

## Caracterização de processos erosivos acelerados em Santa Rita do Passa Quatro, SP.

José Eduardo Zaine<sup>1</sup>; João Carlos Porcel Ferreira<sup>2</sup>; Lia Nogueira Garpelli<sup>3</sup>; Rafael Vieira Ribeiro<sup>4</sup>; Samara Satie Iwashita<sup>5</sup>; Fábio A. V. Reis<sup>6</sup>.

**Resumo** – Santa Rita do Passa Quatro, cidade localizada no estado de São Paulo, sofre constantemente com a ação de processos erosivos lineares, estes podem perdurar anos, como é o caso de algumas voçorocas encontradas na região. Para uma avaliação e caracterização dessas erosões, foram assumidas as seguintes etapas de trabalho: a) Seleção das erosões alvo de trabalho, através de imagens aéreas obtidas pelo programa Google Earth; b) Trabalho de campo nos locais selecionados, de modo a avaliar seus principais condicionantes físicos, possíveis de se observar em campo; c) Ensaios laboratoriais nas amostras coletadas, buscando atribuir valores para os principais parâmetros físicos do solo; d) análise e interpretação dos resultados obtidos nas etapas anteriores, consolidando-os de forma íntegra. Os resultados obtidos permitiram aferir padrões das feições lineares regionais, como suas dimensões, o caráter físico do solo, sua frequência. As erosões rurais na região, em sua maioria, desenvolvem-se a partir de solos com alta erodibilidade e incoesos, com forte ação antrópica, como arruamento ou lançamento concentrado de água, que condicionam ainda mais o desenvolvimento dessas erosões lineares.

**Abstract** – Santa Rita do Passa Quatro, a city located in the State of São Paulo, constantly goes through action of linear erosive processes which may last for years. To evaluate and characterize erosive processes in this region, the following steps were carried out: a) selection of erosive processes through aerial images and images obtained from the Google Earth software; b) fieldwork in the selected sites, to evaluate their main physical conditions that can be observed in the field; c) laboratory tests to assign values for the main physical soil parameters; d) analysis and interpretation of the results obtained from the previous stages. The results allowed to check patterns of regional linear features, such as size, soil physical characteristics and frequency. Most of the rural erosive processes in the region develop from soils with high erodibility; however, those found in urban areas, together with the characteristics previously mentioned, can also exhibit anthropogenic actions (e.g., urbanization or concentrated water), which accelerate the erosive process.

**Palavras-Chave** – Erosão Linear; Voçoroca; Santa Rita do Passa Quatro

---

<sup>1</sup> Geól., Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista, (19) 99749-2702, jedzaine@gmail.com

<sup>2</sup> Grad., Universidade Estadual Paulista, (19) 98380-4956, joaoporcel@hotmail.com

<sup>3</sup> Grad., Universidade Estadual Paulista, (19) 99815-3205, lia\_garpelli@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Grad., Universidade Estadual Paulista, (16) 98182-0127, rafaelvieira.br@hotmail.com

<sup>5</sup> Grad., Universidade Estadual Paulista, (19) 98830-0783, samara.satie@gmail.com

<sup>6</sup> Geól., Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista, (19) 98155-8004, fabioreis@rc.unesp.br

## 1. INTRODUÇÃO

Para estudar as erosões lineares e os processos relacionados com sua formação e evolução, foram escolhidas regiões no Estado de São Paulo que têm como características comuns terrenos compostos por solos e unidades geológicas arenosas e são classificadas como de muito alta suscetibilidade à erosão (IPT, 1995).

Tais locais foram alvo de estudo para esse tipo de problema ambiental, por apresentarem relevantes registros erosivos associados a suas características ambientais. A cidade expandiu sem considerar as características do seu substrato geológico, ou seja, formações arenosas, com solos incoesos. Essas características, somadas às ações antrópicas, geram um ambiente propício para o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, com danos significativos para a própria população.

A região escolhida localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, no limite entre as Províncias Geomorfológicas (ALMEIDA, 1964), Depressão Periférica Paulista, Zona do Mogi-Guaçu, e a faixa de Cuestas Arenito-Basálticas (Relevos Residuais). As altitudes variam de 540 m a 1005 m (Pico do Córrego do Fundo). As características e unidades foram definidas no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981).

