

A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO PEDOLÓGICO/GEOMORFOLÓGICO E  
GEOTÉCNICO PARA A CONCEPÇÃO DE ESTRUTURAS DE MICRODRENAGEM URBANA  
EM ÁREAS DE FRAGILIDADE

MATHIAS, Dener Toledo<sup>1</sup>; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci da<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia – Unesp – Campus de Presidente Prudente

<sup>2</sup> Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento – Unesp – Campus de Rio Claro

**Resumo**

Este trabalho objetiva evidenciar a importância que as características pedológicas, geomorfológicas e os atributos geotécnicos têm na concepção de obras de microdrenagem urbana, ressaltando-se aquelas que são implantadas em áreas de fragilidade, sobretudo, à dinamização de processos erosivos. Foi escolhido como estudo de caso um setor na periferia do sítio urbano do município de São Pedro (SP), que engloba as cabeceiras do córrego Tucum, área caracterizada pela presença de formas erosivas lineares em diferentes estágios de evolução. A área possui também histórico de uso e ocupação que denota a falta de planejamento urbano adequado face às características fisiográficas inerentes, bem como modificações expressivas na paisagem relacionadas a obras de controle de erosão e concepção de estruturas de microdrenagem urbana. Como procedimentos metodológicos adotaram-se a análise textural de amostras de solos e a análise geomorfológica, enfocando o mapeamento evolutivo das formas erosivas e das feições antropogênicas. Integram-se ao trabalho dados de ensaios geotécnicos efetuados na área contidos na bibliografia. Os resultados obtidos permitiram constatar que os solos têm predominantemente a textura arenosa e que a dinâmica processual erosiva encontra-se atuante, face ao avanço do rebordo erosivo, mapeado ao longo do período de 24 meses. Quanto aos aspectos geotécnicos levantados na bibliografia são apontadas: a elevada porosidade, baixa coesão dos solos e baixos valores do ângulo de atrito interno dos materiais superficiais, atributos estes que favorecem a dinamização erosiva. Com base nos resultados inferidos corrobora-se a inadequação das estruturas de microdrenagem existentes às características mencionadas, fato que se evidencia pelo colapso destas verificado em campo, atestando a ausência de um planejamento considerando tais atributos.

## **Introdução**

A ocorrência de processos de erosão linear na periferia de áreas urbanas pode ser apontada como um fenômeno que requer atenção constante por parte da administração pública, dado que impõe uma situação de risco, tanto às populações residentes no entorno de tais áreas como à própria infra-estrutura urbana. Destacam-se as formas erosivas cujo estágio avançado tem contribuído para a configuração de um intenso quadro de degradação, como é o caso das ravinas e voçorocas.

A dinamização erosiva linear tem sua gênese e evolução associadas a diversos fatores, em que se destacam os atributos físicos das áreas e as alterações antrópicas. Dentre os condicionantes naturais ao desencadeamento da erosão linear citam-se as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas, sob atuação do imperativo climático. Os fatores antrópicos que ocasionam, ou intensificam, a dinamização dos processos erosivos são representados pelo uso e manejo das terras, tanto agrícola como urbano, e pelas consequentes alterações na paisagem resultantes de ambos os fatores, seja na forma de modificações na topografia (terraceamentos, cortes, aterros), como na deposição de resíduos (depósitos tecnogênicos).

O avanço da urbanização sobre áreas de fragilidade, ou mesmo sobre áreas nas quais há a presença de formas erosivas em desenvolvimento, configura-se como uma ação que reflete a desconsideração por parte da administração pública das limitações que tais áreas possuem para determinado uso e ocupação. Tal fato denota um erro comum na política das cidades: a ausência de um planejamento efetivo – fato que tem sido apontado como um dos principais desencadeadores de desastres naturais e de degradação de terras.

Dentre as medidas de planejamento inerentes à ampliação de áreas urbanas citam-se as obras de infraestrutura, sobretudo aquelas responsáveis pela condução e descarga das águas pluviais. Considera-se que a concepção de tais estruturas deve-se ater às condições físicas existentes nas áreas, o que pressupõe a utilização de materiais e adoção de procedimentos adequados à situação ambiental que se verifica. No caso em que a urbanização se deu em área de fragilidade e já se encontra consolidada, torna-se imprescindível planejar ações corretivas, sobretudo, no que concerne às obras de microdrenagem, visando assim minimizar os impactos.

