

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NO CONTROLE PREVENTIVO E CORRETIVO DOS PROCESSOS EROSIVOS

FERNANDO XIMENES DE TAVARES SALOMÃO

Prof. Dr. do Departamento de Geologia Geral da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

KÁTIA CANIL

Pesq. Dr^a. do Laboratório de Riscos Ambientais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

SAMANTHA PAULO RODRIGUES

Mestre em Recursos Hídricos

RESUMO ABSTRACT

O diagnóstico, prognóstico e controle dos processos erosivos exige o envolvimento de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, contemplados pela Geologia de Engenharia, transferindo a esta importante papel na solução de problemas envolvendo a minimização dos impactos ambientais e recuperação do ambiente. Neste artigo, dois estudos de caso foram apresentados, enfatizando o necessário conhecimento do funcionamento hídrico voltado ao estudo da erosão, exemplificando abordagens próprias da Geologia de Engenharia, que visam o controle preventivo em bacia hidrográfica e o controle corretivo de boçorocas em área urbana. Na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, importante contribuinte do Pantanal Matogrossense, foi aplicada a abordagem morfopedológica, permitindo a compartimentação cartográfica de áreas relativamente homogêneas do meio físico, que foram interpretadas em relação ao funcionamento hídrico e aplicados critérios técnicos voltados à determinação da suscetibilidade a erosão laminar e linear. Para a área urbana e periurbana do município de Franca (SP) foram identificadas e caracterizadas trinta e duas feições erosivas de grande porte, tendo em vista a interpretação da dinâmica e evolução dos processos erosivos lineares, com objetivo de subsidiar a proposição de diretrizes voltadas à concepção de projetos e de obras de contenção.

Palavras Chave: controle preventivo e corretivo da erosão, erosão em bacia hidrográfica, erosão em área urbana.

The diagnosis, prognosis and control of erosion requires the involvement of professionals from different areas of knowledge contemplated by the Engineering Geology, transferring to it an important role in the solution of problems relating to minimizing environmental impacts and environmental restoration. In this article, two case studies were presented, emphasizing the necessary knowledge of the hydric focused to the study of erosion, exemplifying their own approaches of Engineering Geology, for the preventive control in watershed and corrective control of gullies in urban areas. In the basin of the São Francisco River, a major contributor to the Pantanal, morphopedological characteristics approach was applied, allowing the partitioning of the relatively homogeneous mapping of the physical environment, which were interpreted in relation to hydric functioning and applied technical criteria aimed at determining the susceptibility to erosion laminar and linear. To the urban area of Franca municipality in the state of São Paulo, it was identified and characterized thirty-two gullies, with a view to interpreting the dynamics and evolution of linear erosion, to serve as input to the proposition of guidelines focused on project conception and contention works.

Key Words: preventive and corrective erosion control, erosion in watershed, erosion in urban area.

1 INTRODUÇÃO

Na natureza, os elementos que compõem o meio físico (rocha, relevo e solo) interagem mutuamente com o clima e a vegetação, originando processos do meio físico, ou exógenos. Desde que não haja intervenção da ação humana, tais processos atuam de maneira equilibrada recompondo as condições naturais. Caso contrário, com a ação antrópica, a intensificação dos fenômenos envolvidos altera o funcionamento equilibrado do ambiente natural podendo provocar impactos em prejuízo do próprio homem.

A Geologia de Engenharia, “especialização que enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico” (RUIZ; GUIDICINI, 1998), pode e deve cumprir importante papel voltado à minimização dos impactos ambientais e à recuperação do ambiente, agregando as diferentes áreas do conhecimento que respondem pela solução de problemas de engenharia e meio ambiente.

Por outro lado, em regiões tropicais de clima quente e úmido, como boa parte de nosso território, os processos do meio físico manifestam-se sob influência decisiva do comportamento das águas, não fugindo à regra a erosão pluvial. Isso provavelmente tenha levado diversos autores a diferenciar ou mesmo conceituar os tipos de processos erosivos com base na forma de escoamento superficial e subterrâneo das águas de chuva: erosão laminar ou em lençol, condicionada ao escoamento difuso; erosão em sulco, por concentração das linhas de fluxo superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas; e erosão em boçoroca ou voçoroca, que se desenvolve por influência não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos de água subsuperficial, onde se inclui o aquífero freático, com desenvolvimento de fenômeno de piping.

Assim, o diagnóstico, prognóstico, e adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo dos processos erosivos, devem ser realizados com base no entendimento dos mecanismos relacionados com a dinâmica do funcionamento hídrico no terreno.

Diversos procedimentos e técnicas vêm sendo adotados de maneira a permitir esse entendimento, dependendo do campo de atuação dos profissionais envolvidos e objeto de trabalho.

Neste artigo, serão apresentados dois estudos de caso enfatizando o necessário conhecimento do funcionamento hídrico voltado ao estudo da erosão, procurando exemplificar abordagens próprias da Geologia de Engenharia visando o controle erosivo em bacia hidrográfica e em área urbana. Pretende-se valorizar os procedimentos metodológicos e critérios técnicos apropriados à Geologia de Engenharia visando a determinação da suscetibilidade à erosão laminar e linear, o controle corretivo de boçoroca e a representação cartográfica voltada às ações preventivas.

2 CONTROLE EROSIVO EM BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Ghezzi (2003) as bacias hidrográficas constituem um instrumento de grande interesse científico, em virtude da riqueza de informações que delas podem ser extraídas. Pesquisadores diversos como Lombardi Neto et al (1995), Resende et al (1995) e Botelho (1996) chamam a atenção para a bacia hidrográfica como unidade natural onde é possível reconhecer e estudar as relações existentes entre os diversos elementos da paisagem, e os processos que atuam na sua formação e evolução. Por meio de estudos realizados nessas unidades podem ser observados diversos aspectos indicadores de conservação, degradação, possibilidades de exploração pelo homem, tornando assim uma unidade ideal para gestão e planejamento do uso e conservação das terras.

Várias metodologias vêm sendo utilizadas para o melhor entendimento do processo erosivo, em bacias hidrográficas e áreas urbanas, pautando na suscetibilidade à instalação da erosão, tendo como base a interrelação dos elementos do meio físico (LOHMANN, 2005). Dentre elas, a abordagem morfopedológica permite a análise integrada da paisagem e a delimitação de compartimentos homogêneos em relação à dinâmica do meio físico e configuração do funcionamento hídrico de vertentes, conduzindo à interpretação da suscetibilidade a erosão (CASTRO; SALOMÃO, 2000; LOHMANN; SANTOS, 2009).

Com base nesse pressuposto, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco foi selecionada para a aplicação da abordagem morfopedológica com vistas à determinação da suscetibilidade à

erosão laminar e linear, de maneira a servir para ações preventivas e corretivas. Esta bacia hidrográfica, mostrada na Figura 1 compreende

aproximadamente 80.000 hectares, integrando a bacia do Alto Paraguai, importante formador do Pantanal Matogrossense.