Geologicamente, as áreas estudadas são compostas pelas Formações Piramboia e Botucatu, e depósitos arenosos Cenozoicos, alguns podendo ser correlacionados à Formação Santa Rita do Passa Quatro. Estas unidades geológicas têm composição predominantemente arenosa e, por conseguinte, apresentam solos arenosos profundos e incoesos. A Figura 1 apresenta a distribuição das unidades geológicas no município de Santa Rita do Passa Quatro. Na região de Santa Rita do Passa Quatro, foram apresentados os resultados principais dos estudos realizados a partir de trabalhos de campo, coleta e análise de amostras deformadas e indeformadas, de modo a entender a origem e desenvolvimento de processos erosivos significativos deste município.

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e analisar feições erosivas, apresentando os principais condicionantes para o desenvolvimento desses processos na região estudada.

## 2. MÉTODO

Os trabalhos realizados seguiram os seguintes procedimentos:

### A - Escolha das erosões mais expressivas

•Método de escolha por meio de fotos aéreas da região, além de imagens obtidas no programa Google Earth, posteriormente, aplicando o método de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação das imagens obtidas.

### B - Atividades de Campo

•Descrição e caracterização local das erosões pré-selecionadas na etapa anterior, levantando observações em campo.

•Coleta de amostras nas voçorocas e afloramento visitados para posteriores estudos em etapas laboratoriais.

### C - Ensaios Geotécnicos em amostras indeformadas

•Ensaios de determinação da massa específica e granulometria buscando, de forma quantitativa, mensurar os valores das propriedades físicas dos solos em estudo.

## D – Análise e interpretação dos resultados

• Integração dos dados obtidos nas etapas anteriores, apresentando um diagnóstico das erosões.

A atividade consistiu na avaliação dos processos erosivos, com caracterização dos solos e da geologia da área. Por meio da contextualização geológica, geomorfológica e com atividade de campo, foram definidas seções geológicas representativas. Uma vez definidos os alvos, foram realizadas descrições de detalhe das erosões. Nesse contexto, foi necessário um pré-cadastro das erosões na região de estudo, por meio dos mapas geológico e geomorfológico, além de observações em imagens de satélites com o programa Google Earth.

A etapa de campo foi finalizada com a coleta de amostras de solo e rocha para posterior análise laboratorial. A amostragem seguiu o padrão de coleta de amostras indeformadas do solo, com utilização do extrator de amostras manual e retirada dos materiais nas faces dos taludes com profundidade máxima de 50 centímetros. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetadas, e fechadas hermeticamente para manutenção da umidade natural e das estruturas originais.

Os ensaios geotécnicos foram realizados nas dependências do Departamento de Geologia Aplicada – UNESP Rio Claro e tiveram como base a avaliação de características, como: massa específica do solo úmido e solo seco, tamanho dos grãos presentes nos sedimentos e, em casos específicos, quantidade de partículas finas presentes nas amostras.

## 3. RESULTADOS

A distribuição dos pontos visitados nas proximidades da cidade de Santa Rita do Passa Quatro é representada no mapa da Figura 1. Na sequência são apresentados os principais resultados do estudo.

Os processos estudados, se concentraram no Córrego da Capituva (pontos 1 e 2); no Córrego do Jequitibá (ponto 3), caracterizados como erosões urbanas, e nos córregos Rio Clarinho e Olaria, correspondendo aos pontos 4 e 5 respectivamente, foram caracterizados como erosões rurais (Figura 1).

