

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA ÁGUA BRANCA, ITIRAPINA (SP) – BRASIL

Leandro de Souza Pinheiro¹

Cenira Maria Lupinacci da Cunha²

Resumo

A erosão apresenta-se como um grande problema ambiental para a sociedade que por sua vez, por desconhecimento ou negligência, contribui em muitos casos para a aceleração e dinamização dos processos erosivos. O carreamento de sedimentos dos interflúvios resulta em problemas ambientais e econômicos. Verifica-se, desta maneira, que é muito importante o Planejamento Ambiental, pois, através deste, seria possível, de antemão, prever impactos e desequilíbrios que causariam reflexos no ambiente e na economia. O conhecimento geomorfológico aliado ao conhecimento mais amplo do meio físico, de seus recursos de água, solo e clima, suas potencialidades e limitações, constitui a base técnica sobre a qual o poder público deve estabelecer o processo de planejamento territorial. A área objeto deste estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca inserida totalmente no município de Itirapina. Esta área localiza-se sobre formações areníticas, onde se desenvolvem solos friáveis que podem se tornar vulneráveis aos processos erosivos, diante de um manejo inadequado, fato este comprovado nas visitas de campo onde foi possível a visualização de vários sulcos erosivos distribuídos por toda a bacia. Diante deste cenário, os objetivos do trabalho consistiram em estimar o Potencial Natural à Erosão laminar (PNE) e analisar os processos geomorfológicos atuantes na bacia do córrego da Água Branca, em Itirapina – SP. Quanto à metodologia, a caracterização do PNE como indicador de fragilidade ambiental, foi conduzida utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), considerando seus termos que se referem aos parâmetros do meio físico, isto é, os fatores erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K) e o fator topográfico, envolvendo a declividade (fator S) e a extensão da vertente (fator L). Foram utilizados os softwares AutoCAD para a digitalização e vetorização das linhas e isolinhas, Spring para importação dos mapas e exportação das matrizes para o software Idrisi, no qual os mapas foram cruzados e gerou-se o mapa de PNE. Os resultados da análise da carta de PNE permitiram observar que prevalecem, na área de estudo, as classes de potencial natural à erosão moderadamente baixo, moderadamente alto e alto, representando quase $\frac{3}{4}$ do total da área da bacia. As classes de baixo potencial ocorrem nas áreas com declividades inferiores a 3% no baixo curso do Córrego da Água Branca, à margem esquerda do córrego e do falhamento ao longo do canal, pois, nestas áreas a velocidade do escoamento perde energia diminuindo, assim, o potencial erosivo. As áreas com maiores potenciais de erosão são aquelas com declividades mais acentuadas e nas áreas de rupturas topográficas definidas pela erosão diferencial.

Palavras-chaves: Erosão laminar, potencial erosivo, Planejamento Ambiental, geoprocessamento.

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro / SP, Rua 10, 2527, Rio Claro – SP, CEP: 13500-200. E-mail: bandopinheiro@yahoo.com.br

² Prof.^a Dr.^a – Depto de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro/SP, Rua 10, 2527, Rio Claro – SP, CEP: 13500-200. E-mail: cenira@rc.unesp.br

Introdução

A erosão apresenta-se como um grande problema ambiental para a sociedade que por sua vez, por desconhecimento ou negligência, contribui em muitos casos para a aceleração e dinamização dos processos erosivos. O carreamento de sedimentos dos interflúvios resulta em problemas ambientais e econômicos. A temática das questões ambientais é amplamente divulgada pela mídia, pelos órgãos governamentais e não-governamentais, no entanto, tal exposição não culminou na conscientização social e na valorização ambiental.

O processo erosivo é considerado por sua capacidade de trabalhar e esculpir o relevo, a dinâmica erosiva pode ser potencializada através de algumas variantes, como a textura e permeabilidade do solo, regime climático local, topografia, uso e ocupação do solo. O processo natural da dinâmica erosiva é essencial na modelagem do relevo terrestre, mas a influência humana, através de suas atividades, altera essa ordem natural, pois com o estabelecimento do manejo inadequado do solo ocorre a erosão acelerada, a forma desastrosa dessa dinâmica. Dessa forma, a intervenção antrópica pode resultar em diferentes condições para a superfície do solo. O manejo inadequado é causado pela ignorância dos fatores limitantes básicos ao estabelecimento de certas atividades, como o fator topográfico resultante da relação entre declividade e extensão de vertente, clima local e características do solo.

É importante, portanto, o estudo das potencialidades erosivas de uma bacia hidrográfica, pois é a área onde os sedimentos, resultantes da dinâmica erosiva, serão carreados e depositados. Deste modo, torna necessário o conhecimento das realidades integradas das condições físicas de cada local onde se implementam as atividades humanas.

A Geomorfologia pode, então, contribuir para a análise do relevo, pois, ao analisar os processos atuantes na elaboração e evolução das formas do relevo, pode subsidiar o Planejamento Ambiental, auxiliando na prevenção e minimização da ocorrência de impactos ambientais. Para Christofolletti (2001, p. 415), “a Geomorfologia analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controlantes, bem como a dinâmica evolutiva”. O conhecimento geomorfológico aliado ao conhecimento mais amplo do meio físico, de seus recursos de água, solo e clima, suas potencialidades e limitações, constitui a base para o estabelecimento do processo de planejamento territorial. Neste contexto, em ambientes quentes e úmidos, como o brasileiro, a avaliação das fragilidades erosivas constitui-se em parâmetro importante para tal planejamento.

De acordo com o exposto acima, o objetivo deste trabalho foi apresentar o mapa de Potencial Natural de Erosão (PNE) da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água, município de Itirapina (SP), com vistas à identificação dos setores potencialmente susceptíveis a processos erosivos, resultantes da ação do escoamento superficial das águas pluviais e a análise dos fatores físicos do relevo que influenciam diretamente nos resultados e na dinâmica erosiva.

Para tanto foi utilizada a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), através do cruzamento dos dados de declividade, comprimento de vertentes, erodibilidade dos solos e dados pluviométricos.

A área de estudo caracteriza-se por ser vulnerável à erosão, fato que foi constatado por estudos em gabinete e “*in loco*” e comprovado pela grande ocorrência de sulcos erosivos. As características físicas da área de estudo são muito influenciadas também pelo substrato geológico, o qual, quando sujeito aos processos intempéricos e pedogenéticos, dá origem, na maior parte da área, a um relevo relativamente suave, porém com cobertura pedológica altamente suscetível aos processos erosivos.

Diante deste cenário, os objetivos do trabalho consistiram em estimar o Potencial Natural à Erosão laminar (PNE), analisando as vulnerabilidades do relevo da bacia do córrego da Água Branca, em Itirapina – SP.

Localização e Caracterização da Área

A área de interesse nesta pesquisa, a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca, localiza-se na porção Centro-Nordeste do estado de São Paulo (Figura 1), no município de Itirapina (SP), entre as coordenadas 47° 52' 12'' e 47° 51' 37'' de longitude Oeste e 22° 12' 39'' e 22° 16' 08'' de latitude Sul, englobando grande parte da Estação Experimental de Itirapina, área destinada à silvicultura por *Pinus*. O município de Itirapina possui uma população de 13471 pessoas, de acordo com dados de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e uma área territorial de 564 km². A área de estudo localiza-se sobre formações areníticas, onde se desenvolvem solos friáveis que podem se tornar vulneráveis aos processos erosivos, diante de um manejo inadequado, fato este comprovado nas visitas de campo onde foi possível a visualização de vários sulcos erosivos distribuídos por toda a bacia. As altitudes variam de 710 m, próximo à foz do córrego da Água Branca, a 890 m no Morro do Baú.

