

MATHEUS FERNANDO PEREIRA

**SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM
MICROBACIAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

*“Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas –
UNESP, Campus de Rio Claro, como parte das
exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho
de Formatura no ano letivo de 2009”*

Orientador: Prof. Dr. Silvio Frosini de Barros Ferraz

Rio Claro, SP
2009

MATHEUS FERNANDO PEREIRA

**SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM
MICROBACIAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

*“Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas –
UNESP, Campus de Rio Claro, como parte das
exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho
de Formatura no ano letivo de 2009”*

Orientador: Prof. Dr. Silvio Frosini de Barros Ferraz

Rio Claro, SP
2009

634.9 Pereira, Matheus Fernando
P436s Simulação de produção de sedimentos em microbacias
em função de cenários de restauração florestal / Matheus
Fernando Pereira. - Rio Claro : [s.n.], 2009
63 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão (- Engenharia ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas de Rio Claro
Orientador: Silvio Frosini de Barros Ferraz

1. Florestas. 2. Erosão. 3. Reflorestamento. 4. APP. 5.
Reserva Legal. 6. AVA. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Silvio Frosini de Barros Ferraz, pelo apoio no projeto, pela confiança, pelos incentivos constantes e pelos ensinamentos recebidos.

À FAPESP, pela concessão da bolsa de iniciação científica (Processo Fapesp 07/07413-8) e pelo projeto Fapesp “Influência da paisagem na entrada de matéria vegetal (troncos) e na estrutura de canais em microbacias da bacia do rio Corumbataí, SP” (Processo Fapesp 06/04723-3).

Ao Departamento de Ecologia – IB, pela disponibilidade do Laboratório de Geoprocessamento e Análise da Paisagem, onde foi realizado o trabalho.

Aos examinadores, Prof. Dr. José Eduardo Zaine e Prof. Dr. Sérgio Luís Antonello, pela avaliação do trabalho.

Aos docentes da UNESP, que de alguma forma, contribuíram para minha formação.

À minha família, pelo amor, pelo apoio em todos os momentos, pela confiança, por tudo que eu tenho e pelo que sou.

Aos meus amigos de classe, por todos os momentos vividos durante os cinco anos de curso. Em especial, Isaac (‘Angolano’), Rafael (‘Barretão’), Fernanda e Emanuel (‘Tchaca’).

À minha namorada, Ana Luiza, por me “agüentar”, pelo carinho, pela atenção, pelos conselhos, pelo apoio, e pela imensa contribuição pra minha felicidade.

RESUMO

A retirada da cobertura florestal e introdução de culturas agrícolas no Estado de São Paulo vêm aumentando os processos de perdas de solo, principalmente em locais de solos susceptíveis em que não são adotadas práticas conservacionistas. A adequação de propriedades com o reflorestamento das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal é considerada como fator de redução das perdas de solo e baseando-se nisto, este projeto teve como objetivo a avaliação das perdas de solo em função de diferentes cenários de adequação ambiental. Foram realizadas simulações de processos erosivos em 15 microbacias pertencentes à bacia do rio Corumbataí, SP, considerando a situação atual do uso e cobertura do solo e diferentes cenários de reflorestamento, visando a analisar o potencial benefício obtido pela aplicação do Código Florestal vigente. Os cenários incluem a implementação de Áreas de Proteção Permanente (APP), o reflorestamento de Áreas Variáveis de Afluência (AVA) e dois cenários com a instalação da Reserva Legal em 20% de cada microbacia, sendo um deles estabelecido para as áreas mais críticas em termos de erosão e o outro aleatoriamente. Observou-se que para as condições testadas, os estabelecimentos de APP e de AVA ofereceram apenas uma pequena contribuição para o controle dos processos erosivos, implicando em uma redução de 10% e 7,8%, respectivamente, enquanto que a implementação da Reserva Legal em áreas críticas resultou na expressiva redução de 69,8%. O cenário aleatório, por sua vez, implicou em uma redução de apenas 21,4%. Os resultados obtidos indicam que o reflorestamento nas propriedades pode reduzir as perdas de solo, mas estudos prévios de priorização de áreas e planejamento aumentam significativamente a sua eficiência neste processo.

Palavras-chave: Erosão; sedimentos; perda de solos; reflorestamento; APP; Reserva Legal; AVA.

ABSTRACT

In São Paulo state, deforestation and agriculture activities are increasing soil losses processes, especially in areas of susceptible soils where properties not adopt soil conservation practices. Environmental adequacy at property level regarding Permanent Protection Areas and Legal Reserves is considered a factor on reducing soil losses and considering that we assessed soil losses of different scenario of environmental adequacy. Simulations of erosive process were carried out in 15 catchments of Corumbataí river basin, according to different forest restoration scenarios, as well as the current situation of land use/land cover. The scenarios include the implementation of Permanent Preservation Areas (PPA), the reforestation of variable source areas, and two scenarios, the Legal Reserve installation in 20% of each catchment, being one of them for most critical areas in terms of erosion and the other at random. It was observed that the establishment of PPA and the reforestation of hydrologically sensitive areas, offered only a small contribution to the control of the erosive process, resulting in a reduction of 10% and 7,8%, respectively, while the legal reserve in critical areas has a significant reduction of 69,8%. The random scenario, in turn, resulted in a reduction of only 21,4%. Results show that reforestation could reduce soil losses, but previous studies of land prioritization and planning could increase significantly its efficiency at this process.

Keywords: Erosion; sediments; soil loss; reforestation; PPA; legal reserve; hydrologically sensitive areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da “Área Variável de Afluência” no processo de geração de escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia-----	4
Figura 2: Localização geográfica da bacia do rio Corumbataí-----	7
Figura 3: Localização das microbacias em de estudo na bacia do rio Corumbataí -----	8
Figura 4: Nanograma desenvolvido para o cálculo da erodibilidade dos solos -----	10
Figura 5: Mapa de solos pertencente à Bacia do Corumbataí-----	11
Figura 6: Esquema metodológico da operacionalização da equação de perda de solos--	14
Figura 7: Mapa da erodibilidade dos solos obtido para toda a região e destaque para a microbacia 60 -----	17
Figura 8: Média da erodibilidade do solo para cada microbacia -----	17
Figura 9: Classes do fator LS na microbacia 315-----	19
Figura 10: Média do fator topográfico para cada microbacia-----	20
Figura 11: Mapeamento de uso e cobertura do solo na microbacia 634 para a situação atual -----	21
Figura 12: Média do fator de uso do solo para cada microbacia -----	22
Figura 13: Classes do fator P obtidos na microbacia 403 de acordo com a classificação de Diaz apud Pereira (2006) -----	22
Figura 14: Média do fator de práticas conservacionistas para cada microbacia-----	23
Figura 15: Perda anual média de solos para cada microbacia-----	25
Figura 16: Cenários de APP na microbacia 1026 -----	25
Figura 17: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal em áreas de declividade superior a 100% na microbacia 1015 -----	26
Figura 18: Média do fator C, obtida para a situação atual e com o estabelecimento de APPs para áreas de declividade superior a 100% -----	27
Figura 19: Perda anual média de solos com a criação de APPs para todas as áreas de declividade superior a 100% -----	28
Figura 20: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal na largura de 30 metros em faixa marginal ao longo dos rios na microbacia 142 -----	29
Figura 21: Média do fator C obtida na situação atual e com o estabelecimento de APPs na faixa de 30 metros ao longo de ambas as margens dos riachos -----	30

Figura 22: Perda anual média de solos na situação atual e com a criação de APPs na faixa de 30 metros ao longo de ambas as margens dos riachos -----	30
Figura 23: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura florestal em um raio de 50 metros ao redor das nascentes na microbacia 648-----	31
Figura 24: Média do fator C, obtida com o estabelecimento de APPs na faixa de 50 metros ao redor das nascentes -----	32
Figura 25: Perda anual média de solos na situação atual e com o estabelecimento de APP na distância de 50 metros ao redor das nascentes -----	32
Figura 26: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura florestal nas áreas declivosas, nas margens dos rios e ao redor de nascentes na microbacia 403-----	33
Figura 27: Média do fator C obtida para a situação atual e com o estabelecimento de APPs na união dos três cenários anteriores -----	34
Figura 28: Perda anual média de solos na situação atual e com o estabelecimento de APPs na união dos três cenários anteriores -----	34
Figura 29: Áreas de mata para a microbacia 403 na situação atual e para os cenários de reserva legal -----	35
Figura 30: Média do fator C, obtida com o estabelecimento da reserva legal para áreas consideradas mais críticas quanto à taxa de erosão -----	36
Figura 31: Média do fator C, obtida com o estabelecimento aleatório da reserva legal -	36
Figura 32: Perda anual média de solos na situação atual e em função do estabelecimento da reserva legal para áreas consideradas mais críticas nas 15 microbacias -----	37
Figura 33: Perda anual média de solos na situação atual e em função do estabelecimento aleatório da reserva legal -----	37
Figura 34: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com o reflorestamento nas AVAs na microbacia 403 -----	38
Figura 35: Média do fator C obtida com o reflorestamento das áreas variáveis de afluência -----	39
Figura 36: Perda anual média de solos na situação atual e com o reflorestamento das áreas variáveis de afluência -----	39
Figura 37: Erosão fluvial, decorrente da ação do fluxo do canal em épocas de cheia, na microbacia 634-----	42
Figura 38: Erosão de margem de rio, observado na microbacia 142 devido, principalmente à ausência de mata ciliar-----	43

