

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

DENER TOLEDO MATHIAS

**PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS PERI-URBANAS
ERODIDAS COM BASE EM PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E
GEOMORFOLÓGICOS: CÔRREGO TUCUNZINHO
(SÃO PEDRO/ SP)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof^a Dr^a Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro - SP

2011

551.302_Mathias, Dener Toledo

M431p Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas
com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos /
Dener Toledo Mathias. - Rio Claro : [s.n.], 2011
128 f. : il., figs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

1. Erosão. 2. Controle de erosão. 3. Planejamento urbano.
4. Voçoroca. 5. Degradação ambiental. I. Título.

DENER TOLEDO MATHIAS

PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS PERI-URBANAS
ERODIDAS COM BASE EM PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E
GEOMORFOLÓGICOS: CÓRREGO TUCUNZINHO
(SÃO PEDRO/SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geografia

Orientador: Prof^a Dr^a Cenira Maria
Lupinacci da Cunha

Comissão Examinadora

Prof.^a Dr.^a Cenira Maria Lupinacci da Cunha – Orientador

Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento – Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro

Prof.^a Dr.^a Iandara Alves Mendes

Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento – Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro

Prof. Dr. Salvador Carpi Júnior

Departamento de Geografia - Universidade Estadual de Campinas

Rio Claro, SP ____ de _____ de _____

*Dedicado a Pompeu Figueiredo de Carvalho (in memoriam)
Por todo apoio, amizade e orientação ao longo de nosso
tempo de convívio. Generosidade e serenidade são os
atributos deste mestre que ficaram marcados em nossa
lembrança. Gratidão e esta dedicatória são o mínimo a lhe
retribuir.*

AGRADECIMENTOS

Ao Criador Supremo, mentor da existência e fôlego da vida;

Aos mestres que me orientaram ao longo deste trabalho: A professora Iandara Alves Mendes por me direcionar neste caminho, o professor Pompeu Figueiredo de Carvalho, pelo apoio imprescindível e a professora Cenira Maria Lupinacci da Cunha, pela orientação desde sempre;

A meus pais Nelson e Alice, cujo amor tornou possível inúmeras realizações em minha vida e a Moacyr e Claudete por me conceberem;

À minha esposa e companheira de todos os momentos, Danielle;

Aos companheiros de laboratório, em especial à Camila Barbosa pela parceria em todas as etapas deste trabalho, sobretudo nas longas horas de campo;

Ao professor Rodrigo Braga Moruzzi pelas orientações em hidrologia;

Ao professor Fabiano Tomazini da Conceição pela concessão do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) durante as análises de solos;

Ao professor Salvador Carpi Júnior pela participação na comissão examinadora;

À Nadia Fontes, Luiz Pereira e Suely Teodoro pelo suporte técnico prestado em diferentes etapas;

A todas as pessoas envolvidas direta ou indiretamente no apoio a este trabalho, funcionários da Unesp e demais professores;

À família do Kauê, pela acolhida nos dias de trabalho de campo em São Pedro;

Ao Comandante Bandini, pela disposição em realizar o sobrevôo de ultraleve na área de estudo;

À Prefeitura Municipal de São Pedro;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pela bolsa concedida.

"O universo é um lugar bem mais intrincado do que podemos imaginar. Muitas vezes penso que nossas mentes conscientes jamais apreenderão mais do que uma minúscula fração dele e que nossa compreensão da Terra não é melhor que o entendimento que uma enguia tem do oceano em que vive." - James Lovelock

RESUMO

O presente trabalho objetiva conceber uma proposta de medidas para a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos lineares com o intuito de fornecer subsídios à projeção de equipamentos adequados à situação imperante sobre a bacia do córrego Tucunzinho – São Pedro (SP). A escolha da referida área como estudo de caso deve-se ao fato de apresentar inúmeras formas erosivas aceleradas, nos mais diferentes estágios de evolução, fenômeno muito comum em várias cidades paulistas de porte médio. A metodologia se fundamenta na Teoria Geral dos Sistemas aplicada à geografia e as técnicas empregadas envolvem o cálculo de parâmetros hidrológicos e geomorfológicos, com base em dados experimentais de campo e o tratamento de informações em ambiente SIG, proporcionando uma análise integrada do fenômeno. Os problemas de degradação em áreas peri-urbanas requerem medidas de controle efetivas, uma vez que afetam diretamente a qualidade de vida das pessoas. Destacam-se aqueles associados aos processos erosivos lineares, cuja gênese encontra-se vinculada, sobretudo, à predisposição das terras a sofrerem tais processos e à falta de um planejamento urbano adequado. Na maioria das vezes, a infra-estrutura urbana é projetada e implantada em descompasso com as características físico-ambientais, causando impactos nas áreas de entorno das cidades. Considera-se de suma importância, a partir do conhecimento dos atributos físicos e antrópicos inerentes a uma área degradada, elaborar planos de recuperação visando à minimização e/ou contenção dos problemas erosivos.

ABSTRACT

This present work aims to conceive a proposal of providences for the recovery of degraded areas by linear erosion processes in order to provide subsidies to the projection equipment suitable for situation prevailing on the basin of the stream Tucunzinho – São Pedro (SP). The choice of this area to study case due to the fact that its presents numerous accelerated erosion forms, in different stages of evolution, very common phenomenon in various medium-sized cities in São Paulo. The methodology is based on General Systems Theory applied to geography and the techniques used involve the calculation of hydrological and geomorphological parameters, based in experimental field data and the treatment of information in GIS environment, providing an integrated analysis of the phenomenon. The problems of degradation in peri-urban areas require effective control providences, since they directly affect the quality of life. Among them are those associated with the linear erosion processes, whose genesis is linked primarily to the disposition of the lands to endure such processes and failure to an adequate urban planning. In most cases, the urban infrastructure is projected and implemented in step with the physical-environmental features, impacting in the areas surrounding the cities. It is very important, from the knowledge of physical and man-made attributes inherent to a degraded area, develop recovery plans aimed to minimizing and / or containment of erosion problems.

Índice de Figuras

<i>Fig. 01 – Cenários previstos de acordo com a definição dos conceitos.</i>	28
<i>Fig. 02 – Variações da malha urbana para uma mesma declividade topográfica.</i>	30
<i>Fig. 03 – Localização da bacia do córrego Tucunzinho no contexto das bacias hidrográficas da qual é tributária e do Estado de São Paulo.</i>	32
<i>Fig. 04 – Perfis longitudinais do córrego Tucunzinho nos anos de 1962, 1978, 1986 e 2010.</i>	39
<i>Fig. 05 – Leitura com teodolito no rebordo da voçoroca do córrego Tucunzinho.</i>	44
<i>Fig. 06 – Medição da infiltração com o uso do infiltrômetro de Hills</i>	45
<i>Fig. 07 – Pontos de amostragem da infiltração no contexto topográfico da área.</i>	45
<i>Fig. 08 – Gráfico das curvas de infiltração do setor A para o período úmido.</i>	47
<i>Fig. 09 – Pontos de amostragem dos solos no contexto topográfico da área.</i>	48
<i>Fig. 10 – Compartimentação da área em setores e elementos da rede de microdrenagem.</i> ...	51
<i>Fig. 11 – Discretização da bacia do córrego Tucunzinho no programa IPHS2.</i>	55
<i>Fig. 12a e 12b – Técnica sugerida por Guerra (1996) e adaptação implementada no presente estudo, respectivamente.</i>	58
<i>Fig. 13a e 13b – Esquema do gabarito utilizado para obtenção de duas medidas a mais a partir de uma medida central e exemplo de seu uso em campo, respectivamente.</i>	59
<i>Fig. 14a e 14b - Medição perpendicular ao rebordo erosivo e medição a 45° com o uso do gabarito, respectivamente.</i>	59
<i>Fig. 15 – Carta Topográfica da bacia do córrego Tucunzinho.</i>	62
<i>Fig. 16 – Carta Clinográfica da bacia do córrego Tucunzinho.</i>	64
<i>Fig. 17 – Carta de Energia do Relevo da bacia do córrego Tucunzinho.</i>	65
<i>Fig. 18a e 18b – Fotografias aéreas do córrego Tucunzinho dos anos 1964 e 2000, respectivamente.</i>	66
<i>Fig. 19 – Carta de Uso da Terra da bacia do córrego Tucunzinho.</i>	67
<i>Fig. 20a e 20b – Bacias de retenção existentes em setores da bacia.</i>	68
<i>Fig. 21 – Carta de Fluxo Acumulado da bacia do córrego Tucunzinho.</i>	70
<i>Fig. 22 – Hidrogramas dos pontos de controle representativos dos projetos concebidos para a modelagem da bacia do córrego Tucunzinho, simulando as condições pré-ocupação e atual.</i>	73
<i>Fig. 23 – Porcentagens das frações granulométricas da baixa bacia do córrego Tucunzinho.</i>	75
<i>Fig. 24 – Taxas de infiltração da baixa bacia do córrego Tucunzinho, períodos seco e úmido.</i>	77
<i>Fig. 25 – Correspondência topográfica entre área de infiltração e ocorrência de piping.</i>	79
<i>Fig. 26a e 26b – Vetores erosivos condicionados pelos terraços e descontinuidade erosiva, respectivamente.</i>	81

<i>Fig. 27 – Aspectos topográficos contribuintes na evolução erosiva.</i>	81
<i>Fig. 28 – Coletânea de fotos das alcovas de regressão e mosaico de trecho do talude erosivo.</i>	83
<i>Fig. 29 – Croqui da Voçoroca do córrego Tucunzinho.</i>	84
<i>Fig. 30a e 30b - Ponto de desagüe do emissário da Rede Sul com formação de lagoa e solapamento das margens, respectivamente.</i>	86
<i>Fig. 31a e 31b - Poço de visita localizado a poucos metros de emissário no ano de 2007 e colapso dos solos no contato com a mesma no ano de 2010, respectivamente.</i>	86
<i>Fig. 32 – Hidrogramas do PC 9 (emissário Rede Norte) para as condições pré-ocupação e atual, respectivamente.</i>	87
<i>Fig. 33a e 33b – Setor do talude erosivo com pouco recuo da linha de rebordo.</i>	88
<i>Fig. 34a, 34b, 34c e 34d – Fisionomia da paisagem da cabeceira da voçoroca do córrego Tucunzinho em 4 períodos entre 2009 e 2011, frente ao avanço dos depósitos de entulho.</i>	89
<i>Fig. 35a, 35b e 35c – Ascensão do fundo da voçoroca pelo acúmulo de sedimentos entre 2007 e 2011.</i>	90
<i>Fig. 36a, 36b e 36c – Porção da baixa bacia no ano de 2007 e após as obras de transposição da rede de esgoto sobre o canal erosivo entre os anos de 2009 e 2011, respectivamente.</i>	90
<i>Fig. 37 – Mapeamento dos sistemas propostos para a recuperação da baixa bacia do córrego Tucunzinho.</i>	93
<i>Fig. 38 – A) Bacia de dissipação tipo mergulho; B) Bacia de retenção impermeabilizada; C) Canal revestido com colchões Reno e D) Emissário em escada de dissipação de gabiões caixa.</i>	98
<i>Fig. 39a, 39b e 39c – Encosta com abatimentos em nível, talude erosivo com forte inclinação e ravinamento lateral, respectivamente.</i>	100
<i>Fig. 40 – A) Diagrama esquemático do sistema de caniçadas vivas; B) Instalação das caniçadas; C) Encosta revestida com geocélulas; D) Recobrimento com biomanta; E) Exemplo de resultado.</i>	101
<i>Fig. 41 – A) Técnica de empacotamento de ramos; B) Técnica de camadas de ramos; C) Paliçadas de toras; D) Exemplo de aplicação de Brushlayering.</i>	103
<i>Fig. 42 – A) Perfil esquemático de um aterro vivo; B) Dreno de bambu; C) Exemplo de instalação de pacotes de ramos conjugado com paliçadas e D) Paliçadas de toras em ravina profunda.</i>	105
<i>Fig. 43 – Gabiões em caixa dispostos em forma de anfiteatro.</i>	106
<i>Fig. 44 – A) Barragem com sacos de solo cimento; B) Exemplo de aplicação da barragem; Sistema de caniçadas vivas; D) Exemplo de aplicação do sistema de caniçadas vivas e E) Leito de canal revestido com colchões Reno.</i>	108

Índice de Tabelas

<i>Tabela 01 – Classes de declividade utilizadas para a bacia do Córrego Tucunzinho</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 02 – Parâmetros CN adotados na bacia do córrego Tucunzinho.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 03 – Características dos setores discretizados do córrego Tucunzinho</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 04 – Planificação dos objetos do modelo e parâmetros CN</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 05 – Variáveis básicas para seleção do mix de espécies para controle de erosão e áreas degradadas</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 06 – Espécies mais apropriadas para o revestimento da área degradada com características similares à bacia do córrego Tucunzinho</i>	<i>114</i>

Sumário

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2 PROCESSOS DE EROÇÃO LINEAR ACELERADA	15
2.1 Processos erosivos em áreas urbanas.....	22
2.2 Geomorfologia antropogênica	24
2.3 Recuperação de áreas degradadas.....	26
2.4 Planejamento urbano e sustentabilidade.....	29
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4 MÉTODO E TÉCNICAS	40
4.1 Compilação de dados morfométricos e morfográficos e elaboração da carta clinográfica	42
4.2 Mapeamento topográfico de detalhe	43
4.3 Quantificação e mapeamento das taxas de infiltração.....	44
4.4 Quantificação e mapeamento das características granulométricas de superfície	47
4.5 Mapeamento das condições de escoamento superficial (Flow).....	50
4.6 Modelagem hidrológica da bacia.....	52
4.7 Monitoramento do avanço erosivo	57
5 ANÁLISES E RESULTADOS	61
5.1 Parâmetros hidrogeomorfológicos da bacia do córrego Tucunzinho	61
5.2 Diagnóstico da dinâmica erosiva da voçoroca do córrego Tucunzinho	74
5.3 Análises complementares	87
5.4 Propostas de recuperação da área	92
5.4.1 <i>Sistemas de captação, condução e descarga da água pluvial advinda do meio urbano</i>	94
5.4.2 <i>Sistemas de contenção de encostas e estabilização de taludes</i>	98
5.4.3 <i>Sistemas de controle da dinâmica do leito</i>	107
5.4.4 <i>Uso e manejo das áreas de entorno das formas erosivas</i>	109
5.4.5 <i>Sistemas de revegetação empregados na recuperação de áreas degradadas</i>	111
5.4.6 <i>Manutenção das obras e demais considerações</i>	115
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
7 BIBLIOGRAFIA	118

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de impactos sócio-ambientais em áreas peri-urbanas constituem-se ferramenta útil ao planejamento urbano, sobretudo quando contemplam áreas de intensa dinamização de processos erosivos, representando fator de risco à população residente. Muitas vezes associados à predisposição física dos terrenos em junção com sistemas urbanos mal projetados, os processos de erosão linear acelerada são responsáveis por quadros de degradação que se destacam pela perda de solo e conseqüente ulceração do manto pedoecológico, acarretando em desequilíbrio do sistema hídrico, pedológico e geomorfológico.

São marcantes as alterações hidrológicas advindas do processo de urbanização nas bacias hidrográficas, uma vez que tal processo culmina com a impermeabilização de grandes áreas, reduzindo a infiltração das águas da chuva. Ab´Saber (1968) ressalta a atuação do escoamento superficial na elaboração de formas erosivas, uma vez que, a partir da ação antrópica, passam a ser concentrados. Em áreas urbanas os efeitos da concentração do fluxo pluvial serão ainda mais expressivos se os sistemas de captação e condução da água favorecerem o rápido escoamento. Assim, haverá, segundo Cunha & Guerra (2009), em relação às condições anteriores à urbanização: a elevação do pico de descargas; o aumento do volume de escoamento superficial; a diminuição do tempo necessário para que o escoamento superficial alcance o curso d’água; o aumento da frequência e magnitude dos alagamentos; dentre outros efeitos.

Cassetti (1991) atribui a tais efeitos o caráter de relação homem-meio predatória, evidenciado como prática intrínseca à sociedade capitalista, no momento que promove o uso da terra como meio de reprodução das forças produtivas, atribuindo-lhe o caráter de mercadoria. Com isso, tem-se que a exploração exaustiva dos recursos naturais, entre eles o próprio relevo, leva ao rompimento do equilíbrio no sistema físico, com conseqüentes impactos negativos sobre o meio ambiente.

Diante de tal quadro, tem-se que os estudos geomorfológicos voltados ao planejamento urbano e ambiental constituem-se instrumentos indispensáveis. Conforme salienta Christofolletti (1994) “tais estudos consistem no processo de predizer e avaliar os impactos de uma atividade humana sobre as condições do meio ambiente e delinear os procedimentos a serem utilizados preventivamente, para mitigar ou evitar tais efeitos” (p. 428).

No âmbito do planejamento, destacam-se os instrumentos legais empregados pela administração pública na ordenação do território, entre os quais se ressalta o Plano Diretor Municipal que, atrelado ao Zoneamento Urbano e Ambiental, promove diretrizes ao uso e ocupação da terra, bem como à delimitação de Áreas de Proteção Permanentes (APPs) e áreas de possível expansão urbana, segundo legislação específica. Tais instrumentos servem-se necessariamente dos estudos do meio físico, sem os quais o planejamento resultaria incipiente frente aos impactos causados pela ocupação desordenada do relevo.

Em relação aos impactos ambientais advindos da ocupação humana, Penteadó (1976) enfatiza a atuação antrópica como fator de importância na morfogênese em áreas da Depressão Periférica Paulista. Segundo a autora:

O uso desregrado do solo, o desflorestamento e outras interferências no meio físico, advindas da organização do espaço, fatalmente rompe o equilíbrio morfogenético das vertentes, desencadeando uma série de processos novos como erosão acelerada, carreamento de solos, entulhamento de vales e depressões, construção de pseudo terraços, enfim, um verdadeiro modelado antrópico (PENTEADO, 1976. Pg.60).

Foi escolhida a bacia do córrego Tucunzinho para o desenvolvimento desta pesquisa devido ao fato de ali serem encontradas formas erosivas lineares em diversos estágios evolutivos. Dentre os atributos físicos que se verificam na área destaca-se a ocorrência de litologias sedimentares, predominando arenitos da Formação Pirambóia e Formação Botucatu, bem como solos a estas associados, tais como Argissolos e Neossolos Quartzarênicos. Tais aspectos denotam uma suscetibilidade natural ao desenvolvimento de processos erosivos, os quais se aliam a outros atributos naturais, como a morfometria do relevo, a morfoestrutura e sobretudo o clima, este atuando como força motriz. Inseridos neste contexto encontram-se as interferências antrópicas na paisagem, atuando em diferentes escalas espaciais e temporais no uso da terra e com isso dinamizando a ação erosiva.

Os problemas de degradação em áreas peri-urbanas requerem medidas de controle efetivas, uma vez que afetam diretamente a qualidade de vida das pessoas. Dado as características da bacia em questão, bem como sua inserção no contexto urbano e a conseqüente influência deste sobre os fenômenos que ocorrem na área, torna-se imprescindível o conhecimento integrado dos atributos físicos ali imperantes, visando à concepção de equipamentos e obras projetados de acordo com tais atributos.

O objetivo fundamental desse trabalho é apresentar uma proposta de medidas visando à recuperação da bacia do córrego Tucunzinho, através da sugestão de obras de contenção

erosiva, tendo em consideração os fatores condicionantes da evolução dos processos atuantes. Tal objetivo se realiza mediante o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- Análise do comportamento hidrogeomorfológico da bacia, a partir de estudos de infiltração, granulometria dos solos, microdrenagem urbana e escoamento superficial;
- Avaliação do avanço da frente erosiva através de análise quantitativa e avaliação dos processos de sub-superfície através de análise qualitativa das formas, como o dimensionamento dos *pipes*;
- Análise conjunta dos dados hidrológicos e geomorfológicos, proporcionando uma compreensão integrada dos fenômenos;
- Caracterização da dinâmica erosiva e proposição de medidas visando à recuperação da área, de acordo com as especificidades constatadas, e que possam ser aplicadas a situações semelhantes.

Foram adotados como orientação metodológica os princípios que fundamentam a Teoria Geral dos Sistemas aplicados à Geografia, de acordo com Chorley (1971). A compreensão dos fluxos de matéria e energia e suas inter relações no trabalho de gênese e esculturação do relevo forma a base para o estudo que se propõe o presente trabalho. O emprego de uma série de técnicas específicas possibilitou a quantificação das variáveis envolvidas no processo que se constata na área, permitindo a concepção dos resultados preconizados no objetivo central do trabalho.

O texto que se segue inicia-se pela apresentação de capítulos referentes à revisão bibliográfica dos temas pertinentes a este trabalho. Segue-se a caracterização da área de estudo enfocando tanto os atributos físico-ambientais como aqueles que se referem aos fatores antrópicos. Posteriormente desenvolve-se a descrição detalhada dos procedimentos técnicos e os resultados obtidos. As análises feitas são apresentadas na forma de um diagnóstico da área estudada contendo a avaliação das características hidrogeomorfológicas já citadas. Por fim são elaboradas propostas de recuperação através de equipamentos específicos a serem implantados visando à contenção dos processos e revitalização da paisagem.

2 PROCESSOS DE EROSÃO LINEAR ACELERADA

A esculturação do relevo terrestre pela atuação dos agentes exógenos se processa por meio da erosão. O conceito de erosão (do latim: *erodere*) associa-se aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e o transporte de grãos minerais (Bigarella et al, 1996). A relação entre os processos de intemperismo (mecânicos, químicos ou biológicos) e a ação das águas correntes, das ondas, do movimento das geleiras e dos ventos (erosão: fluvial, marinha, glacial, eólica) implica na fragmentação das rochas e remoção de detritos e solutos.

Bigarella et al (1996) assinala a diferença entre os conceitos de erosão e denudação esclarecendo que o primeiro refere-se aos processos e o segundo às conseqüências. Os materiais alterados pelo intemperismo encontram-se configurando a estrutura superficial do relevo, grande parte compondo o manto dos solos. O citado autor afirma que tais materiais encontram-se sob condições normais em equilíbrio metaestável nas vertentes, uma vez que o desgaste da superfície pela erosão é compensado pela contínua alteração das rochas, mantendo-se dessa forma o perfil do solo.

À medida que ocorre uma ruptura de equilíbrio que favorece os agentes erosivos, sobrevém a erosão que pode ser lenta ou acelerada. Bigarella et al (1996) diferencia a erosão normal, que se processa em escala de tempo geológica, da erosão acelerada, a qual atribui como causa fatores que podem ser tanto naturais (tais como mudanças climáticas), como antrópicas. Fendrich (1997), por sua vez, denomina erosão acelerada como “o aumento da taxa de erosão em decorrência da quebra do equilíbrio do meio ambiente pela ação antrópica” (pg. 21). Embora muitos autores considerem pertinente associar o termo “erosão acelerada” às formas geradas a partir da ação antrópica, é preciso destacar que, tanto no Brasil como em outras partes do mundo, inúmeras feições erosivas são características de eventos muito anteriores às alterações produzidas pelo homem e, portanto, podem ser definidas como feições naturais resultantes de desequilíbrios naturais ou induzidos pelo homem (OLIVEIRA, 2007). As considerações levantadas pelo último autor são aquelas que melhor se enquadram no presente trabalho face às diferenças conceituais em torno do termo erosão acelerada. Isso se deve em parte ao fato de ser encontradas na bibliografia referências de que os processos que atuam na área estudada, embora tenham sofrido intensa dinamização associada à atuação antrópica, têm sua gênese atribuída a fatores naturais, em que se destacam a litologia sedimentar, a fragilidade dos solos a ela associada e ainda a atuação neotectônica com a

reativação de discontinuidades preexistentes, o controle da rede de drenagem e das feições lineares do relevo (PENTEADO, 1968; FACINCANI, 1995; CARPI, 1996).

A influência antrópica como agente catalisador da dinamização erosiva ocorre primeiramente através da retirada da cobertura vegetal original, gerando os primeiros impactos na paisagem. Seguido do desmatamento, os diferentes usos da terra contribuem na fragilização do mesmo, em que se destaca a atividade agropecuária intensiva como fator predatório. A isso se somam outras intervenções, tais como a construção de estradas, edificações e a urbanização com a execução de cortes e aterros, alterando significativamente a topografia e o comportamento hídrico da área. Tais fatos resultam numa intensa modificação da paisagem e conseqüente aumento da erosão. A degradação resultante de tal processo é notável na perda de solos agricultáveis, na deterioração de obras civis e equipamentos urbanos e no assoreamento de reservatórios e cursos d'água.

Os fatores condicionantes da dinamização erosiva são identificados primeiramente como os atributos físicos da paisagem. Assim, o arcabouço geológico pode ser entendido como elemento primordial, uma vez que rochas mais friáveis, em geral sedimentares, apresentam maior propensão a serem erodidas. Concomitantemente, solos formados a partir de tais litologias, em sua maioria arenosos e pouco consolidados tendem a sofrer mais intensamente a ação erosiva. A morfometria do relevo, por sua vez, determina a energia potencial do escoamento superficial e a topografia responde pela distribuição/concentração das águas desse escoamento. Por fim, convém enfatizar o regime climático e o comportamento hidrológico que podem ser elencados como a força motriz na dinamização dos processos erosivos (IWASA & SALOMÃO, 1995; BIGARELLA et al, 1996; FENDRICH, 1997; GUERRA, 2007).

Os mecanismos atuantes na evolução dos processos erosivos em regiões de clima úmido encontram-se associados à intensidade dos eventos chuvosos bem como à energia do escoamento resultante. O deslocamento de partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva, denominado *splash erosion* (GUERRA, 2007), é representado muitas vezes como a fase erosiva inicial e trata-se de um agente importante. O desprendimento e a movimentação das partículas de solo serão maiores a depender da energia cinética da gota, expressa pelo seu tamanho e pela intensidade da precipitação (BIGARELLA et al, 1996). Além de remover as partículas do solo fornecendo o material a ser carregado pelo escoamento superficial, o *splash* também “acarreta compactação da superfície do terreno, através da remobilização de silte e

argila nos espaços intergranulares” e “cria uma crosta superficial (...) que pode implicar na redução da capacidade de infiltração” (GUERRA, 2007).

Tanto em relação ao *splash* como à erosão produzida pelo escoamento superficial, a vegetação desempenha papel muito importante na estabilidade das vertentes. A cobertura vegetal atenua o impacto das gotas de chuva, e o manto de folhas (serrapilheira) é responsável pela absorção da energia dessas gotas e pela diminuição da velocidade do escoamento, reduzindo a capacidade de transporte de sedimentos. Em subsuperfície a vegetação facilita a infiltração através da rede radicular, melhora a porosidade do solo com o acréscimo de matéria orgânica e devolve parte da água retida para a atmosfera na forma de evapotranspiração. Morgan (1995) assinala a importância da ancoragem do solo conferida pela malha radicular na proteção contra a ação erosiva.

Quanto à ação do escoamento superficial, podem ser elencados dois tipos de erosão: a laminar e a linear. A erosão laminar é caracterizada pelo “desgaste laminar causado pelas enxurradas que deslizam como um lençol desgastando a superfície do solo” (FENDRICH, 1997). É também denominada a erosão em lençol, ou *sheet erosion* de acordo com a literatura estrangeira. A erosão laminar depende da ação das precipitações e do escoamento superficial difuso. Embora alguns autores afirmem que o desgaste superficial aconteça de maneira uniforme, Lal (1990), observa que “a variabilidade do solo e a presença de numerosas micro depressões e micro colinas impede a remoção de uma camada uniforme de solos”. Trata-se, no entanto, de um agente poderoso dos processos denudacionais. As partículas não coesas do solo são transportadas por rolamento no fluxo do escoamento e sua quantidade irá depender da espessura do fluxo, da rugosidade tanto do chão como da partícula e da inclinação da vertente (BIGARELLA et al, 1996). Ressalta-se que o fluxo de escoamento acrescido de partículas removidas produz uma viscosidade ao fluído que acarretará em atrito maior contra a superfície, colaborando para a retirada de mais partículas por efeito abrasivo. A turbulência do fluxo igualmente aumenta o poder de rompimento das forças de coesão do solo, removendo mais material a depender da rugosidade do terreno.

A erosão linear, ou erosão em canais (*rill erosion*), se processa mediante a concentração do escoamento, iniciada em filetes que vão aumentando seu porte em função do volume de água e do comprimento e declividade da vertente. Guerra (2007) indica o termo *flow line*, ou fluxo linear, como o estágio posterior do escoamento superficial, comandado pela concentração das águas de escoamento. A ação erosiva do fluxo nesse ponto se expressa

pela formação de sulcos que tendem a se aprofundar dissecando o terreno verticalmente e, devido à maior turbulência e viscosidade do fluxo, evoluem para formas mais severas como micro ravinas e ravinamentos mais expressivos, no qual se dá o alargamento dos canais. Tais incisões no terreno constituem-se ulcerações do manto pedo-ecológico (VIADANA, 2005), pois se tratam de canais erosivos mais proeminentes que dificultam o estabelecimento de vegetação intensificando a perda do solo e de biomassa. As incisões se desenvolvem segundo um padrão paralelo, sofrendo erosão tanto no fundo dos canais como nos locais entressulcos, o que é referido como *hill and interhill erosion*.

O estágio evolutivo que compreende a formação de ravinas é denominado “gully erosion”, de acordo com a literatura estrangeira, sendo o termo *gully* o que mais se aproxima da designação ravina (BIGARELLA et al, 1996). De forma geral, são as dimensões da forma erosiva que são consideradas na distinção entre sulcos, valas (micro ravinas) e ravinas, sendo o último considerado as incisões entre 50 e 100 cm, de acordo com o citado autor, que acrescenta como principal característica dessas feições o fato de não poderem ser obliteradas por operações normais de preparo do solo.

Quando os fatores que atuam na evolução dos processos supracitados combinam-se com os elementos que atuam subsuperficialmente, as incisões bastante evoluídas, cuja largura já atinge alguns metros, aprofundam-se atingindo o lençol freático fazendo com que este aflore à superfície. Neste estágio do processo erosivo a forma resultante é conhecida como voçoroca, ou boçoroca (que em Tupi “*Yby-çoroc*”, significa “terra-rasgada”) e tem-se o quadro mais agravante cujos efeitos refletem-se na desconfiguração da paisagem e suas nocivas conseqüências às atividades humanas (CUNHA & GUERRA, 2000). É importante ressaltar que não há consenso entre os autores na distinção entre ravinas e voçorocas, embora grande parte admita que a interação contínua entre os processos superficiais e subsuperficiais é o principal atributo na distinção entre essas formas erosivas. Oliveira (2007) destaca que não seria correto vincular o termo ravina às incisões produzidas pelo escoamento superficial e o termo voçorocas para aquelas onde predominam os processos subsuperficiais, pois esse ponto de vista opõe mecanismos que com freqüência interagem em diferentes estágios do processo erosivo. Assim, o critério dimensional se apresenta como o mais adequado na distinção dessas formas, sendo as voçorocas as incisões com mais de 100 cm de profundidade e que apresentam interações entre processos superficiais e subsuperficiais.

Oliveira et al (1994), em estudo sobre a relação entre a morfometria do relevo e a ocorrência de voçorocas em áreas do embasamento cristalino, na bacia do rio Paraíba do Sul, destaca três tipos de voçorocas a qual denomina: formas conectadas à rede regional de canais, formas desconectadas que ocorrem nas encostas superiores das cabeceiras de drenagem e formas resultantes da junção das duas anteriores. O citado autor atribui a cada uma das mencionadas formas o predomínio de processos específicos e conclui que no terceiro tipo ocorre uma interação sinérgica entre os mecanismos responsáveis pela evolução das formas erosivas.

O conceito de sinergia proposto por Oliveira et al (1994) é consoante com o atual conhecimento acerca da evolução de voçorocas, pois enfatiza que a ação simultânea dos diferentes mecanismos e o somatório de seus efeitos acumulados são os fatores fundamentais na evolução de tais formas. A importância de se explicitar a interação de mecanismos no desenvolvimento de voçorocas já havia sido ressaltada por Vieira (1978) que atenta para o fato de que as voçorocas não podem ser enquadradas numa classificação clássica de erosão, sendo colocada entre outros tipos de atividades erosivas, como a laminar, em lençol, em deslizamento, em queda “pois na sua formação atuam todas essas formas de processos erosivos”, sendo, portanto “uma forma de relevo gerada por um conjunto de processos morfogenéticos” (VIEIRA, 1978, p.07). A mesma autora acrescenta que a dimensão em que se encontram tais formas é também condicionante para evolução da mesma, pois “à medida que ela aumenta de tamanho e modifica a sua forma, os processos atuantes tendem a mudar qualitativa e quantitativamente” (p.45).

Os mecanismos que atuam conjuntamente quando o processo erosivo já se encontra nos estágios mais evoluídos, conformando ravinas e voçorocas, concorrem na elaboração de inúmeras formas que, por sua vez, poderão evoluir para formar ramificações da incisão principal, ou estimular o alargamento da mesma. Destaca-se a erosão por quedas d'água, ou em cascatas, que se origina a partir da água de escoamento superficial que desemboca no interior de incisões erosivas, provocando a formação de alcovas de regressão, bem como marmitas ou panelas, posicionadas em geral na base de taludes erosivos. O solapamento da base de taludes é também um efeito associado à erosão em cascatas, além da ação de filetes subverticais de escoamento superficial, que escorrem pelas paredes do talude, desagregando partículas e esculpindo alcovas de regressão. Tais processos vêm a acarretar desabamentos do talude erosivo, contribuindo no alargamento da forma erosiva (OLIVEIRA, 2007; BIGARELLA et al, 1996).

Também ocorrem movimentos de massa localizados de diversos tipos (lentos ou rápidos, mais sólidos ou mais fluídos) que associados à liquefação do material arenoso das vertentes, são responsáveis pela rápida evolução erosiva nas voçorocas (BIGARELLA et al, 1996). Outros mecanismos igualmente poderosos na dinâmica erosiva são o arraste de partículas por percolação, cuja mobilização ocorre devida á percolação da água em meio poroso, que pode ocorrer por fluidização ou por colapso de materiais coesivos, e o arraste das partículas por fluxos concentrados em túneis ou dutos (OLIVEIRA, 2007).

Bigarella et al (1996) aponta a ocorrência da formação de dutos no interior do manto de intemperismo devida à circulação da água, sobretudo associada à alta porosidade dos solos. A erosão promovida dessa forma se faz:

[...] pela retirada de partículas de solo (...) pela ação de linhas de fluxo confinadas em condutos fechados situados ao longo das discontinuidades estruturais ou texturais, bem como em orifícios deixados pela atividade das raízes ou de animais perfuradores (BIGARELLA et al, 1996, pg. 933).

O fenômeno em questão é comumente referido como *pipe erosion*, ou *piping*, sendo denominado por Fendrich (1997) como “erosão tubular interna retro progressiva”. O citado autor observa que tais dutos podem se desenvolver “ao longo de centenas de metros de distância da voçoroca, enfraquecendo o solo e estabelecendo regiões de percolação preferencial” (FENDRICH, 1997, p.35). Por conta dessa dinâmica pode ocorrer nos terrenos circundantes à voçoroca uma série de abatimentos, que por sua vez constituem-se o vetor de um ramo da forma erosiva. Tal movimentação subsuperficial responderá por uma descarga líquida e sólida que ocorrerá no talude da voçoroca.

Ponçano & Prandini (1987), atentam para o fato de que, ao evoluírem as formas erosivas, tendo ocorrido a interceptação do lençol freático após o aprofundamento da erosão, a formação de dutos atuará intensamente na dinamização do processo. Nesse sentido, as oscilações do lençol freático associadas ao comportamento hidrológico dos solos serão determinantes nos períodos de maior atividade erosiva. O carreamento de partículas através do fluxo tubiforme (*piping*) será maior na proporção em que o solo encontra-se saturado, o que pode ser perene, sazonal ou até mesmo instantâneo durante ou logo após os episódios de chuva.

Estudos recentes acerca da dinâmica de *piping* procuram evidenciar o significado da erosão em dutos no equilíbrio hidrogeomorfológico de vertentes e bacias hidrográficas. Jones (2004) relaciona a ocorrência da erosão em dutos à retirada de vegetação decídua nas terras

altas britânicas e demonstra através de análises da composição química dos rios a contribuição do fluxo tubiforme na acidificação dos cursos fluviais e desequilíbrio nos níveis de alumínio afetando a qualidade das águas. O autor demonstra que a rápida contribuição de materiais em suspensão resultantes dos fluxos em *pipe* são suficientes para produzir impactos notáveis no sistema fluvial. O fenômeno de erosão em dutos em regiões de clima úmido é focado por Chappell (2010) que apresenta uma série de correlações entre a morfologia de tais formas e as características dos horizontes de solo em que se dá sua ocorrência. São apresentadas também diferentes formas de erosão em dutos e as implicações do fluxo de sub-superfície na hidrologia dos solos. No Brasil destaca-se o trabalho de Camargo et al (2004) em que realiza o cadastramento de tais feições e caracteriza as propriedades e rotas preferenciais do fluxo concentrado em sub-superfície, contribuindo para o entendimento acerca do potencial morfogenético dos processos que atuam na evolução dos pipes.