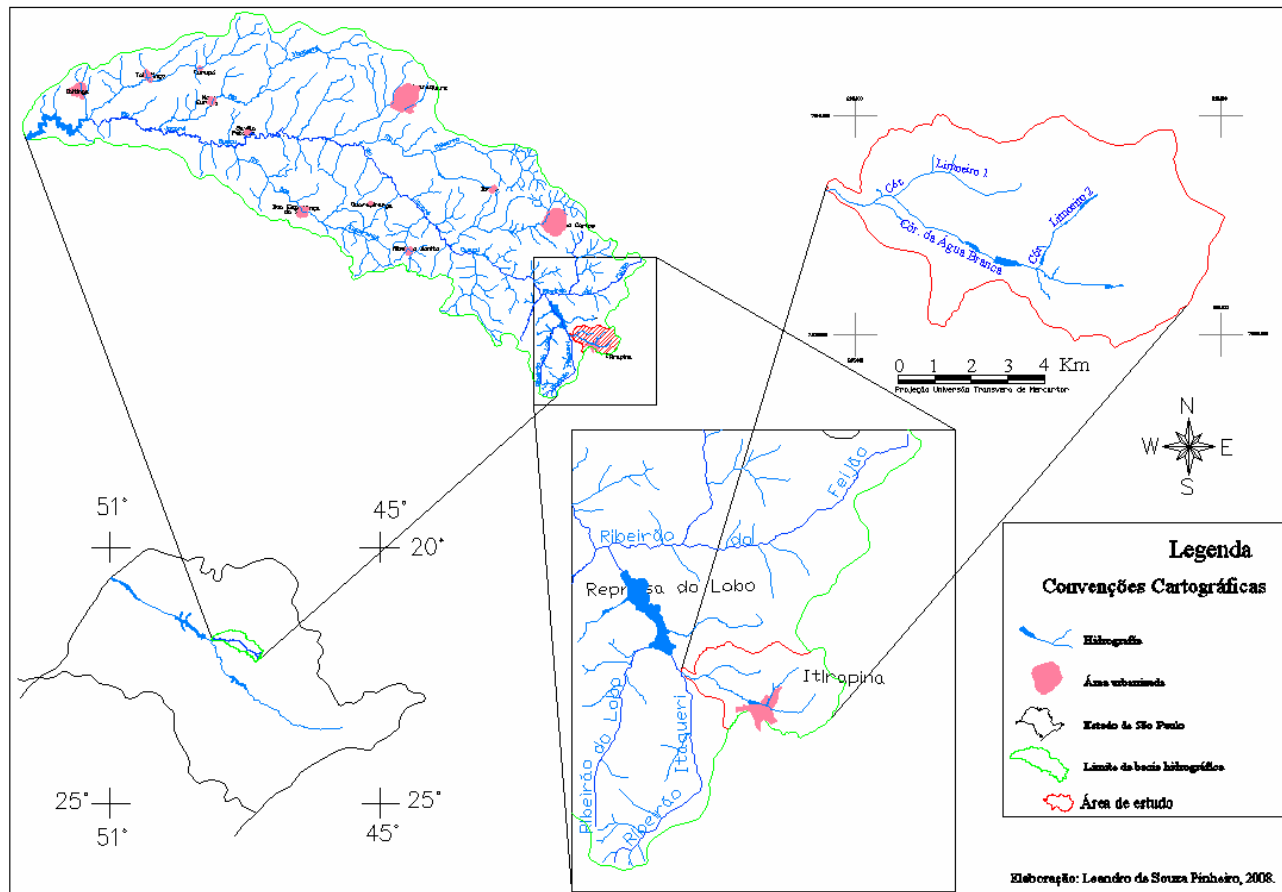


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca

Segundo Zanchetta et al. (2006, p. 6) “as Estações Experimentais estão orientadas ao desenvolvimento florestal desde sua origem, ainda que inclui alguns remanescentes de fisionomias de Cerrado no seu interior”. No caso da Estação Experimental de Itirapina a área foi dedicada ao Plantio de *Pinus* spp no intuito de estimular a pinocultura na região e a pesquisa na área de produção florestal. A Estação Experimental ainda não é reconhecida como Unidade de Conservação no Sistema Nacional de Unidades de Conservação e encontra-se numa área que já era degradada há mais de 60 anos. De acordo com Delgado et al. (2004), a Estação Experimental de Itirapina, com 3.156 ha, foi constituída pela aquisição de diversas glebas de terra em diferentes épocas. Nessas terras, objetivou-se a introdução e fomento de essências do gênero *Pinus* spp, desenvolvido pelo então Serviço Florestal (atual Instituto Florestal). A área da Estação Experimental é atravessada pelo Córrego da Água Branca, afluente do Ribeirão Itaqueri, que por sua vez tem seu baixo curso próximo à represa do Lobo ou do Broa. A represa

do Lobo localiza-se a Noroeste, em área externa à bacia de estudo (Figura 1), sendo responsável pelo abastecimento hídrico da população de Itirapina.

Quanto ao Córrego da Água branca, seus dois principais afluentes estão mapeados como Córrego do Limoeiro, contudo, para facilitar a descrição e análise da área, optou-se por denominar o curso d' água localizado à jusante de Córrego do Limoeiro 1 e à montante deste de Córrego do Limoeiro 2. Parte do seu médio curso drena a área urbana de Itirapina, porém suas nascentes (exceto o córrego do Limoeiro 1) e alto curso estão localizados em área rural (Figura 2).

