

OS PROCESSOS EROSIVOS DE ORIGEM CONTINENTAL EM ESPAÇOS URBANOS E RURAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO: ASPECTOS CONCEITUAIS E ESTUDOS DE CASOS

EROSIVE PROCESSES OF CONTINENTAL ORIGIN IN URBAN AND RURAL SPACES
IN THE STATE OF SÃO PAULO: CONCEPTUAL ASPECTS AND CASE STUDIES

Jair Santoro¹

Eduardo Schmid Braga²

Introdução

Os processos erosivos causados pela água das chuvas ocorrem na maior parte da superfície da terra, principalmente nas regiões de clima tropical, onde as chuvas atingem índices pluviométricos elevados. A erosão continental é agravada pela concentração das chuvas num determinado período do ano que, normalmente na Região Sudeste do Brasil, corresponde à primavera e ao verão.

No Estado de São Paulo a erosão tem gerado enormes prejuízos para a sociedade, em função da perda, tanto de solos agricultáveis, quanto de investimentos públicos em obras de infraestrutura, visando a recuperação de áreas urbanas ou em urbanização, degradadas pela erosão (SANTORO, 1991, 2000).

Com relação à erosão das terras agrícolas, estima-se que 80% (SANTORO, 1991) das terras cultivadas do Estado de São Paulo estejam passando por processos erosivos além dos limites de sua recuperação. Hoje, muitas terras já se encontram em estado irrecuperável a curto e médio prazo. O solo só se recomporá espontaneamente em centenas de anos.

1 Graduado em Geologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1983), Mestrado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1991), Doutorado em Geociências e Meio Ambiente - UNESP/Rio Claro- Instituto de Geociências (2000). Atualmente é Pesquisador Científico VI aposentado do Instituto de Pesquisas Ambientais do Estado de São Paulo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2763-0013>. E-mail: jairsantor@yahoo.com.br

2 Graduado em Geografia pela Faculdade de Filosofia e Letras da Fundação Santo André (2008), Mestrando em Geografia Física pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (2022). Atualmente é Assistente Técnico de Pesquisa Científica e Tecnológica II do Instituto de Pesquisas Ambientais do Estado de São Paulo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5837-5217>. E-mail: edubraga@sp.gov.br



Figura 1. Ocorrência de boçoroca em área do município de Hortolândia - SP, registrada em 2014.

Por outro lado, o impacto da erosão nos recursos hídricos já se manifesta por meio do assoreamento de cursos d'água e reservatórios. A erosão e o assoreamento trazem como uma de suas consequências uma maior frequência e intensidade de enchentes danosas. Outra consequência grave é a perda de capacidade de armazenamento d'água de reservatórios assoreados, que gera sérios problemas de abastecimento. Estes problemas exigem obras de regularização e desassoreamento, ou seja, mais investimentos do poder público (SANTORO, 1991, 2000).

Este quadro de desequilíbrio da natureza permanecerá enquanto a ocupação agrícola não respeitar a capacidade de uso das terras e não adotar práticas conservacionistas adequadas; enquanto as expansões e ocupações urbanas não forem planejadas, respeitando claros limites naturais; enquanto as obras de infraestrutura, como a malha viária do Estado, não forem objeto dos devidos cuidados de implantação e conservação, ou seja, enquanto não for implantada uma política global para o Estado, integrando ações de combate à erosão continental urbana e rural que possam ser priorizadas ao nível preventivo e corretivo.

É possível prever o desencadeamento e a evolução dos processos erosivos, e para esta previsão é necessário conhecer as terras que tem diferentes potencialidades para os diferentes usos e diferentes suscetibilidades à erosão.

O conhecimento do meio físico, de seus recursos de água, solo e clima, suas potencialidades e limitações, constitui a base técnica sobre a qual o poder público deve estabelecer as medidas preventivas para o combate à erosão.

Portanto, tanto a prevenção quanto a correção dos processos erosivos têm seu sucesso ligado diretamente à diagnose do problema com a realização principalmente

de estudos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, climáticos e hidrológicos das áreas afetadas e a caracterização da dinâmica do seu processo de evolução.

Conceituação do fenômeno de erosão

Entende-se por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (IPT, 1986).

Com relação aos processos erosivos decorrentes da ação da água destacam-se dois tipos principais, de acordo com a forma como ocorre o escoamento das águas superficiais em áreas continentais: a erosão laminar ou em lençol é produzida por escoamento difuso das águas de chuva, e a erosão linear, quando devido à concentração do escoamento superficial, resulta em incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos que podem evoluir por aprofundamento, formando ravinas.