Entretanto, tem-se como hipótese que a implantação de obras de drenagem e microdrenagem urbana nem sempre leva em consideração as características físicas das áreas, fato que resulta na maioria das vezes em danos e colapsos de tais estruturas quando implantadas, sobretudo,

em locais de ocorrência de processos erosivos ativos. Embora em termos de planejamento se conheçam as bases para a concepção de projetos adequados à situação física de cada área, o que se verifica em geral é a falta de uma preocupação mais elementar em termos ambientais.

Este trabalho propõe demonstrar a importância do conhecimento pedológico/geomorfológico e geotécnico na projeção e implantação de obras de microdrenagem urbana. Será dado enfoque às situações nas quais a fragilidade ambiental, representada pelo desencadeamento de erosão linear, exige o adequado controle da drenagem urbana e a concepção de estruturas apropriadas às condições físicas presentes nessas situações.

### **Processos erosivos em áreas urbanas e obras de microdrenagem**

Dentre os problemas ambientais ocorrentes em áreas urbanas no Brasil destaca-se a dinamização de processos erosivos, cujas conseqüências se evidenciam mais notavelmente na elaboração de formas erosivas lineares. Tais formas caracterizam-se por imprimir na fisionomia das paisagens quadros de intensa degradação, nos quais há perda significativa de terras, assoreamento de cursos d'água e, no contexto da infra-estrutura urbana, o comprometimento de estruturas, ocasionando em riscos à população e ônus à administração pública.

Associada a uma predisposição física ao seu desencadeamento, a erosão linear ganha escopo quando se encontra em seus estágios mais desenvolvidos, apresentando formas tais como ravinas e voçorocas, que são indicativas de uma dinâmica acelerada. É geralmente nessas condições que o processo passa a ser considerado preocupante, uma vez que os danos que impõe à sociedade se tornam mais evidentes.

Além dos fatores físicos, os processos erosivos podem ser dinamizados pelas intervenções antrópicas, resultantes de mudanças nas paisagens em função de diferentes usos da terra. Assim, têm-se inicialmente os efeitos gerados pelo desmatamento seguido de práticas agrícolas inadequadas, ambos responsáveis pelo incremento no volume do escoamento superficial dada as modificações na cobertura dos solos. O avanço da urbanização, em geral ocorrente sobre áreas previamente utilizadas pela agricultura, acrescenta outros fatores que irão se comportar como condicionantes da dinamização erosiva, tais como mudanças na topografia, ausência de infra-estrutura urbana adequada, traçado inadequado do sistema viário e sistemas de drenagem mal concebidos e mal executados (SANTORO, 2000).

Em termos geomorfológicos, os impactos da atividade humana no meio ambiente podem resultar em quadros de degradação extrema, ou na melhor das hipóteses gerar novas formas, acrescentar novos materiais e influenciar com isso os processos morfogenéticos, resultando em

relevos e depósitos antropogênicos, que por sua vez podem ou não contribuir para o agravamento da degradação (MATHIAS, 2011).

No tocante aos aspectos hidrológicos, as alterações produzidas pela urbanização são marcantes, uma vez que tal processo culmina com a impermeabilização de grandes áreas, reduzindo a infiltração das águas da chuva. Ab'Saber (1968) ressalta a atuação do escoamento superficial na elaboração de formas erosivas, uma vez que, a partir da ação antrópica, passam a ser concentrados. Os efeitos da concentração do fluxo pluvial serão ainda mais expressivos se os sistemas de captação e condução da água favorecerem o rápido escoamento. Assim, haverá, segundo Cunha & Guerra (2009), em relação às condições anteriores à urbanização: a elevação do pico de descargas; o aumento do volume de escoamento superficial; a diminuição do tempo necessário para que o escoamento superficial alcance o curso d'água; o aumento da frequência e magnitude dos alagamentos; dentre outros efeitos.

De acordo com Tucci et al (2000) muitos dos problemas de drenagem urbana estão associados a uma mentalidade tradicionalista em relação ao controle das águas de escoamento, no qual se prioriza seu rápido escoamento. Segundo o autor, a impermeabilização generalizada do meio urbano associada a canalização de corpos hídricos e a implantação das redes de galerias pluviais têm contribuído para a ocorrência de "inundações mais rápidas, frequentes e de maior magnitude (da ordem de 6 vezes) em diferentes pontos das cidades". De acordo com o citado autor um projeto de drenagem que leve em consideração essa problemática é o que busca manter "as vazões máximas iguais ou menores as das condições naturais", fato que pode ser conseguido designando-se nos planos de loteamentos áreas permeáveis, a fim de permitir a manutenção da infiltração, reduzindo com isso o volume do escoamento (TUCCI et al, 2000, p. 499)