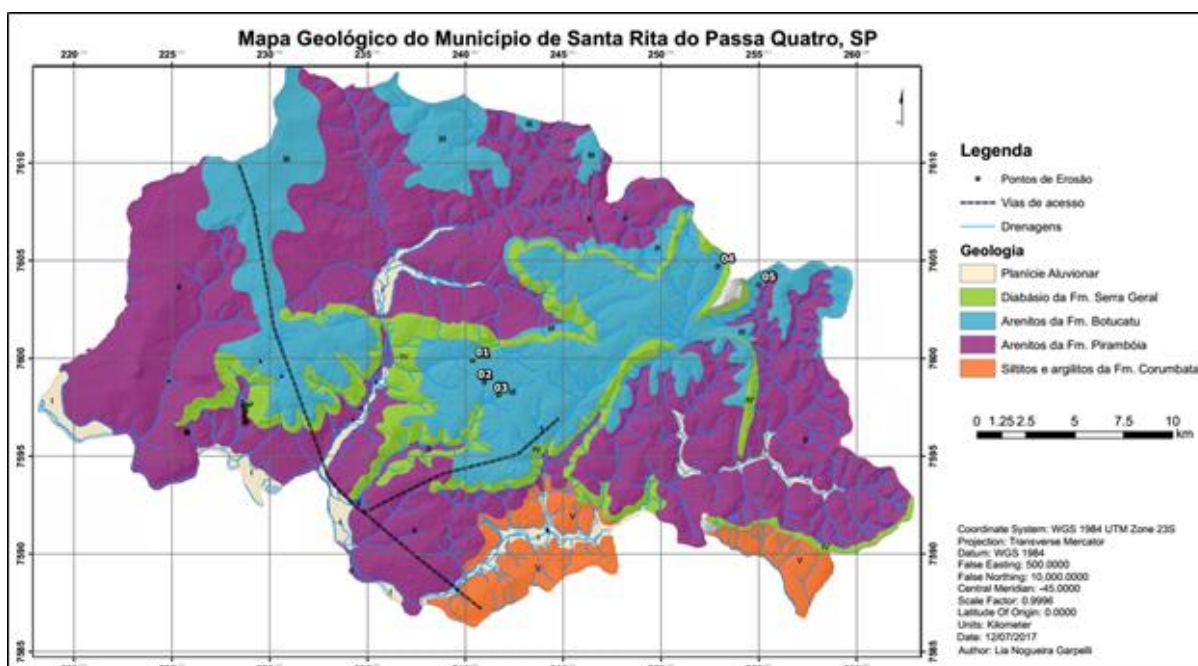


Figura 1. Mapa Geológico do Município de Santa Rita do Passa Quatro com a localização dos pontos previamente cadastrados na etapa anterior do projeto - Córrego da Capituva (pontos 1 e 2), Córrego do Jequitibá (ponto 3), Córrego do Rio Clarinho (ponto 4), e Córrego da Olaria (ponto 5).

### 3.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS EROSÕES SELECIONADAS

O processo erosivo presente no Córrego Capituva (Figura 2) está localizada em uma planície, próximo à cabeceira de drenagem. Nota-se na área a ocorrência de solo aluvionar, composto por materiais arenosos inconsolidados de coloração bege claro, predominantemente de granulometria fina e com grãos mal selecionados. Ocorrem, também, camadas de cerca de 30 cm de material escuro, caracterizado como turfa (Figura 2 B). De modo geral, a erosão ocorre em sedimentos quaternários, com provável correlação à Formação Santa Rita do Passa Quatro, restringindo-se a fundos de vales e com dimensões de, aproximadamente, 4.400 m<sup>2</sup> e até 5 m de profundidade.



Figura 2. Ponto 1, em: A) Vista da proximidade da erosão com os novos loteamentos; B) Presença de camadas mais ricas em matéria orgânica; C) Avanço da erosão podendo comprometer o novo loteamento da área; D) Visão geral da erosão.

O Segundo processo registrado, localizado à 600 metros do ponto 1, se encontra no contexto geológico da Formação Botucatu. Adicionalmente, a presença de cobertura vegetal propicia maior estabilidade à erosão.

Na base do processo foi identificado arenitos com estratificações cruzadas em contato com solo colapsível e friável imediatamente acima, com dimensões que chegam à 14.000 m<sup>2</sup> e profundidade máxima de 8 metros.

Tanto no ponto 1 como no 2, o agente desencadeador do processo erosivo é o lançamento de águas pluviais que se concentram em áreas específicas do terreno, devido ao arruamento de



lotes no entorno da erosão, caracterizado pela intervenção antrópica no meio. Observa-se, também, grande quantidade de entulhos dispostos no local.