No entanto, se a erosão se desenvolve não somente pela contribuição das águas superficiais, mas também por meio das águas subsuperficiais, incluindo o lençol freático, ocorre a presença do processo conhecido por boçoroca ou vossoroca, incluindo fenômenos de “piping” (erosão interna ou tubular).

O “piping” se dá pela remoção de partículas do interior do solo, formando canais que aumentam em sentido contrário ao do fluxo d’água, provocando colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Devido a essa ação do fluxo de água subsuperficial, a boçoroca é um processo erosivo continental com alto poder destrutivo no qual atuam diversos fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos (SALOMÃO; IWASA, 1995). A contenção destes processos é bastante difícil, em geral, necessitam de obras de grande porte (SANTORO, 1991, 2000).

Erosão laminar acontece quando a água escoar uniformemente pela superfície do terreno, transportando as partículas de solo, sem formar canais definidos. Apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por grandes prejuízos às terras agrícolas e pelo fornecimento de grande quantidade de sedimentos que assoreiam rios, lagos e represas.

A **erosão linear** é aquela causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxos d’água em forma de filetes. Sua evolução dá origem a três tipos diferentes de erosão:

Sulco é um tipo de erosão no qual o fluxo d’água ao atingir maior volume transporta maior quantidade de partículas, formando incisões na superfície de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível;

Ravinas são formas erosivas lineares com profundidade maior que 0,5 m, neste caso as águas do escoamento superficial escavam o solo até seus horizontes inferiores; possuem forma retilínea, alongada e estreita; **Boçoroca** é a forma mais complexa de erosão linear, neste caso ocorre o aprofundamento da erosão até atingir o nível freático que aflora no fundo do canal. Há, então, ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, o que condiciona uma evolução da erosão lateral e longitudinalmente

(PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Fatores naturais que influenciam a erosão

De uma maneira geral, em quase todo solo removido pela erosão, há necessidade da presença da água agindo sobre o terreno. Esta água que cai sob forma de chuva exerce a ação erosiva sobre o solo. Estando desprotegido de vegetação ou mesmo das práticas conservacionistas, o solo sofre uma ação de desagregação com o impacto da gota de chuva, que depois o arrasta, principalmente nos primeiros minutos da chuva. A quantidade de solo removido depende muito das características do solo, da declividade do terreno e da intensidade e duração da chuva.

Os diferentes fatores intervenientes no fenômeno da erosão continental podem ser analisados dentro dos seguintes itens: clima, cobertura vegetal, relevo e tipo de solo (SANTORO, 2012).

Clima

Dos fatores climáticos, o mais importante é sem dúvida a precipitação. A principal influência da precipitação no processo erosivo continental não é considerada apenas pela quantidade anual de chuva, mas principalmente pela distribuição das chuvas durante o ano, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade e duração (SANTORO, 1991).

Assim nas regiões de precipitação abundante e regularmente distribuída, há geralmente a formação de solos profundos e permeáveis que resistem bem à erosão. Nestes solos desenvolvem-se florestas mais densas que os protegem totalmente do impacto das chuvas e retém facilmente os materiais removidos pelo escoamento superficial.

Nas regiões em que as chuvas são mal distribuídas, havendo um período seco como acontece nas regiões subtropicais, onde se encontra a maior parte da área cultivada do Brasil, é bastante desastrosa a ação das chuvas da primavera

e do verão que encontram o solo desprotegido pelos cultivos, provocando bastante erosão. No Estado de São Paulo, as chuvas mais intensas acontecem no verão. Neste período do ano, em que são frequentes os temporais e pancadas de chuvas fortes, ocorre uma aceleração dos processos erosivos continentais. Áreas desprotegidas desenvolvem erosão laminar e em sulcos. Ravinas e boçorocas avançam rapidamente, podendo gerar situações de risco ao atingirem áreas urbanas, com danos a moradias e vias de acesso.

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra os processos erosivos. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal na proteção do solo, Bertoni e Lombardi Neto (1990), destacam os seguintes:

- Proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva;
- Dispersão e interceptação das gotas d'água antes que atinjam o solo;
- Ação das raízes das plantas, formando poros e canais que aumentam a infiltração da água;
- Ação da matéria orgânica que incorporada ao solo melhora sua estrutura e aumenta sua capacidade de retenção de água;
- Diminuição da energia do escoamento superficial devido ao atrito na superfície.