As áreas que possuem como característica a fragilidade ambiental, expressa na suscetibilidade ao desencadeamento de processos erosivos, requerem atenção especial quando da projeção de obras de microdrenagem. Assim, cabe ressaltar que os aspectos geotécnicos estão entre aqueles cujo levantamento é imprescindível para a concepção de tais obras, conforme apontado no Manual de Projeto de Drenagem Urbana (DAEE/CETESB, 1980), segundo o qual "investigações geotécnicas deverão ser efetuadas quando houver possibilidade de ruptura de determinados materiais. Cálculos estruturais deverão ser efetuados sempre que seja necessário verificar as condições de resistência de um determinado tipo de material" (p. 217). De igual modo tais características devem nortear a escolha dos materiais e estruturas mais adequados, conforme consta no mesmo manual:

As galerias de águas pluviais deverão ser construídas com materiais adequados e aceitos pelas entidades contratantes, assim como satisfazer os requisitos indicados neste manual [...] Quando houver tipos distintos de materiais que sejam aceitáveis, é necessário efetuar verificações hidráulicas, para decidir qual pode melhor atender às condições de projeto. (DAEE/CETESB, 1980, p. 217).

As características geotécnicas e demais atributos físicos (pedológicos, geomorfológicos), devem nortear os projetos de drenagem urbana, tanto no tocante aos materiais constituintes das estruturas quanto à implantação das obras. Entretanto, não há menção no citado manual de que tais características sejam limitantes a tais obras cabendo, portanto, ao profissional responsável os cálculos de projeto adequados à situação. Nesse sentido, convém salientar que a NBR 12266 (ABNT, 1992) dispõe de normas para o assentamento das galerias de águas pluviais, sendo que não apresenta maior detalhamento acerca de quais os procedimentos para situações específicas de fragilidade ambiental.

Tais considerações reforçam a premissa de que o conhecimento dos atributos pedológicos/geomorfológicos e geotécnicos constitui-se fundamental tanto para a projeção de estruturas hidráulicas como para sua implantação. Uma vez que o controle do escoamento pluvial consiste em ação preventiva à erosão, convém que os equipamentos de microdrenagem sejam projetados em consonância com as características físicas das áreas suscetíveis ao desencadeamento erosivo.

### **Estudo de caso: cabeceiras do córrego Tucum (São Pedro/SP)**

A área escolhida como estudo de caso localiza-se na periferia do setor urbano do município de São Pedro, interior do Estado de São Paulo (Brasil) e possui como principal característica a ocorrência de formas erosivas lineares, cuja dinamização encontra-se associada tanto às características físicas naturais da área como aos condicionantes antrópicos. As figuras 1a e 1b apresentam fotografias de alguns setores da área estudada, nas quais se destaca a voçoroca do córrego Tucunzinho, tributário de 1ª ordem do córrego Tucum.



Fig. 1a e 1b – Vista aérea de setor oeste da área de estudo e da voçoroca do córrego Tucunzinho, respectivamente.

Dentre os atributos físicos que se verificam na área, destacam-se a ocorrência de litologias sedimentares, predominando arenitos da Formação Pirambóia, bem como solos a esta associados, tais como Argissolos e Neossolos Quartzarênicos. Tais aspectos denotam uma suscetibilidade natural ao desenvolvimento de processos erosivos, os quais se aliam a outros atributos naturais, como a morfometria do relevo, a morfoestrutura e, sobretudo o clima, este atuando como força motriz. Inseridos neste contexto encontram-se as interferências antrópicas na paisagem, atuando em diferentes escalas espaciais e temporais no uso da terra e com isso dinamizando a ação erosiva (SANCHEZ, 1971; CARPI JR, 1996; MATHIAS, 2011).

Considerando-se a influência climática como elemento primordial da dinâmica processual erosiva, têm-se que o clima da região é o Tropical, típico de área de transição, onde se verifica o ponto de encontro de massas de ar provenientes do Leste, a Tropical Atlântica; do Noroeste, a Equatorial e Tropical continentais; e, vindas do Sul, as massas de ar Polares. Estas últimas são praticamente as responsáveis pelas sucessões de estados de tempo em todo o Brasil meridional, atuando através de “ondas de frio” que funcionam como sistemas frontais ao se chocarem contra as massas provenientes do interior do continente. Em geral nota-se a sucessão de dois períodos climáticos bastante distintos, um mais chuvoso, que ocorre entre os meses de outubro e março e um mais seco no restante dos meses. Tal fato é responsável por um notável contraste, caracterizado pelo excesso de águas durante o período chuvoso em contrapartida com a considerável estiagem que ocorre nos meses menos úmidos, fato que favorece o desencadeamento de processos de erosão linear (SANCHEZ, 1971; CARPI JR, 1996).