O ponto 3, também próximo do centro urbano, é um atrativo turístico da cidade. O local, conhecido como Deserto do Alemão, apresenta uma antiga erosão, datada de antes de 1971 (imagens de fotografias aéreas dessa data já marcavam a erosão). Constitui a mais extensa das erosões urbanas, com cerca de 36.000 m<sup>2</sup> de área e 30 m de profundidade (Figura 3A).

Assim como os pontos anteriores, a erosão no Córrego do Jequitibá ocorre em arenitos Cenozoicos, atribuídos à Formação Santa Rita do Passa Quatro. O material é caracteristicamente arenoso de cor bege a bege avermelhada, granulometria fina, mal selecionado e inconsolidado. Embora esteja atualmente nas proximidades da cidade, o processo erosivo se instalou em antiga área rural, afastada da urbanização. As causas do processo ainda são desconhecidas e as investigações feitas acerca do histórico não foram conclusivas, ademais a Prefeitura de Santa Rita do Passa Quatro não possui registro do início da voçoroca. Nessa área, foram executadas obras de estabilização, com construção de leiras para contenção das águas pluviais, além de revegetação na cabeceira da drenagem e no entorno da área (Figura 3 B e C).

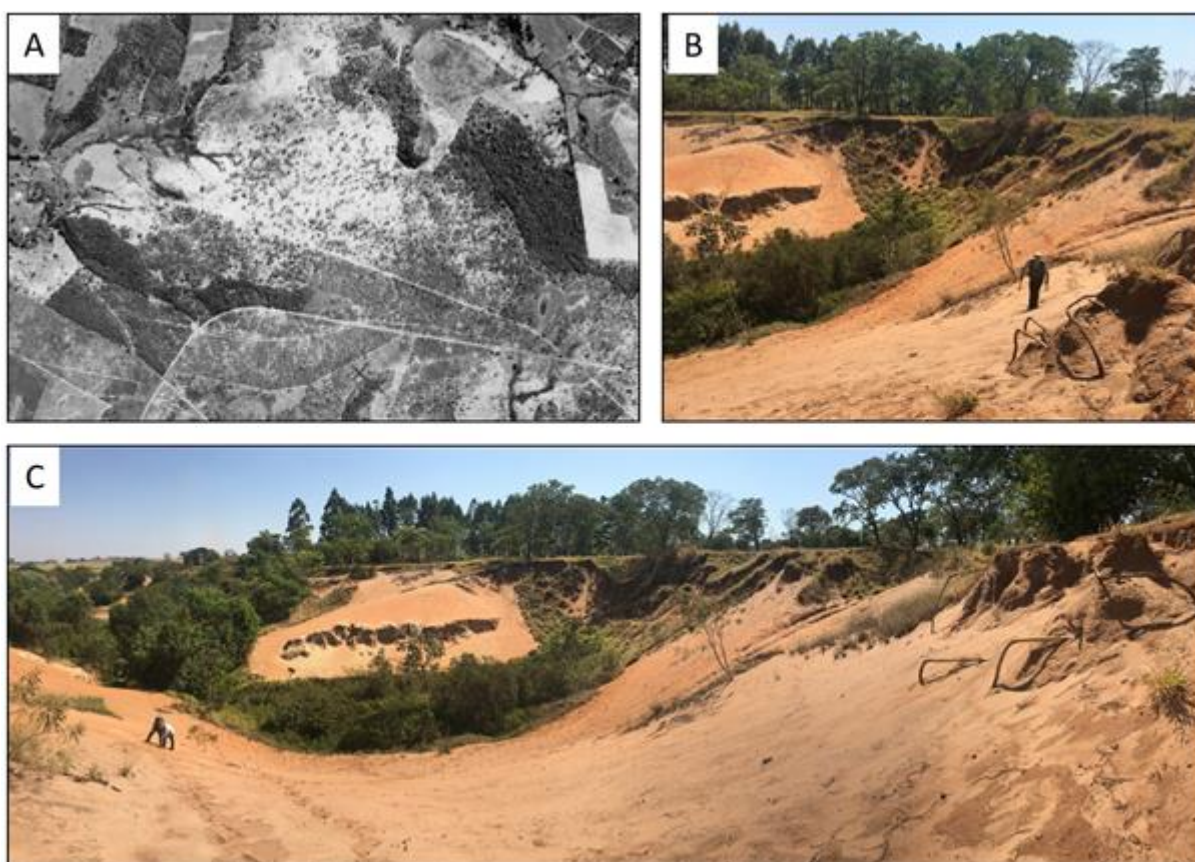


Figura 3. A) Fotografia aérea de 1971 do ponto 3, já com a erosão; B e C) Foto da voçoroca de grandes dimensões e presença de vegetação no entorno.