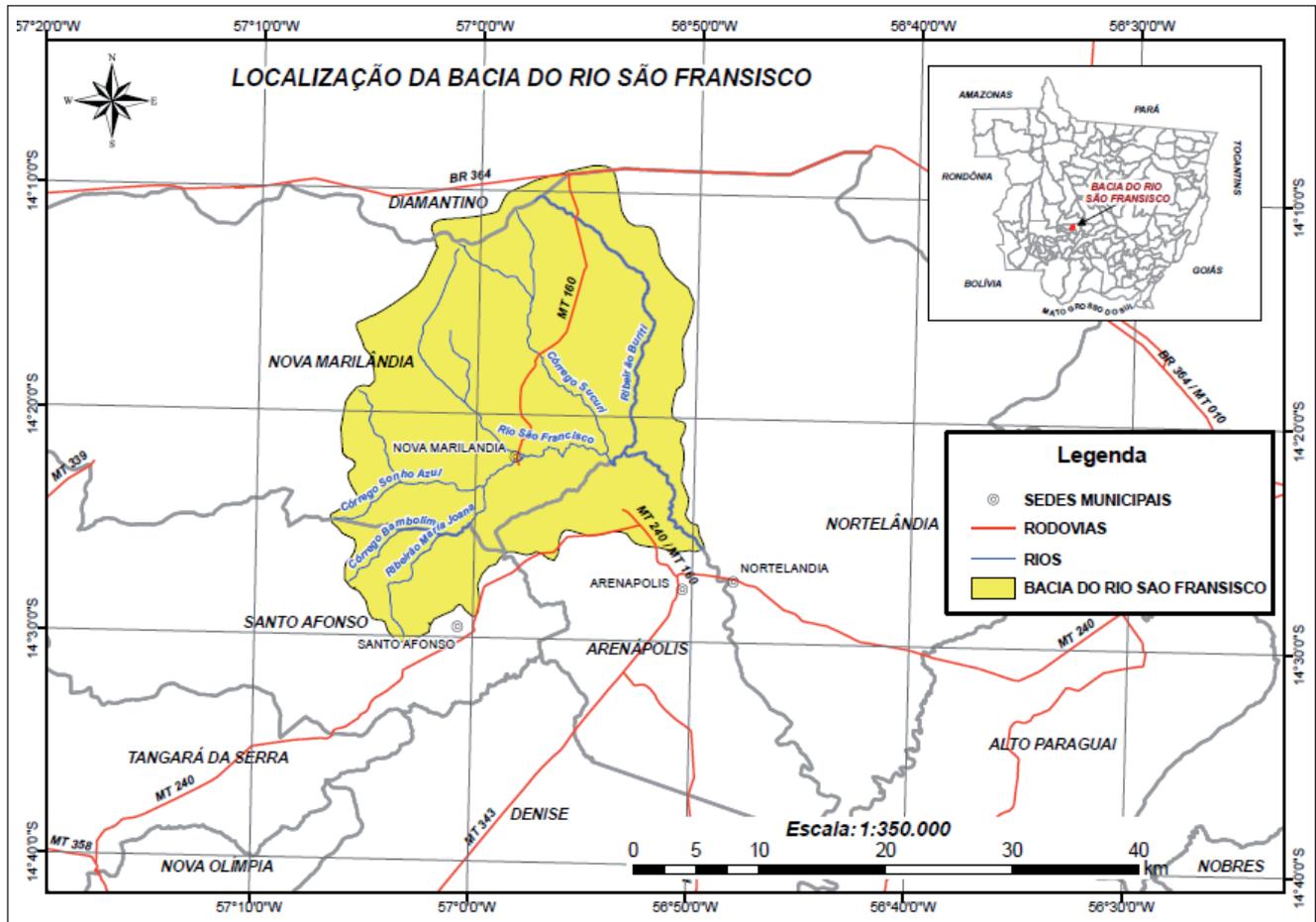


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

O procedimento básico utilizado foi direcionado para a compartimentação do meio físico, levando-se em conta as características do substrato geológico, do relevo e dos solos, utilizando dados disponíveis (SEPLAN, 2008), interpretação de imagens digitais de alta resolução (QUICK BIRD, 2008) e levantamentos em campo.

A análise das ocorrências erosivas em relação ao substrato geológico, formas de relevo e tipos de solos, realizada por sobreposição cartográfica, interpretação de imagens digitais, e reconhecimento em campo, permitiu uma avaliação inicial a respeito da definição dos compartimentos morfopedológicos e sua delimitação cartográfica.

Baseados nas cartas temáticas e no mapa morfopedológico preliminar, foi realizado trabalho de

campo, procurando observar em cada compartimento morfopedológico as seqüências pedológicas existentes ao longo das vertentes, sua disposição no terreno em relação à topografia, formas das vertentes e feições significativas do relevo. As ocorrências erosivas foram também observadas, especialmente em relação à posição mais comum na vertente, e presença ou ausência de surgências d'água, que pudessem ser relacionadas com fenômenos de piping. Dessa maneira, foi possível validar os critérios usados na definição dos compartimentos morfopedológicos, e sua relação com o desenvolvimento dos processos erosivos.

Vertentes representativas dos compartimentos morfopedológicos foram, com maior rigor, levantadas em campo por meio de tradagens e

descrições de perfis de solo expostos no terreno e em trincheiras, permitindo identificar as coberturas pedológicas em relação às características morfológicas relacionadas ao comportamento hídrico. Tais características morfológicas constituem atributos do solo, observáveis em campo, que condicionam o movimento da água, destacando-se a textura, estrutura, porosidade, e determinadas feições pedológicas, tais como plintita, concreção ferruginosa e gleização.

Foi possível, assim, deduzir para cada compartimento morfopedológico as possibilidades de infiltração e escoamento superficial e subterrâneo das águas. A análise integrada dos elementos que compõe o meio físico e interpretação do funcionamento hídrico constituíram, portanto, a chave para a compreensão do comportamento dos compartimentos morfopedológicos em relação ao desenvolvimento dos processos erosivos, que foram interpretados quanto à suscetibilidade a erosão laminar e linear com base em critérios apresentados por IPT (1989) e por Salomão (1994; 2007).

Antecedendo as campanhas de campo, foram previamente escolhidos locais a serem identificados e interpretados, com base na análise de imagens de alta resolução. Essas coordenadas geográficas foram lançadas no GPS, auxiliando os trabalhos de campo.

Todas as informações apuradas foram utilizadas, elaborando-se o mapa morfopedológico final em escala de 1:50.000, onde cada compartimento

contempla vertentes relativamente homogêneas em relação à configuração topográfica e seqüência de solos constituindo, assim, sistema pedológico com determinado comportamento das águas infiltradas e escoadas em superfície e em subsuperfície. O mapa morfopedológico apresentado na Figura 2 destaca a existência de nove compartimentos, na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, com denominações que permitam facilitar suas identificações em campo: MP-1 Planície e Terraços Aluviais; MP-2 Morros Alongados; MP-3 Morrotes e Colinas Médias em Rochas Básicas; MP-4 Colinas Amplas com Latossolos; MP-5 Colinas Amplas e Médias com Argissolo; MP-6 Colinas Amplas e Médias com Topo Plano e Solos Rasos; MP-7 Colinas Amplas com Neossolo Quartzarênico; MP-8 Escarpas; MP-9 Rampas com Latossolo.

A suscetibilidade à erosão linear dos compartimentos morfopedológicos foi interpretada com base na compreensão do comportamento das águas de chuvas e do aquífero freático ao longo da vertente em sua totalidade, conhecendo-se os diferentes materiais que a constituem, suas características diretas e indiretas relacionadas à circulação da água, e predisposição aos processos erosivos frente às formas de uso do solo.

Com base em DAEE/IPT (1989) e Salomão (2007) foram destacadas cinco classes de suscetibilidade à erosão linear, definidas com base nos critérios apresentados no Quadro 1.