Relevo

Os fatores associados ao relevo que interferem nos processos erosivos são principalmente os relativos à declividade dos terrenos, às formas das vertentes (encostas) e à extensão da vertente.

A declividade tem influência decisiva na intensidade da erosão em áreas continentais. A relação entre o aumento da declividade e o incremento da erosão, de acordo com as normas de conservação do solo, constitui para certos terrenos fator limitante da agricultura. Duley e Hays (apud AYRES, 1976), em experiências feitas em estufas e no campo, observaram que o escoamento aumenta rapidamente entre 0 e 3% de declive e, daí em diante, o seu aumento é relativamente menor para cada 1% de acréscimo na declividade.

O aumento da declividade de uma vertente provoca o aumento da velocidade do escoamento superficial e, como consequência, cresce também a sua capacidade erosiva, passando a retirar do solo, partículas e materiais mais grosseiros que a argila e o silte. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), o volume e a velocidade das enxurradas dependem diretamente do grau de declive da vertente. Por exemplo, se o declive do terreno aumenta quatro vezes,

a velocidade do fluxo do escoamento superficial na erosão continental aumenta duas vezes e a capacidade erosiva quadruplica.

A extensão da vertente ou comprimento da rampa também é um fator importante, pois à medida que aumenta a distância percorrida pelo fluxo, há um acréscimo no volume de água, bem como um aumento progressivo da velocidade de escoamento. Assim, quanto maior o comprimento de rampa maior o volume da enxurrada, que por sua vez, provoca aumento da energia cinética resultando em maior erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Quando se considera a forma da encosta, observa-se que as vertentes com formas côncavas, por serem concentradoras do escoamento superficial na erosão continental, são as mais estritamente relacionadas à formação de boçorocas. Em estudo na Depressão Periférica Paulista, abrangendo a região de Casa Branca, Piracicaba, Rio Claro, São Pedro e Itirapina, Oka-Fiori e Soares (1976), verificaram que 95% das boçorocas se desenvolviam em encostas côncavas (SANTORO, 1991).

Tipos de solo

As variáveis físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, profundidade e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão continental, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas.

A profundidade do solo tem grande influência na evolução da infiltração da água. Nos solos pouco profundos, de acordo com sua permeabilidade, a água encontra uma barreira intransponível na rocha matriz que ocorre a pequena profundidade, a qual sendo impermeável fará com que a água se acumule no perfil, saturando-o rapidamente. Isto permitirá o rápido aumento do escoamento superficial, tendo como consequência, o incremento da ação erosiva da chuva.

Os solos profundos, com textura mais ou menos homogênea em todo o seu perfil e com alta permeabilidade, não são facilmente saturados, mesmo em face de precipitações intensas. Estes solos são, portanto, menos sujeitos à erosão continental.

Há solos, entretanto, que apresentam uma variação muito intensa de textura nas diferentes camadas de seus perfis. Isto acarreta diferenças nas velocidades de infiltração a diversas profundidades, o que poderá torná-los facilmente erodíveis.

A permeabilidade, segundo Rubia e Blasco (apud BRAUN, 1961), é um fator importante no processo erosivo. Baixas permeabilidades acarretam aumento do escoamento superficial. No entanto, uma permeabilidade muito elevada pode ter também um efeito prejudicial, pois causa percolação excessiva provocando

a erosão vertical, que é a lixiviação (transporte) das partículas menores do solo para as camadas inferiores.

A estrutura do solo de acordo com o grau de estabilidade que possui, isto é, a maior ou menor facilidade de formar agregados estáveis, tem importante influência na erodibilidade de um determinado solo. Isto depende, da quantidade de argila, húmus e outros elementos coloidais presentes no solo.

A erodibilidade indica a facilidade com que um determinado solo pode ser erodido, é uma característica intrínseca do solo. Solos mais arenosos, em geral, são mais facilmente erodidos que solos argilosos. Assim, o conjunto das características dos solos, que, em grande parte depende da rocha de origem (substrato rochoso) e de sua evolução ao longo do tempo, sob ação do clima e das formações vegetais, determinam a suscetibilidade dos terrenos à erosão continental.