A análise de fotos antigas permitiu apontar a seguinte cronologia para as erosões selecionadas: A) Erosão 3 - Córrego do Jequitibá/ Deserto do Alemão e Erosão 4 - Córrego Rio Clarinho (1971/2016); B) Erosões 1 e 2 - Córrego da Capituva (2007/2016), e C) Erosão 5 - Córrego Olaria (2004/2016).

No Córrego Rio Clarinho, ponto 4, e Córrego da Olaria, ponto 5, ocorrem grandes erosões rurais, com causas do processo ainda desconhecidas (Figura 1). No Córrego Rio Clarinho, ocorre a maior erosão do município de Santa Rita do Passa Quatro, com cerca de 534.000 m<sup>2</sup> e profundidade de 10 m (Figura 4 A). A erosão é bem ramificada e antiga (fotografia aérea de 1971

já indicava o processo). Embora antiga, a presença de escorregamentos próximos às porções mais elevadas das ramificações (Figura 4) indica que o processo não está estabilizado.

Os solos predominantes são arenosos, mal selecionados, de granulometria fina, e são interpretados como solos residuais e transportados da Formação Botucatu. A coloração varia de marrom claro, nas porções mais superficiais, até tons mais avermelhados, nas porções intermediárias. O uso do solo nos arredores é composto por áreas de pastagem, a montante, e pela cultura da cana-de-açúcar, a jusante. Nas análises de fotografias aéreas antigas e atuais, e nas observações de campo, não há uma definição clara dos fatores deflagradores do processo erosivo. Contudo, a presença de pastagem nas imagens de 1971 permite deduzir que o posterior desmatamento teria provocado o início das erosões lineares.

