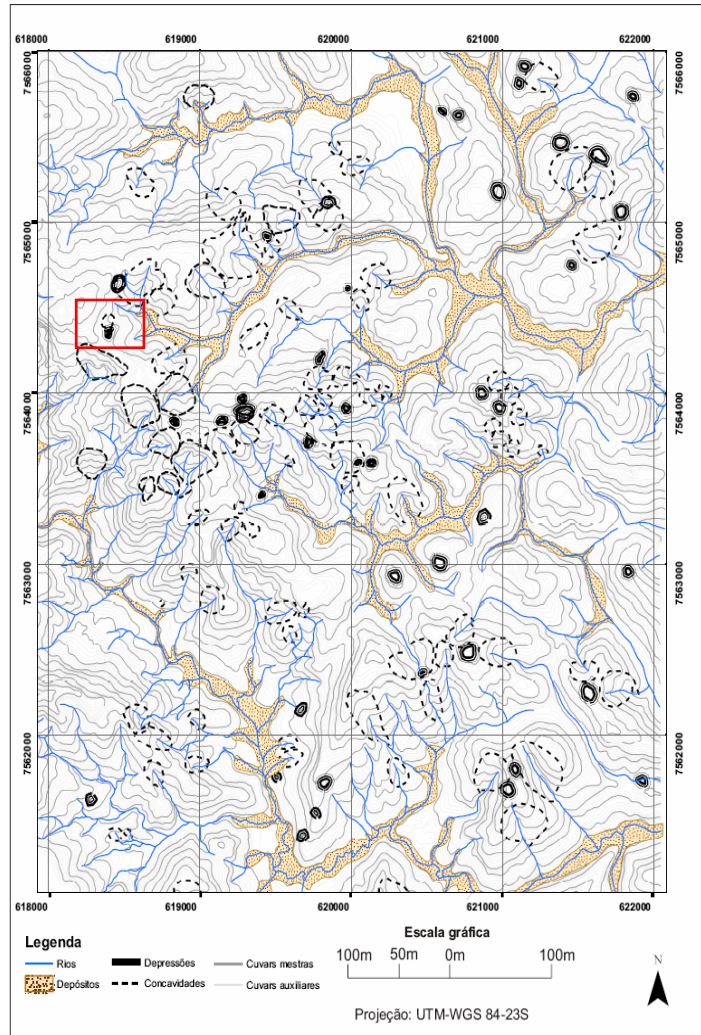


Figura 2. Carta planialtimétrica da área de estudo. Destacam-se as formas de depressões fechadas, concavidades suspensas e fundos de vales fluviais. Em detalhe (retângulo) áreas de amostragem para perfil de solo.

as concavidades. Após uma estiagem de uma quinzena, ocorreu um aumento considerável da descarga destes canais em resposta a um evento de chuva diário (somando 60 mm, segundo o sistema de meteorologia e recursos hídricos do Estado de Minas Gerais) com alternância de intensidade, durante o dia 18 de Abril de 2006. Após este evento de chuva observou-se a saturação dos solos no fundo das depressões fechadas.

Os perfis de solo amostrados ao longo do eixo longitudinal da depressão TD1 (Figuras 3 e 4), evidenciam que o solo se desenvolveu em concordância com a topografia atual sugerindo que sua formação é posterior a origem da depressão (Figura 4). Sobressai a ocorrência

de duas camadas orgânicas no fundo da depressão: uma no topo do solo (camada 1) apresentando cor 10YR 3/2 e outra camada (5) a 4m de profundidade que se apresenta relativamente mais úmida, com textura argilosa e presença de poucos grãos de quartzo lavados; a cor desta camada orgânica mais escura é 10YR 2.5/1. Observa-se que a camada 1 vai se tornando gradualmente mais clara à montante do fundo da depressão (cor 10 YR 5/3), tornando-se também menos agregada e menos úmida. Na encosta, abaixo desta camada encontra-se uma camada 2 de solo friável e seco de coloração amarelada 10YR 6/6, qual