Condicionantes antrópicos

A ação humana interfere na dinâmica natural do sistema ambiental, normalmente acelerando a velocidade de mudança de sua condição natural. A degradação acelerada das terras é indicativa de uso e manejo mal conduzido que comprometem a sua manutenção, bem como o seu potencial para usos futuros. A erosão acelerada do solo provoca a perda de materiais, em especial de nutrientes e de matéria orgânica, desorganizando sua estrutura e levando a degradação deste importante recurso natural. Além disso, a erosão acelerada é considerada por diversos pesquisadores como sendo o processo que mais contribui para a degradação das terras produtivas em todo o mundo (WEILL; PIRES NETO, 2007).

De acordo com estes autores, os principais fatores que atuam na aceleração do processo erosivo continental, em áreas agrícolas, são entre outros, a retirada da vegetação natural para uso agropecuário, o manejo inadequado de solos produtivos, o uso intensivo das terras com alta suscetibilidade à erosão e, sobretudo, a falta de planejamento do uso e ocupação do solo.

Nas áreas urbanas, a erosão continental avança agressivamente nos setores de expansão das cidades, por meio da abertura de novos loteamentos, os quais exigem para a sua implantação, grande movimentação e exposição de solos. Estes terrenos, sem a proteção da cobertura vegetal e das camadas superficiais do solo, tornam-se vulneráveis à ação das chuvas e do escoamento superficial das águas pluviais, propiciando a instalação da erosão acelerada. Associados aos aspectos da implantação destes empreendimentos, a escolha de locais geotecnicamente inadequados, a falta de infraestrutura urbana, traçado inadequado do sistema viário e sistemas de drenagem mal concebidos e mal executados aceleram a ocorrência dos processos erosivos (SANTORO, 2000).

Assim, as formas de intervenção humana que propiciam a erosão continental acelerada e que são denominadas de **condicionantes antrópicos** incluem:

- Desmatamento;
- Movimentação de terra;
- Concentração do escoamento superficial das águas;
- Uso inadequado dos solos agrícolas e urbanos.

Danos provocados pela erosão continental

A evolução dos processos erosivos atinge o ponto de maior gravidade quando surgem sulcos, ravinas e boçorocas, que são capazes de mobilizar grandes quantidades de solo e destruir áreas urbanas, terras agrícolas e obras civis. A erosão hídrica, conforme El-Swaify (apud WEILL; PIRES NETO, 2007) é responsável por aproximadamente 55% dos quase dois bilhões de hectares de solos degradados no mundo.

Além da perda de solos, os processos erosivos causam outras consequências, como por exemplo: limitação da expansão urbana, interrupção do tráfego, transporte de substâncias poluentes agregadas aos sedimentos, desenvolvimento de focos de doenças, e assoreamento de drenagens. A erosão laminar carrega os sedimentos mais finos e, apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por graves prejuízos às terras agrícolas e por provocar grandes assoreamentos pelo transporte de sedimentos para rios, lagos e represas.

Um dos mais graves impactos da erosão no meio ambiente, o assoreamento (Figura 2) altera as condições hidráulicas dos corpos d'água, provocando enchentes, diminuição da capacidade de armazenamento, destruição de ecossistemas devido ao carreamento de poluentes químicos e prejuízos para o abastecimento e produção de energia (SALOMÃO; IWASA, 1995).



Figura 2. Assoreamento em corpo d'água, no município de Avaré em SP, registrada em 2019.
Observar o solo arenoso depositado no pé do talude.

A erosão pluvial linear é provocada pela retirada de material da parte superficial do solo pelas águas de chuva. O impacto das gotas d'água sobre o solo provoca a desagregação de seus torrões, permitindo que o fluxo superficial transporte as partículas de solo (sedimentos) e os sais dissolvidos. As principais formas de erosão continental pluvial são: erosão laminar, sulcos, ravinas e boçorocas.

As ravinas, que resultam da evolução de sulcos erosivos, podem atingir rapidamente alguns metros de profundidade. Como seu avanço é muito rápido, acarretam graves prejuízos podendo levar a total destruição de grandes superfícies de terras agrícolas se não for combatida a tempo (Figura 3). São responsáveis também pelo rápido assoreamento das várzeas, dos leitos fluviais, lagos e represas, facilitando o transbordamento das águas de seus cursos e provocando inundações.