Figura 39: Erosão de margem de rio observada na microbacia 1015, também devido à ausência de mata ciliar-----	43
Figura 40: Sulcos erosivos no leito de uma estrada de terra construída inadequadamente na microbacia 1015 -----	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Correspondência entre a numeração da figura 3 e o código de cada microbacia	7
Tabela 2: Valores de erodibilidade encontrados para diferentes tipos de solos, presentes na bacia do rio Corumbataí -----	10
Tabela 3: Valores do fator C estabelecido para determinadas coberturas de solo -----	13
Tabela 4: Valores do fator P para determinadas práticas conservacionistas -----	13
Tabela 5: Cenários de reflorestamento utilizados na estimativa da produção de sedimentos -----	15
Tabela 6: Valores da erosividade da chuva calculados para municípios de maior proximidade às microbacias -----	18
Tabela 7: Percentuais de classes do fator topográfico -----	19
Tabela 8: Valores do fator C adotados para o uso do solo -----	20
Tabela 9: Classes de solo e usos predominantes, e a média dos quatro fatores obtidos para cada microbacia na situação atual-----	24
Tabela 10: Perda anual média de solos em cada microbacia na situação atual e nos principais cenários de restauração florestal-----	40

LISTA DE SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
AVA	Área Variável de Afluência
EUPS	Equação Universal de Perda de Solos
IF	Instituto Florestal
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
MDT	Modelo Digital do Terreno
RL	Reserva Legal
RL20ALE	Cenário de reserva legal com rampas selecionadas aleatoriamente
RL20SUE	Cenário de reserva legal com rampas selecionadas em áreas de alta suscetibilidade à erosão.
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	02
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	02
4. MATERIAIS E MÉTODOS	06
4.1 Área de estudo	06
4.2 Base cartográfica	09
4.3 Modelagem da perda de solos potencial	09
4.4 Simulação de cenários	14
4.5 Validação no campo	15
4.6 Análises estatísticas	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1 Fator de erodibilidade do solo	16
5.2 Fator de erosividade da chuva	18
5.3 Fator topográfico	18
5.4 Fatores de uso do solo e práticas conservacionistas	20
5.5 Multiplicação dos fatores e total de sedimentos observados nas microbacias	25
5.6 Cenários de APP	25
5.6.1 APP – Declividade	26
5.6.2 APP – Rios	28
5.6.3 APP – Nascentes	31
5.6.4 APP – Geral	33
5.7 Cenários de reserva legal	35
5.8 Cenário de reflorestamento das áreas variáveis de afluência	38
5.9 Comparação dos cenários	40
5.10 Validação no campo	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A modificação de ambientes pelo homem pode acarretar diversos problemas ambientais dentre eles a aceleração do processo de erosão do solo, ou seja, do desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, sem dúvida, na principal causa do depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficam retidas sobre a superfície ou não se infiltram, transportam partículas do solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. Outras vezes, esse transporte de partículas do solo se verifica, também, pela ação do vento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

É importante frisar que a erosão é um processo natural e importante para a formação dos relevos e solos existentes, entretanto, em solos cobertos com florestas apresenta taxas muito baixas. Contudo, a ação antrópica pode acelerá-la radicalmente, principalmente por meio da remoção da vegetação original e manejo inadequado do solo.

Uma das principais medidas de controle da erosão hídrica consiste no aumento da biomassa vegetal, tanto na superfície, aumentando a infiltração (OLIVEIRA et al., 2001), como subterrânea, com o aumento da ligação das partículas do solo (VOLK & COGO, 2008). A legislação ambiental exige a implantação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL), visando a preservação dos recursos naturais, como a água e o solo, e sendo um meio de reduzir os processos erosivos e os efeitos decorrentes, tais como perda de fertilidade pedológica, assoreamento de cursos d'água, e poluição dos mesmos. Outras áreas que também merecem destaque e devem ser reflorestadas são as Áreas Variáveis de Afluência (AVAs), que segundo Attanosio et al. (2006), são consideradas zonas dinâmicas de saturação hídrica, sendo, portanto, sujeitas aos processos de escoamento superficial.

Para a modelagem da perda de solos potencial, foi desenvolvida a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), a qual relaciona fatores, como índices pluviométricos, classes de solo, topografia, uso do solo e práticas conservacionista, obtendo a perda anual. Este estudo consiste na utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para a o cruzamento desses fatores e obtenção da perda anual média de solos na situação atual e de acordo com cenários de restauração florestal, como instalação de APP e Reserva Legal, e reflorestamento de AVAs, podendo-se ter uma idéia de como a proporção e a localização da cobertura florestal influencia a produção de sedimentos na região, de que modo a aplicação da legislação ambiental pode reduzir a produção de sedimentos e quais as áreas de maior prioridade para o reflorestamento.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do trabalho consistiu na realização de simulações de processos erosivos em microbacias pertencentes à bacia do Corumbataí, em função de diferentes cenários de reflorestamento, e nas respostas de algumas questões como:

- a. Como a proporção de cobertura florestal na microbacia influencia a produção de sedimentos nesta região?
- b. Como a aplicação da legislação ambiental (código florestal) pode reduzir a produção de sedimentos em microbacias?
- c. Qual a prioridade de reflorestamento na aplicação da legislação: proteção de nascentes, cursos d'água, ou áreas declivosas?

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A erosão é definida como o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade e da água, vento, gelo e organismos, podendo ocorrer naturalmente, ou por ação antrópica (INFANTI JUNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Diversas atividades humanas aceleram o processo erosivo de maneira significativa, ao deixar o solo exposto após a remoção da cobertura vegetal natural, ou alterar o fluxo de águas superficiais pela construção de obras. O agravamento do processo erosivo gera consequências para o ambiente como assoreamento e poluição de cursos d'água (JULIEN, 1998). Além disso, existem outros danos decorrentes do aumento na intensidade dos processos erosivos, tais como comprometimento da capacidade produtiva do solo e prejuízos na produção de alimentos (MORETI, 2003).

Os processos erosivos continentais que ocorrem nas encostas de relevos acidentados envolvem erosão laminar e linear. O primeiro tipo ocorre através do escoamento superficial difuso da chuva no solo, ocasionando uma perda progressiva dos horizontes superficiais, enquanto que o segundo se caracteriza pela concentração do escoamento através de linhas de fluxo superficial bem definidas (CBH-TB, 2000).

As erosões lineares podem ocorrer em sulcos, caracterizados por pequenas incisões na superfície, de até 0,5 metro de profundidade; em ravinas, que ocorrem quando a água do escoamento superficial escava o solo atingindo seus horizontes inferiores e, em seguida, a rocha, apresentando profundidade maior que 0,5 metro; e voçorocas, que correm caso a erosão se desenvolva por influência não somente das águas superficiais, mas também dos

fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençol freático, com o desenvolvimento de erosão interna (*piping*) (INFANTI JUNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do PCJ (UGRHI – PCJ), ocorrem erosões do tipo laminar e linear de modo disperso e concentrado em algumas áreas. Em 1999, a área da UGRHI – PCJ foi enquadrada em três classes de criticidade quanto aos processos erosivos: muito críticas, onde se encontra a sub-bacia Camanducaia; críticas, onde se encontram as sub-bacias Jaguari, Atibaia e Corumbataí; e pouco críticas, onde se encontram as bacias do Capivari e Jundiaí. As sub-bacias da bacia do rio Piracicaba são as que apresentam maiores riscos de ocorrências de processos erosivos, como voçorocas, comprometendo a fertilidade e a produtividade pedológica, na região de Analândia, Rio Claro, Limeira, Santa Gertrudes e São Pedro (CBH-PCJ, 2004).

Várias medidas preventivas podem ser tomadas para evitar processos erosivos, como o plantio em nível, terraceamento, construção de estruturas para desvio da água de estradas, preservação da vegetação nativa nas áreas declivosas e margens de cursos d'água (BRAGA et al., 2002). Outros recursos têm sido importantes também para minimizar o problema, como a adubação verde (DERPSCH et al., 1991), preparo reduzido do solo e semeadura direta (COGO et al., 2003; AMARAL et al., 2008).