sobrepoë uma camada 3 que é mais agregada, úmida, escura e argilosa de coloração 10YR 4/4. A jusante desta camada delimitou-se uma outra camada (4) por ser bastante úmida e acinzentada (10YR 4/6), com características de hidromorfia. Abaixo da camada 4 e também no fundo da depressão ocorre um material argiloso espesso e rico em matéria orgânica e mais escura (cor 10YR 2.5/1), com grãos de quartzo lavados, até uma profundidade de 3 a 4 metros, constituindo uma camada 5. Abaixo desta camada encontra-se uma outra camada (6) com coloração acinzentada (10YR 7/2) no fundo da depressão em solo arenoso, com grãos de quartzo mais grosseiros, que mescla com a coloração amarelo-avermelhado (5YR) indicando possivelmente uma zona de flutuação do lençol freático que atinge o fundo da depressão. Mais à montante esta camada torna-se um material amarelo-avermelhado (5YR) constituindo o que denominamos camada 7, mais siltosa e com grânulos de areia grossa bastante angulosos. Ressalta-se que na porção superior da depressão (topo) a camada orgânica (1) desenvolve-se diretamente sobre o saprolito (camada 7).

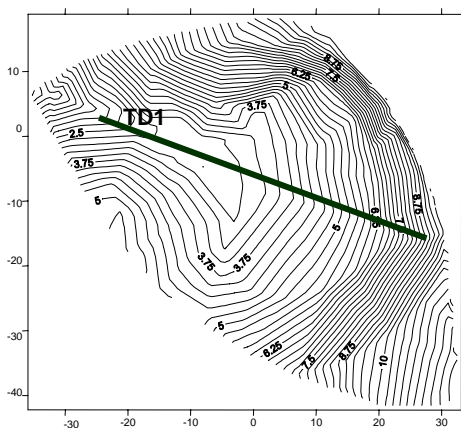


Figura 3. Topografia da Depressão 1 e localização do perfil de solo – TD1 – no eixo maior da depressão. Na porção mais baixa deste eixo o declive impede a saída de fluxos d'água superficiais.

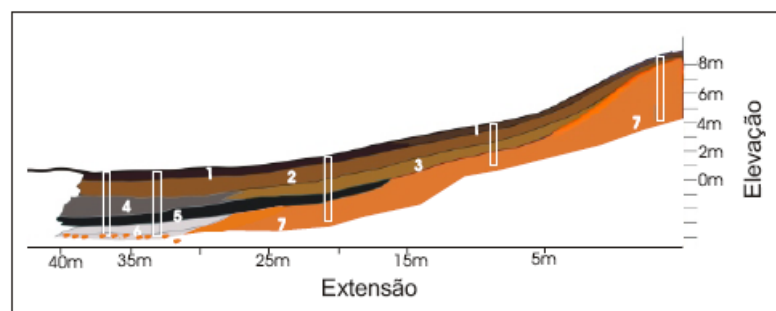
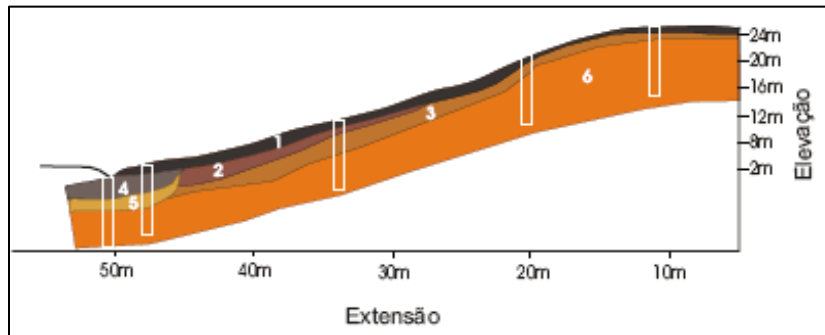


Figura 4. Perfil de solo no eixo principal da depressão fechada em estudo – TD1, com numeração relativa a cada camada e localização dos perfis de tradagem.