A expansão urbana sobre áreas de antigas pastagens ocorre como uso da terra predominante na área, sendo que os loteamentos se situam em contato com as cabeceiras de drenagem marcadas pelo avanço da erosão. As formas erosivas encontram-se envolvidas por bairros cuja

rede de microdrenagem tem atuado como potencializadora na dinâmica que se processa na área, concentrando o fluxo do escoamento superficial que é conduzido por meio de galerias até emissários posicionados na baixa bacia. O fluxo pluvial atinge o talvegue do córrego com expressivo volume de pico e velocidade, contribuindo na ação regressiva da erosão.

São também marcantes as alterações antrópicas associadas a obras de caráter corretivo. Cabe salientar que tais obras foram executadas no ano de 1992, se constituindo no recobrimento das formas erosivas com material inconsolidado removido das áreas de entorno, bem como a concepção de terraços em nível (FACINCANI, 1995; CARPI JR, 1996). Ressalta-se o caráter incipiente de tais intervenções, uma vez que se verifica a ampla retomada dos processos erosivos. Além disso, tem-se como resultado a ampla formação de depósitos tecnogênicos, evidenciados na fisionomia da paisagem como formas construídas, compondo um nítido modelado antrópico. Em sua totalidade tais superfícies resultam de coberturas remobilizadas e aterros, muitos dos quais compostos de materiais úrbicos (lixo e entulho).

As características que se apresentam nas cabeceiras de drenagem do córrego Tucum são, portanto, indicativas de um quadro de intensa degradação ambiental. Nessas condições, a ausência de um planejamento adequado no que se refere às estruturas de microdrenagem resulta em impactos negativos que atuam diretamente no desenvolvimento dos processos de erosão linear.

### **Procedimentos metodológicos**

A fim de evidenciar aspectos inerentes aos fenômenos que ocorrem na área estudada, sobretudo no tocante às estruturas de microdrenagem existentes, foram realizadas análises a partir de dados pré-existentes contidos na bibliografia, bem como de dados experimentais efetuados neste estudo. As técnicas empregadas para tanto envolveram a coleta e análise textural de amostras de coberturas superficiais e a análise geomorfológica com base na evolução das formas erosivas e nos aspectos morfoantropogênicos dos terrenos estudados. Optou-se, para fins experimentais, por delimitar um dos canais de 1ª ordem componente das cabeceiras do córrego Tucum, por se tratar da área onde as formas erosivas possuem maior expressividade. Por fim, realizou-se em campo o reconhecimento das estruturas de microdrenagem e dos fenômenos de colapso das mesmas em diferentes locais da área estudada.

A análise textural das coberturas superficiais processou-se a partir de duas etapas, sendo a primeira referente à coleta das amostras e a segunda à análise propriamente dita. Optou-se por

coletar por meio de gradagem amostras a profundidade entre 10 e 30 cm, de acordo com as orientações de Oliveira (1999). A escolha dos pontos de amostragem foi delimitada em função dos locais de entorno das formas erosivas, compondo uma malha de pontos coerente com os objetivos propostos. Após a coleta das amostras seguiu-se o procedimento de análise textural utilizando-se o método do densímetro, conforme orientações de Camargo (2009). Por fim, os dados coletados foram espacializados em base topográfica da área, utilizando-se o método geoestatístico da krigagem simples, a partir do uso do programa *Surfer8*.

Os aspectos referentes à dinâmica evolutiva das formas erosivas foram levantados a partir dos dados apresentados por Mathias (2011), o qual realizou o monitoramento do avanço erosivo com o uso de estacas, segundo técnica sugerida por Guerra (1996), ao longo do período de 2 anos. Os dados em questão encontram-se espacializados em croqui elaborado pelo autor, contendo os contornos do rebordo erosivo em cada período de medição, permitindo a visualização dos pontos de maior avanço da erosão.

As formas de relevo associadas às alterações antrópicas foram também levantadas por Mathias e Cunha (2012), o qual realizou análises concernentes à influência de tais formas na dinamização dos processos erosivos. Tanto os dados em questão como aqueles sobre a dinâmica evolutiva mencionados anteriormente, foram utilizados no presente trabalho a fim de compor a análise geomorfológica preconizada.

Quanto às estruturas de microdrenagem, foi realizada em campo a identificação de setores nos quais as mesmas encontram-se colapsadas. Tais setores foram fotografados a fim de auxiliar as análises propostas neste trabalho. Convém salientar que, embora tenha sido escolhido para fins experimentais apenas um dos tributários componentes das cabeceiras do córrego Tucum, registrou-se a ocorrência de colapsos nas cabeceiras em sua totalidade.