A respeito dos processos de erosão associados diretamente com o meio urbano Facincani (1995, p.51) ressalta que “os modelos de ocupação urbana e/ou rural refletem a ausência de conhecimento prévio das características físicas inerentes a tais espaços, resultando na degradação do meio físico”. Como consequência desses fatores associados à predisposição física da área tem-se a dinamização da erosão linear, acelerada pela ação antrópica, que é o resultado de um desequilíbrio “morfo-hidro-pedológico”, conforme indicam Ponçano e Prandini (1987).

A evolução de uma voçoroca resulta em efeitos devastadores para o meio físico, bem como para a sociedade. Quando as voçorocas já estão bastante desenvolvidas, apresentando algumas ramificações, ou quando se ligam entre si “adquirem um aspecto semelhante ao das *'bad-lands'*, comportando uma série de vales ramificados, estreitos, profundos, separados por elevações em geral com arestas pontiagudas” (VIEIRA, 1978, p.08). Após este estágio, há uma tendência à estabilização do processo, caracterizada pela completa concavização das vertentes e formação de amplo vale deposicional, no qual se estabelece a vegetação que gradativamente densifica. Ab'Saber (1968) aponta que as voçorocas constituem sérias lesões na paisagem e que, no caso de sua ocorrência na periferia de áreas urbanas, medidas de recuperação são imprescindíveis, levando-se em consideração a necessidade de “integração de seu espaço no organismo urbano”, o que se compreende por seu controle e posterior recuperação da área degradada.

Nota-se, portanto que os processos de erosão linear acelerada, em especial as formas erosivas denominadas voçorocas, constituem fenômenos complexos que, no contexto das áreas urbanas requerem atenção por parte da administração pública. O controle de tais processos mediante a implantação de obras de contenção e a recuperação de tais áreas deve ser planejado a partir de diretrizes específicas, em que os estudos de caráter geotécnico e geomorfológico são imprescindíveis.

2.1 Processos erosivos em áreas urbanas

Sob um enfoque sistêmico, as cidades são entendidas como sistemas abertos, no qual ocorrem entradas e saídas de matéria e energia, tanto em se tratando de produtos como de resíduos. Na compreensão das relações sociais e dos processos decorrentes destas é preciso considerar as interações entre o sistema humano e o sistema natural, em que muitas vezes têm-se como resultado a depredação do meio físico. Não somente torna-se necessário compreender de que forma interagem os sistemas mencionados, mas também a relação sistêmica que condiciona tal interação.

As sociedades modernas, ditadas pelo capitalismo, têm feito uso dos recursos naturais de forma imediatista e predatória. O relevo terrestre consiste o suporte necessário a todas as atividades humanas, seja na obtenção de matéria prima, cultivo de alimentos, como na instalação e expansão dos aglomerados urbanos. O uso do relevo pelo homem, contudo, tem ocorrido de forma desregrada, ocasionando impactos negativos sobre a paisagem. Cassetti (1991, p.52) traduz de que forma ocorrem as transformações na paisagem pela relação sociedade/natureza nos seguintes termos:

Considerando o processo de ocupação do relevo, utilizando o conceito de vertente (componente genérico do relevo), transformando as propriedades geoecológicas (primeira natureza) em sócio-reprodutoras (segunda natureza), o homem pode produzir desequilíbrio climático e conseqüentes derivações ambientais (CASSETI, 1991, p.52).

Sob tal ótica é possível apontar que o sistema econômico sendo o elemento controlador do sistema físico, cria desequilíbrios nesse sistema através de válvulas de controle. O que equivale a dizer que são as decisões humanas, ditadas pelas regras do capital, as instâncias que representam o elemento que define um sistema como “controlado”, de acordo com as considerações de Christofolletti (1979).

As características físicas existentes em determinada área, sobretudo os atributos geomorfológicos, dentre os quais se destaca a topografia, exercem grande influência sobre o

processo de ocupação que, por sua vez, produz alterações marcantes no relevo, conforme aponta Prandini et al (1995, p.190):

Nas áreas urbanas, especialmente, o meio físico é o componente ambiental que, mesmo alterado em suas características e processos originais, persiste interagindo e condicionando grande parte dos problemas do ambiente construído (PRANDINI et al, 1995, p. 190).

Têm-se, portanto, que as formas do relevo constituem um elemento do meio físico sobre o qual ocorre a ocupação e, portanto, o processo de urbanização não pode desconsiderá-lo, fato que comumente se verifica com a ocupação de áreas de risco. Assim, a topografia é responsável por determinar a dinâmica hídrica superficial, compartimentando o relevo em áreas que podem ou não ser ocupadas. Em seguida, não menos importante, são relevantes os demais atributos físicos que, atuando no sistema relevo de maneira integrada também respondem por restrições ao uso e ocupação da terra. Destacam-se as características geológicas e geotécnicas, mais especificamente aquelas relacionadas aos aspectos estruturais dos solos e da litologia, definindo zonas de maior ou menor estabilidade, sendo seu estudo imprescindível à análise de riscos.

Os modelos de urbanização, contudo, na maioria das vezes não levam em consideração a dinâmica processual do relevo. A desvalorização econômica de áreas de fragilidade ambiental, as falhas da administração pública e políticas equivocadas são responsáveis pela falta de planejamento, ocasionando grande parte dos distúrbios das áreas urbanas, seja na forma de degradação ambiental, como também na depreciação social tão característica da sociedade capitalista (DREW, 1983; CASSETI, 1991; CARVALHO, 2001).

A ação do homem se processa de maneira degradante logo a partir da ocupação da terra, quando ocorre conforme já mencionado, o desmatamento seguido das práticas agrícolas. Nesse ambiente, a erosão laminar e processos de erosão linear são responsáveis pela intensa perda de solos, tornando terras inabilitadas e provocando o assoreamento dos cursos d'água. A urbanização acrescenta outros fatores de igual modo degradantes, tais como cortes e aterros que alteram substancialmente a topografia e a dinâmica hídrica. A depreciação das várzeas e a poluição através de efluentes, resíduos, de origem doméstica e industrial, terminam por conceber um quadro de impactos ambientais negativos advindos da urbanização que são responsáveis por uma notável diminuição na qualidade de vida das populações humanas (CASSETI, 1991; CARVALHO & BARBOSA, 2007).

Em termos geomorfológicos, os impactos da atividade humana no meio ambiente podem resultar em quadros de degradação extrema, ou na melhor das hipóteses gerar novas formas, acrescentar novos materiais e influenciar com isso os processos morfogenéticos, resultando em relevos e depósitos antropogênicos, que por sua vez podem ou não contribuir para o agravamento da degradação.

2.2 Geomorfologia antropogênica

A importância de estudos acerca das feições do relevo produzidas pela ação do homem cresce à medida que as paisagens se tornam mais antropizadas. O entendimento dos fenômenos gerados pela ação antrópica torna-se imprescindível conforme a necessidade de ações visando à melhoria da qualidade ambiental. Tais estudos têm se desenvolvido recentemente no Brasil e adquiriram vulto a partir dos trabalhos de Rodrigues (1997), que emprega o conceito de geomorfologia antropogênica para designar os atributos geomorfológicos associados diretamente à atuação antrópica. Na literatura estrangeira destaca-se o trabalho de Nir (1984), o qual discute amplamente a questão. No domínio da geologia é dada a designação de depósitos tecnogênicos às feições associadas ao período mais atual da história geológica, marcada pela presença do homem como agente direto sobre os processos do relevo. Destacam-se os trabalhos de Oliveira (1995) e Peloggia (1998) acerca de tais feições.

Os estudos acerca das feições antrópicas do relevo foram abordados por Rodrigues (1997) através de uma metodologia específica, cujas premissas “reforçam a necessidade de superação de abordagens com ênfase nos elementos exclusivamente definidos pela natureza e apontam a importância de tratamento simultâneo e sistemático das interferências antrópicas” (RODRIGUES, 2005, p.101). Tais procedimentos são fundamentados nos parâmetros da “geocartografia geomorfológica retrospectiva”, ou “evolutiva”, sendo destacada a ação antrópica como ação geomorfológica. Assim, a partir da análise de materiais cartográficos específicos torna-se possível elucidar determinados mecanismos atuantes, compreendendo vários processos hidrogeomorfológicos atuais.

É importante destacar que em relação aos diferentes tipos de intervenção antrópica na paisagem estes são categorizados de acordo com Lima (1990, apud RODRIGUES, 2005) partindo de um primeiro grupo denominado intervenções de 1ª ordem, dentre as quais se destaca a urbanização como principal. A partir daí procede-se à subdivisão em outras categorias, à medida que as intervenções possam ser detalhadas tanto por tipo (padrão de

arruamento, no caso da urbanização) como por dimensão (densidade das edificações e da ocupação), sendo focado inclusive o volume do remanejamento ou substituição de materiais superficiais originais. Trabalhos pioneiros sobre o assunto (FELDS, 1957; BROWN, 1971) buscam classificar as ações do homem como: diretas intencionais, no caso de cortes e aterros; diretas não-intencionais, como as cavas de mineração e indiretas no caso da erosão e o assoreamento (BROWN, 1971).

Oliveira (1995) define o termo tecnogênico para designar os eventos resultantes da atuação humana, uma vez que estes refletem uma ação técnica. O citado autor aponta que o termo antropogênico seria mais apropriado para se referir à origem temporal dos eventos, associada ao período Antropógeno, segundo a escala de tempo geológica adotada por diversos autores que reconhecem o homem como agente geológico. Outros estudiosos ainda sugerem o estabelecimento de um Período Quinário, ou Tecnógeno, isto é, o período em que “a atividade humana passa a ser qualitativamente diferenciada da atividade biológica na modelagem da Biosfera” desencadeando processos de magnitude considerável sobre a superfície terrestre (OLIVEIRA, 1995, pg. 232).

Outro aspecto relevante na análise de tais fenômenos refere-se à classificação taxonômica das formas do relevo segundo a proposta de Ross (1992), que insere as formas resultantes da ação antrópica no sexto *táxon*, o qual engloba “as formas menores produzidas pelos processos atuais ou por depósitos atuais (...) frutos dos processos morfogenéticos atuais e quase sempre induzidos pelo homem” (ROSS, 1992, pg.20). Peloggia (1998), no entanto, aponta que tais formas podem ainda compor o quinto *táxon* (formas de vertentes contidas em cada forma do relevo) ou até mesmo o quarto *táxon* (formas de relevo individualizadas em cada unidade morfológica), cada qual correspondendo a uma magnitude de interferência antrópica na paisagem.

Em relação aos depósitos tecnogênicos a abordagem de Peloggia (1998) aponta a necessidade de construir uma “concepção histórico-genética” da ação geológica do homem na superfície terrestre. O citado autor propõe alguns conceitos básicos para o que denomina “teoria do relevo tecnogênico” que busca elucidar os mecanismos da ação morfogenética humana. Ressalta-se que tal ação pode se processar:

[...] de forma tanto direta quanto indireta, e que o homem é um fator tanto de erosão como de deposição, sendo que sua ação, amplamente disseminada pelo planeta, mas não característica de climas particulares, pode aumentar ou diminuir a intensidade das manifestações naturais, como ravinamentos ou inundações (PELOGGIA, 2005, pg. 26).

A metodologia adotada pelo autor supracitado é consoante com aquela utilizada por Rodrigues (1997), que se apóia no estudo sistemático do “tripé morfológico”: formas, materiais e processos da superfície terrestre, segundo Hart (1986, apud RODRIGUES, 2005). De igual forma o estudo dos depósitos tecnogênicos, segundo Peloggia (1998), pode ser desenvolvido segundo três níveis de abordagem, de acordo com os princípios metodológicos adotados por Ab’Saber (1969) para estudos do Quaternário:

1. A modificação do relevo e as alterações fisiográficas da paisagem – especificamente as feições antropogênicas, tais como cortes, aterros, obras de engenharia, retificação de canais, etc;
2. A alteração da fisiologia da paisagem “materializada pela criação, indução, intensificação ou modificação do comportamento de processos da dinâmica geológica externa”;
3. A criação de depósitos correlativos “comparáveis aos quaternários (ou depósitos tecnogênicos) que vão se constituir em marcos estratigráficos” (PELOGGIA, 1998, pg. 19-20).

Segundo a abordagem de Peloggia (1998) o conceito de depósitos tecnogênicos encontra-se fundamentado nessas premissas e, portanto, tal como na abordagem de Rodrigues (1997) expressa igualmente os resultados da interferência antrópica sobre o modelado terrestre.

Tomando por base as considerações supracitadas considera-se de suma importância o entendimento acerca dos processos resultantes da atuação antrópica no sistema relevo, visando com isso propor medidas de caráter preventivo e/ou corretivo na paisagem. Tanto a recuperação de áreas degradadas quanto o planejamento urbano devem ser norteados pelo conhecimento dos atributos físico ambientais e a resposta dos mesmos à atuação antrópica.

2.3 Recuperação de áreas degradadas

Conforme já mencionado, a atuação antrópica por meio de diferentes tipos de interferência introduz na paisagem uma série de elementos que podem produzir a degradação do meio físico. A adoção de medidas corretivas é uma necessidade premente, seja por força do uso da terra, pressão da sociedade ou da legislação ambiental. Propostas de ação, como as que são apontadas por este trabalho, pressupõem o domínio de determinados conceitos-chave, tais como *degradação* e *recuperação*.

O conceito de degradação no contexto da legislação brasileira é referido como o conjunto de “processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos

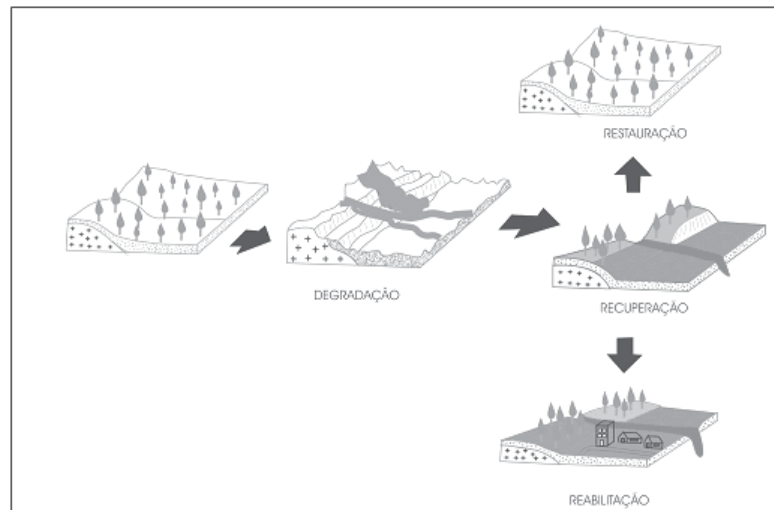
recursos ambientais” (DECRETO FEDERAL 97.632/89). Quanto à noção expressa pela ABNT (1989), vinculada especificamente à degradação dos solos, entende-se como a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”. De maneira geral entende-se degradação como o rompimento das condições de equilíbrio originais por causas naturais ou antrópicas, o que implica em fisiologia da paisagem o conceito de resistasia, no qual a retirada dos elementos bióticos, responsáveis por grande parte do equilíbrio do meio físico (sobretudo em regiões de clima tropical e sub-tropical), conduz a alterações processuais em todo o sistema, resultando numa situação em que a morfogênese tem predomínio sobre a pedogênese (CASSETI, 2005) e conseqüente repercussão no potencial geocológico (equilíbrio climático).

A reversão de um quadro de degradação implica a adoção de conceitos apropriados que definem as ações nesse sentido. São encontrados na bibliografia alguns termos que possuem relação direta com o tipo de intervenção. Em geologia de engenharia é mais comumente utilizado o conceito de *recuperação*, enquanto que nas ciências biológicas, cujo enfoque se dá aos elementos bióticos, são utilizados os conceitos de *regeneração* ou *recomposição*. Bitar & Braga (1995) apontam que “a utilização de conceitos oriundos de distintas áreas do conhecimento que contribuem para a questão da recuperação de áreas degradadas, resulta igualmente em aplicações variadas” (pg. 166). Uma das referências que tem se mostrado mais adequada às aplicações das ciências ambientais é aquela apontada por Box (1976), utilizada pela ABNT (1989), que faz a distinção entre os seguintes termos:

- A) Restauração: associado à idéia de reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção;
- B) Recuperação: associado à idéia de que o local alterado deve ser trabalhado de modo a que as condições ambientais acabem-se situando próximas às condições anteriores à intervenção; ou seja, trata-se de devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade dos processos ali atuantes anteriormente;
- C) Reabilitação: o local alterado deverá ser destinado a uma dada forma de uso do solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, trata-se de aproveitar a área para outra finalidade (BOX, 1976; ABNT, 1989 apud BITAR e BRAGA, 1995).

Os referidos conceitos encontram-se exemplificados na figura 01.

Fig. 01 – Cenários previstos de acordo com a definição dos conceitos.



Fonte: Adaptado de Bitar e Braga, 1995

Kobyama et al (2001) simplificam o conceito apontando a recuperação como o caminho inverso à degradação e ressaltam que o termo restauração trata-se de um objetivo quase inatingível, uma vez que o retorno às condições originais implica em devolver ao ambiente todas as características bióticas e abióticas anteriores ao quadro de degradação.

É importante ressaltar que o Decreto Federal 97.632/89 estabelece como objetivo da recuperação o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”. Tal conceituação é também referida pelo Ibama (1990), que acrescenta que a recuperação “implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da circunvizinhança”, ambas as referências incorporam o conceito de reabilitação ao de recuperação, tornando-o mais abrangente, e por isso é o mais usualmente empregado. Neste estudo será dado enfoque ao conceito de recuperação conforme é estabelecido pela legislação mencionada.

A recuperação de áreas degradadas trata-se de um tema de grande relevância no cenário atual, considerando-se a ótica do planejamento urbano no contexto da sustentabilidade, a qual norteia uma série de premissas visando uma integração mais harmoniosa entre o meio físico e o ambiente construído, buscando com isso a melhoria da qualidade de vida da população.

2.4 Planejamento urbano e sustentabilidade

Sendo a expansão dos aglomerados urbanos um processo inevitável dado o crescimento das populações, torna-se necessário que a urbanização ocorrente se faça mediante um planejamento que leve em consideração os fatores ambientais, visando com isso reduzir custos, proporcionar um melhor aproveitamento das áreas, evitar riscos e promover a harmonia. Mota (2003) defende que o planejamento assim realizado buscará o equilíbrio entre os sistemas físico, biótico e antrópico, considerando-os de forma integrada.

A conservação dos recursos naturais, entre os quais se destaca o relevo, deve estar na pauta do planejamento urbano, sendo entendida como o “uso apropriado do meio ambiente dentro dos limites capazes de manter sua qualidade e seu equilíbrio, em níveis aceitáveis” (FEEMA, 1990). Nesse sentido, cabe ressaltar que o paradigma da sustentabilidade emerge como princípio norteador das decisões de planejamento. A idéia de sustentabilidade baseia-se na busca de uma relação entre sistemas econômicos e ecológicos orientada pelos requisitos de que a vida humana possa evoluir, as culturas possam se desenvolver, e de que os efeitos das atividades humanas permaneçam dentro dos limites que impeçam a destruição da diversidade e da complexidade do contexto ambiental (SALAMONI & GERARDI, 2001).

Segundo Mota (2003), as três principais diretrizes a serem consideradas (compreendidas aqui como norteadoras no planejamento das cidades sustentáveis) seriam: o disciplinamento do uso da terra; o controle do parcelamento do solo; e a implantação de sistema viário eficaz. O autor afirma que se utilizando os dispositivos legais necessários, tais como o zoneamento urbano e ambiental, o planejamento urbano encontra-se munido dos recursos necessários à projeção e implantação de obras ambientalmente saudáveis.

Dentro dessa perspectiva e considerando os demais itens já apresentados, o desenho do traçado urbano surge como o elemento que se não for concebido de forma compatível às características físico ambientais, em especial aos atributos geomorfológicos da área, pode resultar em degradação do meio físico. Para que a instalação de um loteamento não seja uma ação de caráter predatório sobre o relevo é importante que sejam observadas algumas recomendações básicas relativas ao desenho da malha urbana e à topografia.

Moretti (1987) apresenta uma série de orientações para a elaboração de projetos de loteamento, dentre as quais se encontram apontadas as ações a serem processadas sobre o relevo. O citado autor considera o atributo clinográfico como o de maior importância, assim como a compartimentação do relevo em função do mesmo. Outro fator apontado refere-se à

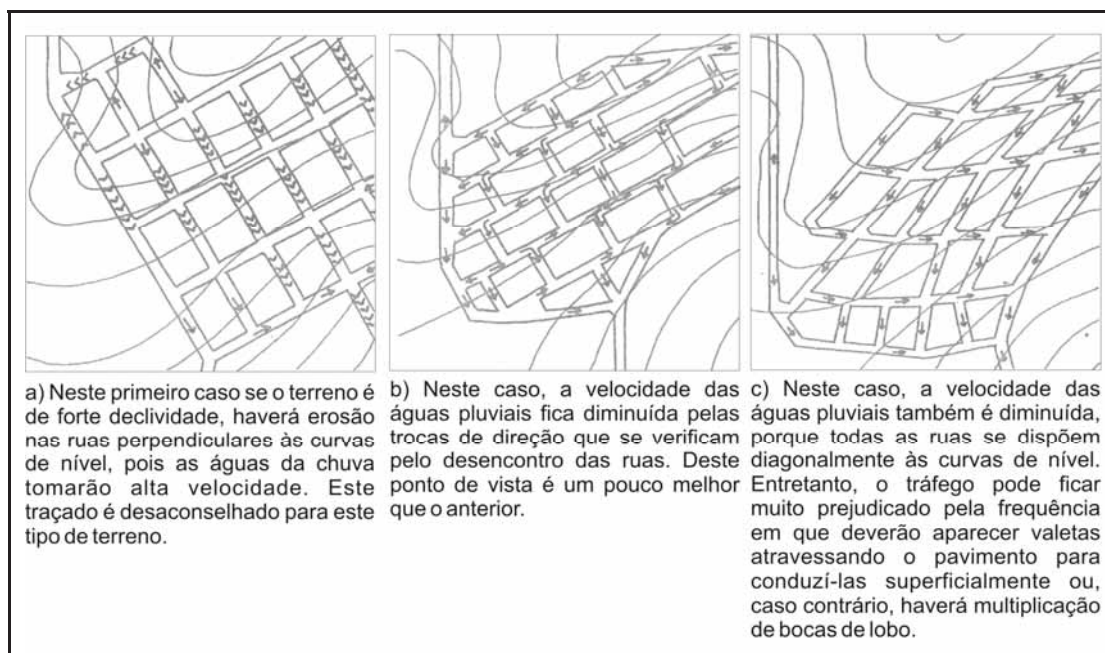
orientação do arruamento e a hierarquização das vias, cuja projeção deve se pautar na topografia, visando com isso minimizar trabalhos de terraplanagem e facilitar o escoamento pluvial e de efluentes. Também é feita referência às linhas de drenagem natural, em que se deve atentar às áreas de captação do fluxo pluvial e às áreas de proteção (mananciais).

Mascaró (2003, p.32) aponta a topografia como condicionante do traçado urbano e indica que há quatro características fundamentais para a projeção do traçado e concepção do ambiente urbano, que seriam: as formas do relevo; a declividade do terreno; o fator insolação e a orientação das vertentes; e por fim, os canais de escoamento e os cursos d'água. São apontadas também as dificuldades enfrentadas no âmbito do planejamento buscando a concepção de um traçado urbano mais harmonioso com as características físicas do terreno:

[...] em qualquer terreno acidentado, um traçado de ruas que interprete, respeite e tire proveito da topografia será demorado, trabalhoso e exigirá vários ajustes e modificações até atingir uma situação de equilíbrio entre ruas, lotes, aterros e cortes (MASCARÓ, 2003, p.32).

A partir das considerações acima citadas o autor esboça alguns exemplos em que analisa diferentes modelos de traçado das ruas sobre a mesma topografia. De acordo com as características do relevo sabe-se o comportamento do escoamento pluvial. Com a inserção da malha urbana busca-se, na figura 02, avaliar as alterações do comportamento original e suas implicações para a organização da cidade.

Fig. 02 – Variações da malha urbana para uma mesma declividade topográfica.



Fonte: Mascaró, 2003.

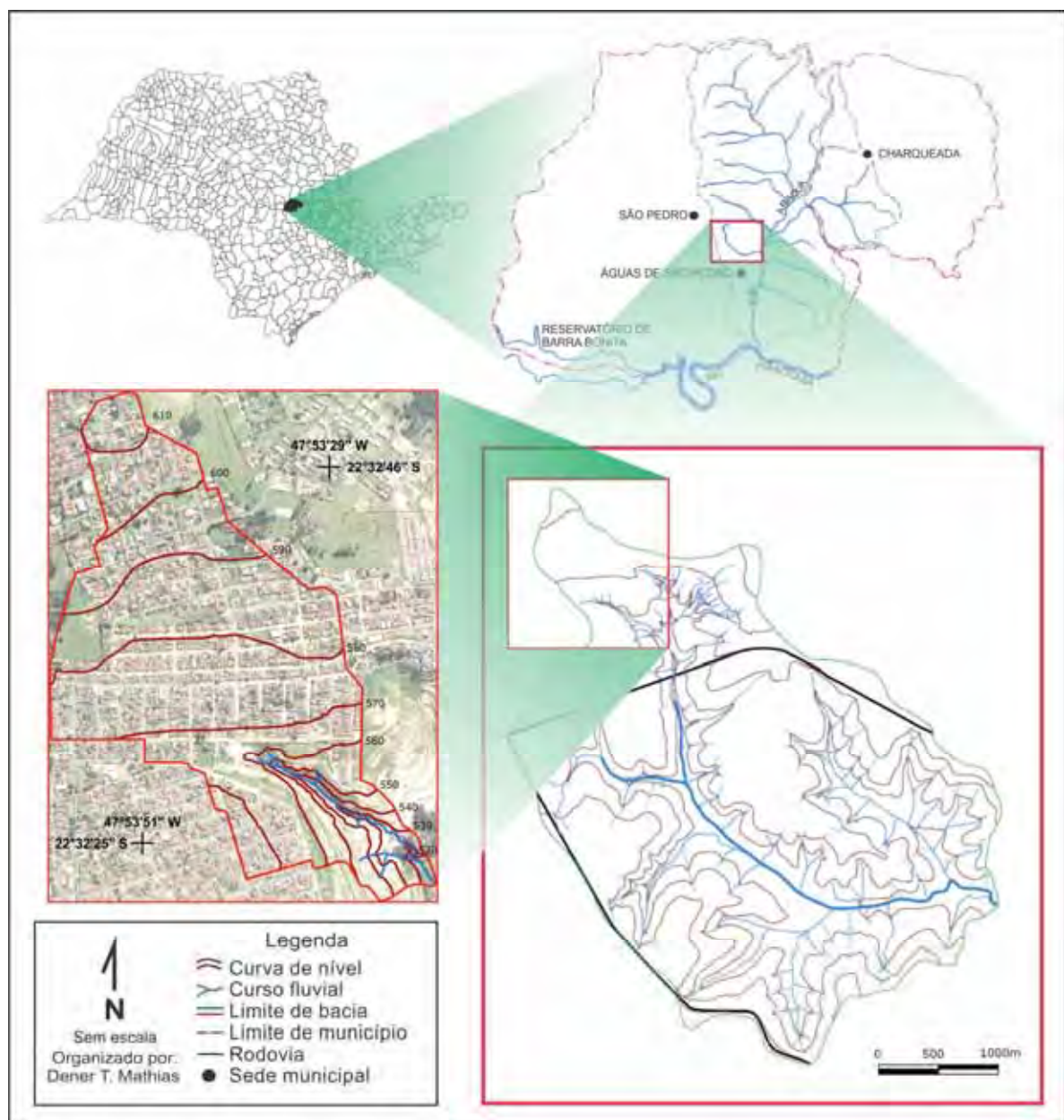
Outro fator assinalado pelo autor refere-se à geometria hidráulica do sítio, em que se encontram “complúvios”, áreas onde o escoamento tende a se concentrar, e “displúvios”, onde tende a se dispersar. Identificando o comportamento dos fluxos pluviais é possível estabelecer os melhores setores do relevo para a instalação das vias de circulação. Com relação ao gradiente clinográfico, o autor salienta que os traçados longitudinais em relação à vertente devem ser priorizados, evitando o aumento da velocidade do escoamento pluvial.

Quanto às feições e compartimentos do relevo é de vital importância que a expansão das áreas urbanas seja mediada por um prévio zoneamento. Barbosa et al (2009) tomando a vertente como unidade de análise, apresentam um seccionamento do relevo, associando para cada setor natural identificado segundo os atributos geomorfológicos e pedológicos um modelo de ocupação apropriado. Tal procedimento, associado às demais considerações já apresentadas constitui o meio pelo qual se propõe que seja realizado um planejamento integrado e sustentável. Ressalta-se que para tanto é necessário o pleno conhecimento das características da área, o qual constitui o ponto de partida para o planejamento.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O córrego Tucunzinho constitui-se em um canal de primeira ordem afluente da bacia do Ribeirão Araquá, um dos tributários do rio Piracicaba (Figura 03). Sua bacia localiza-se na porção central do Estado de São Paulo, inserida na periferia da área urbana do município de São Pedro, considerada uma cidade pequena (com população inferior a 50000 habitantes) no contexto urbano brasileiro.

Fig. 03 – Localização da bacia do córrego Tucunzinho no contexto das bacias hidrográficas da qual é tributária e do Estado de São Paulo.



A área da bacia do Córrego Tucunzinho possui 946330 m² e encontra-se nos domínios da Bacia Sedimentar do Paraná o que faz com que apresente litologias típicas desta Unidade Geo-estrutural do relevo brasileiro. Capeando os topos dos interflúvios há o predomínio da Formação Botucatu, do Grupo São Bento, que se constitui de arenitos de granulação fina a média, uniforme e com boa seleção de grãos foscos de alta esfericidade, avermelhados, apresentando estratificação cruzada. No interior da bacia, aparecem as litologias da Formação Pirambóia, também integrante do Grupo São Bento, e que se caracterizam por uma seqüência de camadas arenosas geralmente vermelhas, de granulação média a fina, apresentando em alguns setores arenitos grossos e conglomeráticos, ou então, lâminas de silte ou argila, com estratificação plano-paralela e cruzada (IPT, 1981). O Grupo São Bento formou-se se na penúltima etapa de estabilização evolutiva da plataforma Sul-Americana durante a era Mesozóica, constituindo a Formação Pirambóia no Triássico e a Formação Botucatu no Jurássico-Cretáceo. Assim, o grupo é composto de depósitos fluviais e eólicos, evidenciando condições climáticas caracterizadas por crescente aridez, passando-se da deposição predominantemente fluvial em canais meandranes e planícies de inundação, típicas da Formação Pirambóia, para um ambiente progressivamente desértico, com o empilhamento de grandes dunas caminhantes, característico da Formação Botucatu (CARPI JR, 1996).

Constata-se também a presença dos Depósitos Aluviais, de idade atribuída ao Quaternário, formados durante o Holoceno, constituídos de sedimentos arenosos mal consolidados, com areias de granulação média. São encontrados nas várzeas dos rios que compõem a bacia em questão. Tratam-se de terrenos escuros, hidromórficos, de espessura variada, cuja utilização mostra-se inviável, pois apresentam excesso de água e de acidez, apesar de sua aparente fertilidade (SANCHEZ, 1971).

Associados a tais litologias desenvolvem-se as seguintes classes de solos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999): Argissolos (solos podzólicos vermelho amarelo), Neossolos Quartzarênicos (areias quartzosas profundas), e Gleissolos. Os Argissolos estão ligados ao arenito Botucatu e ocupam grande parte da bacia, sendo considerados como pertencentes à série Lavras (SANCHEZ, 1971). Sua textura é entre média e arenosa, apresentando problemas de suscetibilidade à erosão. Os Neossolos Quartzarênicos aparecem dominando os interflúvios mais amplos avançando pelas médias vertentes de menor declividade. Apresentam frações de areia fina a grossa e possuem alto grau de acidez, o que os torna quase inviáveis à agricultura. Finalmente, os Gleissolos

aparecem compondo as áreas de várzea e planícies aluviais do Córrego Tucum, do qual o córrego Tucunzinho é afluente. São solos hidromórficos que se mostram vinculados ao excesso de água decorrente da presença de lençol freático elevado e à grande suscetibilidade às inundações (RIBEIRO, 2000).

As características dos solos da região, de acordo com Oliveira (1999), de maneira geral apontam grande pobreza de nutrientes, ocasionada em função da lixiviação intensa a que sofre tal superfície. A baixa capacidade do solo para a retenção de água é também um fator que acentua o processo de lixiviação.

Convém ressaltar que as características aqui apresentadas tratam-se dos atributos físicos originais da área. Atualmente uma grande quantidade de material de origem antrópica recobre os setores de média a baixa vertente da bacia, tendo sua origem vinculada a obras realizadas visando o soterramento de inúmeras formas erosivas, o que constitui um amplo depósito tecnogênico. Esse material apresenta espessura variada e suas características estruturais diferem notavelmente daquelas associadas aos solos descritos. A origem do referido depósito é corroborada nos trabalhos de Sanchez (1986), Facincani (1995) e Carpi (1996).

As características geomorfológicas da bacia do córrego Tucunzinho se definem pela ocorrência de topos com predomínio da forma tabular. As vertentes apresentam relevante comprimento de rampa, sendo que cedem abruptamente às margens do córrego em virtude de um expressivo talude erosivo, contendo inúmeros ravinamentos que se constituem em ramificações de uma voçoroca notável. O próprio córrego em questão tem sua dinâmica associada à evolução dos processos erosivos, o que faz com que em termos processuais predomine o entalhamento progressivo dos canais plúvio-erosivos existentes em suas margens em contrapartida à movimentação mais lenta de material no fundo. Ocorre, portanto, a formação de um fundo chato no canal principal, forma típica de voçorocas já em estágio bastante evoluído. De tal dinâmica resulta a formação de amplos vales deposicionais no córrego Tucum, ocorrendo a partir da confluência do córrego Tucunzinho com este (MATHIAS, 2010), que são resultantes da grande quantidade de material transportado de montante, oriundo da voçoroca em questão.

Carpi Jr & Mendes (1992) caracterizam o relevo da área do córrego Tucunzinho como pertencentes a duas unidades geomorfológicas, que são: Pedimentos Tabuliformes e

Pedimentos Dissecados. Os citados autores apontam que tais setores são aqueles que, no contexto da região de São Pedro, apresentam maior suscetibilidade à dinamização erosiva.

Analisando as feições topográficas nos setores de média e baixa vertente do córrego Tucunzinho, destacam-se, em uma escala de maior detalhamento, as formas de relevo produzidas pelas inúmeras interferências já ocorridas na área. A princípio citam-se os já mencionados depósitos tecnogênicos, compondo uma superfície contínua, interrompida apenas nos locais de reativação erosiva. Sobre tal superfície, terraços de dimensões expressivas acompanham relativamente as curvas de nível do relevo. A porção anterior ao terraço é ocupada por uma depressão funcionando como bacia de retenção, ou dique, e a parte frontal do terraço apresenta um declive abrupto que se suaviza progressivamente até atingir a depressão da parte anterior do próximo terraço. Essa configuração ocorre de maneira geral nas porções da bacia submetidas a obras de terraceamento.

Os atributos morfométricos são indicativos de forte suscetibilidade ao desencadeamento erosivo, uma vez que a área possui declividades acentuadas em virtude do desenvolvimento da voçoroca já mencionada. A ruptura topográfica que marca o talude erosivo consiste numa linha de forte fragilidade, sofrendo tanto a perda de material pelo escoamento de montante como pelo desabamento motivado pelos processos de sub-superfície resultantes do fenômeno de *piping*. Contudo, analisando-se a Carta Clinográfica do córrego Tucum, apresentada por Mathias (2008), verifica-se que o gradiente clinográfico da bacia em sua totalidade não subentende o potencial erosivo da área devido ao fato de haverem topos Tabuliformes expressivos e vertentes pouco pronunciadas. Mas, conforme já descrito, nessas condições o fluxo pluvial ganha volume e velocidade e atingindo o talude erosivo produz efeitos notáveis.

Referindo-se ao potencial erosivo do córrego Tucum, da qual o córrego estudado é afluente, Mathias (2008) concluiu a partir da concepção da Carta de Energia do Relevo que a morfometria da área favorece o desencadeamento erosivo. O citado autor procedeu a uma análise integrada das características geométricas da topografia e as formas do relevo da bacia mencionada, tendo resultado uma base de dados válida ao presente trabalho.