Na concavidade com canal, repetem-se as características semelhantes ao que foi anteriormente descrito na depressão. A camada orgânica superior (1), entretanto, ocorre até o topo da encosta com variações de espessura, o que pode ter sido realçado pelo fato dos solos estarem mais úmidos no período deste levantamento de campo. No topo da encosta e abaixo da camada 1 ocorre uma variação para coloração amarelada 10YR 6/6 (camada 3) com material friável e seco na meia encosta e no topo; torna-se mais úmida à jusante no fundo do vale desta cabeceira. Nesta última posição, entre as camadas 1 e 3 ocorre uma camada 2, restrita ao fundo de vale, onde o solo apresenta-se mais adensado e escuro (cor 10YR 4/4). Abaixo desta camada ainda de natureza sedimentar mantém características de hidromorfia e a cor muda para marrom-acinzentada (10YR 3/3), constituindo uma camada 4. Abaixo desta camada identificou-se uma camada 5

com coloração mais amarelada, 10YR 5/3 e abaixo da qual o saprolito do quartzito fino



(camada 6) constitui o material da base de todos os perfis da encosta, apresentando coloração amarelo-avermelhada de cor 5YR (Figura 5).

Figura 5. Perfil de solo da concavidade 1 com canal. Em detalhe, numeração relativa as camadas e localização dos perfis de solo.

Vale destacar que outros autores também

descreveram perfis hidromórficos em fundos de depressões similares: FILIZOLA (1994) em sedimentos terciários quartzo-cauliniticos semi-consolidados da bacia de Taubaté, PILO (1998) em embasamento xisto-calcareo da bacia do rio das Velhas (formação sete lagoas) e CASTRO e COELHO NETTO (2002) em rochas metasedimentares do grupo Paraíba do Sul (biotita gnaisse). FILIZOLA (op.cit.), assim como as duas ultimas autoras citadas, consideram que depressões em divisores poderiam estar associadas a mecanismos de subsidência geoquímica favorecidos por fluxos d'água em fraturamentos das rochas e ainda que estas depressões poderiam abrir para originar os vales no domínio das encostas. COELHO NETTO (2003) considera estas depressões como sendo proto-vales, os quais podem abrir e dar origem aos vales de cabeceiras de drenagem (ou concavidades, suspensas ou ajustadas topograficamente aos fundos de vales fluviais). A autora sugere que a abertura das depressões e evolução dos vales abertos depende da competição pelos fluxos de águas subterrâneas entre depressões e/ou vales adjacentes para geração de descargas críticas nas faces de exfiltração da

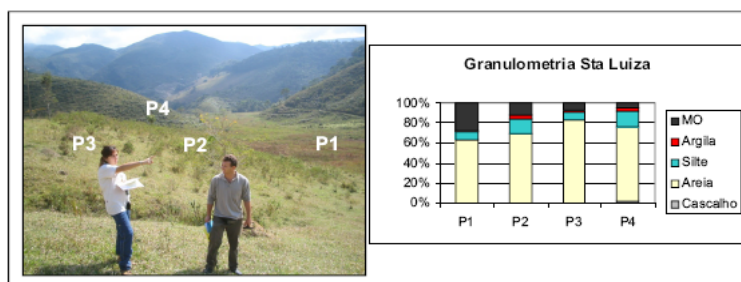


Figura 6. Análise granulométrica do Ribeirão Sta.Luiza, com localização dos pontos amostrais e respectivos gráficos.

água subterrânea e ativação da erosão. Os níveis de hidromorfia se concentrariam mais nos fundos das depressões suspensas em divisores topográficos; as depressões nas encostas laterais teriam mais chance de abertura dos vales

pele favorecimento do próprio gradiente hidráulico nas encostas laterais.