Em contrapartida, a densidade da cobertura vegetal é o princípio fundamental de toda a proteção que se oferece ao solo, preservando-lhe a integridade contra os efeitos danosos da erosão, devido aos seguintes efeitos: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; diminuição de velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento no atrito da superfície (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

O aumento da vegetação pode ser obtido pela implementação de APP e RL, sendo obrigatórias e definidas, de acordo com o Código Florestal de 1965, como “área protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”, e “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas”, respectivamente.

A implementação das áreas de APP e RL tem sido impulsionada pela pressão exercida pelos órgãos públicos, disponibilização de recursos pelos comitês de bacias e cobrança pelo uso da água (BRASIL, 1997). Além disso, o investimento em novos empreendimentos de produção de álcool e as perspectivas de exportação de biocombustíveis têm levado as usinas a aumentar o investimento na área ambiental, priorizando projetos de adequação ambiental (JACOVINE et al., 2009). A aplicação de tais medidas na bacia do Corumbataí, a princípio, parece ser promissora, uma vez que, de acordo com CBH-PCJ (2004), a sua área é classificada como crítica em relação aos processos erosivos.

Outras áreas também são consideradas sensíveis aos processos erosivos e devem ser reflorestadas, como as Áreas Variáveis de Afluência (AVAs), que consiste em áreas onde o escoamento direto está sob a influência de uma origem dinâmica, que sofre expansões e contrações (daí o nome “área variável”), correspondendo, em média, a 10% da bacia, podendo variar de 1% a 50% dependendo da quantidade e intensidade de precipitação (DICKINSON & WHITELEY Apud ZAKIA, 1998).

Durante uma chuva, a área da microbacia que contribui para a formação do deflúvio, é constituída dos terrenos que margeiam a rede de drenagem, sendo que nas porções mais altas, a chuva tenda principalmente a infiltrar-se e escoar até o canal mais próximo através do escoamento superficial. Com a persistência da chuva, essas áreas tendem a se expandir, não apenas em decorrência da expansão da rede de drenagem, como também, pelo fato de que áreas críticas da microbacia, como áreas saturadas e áreas de solo mais raso começam também a participar da geração do escoamento direto (ZAKIA, 1998).

Na figura 1 é apresentada a visualização da seqüência deste processo dinâmico das AVAs.

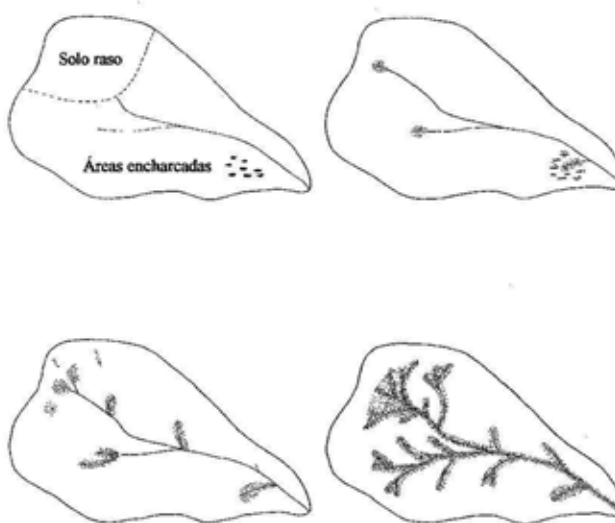


Figura 1: Evolução da “Área Variável de Afluência” no processo de geração de escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia (**Fonte:** HEWLETT & NUTTER Apud ZAKIA, 1998).

A predição de processos erosivos por meio de modelos numéricos iniciou-se em 1940, quando Zingg propôs uma equação que relacionava as perdas de solo com a declividade e o comprimento da vertente. Em seguida, foram acrescentados os fatores de influência da cobertura do solo e de práticas conservacionistas e, posteriormente, o fator chuva, os solos e o seu manejo (CORRÊA, 2005). Com base nessas variáveis, (WISCHMEIER & SMITH, 1978) desenvolveram a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), com a qual estimam-se as perdas anuais de solo pela multiplicação dos fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, relevo, uso do solo e práticas conservacionistas. Trata-se de um modelo empírico, baseado em um grande número de estudos nos Estados Unidos, e relatos indicam que ele é o mais utilizado para se prever a erosão decorrente da ação da chuva (KINNELL, 2004). A adoção de modelos matemáticos para a predição de processos erosivos visa à determinação das medidas preventivas, e a possibilidade de análise de cenários distintos tem sido útil para uma melhor compreensão dos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica (MACHADO et al., 2001)

A modelagem espacial de processos erosivos tem se intensificado nas últimas décadas, apoiada em Sistemas de Informações Geográficas (SILVA, 1999; MITASOVA, 2004), e com a elaboração de modelos especialmente desenvolvidos para modelagem hidrológica, como o Soil and Water Assessment Tool (SWAT), que permite a simulação de diferentes processos físicos em bacias hidrográficas, visando a analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e qualidade da água em bacias hidrográficas (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994).

A geração de cenários de uso e cobertura do solo, úteis como entrada em modelos hidrológicos, bem como de mapas de áreas prioritárias, sensíveis, de risco etc., tem sido bastante facilitada pela utilização de SIGs. Vettorazzi (2006) analisou o emprego da Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na geração de mapas de áreas prioritárias à restauração florestal, na bacia do rio Corumbataí, SP, visando à conservação de recursos hídricos, por meio da redução do processo erosivo.

Apesar de conhecidos os benefícios da restauração florestal para conter os processos erosivos, ainda faltam estudos mais detalhados sobre a influência da distribuição espacial da cobertura florestal na redução dos processos erosivos, daí a importância da realização de simulações de cenários de reflorestamento para avaliação dos ganhos de cada alternativa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A bacia do rio Corumbataí possui uma área de, aproximadamente, 1.1710 Km², localizando-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 2), entre as latitudes 22°04'46"S e 22°41'28"S, e entre os meridianos 47°26'23"W e 47°56'15"W, sendo dividida nas seguintes sub-bacias: Alto Corumbataí, Médio Corumbataí, Passa-Cinco, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí (VALENTE & VETORAZZI, 2005). O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como sub-tropical, possuindo verões secos e invernos chuvosos. Geralmente, no período de outubro a fevereiro, ocorre mais de 80% da precipitação anual, enquanto que, de março a setembro, há menos de 20% da precipitação anual (VETORAZZI, 2006).

O principal rio da bacia é o Corumbataí, tributário da margem direita do Rio Piracicaba, que possui a nascente localizada na Serra do Cuscuzeiro, pertencente ao município de Analândia, a aproximadamente 1040m de altitude; e a foz no município de Piracicaba, no perímetro urbano do município de Piracicaba a aproximadamente, 460m. Seus principais afluentes são os rios Cabeça, Passa-cinco e o Ribeirão Claro (VETORAZZI, 2006). O relevo varia de plano a muito íngreme, sendo que as maiores declividades são encontradas nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco (VALENTE & VETORAZZI, 2005).

Os solos predominantes são os Argissolos (46,21%), Latossolos (30,14%) e Neossolos (22,66%) (VETTORAZZI, 2006). As principais categorias de uso e cobertura do solo na bacia são a cana-de-açúcar (25,7%) e pastagem (43,7%) (VALENTE & VETTORAZZI, 2005). A cobertura florestal nativa é composta por diferentes tipos vegetacionais, como floresta estacional semi-decidual, florestas ripárias, florestas paludosas, floresta estacional decidual (mata seca) e cerrado (RODRIGUES, 1999). Entretanto, observa-se um elevado nível de fragmentação e degradação da cobertura florestal original, em função de um processo desordenado de uso e ocupação do solo iniciado no final do século XVIII. Desse modo, os remanescentes florestais encontram-se bastante degradados e fragmentados, ocupando apenas 11% da área da bacia, sendo neste pequeno percentual que se encontram as matas ripárias, restritas às áreas de terreno declivoso e próximas aos corpos d'água (VALENTE & VETTORAZZI, 2005).