Quanto aos aspectos morfoestruturais ressalta-se o trabalho de Facincani (1995) que apresenta alguns gráficos de lineamento estrutural para a bacia do córrego Tucum, através dos quais se constata a ocorrência de famílias de juntas orientadas no sentido NW-SE, que consistem um “padrão de fraturamento regional, ao longo do qual se instalaram as principais

direções de drenagem” (p.16). A citada autora conclui a respeito da influência estrutural que a proximidade da área com a Serra de São Pedro constitui-se um fator de importância na morfologia da bacia, uma vez que ocorrem desníveis altimétricos superiores a 310 metros que “juntamente com o maciço fortemente fraturado, devem influir na circulação das águas subterrâneas da região, gerando gradientes hidráulicos que condicionam a movimentação do fluxo subterrâneo” (pg. 22-23). Assim, as porções mais elevadas funcionariam como áreas de recarga do aquífero subterrâneo e, por conseguinte, as bacias localizadas nas porções mais baixas, denominados pela autora “baixos estruturais”, corresponderiam aos pontos de concentração e descarga dessas águas, evidenciando o papel da estrutura na dinamização dos processos que ocorrem na área.

O controle estrutural presente na bacia é também citado por Mathias (2008) que relaciona os topos aplainados à ocorrência de superfícies de cimeira funcionando como platôs estruturais. Tais estruturas são indicativas de climas pretéritos, quando sob um regime de aridez houve o aplainamento geral do relevo. Os processos morfogenéticos atuais favorecem a dissecação do relevo, mas algumas estruturas por apresentarem maior resistência permanecem marcando o relevo da área.

O padrão dendrítico a subparalelo que se desenvolve na porção da Depressão Periférica Paulista que engloba a região estudada é também um indicativo da influência de estruturas tectônicas possivelmente associadas à proximidade da área com as Cuestas Arenítico-Basálticas (Serras de São Pedro e Itaqueri), conforme aponta Penteadó (1968). A citada autora propõe inclusive a atuação neotectônica como responsável pela configuração das estruturas nessa porção do relevo paulista.

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

favorece o desencadeamento de processos de erosão linear (SANCHEZ, 1971; CARPI JR, 1996).

A vegetação presente na bacia resume-se a formações campestres em geral associadas ao abandono de pastagens agropastoris e, na foz do córrego Tucunzinho, ocorre um agrupamento incipiente de mata galeria, um tanto degradada. As pastagens supracitadas apresentam baixa densidade e desenvolvimento restrito, dado as características dos solos já mencionadas e são indicativas do uso da terra pretérito em grande parte da bacia, que experimenta atualmente a tendência a servir de suporte ao avanço da urbanização, a qual vem a tomar tais espaços, uma vez que já não tem serventia ao uso agropastoril (MATHIAS, 2008).

De acordo com Sanchez (1971, p.56) a cobertura vegetal original de todo o município de São Pedro constituía-se das seguintes fito-fisionomias: Mata Latifoliada Tropical; Mata Galeria; Vegetação Hidrófila e Formações Campestres. O citado autor atenta para o fato de grande parte das formações originais terem sido devastadas durante o período em que a cultura do café predominava nas lavouras do interior paulista. Alguns setores que conservam formações vegetais mais próximas às originais são aqueles em que o uso da terra é restringido pelas feições do relevo. Assim, encontra-se a Mata Latifoliada atualmente em toda a faixa de terreno que constitui as frentes escarpadas das serras de São Pedro e Itaqueri. Manchas de Mata Galeria acompanhando os cursos d'água podem ser também constatadas, apresentando-se com diferentes graus de interferência. O citado autor aponta que em alguns setores onde a lavoura de café foi abandonada se desenvolveram formações campestres, cuja cobertura original era bastante expressiva na área do município. Sobre tais formações é importante salientar que a região de São Pedro constitui-se uma área transicional dentro da Depressão Periférica Paulista, onde fito-fisionomias típicas do cerrado apresentavam estratos diferentes alternando-se entre os cerradões mais ao norte e os campos limpos mais ao sul do município.

Com base nas considerações supracitadas pode-se, comparando o quadro pretérito ao atual, supor que a retirada da vegetação original constitui uma interferência marcante em toda a área do município de São Pedro, cujas conseqüências em termos de dinamização de processos erosivos são nítidas.

A comparação entre cenários de diferentes períodos trata-se de um procedimento de análise de grande valia ao conhecimento dos processos atuantes sobre determinada área, sendo considerada uma etapa importante no mapeamento das formas antrópicas do relevo.

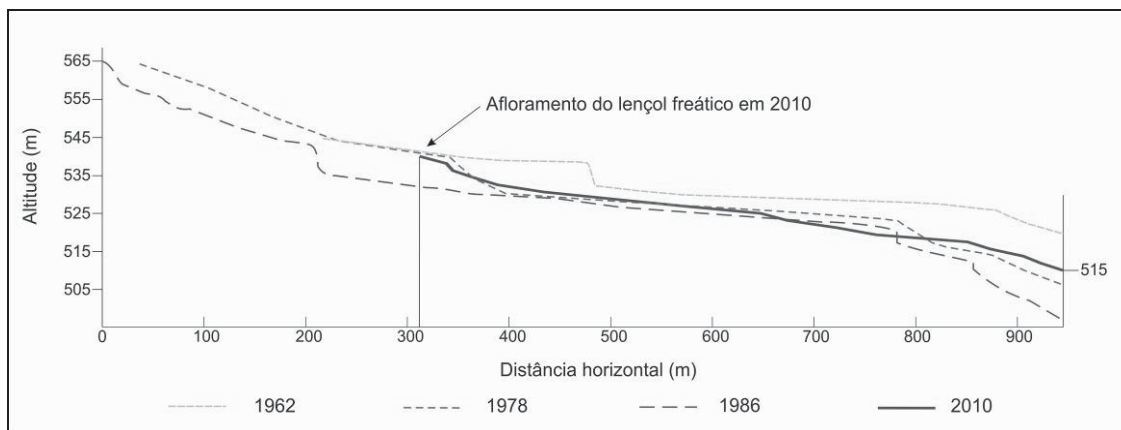
Trata-se da análise evolutiva, ou retrospectiva, preconizada nos pressupostos metodológicos de Rodrigues (2005). Assim, destaca-se a evolução fisionômica da paisagem na bacia do córrego Tucum apresentada por Mathias (2009) que, a partir de dados da bibliografia e análise de fotografias aéreas de três cenários distintos, apontou as seguintes ocorrências em ordem cronológica:

- 1962 – Predomínio de pastagens no setor que compreende as cabeceiras do córrego Tucum; notável atividade erosiva, com a ocorrência de sulcos, ravinas e voçorocas, sendo que as últimas encontravam-se ainda imaturas, ou seja, não apresentavam fundo chato típico daquelas mais evoluídas;
- 1962 a 1986 – Período caracterizado por ampla dinamização erosiva e início da instalação de loteamentos nas áreas de cabeceira do córrego (SANCHEZ et al, 1986);
- 1986 a 1991 – Medidas corretivas incipientes efetuadas no local pela administração pública culminando com a reativação dos processos; Uso de parte da área como lixão (SANCHEZ, 1991);
- 1992 – Obra mais expressiva efetuada na área. Instalação de galerias pluviais dentro do canal erosivo visando a canalização do fluxo. Soterramento das feições erosivas com material advindo de outros locais; Amplo terraceamento e fechamento do lixão (FACINCANI, 1995);
- 1992 a 2000 – Ampliação da área urbana construída com notável avanço sobre as áreas erodidas; Reativação de algumas voçorocas, ainda em fase inicial;
- 2000 a 2010 – Obras de infra-estrutura nos bairros adjacentes à área das cabeceiras; Instalação de galerias pluviais e asfaltamento das ruas com direcionamento do fluxo no sentido do declive; Dinamização erosiva considerável com avanço da voçoroca do córrego Tucunzinho; Uso da área como depósito de entulho.

Contribuição significativa ao monitoramento dos processos erosivos na área é dada por Sanchez et al (1986) que apresentam os perfis longitudinais do córrego Tucunzinho referentes aos anos de 1962, 1978 e 1986. Tais perfis foram elaborados com base em trabalhos de fotogrametria e topografia e fornecem dados relevantes quanto à posição da nascente do córrego, permitindo a avaliação do desenvolvimento dos processos atuantes. Os autores constatam que no período analisado houve o avanço da cabeceira de drenagem do córrego para até 210 metros a montante, sendo que o afloramento do lençol freático avançou para montante 260 metros, corroborando com isso o aumento das dimensões da forma erosiva.

São também referidas as diferenças de nível entre os anos analisados que apontam o aprofundamento do canal, principalmente no baixo curso. A figura 04 apresenta o gráfico dos perfis longitudinais referidos, acrescidos do perfil no ano de 2010, de acordo com levantamento realizado no presente trabalho com base na análise da carta topográfica em escala de 1:2000 da área.

Fig. 04 – Perfis longitudinais do córrego Tucunzinho nos anos de 1962, 1978, 1986 e 2010.



O perfil longitudinal referente ao ano de 2010 apresenta-se bastante diferenciado dos pretéritos. O fato de o afloramento do lençol freático situar-se bem mais à jusante que nos anos anteriores tem relação com as obras efetuadas no local. O soterramento das formas erosivas aliado ao conjunto de medidas de infra-estrutura realizadas ao longo da última década contribuiu para minimizar os efeitos da erosão, “mascarando” seu franco desenvolvimento. A diferença de nível em comparação aos anos anteriores também reflete conseqüências da obra referida, uma vez que produziu o entulhamento do setor de baixo curso. A esse respeito cabe ressaltar que a presença de grande quantidade de material inconsolidado preenchendo o interior de formas erosivas, sob condições de redinamização irá se refletir no acúmulo de sedimentos à jusante, o que se crê que o perfil em questão vem a corroborar.

A caracterização dos atributos físicos da bacia do córrego Tucunzinho constitui uma das bases para o entendimento da dinâmica processual ocorrente na área. Tais dados integram-se àqueles obtidos ao longo deste trabalho em uma análise sistêmica que permite a concepção de propostas para a recuperação da área.

4 MÉTODO E TÉCNICAS

Para o entendimento da dinâmica física da bacia do Córrego Tucunzinho e sua influência nos elementos da paisagem foram adotados, como orientação metodológica, os princípios que fundamentam a Teoria Geral dos Sistemas aplicados à Geografia, de acordo com Chorley (1971), segundo o qual se devem compreender os fluxos de matéria e energia e suas inter-relações no trabalho de gênese e esculturação do relevo. Segundo o autor citado, de acordo com sua estrutura, os sistemas podem ser classificados nas seguintes categorias:

1. Sistemas morfológicos – Constituem-se em sistemas na qual as formas são os atributos de maior importância, sendo caracterizados pela composição e geometria, que são passíveis de mensuração;
2. Sistemas em Cascata ou Sequência – são compostos por um conjunto de subsistemas que mantêm inter-relações através de uma cascata de massa e energia. O autor afirma que nesta sequência as saídas (output) de um subsistema constituem-se nas entradas (input) do subsistema seguinte;
3. Sistemas Processo-Resposta: São constituídos da combinação dos sistemas anteriormente referidos, na qual a ênfase maior é dada aos processos geradores de formas específicas;
4. Sistemas controlados: Trata-se da integração de todos os sistemas já citados e que apresentam a ação do homem alterando a estrutura do sistema de processo-resposta. De acordo com o autor, pode-se verificar a presença de certas variáveis-chaves, nas quais “o homem pode intervir para produzir modificações na distribuição de matéria e energia dentro dos sistemas em sequência e, conseqüentemente, influenciar nas formas que com ele estão relacionadas” (CHORLEY, 1971).

Chorley (1971) aponta os sistemas processo-resposta como os de maior interesse para o geógrafo físico, dado que representam a relação entre a cascata de massa e energia e a forma ou a morfologia resultante da atuação de tal sequência. Trata-se de um sistema cuja complexidade é evidenciada pelo fato de que a mudança na cascata de energia produzida por uma única variável induzirá o sistema a uma transformação nas formas implicando no estabelecimento de um novo equilíbrio dinâmico.

Ressalta-se igualmente a influência exercida pelo homem no controle de variáveis-chaves do sistema, alterando significativamente sua dinâmica. Segundo Gregory & Walling (1971, apud CUNHA, 2009), o homem pode promover transformações de massa e energia nos sistemas em cascata instigando mudanças nos sistemas morfológicos e, conseqüentemente, nos sistemas processo-resposta. Considerando que as formas do relevo se originam a partir da interação de diversos fatores, a interferência antrópica sobre qualquer um desses irá se refletir na dinâmica desse sistema.

No contexto do presente trabalho as formas do relevo foram analisadas dando-se enfoque às estruturas de sistemas controlados uma vez que, constituindo-se aquele que considera todas as variáveis dos outros sistemas integrando-se com a ação do homem, apresenta-se como a abordagem que melhor se enquadra nos objetivos propostos.

Outro aspecto a ser analisado, refere-se à função dos sistemas, que se caracterizam, segundo Chorley (1971) em três tipos:

1. Sistemas Isolados: São os que possuem limites não permutando matéria ou energia com o meio exterior. Trata-se de um modelo que se observa em laboratório;
2. Sistemas Fechados: Há trocas de matéria com o meio, contudo, não há troca de energia;
3. Sistemas Abertos: Caracterizam-se por exportar e importar matéria e energia com o meio exterior.

As formas de relevo constituem-se sistemas abertos que recebem (input) energia e massa na forma de água proveniente das precipitações atmosféricas e sedimentos oriundos dos setores mais elevados do terreno e perdem (output) massa e energia através da água e sedimentos que se deslocam em direção dos cursos d'água por meio do escoamento ou movimentação gravitacional. Nestes sistemas assinala-se a importante propriedade de auto-ajustamento, conforme apontado por Chorley (1971), através da qual o sistema pode atingir um estado de equilíbrio dinâmico, onde a importação e exportação de matéria e energia são equacionadas por meio do ajustamento das formas do sistema.

Assim sendo, o presente trabalho desenvolveu-se a partir de uma compreensão sistêmica, onde o relevo é entendido como um sistema aberto, cuja complexidade de elementos envolvidos nos processos de troca de matéria e energia (chuva, transporte de sedimentos), compõe um mosaico de formas resultado de uma relação entre as variáveis que

compõem os diversos subsistemas presentes no conjunto analisado. Dessa forma a Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia determinou as diretrizes da pesquisa aqui relatada ao evocar elementos chave para a elucidação das questões a que se propôs este trabalho.

A seguir encontram-se descritas as técnicas empregadas neste trabalho, tendo sido elencadas atentando-se para uma seqüência de apresentação coerente com o cumprimento dos objetivos específicos. Através das técnicas adotadas foram obtidos dados que se consideram imprescindíveis à análise sistêmica da área estudada.

4.1 Compilação de dados morfométricos e morfográficos e elaboração da carta clinográfica

A fim de integrar dados preexistentes sobre a área às análises deste trabalho realizou-se, ainda na etapa referente à pesquisa bibliográfica, a compilação de dados morfométricos e morfográficos a partir do trabalho de Mathias (2009). O citado autor apresenta um estudo geomorfológico da bacia do córrego Tucum, do qual o córrego Tucunzinho é afluente, feita com base na análise de documentos cartográficos específicos elaborados pelo mesmo. Os dados morfométricos são obtidos por meio da Carta clinográfica, da Carta de dissecação horizontal e da Carta de dissecação vertical, que submetidas a um cruzamento resultam na Carta de energia do relevo, cuja finalidade é a compartimentação do relevo em classes que indicam a maior ou menor potencialidade da área aos processos denudacionais. Já os dados morfográficos são apresentados na Carta geomorfológica elaborada pelo autor.

Devido ao fato dos referidos documentos cartográficos serem apresentados em escala de 1:10000, optou-se pela reelaboração da Carta clinográfica a fim de torná-la compatível com a escala de análise deste trabalho (1:2000). Julgou-se necessária tal compatibilização por este documento ser considerado o de maior relevância na análise morfométrica da bacia e, uma vez que o procedimento não havia sido proposto originalmente, trata-se de uma técnica complementar adotada.

Dessa forma, utilizando-se da base topográfica elaborada em escala de 1:2000 (conforme será apresentada no item 5.2), foi gerada através do programa ArcGIS 9.2 uma grade TIN (Triangular Irregular Network), que se trata de uma estrutura de grade triangular do tipo vetorial que possibilita a representação de uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas (Silva e Rodrigues, 2009). A partir de tal produto é aplicada a

ferramenta *slope* para geração da carta clinográfica, sendo definidas as classes de declividade (tabela 01) adotadas de acordo com os objetivos da pesquisa.

Tabela 01 – Classes de declividade utilizadas para a bacia do Córrego Tucunzinho.

Classes de Declividade	Cores
< 5%	Verde
5% — 15%	Amarelo
15% — 30%	Laranja
30% — 45%	Vermelho
> 45%	Marrom

A classe de 15% a 30% foi estabelecida seguindo o parâmetro ambiental expresso na Lei Federal 6766/79 (Lei Lehmann) que aponta o limite máximo de 30% para a urbanização. A declividade de 15% corresponde ao limite máximo para uso de alguns equipamentos agrícolas, sendo enquadrada na classe de 5% a 15%. Em relação à classe < 5%, cabe ressaltar que optou-se pela sua generalização, uma vez que esta poderia ainda ser dividida em função da declividade de 2%, a qual expressa áreas passíveis de inundação, inexistentes na área estudada. As demais classes foram estabelecidas com base na análise prévia das características topográficas da bacia, de acordo com os pressupostos de De Biasi (1992), visando à representação da declividade mais adequada aos objetivos deste estudo.

4.2 Mapeamento topográfico de detalhe

A escolha de uma escala adequada para representar cartograficamente os dados resultantes de técnicas experimentais constitui-se em fator chave para a análise ambiental. Neste estudo considerou-se que a escala de 1:2000 fornece o detalhamento topográfico mais compatível aos objetivos propostos. A elaboração de uma base topográfica em tal escala se processou em duas etapas: a primeira referente ao levantamento topográfico em campo e a segunda à elaboração da base em meio digital.

A técnica para o levantamento topográfico da área consistiu na coleta de dados utilizando-se de um Teodolito ZEISS THEO 010A, por meio do qual foi possível a obtenção de uma malha de pontos satisfatória ao mapeamento planialtimétrico da área (figura 05). O georreferenciamento dos pontos se deu a partir da leitura com GPS de precisão de um único

ponto, sendo os demais amarrados a este pela relação geométrica obtida das estações do teodolito.

Fig. 05 – Leitura com teodolito no rebordo da voçoroca do córrego Tucunzinho.



A elaboração da Carta Topográfica da área se deu a partir do processamento dos dados coletados em campo no software Microsoft Office Excel 2007, seguido da inserção dos pontos no software ArcGIS 9.2. Foi então realizada a interpolação a partir de métodos geoestatísticos entre os pontos coletados e as curvas de nível obtidas através da digitalização da carta topográfica preexistente da área, em escala de 1:10000, o que possibilitou a extração das curvas com equidistância de 2 metros, gerando a carta na escala de 1:2000. O procedimento referido foi adaptado de Borges (1977, apud BARBOSA, 2010).

4.3 Quantificação e mapeamento das taxas de infiltração

O conhecimento acerca da dinâmica da água que infiltra nos solos é de total relevância, sobretudo pela necessidade de se compreender de que forma tal comportamento se relaciona com os demais processos atuantes na área estudada. A taxa de infiltração representa a velocidade que a água penetra no solo e constitui um dado que reflete, indiretamente, a estrutura e o grau de compactação deste. No presente estudo procurou-se comparar as taxas de infiltração entre os diferentes pontos da bacia.

Para a obtenção das taxas de infiltração foram realizados experimentos com infiltrômetros, distribuídos pela área a fim de obter dados espacializados desse parâmetro. Tal procedimento efetuou-se em duas etapas: a primeira relativa à coleta de dados em campo e a segunda ao cálculo dos dados coletados.

A coleta de dados foi feita utilizando-se o infiltrômetro de Hills (1970, apud GUERRA, 2002), que consiste num tubo de PVC de 100 mm de diâmetro por 150 mm de

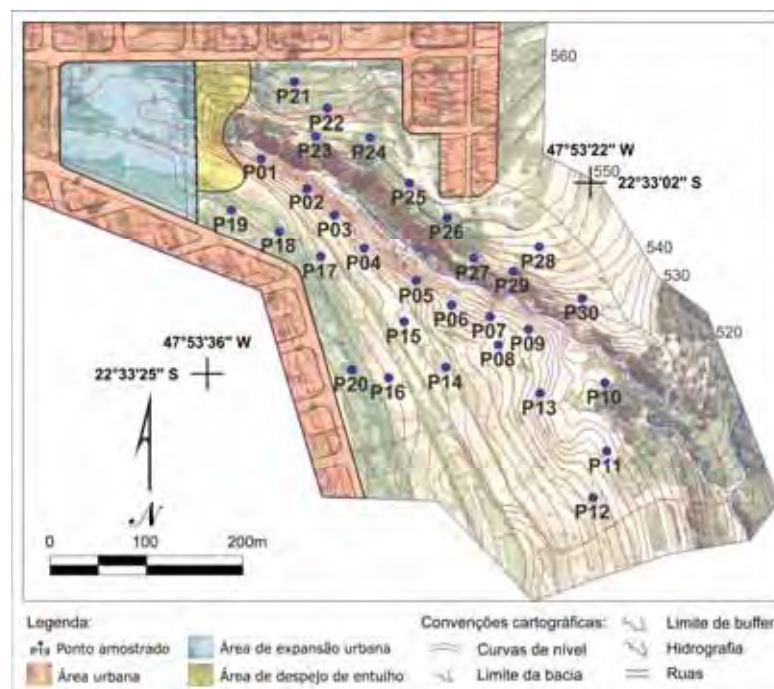
comprimento. O tubo contém em sua parede interna uma régua graduada, e é introduzido no solo de maneira que fique com um terço de seu comprimento enterrado. Em seguida é preenchido com água e então se realiza a leitura do tempo que leva para que ocorra sua infiltração completa, marcando os níveis a cada 30 segundos nas primeiras medições e a cada um minuto nas precedentes (figura 06).

Fig. 06 – Medição da infiltração com o uso do infiltrômetro de Hills (1970, apud GUERRA, 2002).



Estipularam-se dois períodos para a coleta dos dados de infiltração: o período de chuvas (verão) e o período de estiagem (inverno). O primeiro foi realizado no mês de fevereiro de 2010 e o segundo no mês de julho de 2010. Foram realizadas 30 amostragens em pontos espalhados ao longo das vertentes do córrego Tucunzinho. A figura 07 apresenta a localização dos pontos de amostragem em relação à base topográfica em escala de 1:2000.

Fig. 07 – Pontos de amostragem da infiltração no contexto topográfico da área.



Foi delimitada apenas uma parte da área total da bacia, que é aquela onde os processos de erosão mostram-se mais dinâmicos. Alguns setores que não foram considerados na distribuição dos pontos de amostragem encontram-se identificados na figura 07, sendo estes a área urbana (contendo 2/3 da área total da bacia), a área de expansão urbana, onde se encontram obras de terraplanagem em execução, e a área utilizada como bolsão de entulho, que engloba as cabeceiras da voçoroca. Considerou-se que a área urbanizada da bacia não apresenta valores relevantes ao experimento em questão, dado o alto índice de impermeabilização neste setor. A área de expansão urbana e o bolsão de entulho estão continuamente tendo seus materiais superficiais remobilizados, o que torna a realização de experimentos nesses locais praticamente inviável. Crê-se que os pontos amostrados são os que apresentam maior relevância para as análises propostas neste trabalho.

Os cálculos de infiltração foram feitos a partir da proposta de Guerra (2002), que sugere a elaboração de gráficos contendo as curvas de infiltração e adota a seguinte fórmula:

$$I = \pi r^2.h$$

Onde:

I = Taxa de infiltração em mm;

πr^2 = Área da seção do tubo;

h = Altura da lâmina d'água.

A fórmula é aplicada para cada instante de tempo registrado, obtendo-se com isso a taxa de infiltração em mm/s para cada ponto amostrado. Em seguida, visando representar espacialmente as características de infiltração da bacia, foi calculada a Taxa de Infiltração média, obtida conforme a fórmula:

$$TI = Vol/t$$

Onde:

TI = Taxa de Infiltração Média em $cm^3/min.$;

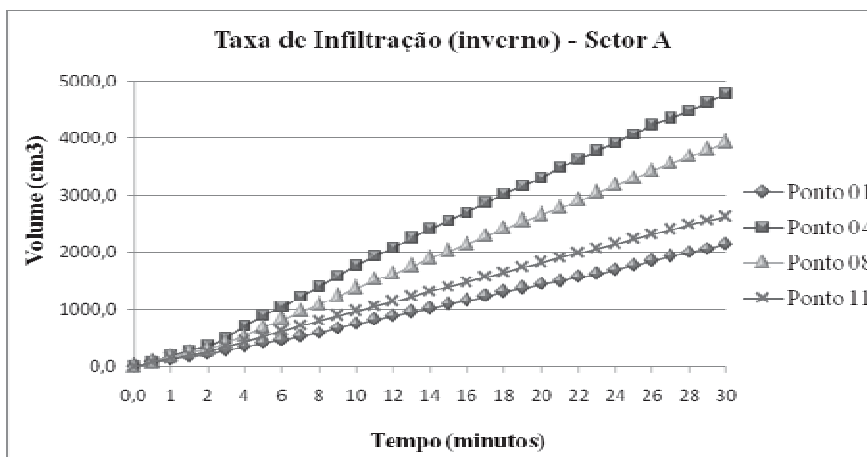
Vol = Volume total infiltrado durante todo o experimento;

t = Duração do experimento (no caso 30 minutos).

Tendo os dados tabelados e as taxas de infiltração devidamente calculadas foram elaborados gráficos apresentando a curva de infiltração para três setores do relevo da bacia do córrego Tucunzinho. O primeiro setor, denominado A, apresenta os dados obtidos nos pontos 01, 04, 08 e 11, todos posicionados nas proximidades do talude erosivo na vertente sudoeste da bacia e em seqüência de montante para jusante. O setor B refere-se às porções mais

elevadas da mesma vertente, sendo representado pelos pontos 18, 14 e 12, seguindo da alta para baixa vertente a partir do ponto 18. Já o setor C refere-se à vertente nordeste da bacia, representado pelos pontos 22, 26 e 30, que também apresentam diferença altimétrica decrescente do menor para o maior. A figura 08 exemplifica a forma de apresentação dos resultados através do gráfico com as curvas de infiltração.

Fig. 08 – Gráfico das curvas de infiltração do setor A para o período úmido.



A fim de conhecer a expressão espacial do fenômeno, ou seja, a variação do comportamento da infiltração para a área delimitada foi necessário recorrer a métodos geoestatísticos, através dos quais dados pontuais, com coordenadas conhecidas, são utilizados para estimar superfícies contínuas. O método geoestatístico utilizado neste processo foi o da Krigagem em que cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas. Para tanto, utilizou-se um estimador estatístico no programa Surfer 8. O procedimento adotado neste programa encontra-se descrito em Landim et al (2002). Como resultados foram gerados os mapas das taxas de infiltração para os dois períodos já mencionados.

Uma vez que a amostragem dos dados de infiltração foi realizada apenas nas áreas adjacentes às formas erosivas, delimitou-se essa área como recorte para a representação cartográfica.

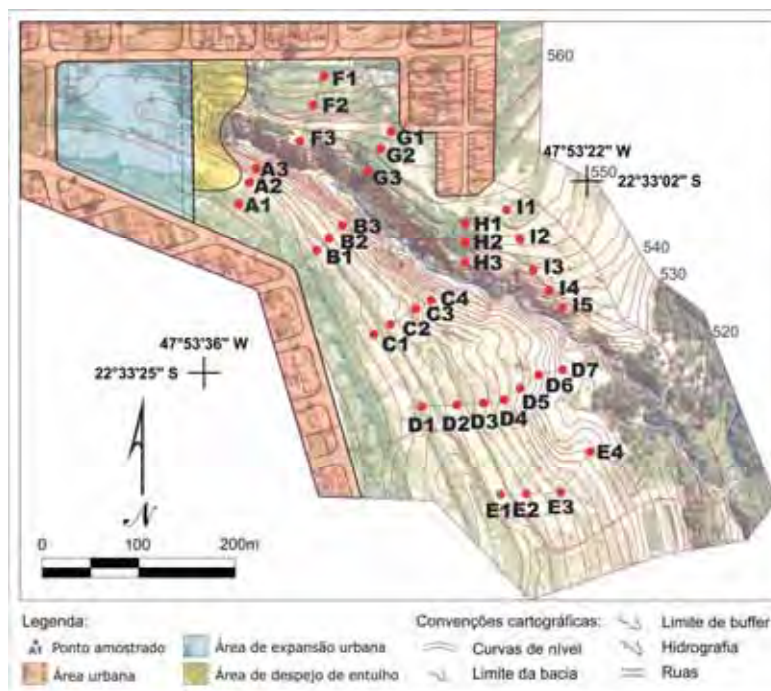
4.4 Quantificação e mapeamento das características granulométricas de superfície

A textura dos solos trata-se de um atributo que responde em grande medida pelo comportamento da infiltração, pois expressa a distribuição das partículas primárias do solo (areia, silte e argila), sendo determinada através da análise granulométrica. A análise das

diferenças texturais constatadas numa área contribui na elucidação dos processos morfo genéticos que atuam na mesma.

A obtenção dos dados granulométricos da área estudada se processou em duas etapas: a primeira referente à coleta das amostras e a segunda à análise propriamente dita. Para coleta dos solos foi estabelecida uma malha de pontos amostrais coerente com o experimento de quantificação da infiltração já mencionado e com as características topográficas da área, tendo sido estabelecidos 9 segmentos ao longo das vertentes. Optou-se pela amostragem somente da área da bacia correspondente ao setor onde se encontram as formas erosivas, mais precisamente as vertentes não urbanizadas que bordejam a voçoroca do córrego Tucunzinho. Tal como para a infiltração, não se considerou relevante a amostragem nos setores urbanizados da bacia, e nas áreas de intervenção recente tal amostragem era inviável, conforme já mencionado. A figura 09 apresenta a malha de pontos amostrais estabelecida.

Fig. 09 – Pontos de amostragem dos solos no contexto topográfico da área.



A coleta das amostras de solo foi feita por meio da gradagem, tendo se estabelecido a profundidade de 10 cm para o início da retirada da amostra. Tendo como base as considerações de Oliveira (1999) acerca das características texturais dos solos que ocorrem na área e observando as coberturas in situ, considerou-se que a camada entre 10 e 30 cm de profundidade corresponde à porção superficial, a qual se enquadra nos objetivos de análise deste estudo.

É importante ressaltar que grande parte da área estudada foi submetida a inúmeras intervenções antrópicas. Por essa razão, neste trabalho o emprego do conceito de solo não se refere à sua definição *stricto sensu*, uma vez que implica num atributo físico de características específicas dentre os quais se destaca a estrutura, que nos solos da área se mostra completamente distinta em relação a locais não submetidos a intervenções. Daí resulta que não haja referência a horizontes, ou outras características típicas da estrutura dos solos.

Empregou-se para a análise granulométrica das amostras o método do densímetro, conforme as orientações contidas em Camargo (2009). O procedimento é efetuado conforme se segue:

1. Separação de 50 g de amostra (peso bruto) e agitação junto de uma solução dispersante por até 12 h no agitador Wiegner;
2. Peneiramento da amostra para separação da fração areia grossa (malha de 0,053 mm);
3. Transferência para proveta de 1L e complementação com água destilada;
4. Agitação manual com êmbolo e leitura com o densímetro após 30 s;
5. Leitura com densímetro após 4h de descanso da amostra.

A primeira leitura equivale à porção argila + silte, enquanto a segunda se refere à fração argila. São ainda realizados procedimentos complementares tais como a medição da temperatura da amostra nos dois momentos do ensaio, a qual introduz um dado de correção por meio de tabelas específicas e a leitura de uma amostra em branco com o densímetro, ou seja, a mensuração da densidade do meio aquoso com os dispersantes. Outro elemento refere-se à umidade presente nas amostras, o que pode ser corrigido calculando-se o fator F. Quanto a isso se optou pela secagem das amostras em estufa a 100° C por até 12 h.

As frações granulométricas das partículas sólidas do solo em porcentagem são calculadas a partir das seguintes equações:

- Argila = Valor convertido da leitura II \pm correção da temperatura (- 3);
- Silte = Valor convertido da leitura I \pm correção da temperatura - (porcentagem de argila - 3);
- Areia grossa = peso da areia grossa \times 5;
- Areia fina = 100 - (somatória das porcentagens das demais frações).

Os dados obtidos foram calculados utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007, gerando as tabelas referentes às porcentagens das frações granulométricas para cada ponto amostrado.

Ressalta-se que o método em questão, apesar de mais simples, apresenta resultados satisfatórios na avaliação granulométrica de amostras deformadas, conforme atestado por Klute (1986). Uma vez que havia maior disponibilidade de equipamentos para realização deste procedimento, cedidos pelo LAGEA (Laboratório de Geoquímica Ambiental – UNESP Rio Claro), optou-se por este método, o qual atende aos objetivos deste trabalho. Nesse sentido convém destacar que a uniformidade das características texturais da área estudada, em que há o predomínio da fração areia, constitui por si só razão suficiente para a escolha desse método.

O mapeamento das diferenças texturais obtidas pelas porcentagens das frações de partículas primárias se processou por meio da análise geoestatística realizada através do método da krigagem, utilizando-se para tanto o programa Surfer 8. Tal procedimento resultou nos mapas das porcentagens de areia grossa e areia fina da área. As frações silte e argila não foram mapeadas devido à sua porcentagem ser incipiente, sendo considerada pouco representativa na análise textural em questão.

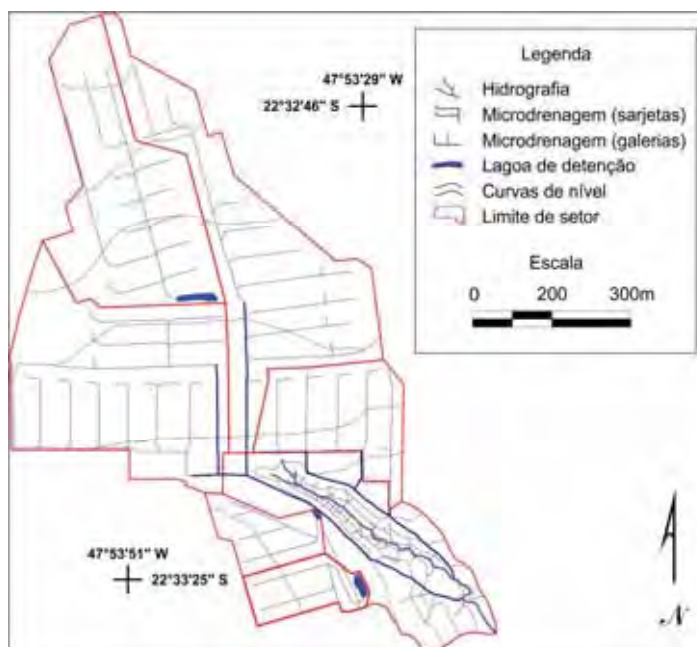
4.5 Mapeamento das condições de escoamento superficial (Flow)

O comportamento da água do escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanizadas deve ser considerado na orientação do uso do espaço e do desenho urbano, bem como em propostas visando a remediação de problemas resultantes da expansão urbana sem o planejamento adequado. O mapeamento das condições desse escoamento constitui uma ferramenta de grande valia nesse sentido.

Foi elaborado através dos SIGs ArcGIS 9.2 e ArcView 3.2 um mapa das condições de escoamento da bacia, gerado a partir da técnica sugerida por Fontes (2009), fundamentada nos procedimentos apontados por Schauble (2004), que utiliza o método de “fluxo múltiplo”, também descrito como “fluxo acumulado”, para calcular as áreas de contribuição ou áreas drenadas à montante da bacia com base no parâmetro declividade que é uma das principais variáveis-controle na determinação de zonas de saturação. Através deste método é possível gerar uma espacialização das áreas de contribuição que corresponde à tendência do percurso do escoamento.

Objetivando um resultado coerente com as características do terreno observadas *in loco*, procedeu-se a uma série de ajustes na base topográfica da área, a qual foi acrescida dos traçados da rede de microdrenagem urbana (sarjetas, galerias e junções), que representam os caminhos preferenciais da água do escoamento. Devido às peculiaridades da drenagem urbana na área, dentre as quais se destacam a ocorrência de bacias de retenção e galerias pluviais, cujo traçado se dá paralelo aos taludes erosivos, foi necessária a compartimentação da bacia em setores atentando para a área de contribuição de cada um e seu exutório. Tal procedimento foi considerado de suma importância uma vez que o escoamento pluvial na bacia encontra-se “disciplinado” pelos equipamentos mencionados, conforme pode ser identificado na figura 10.

Fig. 10 – Compartimentação da área em setores e elementos da rede de microdrenagem.



Para elaboração do referido mapeamento é necessária a obtenção de um Modelo Digital de Elevação (MDE), que deve ser concebido com uma resolução em escala de detalhe. Para tanto, utilizou-se da ferramenta *Topo to raster*, componente do *Spatial Analyst* do software ArcGIS 9.2, que tem como atributo a interpolação de diversos dados da superfície, tais como as curvas de nível, pontos cotados, cursos d'água, bacias de retenção, entre outros elementos, gerando uma superfície de relevo com o máximo detalhamento possível. O procedimento referido foi aplicado para cada setor da área gerando o MDE correspondente que foi salvo em formato *grid* em uma pasta localizada na raiz do computador (C:); quanto à isso, ressalta-se que é necessária essa localização do arquivo a fim de realizar os passos subsequentes. O MDE foi gerado com células de 2x2m, que compreende uma resolução satisfatória para a bacia estudada.