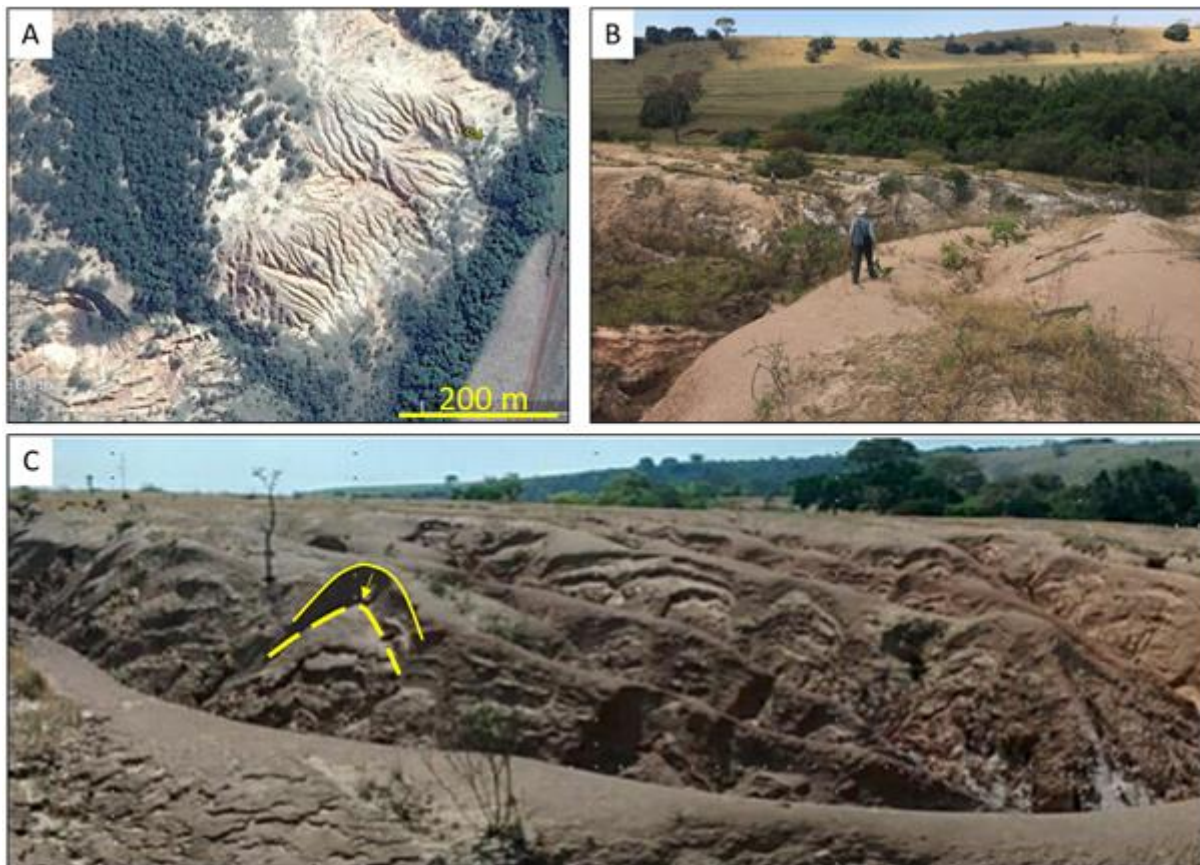


Figura 4. Fotografias do ponto 4, Córrego Rio Clarinho. A) Fotografia aérea indicando a extensão da erosão e suas diversas ramificações; B) Presença de vegetação no meio das ramificações são comuns; C) Feições circulares, salientadas em amarelo, marcando a desestabilização dos taludes por escorregamentos do solo.

O ponto 5, localizado a cerca de 3 km do ponto 4, representa a segunda maior erosão observada em campo. Ocupa uma área de, aproximadamente, 58.000 m<sup>2</sup> e profundidade superior a 10 metros. Com grande número de ramificações, a erosão ocorre em arenitos e solos arenosos e incoesos. A gênese destes solos pode ser atribuída a processos de alteração *in situ* (residuais) ou transportados (colúvios), ambos derivados de arenitos da Formação Botucatu (Figura 5).

O registro em imagens aéreas indica que os processos erosivos tiveram início em 2004, com sulcos profundos que evoluíram rapidamente para voçoroca. A provável causa da erosão foi o desmatamento para pastagem, com a exposição do solo aos processos. Trilhas de gado, concentrando fluxo de águas de chuva, colaboraram para intensificar o processo erosivo no solo arenoso. Algumas evidências também indicam que a área foi usada para retirada de terra na construção de aterros da ferrovia, a norte do ponto 5. Da mesma forma, o solo arenoso exposto e sem proteção vegetal tornou-se bastante vulnerável à instalação de voçorocas.