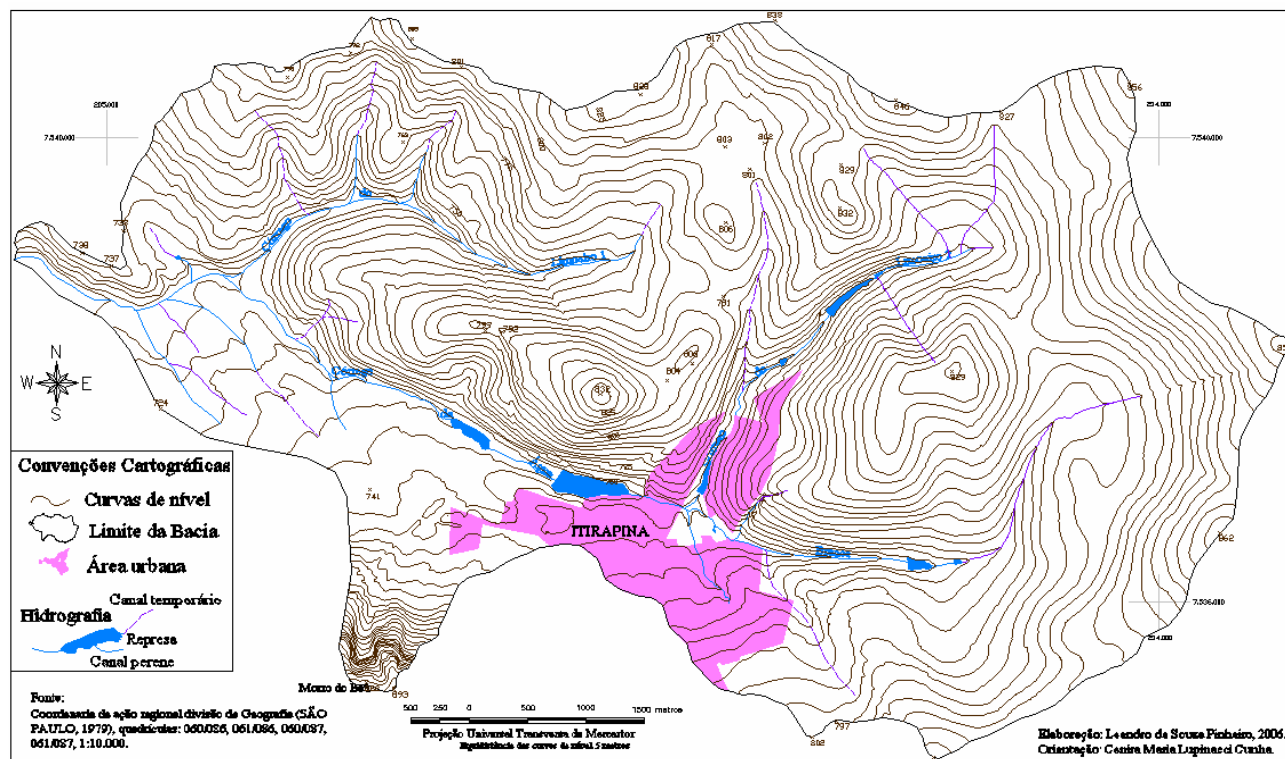


Figura 2 - Topografia da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.

É muito importante o Planejamento Ambiental da área, pois, através deste, seria possível, de antemão, prever impactos e desequilíbrios que causariam reflexos no ambiente e na economia. Um manejo adequado da área permitirá menor dinâmica erosiva dos solos, evitando o carreamento de sedimentos para o Ribeirão Itaqueri e maior assoreamento da represa do Lobo ou do Broa.

Esta dinâmica erosiva deve-se também às características dos elementos do meio físico desta bacia. Assim, no que concerne a Geomorfologia, Almeida (1974, p. 80), pioneiro no mapeamento das grandes feições do estado de São Paulo, admite a área como reverso da cuesta interna. O autor afirma que a “não concordância altimétrica do nível dos derrames da Serra de Santana e do alto dos morros do Baú e Pelado”, significa que estes dois “são testemunhos de erosão isolados da Serra de Itaqueri, um Planalto da cuesta interna, sendo sustentados pelos derrames do conjunto superior”. Para o autor, a área faz parte do Planalto de Campo Alegre, tratando-se de um patamar intermediário, de relevo muito suave, que separa a Depressão Periférica dos planaltos basálticos vizinhos.

Para Ross e Moroz (1997) a área faz parte da unidade morfoescultural denominada Planalto Centro Ocidental, onde predominam formas de relevo denudacionais, constituindo-se em colinas amplas e baixas com topos convexos e topos aplanados ou tabulares.

Importantes na dissecação do relevo e na deposição dos sedimentos, os córregos Água Branca e Limoeiro – afluente do córrego do Água Branca - são formados por cursos d'água perenes, longos e pouco ramificados e por pequenos canais secundários temporários. Os vales destes córregos são abertos e formam-se áreas restritas de sedimentação de material arenoso.

O substrato geológico da área é formado por arenitos das formações Botucatu e Pirambóia e basaltos da Formação da Serra Geral, do Grupo São Bento (IPT, 1981). Do ponto de vista geológico se encontram, na área de estudo, formações que foram depositadas na era Mesozóica que ocorreu entre 230 a 65 milhões de anos b.p.. As Formações Botucatu e Serra Geral pertencem ao Jurássico e ao Cretáceo, enquanto que a Formação Pirambóia pertence ao Triássico e Jurássico inferior. O Quaternário superior (Holoceno) é representado por sedimentos aluvionares. O córrego Água Branca corre adaptado a um extenso falhamento, que separa os sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu e apresenta um vale marcadamente dissimétrico. A margem direita é mais íngreme e corresponde às encostas das colinas, formadas a partir dos arenitos e do basalto, enquanto que a margem esquerda destaca-se como um patamar arenoso. As Formações Botucatu e Pirambóia são de grande importância, pois, o manto pedológico resultante propicia a instalação da vegetação de cerrado, como se constata em diversos lugares da área. O falhamento ao longo do qual escoam o Córrego da Água Branca representa uma área de discordância geológica, o que permite que a Formação Botucatu, que aflora no lado esquerdo do córrego, faça limite com a Formação Pirambóia, localizada no lado direito. Assim, tanto na alta quanto na baixa bacia prevalece a Formação Botucatu, enquanto a Formação Pirambóia aflora nas áreas dissecadas e nos fundos de vale do bloco soerguido, sob declividades que variam de 6 a 12 %.

A Formação Pirambóia, segundo Oliveira e Prado (1984), fornece, juntamente com a Formação Botucatu, o material de origem de parte do Neossolo quartzarênico e do Latossolo Vermelho-Amarelo. Esses arenitos são geralmente de granulação média e fina, com fração argilosa maior na parte inferior do que na superior da formação, onde localmente ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos. Possui, predominantemente, estratificação plano-paralela, destacada pela alternância de lâminas com mais ou menos argila e silte, ou ainda estratificação cruzada. A formação Botucatu recobre a Formação Pirambóia, ocorrendo contato gradual ou brusco entre estas. Ocorrem nesta formação arenitos de granulação fina a média, uniforme e com estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, característica de dunas móveis de desertos. Os terrenos relativos a esta formação ocorrem em extensa área nos setores de topos de interflúvios no bloco soerguido e em toda a área do bloco rebaixado. A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames de basaltos entre os quais se intercalam os arenitos. Os derrames desta formação são formados por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas. A existência de intercalações areníticas comprova que o vulcanismo ocorreu durante condições de aridez. Segundo Oliveira e Prado (1984) o intemperismo destas rochas dá origem, na área, ao Latossolo Vermelho que devido ao substrato básico que o gerou, caracteriza-se pela alta fertilidade. As planícies Aluviais são formadas por terrenos baixos e quase planos localizados na baixa bacia do Córrego da Água Branca, constituídas por sedimentos arenosos recentes.

Sobre as características geológicas relatadas, desenvolvem-se, segundo Oliveira e Prado (1984), Latossolos Vermelho, Latossolos Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos associados a Organossolos (Figura 3). Segundo os autores citados, os Neossolos Quartzarênicos são solos profundos, com seqüência de horizontes A-C, não hidromórficos e fortemente ácidos formados a partir de arenitos da Formação Botucatu. Devido à sua textura arenosa esses solos apresentam pequena capacidade de retenção de água e nutrientes e alta susceptibilidade à erosão. Os Latossolos Vermelho-Amarelos são encontrados em relevo plano e suave ondulado, com declividades inferiores a 6° e se desenvolvem sobre sedimentos arenosos da Formação Botucatu. De acordo com Queiroz Neto e Christofolletti (1961), estes solos são profundos, bem drenados, ácidos, arenosos e areno-barrentos.