Em seguida, o arquivo grid é inserido no software ArcView 3.2, que deve ser provido da componente *Spatial Analyst* e da ferramenta *Hydrotools*. Através desta última são realizadas as operações de correção do MDE e cálculo do Fluxo Acumulado (*Accumulation Flow*), optando-se pelo método de fluxo múltiplo, definido na janela da ferramenta. O resultado obtido foi então salvo em formato *grid* novamente, a fim de ser exportado para o software ArcGIS 9.2, no qual foram integrados os resultados de cada setor montando o mosaico da área.

As classes geradas pelo programa se apresentam com valores em pixel, na escala de 0 a 5000, devendo ser convertidas em m² para a legenda. A resolução espacial de 2x2m obtida na elaboração do MDE define que cada pixel tenha uma área de 4m², assim, a escala convertida apresenta-se com valores de 0 a 20000 m². Buscando uma representação adequada aos objetivos desse trabalho foram testados visualmente diversos intervalos de classes, cada qual se referindo à área de contribuição em m². A classificação dos dados em 7 intervalos foi a que apresentou melhor resultado, no qual se tornam nítidos os pontos de acumulação, ou concentração, do escoamento que já haviam sido reconhecidos em campo.

4.6 Modelagem hidrológica da bacia

Visando avaliar o comportamento hidrológico da bacia e simular diferentes cenários de uso e ocupação, foram realizados estudos a partir da aplicação de um modelo precipitação-vazão. Optou-se pelo modelo apresentado pelo Soil Conservation Service (SCS), de acordo com as orientações de Porto (1995), segundo o qual é feita a separação de escoamento considerando os atributos físicos da bacia e os diferentes tipos de uso e ocupação. Tucci (1998) aponta que o modelo SCS tem sido amplamente utilizado em virtude de duas características: “i) reduzido número de parâmetros; ii) relação entre os parâmetros e características físicas da bacia” (p. 278). São encontradas na bibliografia diversas referências em torno do modelo em questão (BRAGA et al, 2007; MORUZZI et al, 2009a, 2009b; TUCCI, 1998) apresentando resultados satisfatórios para a obtenção de dados hidrológicos em bacias hidrográficas.

A aquisição e o tratamento dos dados hidrológicos se realizaram pelo uso do *software* IPHS2, de acordo com as orientações de Tucci (1989), cujo princípio se baseia na modelagem de dados de precipitação correlacionados aos demais atributos da bacia de acordo com o método SCS referido. Para tanto, torna-se necessário definir os valores dos parâmetros que

servirão de entrada ao modelo, o que compreende os dados pluviométricos, os atributos físicos da bacia e as características de uso e ocupação.

Para a conversão chuva-vazão em geral são utilizadas séries históricas de dados pluviométricos, das quais se extrai, mediante cálculos específicos, os valores das vazões de projeto para diferentes durações e períodos de recorrência, o que corresponde ao pico dos deflúvios associado a uma precipitação crítica e a um determinado risco assumido. A ausência de dados pluviométricos ou mesmo a inconsistência de dados pode ser suprida utilizando-se curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) obtidas por meio de softwares que realizam a interpolação e ponderação entre dados pluviométricos de diversos postos. Neste trabalho foram utilizadas as curvas IDF do município de São Pedro (SP), obtidas do programa Pluvio 2.1, cuja interpolação é realizada através do “Método do Inverso da Quinta Potência da Distância”, considerando as informações de todas as localidades em que a equação de Intensidade-Duração-Frequência da precipitação é conhecida, em vários estados brasileiros.

Os dados de uso da terra foram obtidos por meio de fotointerpretação utilizando-se da fotografia aérea do ano de 2006 (BASE AEROFOTOGRAMETRIA SA), a qual foi inserida na base topográfica da área, sendo georreferenciada a partir de pontos de controle levantados em campo. Foi então elaborada a Carta de Uso da Terra da bacia do córrego Tucunzinho, utilizando-se do programa AutoCAD 2004. A soma dos polígonos de cada área de acordo com o uso da terra foi convertida em valores de porcentagem a fim de servir como entrada no modelo IPHS2.

Outro fator que é considerado no modelo refere-se às características dos solos, mais precisamente às condições de umidade antecedente e ao grupo hidrológico, definidos por meio de tabelas contidas em Porto (1995), Tucci (1998), entre outros. Para este trabalho optou-se pela simulação em condições médias de umidade. Quanto ao grupo hidrológico, identificou-se o grupo B como sendo o único ocorrente na bacia, uma vez que a análise das características texturais (referida no item 5.4) permitiu tal identificação, além da constatação de que ocorre pouca variabilidade nas características dos solos da área. A definição desta classe, de acordo com tabela apresentada por Moruzzi et al (2009) é apresentada como:

Grupo B - Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial (MORUZZI, et al, 2009, pg. 05).

Alguns dados morfométricos são também inseridos ou calculados no programa IPHS2. A declividade média do terreno em porcentagem foi obtida automaticamente através do MDE da área, elaborado conforme consta no item 5.5. A declividade do canal, utilizada para o cálculo do tempo de concentração (TC) é obtida no próprio IPHS2 a partir de dados de comprimento da drenagem e cota altimétrica da nascente e foz do canal.

Em seguida foram definidos os valores do parâmetro CN (Curva Número – curvas indicativas da influência do complexo solo-vegetação na definição da precipitação efetiva) de acordo com tabelas apresentadas pela Soil Conservation Service e referidas por diversos autores (PORTO, 1995; TUCCI, 1998; MORUZZI et al, 2009). O valor de CN definido em função do uso da terra e da classe hidrológica retrata:

as condições de cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito permeável até uma cobertura completamente impermeável (limite superior) e de um solo com grande capacidade de infiltração para um de baixa infiltração (TUCCI, 1998, pg.279).

Neste trabalho foram adotados os valores de CN de acordo com as tabelas referidas, acrescidos de algumas adaptações. A tabela 02 apresenta tais valores.

Tabela 02 – Parâmetros CN adotados na bacia do córrego Tucunzinho.

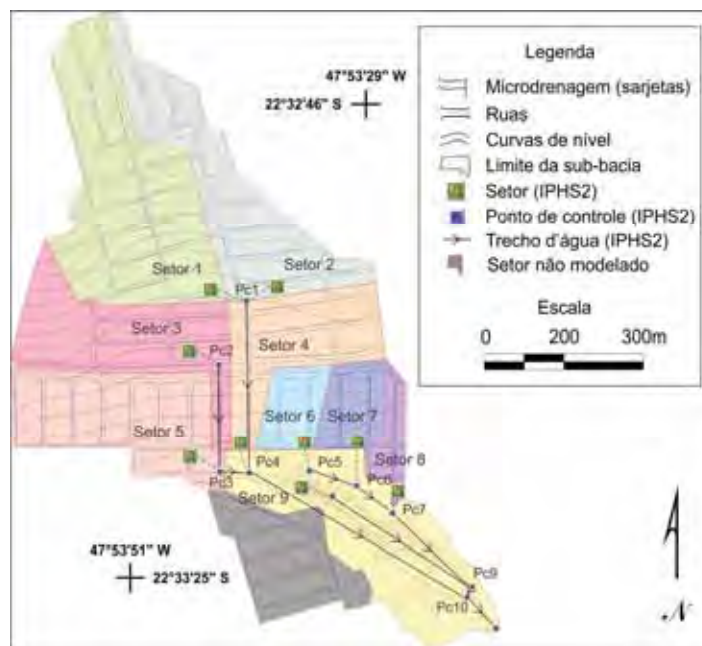
Descrição do uso do solo	Características	CN
Uso residencial (lotes até 500 m ²)	65% da área é impermeável	85
Uso institucional (lote > que 500 m ²)	38% da área é impermeável	75
Espaços abertos	Matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área	61
Ruas e estradas	Pavimentadas e com drenagem pluvial	98
Áreas degradadas	Pastagens pobres (solo exposto e erosões)	67
Cerrado	Florestas normais	60

O termo “Uso institucional” refere-se a terrenos com lote superior a 1000 m² que tem como característica apresentarem 38% de sua área impermeabilizada. Nas tabelas contidas na bibliografia não consta essa classe, que na área estudada é representada por uma creche e um ginásio de esportes. Assim, foi adotado o valor correspondente à classe que indica áreas residenciais com as mesmas características referidas. Quanto ao termo “cerrado”, corresponde ao que é definido como “florestas normais”, enquanto “áreas degradadas” se enquadra na classificação “pastagens pobres” uma vez que grande parte da área considerada degradada, ou

seja, aquela onde se situam as formas erosivas e seu entorno, possui cobertura por gramíneas, sendo parte utilizada como pastagem para gado bovino (12,6 %) e o restante coberturas rasteiras, as quais embora apresentando-se esparsas, podem ser enquadradas na classificação referida.

Tendo sido definidos os parâmetros a ser inseridos no programa IPHS2, procedeu-se à aplicação do modelo propriamente dito. Dessa forma, visando ao refinamento do modelo e sua adequação aos objetivos do trabalho, a bacia do córrego Tucunzinho foi discretizada em 9 setores, definidos de acordo com as características da malha urbana, os equipamentos hidráulicos existentes e os resultados obtidos pelo mapeamento das condições de escoamento (Flow), referido no item 5.5, o qual orientou a discretização. A figura 11 apresenta o esquema elaborado no IPHS2.

Fig. 11 – Discretização da bacia do córrego Tucunzinho no programa IPHS2.



Dois outros setores resultantes da discretização da área foram desconsiderados na modelagem hidrológica da bacia devido ao fato de terem como exutório bacias de detenção que não estão ligadas ao canal principal. Tais áreas (destacadas na figura com a cor cinza), portanto, estão isoladas do restante da bacia em termos de escoamento superficial. Entretanto, cabe ressaltar que as bacias de detenção mencionadas não são impermeabilizadas, o que resulta numa contribuição significativa à vazão do córrego Tucunzinho, ocorrente através da percolação da água e seu deflúvio subterrâneo. Contudo, não coube a este trabalho a

quantificação e modelagem hidrológica de tais processos, tendo sido feitas apenas análises qualitativas dos mesmos, com base em observações de campo.

A partir da elaboração do esquema apresentado são inseridos os dados no contexto de cada um dos elementos existentes na área, que são os Setores, os Pontos de Controle e os Trechos d'água. Alguns dos dados referidos encontram-se apresentados na tabela 03 que apresenta as características dos setores pertencentes à bacia do córrego Tucunzinho, as quais constituem alguns dos parâmetros de entrada no modelo.

Tabela 03 – Características dos setores discretizados do córrego Tucunzinho.

Setor	Área (Km²)	Declive do terreno (%)	Declive do canal (%)	Uso e ocupação
1	0,187	2,87	4,65	52% Uso residencial (lotes até 500m ²) 29% Espaços abertos 19% Ruas pavimentadas
2	0,128	2,26	3,79	46% Uso residencial (lotes até 500m ²) 34% Espaços abertos 20% Ruas pavimentadas
3	0,113	2,39	3,02	53% Uso residencial (lotes até 500m ²) 28% Espaços abertos 19% Ruas pavimentadas
4	0,087	2,14	3,35	59% Uso residencial (lotes até 500m ²) 1% Uso institucional (lote > que 500 m ²) 11% Espaços abertos 29% Ruas pavimentadas
5	0,118	2,40	2,31	63% Uso residencial (lotes até 500m ²) 2% Uso institucional (lote > que 500 m ²) 12% Espaços abertos 23% Ruas pavimentadas
6	0,031	3,21	6,24	61% Uso residencial (lotes até 500m ²) 16% Espaços abertos 23% Ruas pavimentadas
7	0,034	3,97	7,21	56% Uso residencial (lotes até 500m ²) 23% Espaços abertos 21% Ruas pavimentadas
8	0,021	4,34	6,35	68% Uso residencial (lotes até 500m ²) 6% Espaços abertos 2% Áreas degradadas 24% Ruas pavimentadas
9	0,150	11,94	4,81	1% Uso residencial (lotes até 500m ²) 14% Espaços abertos 79% Áreas degradadas 1% Ruas pavimentadas 5% Cerrado

A simulação das condições para o cenário pré-ocupação se deu mediante a mudança do parâmetro CN. Assim foram obtidos os hidrogramas para cada setor em diferentes cenários, resultando em dados imprescindíveis às análises hidrológicas propostas neste trabalho

4.7 Monitoramento do avanço erosivo

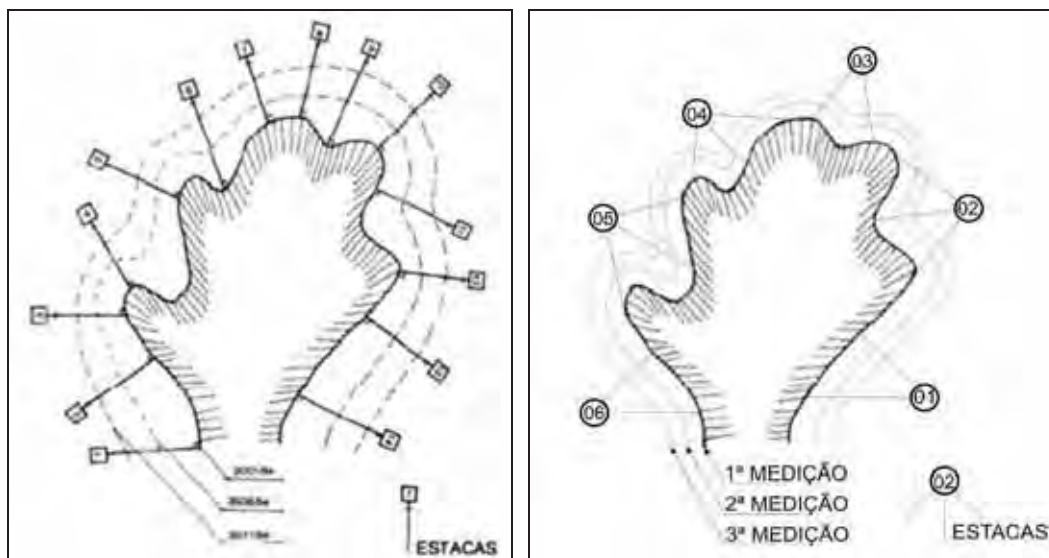
A técnica empregada para o monitoramento das formas erosivas foi o estaqueamento com pinos sugerido por Guerra (1996), segundo o qual são instaladas, a uma determinada distância do rebordo erosivo, estacas que servem de pontos a partir dos quais se efetua a medição periódica do talude. O citado autor orienta que tais estacas podem ser feitas de madeira e devem ser enterradas no solo em até 30 centímetros de profundidade, evitando com isso sua remoção ou movimentação, deixando-se exposto, contudo, pelo menos 10 centímetros. O posicionamento das estacas, bem como a distância entre estas pode variar de acordo com as formas a serem mensuradas e o perímetro da área afetada. Uma vez instaladas as estacas deve-se fazer um esquema da distribuição espacial das mesmas e em seguida proceder à medição sistemática da distância entre estas e o rebordo da forma erosiva, repetindo o procedimento a cada quatro ou seis meses, a depender do comportamento observado e dos objetivos do trabalho.

Dessa forma, procedeu-se a implantação das estacas na bacia do córrego Tucunzinho de acordo com as recomendações de Guerra (1996), já citadas. O material utilizado para tanto foram estacas de ferro, tipo vergalhão da construção civil, com as dimensões de 40 centímetros de comprimento por 10 mm de diâmetro. As estacas foram implantadas na área pregadas diretamente no solo, a uma distância variável do rebordo erosivo, sendo que a distância entre estas variou de acordo com as formas a serem medidas, ou seja, as reentrâncias e festões do talude da voçoroca.

Foram feitas adaptações à técnica visando o melhor aproveitamento dos materiais e uma leitura dos dados que pudesse ser satisfatória para o monitoramento referido. A mais notável adaptação refere-se à utilização de uma única estaca para a realização de três medidas do rebordo erosivo. Segundo o citado autor, as medições devem estar orientadas perpendicularmente ao rebordo erosivo. No caso da adaptação sugerida uma das medições é orientada conforme a proposta do autor e duas mais são executadas, sendo direcionadas a um ângulo de 45° em relação à primeira medida, uma à esquerda e outra à direita. Ambas as medições secundárias ocorrem mediante o tangenciamento do rebordo erosivo, ou seja, não se

encontram perpendiculares à linha do talude. Considerou-se que tais medidas secundárias serviram ao objetivo de monitorar o avanço da frente erosiva mesmo encontrando-se em relação angular distinta daquela sugerida na bibliografia. As figuras 12a e 12b apresentam a técnica sugerida por Guerra (1996) e a técnica implementada no presente caso.

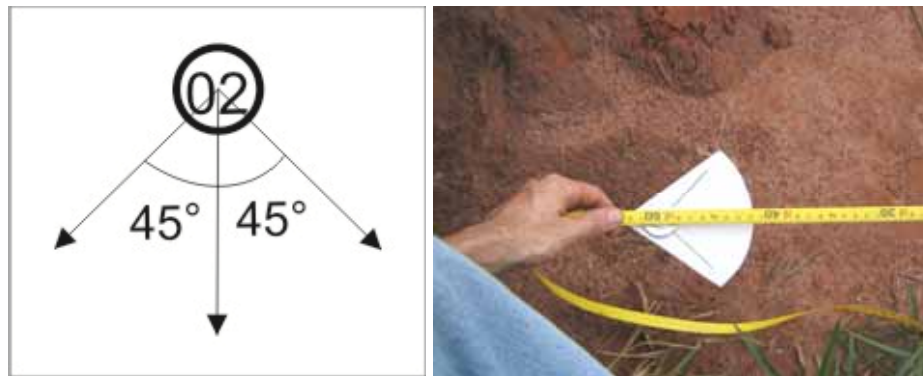
Fig. 12a e 12b – Técnica sugerida por Guerra (1996) e adaptação implementada no presente estudo, respectivamente.



(Fonte da figura 12a: GUERRA, 1996).

A relação geométrica e espacial entre todas as medidas efetuadas foi orientada pelo uso de uma bússola e uma trena flexível. Assim, entre cada estaca efetuou-se a medida da distância e do ângulo em relação ao norte magnético, sendo este o marco zero da bússola. As medições do rebordo erosivo a partir das estacas, obedecendo às adaptações à técnica sugerida por Guerra (1996), foram acrescidas do uso de um gabarito (figuras 13a e 13b) que teve como função agilizar o trabalho. Dessa forma, mediu-se o ângulo da bússola apenas na medida central do gabarito, pois as outras medidas foram orientadas pelos traços do mesmo, direcionados a 45° da medida central.

Fig. 13a e 13b – Esquema do gabarito utilizado para obtenção de duas medidas a mais a partir de uma medida central e exemplo de seu uso em campo, respectivamente.



Em algumas situações foi necessário o incremento de ângulos diferenciados em relação ao esquema do gabarito, pois as formas erosivas não obedecem a nenhum rigor geométrico. Nesse caso foram efetuadas apenas duas medições, a 45° uma da outra, ou ainda em ângulos distintos, mas nessas ocasiões específicas procedeu-se à leitura do sentido das medições em relação ao norte da bússola, tendo sido anotados na caderneta de campo sistematicamente. As figuras 14a e 14b apresentam algumas etapas dos procedimentos descritos.

Fig. 14a e 14b - Medição perpendicular ao rebordo erosivo e medição a 45° com o uso do gabarito, respectivamente.



As primeiras medições foram efetuadas no momento da implantação das estacas que ocorreu no segundo semestre do ano de 2009. As demais medições ocorreram a cada 6 meses, de acordo com o plano de trabalho, tendo sido concluídas na primeiro semestre de 2011.

O monitoramento em questão resultou na elaboração de um croqui da voçoroca do córrego Tucunzinho, elaborado sobre uma base georreferenciada no programa AutoCAD

2011. Nesse croqui foram inseridos os pontos de controle das medições e os segmentos orientados de acordo com seu ângulo em relação ao norte magnético. Foi então desenhado o contorno representando o rebordo erosivo em cada período no qual se realizou as medições. Alguns pequenos setores não monitorados tiveram sua inserção no croqui estimada com base nas medidas mais próximas, assim o contorno que representa o rebordo é apresentado como uma linha contínua. Foram destacados no croqui os pontos onde se observa um avanço mais expressivo da erosão através de recortes em que o contorno referido tem sua escala ampliada e é sobreposto a fotografias aéreas tomadas pelo autor em sobrevôo com ultraleve realizado sobre a área.

São também representadas no croqui informações relativas às formas erosivas de retrabalhamento associadas à voçoroca estudada. Trata-se do resultado de um detalhado levantamento no qual as formas em questão (sulcos erosivos, alcovas de regressão, leques de sedimentos e dutos) foram identificadas, fotografadas e medidas em campo. Tal procedimento constituiu a base para a avaliação dos processos de sub-superfície, tendo como destaque a medição dos pipes e verificação dos pontos de afloramento do lençol freático, que são indicativos de forte atividade de processos erosivos comandados pela percolação da água.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

Conforme proposto nos objetivos deste trabalho serão integrados os dados resultantes das técnicas empregadas, a fim de se obter uma análise que sirva de subsídio às propostas de recuperação da área estudada. A análise em questão se norteará pelas diferentes escalas trabalhadas ao longo da pesquisa, ou seja, os dados obtidos para a totalidade da bacia e aqueles que se restringem à área de ocorrência dos processos erosivos.

5.1 Parâmetros hidrogeomorfológicos da bacia do córrego Tucunzinho

Os processos de erosão linear acelerada que ocorrem na bacia do córrego Tucunzinho constituem-se um fenômeno intrínseco ao conjunto de fatores atuantes nessa área que, conforme apontado no capítulo 3, correspondem à predisposição física ao desencadeamento da erosão, agravada pelas interferências antrópicas na paisagem. Destaca-se o avanço da malha urbana ocupando setores do relevo de grande fragilidade, sobretudo as cabeceiras de drenagem, acarretando na descaracterização da paisagem e conseqüente degradação.

Observando-se a Carta Topográfica da bacia do córrego Tucunzinho (figura 15), é possível constatar o posicionamento do referido curso d'água em relação à área urbanizada da bacia, bem como aspectos relevantes acerca do desenho da malha urbana. As ruas dos bairros próximos à voçoroca têm seu traçado orientado no sentido do declive do terreno, direcionando o fluxo do escoamento ao córrego, fato bastante comum nas cidades brasileiras que, conforme apontado no item 4 colabora para o rápido escoamento pluvial, o que contribui no aumento de seu potencial erosivo. A este fato somam-se a pavimentação asfáltica das ruas e o alto grau de impermeabilização representado pela porcentagem de área construída.

Convém ressaltar que a delimitação da área da bacia levou em consideração os setores de contribuição do escoamento pluvial, os quais extrapolam a área de drenagem natural da topografia, ou seja, as linhas de cumeada. Uma vez que as intervenções promovidas pela malha urbana no escoamento superficial resultam em acréscimo ao volume pluvial que drena para o interior da bacia, julgou-se necessário proceder à delimitação da área com base em elementos de microdrenagem identificados em campo. Outro elemento que consta na Carta Topográfica é um buffer de limite, o qual foi introduzido em função das operações para obtenção da Carta de Declividade, a qual será referida mais adiante.

Fig. 15 - Carta Topográfica da bacia do córrego Tucunzinho.

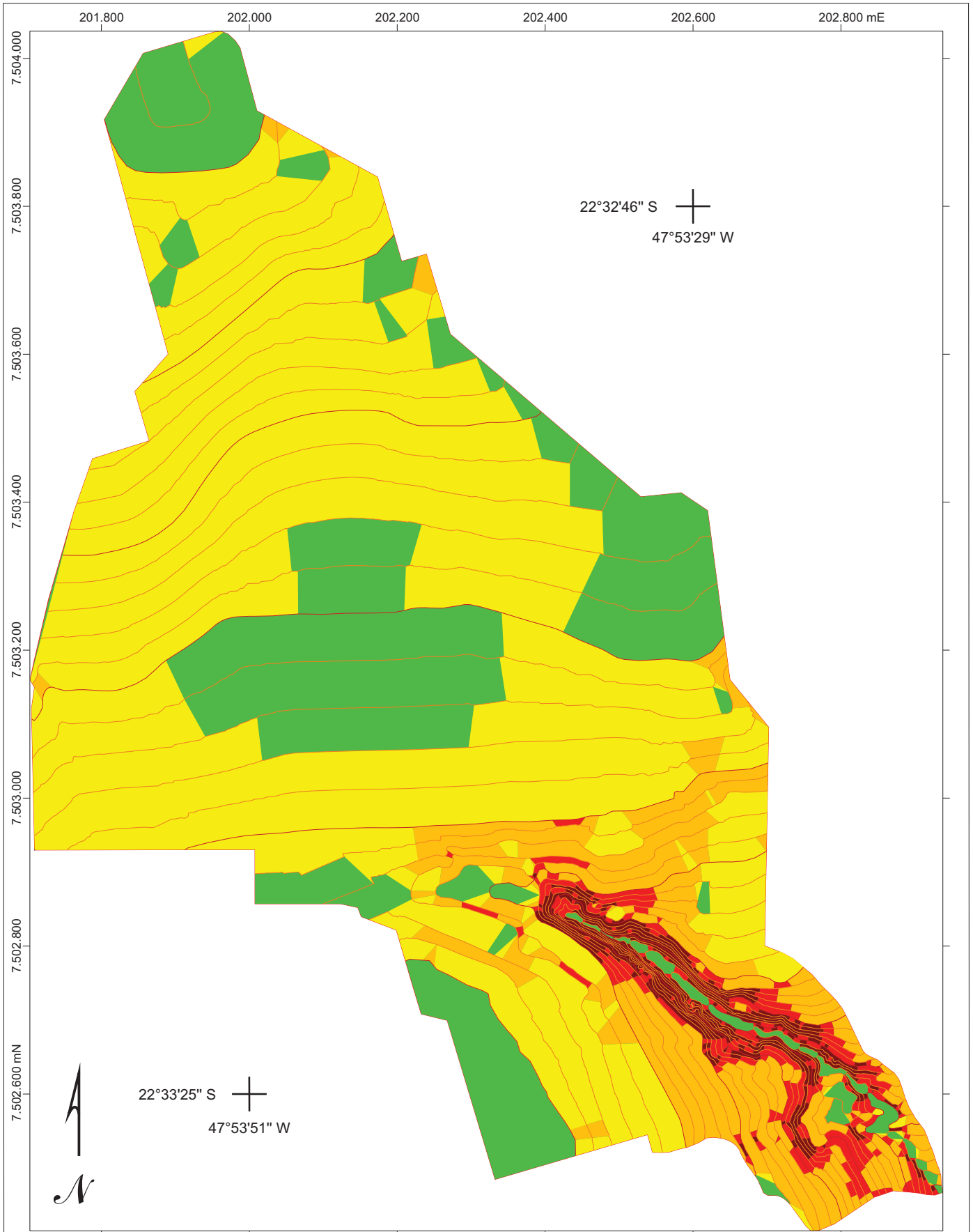


A existência de uma rede de microdrenagem urbana, caracterizada pela presença de galerias pluviais, tal como se encontram detalhadas na Carta Topográfica, corresponde à única medida estrutural que impede o lançamento das águas pluviais diretamente nos setores de cabeceira e médio curso do córrego. Entretanto, tais galerias têm seu emissário posicionado no baixo curso do córrego e, uma vez que representam a somatória das vazões de grande parte da área urbana, atingem esse setor produzindo um notável efeito erosivo remontante, o qual será discutido mais adiante.

Analisando-se os atributos morfométricos e morfográficos da bacia, é relevante apontar que as formas das vertentes caracterizam-se pela mudança brusca de um perfil côncavo retilíneo, que ocorre do topo até a média bacia, para um perfil convexo nas porções da baixa bacia. O expressivo comprimento das vertentes colabora na concentração do volume do fluxo pluvial, cujo potencial erosivo ganha energia a partir da convexização das formas, vindo a ser notável no talvegue, sobretudo nos pontos exutórios da rede de galerias pluviais da área urbana.



Quanto às classes de declividade obtidas na elaboração da Carta Clinográfica da bacia do córrego Tucunzinho (figura 16), identifica-se que a partir dos topos, cujo gradiente clinográfico é menor que 5%, seguem-se vertentes amplas com gradiente entre 5% a 15%, as quais ocupam a maior parte da bacia. A partir da porção inferior da média bacia é notável a ocorrência de uma ruptura topográfica, a partir da qual o declive se acentua atingindo gradiente entre 30% e 45%, para em seguida atingir o nível que marca o rebordo da voçoroca do córrego Tucunzinho. Os setores logo após a ruptura referida constituem-se áreas da vertente com grande fragilidade, no qual a concentração do escoamento de montante tende a produzir efeitos erosivos expressivos. Trata-se, portanto, da área na qual o rebordo da voçoroca progride através de ramificações e abatimentos em nível. A linha que marca o rebordo erosivo constitui-se em uma ruptura topográfica mais proeminente, como naturalmente ocorre em voçorocas de grande porte, atingindo gradientes clinográficos superiores à 45%. Nas porções mais próximas à cabeceira do córrego o desnível do talude erosivo em relação ao fundo chega a 15m. Tal ruptura corresponde à área de maior fragilidade da bacia sofrendo tanto a perda de material pelo escoamento de montante como pelo desabamento motivado pelos processos de sub-superfície resultantes do fenômeno de *piping*, acarretando o avanço da linha do rebordo.

Fig. 16 - Carta Clinográfica da bacia do córrego Tucunzinho.








**CARTA CLINOGRÁFICA
DA BACIA DO CÓRREGO
TUCUNZINHO
SÃO PEDRO (SP)**

Convenções cartográficas:

-  Curvas de nível
-  Limite da bacia

Classes de declividade:

-  < 5%
-  5% - 15%
-  15% - 30%
-  30% - 45%
-  > 45%

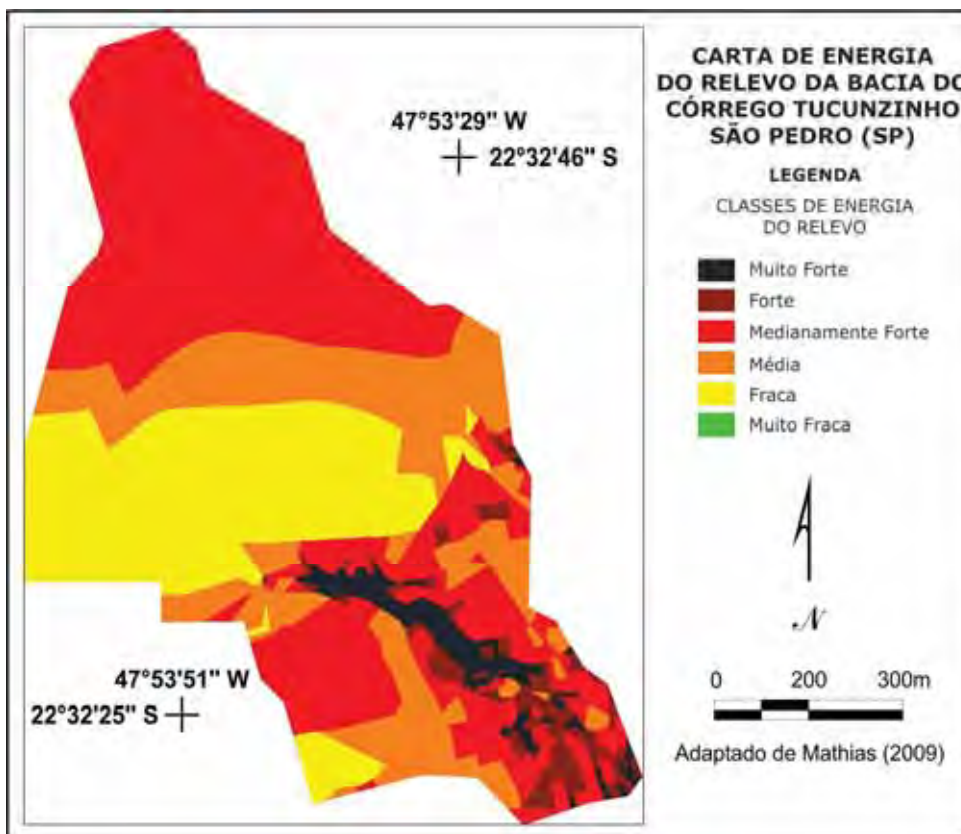
Escala:
0 100 200m

Equidistância das curvas de nível: 2m
Datum: Corrego Alegre - UTM Zona 23S
Elaborado por: DENER TOLEDO MATHIAS

Apoio: 

O potencial do relevo ao desencadeamento dos processos morfogênicos é indicado por Mathias (2009) com base na Carta de Energia do Relevo. A figura 17 apresenta um recorte do referido documento cartográfico, tendo sua escala adaptada às análises deste trabalho.

Fig. 17 – Carta de Energia do Relevo da bacia do córrego Tucunzinho.



Adaptada de Mathias, 2009.

É possível constatar com base na referida carta a predominância da classe de energia do relevo Medianamente Forte, apresentando os setores que correspondem de forma geral às porções das vertentes com gradientes clinográficos entre 15% e 30%. Na alta bacia identifica-se também um setor expressivo sob esta classe, o qual se deve em grande parte aos dados referentes à dissecação vertical. Assim, apesar de tais áreas se constituírem topos relativamente planos, seu desnível em relação ao talvegue permite considerar que as vertentes que se estendem a partir desses topos possuem maior potencialidade de transporte dos sedimentos ocasionada pela componente gravitacional.

Destaca-se igualmente a classe de energia do relevo Muito Forte, sendo correlacionada aos setores de ocorrência das formas erosivas. Ressalta-se que tais características geométricas são apenas indicativas do potencial da área a sofrer o desencadeamento de processos

denudacionais, o que implica a necessidade de se interpretar tais dados em conjunto com os atributos físicos já apontados no capítulo 3, bem como aos dados que se seguirão.

A predominância da urbanização que avança sobre áreas de fragilidade compõe um elemento chave na compreensão da dinâmica erosiva atuante na bacia. A esse respeito convém ressaltar que, com base na bibliografia consultada (SANCHEZ et al 1987; FACINCANI, 1995; CARPI, 1996), as alterações na paisagem dessa região são seculares, tendo como início a supressão da cobertura vegetal original, seguida de diferentes usos da terra em função de ciclos econômicos, com a cultura do café, da cana-de-açúcar e o uso agropastoril. Este último constitui o uso que vem sendo suplantado pelo avanço da urbanização, ocupando áreas em que outrora havia pastagens, conforme pode ser observado nas figuras 18a e 18b que apresentam fotografias aéreas do córrego Tucunzinho dos anos 1962 e 2000.

Fig. 18a e 18b – Fotografias aéreas do córrego Tucunzinho dos anos 1962 e 2000, respectivamente.

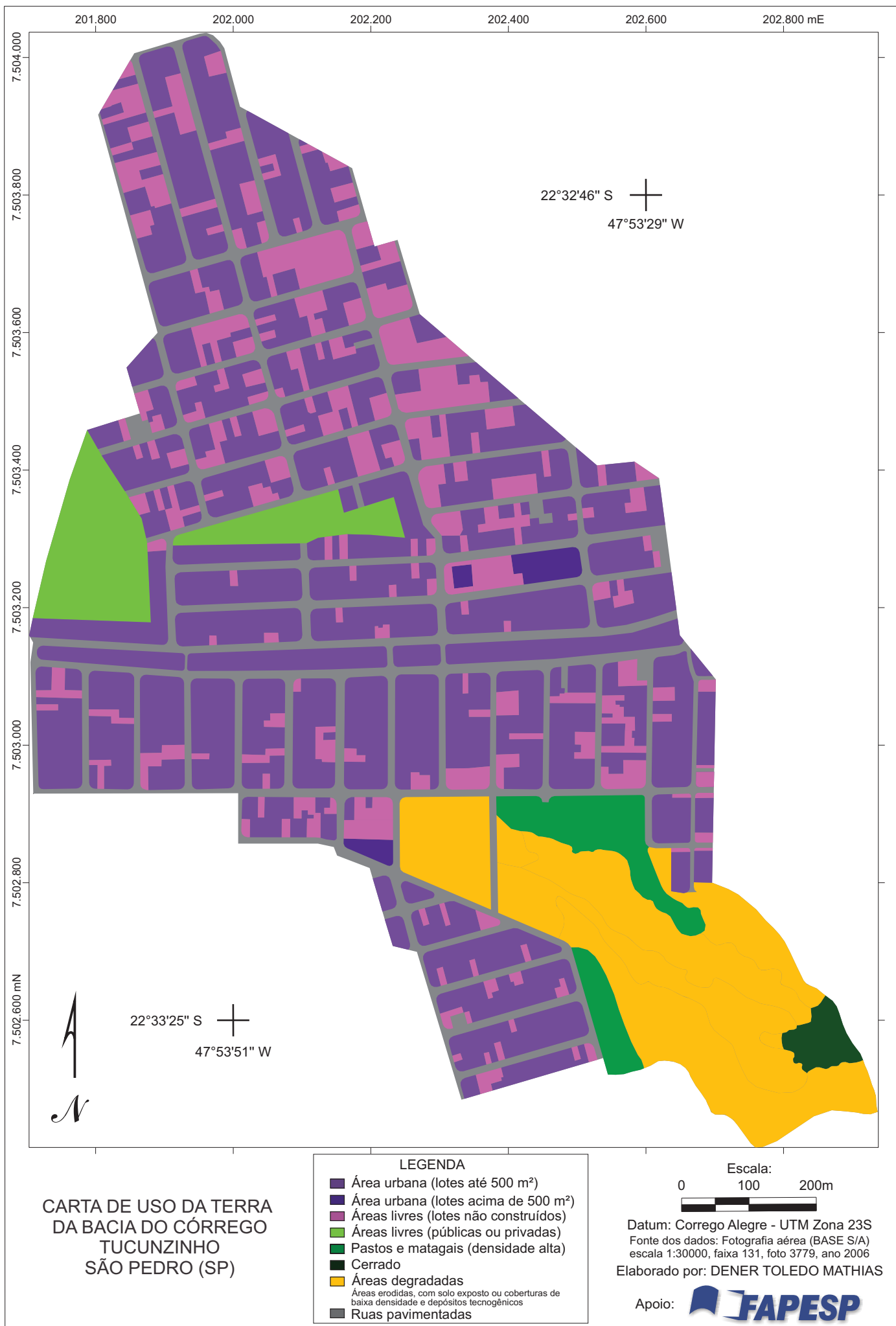


Fonte: Mathias, 2009

O quadro atual do uso da terra na área pode ser verificado através da Carta de Uso da Terra da bacia do córrego Tucunzinho (figura 19), a qual embora corresponda em parte à realidade do ano de 2006 (data da fotografia que serviu de base à elaboração da carta), teve uma série de reambulações baseadas em informações colhidas em campo.