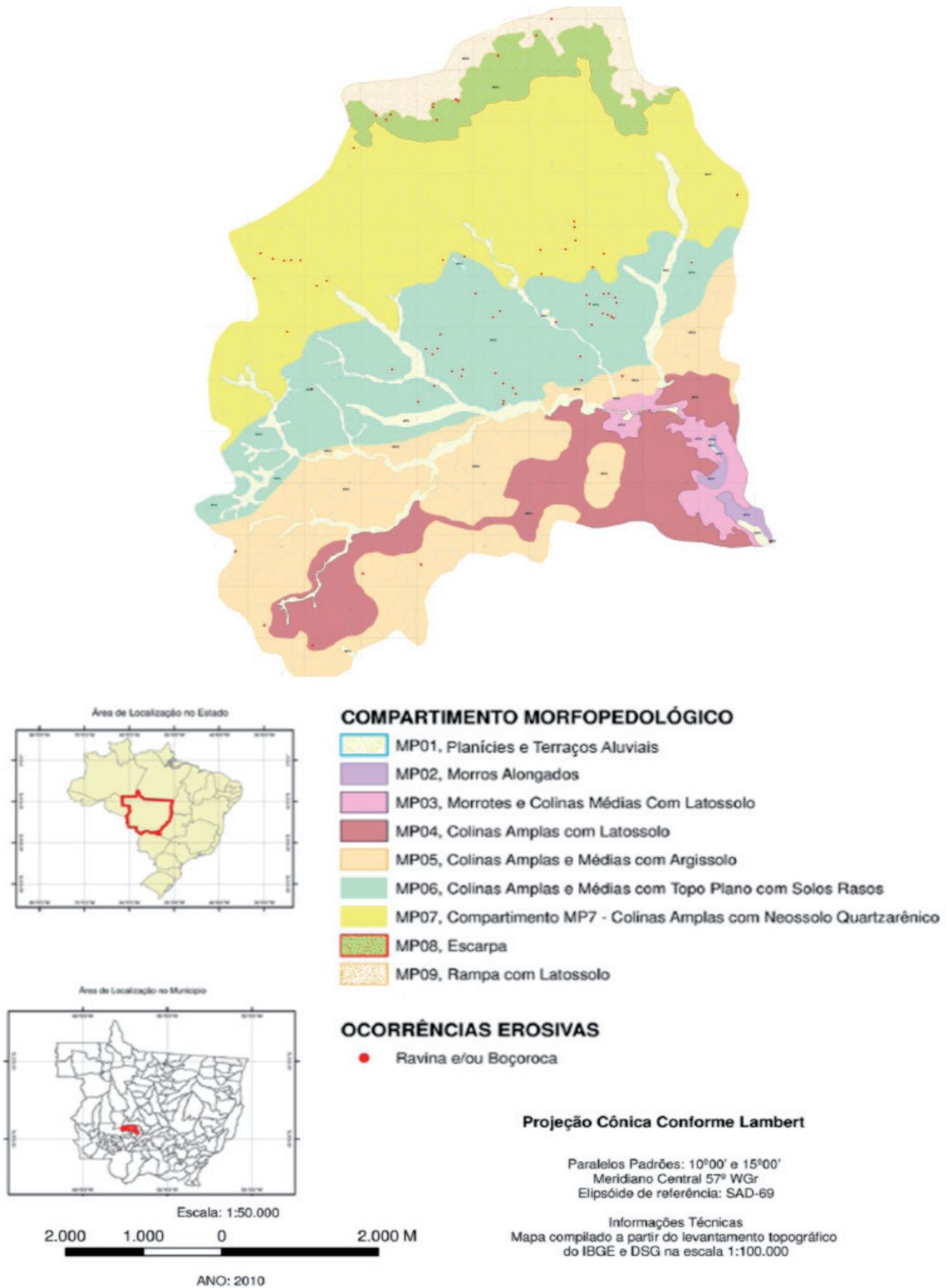


Figura 2 - Mapa morfo-pedológico da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

Quadro 1 - Critérios para a definição das classes de suscetibilidade à erosão linear.

Classes de Suscetibilidade		Comportamento Hídrico do Terreno	Comportamento Erosivo em Relação às Formas de Uso e Ocupação
Classe I	Extremamente suscetíveis a ravinas e boçorocas	Aquífero freático situado a pequena profundidade ou aflorante, apresentando elevado gradiente hidráulico em solos hidromórficos e/ou com erodibilidade muito alta, situados, em geral, em áreas de nascentes, fundos de vales, e de cabeceira de cursos d'água.	Áreas muito favoráveis à instalação de fenômenos de piping, onde as boçorocas se desenvolvem logo após a destruição da cobertura vegetal natural, independente das formas de ocupação.
Classe II	Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas	Áreas favoráveis à concentração de fluxos de água por escoamento superficial e subsuperficial, em geral situadas em terrenos com certa declividade, associados à solos muito erodíveis, apresentando alto gradiente textural, como observado nos Argissolos.	Os processos de ravinamento se desenvolvem em função da ocupação do solo a partir de pequena concentração das águas de escoamento superficial; fenômenos de piping que condicionam a formação de boçorocas somente se manifestam quando as ravinas se aprofundam, interceptando o nível freático.
Classe III	Moderadamente suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas	Áreas de dissipação dos fluxos de água, bem drenadas e com elevadas permeabilidades até grandes profundidades, facilitando rápida infiltração da água de chuva; entretanto a cobertura pedológica constituída por solos pouco coesos permite fácil remoção das partículas por escoamento das águas superficiais.	Processos erosivos por ravinamento ocorrem condicionados a grandes concentrações das águas de escoamento superficial, devido a determinadas formas de ocupação que favorece os caminhos preferenciais das águas, como exemplo, estradas, arruamentos, caminhos de serviços, trilhas de gado e cercas; fenômenos de piping desenvolvendo boçorocas somente ocorrem quando o aprofundamento da ravina interceptar o nível freático. Em geral, são áreas com declividades suficientes para permitir o escoamento das águas superficiais, constituído por solos de textura arenosa ou textura média, como o Neossolo Quartzarênico e Latossolo de textura média.
Classe IV	Suscetíveis a ravinas e não suscetíveis a boçorocas	Áreas favoráveis à concentração dos fluxos de água por escoamento superficial, entretanto a cobertura pedológica apresenta pequena profundidade e com ausência de lençol freático.	Ravinamentos ocorrem condicionados à declividade das encostas, e a determinada forma de ocupação, que favorece a concentração das águas de escoamento superficial.
Classe V	Não suscetíveis a ravinas e boçorocas	Áreas com ausência de escoamento das águas superficiais e com ausência de aquífero freático, ou apresentando aquífero freático com gradiente subterrâneo muito baixo, incapazes de gerar fenômenos de piping.	Áreas aplainadas e/ou de agradação impossibilitando o escoamento das águas superficiais, mesmo quando submetidas a determinadas formas de ocupação.

A suscetibilidade à erosão laminar dos compartimentos morfopedológicos, foi determinada com base nas relações entre a erodibilidade e declividade, conforme proposta apresentada por IPT (1989) e por Salomão (1999; 2007).

A declividade das vertentes apresentada para os compartimentos morfopedológicos foi determinada em campo por meio de levantamento topográfico em vertentes representativas com GPS Geodésico L1 e L2, a projeção UTM South America

Zone 21, e o Datum Samer 69 Brasil. O marco usado foi implantado pelo IBGE, Satélite 91202, INTERMAT/PNUD E SEPLAN/PODEAGRO.

Os solos existentes na área objeto foram categorizados em classes de erodibilidade, adaptadas de Salomão (2007), conforme mostra o Quadro 2, permitindo por meio do cruzamento matricial com quatro classes de declividade determinar as classes de suscetibilidade à erosão laminar, apresentado no Quadro 3.

Quadro 2 - Classes de erodibilidade, adaptado de Salomão (2007).

Classes de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
1 - Muito Alta	Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico.
2 - Alta	Argissolo.
3 - Média	Nitossolo.
4 - Baixa	Latossolo Vermelho.
5 - Não Erodível	Gleissolo, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, Organossolo, Neossolo Flúvico em relevo Plano.

Quadro 3 - Critério adotado na definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.

Erodibilidade	Declividade (%)			
	I (> 20)	II (12 a 20)	III (6 a 12)	IV (< 6)
1 - Muito Alta	I	I	II	II
2 - Alta	I	II	II	III
3 - Média	II	III	III	IV
4 - Baixa	III	IV	IV	V
5 - Não Erodível	Não existe	Não existe	Não existe	V

A integração de dados de erodibilidade e declividade, conforme mostrado no Quadro 2, permitiu a determinação de cinco classes de suscetibilidade à erosão laminar, compatibilizadas às classes de capacidade de uso da terra, conforme explicitado no Quadro 4.

Quadro 4 - Compatibilização entre classes de suscetibilidade à erosão laminar e classes de capacidade de uso da terra, adaptado de Lepsh (1983) e Salomão (2007).

Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar		Classes de Capacidade de Uso das Terras	Características dos terrenos e Potencialidades e Limitações ao Uso do Solo
I	Extremamente suscetível	VII e VIII	Terras impróprias ao cultivo, indicadas para a preservação ou para reflorestamento.
II	Muito suscetível	VI	Terras com problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à pastagem, sendo mais indicadas a reflorestamento.
III	Moderadamente suscetível	IV	Terras com problemas complexos de conservação, indicadas a pastagem, culturas perenes e semi-perenes, e a reflorestamento.
IV	Pouco suscetível	III	Terras com problemas complexos de conservação, mais indicadas à pastagem, culturas perenes e semi-perenes, reflorestamento, e eventualmente a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle da erosão.
V	Pouco a não suscetível	I, II e V	Terras com problemas simples de conservação, podendo ser utilizadas com qualquer tipo de cultura, exigindo práticas não mecanizadas de controle da erosão.