Cabe ressaltar que o tratamento dos dados se deu a partir da perspectiva sistêmica, fundamentada nos pressupostos metodológicos da Teoria Geral dos Sistemas aplicada à geografia (Chorley, 1971). A compreensão das interações entre os atributos físicos, no que tange à relação “processo-resposta” e do controle das variáveis antrópicas induzindo mudanças no sistema, constitui a base para o entendimento dos processos que atuam na área estudada.

### **Análises e resultados**

A análise textural de amostras das coberturas superficiais na área evidenciou a predominância da classe textural arenosa, corroborando características já apontadas na bibliografia (SANCHEZ,



1971). A variabilidade das frações areia grossa e areia fina pode ser visualizada na figura 2, que apresenta a espacialização dos dados de acordo com os métodos já descritos.

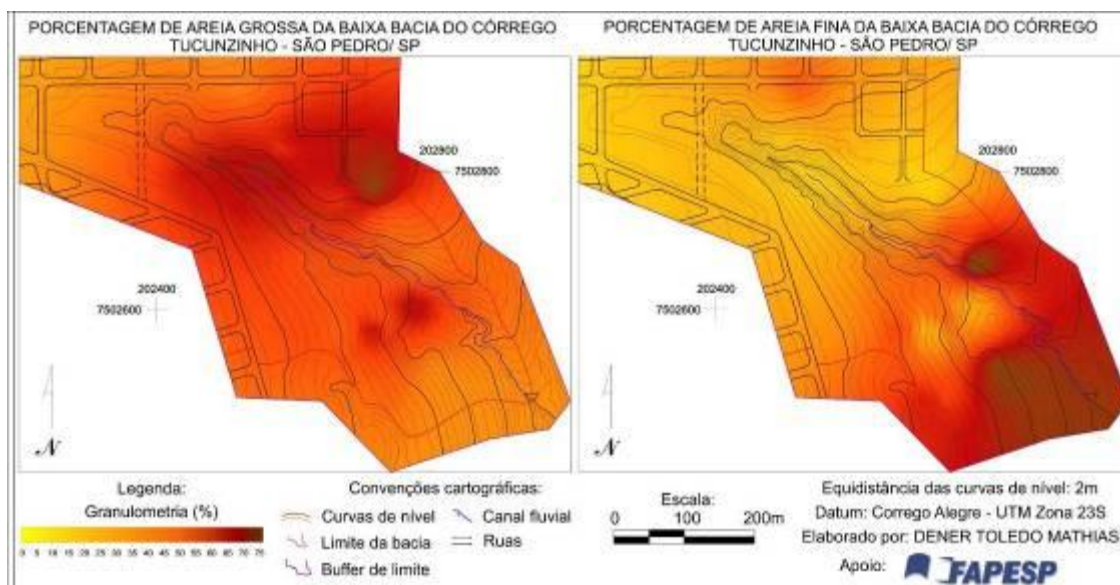


Fig. 2 – Porcentagens das frações areia grossa e areia fina da baixa bacia do córrego Tucunzinho.

Uma das singularidades perceptíveis na espacialização dos dados é que a maior proporção de areia grossa é encontrada nos setores alto e médio da baixa bacia, enquanto que a areia fina concentra-se no setor mais baixo. Supõe-se que as alterações antrópicas ocorridas na área objetivando a contenção dos processos de erosão constituem-se a principal causa da diferenciação que se observa. Assim, sendo os setores em questão aqueles que apresentam com maior nitidez as formas resultantes das referidas intervenções, expressas pelos terraços em nível, pode-se inferir que se constituem coberturas antropogênicas, ou depósitos tecnogênicos, cujo principal atributo é a ausência de uma estrutura bem definida, típica de solos *stricto sensu*. Uma hipótese que pode ser levantada correlacionando-se a maior ocorrência de fração areia grossa a tais formações é o fato de que a porosidade desses materiais inconsolidados pode ser contribuinte ao deslocamento das frações mais finas no interior do próprio material.

Em contrapartida ao que foi aventado, os setores mais baixos da área tem a predominância da fração areia fina, o que se encontra consonante com as características originais dos solos apontadas na bibliografia. Embora as alterações antrópicas na área tenham sido severas ao ponto de dificultarem substancialmente a diferenciação entre as formações de origem antropogênica das que representam os solos originais da bacia, características como a coloração e a textura permitem a identificação de que nos setores mais baixos predominam solos associados às litologias presentes na área.