Considera-se pouco significativa a porcentagem de áreas permeáveis (28%), as quais são representadas por terrenos não construídos, áreas de amortecimento da drenagem e, sobretudo as terras que envolvem a área de predomínio dos processos de erosão. A porcentagem de área impermeável (64%), que representa um fator contribuinte à concentração das águas de escoamento, pode ser considerada bastante expressiva.

Fig. 19 - Carta de Uso da Terra da bacia do córrego Tucunzinho.



Acerca das áreas livres destinadas ao amortecimento da drenagem, dois setores da bacia apresentam relevância por conterem bacias de retenção. A porção norte, no qual se encontra o bairro Jardim Botânico possui uma ampla área onde se concentra a água do escoamento desse e de outros bairros adjacentes, chegando a formar uma lagoa durante o período úmido (figura 20a). A lagoa possui exutório conectado à rede de galerias pluviais já mencionada, a qual para fins de identificação neste trabalho será denominada “Rede Norte”. Tal bacia de retenção constitui uma medida compensatória na drenagem da bacia, atuando como amortecedor da água do escoamento, e denota que no processo de loteamento e implantação da malha urbana desses bairros houve a precaução em relação ao volume da água de escoamento que naturalmente deveria fluir em direção ao córrego Tucunzinho. Apesar disso, apontam-se como falhas de planejamento o fato de as ruas terem seu traçado orientado no sentido do declive, conforme já citado, e as redes de galerias não conterem equipamentos de quebra de energia, como degraus de dissipação, fato que será melhor abordado adiante.

Na porção sudoeste da bacia encontra-se o bairro Recanto das Águas, cujos limites estão em contato com as áreas erodidas. Neste setor não há galerias pluviais, dado a pouca área de contribuição que representam. Assim, a água do escoamento é direcionada até duas bacias de retenção situadas nas vertentes adjacentes à voçoroca do córrego Tucunzinho, ambas apresentando lagoas durante o período úmido (figura 20b). A ausência de estruturas de drenagem adequadas ao disciplinamento e destino do fluxo pluvial resulta na formação de sulcos erosivos e outras formas associadas às lagoas, cuja água de infiltração tem possivelmente colaborado na dinamização erosiva por meio da percolação em dutos.

Fig. 20a e 20b – bacias de retenção existentes em setores da bacia.



Fonte: Acervo do autor. Data: Novembro de 2010

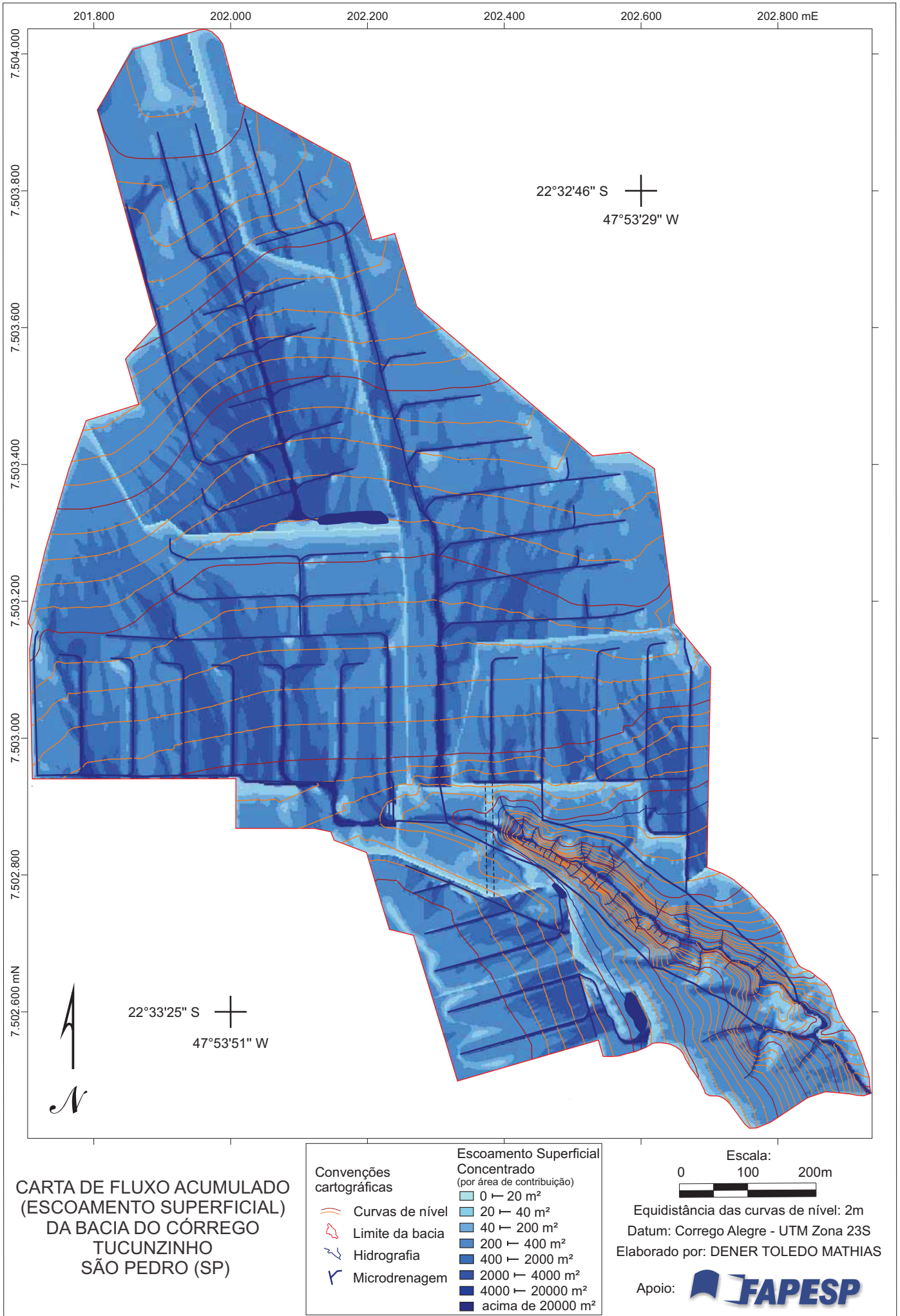
O comportamento do escoamento superficial é representado pela Carta de Fluxo Acumulado da bacia do córrego Tucunzinho, cuja análise permite que sejam levantadas importantes considerações.

Conforme já destacado anteriormente, a bacia do córrego Tucunzinho caracteriza-se por uma alta taxa de urbanização (65 % da bacia), cujo efeito em termos hidrológicos é o aumento do volume do escoamento superficial motivado pela impermeabilização. Tal escoamento tende a seguir o curso natural da topografia, concentrando-se nas principais concavidades das vertentes. Entretanto, observa-se a imposição de um comportamento comandado pelo desenho da malha urbana, e conseqüentemente, acompanhado pelas estruturas de microdrenagem. Nesse sentido considera-se a divisão da área em setores um procedimento imprescindível, pois cada setor individualizado apresenta características próprias que são resultantes da combinação entre o comportamento natural da água do escoamento e a imposição das estruturas urbanas.

Destaca-se primeiramente um dos setores que compõe a alta bacia, o qual como já descrito tem seu escoamento direcionado para uma ampla área livre que funciona como bacia de detenção. Em seguida podem ser notados os setores que representam a área de contribuição das águas coletadas por meio de galerias pluviais, que seguem sob as terras adjacentes à voçoroca até emissários localizados na baixa bacia. Tais setores ocupam a maior parte da área, algumas tendo sua drenagem orientada para as galerias da “Rede Sul”, enquanto as demais para a “Rede Norte”. Na porção SW da área encontram-se dois outros setores separados dos demais, os quais têm seu escoamento orientado para dentro do setor adjacente à voçoroca, formando outras duas bacias de detenção. Por fim, o setor em que se encontra a voçoroca e seus entornos é representado também separado do restante.

A área assim setorizada, com alguns setores não possuindo ligação aparente do escoamento entre si (como é o caso das áreas onde há bacias de detenção), denota fatos relevantes para a compreensão dos processos atuantes na bacia, como por exemplo, o fato de grande parte desse escoamento ser concentrado em redes de galerias pluviais e terem seu exutório localizado nas porções mais baixas da bacia. Por essa razão identificam-se na Carta de Fluxo Acumulado (figura 21) setores onde a concentração do escoamento é posicionada no meio da vertente, sem ligação aparente com o córrego. Nesses pontos o escoamento passa a ser conduzido por galerias subterrâneas, as quais não são representadas na mencionada carta.

Fig. 21 - Carta de Fluxo Acumulado da bacia do córrego Tucunzinho.



A bacia do córrego Tucunzinho possui, portanto uma dinâmica de escoamento superficial fortemente alterada pela influência do meio urbano.

A modelagem hidrológica da bacia realizada através do software IPHS2 permitiu a obtenção dos dados de vazão de cada setor mencionado. Entretanto, a setorização foi retrabalhada em função dos equipamentos de microdrenagem existentes na área, os quais foram integrados ao modelo de acordo com as orientações do método adotado. Adotou-se como base, após alguns testes no modelo, precipitação de 60 minutos. Os hidrogramas contendo os valores de vazão das áreas setorizadas, com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos, foram analisados individualmente e em conjunto, colaborando para o entendimento acerca do volume da água de escoamento que chega até o curso d'água e sua velocidade em termos de vazão de pico.

Em relação aos procedimentos de modelagem adotados é importante ressaltar que foi necessária a concepção de três projetos, dois referentes a cada rede de galerias responsáveis pela coleta e condução das águas do escoamento das sub-bacias mencionadas e um referente à sub-bacia em que se encontra o córrego Tucunzinho e seus entornos. Cumprindo com os objetivos propostos neste trabalho foram realizadas as operações hidrológicas simulando duas situações distintas: a atual e a de pré-ocupação. O parâmetro CN, que se refere às condições de cobertura e de uso relacionadas com a classe de solo (já apontado no capítulo 4), foi estabelecido conforme os dados levantados na Carta de Uso da Terra da bacia. Para a simulação da situação pré-ocupação adotou-se o valor de CN referente à classe de pastagens normais, que corresponde à situação anterior à urbanização. A tabela 04 apresenta a organização das sub-divisões da bacia em projetos e setores, bem como os valores de CN adotados.

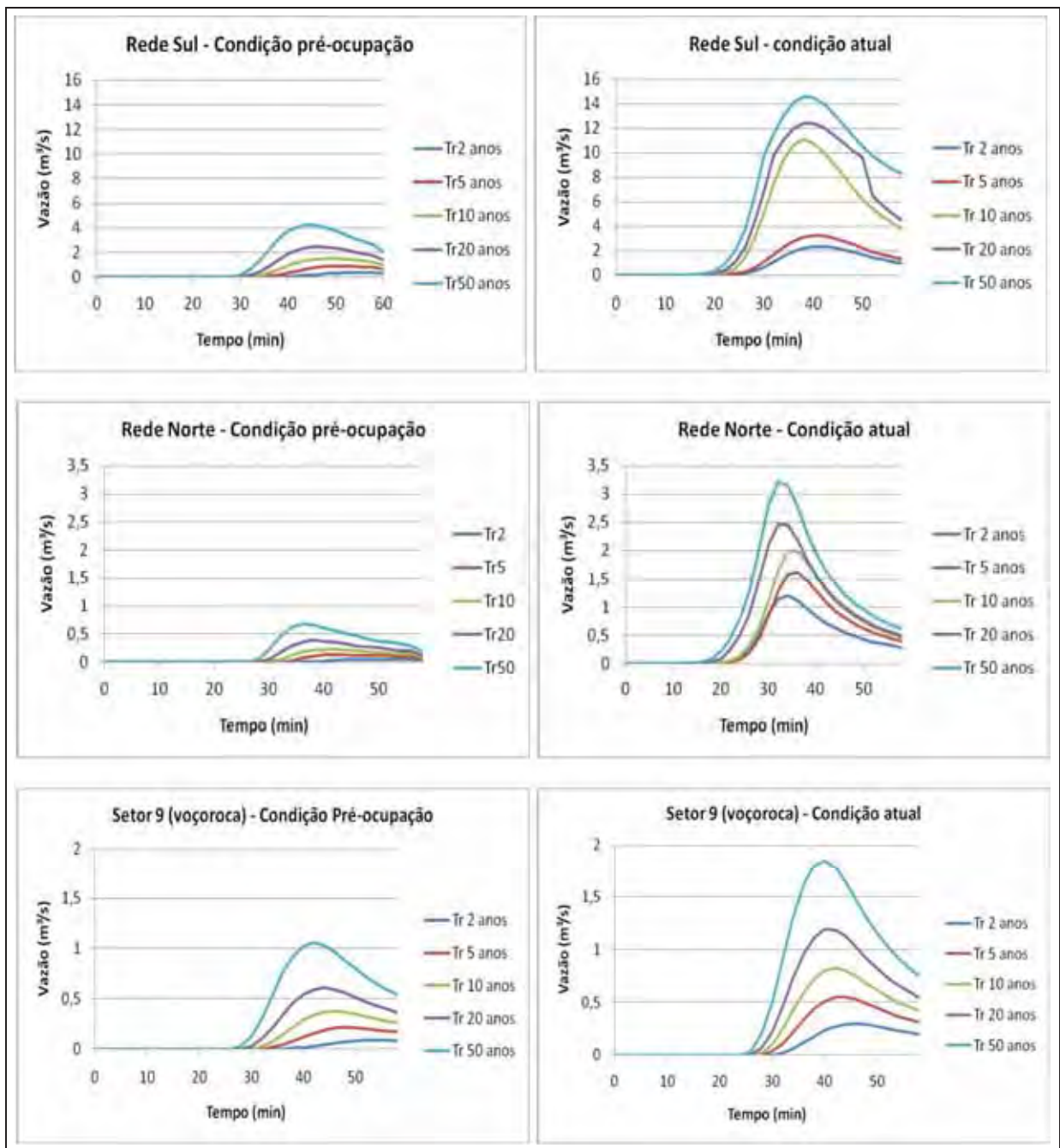
Tabela 04 – Planificação dos objetos do modelo e parâmetros CN.

Projeto	Setor	CN médio - Condição	
		Atual	Pré ocupação
Rede Sul	1	81	59
	2	80	59
	3	81	59
	4	86	59
	5	85	59
Rede Norte	6	84	59
	7	82	59
	8	87	59
Voçoroca	9	66	59

Assim, dentre os hidrogramas obtidos nas simulações escolheram-se os que se referem à pontos de controle específicos para representação neste trabalho, pois são aqueles cujos dados resultam da combinação das operações hidrológicas de cada setor a qual se encontra conectado. A figura 22 apresenta os referidos hidrogramas.

A comparação entre os cenários pré-ocupação e atual permite a constatação de que houve significativo aumento na vazão de pico que atinge o curso d'água, ou seja, em um período de tempo menor após uma tormenta, ocorre a rápida evacuação do fluxo pluvial, estimulado por estruturas de microdrenagem cuja principal característica, já citada anteriormente, é a quase inexistência de dissipadores de energia. Grande parte da rede de microdrenagem é composta por galerias pluviais de seção tubular de concreto, cujo coeficiente de rugosidade é bastante baixo. Além do mais se verifica que tais galerias são subdimensionadas considerando o volume de água que flui pela rede, o que se corrobora pela análise de tais estruturas em campo, algumas das quais se encontram avariadas em função de tal fato.

Fig. 22 – Hidrogramas dos pontos de controle representativos dos projetos concebidos para a modelagem da bacia do córrego Tucunzinho, simulando as condições pré-ocupação e atual.



É possível observar que em todos os pontos de controle analisados as vazões no quadro atual atingem o pico com uma antecipação que varia entre 10 e 20 minutos em relação ao quadro pretérito. Além do mais, há um incremento nos volumes com variação até dez vezes maior em alguns dos períodos de retorno representados nos gráficos. Tais observações corroboram o fato de que o escoamento advindo do setor urbano atinge o leito do córrego com grande volume em curto espaço de tempo, resultando em um potencial erosivo bastante

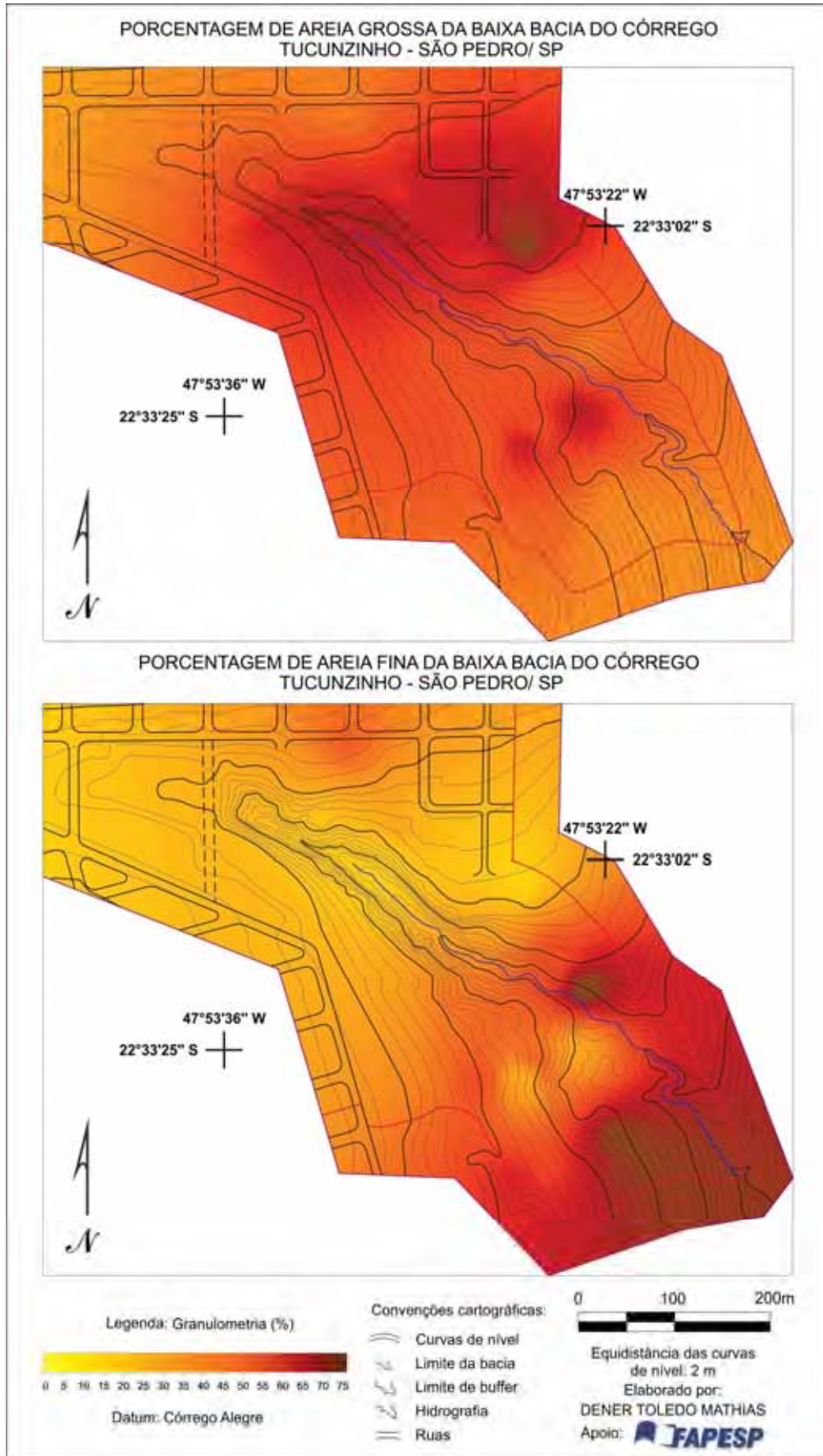
expressivo. O único setor que apresentou pouca variação é aquele onde se situa a voçoroca, pois no modelo esta não possui áreas urbanizadas. Entretanto cabe ressaltar que o efeito remontante da erosão que se produz nos pontos de lançamento das águas pluviais constitui por si só um elemento de extrema atuação na dinâmica erosiva da área.

5.2 Diagnóstico da dinâmica erosiva da voçoroca do córrego Tucunzinho

Interagindo com os atributos já apresentados, apontam-se algumas características específicas dos processos erosivos atuantes na bacia do córrego Tucunzinho, as quais correspondem a elementos elucidativos para fins de diagnóstico da situação erosiva da área.

A textura dos solos da área, obtida por meio da análise granulométrica permite constatar que ocorre pouca variabilidade entre os pontos amostrados, sendo a porcentagem mais representativa associada à fração areia grossa. A figura 23 apresenta a espacialização das frações areia grossa e areia fina, sendo que a última foi obtida através dos cálculos indicados no capítulo 4.4.

Fig. 23 – Porcentagens das frações granulométricas da baixa bacia do córrego Tucunzinho.

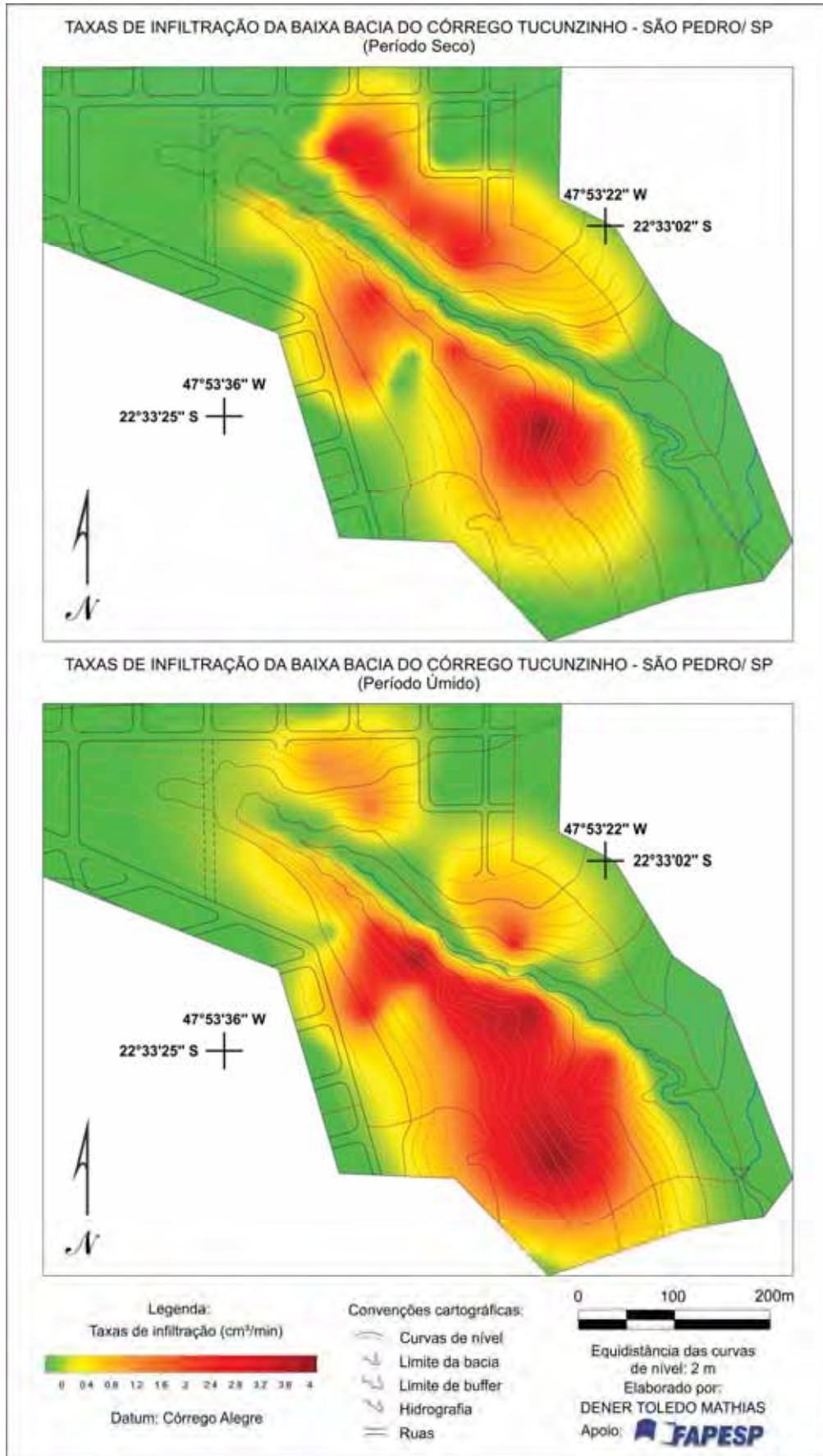


Uma das singularidades perceptíveis na espacialização dos dados é que a maior proporção de areia grossa é encontrada nos setores alto e médio da baixa bacia, enquanto que a areia fina concentra-se no setor mais baixo. A hipótese que se levanta acerca de tais singularidades é a correlação entre tais frações e o tipo de material observado *in situ*, ou seja, embora as alterações antrópicas na área tenham sido severas ao ponto dificultarem substancialmente a diferenciação entre as formações de origem antropogênica das que representam os solos originais da bacia, características como a coloração e a textura permitem a identificação de que nos setores mais baixos predominam solos associados às litologias presentes na área. A classe Neossolos Quartzarênicos, apontada na bibliografia como ocorrente na área é associada à pedogênese que se desenvolve principalmente sobre os arenitos da formação Botucatu e, uma vez que os processos erosivos permitem que tais litologias aflorem nas margens do córrego, é possível notar a correlação entre a coloração de tais afloramentos e as coberturas ocorrentes nas proximidades, as quais apresentam cor mais clara. Sabendo-se que a formação Botucatu é constituída principalmente por arenitos quartzosos de granulação fina a média, pode-se associar a predominância da fração areia fina no setor inferior da baixa bacia às características dos solos originais da área.

Em contrapartida ao que foi aventado, nos setores alto e médio da baixa bacia são identificadas as maiores proporções da fração areia grossa. Tais setores caracterizam-se por apresentar extensas obras de terraceamento e a origem de tais solos, conforme indica a bibliografia, está associada à deposição antropogênica de materiais advindos de outra região, os quais serviram ao entulhamento das formas erosivas promovido por intensas obras realizadas no local na década de 1990. Possivelmente tais materiais foram agregados aos solos da área, misturando-se em meio às operações de terraceamento e atualmente possuem como característica a ausência de uma estrutura bem definida, típica de solos *stricto sensu*. Uma hipótese que pode ser levantada correlacionando-se a maior ocorrência de fração areia grossa a tais formações é o fato de que a porosidade de tais materiais inconsolidados pode ser contribuinte ao deslocamento das frações mais finas no interior do próprio solo.

As taxas de infiltração verificadas na área permitem um melhor entendimento acerca do comportamento da água em tais condições superficiais. A figura 24 apresenta a espacialização dos dados de infiltração para os períodos seco e úmido, respectivamente.

Fig. 24 – Taxas de infiltração da baixa bacia do córrego Tucunzinho, períodos seco e úmido.



A comparação entre os dados de infiltração obtidos no período de estiagem e no período de chuvas permite constatar que as diferenças no comportamento do fenômeno nos diferentes períodos decorrem não somente das condições de umidade, mas também das variações nas características superficiais do solo relacionadas à cobertura vegetal. Assim, as vertentes que apresentam uma cobertura de pastagens (setor N e NE) durante o período de chuvas possuem as menores taxas de infiltração em virtude de essa propiciar a manutenção da umidade no interior do solo saturado. Em contrapartida, no período seco as taxas foram mais elevadas, uma vez que os solos não estavam saturados e supõe-se que a densa malha radicular característica dessas gramíneas aumenta a porosidade superficial. Nas áreas da bacia onde ocorrem coberturas incipientes de gramíneas, com muitas porções de solo exposto (setor central), verifica-se que no período úmido as taxas apresentam-se as mais elevadas da bacia, denotando que a ausência de cobertura vegetal expressiva induz uma perda significativa da quantidade de água que poderia estar retida em superfície, nas condições de saturação do período.

Na baixa bacia é possível observar uma correlação entre as características granulométricas de superfície e as taxas de infiltração, pois nessa área ocorrem as porcentagens mais expressivas de areia fina e observam-se as menores taxas de infiltração em ambos períodos, mas sobretudo no período úmido. Pode-se aventar a hipótese de que, dado a menor profundidade do lençol freático, pois a área situa-se nas porções mais baixas da bacia, e devido à menor porosidade no interior de pacotes com predomínio da fração areia fina, o nível de saturação mantém-se relativamente estável. Não se observa a ocorrência notável de dutos no sopé do talude erosivo nesse local e, portanto, há a hipótese de que o deslocamento da água em sub-superfície se processa de forma mais lenta que o restante das áreas analisadas.

Um aspecto que também pode ser evidenciado nas taxas de infiltração refere-se ao grau de compactação dos solos, ocorrente em alguns setores devido a obras que foram feitas no local. A porção SW da baixa bacia apresenta uma área de terraplanagem sem cobertura vegetal que se apresenta com solos altamente compactados. Outras áreas de menor expressão espacial apresentam-se encharcadas no período de chuvas e à medida que avança a estiagem tais áreas sofrem um verdadeiro endurecimento da camada superficial do solo, fato atestado pela observação *in loco*, assim apresentam menores taxas de infiltração.

Ressalta-se que nas áreas urbanas não foram realizadas medições e, portanto, são representadas como aquelas de menores índices nas taxas de infiltração, pois se evidenciam

como as porções mais impermeabilizadas da bacia. Outro setor que se apresenta como tendo taxas de infiltração nulas é o leito da voçoroca, no qual se verifica não a infiltração, mas a exfiltração da água.

As taxas de infiltração também refletem aspectos inerentes à morfologia da área, no qual formas topográficas antropogênicas, tais como os terraços que se verificam em toda extensão das vertentes da bacia, colaboram no condicionamento da infiltração tanto quanto no comportamento do escoamento superficial. Assim, alguns dos pontos que foram coletados no interior de diques, formados no reverso dos terraços, apresentaram taxas que denotam saturação de água no solo no período úmido, evidenciando que tais formas antrópicas de relevo têm contribuído na retenção de água no solo e conseqüentemente na percolação desta em subsolo.

As formas erosivas que expressam com mais evidência a atuação da movimentação de água em sub-superfície são os dutos (*pipes*). Em relação a estes, há um ponto localizado no médio curso do córrego marcado pela presença de um dos maiores ramos da voçoroca, no qual se verifica a ocorrência de um expressivo duto posicionado na junção entre o ramo e o córrego. Topograficamente este ponto encontra-se em perfeito alinhamento com um setor da vertente onde se situa uma bacia de detenção (figura 25), o que pode indicar que as águas da citada bacia infiltrando-se encontram uma linha preferencial de percolação cuja extremidade corresponde ao duto mencionado.

Fig. 25 – Correspondência topográfica entre área de infiltração e ocorrência de piping.



Fonte: Acervo do autor. Data: Novembro de 2010

Portanto, os terraceamentos efetuados nas vertentes da bacia do córrego Tucunzinho em associação com bacias de detenção, podem ter um duplo caráter: positivo no sentido de quebrar a energia das águas de escoamento superficial; negativo por estimular os processos de *piping* por meio da percolação em subsuperfície.

Outro fator de importância para a evolução das formas erosivas é a ocorrência de inúmeros afloramentos do lençol posicionados nas bases do talude erosivo ao longo do eixo da voçoroca. Foi possível identificar em campo os locais onde tais afloramentos eram mais concentrados, bem como quais eram perenes, ou seja, permaneciam fluindo mesmo durante os meses de estiagem. Tais variações encontram-se relacionadas ao comportamento da infiltração nos diferentes setores mapeados, fato que se corrobora pela correlação entre a ocorrência dos afloramentos e as taxas de infiltração.

Com base no que foi exposto pode-se apontar que a combinação entre as características da variável representada pela textura/porosidade dos solos e as variabilidades em relação à cobertura constituí-se um fato marcante na distribuição das feições erosivas de retrabalhamento associadas à evolução da voçoroca do córrego Tucunzinho. Entretanto, o controle exercido pelas formas topográficas antropogênicas sobre o escoamento superficial constitui outra variável determinante na dinâmica erosiva da área. Nesse sentido o mapeamento das feições erosivas possibilitou a identificação dos setores onde as formas do relevo atuando conjuntamente com as características acima descritas definem zonas de maior predisposição ao avanço erosivo e conseqüente ocorrência de sulcos, alcovas, cascatas e dutos dentre outras feições de retrabalhamento.

A distribuição de amplos terraços em nível ao longo das vertentes que bordejam a voçoroca tem por função a estabilização dos taludes a partir da quebra da energia e do disciplinamento das águas do escoamento superficial. Entretanto tais formas antropogênicas podem estar contribuindo para a intensificação erosiva em pontos específicos. Isso ocorre em função de algumas dessas estruturas terem sofrido colapso pela regressão erosiva, o que se associa ao fato de não terem sido vegetadas. Com o rompimento do terraço, o dique existente em sua parte anterior funciona como um caminho preferencial das águas do escoamento, o que leva ao quadro verificado em alguns dos pontos monitorados ao longo do talude da voçoroca do córrego Tucunzinho (figura 26a).

Algumas características das feições encontradas nos taludes da voçoroca são associadas às diferenças entre o pacote de solos, composto em sua maioria por formações de origem antropogênica, e a litologia da área. Um fato que se ressalta sobre tais solos é que foram depositados na área em função de obras de entulhamento das formas erosivas (conforme já se mencionou), contudo a reativação da erosão propiciou o entalhamento dessa superfície antrópica e atualmente o talude erosivo apresenta uma camada bem definida de

material diferenciado recobrimo o afloramento do arenito Botucatu. O contato entre esse pacote, que possui espessura variável, mas que não ultrapassa 5 metros, produz uma descontinuidade no esculpimento das formas erosivas associadas ao fluxo de *run-off*. Como resultado tem-se a formação de alcovas de regressão nessa camada preferencial, em geral ligadas à ocorrência de cascatas existentes na linha do rebordo erosivo (figura 26b).

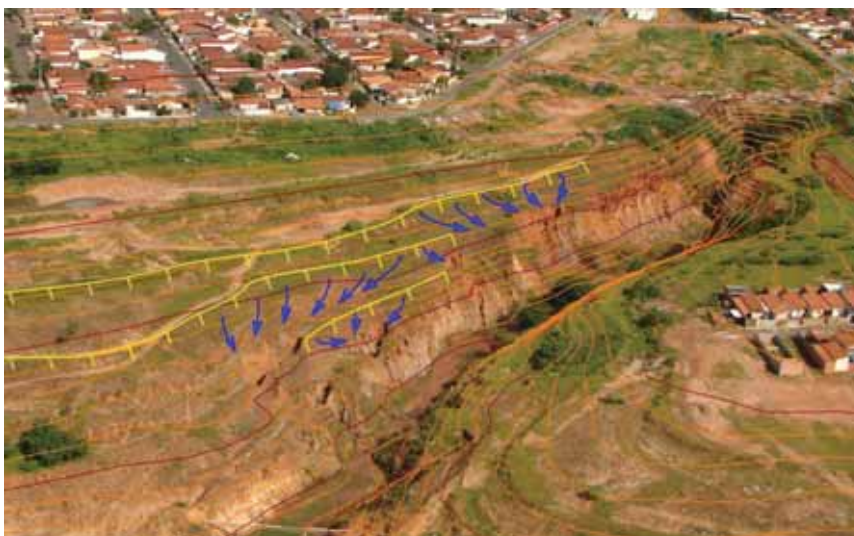
Fig. 26a e 26b – Vetores erosivos condicionados pelos terraços e descontinuidade erosiva, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor. Data: Julho de 2010

A figura 27 apresenta a fotografia aérea panorâmica da voçoroca do córrego Tucunzinho acrescida das curvas de nível em visualização 3D e de apontamentos acerca do comportamento do escoamento superficial, permitindo avaliar de que maneira tal fluxo, condicionado por fatores topográficos antropogênicos, vêm a acarretar a formação de vetores erosivos associados às formas de retrabalhamento anteriormente descritas.