De acordo com Delgado et al. (2004), os Latossolos Vermelhos ocupam pequena porção da Estação Experimental, entre os córregos do Limoeiro e Água Branca. O relevo é, em geral, suave ondulado, com declives superiores a 3°. Segundo Oliveira e Prado (1984) estes solos são ácidos e resultados da alteração dos sedimentos finos das Formações Pirambóia e Botucatu, com contribuição de rochas básicas.

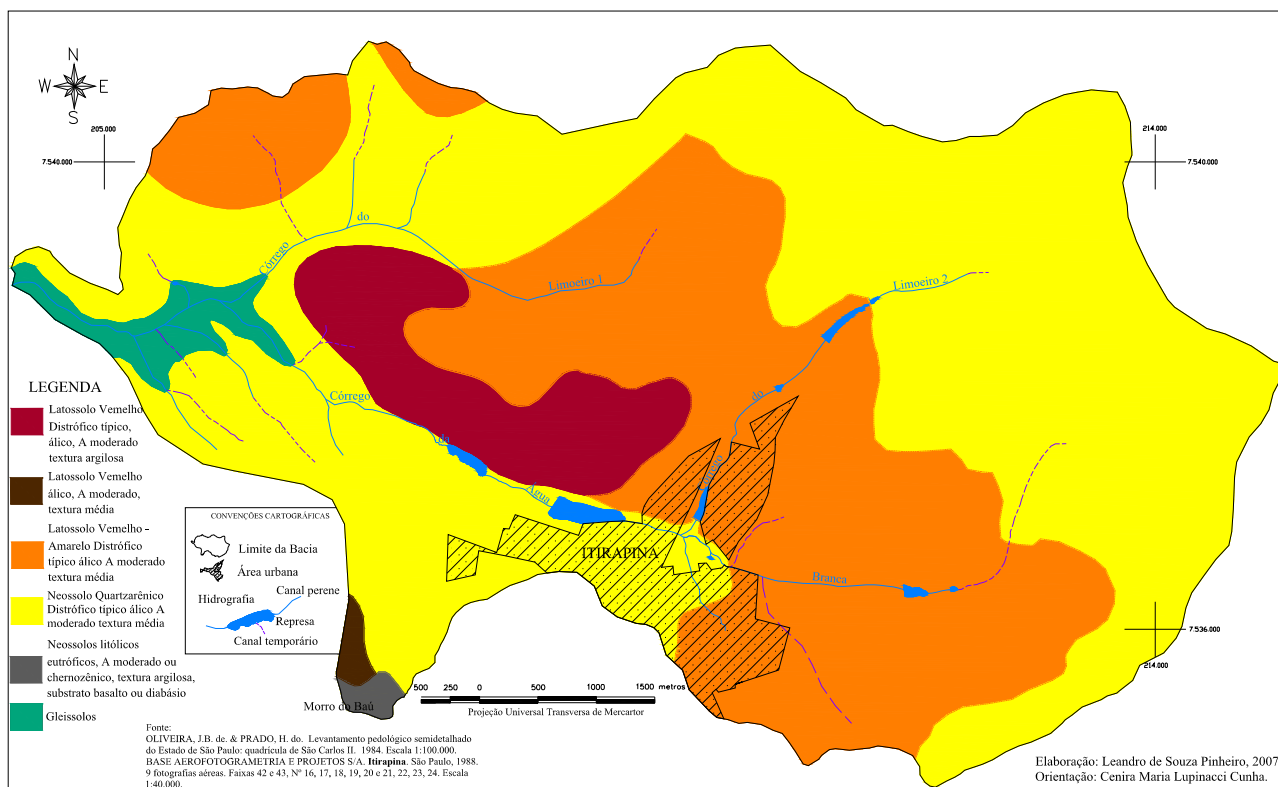


Figura 3 – Os Solos da Bacia do Córrego da Água Branca. Adaptado de: OLIVEIRA e PRADO, 1984.

Os Gleissolos e Organossolos desenvolvem-se sobre Sedimentos Aluvionares, nas “Planícies fluviais” formadas por terrenos planos, gerados por processos de agradacão e com declividade inferior a 2%, possuem horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade, com cores neutras ou sem mosqueamento proeminente. Apresentam lençol freático pouco profundo, sujeitos as inundações, recalques e assoreamento (DELGADO et al., 2004). Na área de estudo estes solos formam-se no vale do Córrego da Água Branca, próximo à desembocadura com o Ribeirão Itaqueri.

Estas características pedológicas geram-se também em função das condições climáticas vigentes na área. De acordo com Delgado et al. (2004), segundo o sistema de Köppen, a área está submetida a um clima Cwa, ou seja, mesotérmico úmido de inverno seco. Este clima é caracterizado por apresentar temperaturas mais elevadas no mês de janeiro e temperaturas mais amenas no mês de julho. As chuvas concentram-se de outubro até março e o inverno se estende de abril a setembro.

Conforme Monteiro (1973), a área localiza-se na feição climática denominada “Centro-Norte”, que é caracterizada pela existência de um período seco muito nítido, no qual a frequência da chuva diminui no sentido dos paralelos, apresentando participação acentuada da Massa de Ar Tropical Atlântica. Entre São Carlos e Brotas, o autor detecta um ligeiro aumento na quantidade de precipitação.

É muito importante a compreensão do comportamento das características físicas, pois, através delas torna-se possível relacioná-las com os processos erosivos existentes na área de estudo. Dessa forma, a caracterização dos elementos do meio físico contribuiu na análise diagnóstica da área tendo em vista que as intervenções antrópicas, em geral, resultam em impactos ambientais. Assim, os dados físicos apresentados permitiram avaliar qualitativamente e reconhecer os setores potencialmente suscetíveis aos processos de erosão das coberturas pedológicas, resultante da ação do escoamento superficial das águas pluviais.

Em seguida abordar-se-ão os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa aqui apresentada buscou na visão sistêmica o apoio teórico-metodológico para analisar as relações entre o meio físico e os dados obtidos com a aplicação da EUPS para a geração da Carta de PNE. Neste sentido esta pesquisa aborda a questão relacionada aos processos de degradação ambiental dos solos na perspectiva de um entendimento sistêmico.

Assim, compreende-se o relevo da bacia do Córrego da Água Branca (sistema morfológico) como um sistema aberto, pois necessita ser mantido por constante suplementação e remoção de material e energia para sua manutenção e preservação (CHORLEY, 1971). A energia é fornecida pelos agentes de erosão (LAL, 2001); a energia para causar a erosão hídrica vem inicialmente do impacto da gota de chuva (WISCHMEIER, 1962), aumentando quando a intensidade do escoamento é exacerbada pela declividade e pela quantidade de material transportado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

A Teoria sistêmica permite, então, o estabelecimento das relações entre o relevo da área e os valores quantitativos fornecidos pela modelagem, contribuindo na execução deste trabalho, pois os resultados da aplicação do modelo devem ser correlacionados tendo em vista os fluxos de matéria e energia, evitando, deste modo, resultados discrepantes ou errôneos. Para tanto, serão apresentadas a seguir as técnicas de trabalho adotadas.

Técnicas

A caracterização do PNE como indicador de fragilidade ambiental, foi conduzida utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), considerando seus termos que se referem aos parâmetros do meio físico, isto é, os fatores erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K) e o fator topográfico, envolvendo a declividade (S) e a extensão da vertente (L). Conforme Wischmeier e Smith (1978), a EUPS é definida como segue:

A EUPS é expressa da seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

A = Perda média anual de solos;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

LS = Fator topográfico (declividade e comprimento da vertente);

C = Cultivo e manejo;

P = Práticas conservacionistas.