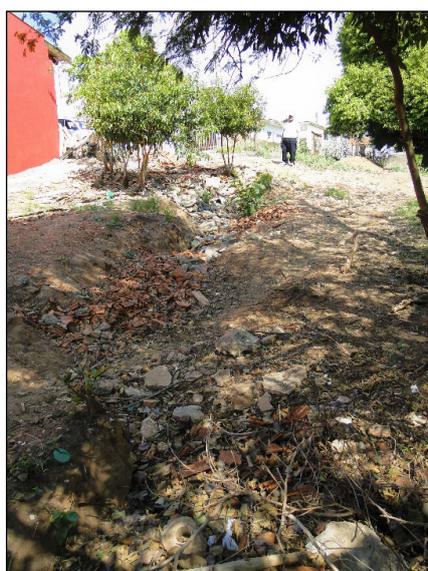


Figura 3. Presença de ravina em cabeceira de boçoroca no município de Monte Alto-SP, registrada em 2016.

Com o aprofundamento do processo erosivo linear, as ravinas podem atingir o lençol freático. Quando isto acontece, o fluxo natural da água subterrânea passa a atuar como transportador das partículas do fundo da ravina, solapando sua base e provocando o desmoronamento da cabeceira, no processo conhecido como erosão remontante. A feição dela resultante é conhecida como boçoroca ou vossoroca. O fenômeno de “piping” (erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando “tubos” vazios), que provoca colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a boçoroca ou criando novos ramos, ocorre quando a boçoroca atinge o seu limite de profundidade e passa a interceptar o lençol freático. Além deste mecanismo, as surgências d’água nos pés dos taludes da boçoroca provocam sua instabilização e descalçamento (GUERRA; CUNHA, 2000).



Figura 4. Ocorrência de boçoroca em área rural do município de Avaré-SP, observada em 2019.

A boçoroca resulta desta complexa interação de fenômenos que se manifestam nas grandes dimensões deste tipo de erosão (até dezenas de metros de largura e profundidade, com várias centenas de metros de comprimento) e na grande velocidade de avanço. A rápida evolução dos ramos ativos confere a esta forma de erosão continental, um alto potencial de destruição que pode atingir edificações, estradas e obras públicas (DAEE-IPT, 1989).

Estudos de casos

Como abordado anteriormente, o impacto da erosão continental acelerada provoca a degradação dos solos e comprometimento da qualidade ambiental. Entretanto, quando atinge áreas urbanas torna-se um grave perigo, podendo colocar a população em risco.

Após a apresentação dos aspectos conceituais associados aos processos erosivos, abordaremos através de estudos de casos a ocorrência de processos comprometendo áreas urbanas e rurais conforme mostrado anteriormente.

Ressaltamos que estes estudos de casos que apresentaremos como exemplos, foram demandas encaminhadas ao Instituto Geológico para a análise dos problemas e a execução de Parecer Técnico apontando as intervenções técnicas mais adequadas para cada situação.

O primeiro caso trata-se de uma solicitação do Ministério Público do Estado de São Paulo/Promotoria de Justiça do Meio Ambiente de Bauru - SP, encaminhada ao Instituto Geológico, a qual tinha como objetivo instruir procedimento sobre a ocorrência/existência de assoreamento no reservatório de água existente no Residencial “Spazio Verde”, em Bauru-SP.

Foi realizada vistoria técnica nos dias 21 e 22 de setembro de 2017 (Figuras 5 e 6). Durante os trabalhos foi informado que o assoreamento do lago teria iniciado há quatro anos. Caminhando nos entornos do lago e ao longo de toda a sua extensão foi constatada a existência de um processo erosivo com grau bastante alto, provocado pelo depósito de sedimentos arenosos transportados para o seu interior.

O assoreamento constatado afetava de forma diferenciada determinadas porções do lago resultado de processos erosivos ocorridos anteriormente. Destaca-se que até a data da realização das vistorias, não havia sido executada nenhuma obra de correção e/ou controle dos problemas observados. Desta forma recomendou-se a realização de Batimetria do lago, com o objetivo de se obter uma avaliação mais precisa do nível do seu assoreamento e a relação entre a profundidade da água e o volume de sedimentos depositados no seu interior. Foi recomendada também a remoção mecânica com o emprego de retroescavadeira, dos sedimentos já depositados em grande volume no seu interior.



Figura 5. Assoreamento em lago de empreendimento no município de Bauru - SP, observado em 2017. Notar o grande volume de sedimentos depositados no leito do corpo d'água.