Fig. 27 – Aspectos topográficos contribuintes na evolução erosiva



Fonte: Acervo do autor. Data: Novembro de 2010

A figura 28 (pg. 84) trata-se de um mosaico concebido a partir do levantamento de tais formas erosivas em campo. A identificação e dimensionamento das alcovas de regressão, conforme exemplificado nessa coletânea de fotos (a qual se refere a um trecho do talude com aproximadamente 100 m de extensão, situado à margem esquerda do córrego, no setor mais baixo da voçoroca) permite a caracterização dos pontos no qual a dinâmica do escoamento tem contribuído com maiores volumes em função dos atributos topográficos já citados.

O mapeamento dos ramos laterais da voçoroca também constitui um dado importante no que tange à especificação dos equipamentos de contenção que serão sugeridos mais adiante, bem como sua alocação e dimensionamento. A esse respeito convém ressaltar que um dos dados que fornecem alguns dos parâmetros mais relevantes em relação à projeção de equipamentos é aquele que se refere ao monitoramento do avanço do rebordo erosivo, efetuado ao longo de 24 meses a partir de 4 medições semestrais, cujos resultados encontram-se representados no croqui da voçoroca do córrego Tucunzinho (figura 29 – pg. 85).

Em relação ao que se verifica quanto ao avanço do rebordo erosivo, constata-se que determinados pontos apresentam uma maior predisposição ao avanço, podendo ser correlacionados a:

- 1) Concentração das águas de escoamento estimulada pela presença dos terraços, as quais tendem a seguir um sentido paralelo ao rebordo da voçoroca, desembocando nas ramificações laterais da mesma. Tal fenômeno atua por meio da retirada e transporte de partículas ao longo das linhas de concentração do fluxo e pela retirada de material na base das cascatas formadas na cabeceira dos ramos, produzindo as alcovas de regressão;
- 2) Dinâmica de sub-superfície, evidenciada pela presença de dutos no sopé do talude e cuja atuação possui estreita ligação com as áreas de concentração de água representadas pelo reverso de alguns terraços e pelas lagoas de retenção existentes. A constante retirada de material por esse fenômeno acarreta o desabamento do rebordo nesses pontos.

Fig. 28 - Coletânea de fotos das alcovas de regressão e mosaico de trecho do talude erosivo

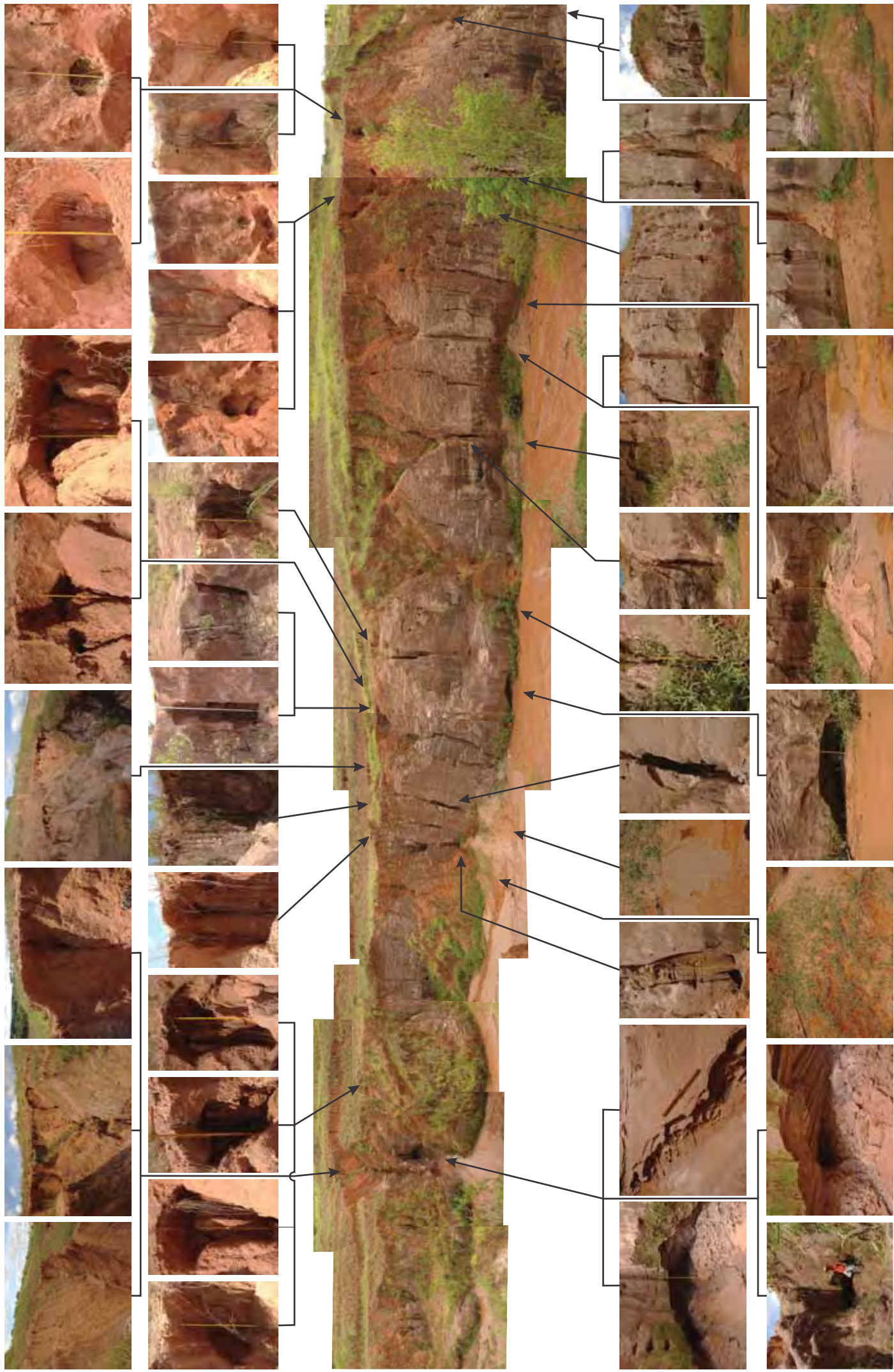


Fig. 29 - Croqui da Voçoroca do córrego Tucunzinho.

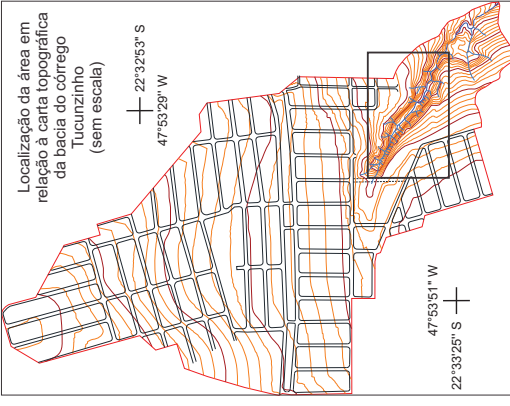


CROQUI DA VOÇOROCA DO CÓRREGO TUCUNZINHO SÃO PEDRO - SP

Com detalhe das áreas de maior avanço do rebordo erosivo

Legenda

	Leques de sedimentos		Rebordo no 2º semestre de 2009
	Ravinamentos laterais		Rebordo no 1º semestre de 2010
	Sulcos		Rebordo no 2º semestre de 2010
	Alcova		Rebordo no 1º semestre de 2011
	Duto (Pipe)		Afloramento de lençól
	Abatimentos em nível		Curso d'água
	Movimentos de massa	2	Número do setor detalhado



Elaboração:
Dener Toledo Mathias

Fonte das fotografias:
Levantamento aerofotogramétrico
BASE S.A. (2006)
e acervo do autor

Apoio: **FAPESP**



O croqui referido foi adicionado da representação das principais formas erosivas de retrabalhamento levantadas em campo, tais com as alcovas de regressão, sulcos, ravinamentos laterais, estruturas de abatimento em nível, movimentos de massa e dutos, além dos afloramentos do lençol que, embora não se constituam formas em si, trata-se de evidências substanciais ao levantamento proposto neste trabalho.

A evolução da voçoroca do córrego Tucunzinho encontra-se, com base nas considerações levantadas, em pleno desenvolvimento, podendo ser identificada como a retomada de processos que atuam na área desde tempos pretéritos. A realização de obras nas quais simplesmente se realizou o entulhamento das formas erosivas com material inconsolidado, bem como o rearranjo do relevo de entorno mediante os terraceamentos, evidenciam-se como medidas que foram ineficazes e que, a partir da retomada dos processos, passaram a estimular a dinamização erosiva, seja por meio da dinâmica superficial, como de sub-superfície. Nesse sentido, convém destacar que obras visando à contenção erosiva e a recuperação de áreas degradadas não devem contemplar apenas medidas pontuais ou serem realizadas parcialmente. No caso da voçoroca do córrego Tucunzinho, a ausência de um plano de revegetação, bem como a implantação de medidas inadequadas conduziram ao quadro de retomada erosiva.

Outra medida de engenharia efetuada na área, a qual se relaciona à infra-estrutura urbana, foi a implantação de uma rede de microdrenagem que nitidamente evita que o escoamento advindo da área urbana atinja diretamente os setores de maior fragilidade. Tais equipamentos foram concebidos de maneira a desviar o fluxo do escoamento, direcionando-o a um ponto de lançamento no córrego o mais distante possível da área de atuação dos processos erosivos. Entretanto, a ausência de equipamentos adequados ao lançamento dessas águas tem contribuído fortemente na retomada da erosão. As figuras 30a e 30b mostram a situação de um dos pontos de deságüe de emissário, apresentando lagoa formada pela escavação do leito por impacto do fluxo, bem como o solapamento das margens.

Fig. 30a e 30b - Ponto de deságüe do emissário da Rede Sul com formação de lagoa e solapamento das margens, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor. Data: Julho de 2010

Conforme já ressaltado, duas redes de galerias pluviais seguindo um sentido paralelo à voçoroca e alocados nas áreas que a bordejam, conduzem grande parte do escoamento gerado a partir na área urbana. Contudo, tais galerias concentram todo o volume do escoamento e sendo constituídos de tubulações de concreto e com poucas estruturas dissipadoras ao longo da rede, lançam as águas do escoamento com expressiva velocidade e concentração no córrego Tucunzinho. São nítidos os efeitos da descarga concentrada do fluxo pluvial no setor em que é lançada. Os emissários das redes em questão encontram-se parcialmente danificados devido à dinamização erosiva remontante. Evidências de que tais obras foram subdimensionadas podem ser verificados em campo a exemplo do que se aponta nas figuras 31a e 31b, que apresentam fotografias de diferentes períodos de um poço de visita com queda (uma das únicas estruturas dissipadoras da energia do fluxo de escoamento), no qual pode ser observada a erosão nas bordas da estrutura, possivelmente associada ao transbordamento da água na mesma.

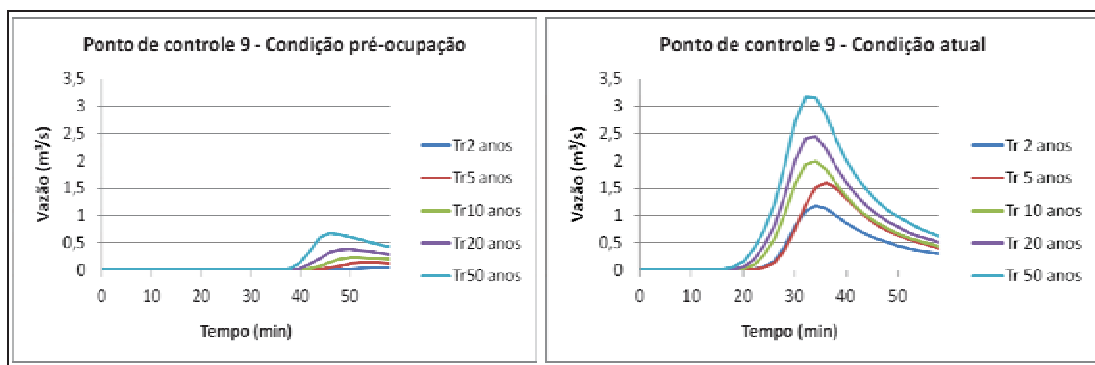
Fig. 31a e 31b - Poço de visita localizado a poucos metros de emissário no ano de 2007 e colapso dos solos no contato com a mesma no ano de 2010, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor.

A análise dos hidrogramas referentes ao emissário ilustrado permite constatar que o volume do escoamento atinge nesse ponto valores os quais superam a capacidade desse equipamento, sugerindo a ocorrência do transbordamento apontado. A figura 32 apresenta os hidrogramas desse ponto da rede representando as vazões em situação pré-ocupação e situação atual.

Fig. 32 – Hidrogramas do PC 9 (emissário Rede Norte) para as condições pré-ocupação e atual, respectivamente.



É possível notar o incremento de vazões na condição atual mais de 10 vezes superior às vazões sob a condição pré-ocupação (tormenta de 60 minutos, tempo de retorno de 2 anos), além de uma diminuição significativa no tempo que tal vazão leva para atingir o pico (até 20 minutos a menos), o que corrobora a hipótese de que o volume desse escoamento encontra-se além da capacidade de condução da rede de microdrenagem existente na área.

A junção de cada um dos diferentes atributos analisados neste trabalho contribui fortemente para a dinamização erosiva da bacia do córrego Tucunzinho. Por essa razão a adoção de métodos visando mitigar o avanço dos processos mediante a contenção erosiva e a recuperação da área deve ser orientada por tais análises, levando em consideração ainda os demais atributos físicos da área.

5.3 Análises complementares

O acompanhamento contínuo da evolução dos processos que atuam na bacia do córrego Tucunzinho possibilitou a constatação de alguns fatos que vêm a complementar as análises deste trabalho. Somam-se às observações efetuadas ao longo dos 30 meses que constituíram o período de desenvolvimento da pesquisa, dados de anos anteriores efetuados pelo próprio autor em pesquisa de iniciação científica.

O recuo do rebordo erosivo mediante os processos já mencionados anteriormente apresentou, conforme se constata no croqui (figura 29, pg. 85), pontos de dinâmica mais acentuada contrastando com setores de menor avanço. Em relação a tais setores é possível constatar que a estabilidade da linha do rebordo constitui-se relativa, uma vez que se observa a dissecação do talude mediante a erosão em dutos, que promove intensa retirada de material no sopé do mesmo. As figuras 33a e 33b apresentam um dos setores mencionados em dois cenários distintos, no ano de 2009 e no ano de 2011.

Fig. 33a e 33b – Setor do talude erosivo com pouco recuo da linha de rebordo.

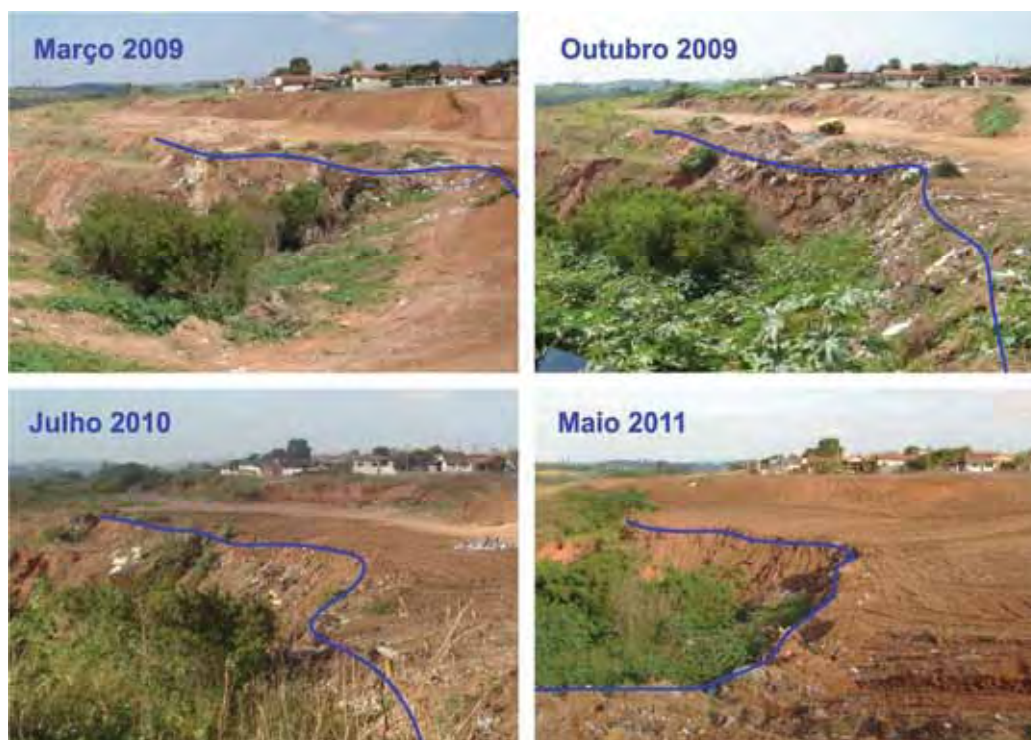


Fonte: Acervo do autor.

É notável o fato de que o rebordo erosivo no setor analisado apresentou recuo pouco expressivo. Entretanto, nota-se intensa retirada de material na face do talude, o que se associa ao fato de haver uma série de dutos no sopé, com fluxo de água perene mesmo nos meses de estiagem. O material assim mobilizado tem estimulado o aprofundamento de sulcos e conseqüente dissecação do talude erosivo. Tais processos deverão em algum tempo produzir abatimentos ao longo da linha do rebordo, contudo no mapeamento representado pelo croqui este setor se apresenta como estável o que de fato torna-se relativo face ao que se verifica.

Outro fato relevante na fisionomia da paisagem da bacia refere-se aos expressivos depósitos tecnogênicos que ocorrem no setor de cabeceira. As figuras 34a, 34b, 34c e 34d apresentam a cabeceira da voçoroca do córrego Tucunzinho em 4 períodos entre os anos de 2009 e 2011.

Fig. 34a, 34b, 34c e 34d – Fisionomia da paisagem da cabeceira da voçoroca do córrego Tucunzinho em 4 períodos entre 2009 e 2011, frente ao avanço dos depósitos de entulho.



Fonte: Acervo do autor.

O entulhamento das formas erosivas no setor de cabeceira apresenta-se como uma ação promovida pela prefeitura municipal visando destinar resíduos que são depositados pela população na área indiscriminadamente. Trata-se predominantemente de material de entulho, acrescido de outros resíduos sólidos tais como móveis e lixo doméstico. Ao longo do período analisado verificou-se que à medida que tais materiais se acumulavam a prefeitura dispunha de um trator que os mobilizava para o interior da voçoroca. A figura 34d apresenta uma das últimas ações da prefeitura registradas na área, que contemplou não somente a mobilização do material mas também serviços amplos de terraplanagem e manutenção das áreas de entorno dos bairros adjacentes à voçoroca. As citadas obras foram acompanhadas da instalação de placas de advertência em inúmeros pontos, proibindo a população de realizar o descarte de materiais. Pressupõe-se que haverá uma utilização da área por parte da administração municipal, a qual não foi levantada por este trabalho.

As conseqüências do acúmulo de resíduos na cabeceira da voçoroca são notáveis em vários aspectos. O pacote formado pela deposição desses materiais não possui coesão nem estabilidade e a retomada erosiva remontante tende a mobilizar grande quantidade de sedimentos originados da combinação dos materiais com o solo nos trabalhos de

entulhamento com maquinário. Tais sedimentos têm se acumulado em toda extensão do fundo da voçoroca promovendo sua ascensão. As figuras 35a, 35b e 35c apresentam um ponto no sopé do talude erosivo marcado pela presença de um duto, o qual tem sua altura da base diminuída à medida que ocorre a ascensão desta entre os anos de 2007 e 2011.

Fig. 35a, 35b e 35c – Ascensão do fundo da voçoroca pelo acúmulo de sedimentos.



Fonte: Acervo do autor.

Os demais resíduos que compõe o depósito de cabeceira se deslocam no fundo da voçoroca à medida que ocorre a erosão remontante, configurando um quadro de intensa degradação em que objetos, sacos plásticos e materiais de construção vão sendo mobilizados pela água do escoamento ao longo do fundo da voçoroca. Além disso, tais resíduos vêm a acarretar também poluição química às águas da nascente do córrego Tucunzinho.

A fisionomia da paisagem da bacia é também marcada por intensas obras de infraestrutura urbana e saneamento. As figuras 36a, 36b e 36c apresentam um setor da baixa bacia onde ocorre a transposição de uma rede de esgotos sobre o canal erosivo. As figuras representam diferentes cenários entre os anos de 2007 e 2011.

Fig. 36a, 36b e 36c – Porção da baixa bacia no ano de 2007 e após as obras de transposição da rede de esgoto sobre o canal erosivo entre os anos de 2009 e 2011, respectivamente.



Fonte: Acervo do autor.

A referida obra de transposição se deu no ano de 2009 tendo sido executada provavelmente devido a duas razões: defasagem da rede existente em função de aumento da carga; necessidade de submeter os efluentes a tratamento, uma vez que eram lançados *in natura* no córrego Tucum. Em relação à primeira razão foi constatado em meados de 2009 problemas com a rede de esgoto proveniente dos bairros situados na porção NW da bacia. Essa rede tinha o traçado seguindo a linha de cumeada que separa a bacia do córrego Tucunzinho da bacia do córrego Tucum, tendo seu emissário posicionado junto ao leito deste. Os problemas verificados tinham como conseqüência o transbordamento de um poço de visita gerando a formação de uma lagoa de esgotos ocupando o dique de um dos terraços existentes na área. A existência de uma estação de tratamento de esgotos na porção SE da bacia, situado a cerca de 250 m (em linha reta) do poço de visita mencionado, motivou a administração municipal a realizar o prolongamento da rede até a citada estação, buscando resolver tanto os problemas de defasagem da rede como do tratamento do esgoto.

Entretanto, considera-se que tal medida se constituiu ineficaz para a resolução dos problemas e acarretou ainda outros prejuízos. A medida defrontou-se com o empecilho técnico que representa a transposição de um canal erosivo, cujos processos mostram-se ativos e cujas dimensões demandam obras bem edificadas. A esse respeito procurou-se uma solução a partir da concepção de uma estrutura de concreto encimada por uma espécie de “ponte” feita de aço com barras soldadas em treliça. Duas colunas de concreto foram então assentadas sobre o leito do córrego, o qual por se constituir um leito erosivo de voçoroca, trata-se de terreno demasiadamente instável. A figura 36b (apresentada na página anterior) mostra a referida estrutura já construída e com a tubulação de esgotos instalada. Após dois anos funcionando normalmente ocorre então um colapso que vem a inutilizar por completo a estrutura, lançando o esgoto diretamente no leito da voçoroca e acarretando ainda a formação de um amplo sulco no contato entre a tubulação rompida e o talude (figura 36c).

Além do que se constatou é relevante destacar que a mencionada estação de tratamento de esgotos, a qual recebeu durante algum tempo o fluxo da rede em questão, trata-se também de uma estrutura defasada, uma vez que se observou o abandono de tal equipamento, também danificado por problemas de erosão e, portanto, inapropriada para o recebimento desses eflúvios. Considera-se que as medidas realizadas se constituíram ações equivocadas da administração pública, cujas conseqüências em termos de degradação são nítidas. A construção de uma nova estação de tratamento de esgotos, situada nos terrenos posicionados

junto ao bairro do qual é proveniente é apontada como sendo a solução mais apropriada ao caso.

Assim, podem ser apontados como fatores degradantes da bacia do córrego Tucunzinho tanto as ações de despejo de resíduos sólidos no setor de cabeceira como as obras de saneamento mencionadas, que tem como um dos resultados o lançamento de efluentes domésticos na rede fluvial. Sob diversos aspectos a atuação antrópica na bacia tem gerado graves conseqüências refletindo na deterioração do meio físico de forma intensa, o que, combinando-se com os processos erosivos atuantes, configura um quadro expressivo de degradação ambiental.

A seguir são apontadas algumas propostas embasadas nas análises as quais podem servir de subsídio às possíveis obras a serem implantadas na área, bem como em outras áreas cujo caso é semelhante.

5.4 Propostas de recuperação da área

A fim de elaborar propostas de recuperação para a área que compreende a baixa bacia do córrego Tucunzinho foram levantados uma série de equipamentos através de bibliografia específica acerca dos seguintes temas: controle de erosão, técnicas compensatórias em drenagem urbana, estabilização de encostas e taludes e recomposição vegetal. Foram também pesquisados equipamentos e serviços fornecidos por diversas empresas em páginas da internet, alguns dos quais foram integrados às propostas deste trabalho.

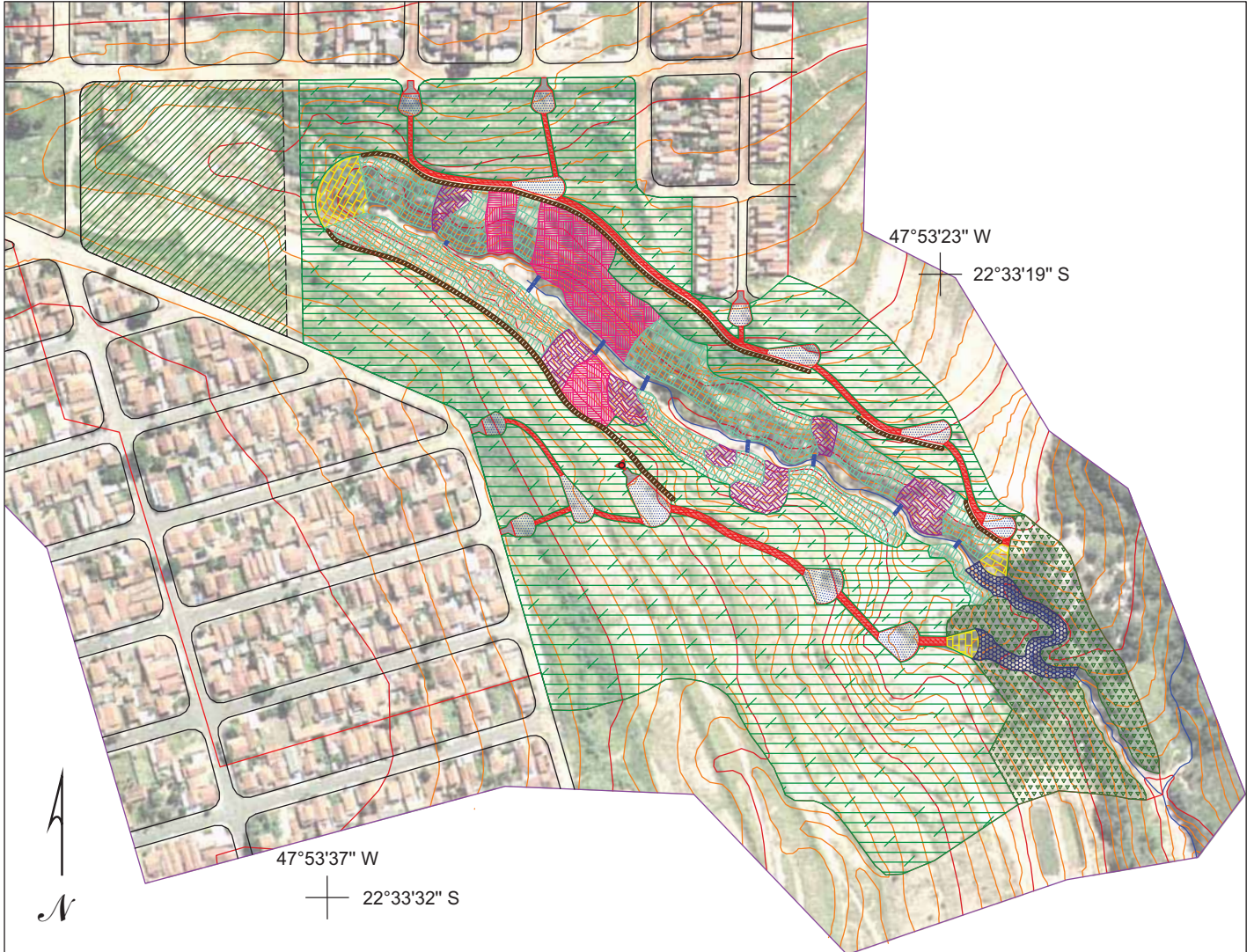
Na bibliografia consultada destacam-se os trabalhos de Fendrich (1984), Araújo et al (2008), Morgan (1995), Baptista et al (2005), Pereira (2006), Mathias (2008) entre outros. Outra contribuição importante é dada pelo manual para controle de erosão desenvolvido pelo IPT em convênio com o DAEE (1989). Neste trabalho foram escolhidos os equipamentos que possuem maior compatibilidade com os atributos levantados ao longo da pesquisa, tendo sido feito um balanço entre materiais e estruturas de geoengenharia e bioengenharia.

Inicialmente apresenta-se a espacialização dos sistemas propostos para cada setor da baixa bacia do córrego Tucunzinho, realizada sobre a carta topográfica da área (figura 37). O referido documento cartográfico tem por finalidade nortear a alocação dos equipamentos bem como delimitar os setores representando as intervenções propostas para a contenção erosiva e recuperação.

Fig. 37 - Mapeamento dos sistemas propostos para recuperação da baixa bacia do córrego Tucunzinho.

SISTEMAS PROPOSTOS PARA A RECUPERAÇÃO DA BAIXA BACIA DO CÓRREGO TUCUNZINHO (Voçoroca e adjacências) SÃO PEDRO (SP)

Datum: Corrego Alegre - UTM Zona 23S
 Equidistância das curvas de nível: 2m
 Elaborado por: DENER TOLEDO MATHIAS



LEGENDA

Sistemas de drenagem

- Estrutura de captação
- Bacia de captação
- Bacia de detenção
- Canal pluvial revestido
- Interceptador de galeria

Estruturas em gabião

- Emissários e cabeceira

Estruturas de fundo

- Canal fluvial revestido
- Barragem com vertedor

Sistemas de contenção

- Ajuste topográfico suave; patamares; revestimento de encosta; plantio em mantas e estacas
- Ajuste topográfico severo; patamares; revestimento de encosta; plantio em mantas e estacas
- Desbaste de arestas do talude; paliçadas; plantio consorciado; drenos

Uso da terra e recuperação

- Manutenção dos terraços; plantio consorciado
- Plantio de gramíneas;
- Plantio de mudas para adensamento de regeneração

Outras estruturas

- Terraço ou camalhão

Convenções cartográficas:

- Curvas de nível
- Limite da bacia
- Buffer de limite
- Hidrografia
- Ruas

Apoio: **FAPESP**

Os sistemas apresentados no referido mapa, denominado “Sistemas Propostos para a Recuperação da Baixa Bacia do Córrego Tucunzinho”, representam conjuntos de estruturas específicos para o que se observa em termos de formas, materiais e processos no contexto erosivo de cada setor delimitado. Tais sistemas encontram-se detalhados a seguir.

5.4.1 Sistemas de captação, condução e descarga da água pluvial advinda do meio urbano

Atendo-se às recomendações contidas na bibliografia são apontadas medidas estruturais visando o disciplinamento do fluxo pluvial originado no meio urbano. No caso estudado tal escoamento vem a drenar para o interior da voçoroca do córrego Tucunzinho por meio de redes de galerias pluviais instaladas nas áreas de entorno da forma erosiva, sendo que algumas dessas estruturas têm demonstrado ser insuficientes e inadequadas. A rede que atravessa o setor NE da baixa bacia, pertencendo aquela denominada anteriormente “Rede Norte”, apresenta uma série de danos associados à falta de manutenção, bem como indícios de transbordamento, conforme já apontado. Já a porção SW da baixa bacia, atravessada pela rede pertencente aquela denominada “Rede Sul” apresenta poucos problemas no que se refere a danos estruturais e pode ser considerada estável. Entretanto ambas as redes são constituídas de tubulações de concreto, levando o fluxo pluvial a ganhar velocidade e vazão. Além disso, ressalta-se as diferenças de resistência entre o solo inconsolidado e o concreto da estrutura e têm-se um quadro onde a erosão diferencial produz uma série de impactos que podem vir a gerar danos em diversos pontos da rede.

Recomenda-se, em relação ao que foi exposto, a substituição da rede de galerias do setor NW por redes que possam conduzir o fluxo pluvial reduzindo ao máximo sua velocidade e conseqüente potencial erosivo. Primeiramente devem ser instaladas estruturas de captação do fluxo pluvial, as quais deverão ser concebidas nos terrenos adjacentes à área urbana. Assim, deve-se preparar o terreno escavando-se uma bacia de amortecimento, que é referida por Fendrich (1997) como “bacia de dissipação tipo mergulho”, envolvida por saliências laterais e frontais construídas com o solo remobilizado. A bacia é então revestida com manta geossintética impermeável e gabiões Reno. É importante que as bordas da estrutura sejam reforçadas pela compactação do solo.

A água deve seguir por meio de canais abertos, as quais de acordo com as sugestões de Fendrich (1997) devem ter seção transversal trapezoidal, indicada para vazões de projeto acima da capacidade de condutos circulares. Tal como as estruturas de captação, devem ser também escavados no terreno e revestidos com manta geossintética e colchões Reno, sendo

estes um revestimento cuja rugosidade contribui na quebra da energia do fluxo. Os segmentos de maior declividade devem ser pontuados por degraus de dissipação com distância entre si proporcional à porcentagem do declive. O traçado deve ser orientado não diretamente ao córrego, mas bordejando topograficamente o mesmo no sentido das curvas de nível. Deve-se buscar o aproveitamento de estruturas já existentes na área, tais como terraços e camalhões que sirvam de margem lateral ao dique representado pelo canal, evitando com isso o excesso de remobilização de materiais da cobertura. Estima-se, com base nas vazões já citadas anteriormente, e já considerando os valores referentes à tormenta com período de retorno de 50 anos, que um canal com largura variando entre 2 a 3 metros nas primeiras seções da rede seja o suficiente para a condução do fluxo sem o risco de extravasamento. Entretanto deve-se ressaltar que tal sugestão é ainda uma estimativa e que no caso da projeção de tais equipamentos devem ser realizados cálculos mais apurados, do âmbito da engenharia.

A próxima estrutura refere-se à uma bacia de retenção, do tipo seca com fundo impermeabilizado (BAPTISTA, 2005), que pode ser construída com as mesmas especificações da bacia de captação. A finalidade dessa estrutura é o amortecimento do fluxo propiciado pelo deságüe do escoamento em uma espécie de reservatório, cuja área deve ser projetada de acordo com as possibilidades do terreno em termos de declividade e distância do talude erosivo, para que se evitem mobilizações de material superficial e trabalhos pesados próximos às áreas de maior fragilidade. Deve ser concebido em “U”, revestido com geossintético impermeável e colchões Reno. Ressalta-se a importância da impermeabilização de todas as estruturas de condução do escoamento face às características de porosidade dos solos a qual estimulam maiores taxas de infiltração gerando fluxos subterrâneos que acarretam a dinamização erosiva pelo processo de “piping”.

No mapa dos sistemas propostos para recuperação da área (figura 37, pg. 94) pode ser observado que a rede de galerias denominada “Rede Norte” é substituída pelo sistema composto pelas estruturas mencionadas, sendo sugeridas três bacias de captação posicionadas nos pontos exutórios das sub-bacias urbanizadas (de acordo com a subdivisão adotada no modelo hidrológico) e quatro bacias de retenção ao longo da rede principal, a qual deverá possuir comprimento total de 510 metros e desnível de 36 m.

Quanto ao escoamento que segue pela rede de galerias denominada “Rede Norte”, sugere-se que parte da rede seja mantida e acrescida de manutenção, o que se justifica pelo fato de sua relativa estabilidade (apresenta poucos danos em relação à erosão diferencial) e o

elevado custo de substituição por outro sistema. Entretanto, convém ressaltar que a rede constituída de tubulação de concreto estimula o rápido escoamento da água acarretando no aumento de seu potencial erosivo; portanto, sugere-se que seja feita a interceptação da rede num setor da vertente que apresenta baixo gradiente clinográfico, condicionado pela presença de terraços em ambos os lados e que conforme se constata em campo apresenta alta compactação dos solos. Neste ponto deve ser construída uma ampla bacia de detenção impermeabilizada, conforme indica Baptista (2005), a qual servirá para amortecer o fluxo pluvial conduzido pelas galerias até esse ponto. A partir daí o fluxo deve ser conduzido por canais abertos de acordo com as especificações mencionadas, substituindo-se um trecho de 180 m de tubulação. O dimensionamento dos canais deve levar em consideração as vazões de projeto, que no caso da “Rede Norte” são as mais expressivas da bacia, uma vez que conduz o escoamento captado por 5 setores urbanos (de acordo com a divisão do modelo hidrológico), cuja área de contribuição equivale à aproximadamente 70% das áreas urbanas drenadas.