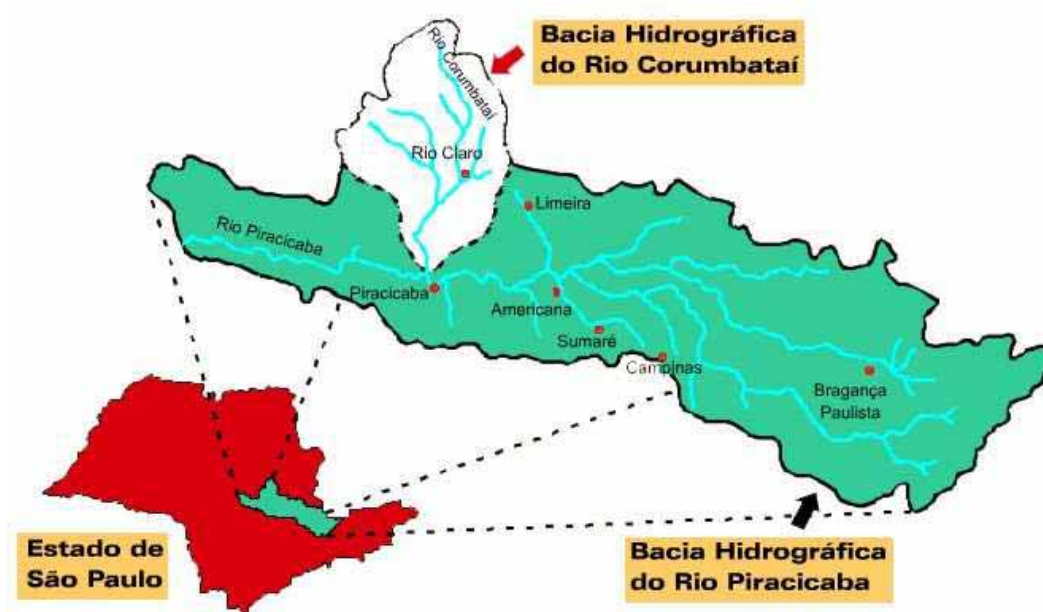


Figura 2: Localização geográfica da bacia do rio Corumbataí (Fonte: CEAPLA, 2001).

As 15 microbacias, selecionadas para este estudo, já haviam sido delimitadas no Projeto Fapesp “Influência da paisagem na entrada de matéria vegetal (troncos) e na estrutura de canais em microbacias da bacia do rio Corumbataí, SP”, caracterizando-se por serem de terceira ordem, por se localizarem em regiões de cabeceiras e pelas diferentes situações de uso do solo. As áreas são numeradas de 1 a 15 e na tabela é apresentada a correspondência entre a numeração da figura 3 e o código das microbacias.

Tabela 1: Correspondência entre a numeração da figura 3 e o código de cada microbacia.

Número na Figura 3	Código	Número na Figura 3	Código
1	60	9	508
2	76	10	634
3	88	11	648
4	142	12	999
5	315	13	1003
6	403	14	1015
7	413	15	1026
8	485		

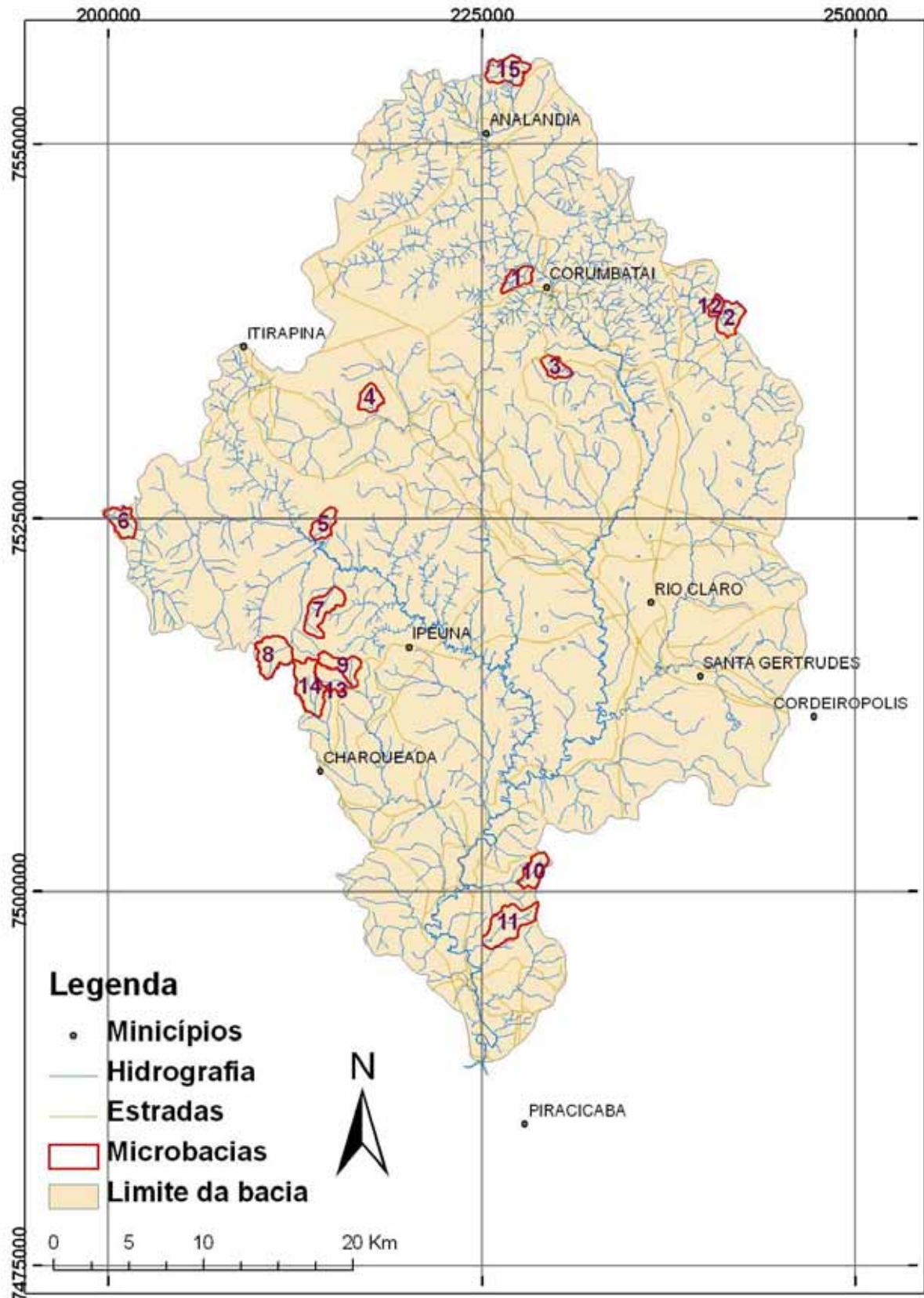


Figura 3: Localização das microbacias em de estudo na bacia do rio Corumbataí.

4.2. Base cartográfica

Para as áreas das microbacias, foram realizados mapeamentos, baseados nos mapas planialtimétricos (IGC-SP, escala 1:10.000) e fotografias aéreas de 2002 (IF-SP, escala 1:30.000) por meio da vetorização dos seguintes planos de informação:

- curvas de nível (eqüidistância de 5 metros);
- pontos cotados do terreno;
- limites das microbacias
- hidrografia: cursos d'água e reservatórios
- nascentes
- estradas

Todos os mapas foram padronizados no Datum Córrego Alegre, e no sistema de projeção UTM Zona 23 Sul, e convertidos para o formato de dados do ArcGIS, o qual consistiu na plataforma padrão para a realização das análises espaciais.

Com base no mapa de altimetria, foi produzido um Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução espacial de 5 metros, por meio de rede irregular de triângulos (TIN), o qual foi convertido para o formato *raster*, com o auxílio da extensão *Spatial Analyst*, acoplada ao software ArcGIS 9.2, para a obtenção de fatores como a declividade e o mapa de exposição, necessários para a obtenção dos mapas de declividade e exposição, necessários para o cálculo do fator topográfico.

As fotografias aéreas, por sua vez, foram utilizadas para o mapeamento do uso e cobertura do solo e para a determinação das áreas de práticas conservacionistas.

4.3. Modelagem da perda de solos potencial

A perda anual de solos (A) para uma determinada região é obtida através da multiplicação de quatro fatores, conforme a Equação Universal da Perda de Solos (E.U.P.S.).

$$A = R \times K \times LS \times CP, \text{ sendo:}$$

R = fator de erosividade da chuva;

K = fator de erodibilidade do solo;

LS = fator topográfico;

CP = fatores de uso e conservação do solo;

O fator de erodibilidade, de acordo com Baptista, pode ser determinado experimentalmente, em condições específicas de declividade e comprimento de rampa, ou de

forma indireta por meio de um nanograma desenvolvido por Wischmeier et al (1971), (Figura 4).

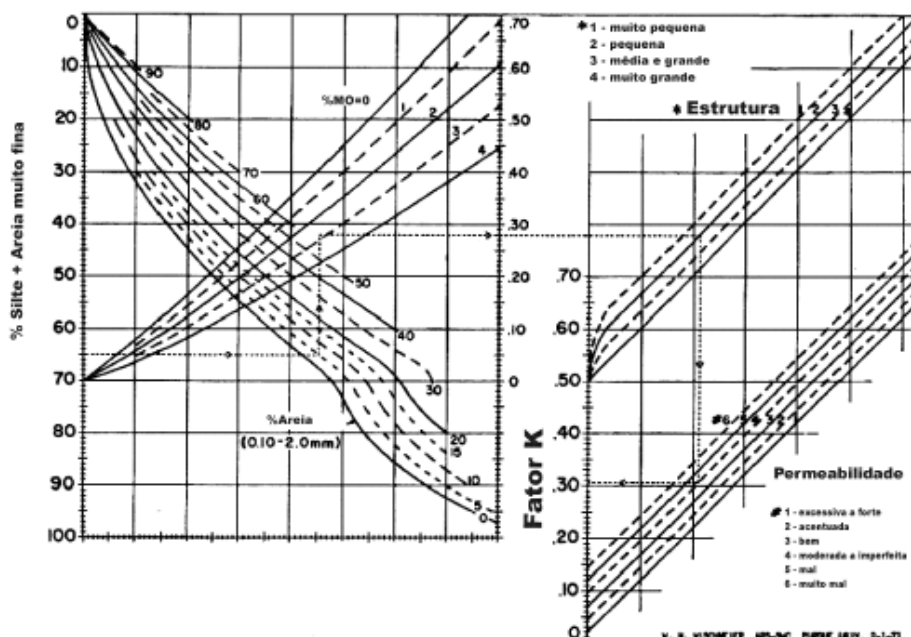


Figura 4: Nanograma desenvolvido para o cálculo da erodibilidade dos solos (Fonte: Wischmeier et al, 1971).