Figura 6. Presença de assoreamento em lago no município de Bauru - SP, registrado em 2017. Notar o grande volume de sedimentos depositados.

O segundo caso tratou-se do atendimento de uma demanda de Parecer Técnico encaminhada ao Instituto Geológico pela Promotoria de Justiça do Meio Ambiente da cidade de Bauru - SP, com o objetivo de informar “a constatação, causas e medidas de recuperação/contenção dos danos ambientais verificados, em uma área localizada no Bairro Residencial Lago Sul, em Bauru - SP,

referentes a processos erosivos e assoreamento dos lagos”. Desta forma, foi realizada Vistoria Técnica nos dias 06 e 07 de julho de 2017, a fim de constatar os problemas apontados na solicitação. (Figuras 7 e 8).

Durante a realização da vistoria foi informado que o primeiro lago existente no Residencial apresentava no início do condomínio, em 1999, profundidade média obtida por Batimetria de aproximadamente 9 metros, e na data da vistoria, em 2017, apresentava 7 metros, portanto um assoreamento de 2 metros, provocado pelo aporte de sedimentos arenosos oriundos de processos erosivos existentes nos entornos do empreendimento.

Em um segundo lago existente no condomínio, constatou-se visualmente a presença de um grau de assoreamento mais elevado que o anterior, onde se notou a elevada quantidade de sedimentos e a turbidez das águas no seu interior.

Próximo a este lago, observou-se um local com uma grande quantidade de sedimentos transportados, originários de um talude em solo exposto do leito da ferrovia, lindeira ao loteamento, sendo este ponto um dos locais mais críticos em termos de processos erosivos.

Foi realizado também um caminhamento ao longo da linha férrea que se situa em uma posição topográfica superior a área do loteamento. Ao longo deste caminhamento foram observados sérios problemas de drenagem das águas pluviais oriundas da ferrovia, assim como a presença de processos erosivos, como erosão laminar, sulcos e ravinas.

Com relação aos processos erosivos, constatou-se a presença de uma ravina, com vinte metros de comprimento, um metro de largura e um metro de profundidade, próxima ao muro de divisa do loteamento com a ferrovia.

Até a data da realização desta vistoria, não haviam sido realizadas nenhuma obra de correção e/ou controle dos problemas de drenagem e processos erosivos observados. Desta forma, recomendou-se:

- A realização urgente de obras de drenagem das águas pluviais oriundas da ferrovia contígua ao empreendimento;
- A realização de obras de correção das tubulações de drenagem existentes ao longo da ferrovia, que se encontravam inacabadas e executadas de forma inadequada;
- Execução de medidas de contenção e barramentos dos sedimentos que chegavam até o muro de divisa do loteamento e eram os geradores do assoreamento dos lagos e da nascente existente no loteamento.



Figura 7. Assoreamento em lago de empreendimento no município de Bauru - SP, registrado em 2017.

O terceiro caso trata-se de uma demanda encaminhada ao Instituto Geológico pela Defesa Civil Estadual-CEPDEC e a Promotoria de Justiça de Monte Alto - SP, onde foi solicitado Parecer Técnico relativo a riscos aos moradores causados por processo erosivo. (Figuras 8 e 9).

Foi realizada a vistoria técnica nos dias 20 e 21 de setembro de 2016, nos entornos da Rua das Papoulas, no Bairro Jardim Primavera, em Monte Alto - SP.

Constatou-se no local a existência de um processo erosivo continental, em área particular rural, na forma de ravina profunda, com uma ramificação, sendo que a jusante do processo, próximo ao afluente de um córrego existente no local, a erosão aumentava a sua profundidade, com a ocorrência de surgência d'água, no pé do talude existente, caracterizando a presença de uma boçoroca (Figura 10).

Observou-se que na cabeceira da erosão, a ravina principal apresentava altura aproximada de 4 metros, largura de 3 metros e profundidade de 2 metros. A distância entre o início do processo, na forma de ravina, ao final da Rua das Papoulas, e a parte final, na forma de boçoroca, era de aproximadamente de 80 a 100 metros, com um desnível até o corpo d'água do córrego a jusante, de aproximadamente 50 metros.

Constatou-se também, que à medida que o processo evoluía, na forma de boçoroca, esta apresentava maiores dimensões com aproximadamente 6 metros de altura e 5 metros de largura, ou seja, um incremento nas dimensões do processo em função da presença de surgência d'água.