De acordo com Oliveira & Prado (1989), a classe Neossolos Quartzarênicos é associada à pedogênese que se desenvolve sobre os arenitos da formação Pirambóia e, uma vez que os processos erosivos permitem que tais litologias aflorem nas margens do córrego, é possível notar a correlação entre a coloração de tais afloramentos e as coberturas ocorrentes nas proximidades, as quais apresentam cor mais clara (amarelo). Sabendo-se que a formação Pirambóia é constituída principalmente por arenitos quartzosos de granulação fina a média, podendo apresentar-se com coloração amarela, ou esbranquiçada, associa-se a predominância da fração areia fina no setor inferior da baixa bacia às características dos solos originais da área.

Quanto aos aspectos evolutivos da voçoroca analisada constatou-se, com base no monitoramento realizado por Mathias (2011) ao longo de 24 meses, que os rebordos festonados do talude erosivo se encontram em pleno desenvolvimento. Alguns pontos apresentam um avanço mais acentuado, o qual pode ser atribuído a fatores tais como a presença de dutos (pipes) no sopé do talude e a ocorrência de incisões (sulcos, ravinas) relacionadas a rotas de fluxo do escoamento superficial que estão condicionadas pelas formas antropogênicas.

A distribuição de amplos terraços em nível ao longo das vertentes que bordejam a voçoroca (fato já mencionado) tem por função a estabilização dos taludes a partir da quebra da energia e do disciplinamento das águas do escoamento superficial. Entretanto, verifica-se que tais formas têm contribuído para a intensificação erosiva em pontos específicos. Isso ocorre em função de algumas dessas estruturas terem sofrido colapso pela regressão erosiva, o que se associa ao fato de não terem sido vegetadas. Com o rompimento do terraço, o dique existente em sua parte anterior funciona como um caminho preferencial das águas do escoamento, o que leva ao quadro verificado em alguns dos pontos monitorados ao longo do talude da voçoroca do córrego Tucunzinho (figura 3a).

Algumas características das feições encontradas nos taludes da voçoroca são associadas às diferenças entre a cobertura antropogênica e a litologia subjacente da área. Um fato que se ressalta sobre tais coberturas é que foram depositados na área em função de obras de entulhamento das formas erosivas (conforme já se mencionou), contudo a reativação da erosão propiciou o entalhamento dessa superfície antrópica e atualmente o talude erosivo apresenta uma camada bem definida de material diferenciado recobrindo o afloramento do arenito Pirambóia. O contato entre esse pacote, que possui espessura variável, mas que não ultrapassa 5 metros produz uma descontinuidade no esculpimento das formas erosivas associadas ao fluxo de *runoff*. Como resultado tem-se a formação de alcovas de regressão nessa camada

preferencial, em geral ligadas à ocorrência de cascatas existentes na linha do rebordo erosivo (figura 3b).



Fig. 3a e 3b – Vetores erosivos condicionados pelos terraços e descontinuidade erosiva, respectivamente.

Fonte: Mathias (2012)

A correlação entre o modelado antrópico e algumas das áreas de maior avanço da frente erosiva encontra-se evidenciada na figura 4, que apresenta um recorte do croqui apresentado por Mathias (2011), sobreposto à fotografia aérea de um setor da voçoroca. A figura foi acrescida do traçado das rotas de fluxo do escoamento superficial, identificadas pelo autor em campo, bem como da representação dos terraços.



Fig. 4 – Recorte do croqui da voçoroca do córrego Tucunzinho

Fonte: Adaptado de Mathias, 2011

Têm-se, portanto, uma condição geomorfológica antropogênica que condiciona a evolução das formas erosivas via rotas de escoamento preferencial definidas pelo modelado. Além disso, a descontinuidade representada pelo contato entre os materiais de cobertura e o regolito, diferenciados em sua gênese em função das intervenções antrópicas, permite que haja o franco

progresso da erosão remontante sobre tais materiais. Pode-se inferir a ocorrência de rotas de fluxo subsuperficial percolando no contato entre tais camadas, o que propiciaria a intensificação dos processos através do fenômeno de piping.

Quanto às características geotécnicas das coberturas ocorrentes na área, destaca-se, com base em experimentos executados por Santoro e Fúlfaro (1996):

O caráter extremamente arenoso e friável, a elevada porosidade (valor médio de 42%), índices de vazios relativamente altos (valor médio de 0,734), valores de coesão praticamente nulos (0,03 kfg/cm<sup>2</sup>) e baixos valores do ângulo de atrito interno (24°) dos sedimentos da boçoroca estudada, favorecem os fenômenos de erosão superficial (SANTORO E FÚLFARO, 1996, p. 61).