A seguir no Quadro 5 encontram-se apresentados os compartimentos morfopedológicos suas características principais envolvendo os tipos de solos, as formas de relevo e declividade média das

vertentes, o funcionamento hídrico das coberturas pedológicas, e a suscetibilidade a erosão laminar e linear.

Quadro 5 - Resumo explicativo da suscetibilidade à erosão de cada compartimento morfopedológico.

Compartimento morfopedológico		Solo	Relevo e declividade	Funcionamento hídrico	Suscetibilidade a erosão
MP-1	Terraços e Planícies aluviais	Neossolo Flúvico	Terraço e Planície < 3%	A água de chuva infiltra com relativa facilidade, sendo retida no aquífero freático aflorante e subaflorante, que escoam em direção ao fundo de vale.	Baixa suscetibilidade à erosão laminar e extremamente suscetível a ravinas e boçorocas.
MP-2	Morros Alongados	Neossolo Litólico e Cambissolo	Morros > 20%	A água de chuva infiltra parcialmente no horizonte superficial, sendo retida pelo substrato rochoso a pequena profundidade, escoando-se em superfície.	Extremamente suscetível à erosão laminar, suscetível a sulcos e ravinas, e não suscetível a boçorocas.
MP-3	Morrotes e Colinas Médias Em Rochas Básicas	Cambissolo (porção superior da vertente)	Morrotes e	Na porção superior da vertente, a água de chuva tem baixa capacidade de infiltração, tendendo ao escoamento superficial concentrado.	A porção superior é muito suscetível à erosão laminar, e suscetível a sulcos e ravinas, e não suscetível a boçorocas.
		Latossolo (porção média da vertente)	Colinas médias	Na porção média da vertente a água de chuva infiltra com relativa facilidade até profundidade elevada.	A porção média é pouco suscetível à erosão laminar, moderadamente suscetível a ravinas, e pouco suscetível a boçoroca.
		Nitossolo (porção inferior da vertente)	6 % a 12%	Na porção inferior a água de chuva infiltra com facilidade no horizonte superficial, sendo retida quando encontra o horizonte B nítico, escoando-se em subsuperfície.	A porção inferior é pouco a não suscetível a erosão laminar, muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçoroca.
MP-4	Colinas Amplas com Latossolo	Latossolo Vermelho (porção superior e média da vertente)	Colinas Amplas < 6%	A porção média e superior da vertente tem alta taxa de infiltração da água de chuva. Nível freático profundo.	A vertente como um todo é pouco a não suscetível à erosão laminar.
MP-4	Colinas Amplas com Latossolo	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (porção inferior da vertente)	Colinas Amplas < 6%	Na porção inferior, o aquífero freático ocorre à pequena profundidade impedindo a infiltração da água de chuva e favorecendo o escoamento subsuperficial concentrado.	A porção média e superior são moderadamente suscetíveis a sulcos e ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas. A porção inferior é extremamente suscetível a ravinas e boçorocas.
MP-5	Colinas Amplas e Médias com Argissolo	Argissolo (porção superior e média da vertente)	Colinas Amplas e Médias	Na porção superior e média a água de chuva infiltra nos horizontes superiores de textura arenosa, mas a permeabilidade diminui bruscamente quando a água encontra o horizonte rico em argila, escoando assim subsuperficialmente e superficialmente.	A porção superior e média são moderadamente suscetíveis à erosão laminar, muito suscetíveis a sulcos e ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas.
		Gleissolo (porção inferior da vertente)	< 6%	Na porção inferior o aquífero freático encontra-se a pequena profundidade, dificultando a infiltração da água de chuva.	A porção inferior é pouco a não suscetível a erosão laminar e extremamente suscetível a ravinas e boçorocas.
MP-6	Colinas Amplas e Médias com Topo Plano e Solos Rasos	Neossolo Litólico (porção superior da vertente) Neossolo Quartzarênico (porção média e inferior vertente)	Colinas Amplas e médias com Topo Plano < 6%	A porção superior tem relativa facilidade de infiltração da água de chuva pela textura arenosa e cascalhenta.	A porção superior e média são muito suscetíveis à erosão laminar.
				Na porção média o solo arenoso e poroso garante alta taxa de infiltração da água de chuva.	A porção inferior é pouco a não suscetível a erosão laminar.
				Na porção inferior ocorrem aquíferos suspensos e surgências da água. A água de chuva infiltra com relativa facilidade no horizonte superficial, sendo retida ao encontrar o aquífero freático a pequena profundidade.	A porção superior é suscetível a ravinas e não suscetível a boçorocas. A porção média e muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas. A porção inferior é extremamente suscetível a ravinas e boçorocas.

(Continua)

Compartimento morfopedológico		Solo	Relevo e declividade	Funcionamento hídrico	Suscetibilidade a erosão
MP-7	Colinas Amplas com Neossolo Quartzarênico	Neossolo Quartzarênico (porção superior e média da vertente) Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Organossolos (porção inferior da vertente)	Colinas Amplas e superfície em Rampa < 3%	A porção superior e média tem alta taxa de infiltração, estando o nível freático profundo. A porção inferior tem dificuldade de drenagem das águas de chuva, estando o nível freático aflorante.	A porção superior e média são muito suscetíveis à erosão laminar; muito suscetíveis a sulcos e ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas. A porção inferior é pouco a não suscetível a erosão laminar, e extremamente suscetível a ravinas e boçorocas.
MP-8	Escarpas	Neossolo Litólico	Escarpa > 45%	A água de chuva infiltra parcialmente, tendo alta taxa de escoamento superficial, e ausência de aquífero freático.	Extremamente suscetível à erosão laminar, suscetível a sulcos e ravinas e não suscetível a boçorocas.
MP-9	Rampa com Latossolo	Latossolo Vermelho	Rampas em Rampa < 6%	A água de chuva infiltra facilmente, tendo baixo escoamento superficial, e nível freático profundo.	Pouco a não suscetível à erosão laminar e moderadamente suscetível a sulcos e ravinas e pouco suscetível a boçorocas.

3 CONTROLE EROSIVO EM ÁREA URBANA: O EXEMPLO DA CIDADE DE FRANCA (SP)

O acelerado processo de urbanização e o crescimento das cidades, resultantes da migração intensa da população rural para áreas urbanas, principalmente nos últimos quarenta anos, mudaram severamente a fisiologia da paisagem, marcada por diferentes processos do meio físico, gerando vários cenários de degradação ambiental. A ausência de planejamento, infraestrutura adequada e crescimento populacional levaram à ocupação irrestrita e desordenada do uso e ocupação do solo urbano. Feições erosivas, decorrentes da má gestão do uso do solo e da falta de planejamento urbano, provocam degradação ambiental, pela produção de sedimentos que vão assorear os cursos d'água e, conseqüentemente, levar a ocorrência de enchentes, em períodos chuvosos. Quando evoluem rapidamente comprometem a infra-estrutura urbana, atingindo moradias, obstruindo ruas, avenidas e rodovias. Situações como essas são comuns nas cidades do interior paulista. Segundo IPT (1995) o cadastro

de erosões do Estado de São Paulo registrou 670 feições erosivas lineares de grande porte somente em áreas urbanas. A lista de municípios que apresentam sérios problemas de erosão em sua área urbana é vasta; podem-se destacar municípios das diversas províncias geomorfológicas do estado de São Paulo, mas o predomínio dos processos erosivos é maior na região do Planalto Ocidental Paulista. Inserido neste contexto, o município de Franca, embora situado entre a província geomorfológica da Depressão Periférica e Cuestas Basálticas foi selecionado para estudos de prevenção e controle de erosão, por ser um dos mais críticos do Estado de São Paulo (IPT, 1995). Os processos erosivos, manifestados sob a forma de feições erosivas lineares de grande porte, é um dos principais problemas ambientais de sua área urbana. Os custos de recuperação de áreas atingidas por erosões são significativamente superiores aos investimentos que deveriam ser feitos no planejamento da ocupação. De qualquer forma, conhecer a dinâmica dos processos é fundamental para propor medidas e diretrizes para controle e prevenção da erosão (Figura 3).