Quanto ao material afetado pelo processo, consistia em sedimentos arenosos finos, argilosos, de baixa coesão e altamente suscetíveis aos processos erosivos, associados aos materiais do Grupo Bauru da Bacia Sedimentar do Paraná. Quanto à origem do processo erosivo, o mesmo estava associado à concentração do escoamento superficial das águas pluviais e ausência total de obras de captação e condução adequadas destas águas, ao longo da Rua das Papoulas.

Desta forma, constatou-se que o sistema de escoamento e drenagem das águas pluviais mostrava-se inadequado e insuficiente. O lançamento aleatório das águas pluviais ao longo do maior declive da rua contribuiu de forma decisiva para o incremento dos processos erosivos presentes no local.

Até a data da realização desta vistoria técnica, não haviam sido realizadas nenhuma obra de correção e/ou controle dos problemas observados. Sendo assim, em função das observações realizadas, recomendou-se:

- Execução de obras de drenagem, como: bocas de lobo, caixas de inspeção, dissipadores de energia das águas pluviais ao longo da Rua das Papoulas;
- Realização de obras de drenagem a partir do início do processo erosivo na área particular rural, principalmente ao final da tubulação já existente no local e não terminada;
- Dimensionamento correto da capacidade de vazão das tubulações existentes, trabalhando com séries históricas de chuvas estabelecendo os picos máximos de escoamento das águas;
- Implantação de vertedouro, escada hidráulica e dissipadores de energia ao longo do processo erosivo e implantação de estruturas de dissipação de energia na porção terminal da erosão;
- Execução de obras de retaludamento e recomposição vegetal da ravina e na porção terminal do processo, implantação de drenos profundos no pé do talude, em função da presença a jusante de boçoroca com surgência d'água.



Figura 8. Ocorrência de boçoroca em área rural do município de Monte Alto - SP, registrada em 2016.



Figura 9. Outro aspecto da boçoroca descrita na figura anterior. Observar a inclinação do talude em solo areno-argiloso.



Figura 10. Surgência d'água (piping) no pé do talude da boçoroca descrita anteriormente, no município de Monte Alto – SP, observada em 2016

Controle da erosão continental do solo

Como abordamos anteriormente, através de três exemplos concretos de casos envolvendo processos erosivos, constatamos que o impacto da erosão acelerada provoca a degradação dos solos, gera assoreamentos e compromete a qualidade ambiental.

A intensificação dos processos erosivos é particularmente danosa para os recursos hídricos devido ao assoreamento de cursos d'água e de reservatórios. Um dos efeitos diretos do assoreamento é a maior frequência e intensidade de enchentes e inundações, causando grandes transtornos e prejuízos às populações urbanas principalmente aos moradores de áreas próximas aos cursos d'água. A instalação de conjuntos habitacionais e loteamentos em áreas geotecnicamente inapropriadas, em encostas com altas declividades ou fundos de vales, também contribuem para o incremento dos processos erosivos em áreas continentais.

Assim, o controle da erosão em áreas urbanas, tem sido realizado de diversas formas pelos poderes públicos municipais e estaduais, tanto de modo preventivo como corretivo, conforme descrito por Santoro (2012).

Ações preventivas

São aquelas de caráter extensivo, contemplando grandes áreas. Podem ser de natureza institucional, administrativa ou financeira, sendo adotadas

espontaneamente ou por força de legislação. Objetivam a convivência com os riscos, reduzindo a magnitude dos processos e orientando a população afetada. No geral não exigem a aplicação de vultosos recursos financeiros (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

As principais práticas de conservação para o controle de erosão baseiam-se nos princípios básicos da manutenção da cobertura protetora à superfície do solo, aumento da infiltração da água no solo e o controle do escoamento superficial. Empregam-se também as práticas mecânicas, que são aquelas que recorrem a estruturas artificiais baseadas na disposição de porções de terra no terreno que diminuem a velocidade de enxurrada e favorecem a infiltração da água no solo. A prática mecânica mais conhecida e utilizada é o terraceamento agrícola (WEILL; PIRES NETO, 2007).

Dentre os instrumentos técnicos mais indicados à prevenção de erosão acelerada continental destacam-se os mapas geotécnicos ou geoambientais, os quais por meio da caracterização e análise dos fatores naturais que influenciam a ocorrência de processos erosivos indicam a suscetibilidade ou potencial do terreno em desenvolver estes processos. Estas informações são importantes para orientar o uso do espaço territorial, como nos planos diretores municipais (SANTORO, 2000).