Esta equação pode ser dividida em dois grupos de variáveis:

- **RKLS**: relacionados às características naturais da área em estudo e são considerados para a construção da carta de potencial natural à erosão laminar.

- **CP**: relacionados às formas de ocupação e uso da terra, derivados da interferência humana.

Seguindo os parâmetros estabelecidos por STEIN, et. al. (1987) elaborou-se um mapa de potencial natural à erosão laminar (PNE) o qual resultou da multiplicação dos fatores R, K e LS.

Inicialmente foi construída a base cartográfica com o objetivo de se elaborar as Cartas Clinográfica e de Dissecação Horizontal, importantes para a determinação do Fator topográfico (LS) e a Carta Pedológica, importante na geração do Fator K.

Através da união das cartas topográficas da Coordenaria de ação regional divisão de Geografia (SÃO PAULO, 1979), folhas: 060/086, 061/086, 060/087, 061/087 com escala de 1:10.000 foi feito um mosaico compondo a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca. Essas cartas foram digitalizadas através do scanner, inseridas no software AutoCAD através do comando “insert – raster image” e vetorizada a área da bacia de interesse, através do comando “polyline”, bem como as curvas de nível e a rede hidrográfica.

A Carta de Dissecação Horizontal (Figura 4) foi elaborada de acordo com Spiridonov (1981); esta carta identifica a distância que separa os canais fluviais dos divisores de água da bacia, o que, para Cunha (1997), possibilita avaliar o trabalho de dissecação horizontal elaborado pelos rios sobre a superfície de interesse. Segundo Cunha (2001, p. 47) “a carta auxilia na avaliação da fragilidade do terreno à atuação dos processos morfogenéticos, indicando setores onde interflúvios mais estreitos denotam maior suscetibilidade à atuação destes”.

O primeiro passo para a elaboração desta carta foi a delimitação de todas as sub-bacias na base cartográfica e, num segundo momento, realizou-se a classificação das áreas entre o talvegue e a linha de cumeeada de acordo com a sua distância. Utilizou-se a técnica “semi-automática” proposta por Zacharias (2001), através da cartografia digital pelo software AutoCAD Map. Essa técnica permite que o usuário acompanhe as etapas de elaboração e ao mesmo tempo requer o pleno conhecimento da mesma. Silva (2005) detalhou esta técnica ao analisar a morfometria de sua área de estudo.

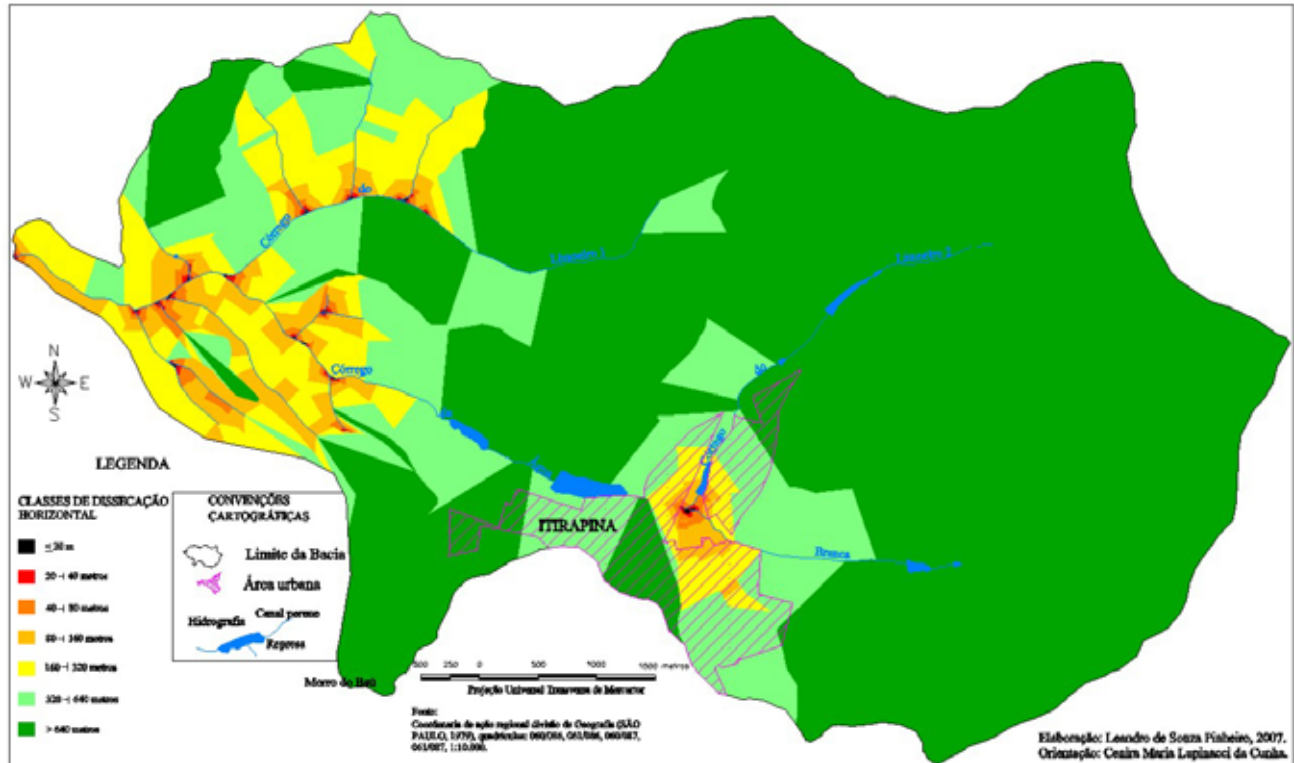


Figura 4 – Carta de Dissecação Horizontal da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.

Para a elaboração das classes de dissecação horizontal foi considerada a recomendação de Spiridonov (1981) de dobrar os valores nos intervalos de classe. Também foram consideradas as características morfoesculturais e morfoestruturais da área para efeito da validação qualitativa do produto final elaborado.

Foi elaborada também a Carta Clinográfica (De BIASI, 1992) cujos dados, de acordo com Cunha (2001), são muito importantes para a avaliação das áreas de maior dinamismo geomorfológico. Através da análise do desnível altimétrico e da distância horizontal entre curvas de nível é possível obter a declividade do terreno. Segundo De Biasi (1992), os dados de declividade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$D1 = \frac{n \times 100}{E}$$

Onde:

D= Declividade, em porcentagem;

n = Equidistância das curvas de nível (desnível altimétrico).

E= Espaçamento entre as curvas de nível (distância horizontal).

Quanto maior a proximidade das curvas de nível, maior será a declividade do terreno e vice-versa. A partir dessa premissa e utilizando a fórmula apresentada calculam-se os valores de interesse das classes de declividade e utiliza-se um ábaco graduado para sua delimitação. Com relação às áreas envolvidas por uma mesma curva de nível como topos, fundos de vales ou setores de patamares foi adotada a proposta de Sanchez (1993) que consiste na utilização de um ábaco suplementar com metade do valor da equidistância das curvas de nível.