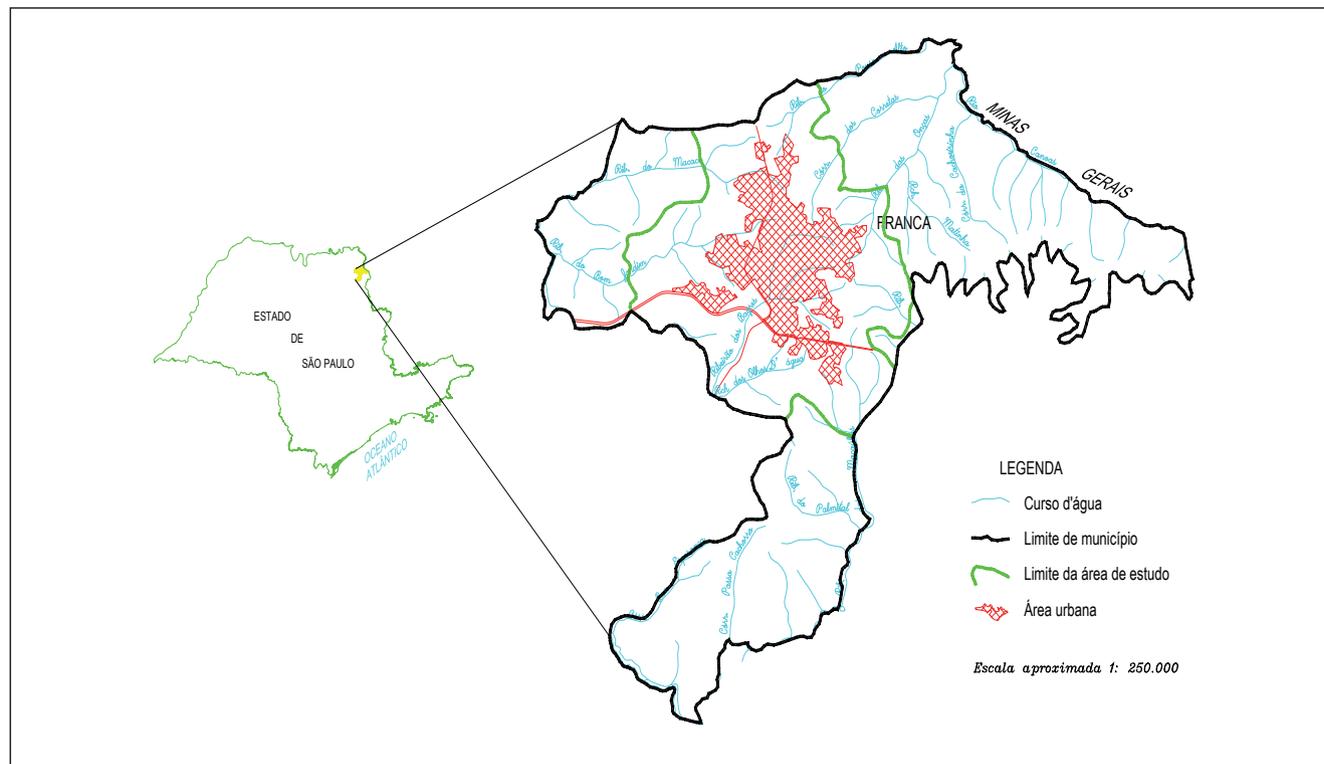


Figura 3 - Mapa de localização do município de Franca, SP.

A fisiografia da paisagem de cada região leva à formação de processos erosivos com formas e comportamento diferenciados. Existe uma série de mecanismos que atuam na formação dos processos erosivos, sobretudo das boçorocas, uma vez que constituem feições de maior magnitude e de impacto ambiental. Os mecanismos variam conforme os condicionantes naturais e também de sua interação com o papel da ação antrópica.

Em 1989, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT realizou um cadastro de catorze erosões de grande porte na área urbana de Franca, fazendo uma descrição da fenomenologia, avaliação da dinâmica e das condições de evolução, além da proposição de medidas de controle para tais erosões (IPT, 1989). O mapeamento geotécnico da região de Franca, elaborado por Zuquette (1995), também consistiu em importante subsídio na análise dos processos erosivos do município, bem como o trabalho de IPT (1998) que apresentou um plano de prevenção e controle dos processos erosivos na área urbana do município.

Canil (2000), apresentou um estudo sobre a tipologia das feições erosivas baseado na análise dos condicionantes do tipo de substrato e solo,

posição da feição erosiva em relação à vertente e a dinâmica do processo, servindo de referencial para a elaboração deste artigo, que tem por objetivo caracterizar as ocorrências erosivas existentes no perímetro urbano de Franca (SP), tendo em vista a interpretação da dinâmica e evolução dos processos erosivos, de maneira a servir de subsídio à concepção de projeto e obras de contenção.

O diagnóstico dos processos erosivos da área urbana e periurbana do município de Franca foi elaborado com base no reconhecimento das feições erosivas de grande porte, a partir de fotografias aéreas e trabalhos de campo.

A identificação das feições de erosão observados na área de estudo (sulcos, ravinas, boçorocas e solapamento de margens fluviais) foi realizada a partir da análise de fotografias aéreas dos anos de 1972 (produzidas pelo IBC) e 1995 (produzidas pela BASE), com ambos os levantamentos realizados na escala 1:25.000.

Os anos selecionados para a identificação das feições erosivas caracterizam dois períodos importantes do estágio de desenvolvimento desses processos. Nos primeiros anos da década de 70 têm-se um importante incremento no processo de

urbanização. Já nos anos 90, esse processo consolidado revela os problemas ambientais decorrentes de uma ocupação rápida e desordenada, como por exemplo, a observação dos fenômenos em momentos distintos permitindo a análise comparativa da evolução e/ou estabilização de tais processos.

Após esta identificação, seguiu-se para o trabalho de campo, com o objetivo de levantar dados necessários para a caracterização dos processos erosivos, principalmente para classificá-los quanto ao seu estado de estabilidade/ instabilidade e risco que oferece à área urbana. Este trabalho foi baseado no roteiro metodológico de ficha de cadastro de erosão (IPT, 1989). O trabalho de campo para a identificação das feições erosivas e investigação dos condicionantes do meio físico, constatou 32 erosões de grande porte.

Este cadastro incluiu também as áreas de solapamento de margens fluviais, cuja identificação não foi possível por meio das fotografias aéreas em função da escala.

Dos principais aspectos levantados na investigação das erosões destacam-se: os condicionantes naturais do meio físico; os processos e mecanismos que comandam o desenvolvimento e evolução das feições erosivas; fatores da intervenção antrópica e todas as formas de impactos associados a essas erosões, tais como solapamentos das margens dos cursos d'água e abatimentos em setores da baixa vertente próximo às drenagens, trechos de ribeirões e córregos assoreados, e pontos de enchentes.

Os processos erosivos, aqui estudados sob a ótica dos condicionantes naturais e antrópicos, receberam tratamento analítico e integrado a fim de se estabelecer tipologias com comportamento semelhante quanto à de dinâmica e evolução e como estão integradas à área urbana do município.

Na área de Franca, é comum encontrar feições erosivas lineares, do tipo boçoroca, tanto em vertentes, quanto associadas às cabeceiras de drenagem. Nas vertentes, o processo é intensificado essencialmente pela ação do escoamento superficial. Nas cabeceiras de drenagem, tanto as alongadas quanto em anfiteatro, a interação dos condicionantes, solo, relevo e substrato rochoso aumentam a suscetibilidade ao desenvolvimento e instalação destas feições de erosão. As chuvas intensas aceleram ainda mais os processos, que respondem pela dinâmica e evolução das erosões.