Ações corretivas

São ações voltadas para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos e hidrológicos, por meio da implantação de obras de engenharia. Normalmente estas obras são de custo elevado e contemplam soluções para áreas restritas (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Ações corretivas de controle da erosão continental urbana necessitam de estudos detalhados de caracterização dos fatores e mecanismos relacionados as causas do desenvolvimento dos processos erosivos.

Segundo DAAE-IPT (1986) “As soluções para a correção dos problemas erosivos, passam pela necessidade de desenvolvimento de soluções normativas de projetos e obras adequadas para cada situação do meio físico encontrado”.

Destaca-se assim, que não existe um tipo de obra adequada para toda e qualquer situação. As soluções econômicas e simples podem ter eficácia se forem aplicadas no início do desenvolvimento dos processos. Entretanto, de um modo geral as ações de contenção dos processos erosivos, segundo DAAE-IPT (1989) devem contemplar as seguintes medidas:

- Implantação de microdrenagem: visam evitar o escoamento das águas pluviais diretamente sobre o solo, por meio de estruturas de captação e condução das águas superficiais;

- Implantação de macrodrenagem: são obras responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais drenadas do sistema de microdrenagem urbana;
- Obras de extremidades: são estruturas de controle e dissipação da energia das águas nos pontos de lançamento;
- Pavimentação: implantação de guias, sarjetas, bocas de lobo e asfaltamento em pontos com movimentação de terra, vias de acesso e deslocamentos;
- Disciplinamento das águas subterrâneas: execução de drenos profundos (dreno cego, dreno com material sintético, dreno de bambu);
- Estabilização dos taludes resultantes do movimento de terra: obras de aterro e de retaludamento;
- Conservação das obras implantadas: realização de reparos periódicos em obras já executadas e que apresentem sinais de desgaste.

Considerações finais

Conforme apresentado ao longo deste artigo, os processos erosivos continentais provocam graves prejuízos ambientais e socioeconômicos, sendo necessário, para sua prevenção e contenção de seu avanço um adequado planejamento do uso e ocupação do solo, como os planos Diretores Municipais para as áreas urbanas que considerem as características do meio físico e contemplem o planejamento da drenagem urbana.

Nas áreas rurais, deve ser combatida a retirada da vegetação nativa, as queimadas, o manejo inadequado do solo e o uso de áreas suscetíveis à erosão.

Desta forma, o diagnóstico de campo juntamente com a análise da legislação atual, mostra que uma política de prevenção e controle da erosão continental urbana deve abranger medidas e ações de planejamento urbano, de disciplinamento legal do uso e ocupação do solo, e de desenvolvimento de um código de obras específico.

Com relação aos processos erosivos em áreas rurais, promover a adoção de uma agricultura sustentável, sendo que esta linha de ação visa principalmente à proteção e conservação do solo agrícola, por meio das seguintes metas:

- Redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes nas microbacias hidrográficas;
- Redução da carga orgânica rural lançada nos corpos d'água;
- Recomposição das matas ciliares e proteção das nascentes;
- Redução do consumo de água na irrigação;
- Apoio à adoção de práticas conservacionistas (SANTORO, 2000).

Referências

- AYRES, Q. C. **Soil erosion and its control**. New York, MAGraw Hill Co. Inc. 1976.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1990. 355p.
- BRAUN, W. A. G. 1961. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, (4), p. 3 – 54.
- DAEE/IPT. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989. 92 p.
- CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. 2000. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. ed. 2000. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 181-220.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo: Bacia do Peixe/Paranapanema (Relatório Técnico 24.739 – vol. 2)**. São Paulo: IPT. 1986.
- OKA-FIORI, C.; SOARES, P. C. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia geomorfológica**, Campinas 1976. v.16, nº 3, p. 114-124.
- PROIN/CAPES. UNESP/IGCE. 1999. **Material Didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.
- SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **4º Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, ABGE/IPT, 1995. p. 31-57.
- SANTORO, J. **Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural a erosão hídrica e o uso e ocupação do solo**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP. Tese de Doutorado. 2000. 145 p.
- SANTORO, J. **Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro – S.P.** Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica. Rio Claro S.P. Dissertação de mestrado. IGCE – UNESP – Campus de Rio Claro – S.P. 1991. 140p.
- WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. cap. 4, p. 39-58.