Através do nanograma, Baptista (1997) e Wischmeier & Smith (1978) obtiveram os valores da erodibilidade de diversas classes de solo, sendo que os valores da erodibilidade das classes presentes na bacia do rio Corumbataí são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Valores de erodibilidade encontrados para diferentes tipos de solos, presentes na bacia do rio Corumbataí

Tipo de Solo	Fator K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Latossolo Vermelho	0,013 ¹
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020 ¹
Argissolo	0,042 ¹
Luvisolo	0,030 ¹
Nitossolo	0,013 ¹
Cambissolo	0,024 ¹
Gleissolo	0,031 ¹
Neossolo quartzênico	0,027 ¹
Chernossolo	0,038 ¹
Latossolo Bruno	0,010 ²
Neossolo Litólico	0,035 ²

Fonte: ¹Baptista,1997; ²Wischmeier & Smith, 1978.

Para a obtenção dos tipos de solo da região, foram utilizadas as quadrículas de São Carlos (OLIVEIRA et al, 1984), Piracicaba (OLIVEIRA et al., 1991) e Brotas (ALMEIDA et al., 1981), do Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, na escala 1:100.000.

No mapa de solos da bacia do rio Corumbataí, presente na figura 5, observa-se a predominância de latossolos e argissolos.

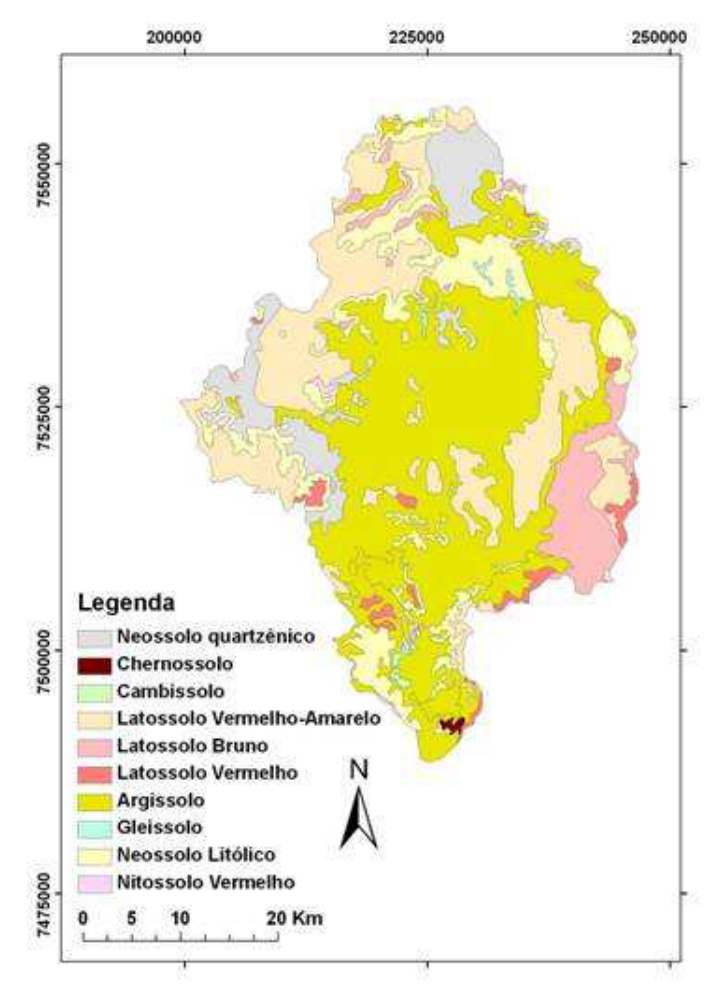


Figura 5: Mapa de solos pertencente à Bacia do Corumbataí na escala 1:100.000 (**Fonte:** CEAPLA/UNESP, 2001, adaptado de Almeida et al., 1981; Oliveira & Prado, 1984; e Oliveira et al., 1991).

O fator de erosividade da chuva foi calculado através da seguinte equação de ajuste, proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992):

$$EI = 68,73 * (r^2/P)^{0,841}, \text{ onde:}$$

EI= média mensal do índice de erosão em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

r = precipitação média mensal em milímetros

P = precipitação média anual em milímetros

Foram utilizados dados pluviométricos provenientes do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH-SP) para um período de 40 anos nos municípios de Rio Claro, Piracicaba, Charqueada, Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina e Santa Gertrudes, o que implicou em uma relativa precisão no cálculo do fator R. O valor anual da erosividade para cada município foi obtido, através da soma dos valores de EI de cada mês.

Já para a obtenção do fator topográfico, foi gerado o Modelo Digital do Terreno, a partir da digitalização das curvas de nível com equidistância de 5 metros e de pontos de elevação. O mesmo serviu como base para a geração dos mapas de declividade e de orientação, os quais foram reclassificados e combinados, gerando um mapa de rampas homogêneas. Este foi agrupado em polígonos para a geração do mapa de rampas e, em seguida, o comprimento da rampa C, foi obtido a partir da seguinte expressão:

$$C = h / \sin \alpha, \text{ sendo:}$$

h = diferença de altura da rampa em metros

α = declividade média do polígono

O fator LS, definido, segundo Wischmeier & Smith (1978), como a taxa de perda de solos por unidade de área de uma parcela-padrão de 22,13m de comprimento e de 9% de declividade, por sua vez, foi obtido a partir da seguinte equação, desenvolvida por Bertoni & Lombardi Neto (1985):

$$LS = 0,00984 \times C^{0,63} \times D^{1,18}, \text{ onde:}$$

C = Comprimento da rampa do terreno

D = Grau do Declive

(FORNELOS & NEVES, 2006).

O fator CP, por sua vez, o qual varia entre 0 e 1, foi obtido a partir da multiplicação entre os fatores de uso e manejo do solo (C) e de práticas conservacionistas do solo (P) (FORNELOS & NEVES, 2006). O fator C corresponde à relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido, continuamente, descoberto e cultivado, enquanto P corresponde à relação esperada entre a intensidade de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Para o primeiro, foi utilizado o mapeamento do uso e cobertura da terra, já realizado nas microbacias no projeto “Influência da paisagem na entrada de matéria vegetal (troncos) e na

estrutura de canais em microbacias da bacia do rio Corumbataí, SP” (Processo Fapesp 06/04723-3). Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Castro (1992) estabeleceram valores do fator C para cada uso em toda a Bacia do Piracicaba, após análises dos padrões de uso e ocupação, presentes na tabela 3.

Tabela 3: Valores do fator C estabelecido para determinadas coberturas de solo

Uso e cobertura do solo	Fator C
Cana-de-açúcar	0,1124 ¹
Citros	0,1350 ¹
Pastagem	0,0100 ¹
Cultura anual	0,0827 ¹
Cultura perene	0,1350 ¹
Vegetação nativa	0,0004 ¹
Silvicultura	0,0470 ¹
Urbanização	0,0300 ²
Outros usos	0,0300 ²
Água	0 ¹

Fonte: ¹Betroni & Lombardi Neto, 1990 apud Cerri, 1999; ²Castro, 1992 apud Cerri, 1999.

Já o fator P, por sua vez, foi obtido de acordo com a prática conservacionista adotada. Para as áreas, onde não há nenhuma prática, havendo maior suscetibilidade à erosão, foi adotado valor 1. Na tabela 4, encontram-se alguns valores de P, que variam de acordo com a inclinação do terreno.

Para áreas de terraço, por exemplo, observa-se um baixo valor de P, uma vez que o comprimento das rampas é diminuído, reduzindo assim, o acúmulo de água na superfície e, também, o aumento do poder de carreamento das enxurradas.

Tabela 4: Valores do fator P para determinadas práticas conservacionistas

Inclinação (%)	Tipo de Cultivo		
	Nível	Faixas	Terraços
2	0,60	0,30	0,12
5	0,50	0,25	0,10
10	0,60	0,30	0,12
15	0,70	0,35	0,14
20	0,80	0,40	0,16
30	0,90	0,45	0,18

Fonte: Diaz (Apud Pereira, 2006).