Para cada erosão foram levantadas informações sobre histórico, dados geométricos, aspectos relacionados à dinâmica e fenomenologia dos processos atuantes, e eventuais medidas de controle adotadas. A análise realizada a partir dos dados de campo e da interpretação dos condicionantes naturais e antrópicos da erosão permitiu classificar as feições erosivas em cinco grupos.

GRUPO I: Compreende nove feições erosivas desenvolvidas pela concentração de águas superficiais, situadas a partir da ruptura de declive do terço superior da vertente, em substrato arenítico da Formação Franca. O aprofundamento da erosão chega a atingir o lençol freático e provoca a instabilidade dos taludes da erosão.

Correspondentes ao substrato arenítico da Formação Franca, as vertentes nas quais se situam essas erosões são predominantemente convexas, com rampas longas e declividades acima de 12%. Nesta situação, a velocidade do escoamento superficial aumenta significativamente no ponto de ruptura de declive do terço superior da vertente em direção a jusante. Da linha de ruptura até o fundo de vale observa-se uma associação de solos rasos do tipo Litólico (declividades acima de 20%) e Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média. As boçorocas tendem a ser mais alongadas, por estarem situadas em rampas mais longas.

O processo descrito anteriormente é acelerado pela ação antrópica. A história da ocupação e instalação do núcleo urbano destaca a existência de valos abertos pelos próprios moradores, desviando as águas das ruas de um loteamento recém aberto para a cabeceira das erosões ou, no caso, dessas para um ponto de maior fraqueza ou de ruptura de declive, capazes de provocar o desenvolvimento de uma feição, que terá um porte e uma dinâmica de evolução de acordo com as características naturais do terreno.

No caso dessas erosões, a ordem da gravidade dos processos levou a situações de risco. Uma vez que essas erosões já estão incorporadas à área urbana, o monitoramento constante é a medida mais prudente e eficaz de se manter o controle dos processos. Dificilmente haverá uma tendência à evolução destas feições, pois todas as intervenções responsáveis pela dinâmica já levaram ao ápice do desenvolvimento das erosões, que apresentam hoje um estado maior de equilíbrio.



Foto 1 – Boçoroca recuperada, por meio de obras de drenagem e contenção dos taludes. Apesar das obras, ainda há algumas moradias em situação de risco.



Foto 2 – Cabeceira da erosão parcialmente aterrada com lixo; inclui também resíduos da indústria de couro.

GRUPO II: Compreende três feições erosivas desenvolvidas em amplos anfiteatros de cabeceiras de drenagem, em cotas superiores a 1000 m.

Essas erosões desenvolveram-se na parte superior do Planalto de Franca (cotas entre 1000 e 1025 metros), configurando amplos anfiteatros em cabeceiras de drenagem, associados aos arenitos da Formação Franca. Nestas áreas predominam solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média a arenosa. São solos bastante desenvolvidos e as erosões podem chegar a mais de 25 metros de profundidade.

Essas feições erosivas exibem forma circular ou arredondada, estrangulando-se bruscamente a jusante, e afunilando-se na linha do talvegue (afluente de primeira ordem) para o qual convergem as águas do escoamento superficial e do afloramento do lençol. A existência dessas gargantas, desenvolvidas na Formação Franca, está associada à presença de uma camada argilo-arenosa mais resistente que as camadas arenosas superiores.

Uma das hipóteses desse arredondamento das cabeceiras, típico dessas feições, é de que as linhas de concentração (ou valos), integradas à feição, foram se ramificando, até o momento em que a magnitude do processo levou à interligação dos diversos ramos, dando origem à forma circular.

Ação do escoamento superficial, proveniente das áreas de montante, contribui, significativamente, para a evolução das feições erosivas que ocorrem nessa situação. Assim, o volume de água que corre para o interior aumenta, consideravelmente,

no período chuvoso, com alta capacidade e energia de aprofundar ainda mais o leito da feição, solapando a base das vertentes e provocando desmoronamentos (VIEIRA, 1978).

Além do grande volume de água superficial, que provoca a retirada das camadas superficiais do solo (mais arenosas), parte dela se infiltra e alimenta o lençol freático. O pacote sedimentar, embora predominantemente arenoso, apresenta lentes de material mais argiloso que funcionam como barreira para a infiltração da água, provocando muitas vezes a formação de um lençol suspenso. Dessa forma, a partir do momento em que a erosão intercepta o lençol suspenso, o processo do “piping” é ativado, ou seja, aparecem surgências d’água que carregam de forma lenta e contínua as partículas de areia, silte e argila, formando vazios internos (cavernas) no solo. Ao atingir o máximo da instabilidade, a parte superior deste vazio desmorona e este processo se repete sucessivamente, promovendo a evolução lateral e remontante da boçoroca. Esta situação é mantida, desde que o lençol freático suspenso permaneça ativo. Os pontos de surgências d’água no interior da erosão também provocam solapamento da base dos taludes e conseqüentes escorregamentos, que contribuem significativamente para o processo de reativação de cabeceira e alargamento das boçorocas.

Essa dinâmica, nesse tipo de feição, ocorre de forma lenta e contínua, por apresentar um substrato mais resistente à ação dos processos de evolução. São feições que já existiam antes de 1972 e cabe lembrar que se desenvolveram em áreas mais favoráveis (cabeceiras de drenagem).

Chegam bem próximas aos limites dos divisores de suas respectivas bacias de contribuição.

Aparentemente, parecem ter encontrado o seu equilíbrio e apresentam atividade erosiva apenas quando ocorre período de chuvas prolongado que favorece a saturação dos solos, e conseqüente elevação do lençol freático, dando



Foto 3 - Vista geral de jusante para montante da boçoroca. Ao fundo da erosão, na linha do talvegue, observam-se diversos pontos de surgências d'água. Notam-se abatimentos e escorregamentos nas vertentes da feição erosiva.

início ao processo de dinâmica descrito anteriormente. Em função do porte dessas erosões, a sua inserção à área urbana sugere monitoramento constante e necessidade de execução de obras de controle, pois estão muito próximas a residências e estrada de acesso, que apresenta trincas e rachaduras no asfalto.



Foto 4 - Erosão de grande porte causada pela concentração de águas superficiais da Rodovia João Traficante. O aprofundamento da erosão, ao atingir o nível freático, provoca processo de reativação de cabeceira. A vegetação no interior da erosão indica estabilidade parcial do processo.

GRUPO III: Corresponde a treze feições erosivas desenvolvidas em cabeceiras de drenagem.

Todas as feições erosivas do Grupo III desenvolveram-se em cabeceiras de drenagem; apresentaram forma alongada e sem ramificações. A maioria delas, existentes desde 1972, reflete o período de consolidação e expansão do núcleo urbano. O processo de formação e evolução é semelhante ao

das boçorocas do Grupo II, diferenciando-se basicamente quanto à forma, além de se localizarem em cotas que variam entre 975 e 1050 m. Devido à maioria das feições serem mais antigas, encontram-se atualmente estabilizadas pela adoção de medidas de controle ou parcialmente estabilizadas, simplesmente pelo desvio da concentração de águas superficiais e recomposição natural da mata ciliar.



Foto 7 - Boçoroca de cabeceira de drenagem; recebe contribuição das águas de escoamento superficial.



Foto 8 - Boçoroca de cabeceira de drenagem, aterrada com lixo doméstico. Há alguns anos foi transformada no Aterro Sanitário e atualmente está com sua capacidade quase esgotada.

GRUPO IV: Corresponde a cinco feições erosivas desenvolvidas em cabeceiras de drenagem e associadas a processos de abatimentos e solapamento de margens fluviais.

As feições erosivas desse Grupo ocorrem nas vertentes do Planalto de Franca, em cotas situadas entre 950m e 975m, em setores suavizados do relevo e vales um pouco mais abertos, correspondendo também aos arenitos da Formação Franca, próximo ao contato com os basaltos da Formação Serra Geral. O perfil pedológico ao longo da vertente apresenta solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, associados a hidromórficos no fundo de vale.