A porção SW da baixa bacia, onde se encontra instalada a rede de galerias supramencionada deve ser acrescida de sistemas de captação e condução do escoamento para os bairros deste setor, a qual tem atualmente suas águas direcionadas para duas bacias de detenção não impermeabilizadas situadas no reverso dos terraços existentes na área. Sugere-se que as bacias em questão sejam substituídas por uma bacia de detenção seca impermeabilizada com as mesmas especificações das bacias sugeridas para a vertente NE. O fluxo deverá em seguida ser conduzido por canais abertos confluindo para o sistema que conduz as águas da rede de galerias, conectando-se a esta na bacia de detenção posicionada no ponto de interceptação da tubulação. Embora possa constituir um incremento a tal fluxo, (mesmo apresentando volume pouco expressivo, pois possui pouca área de contribuição) considera-se de suma importância que tal escoamento não permaneça retido na vertente sem impermeabilização, pois conforme constatado nas análises tem contribuído fortemente para a erosão subterrânea em dutos. Assim, o sistema sugerido para este setor da bacia consiste em 2 bacias de captação, 1 estrutura de interceptação da rede de galerias e 4 bacias de detenção, sendo uma delas de maiores dimensões que as demais, por ser a bacia que irá amortecer o fluxo advindo das tubulações e dos bairros adjacentes. O canal proposto terá 340 m de extensão (contando a largura das bacias de detenção) e desnível de até 34 m.

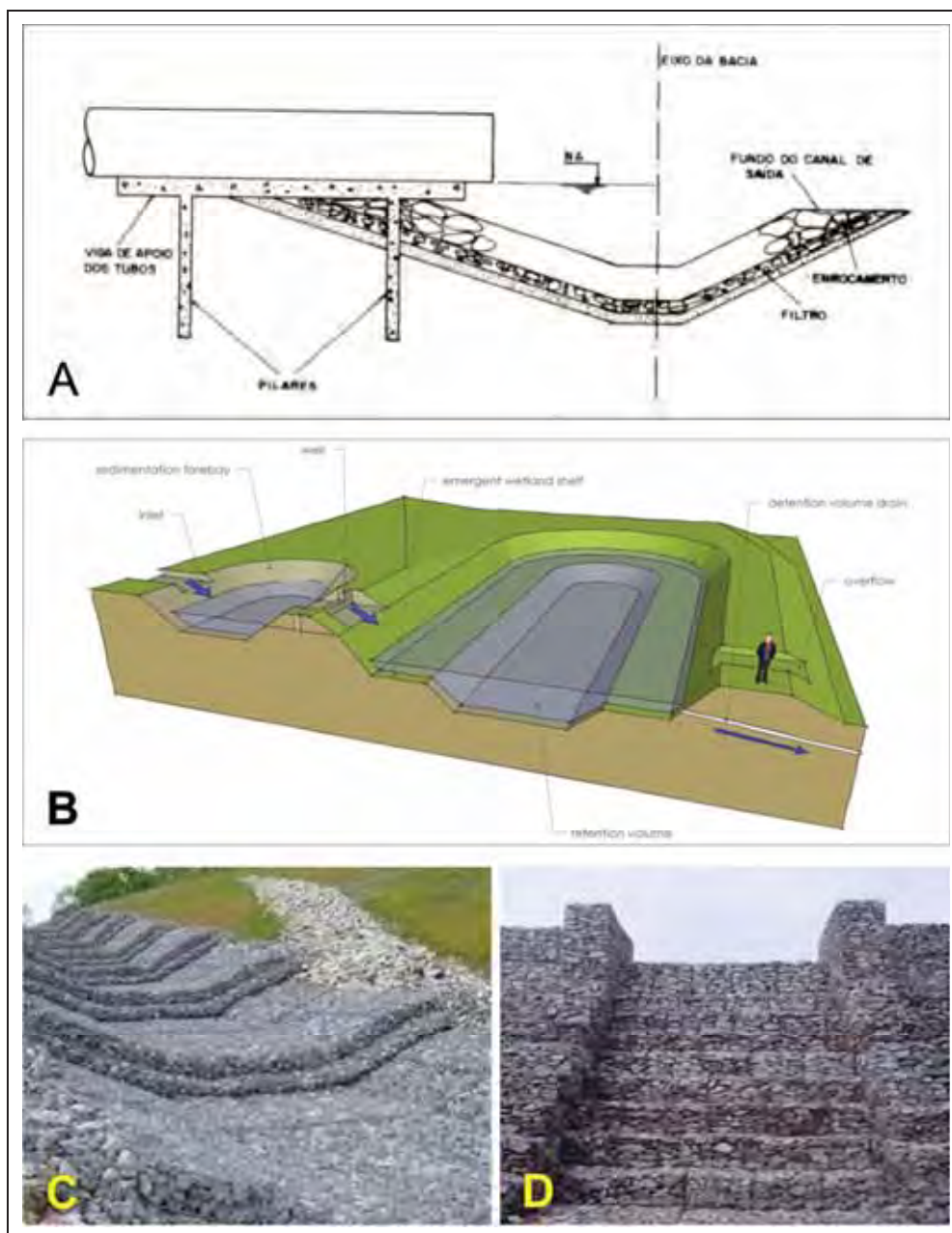
Acredita-se que a configuração proposta, que tem como base diversas referências na literatura, constitui-se a medida mais adequada para a condução do escoamento pluvial advindo dos setores urbanos no interior da bacia. A substituição de alguns dispositivos já

existentes na área pode ser considerada onerosa a princípio, mas crê-se que a estabilização do fluxo pluvial mediante o amortecimento proporcionado pelas bacias de detenção e a quebra na energia condicionada pela condução do fluxo através do sistema mencionado são alguns dos mecanismos mais adequados para que a água do escoamento possa ser integrada ao córrego com o mínimo de efeito erosivo.

Em relação aos emissários dos sistemas de condução propostos sugere-se, baseando-se nas estruturas de dissipação apontadas por Fendrich (1997), a concepção de escadarias de dissipação constituídas de gabiões caixa que devem apresentar leve convexidade no sentido transversal, proporcionando a dispersão do fluxo e rampa com gradiente o mais suave possível. A fim de evitar a erosão do leito fluvial, sugere-se o revestimento do mesmo com estruturas em gabião Reno, semelhantes às utilizadas no revestimento dos canais pluviais, mas acrescidas de outras estruturas, como gabiões saco posicionados transversalmente no leito do córrego tendo por finalidade o aumento da rugosidade do leito e a retenção de sedimentos. As margens do córrego também devem ser revestidas com gabiões caixa ou outras estruturas de contenção, algumas dos quais serão mencionadas mais adiante.

A figura 38 apresenta alguns exemplos das estruturas citadas e especificações acerca de sua constituição.

Fig. 38 – A) Bacia de dissipação tipo mergulho; B) Bacia de retenção impermeabilizada; C) Canal revestido com colchões Reno e D) Emissário em escada de dissipação de gabiões caixa.



Fontes: A) DAEE/IPT, 1989; B) Amim, 2011; C) South Fayette Conservation Group, 2011 e D) MG CEU Construtora, 2011.

5.4.2 Sistemas de contenção de encostas e estabilização de taludes

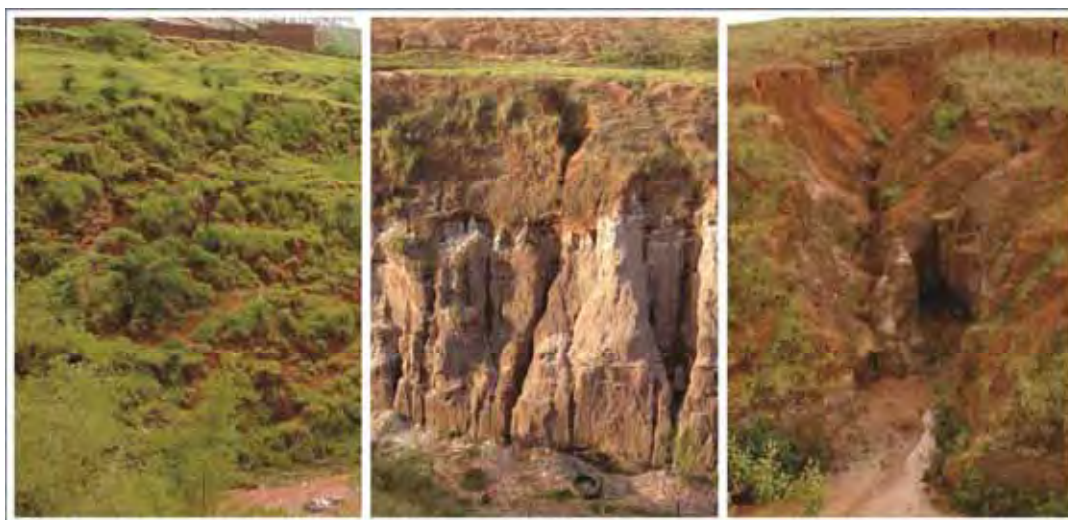
A voçoroca do córrego Tucunzinho caracteriza-se por apresentar taludes cuja geometria mostra-se variada ao longo de ambas as margens do córrego, compondo escarpas abruptas com gradiente clinográfico superior a 45%, áreas de menor inclinação com ampla disseminação de sulcos e entressulcos e setores onde não há um talude erosivo propriamente

dito, mas a encosta apresenta uma série de abatimentos em nível. Para cada morfologia de encosta no contexto dos processos erosivo sugerem-se a adoção de sistemas diferentes, compostos pela junção entre alguns equipamentos específicos utilizados na estabilização do talude e posterior colonização vegetacional.

O mapa das propostas de recuperação já referido (figura 37, pg. 94) tem representados os pontos em que devem ser instalados 3 sistemas distintos. Foram considerados não somente a morfologia da encosta e os gradientes clinográficos, mas também alguns dos aspectos levantados nas análises deste trabalho. As legendas atribuídas a cada um dos sistemas são apresentadas em termos de processos a serem efetuados visando à correção topográfica.

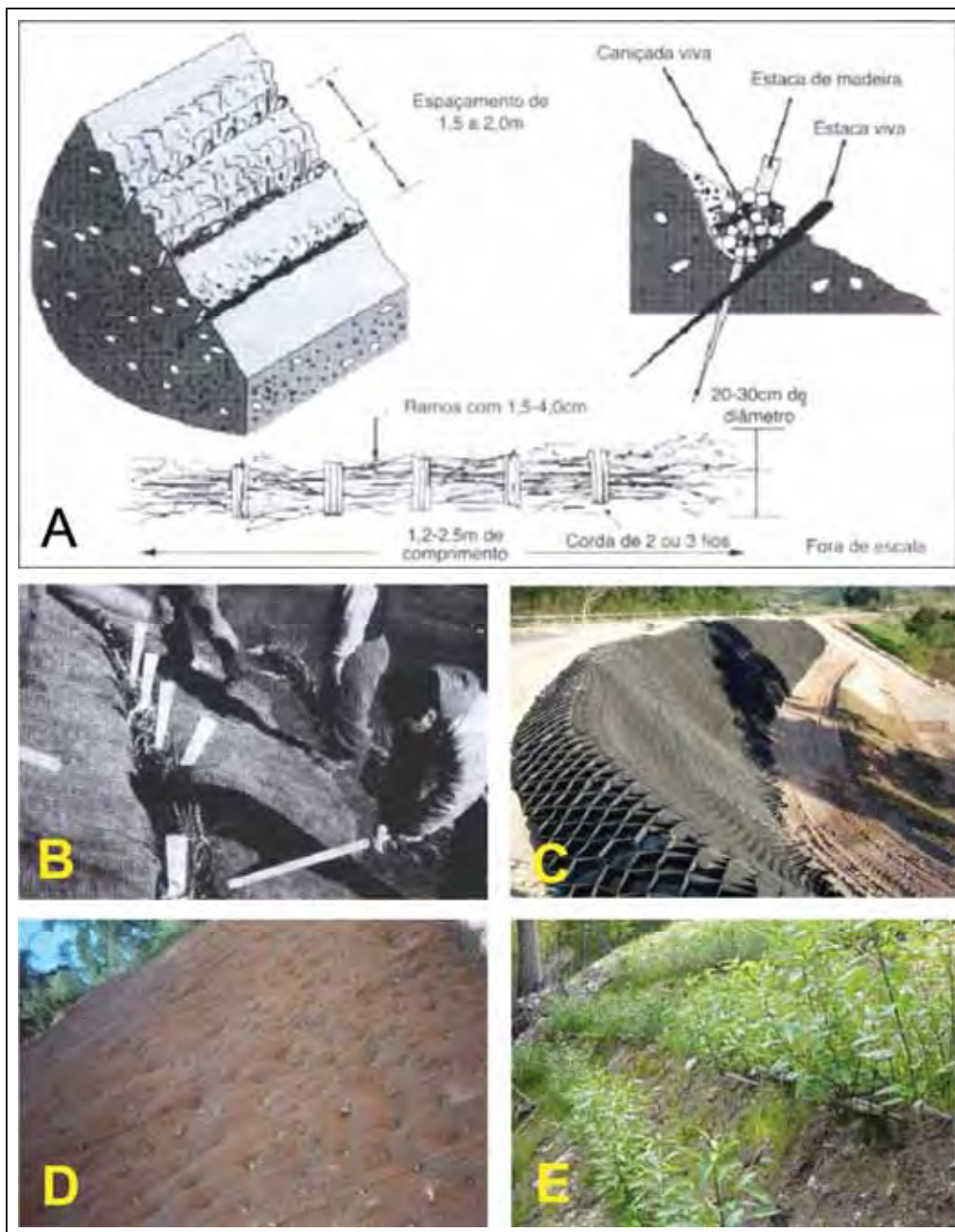
O primeiro sistema é descrito na legenda do mapa inicialmente como “Ajuste topográfico suave” e refere-se às encostas caracterizadas por apresentar os menores gradientes clinográficos no contexto do talude erosivo. Um amplo setor representativo desta categoria possui encosta marcada por abatimentos em nível, com pouca incidência de sulcos pronunciados e recobrimento parcial de gramíneas. O segundo sistema, descrito como “Ajuste topográfico severo” refere-se às encostas mais íngremes, onde há a necessidade de correção da topografia mediante o desbaste das arestas mais pronunciadas visando à concepção de gradiente no qual se torne viável o recobrimento com mantas e plantio por sementes e estacas. Nestes setores ocorre também a formação de sulcos em profusão, bem como cascatas e alcovas de regressão. O terceiro sistema, descrito como “Desbaste de arestas do talude” refere-se aos ravinamentos laterais de maior porte, no qual devem ser adotadas medidas mais complexas visando à supressão do vetor erosivo e supressão do progresso evolutivo de tais formas. As figuras 39a, 39b e 39c apresentam as fotografias referentes aos três tipos de encostas que devem ser submetidas à retrabalhamento para instalação dos equipamentos de contenção.

Fig. 39a, 39b e 39c – Encosta com abatimentos em nível, talude erosivo com forte inclinação e ravinamento lateral, respectivamente.



Assim, têm-se que o primeiro sistema deve contemplar, segundo orientações propostas por Cunha (1991), a correção suave de imperfeições na encosta seguida da concepção de patamares para quebra da energia do fluxo de run-off, as quais devem ser concebidos como terraço/dique, acompanhando as curvas de nível. No interior dos diques inserem-se caniçadas vivas, de acordo com sugestões apontadas por Araújo et al (2008), as quais se constituem ramos de espécies vegetais enraizáveis dispostas em fardos e ancoradas com estacas vivas. O dique deve ser preenchido com terra adubada de forma que os ramos e estacas ao se enraizarem possam ser nutridos durante o início do crescimento vegetativo. Sugere-se que as rampas apresentando solo exposto sejam revestidas de sistemas de confinamento celular, genericamente denominados geocélulas, as quais são preenchidas com solo adubado e preparado de acordo com as necessidades de correção da acidez, acrescidos ainda de um *mix* de sementes de espécies pioneiras, de preferência gramíneas, cuja malha radicular venha a oferecer uma boa ancoragem de tais solos e a densidade da planta diminua substancialmente os efeitos de *splash* das gotas de chuva e do potencial erosivo do escoamento laminar. Em seguida deve haver o recobrimento dessa camada superficial com biomantas ou malha geossintética, ancoradas com estacas vivas, conforme orientações do autor supramencionado. A encosta assim recoberta se apresentará, à medida que houver o brotamento das sementes, inteiramente vegetada. A figura 40 apresenta alguns exemplos das medidas e equipamentos propostos.

Fig. 40 – A) Diagrama esquemático do sistema de caniçadas vivas; B) Instalação das caniçadas; C) Encosta revestida com geocélulas; D) Recobrimento com biomanta; E) Exemplo de resultado.



Fontes: A) e B) Araújo et al, 2008; C) Geosoluções, 2011; D) Maccaferri, 2011) e E) Terra Erosion Control, 2011.

Quanto ao segundo sistema a ser implantado é importante destacar que tratam de medidas que exigem maiores cuidados técnicos de execução, uma vez que se propõe uma correção mais severa da topografia a partir do desbaste das linhas de aresta do talude erosivo. Em geral recomenda-se o mínimo de mobilização de materiais nas áreas de maior fragilidade

e suscetibilidade erosiva, entretanto o ajuste da topografia de encosta visando à correção do ângulo de inclinação é um procedimento de vital importância para que possam ser instalados os devidos dispositivos de contenção. Nesse caso, privilegiam-se as medidas de bioengenharia apresentadas por Araújo et al (2008), Morgan (1995) e Gray & Sotir (1996).

Inicialmente deve-se realizar o planejamento minucioso acerca da linha de desbaste do rebordo erosivo, que deve ser calculada com base no ângulo preconizado para a correção da inclinação do talude. A alteração da geometria da encosta, além de permitir o estabelecimento da vegetação, contribui para o alívio da carga nas porções superiores. Para tanto se torna necessária a concepção de cálculos com base na NBR 11682 (ABNT, 1990), a qual se refere às normas brasileiras aplicáveis à obras de estabilização de taludes e que apresenta os procedimentos a serem adotados para a execução do ajuste topográfico referido.

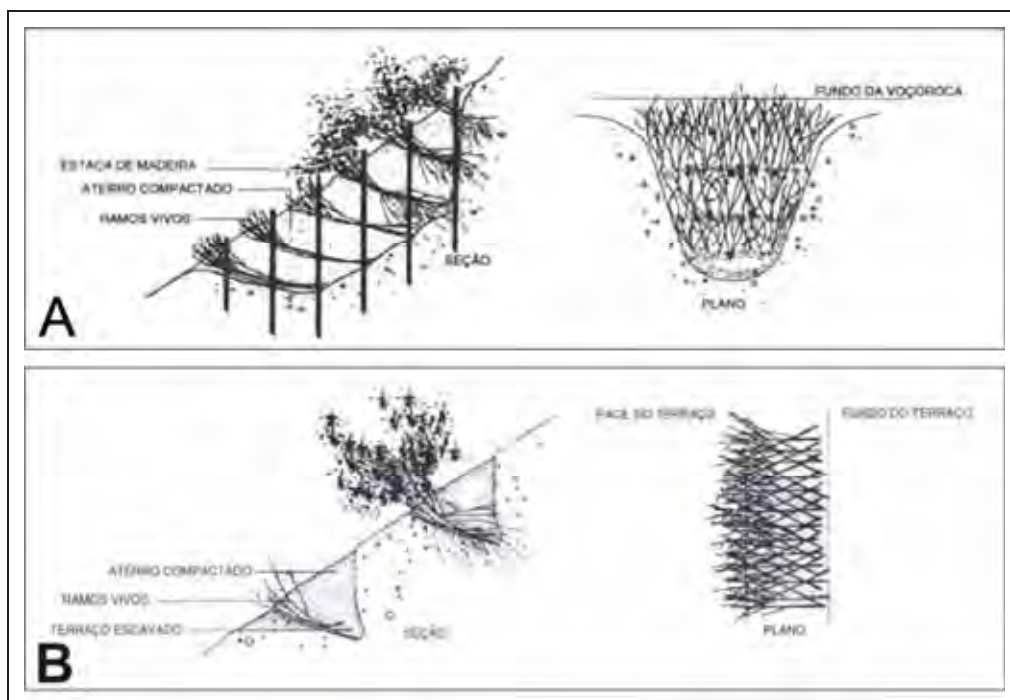
O material removido servirá para o preenchimento dos sulcos existentes nessas porções do talude. Recomenda-se a adoção da técnica de empacotamento de ramos, ou “branchpacking”, de acordo com as considerações de Gray & Sotir (1996) e Araújo et al (2008), que consiste na inserção de fardos de ramos vivos no interior dos sulcos, os quais são em seguida parcialmente recobertos com o material mobilizado. Deve-se acrescentar uma determinada quantidade de solo adubado e devidamente corrigido nesse pacote, visando suprir as necessidades nutricionais dos ramos que irão se enraizar. Os fardos são ancorados com estacas profundas distribuídas sistematicamente no pacote e nos sulcos mais pronunciados torna-se necessário a instalação de paliçadas feitas de toras de eucalipto, tais como as sugeridas por Fendrich (1997), a fim de garantir a ancoragem do material e a perfeita fixação do fardo de ramos. Sugere-se o aproveitamento das saliências laterais, ou entressulcos para a ancoragem das paliçadas transversais ao sulco. Ressalta-se ainda a importância de se instalarem drenos, conforme aqueles apontados no manual DAEE/IPT (1989), ao longo dos sulcos mais pronunciados antes do recobrimento.

A encosta retrabalhada deve ser acrescida de patamares de dimensões pequenas, as quais serão preenchidos com ramos vivos, conforme o proposto no primeiro sistema, ou ainda pode ser adotada a técnica de camadas de ramos, ou “branchlayerling”, apontada por Gray & Sotir (1996) e Araújo et al (2008), que consiste em linhas de ramos vivos intercalados com camadas de terra. Igualmente deve-se proceder ao recobrimento da encosta com geomantas preenchidas com terra preparada e já contendo sementes de gramíneas, sobrepondo a essa camada a cobertura de biomantas ou malhas geossintéticas (ARAÚJO et al, 2008).

Outro aspecto refere-se ao tipo de terraplenagem da encosta, sendo sugerida a adoção de um nivelamento natural, ou seja, ao longo da seção longitudinal devem ser respeitadas as concavidades e convexidades naturais existentes na área, conforme indicam Araújo et al (2008). Embora a voçoroca em questão apresente-se predominantemente retilínea, ocorrem em alguns setores e de forma pouco pronunciada contornos os quais devem ser respeitados a fim de se obter uma caracterização mais compatível com os atributos morfométricos da área. Ressalta-se que nesse sentido, deve ser dada especial atenção às concavidades por serem as áreas onde a concentração da água tende a formar vetores erosivos. Nesses pontos sugere-se a instalação de paliçadas transversais preenchidas com materiais e pacotes de ramos de acordo com as técnicas supracitadas.

Após a instalação dos dispositivos propostos, a encosta apresentará no sentido de seu contorno feição retilínea a levemente ondulada, à medida que respeitar as concavidades/convexidades inerentes a cada segmento da mesma. Espera-se com isso a correção das irregularidades formadas pelas formas de retrabalhamento em sulcos e entressulcos. A figura 41 apresenta exemplos das estruturas propostas.

Fig. 41 – A) Técnica de empacotamento de ramos; B) Técnica de camadas de ramos; C) Paliçadas de toras; D) Exemplo de aplicação de Brushlayering.





Fontes: A) e B) Araújo et al, 2008; C) EMBRAPA, 2011 e D) California Department Of Transportation, 2011.

O terceiro sistema que se propõe para a área tem como foco a contenção das formas erosivas de retrabalhamento mais pronunciadas, que são ravinamentos laterais, cuja evolução encontra-se em desenvolvimento mais acelerado, apresentando-se como ramificações da voçoroca principal. Tais formas caracterizam-se por apresentar sulco erosivo mais aprofundado e maior alargamento, típico de ravinas, contudo na junção entre estas e o leito da voçoroca principal ocorre a presença de dutos expressivos, condicionando o avanço do vetor de ramificação da voçoroca. A presença de tais dutos consiste um atributo que exige a adoção de técnicas complexas e monitoramento constante. A instalação de drenos visando o disciplinamento do fluxo subterrâneo nos pontos de ocorrência de dutos trata-se da medida mais indicada pela bibliografia (DAEE/IPT, 1989; FENDRICH, 1997; ARAÚJO et al, 2006). Entretanto convém ressaltar que tais drenos por si só não são eficazes caso não haja o progressivo entulhamento do leito da voçoroca, propiciado por outros sistemas que serão abordados mais adiante.

Desse modo, sugere-se que nos pontos em que ocorre a saída dos dutos sejam concebidos drenos que podem ser constituídos de feixes amarrados de bambus envolvidos por filme de polipropileno. Em seguida, transversalmente ao sentido longitudinal do eixo de tais ramificações, devem ser instaladas paliçadas de toras de eucalipto revestidas internamente com manta geotêxtil, de acordo com a proposta de Carvalho (2006), posicionadas desde o ponto mais baixo da forma erosiva até o topo. A quantidade de paliçadas ao longo do eixo, bem como a distância entre cada uma devem ser definidas em função da declividade e extensão do canal plúvio erosivo ocorrente no interior da forma. Esse sistema deverá reter os sedimentos ao longo do tempo formando patamares embutidos no interior da ravina.

As técnicas para revegetação a serem empregadas são similares às sugeridas nos sistemas anteriores. Araújo et al (2008) aponta a técnica denominada *aterro vivo* como sendo a mais indicada no caso de ravinas e até mesmo voçorocas. Assim, devem ser inseridos feixes de ramos vivos na parte anterior das paliçadas e preenchimento preliminar da seção com o material de mobilização acrescido de solo adubado e corrigido. Nas laterais da ravina deve haver o desbaste das arestas feito de forma a suavizar o ângulo de inclinação, quebrando os rebordos mais expressivos, sobretudo onde condicionam a formação de cascatas. Posteriormente, recobrem-se tais superfícies utilizando a mesma técnica já referida para a revegetação de encostas, acrescida da técnica de camadas ou empacotamento de ramos vivos, já sugeridos anteriormente. A figura 42 apresenta alguns dos dispositivos referidos.

Fig. 42 – A) Perfil esquemático de um aterro vivo; B) Dreno de bambu; C) Exemplo de instalação de pacotes de ramos conjugado com paliçadas e D) Paliçadas de toras em ravina profunda.

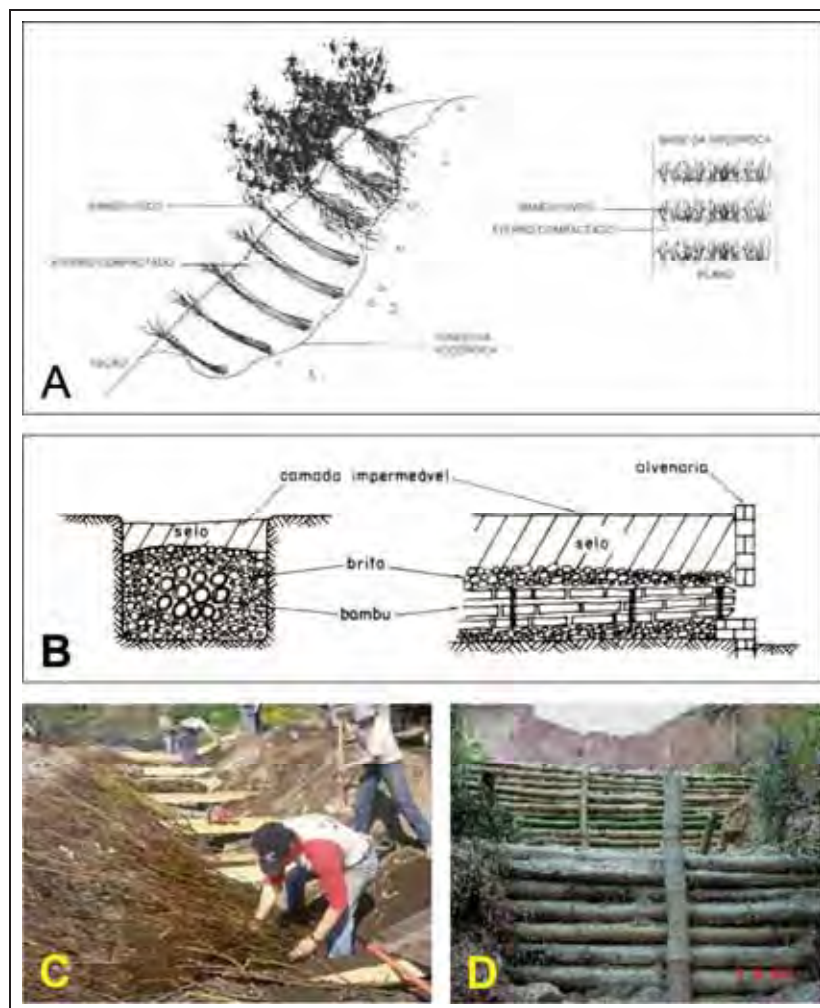


Fig. 39 – A) Araújo et al, 2008; B) DAEE/IPT, 1989; C) Sotir & Associates, 2011 e D) EMBRAPA, 2011.

Ressalta-se que é de suma importância que a instalação dos sistemas propostos por este trabalho seja realizada de forma integrada, caso contrário as intervenções feitas sobre áreas de notável fragilidade podem conduzir à redinamização de processos, cujas conseqüências erosivas comprometerão quaisquer obras que tenham sido feitas. Além do mais, se deve proceder ao contínuo monitoramento da evolução dos processos logo após a execução das obras, realizando sempre que necessário ajustes e manutenções a fim de garantir a eficácia das medidas.

Ainda em termos de contenção de encosta enfoca-se a adoção de medidas estruturais de engenharia de caráter imprescindível a serem executadas no setor de cabeceira da voçoroca em questão. Em relação às características que se observam nesse setor, destaca-se a presença de um expressivo depósito tecnogênico, composto predominantemente de material de entulho e lixo. A esse respeito convém ressaltar que seria inviável a concepção dos referidos equipamentos em terrenos com grande instabilidade, como no caso deste depósito. Entretanto, são encontrados no mercado projetos especialmente desenvolvidos para a estabilização de tais terrenos sendo, contudo, estruturas de grande porte e elevado custo de instalação. Apesar de tais entraves considera-se que a adoção de medidas eficazes para o caso estudado constitui a única forma de proceder a uma intervenção de caráter definitivo.

Assim, sugere-se nesse setor a instalação de uma estrutura em forma de anfiteatro, similar a que é apresentada pela United States Department of Agriculture (USDA, 2011), concebida de gabiões tipo caixa, as quais devem ser ancorados nos taludes marginais da voçoroca. Cabe ressaltar a necessidade de estudos geotécnicos e cálculos do âmbito da engenharia para a projeção de tais obras. A figura 43 apresenta um exemplo do tipo de estrutura sugerida.

Fig. 43 – Gabiões em caixa dispostos em forma de anfiteatro.



Fonte: USDA, 2011.

5.4.3 Sistemas de controle da dinâmica do leito

A carga de sedimentos transportados no leito de voçorocas é responsável por grande parte das conseqüências da erosão à jusante dos córregos, produzindo o assoreamento de canais, com sérias conseqüências para a biota fluvial e para o equilíbrio dos sistemas associados aos cursos d'água. A contínua retirada de materiais no leito erosivo constitui um processo de retroalimentação à evolução erosiva, pois acentua os gradientes de fundo, estimulando a progressão remontante da erosão. Por essas razões, a retenção de sedimentos no leito da voçoroca é apontada como sendo a medida mais eficaz no controle do comportamento dos sedimentos de fundo e estabilização da dinâmica do leito fluvial.

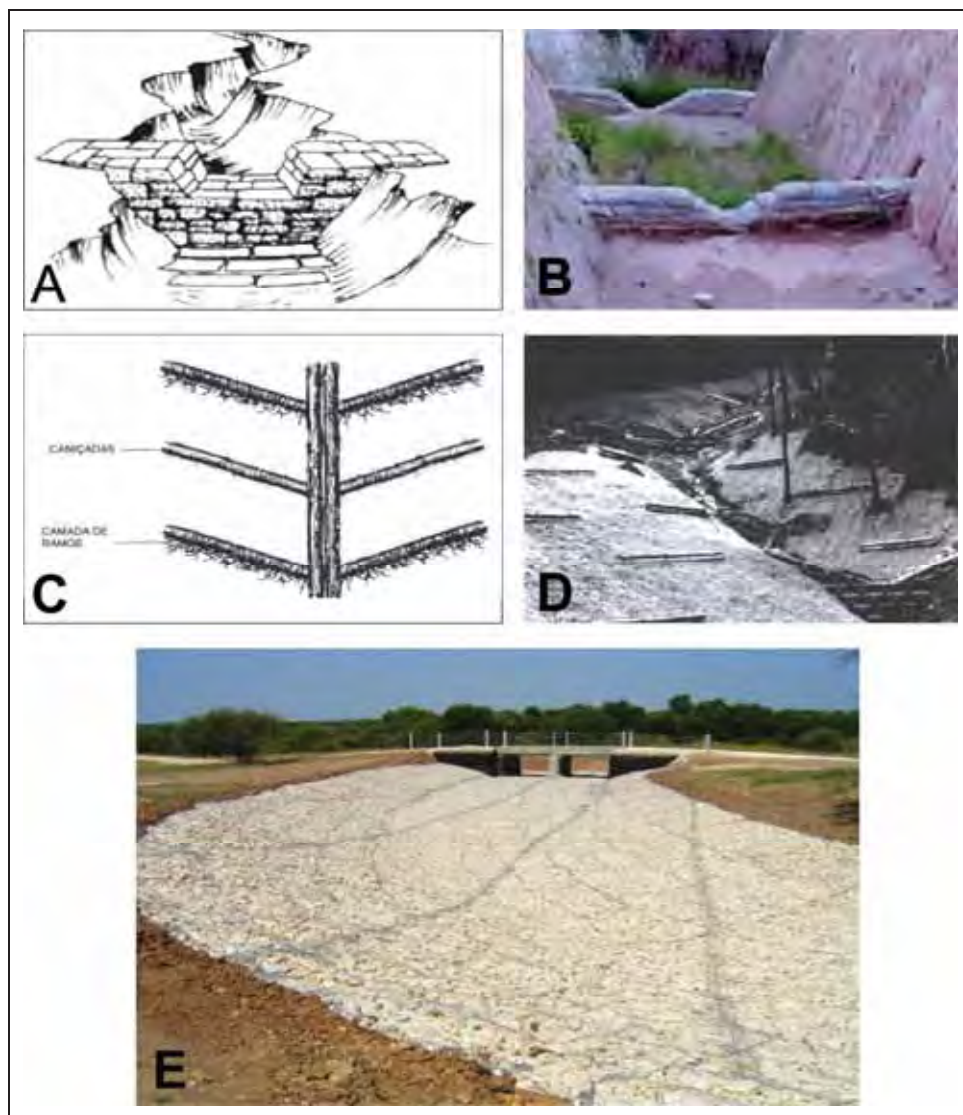
Sugere-se, portanto, a instalação de barramentos transversais ao sentido longitudinal do eixo da voçoroca, concebidos de estruturas que podem ser compostas por sacos de ráfia contendo solo-cimento empilhadas, paliçadas com toras de eucalipto ou então gabiões tipo caixa. Estima-se que o primeiro seja a medida cujo custo/benefício pode ser considerado mais apropriado para o caso estudado. Tal estrutura deve ser projetada de forma a apresentar um vertedor em sua parte central, aproximando-se das especificações contidas no Manual de Controle de Erosão (DAEE/IPT, 1989) para esse tipo de dispositivo. Fendrich (1997) também apresenta contribuição relevante nesse sentido apontando de que forma devem ser concebidos os vertedores em queda associados a tais barramentos. Estima-se que o acúmulo de material no leito venha a promover a ascensão progressiva do fundo da voçoroca, fato que pode ocasionar a diminuição no efeito erosivo provocado pelos afloramentos do lençol. A presença dos barramentos impõe o escalonamento do leito, contribuindo na diminuição dos gradientes do talvegue e produzindo quebra na energia do fluxo.

Quanto aos afloramentos do lençol freático que ocorrem no interior da voçoroca, sugere-se a instalação de drenos de caniçadas vivas, conforme especificado por Araujo et al (2008), a qual consiste numa medida de bioengenharia eficaz no disciplinamento do fluxo da água subterrânea que ocorre em geral no sopé dos taludes. À medida que houver o entulhamento do fundo produzido pela retenção de sedimentos, tais sistemas tendem a ser absorvidos no interior dos materiais acumulados, entretanto, considera-se sua adoção como uma técnica complementar a ser empregada nos pontos onde se torna imprescindível o controle dos afloramentos do lençol.