Para este trabalho a Carta Clinográfica foi elaborada – apesar de utilizar o software AutoCAD – de maneira analógica, porque deste modo é possível obter grande nível de detalhe nas informações. Zacharias (2001) afirma que, através de um SIG, alguns dados poderiam ser generalizados, sendo a técnica convencional mais indicada qualitativamente, embora demande maior tempo e dedicação. Ao utilizar o AutoCAD e não um SIG, na elaboração desta carta mantém-se a confiabilidade e o detalhamento do método analógico, contudo, através das ferramentas deste software é possível trabalhar em escalas bem maiores, o que permite um detalhamento ainda maior.

Para o cálculo da distância entre as curvas de nível que representa cada classe de declividade fez-se uso da seguinte fórmula:

$$dC = \frac{n}{D}$$

Onde:

“dC” corresponde à distância (comando “dist” no AutoCAD) da classe no ábaco virtual;

“n” à equidistância das curvas de nível;

“D” elevação percentual da superfície, de acordo com a classe de interesse

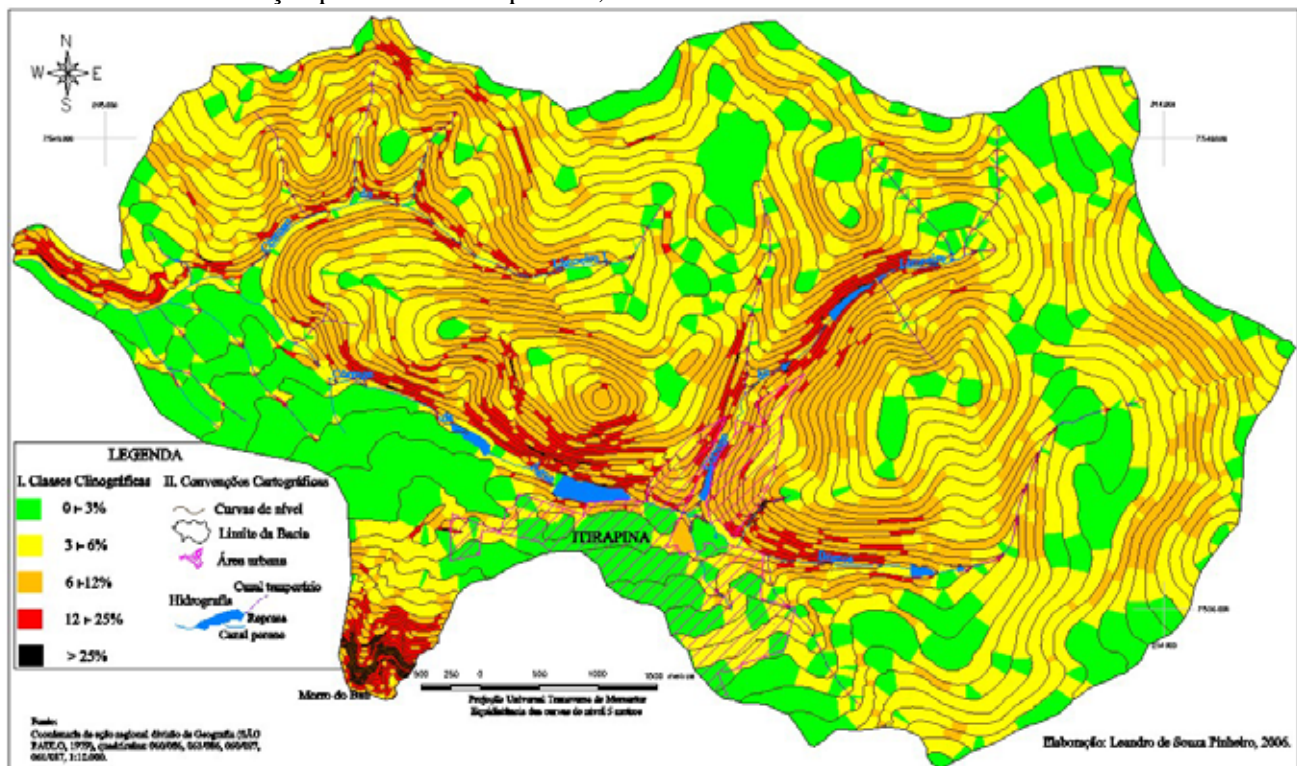


Figura 5 – Carta de Clinográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca.

A importância da extensão da vertente e da declividade do relevo está no fato de que são determinantes no fluxo de matéria e energia, que por sua vez determinarão a intensidade da capacidade erosiva.

Os fatores Extensão da vertente (L) e Grau de Declive (S) geralmente são tratados, na bibliografia, conjuntamente, sendo denominados de fator topográfico LS. Para o cálculo do fator topográfico seguiu-se a proposta de Mendes (1993) que obteve os dados de declividade e comprimento de rampa através da construção de cartas de declividade e de dissecação horizontal.

Zingg (1940, citado por Wischmeier e Smith, 1978), com base em 5 anos de observação em vertentes experimentais, nos Estados Unidos, constatou que quanto maior for a declividade e o comprimento da rampa, maiores serão as perdas de solo por erosão. De acordo com Bertoni et al. (1972, p. 10), “o comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo. Entretanto, os dados são freqüentemente mal interpretados. Duplicando-se o comprimento de rampa, as perdas de solo são mais do dobro, porém a perda por hectare não é duplicada”. O autor citado alerta então que a quantidade de solo erodido não pode ser generalizada para toda a rampa; não se deve fazer uma média por hectare dos dados quantitativos obtidos no final da rampa.

Cabe a Bertoni e Lombardi Neto (2005) a adaptação da Equação proposta por Zingg para as condições do estado de São Paulo, estabelecendo, assim, a seguinte fórmula que possibilita calcular, para o estado de São Paulo, os fatores LS conjuntamente:

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18}$$

Onde:

C = Extensão da vertente em metros;

D = Grau de declividade em porcentagem.

Para calcular o Fator Topográfico (LS), foi necessária a elaboração das Cartas de Dissecção horizontal e a Carta Clinográfica em ambiente AutoCAD (arquivo de extensão DWG) o arquivo resultante foi exportado (em extensão DXF versão R12) para o Spring e, então, novamente exportado (TIFF / GEOTIFF) para o Idrisi32, no qual foi feito o cruzamento dessas duas cartas através do comando “Image Calculator”, aplicando a fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005). O resultado do cruzamento das Cartas Clinográfica e de Dissecção Horizontal foi a geração da Carta do fator LS.

O fator Erosividade da Chuva (R) é um índice que expressa a capacidade da chuva causar erosão em uma área sem proteção. O fator R da equação deve quantificar o impacto das gotas da chuva e da energia da enxurrada. A fórmula para cálculo do fator R, neste trabalho, foi baseada em Lombardi Neto e Moldenhausner (1980, apud Bertoni e Lombardi Neto, 2005):

$$EI_m = 6,886 (r^2/P)^{0,85}$$

onde:

EI_m = média mensal do índice de erosão (MJmm/ha.h);

r = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Para obtenção do EI total faz-se a somatória dos EIs mensais.

O índice do Fator R representa uma média para compor a EUPS, por isso seus valores não podem ser considerados em absoluto, contudo servem para uma análise relativa ao restante do estado de São Paulo, onde os valores excedem 6000 MJmm/ha.h. em sua grande maioria alcançando 8000 MJmm/ha.h. nas áreas próximas a Franca. É possível então observar que para a área em questão o índice não revela uma elevada potencialidade erosiva da chuva, mas caracteriza-se como uma das mais baixas do estado.