Na figura 6, é apresentado um esquema metodológico das etapas realizadas no cálculo de perda de solos.

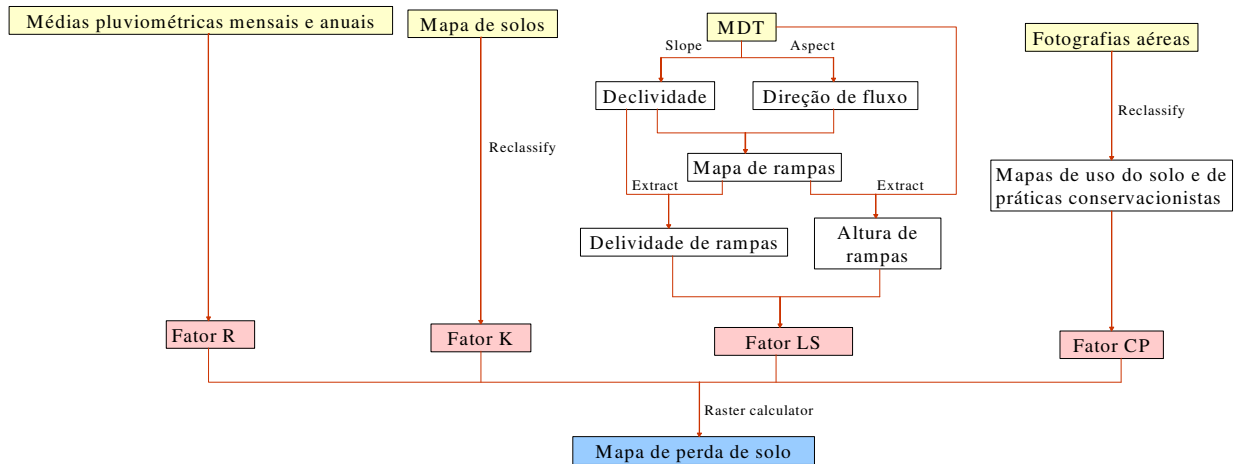


Figura 6: Esquema metodológico da operacionalização da equação de perda de solos (Fonte: adaptado de FORNELOS & NEVES, 2006).

Os fatores R, K, LS e CP foram obtidos a partir das médias pluviométricas mensais e anuais, do mapa de solos, do modelo digital do terreno e de fotografias aéreas, respectivamente.

4.4. Simulação dos cenários

Foram calculadas as perdas potenciais de solo para o ano de 2008 nas microbacias (ATUAL) e outros sete possíveis cenários de reflorestamento, envolvendo Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e Áreas Variáveis de Afluência (AVA) (Tabela 5).

Para a simulação reflorestamento das áreas de APP consideraram-se as áreas com declividade superior a 100%, faixas de 30 metros ao longo de ambas as margens dos rios, 50 metros ao redor das nascentes e a união destes três cenários.

Para as delimitação das AVAs nas microbacias, por sua vez, utilizou-se a extensão *HydroTools 1.0* (SCHÄUBLE, 1999), acoplada ao ArcView 3.3. As AVAs foram obtidas a partir do índice topográfico, o qual foi calculado através de uma expressão que relaciona a declividade com o fluxo acumulado (FERRAZ et al, 2007).

$$TI = \ln\left(\frac{As}{\tan \beta_i}\right), \text{ onde:}$$

TI = Índice topográfico

As = Fluxo acumulado na célula (em número de células a montante)

β_i = Declividade na célula i (em graus)

Os cenários de reflorestamento de Reserva Legal foram obtidos de duas maneiras, selecionando aleatoriamente regiões topográficas (rampas) (RL20ALE) e selecionando rampas com alta suscetibilidade à erosão (RL20SUE), em ambos os casos considerando a proporção existente de floresta, além da APP, até completar 20% da área.

Para a obtenção do fator A dos cenários simulados, cada fator da EUPS foi convertido para o formato *raster* e multiplicados através da extensão *Spatial Analyst*.

Tabela 5: Cenários de reflorestamento utilizados na estimativa da produção de sedimentos.

Cenário	Áreas onde devem ser mantidas vegetações nativas
Situação Atual	Situação atual do uso do solo, sem modificação
APP1	Faixa de 30 metros ao longo de ambas as margens dos rios
APP2	Faixa de 50 metros ao redor das nascentes
APP3	Áreas com declividade superior a 100% ou a 45°
APP4	União das áreas dos 3 cenários de APP acima
RL20ALE	Determinada aleatoriamente, na área correspondente a 20% de cada microbacia.
RL20SUE	Estabelecida para as regiões mais críticas e mais suscetíveis à erosão em uma área correspondente a 20% de cada microbacia
Áreas Variáveis de Afluência (AVA)	Reflorestamento dessas áreas, consideradas mais sensíveis

4.5. Validação no campo

Para a validação no campo, foi observado um trecho de 800 metros de cada microbacia a partir do vertedouro, no sentido jusante-montante do rio principal de cada microbacia, observando-se aspectos como uso do solo, presença ou não de mata ciliar, a adoção de práticas conservacionistas, características do solo e do relevo, pontos de erosão, entre outros, visando identificar áreas mais críticas e prioritárias para a restauração florestal.

O trecho de 800 metros foi estabelecido devido à realização de coletas de água em 3 pontos de cada microbacia, num intervalo de 400 metros entre eles, para análise de partículas em suspensão, e de parâmetros como turbidez, pH, entre outros, para um outro projeto, também vinculado ao projeto Fapesp “Influência da paisagem na entrada de matéria vegetal (troncos) e na estrutura de canais em microbacias da bacia do rio Corumbataí, SP”

Não foi realizado nenhum ensaio no campo para a comparação com os resultados obtidos a partir das simulações realizadas no software ArcGIS 9.2.

4.6. Análises estatísticas

Visando determinar se a cobertura florestal influencia ou não na produção de sedimentos, foi utilizado o teste t para avaliar a diferença de produção de sedimentos entre um grupo de microbacias com menor presença de floresta (microbacias 60, 76, 88, 142, 413, 1015 e 1026) e o outro (microbacias 485, 508, 634, 648, 999, 1003) onde há uma maior presença de áreas de floresta, tanto na situação atual, como nos cenários de restauração florestal.

A influência dos cenários de restauração florestal na produção de sedimentos, também foi analisada também por teste t, onde se comparou a produção média na situação atual e com os cenários de restauração florestal, visando a identificação de alguma diferença significativa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fator de Erodibilidade do Solo

No mapa de erodibilidade dos solos (Figura 7), observa-se a predominância de áreas com fator K igual a 0,042 t.h/MJ.mm, correspondente à classe dos argissolos, a qual, devido à textura extremamente arenosa da camada superficial e à maior concentração de argila no horizonte sub-superficial, aliado aos baixos teores de matéria orgânica e à alta porcentagem de argila dispersível em água, são altamente suscetíveis ao escoamento superficial. Na microbacia 60, em destaque, observa-se, uma presença relevante dessa classe de solo.

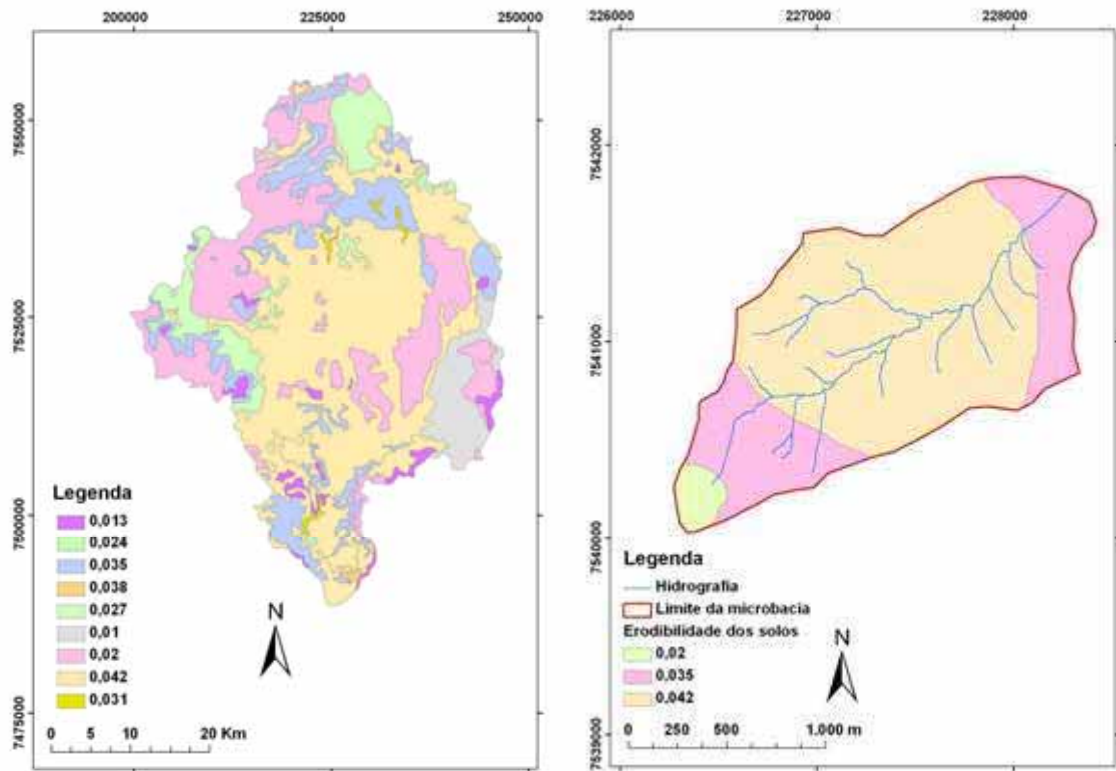


Figura 7: Mapa da erodibilidade dos solos obtido para toda a região e destaque para a microbacia 60 (**Fonte:** CEAPLA/UNESP, 2001, adaptado de Oliveira & Prado, 1984; Oliveira & Prado, 1991 e Almeida et al 1991).