Para os citados autores o arraste de partículas por percolação da água e a liquefação dos sedimentos na base dos taludes da voçoroca, constituem fenômenos importantes na evolução das formas erosivas da área.

A partir dos dados apresentados, tanto no que se refere às características pedológico-geomorfológicas, como nos atributos geotécnicos, constata-se que as cabeceiras do córrego Tucum se constituem áreas de grande fragilidade ambiental, podendo ser consideradas inadequadas à ocupação urbana. Entretanto, dado que a urbanização já se encontra consolidada, impõe-se a necessidade de que os equipamentos de microdrenagem sejam eficazes no controle das águas de escoamento - fato que se verifica inconsistente conforme as constatações que se seguem.

Trabalhos de campo realizados entre julho de 2012 e Janeiro de 2013 permitiram constatar a ocorrência de diversos colapsos em estruturas de microdrenagem instaladas na área das cabeceiras estudadas. As figuras 5a e 5b apresentam alguns exemplos do fenômeno mencionado, ocorrendo em diferentes setores da área. A figura 5c apresenta um exemplo de colapso de fundação, ocasionando ruptura de rede de esgoto.



Fig. 5a: Ruptura de galeria pluvial com formação de amplo ravinamento; 5b: Galeria pluvial danificada, com conseqüente retomada da erosão; 5c: Subsidência de fundação provocando ruptura de rede de esgoto (indicada na seta).

As redes de galerias pluviais existentes na área foram concebidas integradamente às obras de contenção erosiva ocorridas no ano de 1992 (CARPI, 1996), conforme já mencionadas. Tais estruturas serviram para desviar o fluxo pluvial, a fim de que não atingisse diretamente as erosões recém “soterradas” e conduzi-la a um ponto à jusante para o deságüe. A despeito do caráter hidráulico disciplinador das estruturas, diversos fatores podem ser apontados como deflagradores dos fenômenos que atualmente ocorrem:

- As estruturas constituem-se basicamente de tubulação de concreto liso e ausência de dissipadores de energia eficientes - nessas condições o fluxo tende a ganhar velocidade e, dado o incremento das vazões do meio urbano, ao atingir o ponto de deságüe, provoca a erosão do leito e, por efeito regressivo, esta avança no sentido das galerias provocando seu colapso;
- O assentamento das estruturas se deu em terrenos fráveis ou sobre materiais inconsolidados – diversos colapsos em estruturas de microdrenagem têm sua causa no recalque dos terrenos, pois ao longo do tempo os mesmos tendem a ceder em função do peso das estruturas. A esse respeito convém ressaltar que solos colapsáveis tendem

a sofrer fenômenos de ruptura hidráulica, sobretudo associados ao arraste de partículas por retro erosão subterrânea (VARGAS, 1978).

- A utilização de materiais inapropriados às condições geotécnicas – o contato entre as estruturas de alvenaria e os terrenos arenosos tende a produzir uma situação diferencial em termos erosivos, o que pode ocasionar a retirada de material nas bordas da estrutura resultando em seu colapso.

Em relação ao que se apresenta na figura 5c, embora não se trate propriamente de uma estrutura de microdrenagem, constitui-se exemplo útil para corroborar a falta de cuidado técnico na concepção de obras de saneamento no município. No caso em questão, têm-se o assentamento de fundações no leito de uma voçoroca (obra realizada no ano de 2009). A conseqüente subsidência da estrutura ocasionou a ruptura da rede de esgoto, o qual passou a provocar intensa erosão remontante.

De acordo com Fendrich (1994), reforçando as premissas levantadas, têm-se como causas de colapsos em estruturas de microdrenagem “a) Capacidade hidráulica insuficiente; b) Previsão insuficiente para dissipação de energia; c) Falta de cuidados especiais com o solo de fundação e ombreiras” (FENDRICH, 1994, p. 44). Em consonância com essas colocações, as figuras 6a e 6b apresentam exemplos de dissipadores de energia danificados pela erosão lateral da estrutura.



Fig. 6a e 6b – Dissipadores de energia apresentando-se exumados pela erosão de borda

A respeito do que se constata em relação aos dissipadores de energia mencionados, supõe-se com base nas evidências de campo que tais estruturas foram mal dimensionadas, de forma que as vazões de pico tendem a transbordá-las, ocasionando a erosão no contato entre a estrutura e o terreno friável no qual se assenta.

Foram também identificados setores em que parte do terreno no qual se assenta a rede de galerias sofreu sensível subsidência, produzindo trecho de concavidade no qual a água fica estagnada. Detectou-se também a ocorrência de corrosão nas juntas dos tubos de concreto, fato que resultou em abatimentos na cobertura superficial.