O reconhecimento dos materiais de encostas foi realizado em área próxima a este estudo na sub-bacia do córrego Luiza (Figura 6), englobando os seguintes domínios: P1 – planície de inundação; P2 e P3 – leque aluvial e P4 - depósito de encosta. Os resultados

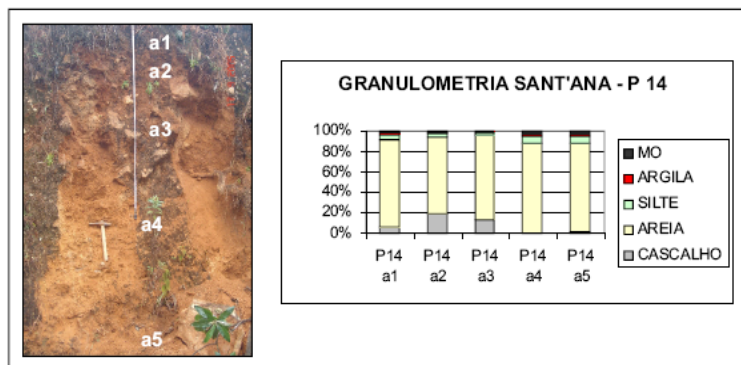


Figura 7. Análise granulométrica do Rib. Sant'ana – P14, com localização dos pontos amostrais e respectivos gráficos.

iniciais permitem apontar os seguintes aspectos: presença de camada orgânica em todas as posições amostrais, com teores crescentes entre o domínio das encostas e o domínio fluvial; predomínio da fração areia em todas as amostras, variando de

60% no domínio fluvial a mais de 80% nos domínios de encostas.

Mais ao sul, no Ribeirão Sant'ana do Funil, foram identificados pacotes relativos a depósitos de encosta em dois pontos de coleta: na primeira (figura 7) há predomínio da classe areia em todas as amostras com teores de cascalho, em torno de 7 a 10% em a2 e a3 e aumento das taxas de matéria orgânica em profundidade superior a dois metros em a4 e a5, em torno de 5%; na segunda (Figura 8), também ocorre maior teor da fração areia (+ 90%) destacando-se a identificação visual de solo mais escuro (a3) em 1,20 metros de profundidade, com teores de matéria orgânica em torno de 5%. Do topo para base, ainda na Figura 8, há aumento esperado dos teores de cascalho, em torno de 7% em a4, aparentemente próximo a matriz da rocha.

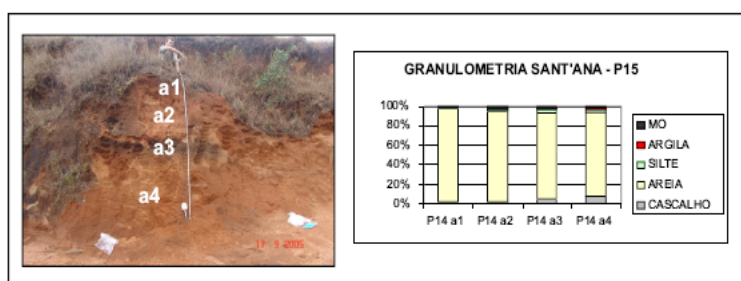


Figura 8. Análise granulométrica do Rib. Sant'ana P15, com localização dos pontos amostrais e respectivos gráficos.

Há homogeneidade de classe para todas as amostras, variando de arenosa a franco arenosa, com baixos teores de silte e argila. Dados preliminares da análise de morfoscopia permitiram evidenciar que os grãos variam de pouco

arredondados a angulosos e possuem uma textura superficial predominantemente sacaróide, indicando curtas distancias de transporte em relação a fonte primária destes sedimentos.