Na figura 8, nota-se que as microbacias 999 e 88 possuem as maiores médias do fator K, ambas valendo 0,042 t.ha/MJ.mm. Isso ocorre uma vez que elas são ocupadas, totalmente, por argissolos. As microbacias 403 e 485, por sua vez, possuem uma menor suscetibilidade à erosão, uma vez que, praticamente não apresentam argissolos, reduzindo o valor do fator K.

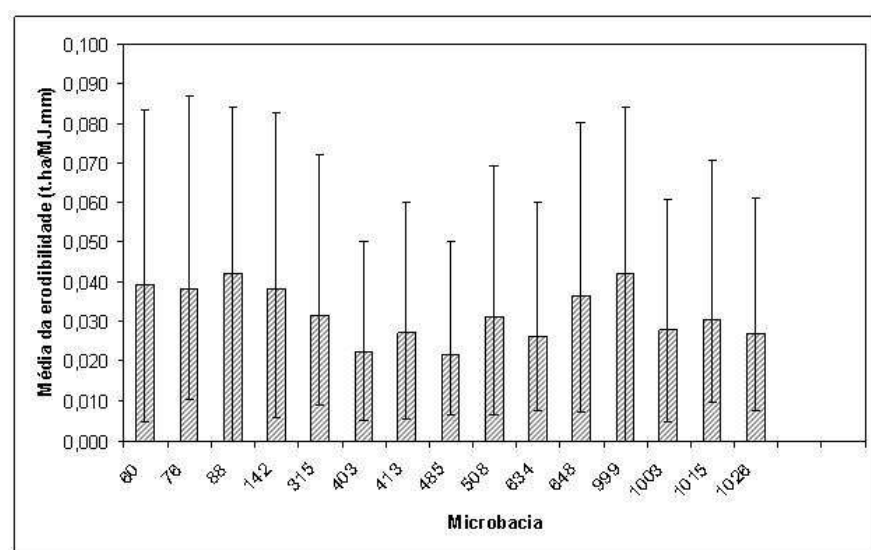


Figura 8: Média da erodibilidade do solo para cada microbacia.

5.2. Fator de Erosividade da Chuva

Foram estimados os valores da erosividade anual para os municípios da região, e para cada microbacia foi atribuído o valor da estação pluviométrica do município mais próximo.

Tabela 6: Valores da erosividade da chuva calculados para as estações pluviométricas dos municípios de maior proximidade a cada microbacia.

Microbacia	Município	Fator R (MJ.mm/ha.h.ano)
648	Piracicaba	6298,3
634	Piracicaba	6298,3
1015	Charqueada	6514,9
485	Charqueada	6514,9
1003	Ipeúna	7249,0
508	Ipeúna	7249,0
413	Ipeúna	7249,0
315	Ipeúna	7249,0
403	Itirapina	7269,2
142	Itirapina	7269,2
88	Corumbataí	7351,3
60	Corumbataí	7351,3
76	Corumbataí	7351,3
999	Corumbataí	7351,3
1026	Analândia	7141,8

De acordo com a tabela 6, a menor erosividade da chuva é observada nas microbacias localizadas próximo a Piracicaba, enquanto que a maior é observada nas microbacias localizadas próximo à Corumbataí.

Para este estudo, o ideal seria que existisse um pluviômetro em cada microbacia, para uma maior precisão na obtenção do fator R, entretanto para efeito de comparação entre a situação atual e os cenários de restauração florestal, os dados pluviométricos coletados ofereceram uma contribuição satisfatória.

5.3. Fator Topográfico

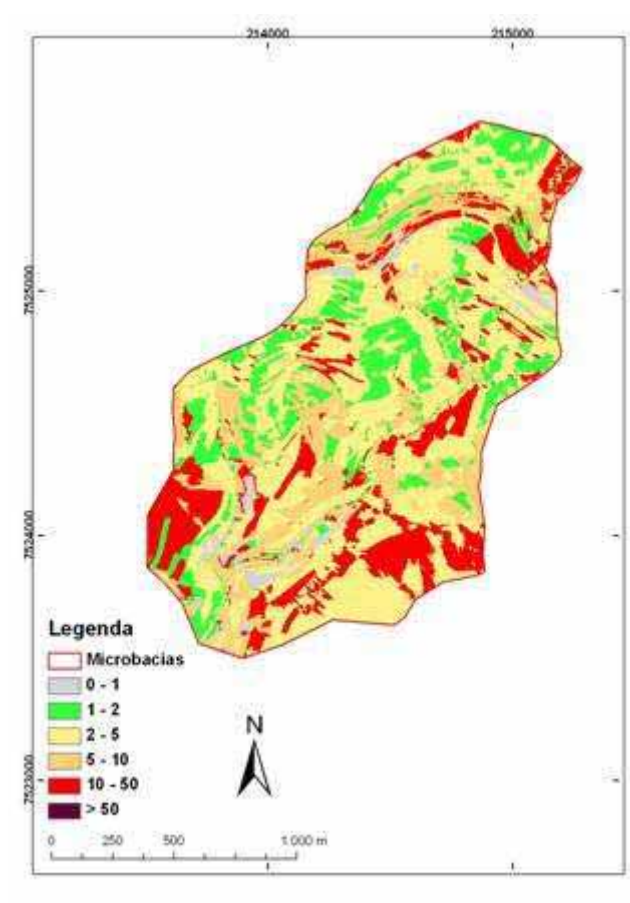
Para o cálculo do fator LS, foram obtidas 400 rampas homogêneas, a partir da combinação dos mapas de declividade, de aspecto e de altitude. Este fator pode ser dividido nas seguintes classes, de acordo com a tabela 7.

Tabela 7: Percentuais de classes do fator topográfico.

Fator LS	Classe
0 – 1	Muito Baixo
1 – 2	Baixo
2 – 5	Moderado
5 – 10	Moderadamente forte
10 – 50	Forte
> 50	Muito Forte

Fonte: Fornelos & Neves, 2006

Em geral, observa-se a predominância das classes forte e moderadamente forte para as microbacias, o que tornaria necessário o uso mais freqüente de práticas conservacionistas, tais como terraceamento e utilização de curvas de nível para o plantio, visando barrar os efeitos erosivos decorrentes desse fator. Na microbacia 315, em destaque na figura 9, observa-se a presença de algumas áreas com fator LS superior a 50, com forte suscetibilidade à erosão.

**Figura 9:** Classes do fator LS na microbacia 315.

Na figura 10, há uma perceptível variação nas médias do fator topográfico. A microbacia 485, por exemplo, possui muitas áreas de declividade alta e, portanto, possui uma média

elevada do fator LS, enquanto que a microbacia 142, predominantemente plana, possui o valor mais baixo.