Os danos nas estruturas de microdrenagem apontados neste trabalho têm sido motivo de diversas ações por parte da administração municipal. Entretanto, salienta-se que tais ações possuem apenas caráter paliativo, uma vez que em pouco tempo sucede nova retomada dos processos, ou o surgimento de novos danos, em geral após os meses chuvosos. Cabe ressaltar que o ônus gerado pelas ocorrências em questão consome parcela substancial do orçamento de obras no município.

Em suma, os fatos apresentados neste trabalho corroboram a premissa de que comumente se planejam e implantam os sistemas de microdrenagem sem se levar em consideração aspectos de suma importância, tais como os atributos pedológicos – geomorfológicos e geotécnicos. Ressalta-se com base nas considerações aventadas a importância desses conhecimentos na concepção de obras dessa natureza.

### **Considerações finais**

Os dados levantados neste estudo permitiram a verificação de que as cabeceiras do córrego Tucum se caracterizam por apresentar alta fragilidade expressa na suscetibilidade ao desencadeamento de processos de erosão linear. As alterações antrópicas a que foi submetida a área conferem à fisionomia de sua paisagem aspecto degradacional à medida em que se aliam aos condicionantes físicos na retomada e evolução das formas erosivas.

Diversos problemas de infra-estrutura na área estudada associados à falta de um planejamento adequado têm resultado em conseqüências desastrosas, a exemplo dos colapsos nas estruturas da rede de microdrenagem. Tais fatos em conjunto com o desenvolvimento dos processos erosivos lineares reforçam a necessidade de um tratamento integrado da problemática, enfocando a adoção de medidas corretivas. Ressalta-se que estas medidas serão efetivas a partir da devida consideração dos atributos pedológicos - geomorfológicos e geotécnicos, os quais se constituem dados imprescindíveis, sobretudo em obras de microdrenagem urbana.

### **Agradecimentos**

Ao Ministério da Educação (CAPES), ao Ministério da Ciência e Tecnologia (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento à pesquisa.

À Profª Drª Cenira Maria Lupinacci da Cunha pelo apoio na co-autoria do trabalho.

### **Referências bibliográficas**

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.266** Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana – procedimentos. Rio de Janeiro, 1992.

AB'SABER, A. N. As boçorocas de Franca. **Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca**, vol. 1, no. (2), p. 5-27, 1968.

CAMARGO, O. A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77p. (**Boletim técnico**, 106, edição revista e atualizada).

CARPI JR, S. **Técnicas cartográficas aplicadas à dinâmica da bacia do Ribeirão Araquá** – SP. 1996. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1996.

CHORLEY, R. J. Geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica**, v.11, n.21 p 3-22, 1971.

CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T., **Geomorfologia**: Uma atualização de bases e conceitos. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 472 p.

DAEE / CETESB – **Drenagem Urbana**, Manual de Projeto, 2 Edição, agosto de 1980, São Paulo, 468 p.

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro**: Proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1995.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Champagnat. 4ª ed., 1997, 486 p.

GUERRA, A.J.T. Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos. **Sociedade e Natureza**, 15. p. 15-19, 1996.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Escala 1:500.000.



MATHIAS, D. T. **Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos**: Córrego Tucunzinho (São Pedro/SP). 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP. 2011.

MATHIAS D. T.; CUNHA, C. M. L. **Condicionantes antropogênicos na evolução de processos de erosão linear acelerada**: Córrego Tucunzinho (São Pedro/SP). In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, 2012, Rio Claro. Anais. Rio Claro: UNESP, 2012. v. 1. p. 1-10.

OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Folha de Piracicaba, São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1989. esc. 1:100.000.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônomo, **Boletim Científico** 45, 1999, 112p.

PELOGGIA, A. U. G. **O homem e o ambiente geológico**: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo. São Paulo: Xamã, 1998. 241 p.

SANCHEZ, M. C. Contribuição ao conhecimento das bases naturais dos municípios de São Pedro e Charqueada (SP). **Notícia Geomorfológica**: Campinas, Vol 11 (21), 1971, p. 47-60.

SANTORO, J. & FULFARO, V. J. - 1996. Estudos geotécnicos em boçoroca na cidade de São Pedro, São Paulo (SP). **Revista do Instituto Geológico**, 17 (1/2): 55-62.

SANTORO, J. **Análise da ocorrência de processos erosivos no Município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo**. 2000. Rio Claro – SP (Tese de Doutorado) IGCE-Unesp. 2000

TUCCI, C. E. M. et al. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre, 2000. 558 p.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**, Editora Mc Graw Hill do Brasil, 1978, 510p.