Outras medidas importantes a serem efetuadas no leito do córrego referem-se ao revestimento com gabiões Reno e contenção das margens, o que já foi aqui mencionado para

os setores onde se posicionam os exutórios das redes pluviais. O revestimento do fundo na parte posterior a cada um dos barramentos a serem implantados ao longo do eixo da voçoroca, de acordo com as mesmas especificidades, é sugerido como medida adicional a fim de evitar erosão produzida pelo impacto da água do córrego após cada ressalto dos vertedores. A figura 44 apresenta alguns exemplos do que se sugere neste trabalho.

Fig. 44 – A) Barragem com sacos de solo cimento; B) Exemplo de aplicação da barragem; C) Sistema de caniçadas vivas; D) Exemplo de aplicação do sistema de caniçadas vivas e E) Leito de canal revestido com colchões Reno.



Fontes: A) TILZ, 2011; B) Nova Imprensa, 1999; C) adaptado de Araújo, 2006; D) Araújo et al, 2008 e E) Geosource, 2011.

5.4.4 Uso e manejo das áreas de entorno das formas erosivas

A contenção dos processos erosivos atuantes na bacia do córrego Tucunzinho só poderá ser efetiva mediante a adoção de práticas de manejo da terra adequadas ao contexto do que se verifica na área. A esse respeito sugerem-se algumas medidas específicas para cada setor delimitado no mapa das propostas de recuperação da área (figura 37, pg. 94). Através desse documento cartográfico é possível identificar três zonas distintas, que possuem relação com o atual uso da terra estabelecido nesses setores. As sugestões para cada setor são apresentadas a seguir.

A) Áreas de entorno da voçoroca do córrego Tucunzinho

O uso da terra nesses setores caracteriza-se em parte para finalidade agropastoril (pastagens em cerca de 30% da área) e em parte por terras improdutivas ocupadas por formações campestres esparsas, coberturas incipientes de gramíneas e ocorrência expressiva de solos expostos. Tais terrenos vêm a se constituir as áreas preferenciais à expansão urbana, conforme já destacado anteriormente. Entretanto, caracterizam-se também por apresentar morfologia antropogênica, resultante de obras de contenção e recuperação executadas nos anos de 1990. Sugere-se em tais áreas um intenso trabalho de recuperação.

Primeiramente os terraços existentes nesses setores devem ser restaurados nos pontos em que se encontram parcialmente colapsados ou levemente danificados. Os diques formados na parte posterior dos terraços devem ser acrescidos de camalhões transversais a cada 10 m formando barreiras ao possível escoamento gerado pelo fluxo de run-off que tende a se encaixar na linha dos diques. Tal medida é considerada de suma importância face ao que se observa na área, no qual a topografia vem condicionando a evolução de formas erosivas de retrabalhamento nos pontos adjacentes ao rebordo da voçoroca.

Visando a proteção das obras a serem efetuadas sobre os taludes da voçoroca, sugere-se a concepção de um amplo terraço de base larga contornando o rebordo erosivo em toda sua extensão. Privilegia-se que tal terraço acompanhe as curvas de nível, entretanto, é válido que o mesmo transponha as curvas no sentido transversal nos pontos onde essa medida seja necessária.

A revegetação dessas áreas deverá ser realizada sistematicamente, utilizando-se para tanto de técnicas mistas de manejo de sementes, mudas e mesmo de feixes de ramos vivos onde for necessário. A ancoragem dos terraços a partir de ampla cobertura com espécies

vegetacionais que apresentam malha radicular densa considera-se imprescindível, bem como o estabelecimento de espécies ao longo dos diques cujas raízes contribuam para melhoria das condições de infiltração e drenagem dos solos.

Salienta-se que tais medidas só poderão se efetuar mediante a implementação de nutrientes e correção do solo. Outra técnica útil à recuperação dessas áreas é o recobrimento das áreas de solo exposto com vegetação morta, folhas e outros resíduos naturais, a qual acrescenta matéria orgânica ao solo. Também se recomenda o revestimento com biomantas nos pontos onde a declividade exija tal medida.

B) Área de expansão urbana

Identifica-se na bacia do córrego Tucunzinho um setor de expansão urbana localizado na porção adjacente à cabeceira do mesmo. Trata-se de uma área com baixo gradiente clinográfico, submetida a intensos trabalhos de terraplanagem ao longo dos anos de 2009 a 2011, e que, no momento da conclusão deste trabalho, encontra-se sendo cercada para fins de uso pela administração municipal. Sugere-se em relação a tal área, independente de qual o uso a ser ali estabelecido, a adoção de práticas visando evitar efeitos erosivos pelo escoamento superficial e a concentração de tais águas neste setor, o que poderia acarretar conseqüências às obras de cabeceira. Assim, o recobrimento dessa área com gramíneas de porte médio é aconselhável, sobretudo nos pontos mais suscetíveis a processos de erosão laminar. Também se sugere que parte da área seja reflorestada com espécies arbóreo-arbustivas, contribuindo assim para a melhoria nas condições da infiltração, a proteção do solo contra o efeito direto das gotas de chuva e demais atributos associados à recuperação da área.

C) Área de ocorrência de formações florestais

Na baixa bacia do córrego Tucunzinho é possível constatar a ocorrência de manchas de mata galeria ocupando, sobretudo as margens do córrego no setor próximo à sua confluência. Tais matas encontram-se um tanto degradadas em função de inúmeros fatores, no qual se destaca a influência antrópica. Sugere-se que tais áreas sejam submetidas ao plantio de mudas visando a regeneração e adensamento dessas formações florestais. A ampliação dessa área é prerrogativa essencial às propostas de recuperação apontadas por este trabalho e deve ser feita privilegiando-se espécies vegetacionais nativas e que apresentem boa interação com as existentes no local. A futura regeneração desses espaços por meios naturais a partir da dispersão de sementes e outros processos bióticos é considerada como um processo iminente caso sejam efetuadas as medidas apontadas e evitem-se novos danos a tais florestas.

5.4.5 Sistemas de revegetação empregados na recuperação de áreas degradadas

Conforme já ressaltado, dentre as medidas a serem efetuadas na bacia do córrego Tucunzinho a revegetação se destaca como uma das mais importantes, sendo que cada sistema mencionado trás embutidas técnicas nesse sentido. Entretanto é importante apontar alguns aspectos, sobretudo relacionados às espécies vegetacionais mais adequadas à recuperação preconizada por este trabalho.

Um dos papéis mais importantes da cobertura vegetal é garantir que o solo se mantenha relativamente estável frente aos processos denudacionais. Bertoni e Lombardi Neto (1990) apontam alguns dos efeitos da cobertura vegetal sobre os solos:

- Proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- Dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- Aumento da infiltração da água;
- Influência sobre a textura e estrutura do solo pela adição de matéria orgânica melhorando a porosidade e a capacidade de retenção de água;
- Diminuição da velocidade do escoamento.

As práticas mais eficazes para a revegetação de áreas degradadas empregam o plantio consorciado, no qual se agregam principalmente espécies de gramíneas e leguminosas (PEREIRA, 2008). Torna-se importante determinar dois fatores no processo de recomposição vegetal: a densidade de indivíduos vegetais e sua disposição no terreno. A associação de indivíduos de vários portes (arbóreo, arbustivo e herbáceo) trata-se de um procedimento essencial para a busca de uma cobertura vegetal que seja eficaz na proteção do solo subjacente.

A definição do mix de plantas adequados a cada situação de degradação deve levar em consideração a junção de variáveis conforme é apontado por Pereira (2008) na tabela 05

Tabela 05 – Variáveis básicas para seleção do *mix* de espécies para controle de erosão e áreas degradadas.

ITENS	VARIÁVEIS	NÍVEIS		
		A	B	C
1	Objetivo	Segurança	Revegetar	Estético
2	Longevidade	Anual	Bianual	Perene
3	Proteção Requerida	Pequena	Parcial	Total
4	Tipo do Impacto	Desnuda	Degradada	Erodida
5	Tipo de Área	Alagada	Estável	Instável
6	Topografia	Plana	Inclinada	Muito Inclinada
7	Fertilidade Natural	Baixa	Média	Estéril
8	Produção de Biomassa	Baixa	Média	Alta
9	Biodiversidade do Local	Não há	Baixa	Alta
10	Formação (Tempo)	Curto	Médio	Longo Prazo
11	Tolerância ao Clima	Seca	Fogo	Alagamento
12	Tolerância Edáfica	Acidez	Salinidade	Sombra
13	Toxidez do Solo	Baixa	Média	Alta
14	Porte da Planta	Rasteiro	Médio	Alto
15	Raízes (Profundidade)	Rasa	Média	Profunda

OBS.: nas características ainda devem ser inclusos: precipitação, temperatura e altitude.

Fonte: Pereira, 2008.

Especificações técnicas do plantio tais como a quantidade de sementes, de adubo, método adequado de correção do solo, entre outros, constituem-se procedimentos indispensáveis na elaboração do plano de revegetação, sendo definidas a partir de cálculos envolvendo as variáveis apresentadas, cujo método encontra-se descrito pelo citado autor.

Pereira (2008) cita um exemplo de consorciação entre espécies proposta para uma determinada área baseada no cruzamento dos diversos atributos desta, nas exigências e necessidades do projeto e características edafoclimáticas e ambientais das espécies. A área referida pelo autor possui características físicas similares às que se encontram na bacia do córrego Tucunzinho, dentre as quais se destacam: solos ácidos, bastante permeáveis (textura arenosa), com alto grau de lixiviação; declividade variando entre 30° e 45°; clima marcado por duas estações anuais, uma seca e outra úmida e precipitação média anual de 1500 mm; alto grau de degradação, apresentando focos erosivos em diversos pontos. Devido a tal similaridade, considerou-se válida, a título de aproximação, a indicação sugerida pelo autor, a

qual é apresentada na tabela 06, acrescida já da quantidade ótima de sementes a ser aplicada, para evitar perdas e excesso de competição entre as espécies.

Tabela 06 – Espécies mais apropriadas para o revestimento da área degradada com características similares à bacia do córrego Tucunzinho.

1 – GRAMÍNEAS		
Nome Comum	Nome Científico	QDE. (kg/ha)
Andropogon	<i>Andropogon gayanus</i>	11,07
Brachiarião	<i>Brachiaria brizantha</i>	3,22
Capim Jaraguá	<i>Hyparrhenia rufa</i>	5,48
Capim Meloso	<i>Melinis multiflora</i>	10,16
Capim Vetiver	<i>Vetiveria zizanioides</i>	6 pl/m
SUB-TOTAL 1		20,93
2 – LEGUMINOSAS		
Capopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	3,85
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	9,62
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	4,51
Mucuna Preta	<i>Mucuna aferrima</i>	32,15
Soja Perene	<i>Glycine wiightii</i>	8,61
SUB-TOTAL 2		58,74
TOTAL		79,67

Fonte: Pereira, 2008.

Ressalta-se que as espécies sugeridas são apresentadas pelo autor como sendo apropriadas à uma situação de grande similaridade com o caso da bacia do córrego Tucunzinho. Sugere-se, portanto, a execução de um projeto específico da área de acordo com a metodologia indicada por Pereira (2008).

Facincani (1995), por sua vez, apresenta propostas de recuperação para a área de São Pedro e sugere as seguintes espécies:

- **Gramíneas:** (*Brachiaria decumbens* Stapf), forquilha, batatais, ou rio grande (*Paspalum notatum* Flugge) e seda, bermuda ou de burro (*Cynodon dactylon*);
- **Leguminosas:** Leucena (*Leucaena leucocephala*), crotalária (*Crotalaria* sp), mucuna (*Stizolobium* sp), anileira (*Indigofera hirsuta* L), ingá (*Inga* sp), eritrina (*Erithrina* sp),

cássia (*Cassia* sp), chuva-de-ouro, angico (*Anadenanthera falcata*) e angico (*Piptadenia* sp).

A citada autora ressalta que as espécies escolhidas apresentam boa adaptação a ambientes degradados e tem a vantagem de produzir grande quantidade de sementes além de fazerem simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que contribui para a fertilidade do solo. Também aconselha o uso do bambu (*Bambusa*, sp) nos casos de maior deterioração, como ocorre nos taludes de cabeceira das voçorocas.

Correlacionando-se as indicações de Pereira (2008) com as propostas de Facincani (1995), constata-se que entre as gramíneas somente a braquiária é sugerida por ambos autores, sendo que o primeiro indica a espécie *Brachiaria Bisantha*, enquanto o segundo indica a *Brachiaria decumbens* Stapf. Em relação às leguminosas, são sugeridas por ambos autores a Leucena (*Leucaena leucocephala*) e a Mucuna, sendo esta a *Mucuna aferrima*, apontada pelo primeiro e a *Stizolobium* sp pelo segundo. As três plantas indicadas por ambos, portanto, podem ser consideradas como aquelas que são ideais a serem utilizadas na recuperação vegetal da bacia do córrego Tucunzinho.

Outro aspecto considerado importante na escolha das espécies refere-se à forma de propagação, uma vez que são apresentadas uma série de medidas de bioengenharia envolvendo o uso de plantas, visando a contenção erosiva, cujo brotamento é possível ocorrer por meio de estacas ou partes de ramos. Assim, dentre as espécies acima mencionadas destacam-se a Leucena (*Leucaena leucocephala*), a eritrina (*Erithrina* sp) e o bambu (*Bambusa*, sp), constituindo-se os mais indicados na concepção dos dispositivos de bioengenharia mencionados nos itens anteriores.

Martins (2009), discorrendo sobre aspectos ecológicos do plantio de espécies arbóreas na recuperação de áreas degradadas atenta para que sejam considerados os seguintes critérios, dentre outros citados pelo autor:

- Plantar espécies nativas com ocorrência em florestas da mesma microbacia hidrográfica ou da região;
- Plantar o maior número de espécies para gerar alta diversidade;
- Plantar mudas oriundas de sementes obtidas em várias matrizes de diferentes remanescentes florestais, para garantir diversidade genética;
- Plantar espécies atrativas à fauna;

- Utilizar combinações de espécies pioneiras de rápido crescimento e copa ampla junto com espécies não-pioneiras (secundárias tardias e clímax).

Por fim, resta mencionar que a correção dos solos através da adição de fertilizantes naturais e corretores minerais, tais como o calcário dolomítico, são procedimentos imprescindíveis ao sucesso da recomposição vegetacional, sobretudo para o caso específico da bacia estudada, cujos solos apresentam alto grau de acidez e baixa concentração de nutrientes devido à lixiviação.

5.4.6 Manutenção das obras e demais considerações

A implantação das obras de recuperação de áreas erodidas, como qualquer ação de caráter corretivo, deve passar por sucessivas adaptações e inevitavelmente por ciclos de manutenção à medida que os excessos de chuvas ou outros efeitos possam acarretar pequenos danos na obra. Nesse sentido torna-se imprescindível o monitoramento da mesma, bem como a proteção dos terrenos contra invasão de animais, que poderia acarretar no pisoteio dos equipamentos. A população deve também tomar conhecimento das ações que estão sendo realizadas e ser conscientizada a fim de que colabore com as obras, deixando de jogar lixo no terreno erodido e não permitindo que crianças brinquem dentro da área em questão, fatores estes que são comuns na bacia do córrego Tucunzinho, dada a proximidade dos bairros e a falta de instrução dos moradores do local.

Outro aspecto considerado necessário no tocante ao uso da terra é a supressão do crescimento urbano sobre as áreas degradadas, pois qualquer edificação implantada nesses locais tem como potencial a intensificação dos problemas já existentes. É importante que as únicas intervenções efetuadas sobre a área sejam aquelas de caráter corretivo, ou seja, as obras de contenção erosiva e disciplinamento do fluxo de escoamento superficial, conforme já indicadas. De igual modo deve-se buscar suprimir as atividades de extração de areia fluvial (portos de areia) nos setores à jusante da bacia, tais como aqueles ocorrentes ao longo do curso do córrego Tucum e do ribeirão Araquá. Considera-se que tal atividade tem contribuído para a dinamização erosiva de montante à medida que gera alterações no nível de base local.

Ressalta-se a importância de se proceder a outros levantamentos complementares, sobretudo estudos de caráter geotécnico e cálculos hidráulicos de projeto, respectivamente voltados à contenção de encostas e aos equipamentos de microdrenagem apontados neste trabalho, os quais não foram contemplados nos objetivos do presente estudo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos parâmetros hidro-geomorfológicos da bacia do córrego Tucunzinho permitiu um melhor entendimento sobre como se desenvolvem os processos de erosão linear acelerada que ali atuam. Os dados que este trabalho levantou permitem afirmar que as litologias sedimentares que compõem o substrato geológico da bacia, compostas pelos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu constituem arcabouço de grande friabilidade e os solos ocorrentes na área, associados a tais litologias, tais como os Argissolos e os Neossolos Quartzarênicos, resultam em coberturas de grande suscetibilidade à erosão. A morfometria do relevo é indicativa de grande potencialidade ao desencadeamento morfogenético. O uso da terra reflete sucessivas interferências antrópicas predatórias que redundaram na predominância de coberturas vegetacionais incipientes sendo tomadas pelo avanço da urbanização. Integrando-se a tais características encontra-se o comportamento hídrico dos solos e do escoamento superficial, além dos fatores originados da própria urbanização como o incremento das vazões de pico e as falhas na infra-estrutura urbana, como a ausência de equipamentos de drenagem adequados e têm-se, enfim, a intensa dinamização de processos erosivos acelerados resultando em conseqüente degradação do meio físico da área.

A fisionomia da paisagem da bacia reflete tanto a deterioração resultante da dinamização erosiva quanto das interferências antrópicas que acrescentam materiais (resíduos sólidos, efluentes), bem como estruturas tais como rede de galerias pluviais e de esgotos. Não menos expressiva é a configuração antropogênica do relevo marcada por sucessivas obras. Todos esses fatores combinados resultam num quadro de degradação que afeta diretamente a qualidade de vida dos habitantes que tem suas moradias próximas às áreas mais impactadas.

Diante das constatações que este trabalho apontou, fundamentado em pesquisa bibliográfica, trabalho experimental e observações de campo, pode-se inferir que a contenção dos processos de erosão trata-se de uma ação prioritária à infra-estrutura urbana do município de São Pedro, sem a qual, sérios impactos resultantes da degradação podem conduzir a riscos à população e ao meio ambiente. Entretanto, cabe ressaltar que são raras as ações dos órgãos competentes nesse sentido. O que comumente se constata é a execução de medidas paliativas sem qualquer coerência com os atributos físicos imperantes nem tampouco comprometimento com o bem estar social.

As propostas apresentadas neste trabalho foram pautadas nas análises efetuadas e tiveram como diretriz as orientações levantadas através da bibliografia. Foi dado enfoque especial às medidas de bioengenharia visando uma maior compatibilização com os atributos físicos da área, assim como a viabilidade técnica e orçamentária no âmbito da administração pública. Medidas estruturais mais severas, cuja execução envolve estudos geotécnicos e cálculos de engenharia foram apenas indicados, sendo assim, um projeto visando à concepção de tais obras deve ainda levar em consideração a necessidade de estudos mais aprofundados nesse sentido. Crê-se que as propostas apontadas contribuem de forma efetiva para a execução de projetos visando à contenção dos processos erosivos e a recuperação, tanto da área estudada, quanto de outras áreas que possuam as mesmas características desta e apresentam-se em situação semelhante.

Pesquisas futuras a serem desenvolvidas na bacia estudada podem ainda lançar luz a certas questões que não foram objetivadas neste trabalho. Uma dessas questões busca a resposta sobre qual o balanço ideal entre a água a ser escoada do meio urbano e a que deve ser retida neste por meio de técnicas de drenagem compensatórias, uma vez que o rápido escoamento aumenta o volume de pico e o potencial erosivo do fluxo e, em contrapartida, a água retida na vertente tende a estimular os processos erosivos em dutos por meio da infiltração.

Salienta-se que, muito embora o presente trabalho contribua com sugestões a respeito das medidas necessárias, é defendida a idéia de que a prevenção ainda é o melhor caminho a fim de se evitar a degradação resultante das formas de erosão linear acelerada. O planejamento que toma como referencial as limitações geotécnicas e geomorfológicas dos terrenos com certeza se constituirá no mais preventivo e, portanto, mais aconselhável a ser posto em prática.

Por fim, ressalta-se que a metodologia adotada constituiu-se eficaz na realização dos objetivos deste trabalho. O conjunto de técnicas desenvolvidas foi enriquecedor do ponto de vista científico e gerou dados que, submetidos à análise sistêmica, fundamentaram a concepção dos resultados apresentados, conforme o esperado, contribuindo para a formação do aluno pesquisador de forma integral e efetiva.

7 BIBLIOGRAFIA

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

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*, Instituto de Geografia, USP, p. 1-15, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. Bol. IGG, n.41, 1964. 99p.

ALVES, R. R. et al. Monitoramento dos Processos Erosivos e da Dinâmica Hidrológica e de Sedimento de uma Voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia-MG. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMORFOLOGIA, 7, 2008, Belo Horizonte. *Anais...*Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 1 CD.

AMIM, T. Infraestrutura verde – sistema de drenagem ecológico. Disponível em: <<http://alteaurbanismo.blogspot.com/2010/04/infraestrutura-verde-sistema-de.html>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

ARAÚJO, G. H. S. *Gestão Ambiental de Áreas Degradadas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 3ª. ed. 2008. 320p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma: Degradação do solo: Terminologia*. (NBR 10703), São Paulo, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma: Estabilidade de taludes:procedimentos*. (NBR 11682), São Paulo, 1990.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*, Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARBOSA, C; CARVALHO, P. F. C. de.; CUNHA, C. M. L. da. Gestão das águas urbanas: o relevo como unidade de análise para o zoneamento urbano, XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2, 2009, Campo Grande – MS, *Anais...*, Campo Grande, 2009, p. 1-14.

BARBOSA, C. *Planejamento urbano sustentável: diretrizes de urbanização embasadas nas características geomorfológicas/pedológicas de vertentes*. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), 2010 - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP. 2010.

- BARRETO, M. M. R. Geomorfologia da Área de São Pedro (SP). *Notícia Geomorfológica*. Campinas, v. 10, nº 19, p. 47-61, 1970.
- BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S/A. Levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo B-917, escala 1:30000, faixa 131, foto 3779, 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BIDONE, F.; TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In TUCCI, C.E.M. et al. (org) *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PASSOS, E. *Estrutura e Origem da Paisagens Tropicais e Subtropicais*. Ed. UFSC. V. 2, 1996. 875 p.
- BITAR, O. Y. & BRAGA, T. O. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O. Y. (org), *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995, p. 165-179.
- BOX, T. W. Reclamation of drastically disturbed land. In: SYMPOSIUM OHIO, *Proceedings...* Wooster: Wisconsin American Society of Agronomy, 1976. p. 3-5.
- BRAGA, R.; MORUZZI, R. B.; CUNHA, C. M. L. da. Avaliação da aptidão para ocupação urbana de uma bacia localizada no setor oeste da cidade de Brotas – SP em função de condicionantes geomorfológicos e hidrológicos. *Relatório Técnico*. Deplan/ IGCE – Unesp Campus de Rio Claro, 2007. 128p.
- BRASIL, República Federativa do. *Decreto Federal 97.632/89*, de 10 de abril de 1989. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em: março de 2011.
- BROWN, E. H. O homem modela a terra. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, 30(222): 3-18, 1971.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Brush layering. Disponível em: <http://www.dot.ca.gov/hq/LandArch/ec/plants/brush_layering.htm> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- CAMARGO, O. A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106, edição revista e atualizada).

- CAMARGO, G.; CAMARGO FILHO, M.; OLIVEIRA, M. A. T. Erosão em túneis e reconhecimento de rotas de fluxo subsuperficial concentrado no Centro Sul e Centro-Oeste do Estado do Paraná (Brasil). In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2004, Santa Maria. *Anais...*: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 1-11.
- CARPI JR, S. *Técnicas cartográficas aplicadas à dinâmica da bacia do Ribeirão Araquá – SP*. 1996. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1996.
- CARPI JR, S; MENDES, I. A. As vertentes do córrego Tucum (São Pedro, SP) e seu significado morfogenético. *Geografia*, Rio Claro, 17(1): 77-90, 1992.
- CARVALHO, J. C. Processos erosivos no centro-oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. Disponível em: <<http://portalbrasilambiental.blogspot.com>> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- CARVALHO, P. F. de; BARBOSA, C. Land-use guidelines towards sustainable urban development – Brazil, In *2nd Int. Cong. on Environmental Planning and Management*, Berlin, p. 613-616. 2007. 1 CD
- CARVALHO, P. F. de, et al. Contribuição da Análise Geomorfológica para o Planejamento Urbano. In CARVALHO, P. F. de, BRAGA R. (orgs), *Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias*, Rio Claro, LPM/Deplan/IGCE-Unesp, 2001. p. 55-65.
- CASSETI, V. *Meio ambiente e apropriação do relevo*. Goiânia: Editora da UFG, 1991. 147 p.
- CASSETI, V. *Geomorfologia*. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: Junho de 2011.
- CHAPPELL, N. A. Soil pipe distribution and hydrological functioning within the humid tropics: a synthesis. *Hydrological Processes*. (24), 2010. p. 1567-1581. Wiley InterScience www.interscience.wiley.com. Acesso em Janeiro de 2011.
- CHORLEY, R. J. Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais. *Notícia Geomorfológica*, 11 (21), p 3-22, 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de sistemas em Geografia*. São Paulo: HUCITEC, 1979. 106 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*, Edgard Blucher, São Paulo, 1980. 188 p.

- CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: Guerra, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (org) (1994). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 415-440.
- COSTA, F. M.; BACELLAR, L. de A. P.; SILVA, E. F. Vertedores portáteis em microbacias de drenagem. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Ouro Preto, 60 (2), p. 213-218, 2007.
- CUNHA, M. A. (coord.) *Ocupação de encostas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216 p.
- CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T., *Geomorfologia: Exercícios Técnicas e Aplicações*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 343 p.
- CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T., *Geomorfologia e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 394 p.
- CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T., *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 472p
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n.6, p. 45-60. 1992.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo, DAEE/IPT, 1989. 92p.
- DREW, D. *Processos interativos homem-meio ambiente*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, (3 ed.), 1994. 224 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/implantacao.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- FACINCANI, E. M. *Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro: Proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos*. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1995.

- FELDS, E. Geomorfologia Antropogenética. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, 16(144): 352-357, 1957.
- FENDRICH, R. et al. *Drenagem e controle da erosão urbana*. Curitiba: Champagnat. 4ª ed., 1997, 486 p.
- FONTES, N. *Proposta Metodológica para planejamento de sistemas de espaços livres: Ribeirão Preto – SP*. 2009. 193 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2009.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE, *Vocabulário básico do meio ambiente*, 2ª Ed., FEEMA, Rio de Janeiro, 1990. 246 p.
- FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. São Paulo: *Revista do Departamento de Geografia*, n. 16, p. 76-80, 2005.
- FURLANI, G. M. As boçorocas de Casa Branca e seu significado geomorfológico. *Geomorfologia - IGEOG/USP*, São Paulo, (10), p. 12-15, 1969.
- FURLANI, G. M. *Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca*, 1980. 379 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1980.
- GEOSOLUÇÕES. Soluções para controle de erosão. Disponível em: <http://www.geosolucoes.com/Geo_Solucoes/Solucoes.html> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- GEOSOURCE. Channel and Bridge Reinforcement - gabions and gabion mattresses. Disponível em: <<http://www.geosourceinc.com/Geosource/Stabilization.html>> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- GUERRA, A.J.T. *Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos*. Sociedade e Natureza, 15. p. 15-19, 1996.
- GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2002, p. 139-156.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T. et al (orgs), *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*, 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 15-55.

GRAY, D.H.; SOTIR, R.B. *Biotechnical Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. John Wiley & Sons, New York, NY. 1996. 400 p.

IBAMA. *Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação*. Brasília, IBAMA, 1990. 96p.

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

IWASA, O. Y.; SALOMÃO, F. X. T. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (org), *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995, p. 31-57.

JONES, J. A. A. Implications of natural soil piping for basin management in upland Britain. *Land Degradation & Development*, 15, 2004. p. 325-349. Wiley InterScience www.interscience.wiley.com. Acesso em Janeiro de 2011.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J.; FABRIS, R. Áreas degradadas e a sua recuperação. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, 2001.

KLUTE, A. Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods. In: Gee, G. G.; BAUDER J. W. *Particle Size Analysis*, p. 383-411, 1986.

LAL, R. *Soil erosion in the tropics : principles and management*. New York : McGraw-Hill, 1990. 580p.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A.C. Introdução á confecção de mapas pelo software SURFER. DGA, IGCE-UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21 pp. 2002. <Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: abril de 2011.

MACCAFERRI. Revestimento de taludes e encostas. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br/pagina.php?pagina=156&idioma=0>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

MARTINS, S. V. *Recuperação de Áreas Degradadas*. Aprenda Fácil Editora. Viçosa. 2009. 270 p.

MASCARÓ, J. L. *Loteamentos urbanos*. Porto Alegre, 2003. 280 p.

MATHIAS, D. T. *Análise Geomorfológica Aplicada ao Planejamento Urbano*. 2008. 112 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2008.

MATHIAS, D. T.; CUNHA, C. M. L. da; CARVALHO, P. F. de. Dinamização de processos erosivos: análise evolutiva da voçoroca do córrego Tucunzinho, São Pedro (SP). In CONGRESSO DA AUGM, São Carlos, *Anais...* Universidade Federal de São Carlos, 2009. 1 CD.

MATHIAS, D. T.; CUNHA, C. M. L. da; CARVALHO, P. F. de. Avaliação de Técnicas de Monitoramento de Processos Erosivos Acelerados em Área Peri-urbana: São Paulo. In: VI SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, *Anais...* Coimbra, 2010. 1 CD.

MG CEU CONSTRUTORA. Gabião do vertedouro do córrego do Peneirinha em Nova Lima – MG. Disponível em: <<http://ceumg.com.br/fotos4.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

MORETTI, R. de S. *Loteamentos: Manual de recomendações para elaboração de projeto*, São Paulo, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1986. 180p.

MORGAN, R.P.C; RICKSON, R.J. (org) *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. Cranfield University, UK. 1995. 274p.

MORUZZI, R. B. et al. Efeito da ocupação urbana e de obras de drenagem sobre o hidrograma de cheia de uma bacia urbanizada: o caso da bacia do córrego da servidão em rio claro, SP. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 1, p. 1, 2009.

MORUZZI, R. B. et al. Avaliação do efeito combinado de reservatórios e de intervenção na calha fluvial para atenuação de cheias: o caso da bacia hidrográfica do córrego da Servidão – Rio Claro, SP. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, *Anais...*, Campo Grande, 2009. 1 CD.

MORUZZI, R. B.; CUNHA, C. M. L. da; OLIVEIRA, J. N. Aplicação de modelos hidrológicos para avaliação de reservatórios de retenção e detenção combinados à obra de recuperação do canal de macrodrenagem no controle de cheias em uma bacia hidrográfica urbanizada. *Ciência & Engenharia* (UFU. Impresso), v. 18, p. 11-20, 2010.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, v. 9, p. 7, 2009.

- MOTA, S. *Urbanização e meio ambiente*, 3ª ed. ABES, Rio de Janeiro, 2003. 352 p.
- NIR, D. *Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology*. Jerusalem, Ketem Pub. House, 1983. 165 p.
- NETTO, A.; ALVAREZ, G. A. *Manual de Hidráulica*. São Paulo: Edgar Blucher, v.1, 1988. 335p.
- NOVA IMPRENSA. Lixo FIAT. Disponível em: <http://www.novaimprensa.inf.br/lixo_fiat.html> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- OLIVEIRA, A. M. S. A abordagem geotecnogênica: a Geologia de Engenharia no Quinário. In: BITAR, O. Y. *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente – DIGEO – IPT*, São Paulo, ABGE, 1995. p. 231-241.
- OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônomo, 1999. Boletim Científico 45, 112p.
- OLIVEIRA, M. A. T. et al. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. *Geociências*, São Paulo, 13 (1), p. 9-23, 1994.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T. et al (orgs), *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*, 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 57-99.
- PELOGGIA, A. *O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo*. São Paulo: Xamã, 1998. 241 p.
- PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: A transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, 16: 24-31, 2005.
- PENTEADO, M. M. *Geomorfologia do Setor Centro-Occidental da Depressão Periférica Paulista*. 1968. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1968. 160p.
- PENTEADO, O. M. M. A geomorfologia no planejamento do meio ambiente (geomorfologia ambiental). *Notícia Geomorfológica*: Campinas. Vol. 16 (31), p. 5 – 15, 1976.
- PEREIRA, A. R. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*, Belo Horizonte : FAPI, 2006. 150 p.

PONÇANO, W. L.; PRANDINI, F. L., Boçorocas do Estado de São Paulo: uma revisão. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, São Paulo, *Anais...* ABGE/DAEE, p. 149-177, 1987.

PORTO, R.L.L. Escoamento Superficial Direto In: TUCCI, C.E.M. et al. (org) *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p. 107-165.

PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. São Carlos: EESC – USP, 2001. 519 p.

PRANDINI, F. L. et al. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: Bitar, O. Y. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/IPT, São Paulo, 1995, p. 187-202.

RIBEIRO, S. L. *Aplicação do sistema de Informação Geográfica Nacional ao estudo de erosão dos solos por meio de modelo Eups: Microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá-SP*. 2000. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000.

RODRIGUES, C. *Geomorfologia Aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros*. 1997. 279 f. Tese (Doutorado em Geografia) São Paulo, Universidade de São Paulo. 1997.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, (17), p. 101-111, 2005.

RODRIGUES, J. E., *Estudo de fenômenos erosivos acelerados, boçorocas*. 1982. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) Escola de Engenharia da USP, São Carlos. 1982.

ROSS, J. L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia* (FFLCH – USP) 6, p. 17-29, 1992.

SALA, M. Los clavos de erosión, In: SALA, M., GALLART, F. (Edit) *Metodos y Tecnicas para la Medicion en el Campo de Procesos Geomorfológicos*, Sociedade Española de Geomorfologia, Barcelona, p. 20-24, 1988.

SALAMONI, G.; GERARDI, L. H. Os princípios sobre Ecodesenvolvimento e Agricultura Familiar. In: Gerard, L. H O. e Mendes, I. A. *Teoria, técnica, espaço e atividades: temas de geografia contemporânea*. Ageteo, Rio Claro, p. 73-96, 2001.

SANCHEZ, M.C. et al. Monitoramento de forma de erosão acelerada no córrego Tucunzinho, no município de São Pedro (SP, Brasil). *Boletim de Geografia Teórica*. V. 16-17 (31-34) p. 276-284, 1986/87.

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

SANTORO, J. *Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro-SP. Estudo da fenomenologia com ênfase Geotécnica*. 1991. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1991.

SCHÄUBLE, H. (2004). HydroTools 1.0 for ArcView 3.x. Disponível em: <http://www.terracs.de/ArcView_3_x/Oldies/oldies.html>. Acesso em: 15 mar. 2011.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. Tutorial de cartografia geomorfológica, 2009. Disponível em: <<http://www.rga.ggf.br/tutorialgeo.pdf>> Acesso em: 12 de março de 2011.

SOTIR & ASSOCIATES. Soil bioengineering techniques offer a natural way to repair streambank erosion while benefiting the environment. Disponível em: <http://www.sotir.com/publications/brushing_erosion.html> Acesso em: 05 Jul. 2011.

SOUTH FAYETTE CONSERVATION GROUP. Fishing Run Restoration/Maude Mine Reclamation. Disponível em: <<http://www.southfayetteconservation.org/08%20Fishing%20Run%20Photo%20Gallery.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

TERRA EROSION CONTROL LTD. Live Fascine and Brush Layer Techniques in Stream Bank Restoration. Disponível em: <<http://www.terraerosion.com/projects/work/riparian-restoration/project3-baldface/restoration-project3.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

TILZ-TEARFUND INTERNATIONAL LEARNING ZONE. Erosão de barranco. Disponível em: <<http://tilz.tearfund.org/Portugues/Passo+a+Passo+21-30/Passo+a+Passo+24/Eros%C3%A3o+de+barranco.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

TRICART, J. *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Paris: Masson, 1965. 496 p.

TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E. A.; PASINATO H. D. *Sistema de Simulação Precipitação Vazão IPHS1*. Publicação Recursos Hídricos n.20, IPH/UFRGS. Porto Alegre, 1989.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In.: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de (orgs.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 5, 1995. p. 15-36.

TUCCI, C.E.M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS ABRH, 1998. 650p.

TUCCI, C. E. M. *Drenagem urbana*. *Ciência e Cultura* v. 55, n. 4, São Paulo, p. 10-11, 2003.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Natural Resources Conservation Service – Stream Stabilization. Disponível em: <http://www.al.nrcs.usda.gov/technical/photo/urb_r.html> Acesso em: 05 Jul. 2011.

VIADANA, A. G. *A excursão geográfica didática (Pontal do Triângulo Mineiro)*. Rio Claro : LPM/IGCE-UNESP, 2005. 93 p.

VIEIRA, N. M. *Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP*. 1978. 225 f. Tese (Doutorado em Geografias) - Instituto de História e Serviço Social da UNESP, Franca. 1978.

VILLELA, S. M. e MATOS, A. *Hidrologia Aplicada*. MC Graw-Hill: 1977. 245p.