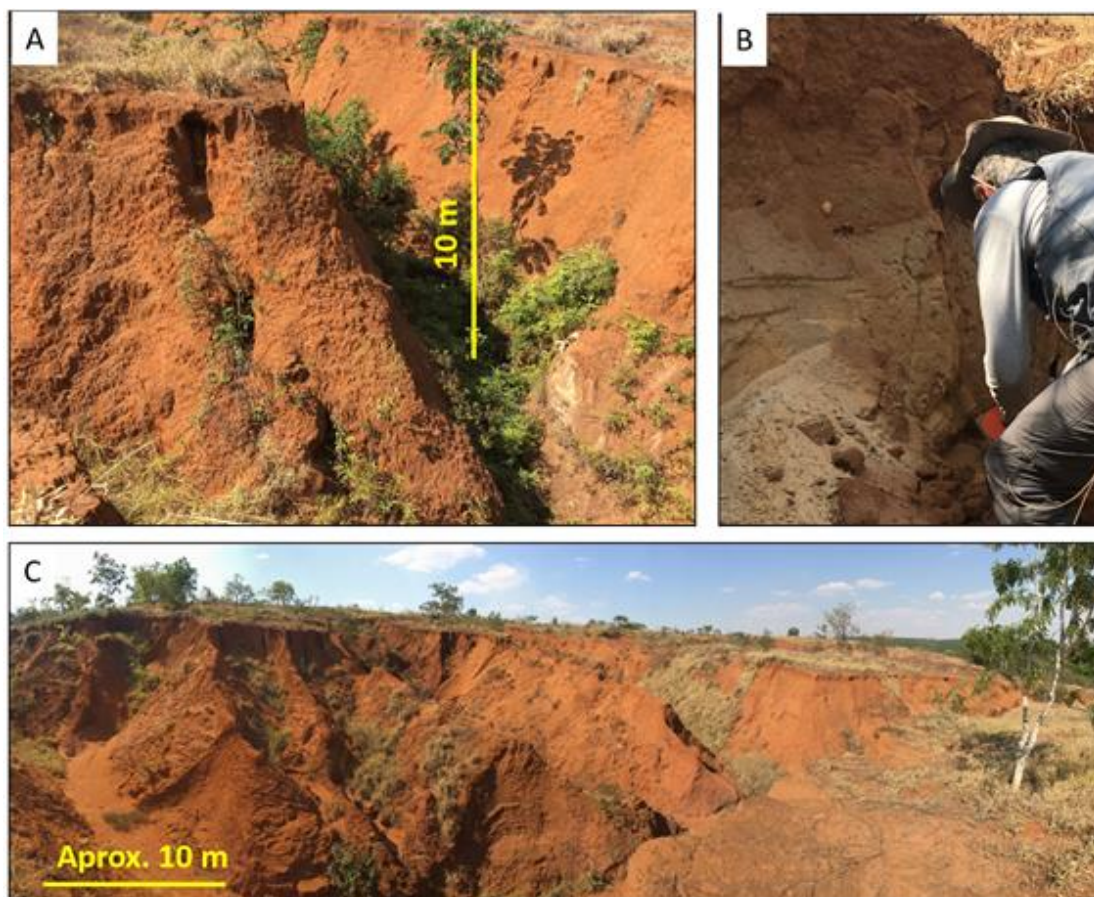


Figura 5. Erosão do Ponto 5, no Córrego da Olaria. A) detalhe da profundidade da erosão; B) Caracterização dos sedimentos; C) Foto panorâmica mostrando as ramificações da erosão.

### 3.1.1 Resultados das análises de amostras dos solos de Santa Rita do Passa Quatro

Para o ensaio laboratorial, foram coletadas amostras dos pontos 1, 3, 4 e 5, com exceção do ponto 2, totalizando seis materiais. O peneiramento, para classificação granulométrica, foi feito em todas as amostras. As amostras dos pontos 1, 3, 4 e 5, foram previamente secas em estufa, e prontas para os ensaios granulométricos.

O ensaio para determinação de massa específica do solo foi feito somente em três amostras, pois, as demais apresentavam baixa umidade do solo, dificultando a retirada de material indeformado. Das amostras avaliadas, a amostra da erosão urbana (Figura 2 C), apresentou menor teor médio de umidade, com 1,72%, quando comparada às amostras da erosão rural do ponto 4, com 2,95% e 4,91%, valores da porção do topo e meio da voçoroca, respectivamente. As massas específicas das amostras variaram pouco, sendo  $1,61 \text{ g/cm}^3$  para o ponto 1, e  $1,68 \text{ g/cm}^3$  a  $1,75 \text{ g/cm}^3$  no ponto 4.

Foi feita análise granulométrica de todas as amostras por peneiramento e, de modo geral, todas as amostras apresentaram variações granulométricas. O resultado obtido pela análise granulométrica exibe uma maior quantidade de sedimentos que variam de areias finas a muito finas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro de um contexto geológico, os sedimentos arenosos, tanto os da Formação Botucatu, como da Formação Santa Rita do Passa Quatro, tendem a desenvolver um perfil pedológico espesso com solos inconsolidados, o que constitui uma das características principais de todas as erosões. Tal espessura propicia o desenvolvimento de feições mais profundas, atingindo as camadas de rochas (arenitos Botucatu). Ao atingirem porções mais resistentes, ocorre o alargamento das erosões. Quanto à geomorfologia da área, as erosões ocorrem nas cabeceiras de drenagem, tanto em porções planas, como em colinas de encostas suaves e fundo de vale.