Os baixos percentuais de argila nos depósitos conferem com a explicação dada por DOERR (1999), para a evolução do carste quartzítico das montanhas TEPUI na Venezuela, na qual haveria estágios de dissolução para o cimento de sílica amorfa e para a sílica cristalizada em níveis básicos de Ph, necessitando de grandes aportes de água para carrear o material ácido gerado pela dissolução da sílica. As baixas taxas de dissolução e as propriedades da rocha fonte não favorecem a acumulação de pacotes de sedimentos finos, pois o resultado da

transformação da rocha é carregado em solução, enriquecendo os aquíferos através de um sistema cárstico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo preliminarmente, os resultados demonstram haver certa relação entre as concavidades com ou sem canal no domínio das cabeceiras de drenagem e as depressões fechadas nos topos ou divisores de águas. Os depósitos encontrados nestas formas e seus respectivos níveis hidromórficos, com concentrações de matéria orgânica, mesmo que delgadas nas concavidades, são similares. Nos domínios de transição das encostas para os fundos de vales fluviais não se observa diferenças significativas entre as classes granulométricas e morfoscópicas das amostras coletadas em depósitos, o que dificulta a identificação dos contatos entre os dois domínios. Vale ressaltar que a amostragem ainda foi mais de reconhecimento geral, devendo ser ampliada e sistematizada em futuro próximo, quando serão feitas as coletas adequadas aos procedimentos de datação das camadas orgânicas em diferentes domínios e posições topográficas. A expansão deste estudo geomorfológico também será melhor relacionado com outros estudos geológico-estruturais e hidro-geoquímicos de maior detalhe em desenvolvimento no próprio Laboratório e integrados com outros pesquisadores afins ao tema central.

BIBLIOGRAFIA

- AULER, A. 1995. Lakes as a speleogenic agent in the karst of Lagoa Santa, Brasil. *Cave and Karst Science*, v.21,n.3, p.105-110.
- AULER, AS. 2004. Quartzite caves of South América. In: *Encyclopedia of Caves and Karst Science* (Gunn, J. ed.). Fitzroy Dearborn, London, p.611-613
- CASTRO, S.S. e COELHO NETTO, A.L. 2002. Evolução Pedogenética em Depressão de Topo na Bacia do Alto Rio Fortaleza, Região do Bananal (RJ). IV Encontro Sobre Engenharia Geotécnica e Hidrologia no Sisema Encosta-Planície Costeira, Bananal/SP. P.181-192.
- COELHO NETTO, A.L. 2003. Evolução de cabeceras de drenagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. In. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 4, Nº 2, p.69-100.
- CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C.; BRANDÃO, C.P. 1993. Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. *Anais VII Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, p. 83-86.

- DOERR, S.H. 1999. Karst-like landforms and hydrology in quartzites of the Venezuelan Guyana shield: Pseudokarst or “real” karst? *Zeitschrift fur Geomorphologie* 43:1-17.
- FILIZOLA, H. F. A, BOULET, R. 1996. Evolution and opening of closed depressions developed in quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubate basin, São Paulo, Brazil, and analogy to the slope evolution. *Geomorphology* 16, 77-86.
- FOLK R.L., WARD W.C. 1957. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27:3-26
- HEILBRON, M. 1995. O Segmento Central da Faixa Ribeira: síntese geológica e ensaio de evolução geotécnica. Tese de livre docência. DGEL/UERJ.
- JENNINGS, J.N. 1983. Sandstone pseudokarst or karst? In: *Aspects of Australian Sandstone Landscapes Australian and New Zealand Geomorphology Group Special Publication 1: 21-30.*
- KOHLER, H.C. 1994. Geomorfologia cárstica. In: *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos* (org. GUERRA, A.T. e CUNHA, S.B.). p. 309-334.
- KOHLER, H.C. 1989. Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa/MG. São Paulo. (Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo).
- KRUMBEIN, W.C. e PETTIJOHN, F.J 1938. *Manual of sedimentary petrography.* Appleton-Century-Crofts, Inc. New York.
- MENDONÇA J, M.G. (2002). Estratégias para Geração Semi-Automática de Modelos Digitais do Terreno Visando seu Emprego no Mapeamento Sistemático. Dissertação de mestrado, Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia.
- MUNSELL. *Soil Color Charts.* Munsell color company, inc. Baltimore, 1971.
- SILVA, S.M. 2004. Carstificação Em Rochas Siliciclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, UFMG, 142p.
- WRAY, R.A.L. (1997c). Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? *Cave and Karst Science*, 24: 81-86.