Essas erosões são menos profundas do que aquelas localizadas em cabeceiras de drenagem e terços superiores de vertentes de maior declividade, porém no processo de formação também atuam a ação do escoamento superficial (considerada a deflagradora do processo) e ação do escoamento subterrâneo. A dinâmica da evolução é rápida e a magnitude mais intensa, principalmente quando há um aumento da concentração da água superficial em direção às cabeceiras das boçorocas. No terço inferior da vertente, próximo ao fundo de vale, estão associados processos de abatimentos,



Foto 9 – Detalhe do contato entre litologias diferentes (basalto/arenito). Ao fundo, loteamento em consolidação. A falta de infraestrutura e sistema de drenagem adequados favorecem a concentração das águas superficiais para o fundo da erosão.

GRUPO V: Contempla apenas duas feições erosivas desenvolvidas pela concentração de águas superficiais, situadas a partir da ruptura de declive do terço superior da vertente, em basalto da Formação Serra Geral.

As boçorocas desenvolvidas em solos argilosos (Latossolo Roxo), derivados do basalto,

colapsos e solapamento das margens fluviais. Isto se deve à ocorrência expressiva de surgências d'água, no contato do solo derivado do arenito com o basalto alterado e/ ou Hidromórficos.

Esse processo ocorre basicamente pela existência de uma camada impermeável subjacente ao arenito Franca. A ação direta da água da chuva, combinada com o escoamento superficial concentrado, alimenta o lençol freático suspenso (contato arenito/basalto). Esta camada torna-se saturada, pelo confinamento das águas subterrâneas; gera pontos de alto gradiente hidráulico nas saídas das linhas de fluxo da água subterrânea e propicia a remoção do material arenoso (liquefação de areias). Estes vazios no interior dos solos caracterizam o "piping", que provoca o descalçamento e abatimentos no solo. Quanto maior o número de surgências d'água mais rápido é o processo evolutivo e mais difícil seu controle.

Boa parte dessas boçorocas, a concentração das águas superficiais provenientes das ocupações urbanas a montante foram as principais responsáveis pela deflagração do processo. Uma vez ativada esta dinâmica, a tendência é evoluir rapidamente até atingir os setores já ocupados, gerando sérios prejuízos.



Foto 10 – Boçoroca desenvolvida pela concentração da água superficial. Observa-se o rompimento da adutora de água do loteamento em consolidação. Este loteamento apresenta infraestrutura deficiente (ruas sem pavimentação, sistema de drenagem precário, etc.).

constituem o Grupo V. Uma vez que esses solos são mais resistentes, o processo de deflagração resulta essencialmente do escoamento superficial, provocado pelas formas de uso e ocupação do solo de montante.



Foto 14 – A concentração das águas pluviais servidas, provenientes do loteamento de montante foi desviada da cabeceira da erosão para a vertente esquerda, provocando o rompimento da tubulação do esgoto.

3.1 Diretrizes para o controle dos processos erosivos

Para a concepção de projetos de estabilização e recuperação de boçorocas é necessário o levantamento de parâmetros básicos que irão direcionar a obra na sua fase executiva. Para a realização desses estudos básicos, recomenda-se o seguinte roteiro:

- a) Definição prévia da destinação da área a ser recuperada e do projeto paisagístico;
- b) Obtenção de dados hidrológicos (vazão) da bacia de contribuição para o dimensionamento das obras hidráulicas;
- c) Levantamento topográfico em detalhe da boçoroca e seus arredores, visando o projeto de retaludamento;
- d) Caracterização geotécnica de parâmetros de solos, através de ensaios laboratoriais para as obras de terra (terraplenagem e compactação de aterros);
- e) Levantamento de dados hidrológicos e caracterização do regime pluviométrico
- f) Medidas de vazão do volume de águas sub-superficiais provenientes de surgências, para o dimensionamento dos drenos profundos;
- g) Elaboração do projeto básico de drenagem e de estabilização dos taludes resultantes;
- h) Acompanhamento da construção da obra e eventuais adaptações do projeto às condições locais;
- i) Estabilização da área recuperada através de revegetação e drenagem superficial complementar; e

- j) Manutenção e conservação das obras executadas.

Ressalta-se que um bom projeto de controle de erosão urbana exige perfeita caracterização dos fatores e mecanismos relacionados às causas do desenvolvimento dos processos erosivos. Particularmente, considerando as principais causas do desencadeamento e evolução dos processos erosivos na área urbana de Franca, podem ser destacadas algumas intervenções antrópicas responsáveis ou que potencialmente aceleraram o desenvolvimento desses processos:

- a) O traçado inadequado do sistema viário, muitas vezes agravado pela falta de pavimentação, guias e sarjetas;
- b) Deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e servidas, tanto nas formas de captação como na dissipação, observadas em diversos bairros da periferia; e
- c) Construção de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais não apropriados, sob o ponto de vista geotécnico com deficiência de infra-estrutura.

As causas levantadas apontam para a ausência de planejamento e falta de conhecimento da natureza e fragilidade dos terrenos frente à ocupação urbana. Por outro lado, justifica-se a necessidade de se conhecerem as características específicas da boçoroca, especialmente aquelas relacionadas à dinâmica dos processos erosivos, para a elaboração da concepção dos projetos de contenção. Assim, os projetos de contenção das boçorocas de Franca devem levar em conta suas especificidades, o que dificulta a generalização de soluções.

Deve ser também destacado na elaboração do projeto que as características geométricas das boçorocas podem sofrer modificações após curtos períodos de chuvas, exigindo flexibilidade do projeto, com adaptações de obras a serem executadas durante a fase construtiva.

Na elaboração do projeto, respeitando-se as premissas anteriormente fixadas, as alternativas de obras contemplam um conjunto de medidas principais, conforme se segue.

Disciplinamento das águas superficiais

As águas superficiais pluviais e servidas provenientes da bacia de contribuição devem ser

captadas e conduzidas pelo interior da boçoroca ou desviadas da cabeceira, até um local adequado para descarga, onde sua energia possa ser dissipada. Na concepção do projeto, deve-se ter como preocupação básica a diminuição gradual da energia das águas captadas e a sua condução controlada, dentro ou fora da boçoroca. As principais estruturas utilizadas para o disciplinamento das águas superficiais são:

- a) Estruturas de captação e condução das águas superficiais; e
- b) Estruturas de controle e dissipação da energia das águas.

A totalidade das ocorrências erosivas de Franca foram originadas pela concentração do escoamento superficial das águas de chuva, exigindo obras de drenagem voltadas ao disciplinamento das águas superficiais.

No caso específico das erosões dos grupos I e V, necessário se faz situar, na bacia de contribuição, a linha de ruptura de declive posicionada à montante das cabeceiras das ocorrências erosivas, e conceber projetos de drenagem voltados à captação da totalidade das águas de chuva que se dirigem para esse setor da vertente. Essas águas, após captação, devem ser conduzidas com energia controlada para locais adequados.

Com relação às erosões dos grupos II, III, e IV, instaladas em cabeceiras de cursos d'água, recomenda-se a concepção de estruturas voltadas à contenção da energia de escoamento das águas superficiais. Essas estruturas devem contornar os anfiteatros de cabeceiras, e as águas aí acumuladas devem ser conduzidas com energia controlada para locais apropriados, preferencialmente a jusante das ocorrências erosivas.

Disciplinamento das águas subterrâneas

A ação das águas subterrâneas é uma das principais causas da evolução lateral e remonstante das boçorocas. Quando a boçoroca atinge o lençol freático, os mecanismos são intensificados em função do surgimento de um gradiente piezométrico que, ao emergir no pé do talude, remove as partículas sólidas, estabelecendo o processo de erosão regressiva (entubamento ou *piping*), e conseqüente solapamento do talude.

O tratamento convencional é feito com a aplicação de drenos enterrados, visando a drenagem

das águas subsuperficiais para impedir a remoção do solo pelo *piping*. Os principais tipos de drenos utilizados são: dreno cego, dreno com material sintético geotextil e drenos de bambu.