Para o fator Erodibilidade do Solo (K) utilizou-se a fórmula proposta por Wischmeier e Smith (1978), ajustada pela Embrapa:

$$K = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} (12-a) + 4,3 \cdot 10^{-3} (b-2) + 3,3 \cdot 10^{-3} (c-3),$$

onde:

M = (% silte + % areia muito fina) x (100 - % argila);

a = % matéria orgânica;

b = código de estrutura do solo;

c = classe de permeabilidade do perfil do solo.

De posse dos dados relatados anteriormente, as Cartas foram exportadas do AutoCAD para o Spring e novamente exportadas, agora para o Idrisi, onde realizou-se o cruzamento das informações para a geração da carta de PNE, a qual será abordada a seguir.

Produto Cartográfico de Síntese: Carta de Potencial Natural à Erosão (PNE)

Segundo Stein et. al. (1987, p.117), “o Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar”. Este mapa corresponde às estimativas de perda de solo em áreas destituídas de cobertura vegetal e de intervenção antrópica. De acordo com estes autores, os valores não devem ser observados quantitativamente, no entanto, pode ser feita uma ordenação qualitativa, distinguindo os distintos potenciais de erosão laminar.

A caracterização do PNE como indicador de fragilidade ambiental, foi conduzida utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), considerando seus termos que se referem aos parâmetros do meio físico, isto é, os fatores erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K) e o fator topográfico, envolvendo a declividade (fator S) e a extensão da vertente (fator L). Os resultados podem evidenciar as combinações de K e LS, já que o valor de R é constante para toda a área. Dessa forma, duas áreas de relevos semelhantes, mas, de solos distintos, podem apresentar valores diferentes de PNE e vice-versa.

Foram utilizados os softwares AutoCAD para a digitalização e vetorização das linhas e isolinhas, Spring para importação dos mapas e exportação das matrizes para o software Idrisi, onde os mapas foram cruzados. Dessa forma, seguindo os parâmetros estabelecidos por Stein et. al. (1987) foi elaborado uma Carta de PNE.

Nesta Carta, (Figura 6) optou-se por não quantificar as áreas urbanas, de sedimentação e relacionadas aos represamentos, pois, nas planícies prevalecem os processos de deposição de sedimentos, enquanto que a EUPS estima apenas a erosão e nas áreas urbanizadas a erosão não se apresenta de maneira uniforme. Para tanto, utilizou-se das áreas de acumulação identificadas na Carta Geomorfológica e, deste modo, foi gerado uma carta apresentando apenas as áreas urbanas, de acumulação fluvial e os represamentos; esta carta foi exportada para o Idrisi e os valores das classes de acumulação foram zerados, enquanto que o restante da carta recebeu o valor de 1 para o cruzamento com as outras cartas; o resultado foi uma carta apresentando ausência de valores para as áreas urbanas e de planícies.

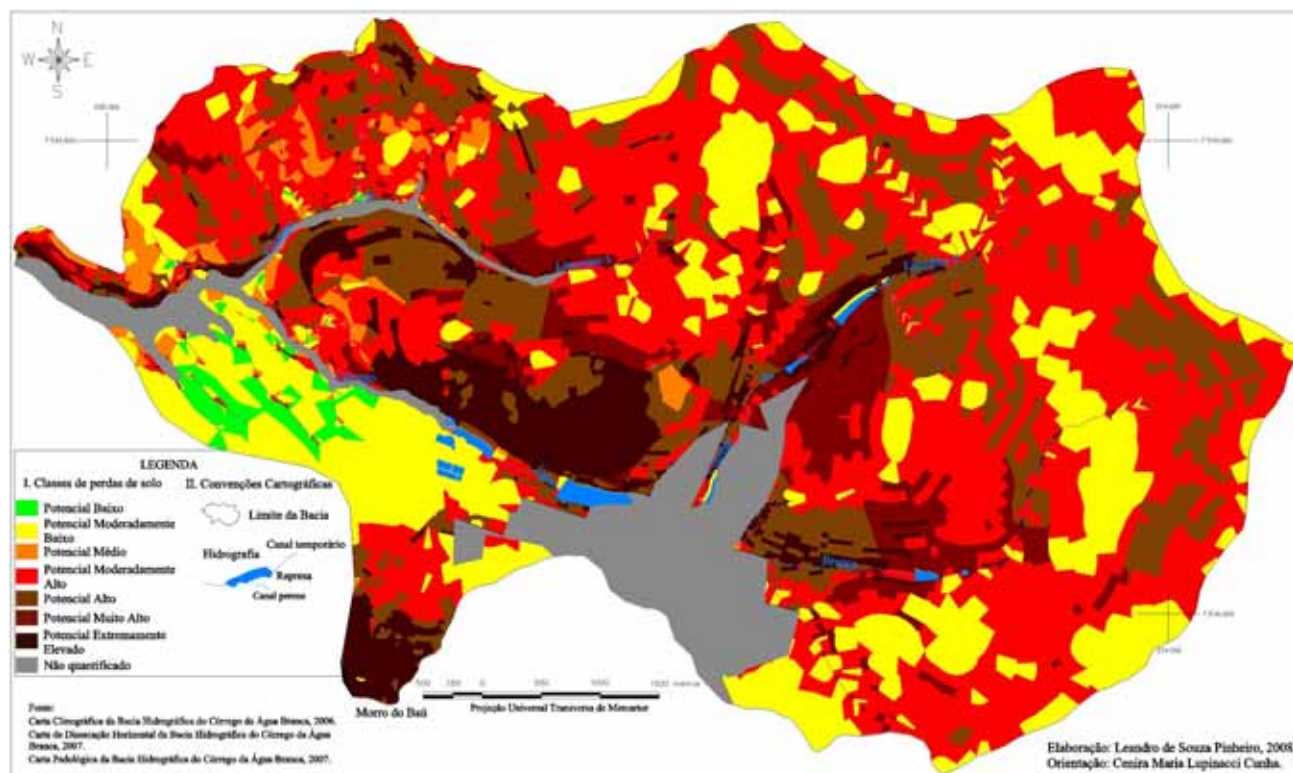


Figura 6 - Carta de Potencial Natural à erosão Laminar da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca

O cruzamento dos fatores da EUPS, exceto os fatores C e P, para geração dessa carta foi realizado no Software Idrisi 32, através do comando “Image Calculator”.

Desta forma, foram inseridos e cruzados os valores do fator R, a Carta do fator LS, a Carta do fator K e a Carta das áreas de acumulação fluvial. O mapa resultante trata-se de um trabalho preliminar, sendo necessário redefinir os valores, agora qualitativos, através do comando “Data Entry - Edit”. Em seguida, é preciso aplicar a técnica da reclassificação, através do comando “GIS Analysis - Database Query - ASSIGN”, no qual o mapa gerado deverá conter valores aritméticos iniciando com zero. Após ser executado o comando ASSIGN, os dados foram então reclassificados através do comando “GIS Analysis - Database Query - RECLASS”. O *layout* final foi elaborado no software AutoCAD.