Os pontos 1 e 2 mostram, claramente, a influência direta das ações antrópicas como fator desencadeador dos processos, por meio do arruamento e lançamento concentrado, aumentando o volume e a velocidade do fluxo de águas pluviais. Soluções paliativas equivocadas, como lançamento de entulhos nas erosões, tendo somente a agravar o problema, além de possibilitar a contaminação do solo e água subterrânea.

Nos pontos 3 e 4, que ocorrem como erosões mais antigas, o agente deflagrador do processo erosivo é incerto. Entretanto, assim como a erosão do ponto 5, esse processo nos pontos 3 e 4, muito provavelmente, foi gerado pela retirada da cobertura vegetal e exposição do solo. As voçorocas dos pontos 4 e 5 mostram-se em franca evolução.

As características das áreas estudadas, conforme as descrições de campo e as análises laboratoriais, comprovam que são terrenos com muita alta suscetibilidade à erosão, ou seja, de alta erodibilidade.

#### REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na Bacia do Paraná. **Boletim Instituto Geografia USP, Geomorfologia**, v. 15, p. 15, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169–263, 1964.

BEZERRA, M. A.; ETCHEBEHERE, M. L. D. C.; SAAD, A. R.; CASADO, F. D. C. Análise geoambiental da região de Marília, SP: suscetibilidade a processos erosivos frente ao histórico de ocupação da área. **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 425-440, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Cidades 2016**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:250.000. Convênio DAEE/UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 1982/1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS, Miscelânea, 1).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 2012 (Relatório Técnico, 127 824 - 205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 2012. (Relatório Técnico, 131.57 - 205).



- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1.000.000. São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 2 v. (Série Monografias). 1981.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. IGC. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2003. Escala 1:1.000.000.
- LOSSARDO, L. F. **Caracterização das potencialidades e fragilidades ambientais do meio físico de parte do município de Santa Rita do Passa Quatro (SP)**. p. 116, 2010.
- MASSOLI, M. Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Revista IG**, v. 2, n. 2, p. 35–45, 1981.
- NASA JPL. **ASTER Global Digital Elevation Model** [Data set]. NASA JPL. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.5067/aster/astgtm.002>>. Acesso em 6 jun. 2017.
- OLIVEIRA, J. B. de et. al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Escala: 1:500.000. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999.
- RIO CLARO (Prefeitura Municipal). FEHIDRO. **Diagnóstico Ambiental e Desenvolvimento de Sistemas de Implementações de Projetos de Recuperação da Qualidade dos Corpos D'Água**. Rio Claro: FEHIDRO, EcosBio, 2014. 86 p. 1 v.
- ROSS, J. L. S. ; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia- FFLCH/USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997.
- SANTANA, M. A.; QUEIROZ NETO, J. P. Fatores responsáveis pela sensibilidade à erosão linear em Marília. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, São Paulo, v. 9, p. 21-33, 1995.
- SANTOS, F. S. M. **Avaliação de processos erosivos a partir da análise integrada do meio físico na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO)**. 2013. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 2013.
- SÃO PAULO. Instituto Agrônomo de Campinas. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado**. In: OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H.; ALMEIDA, C. L. F. (Eds.), Aerofoto Cruzeiro S.A., Escala: 1:100.000, 1982. 1 mapa color.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. SMA. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental - CPLEA. **Mapa de uso e ocupação do solo do Estado de São Paulo**. Escala 1:50.000. São Paulo: SMA/ CPLEA, 2009.
- SOARES, P.C. et al. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v.10, n.3, p.177-185, 1980.
- THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. G.; CANTARINO, S. **Atlas Geoambiental das Bacias dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental**. São Paulo: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, p. 77, 2002.
- ZAINE, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: Ensaio em Poços de Caldas, MG**. Tese (Livre-docência em Geologia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.