Com exceção das duas feições erosivas do grupo V, as demais erosões de Franca apresentam aquífero freático interceptado pelo aprofundamento erosivo, manifestando fenômeno erosivo interno dos taludes. Necessário, portanto, cuidados especiais com a drenagem das águas do aquífero freático no interior das erosões, concebendo-se drenos profundos. As feições erosivas dos grupos II, III, e IV, instaladas em cabeceiras de drenagens apresentam surgências d'água em diferentes posições dos taludes no interior das erosões, e com gradientes elevados, exigindo projetos específicos. (necessário complementar). Nas erosões situadas na área periurbana, recomenda-se a instalação de um sistema de drenagem tipo "espinha de peixe" no interior da boçoroca por meio de drenos enterrados tipo rachão (no ramo principal) e drenos de bambu nos ramos secundários. Em outras situações, pode-se também instalar dreno tipo "espinha de peixe", no fundo da erosão, promover a impermeabilização por meio de selo argiloso, para em seguida efetuar o aterro da erosão.

Com relação às erosões do grupo I, recomenda-se a instalação de drenos profundos especialmente nas porções inferiores das feições erosivas, nas proximidades dos fundo de vales, onde o aquífero freático se manifesta a pequenas profundidades e com elevados gradientes hidráulicos. A maioria dessas erosões apresenta algum tipo de obra que deve, portanto, ser monitorada.

Estabilização dos taludes da boçoroca

São obras complementares com a finalidade de proteger os taludes resultantes contra a erosão promovida pelas águas das chuvas e contra possíveis escorregamentos. Essas obras normalmente são implementadas por meio de serviços de terraplenagem (cortes e aterros) e medidas de proteção superficial através de revegetação. A estabilização dos taludes da erosão deve ser executada após a implantação do sistema de drenagem de fundo; quando for o caso. Esta medida atende à erosões dos Grupos I, II, III, IV e V.

Implantação e conservação das obras

Na execução das obras, as diretrizes de projeto devem ganhar maior detalhe, adaptando-se a obra projetada às condições locais com a realização de ajustes.

No planejamento da obra deve-se ter o cuidado de prever o início e fim dos trabalhos para a época do ano em que não ocorram chuvas intensas.

A conservação das obras pede inspeções periódicas para verificação das condições das estruturas hidráulicas e monitoramento específico para avaliar o funcionamento dos drenos e filtros.

Com o colapso de uma simples estrutura, seu efeito destruidor pode se multiplicar, comprometendo toda a obra.

Dessa forma, medidas de manutenção como a limpeza e desobstrução de canais e tubulações, reparos de danificações em canais, escadas hidráulicas e dissipadores podem prolongar a vida útil das obras.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a demonstração de abordagens e técnicas no âmbito da Geologia de Engenharia, voltadas à investigação dos processos erosivos, foram apresentados estudos de caso, envolvendo o controle preventivo da erosão em bacia hidrográfica, e o controle corretivo de ocorrências erosivas lineares em área urbana.

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco, com aproximadamente 80 mil hectares, importante área de contribuição do Pantanal Matogrossense, foi estudada por meio da abordagem morfopedológica e aplicação de critérios técnicos voltados à determinação da suscetibilidade a erosão laminar e linear, permitindo destacar as seguintes considerações:

- Com base em análise de dados disponíveis do meio físico em escala 1:250.000, interpretação de imagens digitais de alta resolução, e levantamentos em campo, foi elaborado mapa morfopedológico em escala 1:50.000, delimitando nove compartimentos, sintetizando as relações solo-relevo-substrato geológico, e permitindo compreender o funcionamento hídrico em escala de vertentes;
- A aplicação da abordagem morfopedológica permitiu obter para cada compartimento

informações envolvendo as interações entre a cobertura pedológica, a declividade, e o comportamento das águas de chuva e do aquífero freático ao longo das vertentes, e interpretar a dinâmica dos processos erosivos, pautado nas diferentes formas de uso e ocupação do solo;

- Critérios técnicos voltados à interpretação da suscetibilidade à erosão laminar e linear, envolvendo cinco classes, foram aplicados a cada compartimento morfopedológico, contemplando as porções superiores, médias, e inferiores das vertentes;

A determinação da suscetibilidade à erosão, compatibilizada com as classes de capacidade de uso das terras, conforme critério apresentado, permite considerar para cada compartimento morfopedológico as potencialidades e restrições ao uso solo, servindo de importante subsídio para o planejamento do uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Santana e controle preventivo da erosão.

Para o perímetro urbano e periurbano de Franca (SP), foram identificadas e caracterizadas trinta e duas ocorrências erosivas lineares, com vistas à interpretação da dinâmica e evolução dos processos erosivos, e estabelecimento de critérios que permitiram a classificação das feições erosivas em cinco grupos, destacando-se as seguintes considerações:

- A existência de trinta e duas feições erosivas de grande porte, identificadas na área urbana e periurbana do município de Franca, permitiu caracterizar, em muitos casos, situações de risco aos equipamentos públicos urbanos, às residências, e consequentemente à população que mora nas proximidades dessas áreas;
- A compreensão da dinâmica e mecanismos que comandam o desenvolvimento das erosões mostrou-se fundamental para a determinação de diretrizes para o controle dos processos erosivos, e para a elaboração de projetos de controle eficientes, e que devem ser continuamente monitorados;
- As áreas suscetíveis à erosão, compatíveis aos diferentes grupos de feições erosivas, demonstram fragilidades naturais, que podem sofrer alterações e desequilíbrios sob condições de intervenções antrópicas inadequadas. Assim, os projetos de controle de erosão devem ser integrados às medidas de prevenção que devem fazer parte do planejamento urbano da cidade, bem como dos planos de bacias hidrográficas, respeitando a legislação ambiental.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. Livroceres, Piracicaba, 1985, 368 p.
- BOTELHO, R. G. M. *Identificação de unidades ambientais na bacia do rio Cuiabá (Petrópolis-RJ) visando o planejamento do uso do solo*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, PPGG, UFRJ, 114 p, 1996.
- CANIL, K. *Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, 2000. 97p.
- CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológicas e suas aplicações: Considerações Metodológicas. In: *GEOUSP Espaço e Tempo*, n. 7, p. 27-37. 2000.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE/IPT. *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo, 1989, 92 p.
- GHEZZI, A. O. *Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, baía Antonina-PR, com auxílio de geoprocessamento*. Dissertação de mestrado, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR: Curitiba, 2003.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa de Erosão do Estado de São Paulo, SP. Relatório Técnico n. 33.402. São Paulo, 1995.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande. São Paulo: IPT, 1989. Relatório Técnico n. 28.184.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Subsídios técnicos para um plano de controle preventivo e corretivo de erosão para a área urbana do município de Franca, SP. Parecer Técnico n. 7.149. São Paulo, 1998.
- LEPSCH, I.F., Coord. *Manual para levantamento utilitário de meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- LOHMANN, M.; SANTOS, L.J.C. A Morfopedologia Aplicada à Compreensão dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul-RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. n.2, ano 6, p. 91-102. 2005.
- LOHMANN, M.; SANTOS, L.J.C. A Morfopedologia Aplicada à Compreensão dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul-RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. n.2, ano 6, p. 91-102. 2005.
- LOMBARDI NETO, F.; ROCHA, J. V.; BACELLAR, A. A. A. Planejamento agroambiental da microbacia hidrográfica do ribeirão cachoeirinha, município de Iracemápolis, SP, utilizando um Sistema de Informação Geográfica. In: *Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, Bauru, n. 5, p. 257-259, 1995.
- RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: Editora NEPUT, 304 p., 1995.
- RUIZ, M. D.; GUIDICINI, G. Introdução in *Geologia de Engenharia*. Editores Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. São Paulo: associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.1. 587 p.
- SALOMÃO, F. X. T. *Controle e prevenção dos processos erosivos*. In: Guerra et al. *Erosão e conservação dos solos; conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil. Cap. 7, 2007.
- SALOMÃO, F. X. T. *Processos erosivos lineares em Bauru-SP*. Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo de erosão urbano rural. São Paulo: Tese de doutorado. FFLCH-USP, 1994.
- SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento. *Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso*. Cuiabá: IOMAT. 302 p. 2008.
- VIEIRA, N.M. *Estudo Geomorfológico das boçorocas de Franca, SP*. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, 1978.
- ZUQUETTE, L.V. Mapeamento geotécnico da região de Franca (SP). São Paulo, 1995. Relatório, Processo N. 92/1921-4. 109p.