A técnica da reclassificação, através do Idrisi, é muito importante porque esta permite a divisão das classes resultantes do último cruzamento, pois o mapa gerado não apresenta divisão de classes. Sua importância se deve também pelo fato de que após esse procedimento torna-se possível a exportação do arquivo para a elaboração do *layout* final.

Resultados

Os solos predominantemente arenosos, representados pelo Neossolo Quartzarênico e pelo Latossolo Vermelho-Amarelo, resultantes do substrato geológico relacionado as Formações Botucatu e Pirambóia, potencializam a fragilidade natural da área. De menor expressão areal, porém, com uma importância relevante para a elaboração do relevo, tem-se a Formação Serra Geral, que gera, na área de contato desta com as formações subjacentes, uma nítida ruptura topográfica. Devido à elevada temperatura do magma, ocorreu um “metamorfismo geológico”, alterando as propriedades das rochas vizinhas, principalmente dos arenitos, o que criou um aumento na resistência destes através da “cimentação” do material, dando origem a várias rupturas topográficas em função da diferença de resistência dos materiais. Esta área dá origem ao Latossolo Vermelho, um solo fértil com alta concentração de argila, sendo que as declividades registradas nesta área revelam a potencialidade erosiva, pois a presença da argila diminui a infiltração da água pluvial, o que acarreta em aumento do escoamento hídrico superficial e, por conseguinte maior capacidade erosiva.

A área apresenta um potencial erosivo relativamente heterogêneo, expresso na Carta de PNE, o qual está relacionado à variação da declividade (Figura 6) e da Dissecação Horizontal do relevo (Figura 4). Existem locais onde a declividade é baixa, mas as longas vertentes potencializam a erosão, fato que Bertoni et al. (1972) confirmam ao afirmar que, com o aumento do comprimento da vertente, as perdas de solo aumentam conseqüentemente, pois a quantidade de água no escoamento se acumula potencializando a ação erosiva ao longo da vertente. Há, ainda, locais de baixo e médio potencial erosivo, mas em algumas checagens de campo foi possível verificar sulcos erosivos que demandam um maior cuidado com a área. A tabela abaixo apresenta os dados das Classes de potencial Natural à Erosão para a bacia hidrográfica do Córrego da Água Branca.

Tabela 1 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão

| Classes | Área (ha) | % |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Potencial Baixo | 54,0 | 1,3 |
| Potencial Moderadamente Baixo | 869,0 | 20,2 |
| Potencial Médio | 89,6 | 2,0 |
| Potencial Moderadamente Alto | 1645,3 | 38,2 |
| Potencial Alto | 675,7 | 15,7 |
| Potencial Muito Alto | 291,0 | 6,8 |
| Potencial Extremamente Elevado | 312,9 | 7,3 |
| Não Quantificado | 366,1 | 8,5 |
| Total | 4303,6 | 100,0 |

Conforme se observa, na área de estudo, prevalecem as classes de potencial natural à erosão moderadamente baixo, moderadamente alto e alto, representando quase $\frac{3}{4}$ do total da área da bacia. As classes de baixo potencial ocorrem nas áreas com declividades inferiores a 3% no baixo curso do Córrego da Água Branca, à margem esquerda do córrego e do falhamento ao longo do canal, pois, nestas áreas a velocidade do escoamento perde energia diminuindo, assim, o potencial erosivo.

Já a classe moderadamente baixo, de modo geral, ocorre em virtude das pequenas declividades predominantes nas vertentes da margem esquerda do Córrego Água Branca e das superfícies de cimeira.

Dominante em área, a classe de potencial moderadamente alto é consequência maior das extensas vertentes (Figura 4), em geral acima de 320 m, que potencializam o escoamento hídrico e causa um maior carreamento de sedimentos, do que da declividade, em média entre 3% a 12% (Figura 5).

A classe de potencial extremamente elevado está restrita às áreas de grandes declividades, nas concavidades e convexidades das vertentes, pois são influenciadas diretamente pelo aumento da velocidade do escoamento. No entanto, esta verificação é qualitativa, visto que o modelo não considera tais formas do relevo; a possibilidade desta observação é em função da análise estereoscópica de fotografias aéreas.

Em geral, ocorrem nas vertentes da margem direita do Córrego Água Branca, tanto no alto como no baixo curso. A área mais expressiva localiza-se no interflúvio entre o Água Branca e Limoeiro 1, mas existem ainda áreas localizadas no setor da margem direita do baixo curso, próximas às margens do Limoeiro 2. Nas vertentes da margem esquerda destacam-se as escarpas do Morro do Baú pela sua elevada declividade. O restante desta classe ocorre de maneira incipiente no restante da bacia.

De posse destas informações, os dados produzidos por esta pesquisa podem vir a contribuir com o Planejamento Ambiental da área, pois permitem, através dos documentos cartográficos elaborados, analisar os setores mais frágeis à ação erosiva, possibilitando planejar usos da terra condizentes com tais limitações. O Planejamento Ambiental pode vir a solucionar ou evitar muitos transtornos que ocorrem ou poderão ocorrer. Mas, é importante o interesse e a participação da sociedade de maneira geral, pois, apesar de ser tão discutido pelos acadêmicos e até mesmo pela mídia, o Planejamento Territorial Ambiental ainda é pouco praticado.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. de. **Os fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: IGEOG, 1974. (Série teses e monografias, n.14)

BERTONI, J. et al. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1972. (Circular, n.20)

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2005. (5. ed.)

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (org) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 415-440.

CHRISTOFOLETTI, A. & QUEIROZ NETO, J.P. de. As formas de relevo da Serra de Santana (SP). **Notícia Geomorfológica**, 6/7, p. 12-17, 1961.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 –22, 1971.

CUNHA, C. M. L. A. **Quantificação e Mapeamento das Perdas de Solo por Erosão com Base na Malha Fundiária**. 1997. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, C. M. L. A. **Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DE BIASI, M. Cartas de Declividades: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p. 8 – 12, 1970.

DELGADO, J. M. et al. **Plano de Manejo Integrado das Unidades de Itirapina-SP**. São Pulo: IF, 2004. 153 p. (Série Registros, n. 27)

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1981a, v. 1-2. Escala 1:500.000.

LAL, R. Soil Degradation by erosion. **Land Degradation and Development**. 12: 519-539, 2001.

MENDES, I. A. **A Dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MONTEIRO. C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IG, 1973. 130p.

OLIVEIRA, J. B. de.; PRADO, H. do. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos II. Memorial Descritivo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 98, 188p., 1984.

ROSS, J. L .S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1997. v. 1 e 2. Escala 1:500.000

SILVA, D. L. da **Análise Morfométrica do Córrego do Lajeado (SP)**. Rio Claro, IGCE/UNESP. 2005 (Trabalho de Conclusão de Curso, IGCE, UNESP, Campus de Rio Claro).

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la Metodologia de lãs Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de geografia, 1981, 3v.

STEIN, D. P. et al. Potencial Natural de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1987, Marília. **Anais...** São Paulo: S.C.P., 1987.

WISCHMEIER, W. H. Storms and Soil Conservation. **Journal of soil and water conservation**. Vol. 17, p. 55-59, March-April, 1962.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains**. Washington: USDA Handbook, 1978.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo**. 2001. 166f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

ZANCHETTA, D. et al. **Plano de manejo**: Estação Ecológica e Estação Experimental de Itirapina, SP. SMA, Instituto Florestal de São Paulo. Itirapina, 2006. Não publicado.