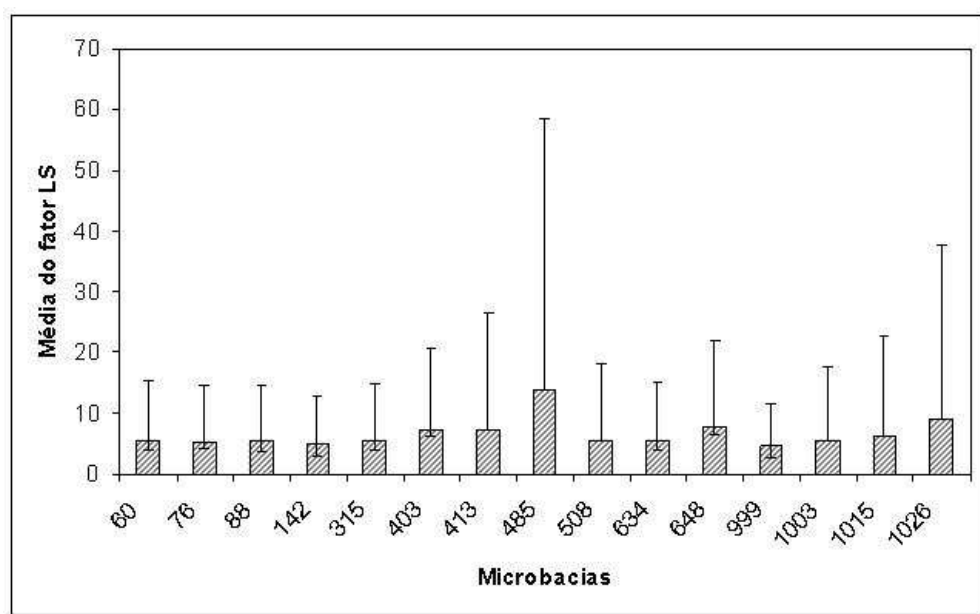


Figura 10: Média do fator topográfico para cada microbacia.

5.4. Fatores de Uso do Solo e Práticas Conservacionistas

Para cada classe do mapa de uso do solo, foi atribuído um valor C, de acordo com o estabelecido por Bertoni & Lombardi Neto (1990) para cada uso em toda a bacia do rio Piracicaba. Na tabela 8, estão presentes os valores atribuídos para cada uso do solo na bacia do rio Corumbabaí, de acordo com o mapeamento realizado no projeto “Influência da paisagem na entrada de matéria vegetal (troncos) e na estrutura de canais em microbasias da bacia do rio Corumbataí, SP” (Processo Fapesp 06/04723-3).

Tabela 8: Valores do fator C adotados para o uso do solo.

Uso do Solo	Fator C
Cana	0,1124
Cultura	0,0827
Imóveis Rurais	0,0300
Mata	0,0004
Pastagem	0,0100
Represa	0,0000
Solo Exposto	1,0000

Nas 15 microbacias, observam-se muitas áreas de mata, o que contribui para uma redução na intensidade dos processos erosivos. Em contrapartida, também há muitas áreas de pastagem mal manejadas, com problemas como excesso de gado, o que pode contribuir para a intensificação dos processos erosivos.

Na situação atual da microbacia 634, por exemplo, em destaque na figura 11, observam-se muitas áreas destinadas à cana, favorecendo o transporte de sedimentos devido ao fato de não oferecer uma boa cobertura vegetal em seu estágio inicial de desenvolvimento, e ao fato da colheita propiciar uma compactação considerável da camada superficial do solo, pelos pneus de tratores dos caminhões. Quando há queima de cana, a perda de solos também é favorecida, uma vez que, segundo Bezerra & Cantalice (2006), quando a mesma não é praticada, a palha que continua em contato com o solo aumenta a rugosidade do mesmo e reduz o impacto das gotas da chuva.

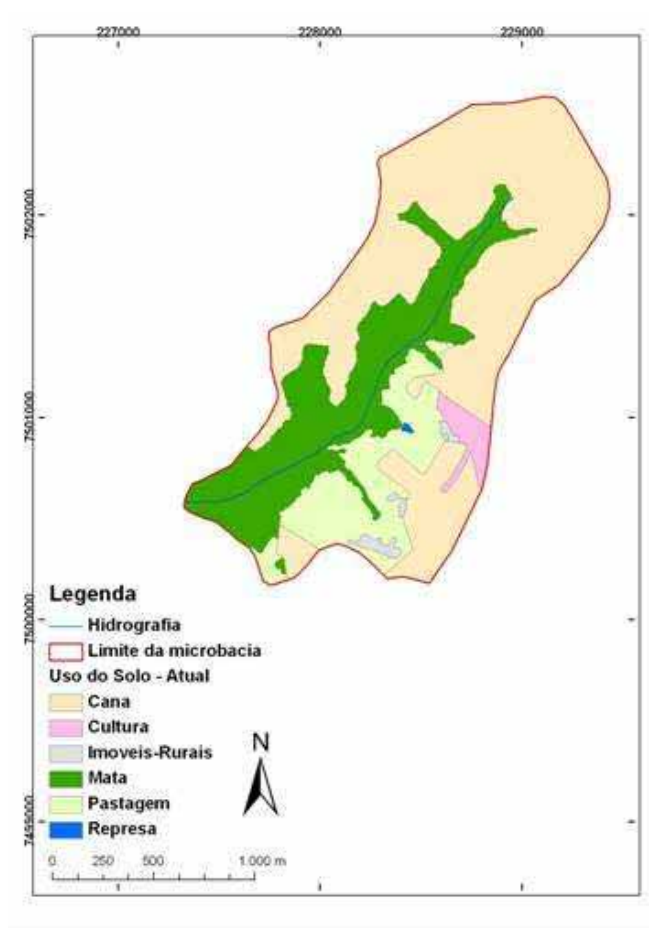


Figura 11: Mapeamento de uso e cobertura do solo na microbacia 634 para a situação atual.

Na figura 12, observa-se que a microbacia 403 possui a maior média do fator C, uma vez que sua área é, predominantemente, destinada à cana-de-açúcar. A microbacia 315, por sua vez, que apresenta uma grande área de mata, possui a menor média.

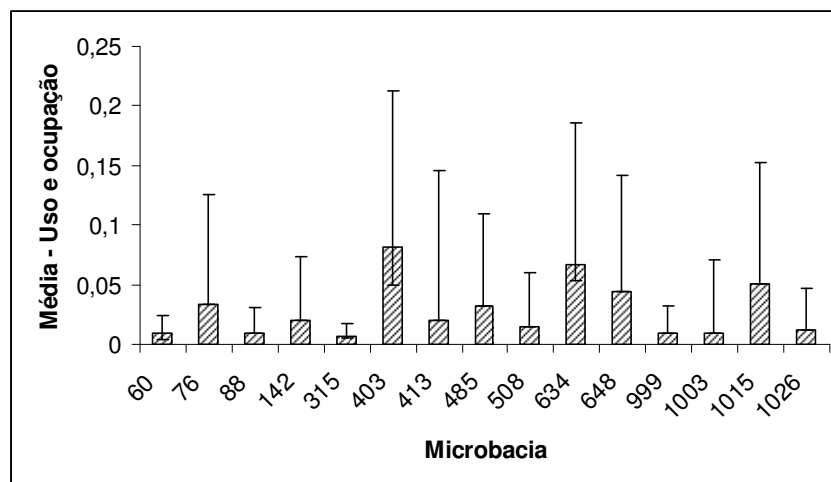


Figura 12: Média do fator de uso do solo para cada microbacia.

Através das fotografias aéreas, não foram observadas muitas práticas conservacionistas nas microbasias. Com exceção das regiões de cana-de-açúcar, onde o plantio é sempre realizado em curvas de nível, foram observadas apenas algumas áreas com terraços, plantio em curvas de nível, ou faixas niveladas. A microbacia 403, por exemplo, apresenta uma pequena área de terraço, duas com a utilização de curvas de nível para plantio, e a área restante sem nenhuma prática adotada. Na figura 13, há um destaque para a microbacia, com os valores obtidos do fator P.

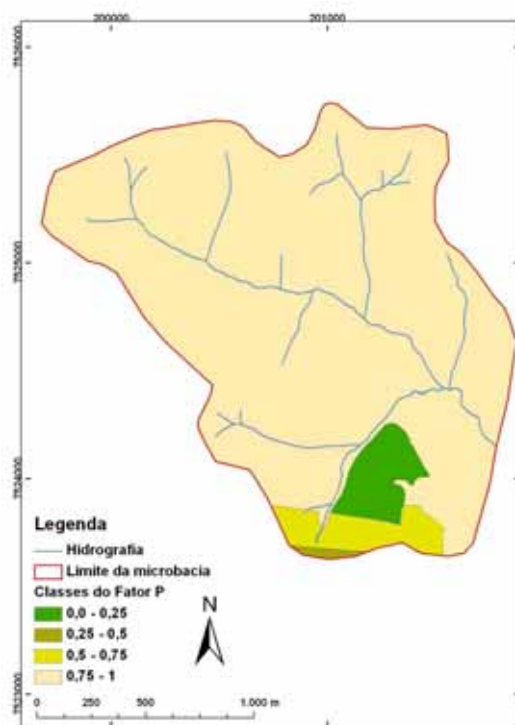


Figura 13: Classes do fator P obtidos na microbacia 403 de acordo com a classificação de Diaz (Apud Pereira, 2006).

Na figura 14, não se observa uma variação muito grande no valor do fator P, uma vez que as práticas conservacionistas não são muito frequentes. As microbacias 315 e 88, possuem uma média superior a 0,98, ambas apresentando apenas uma pequena área com utilização de curvas de nível para o plantio.

A microbacia 76, por sua vez, é a única com uma média inferior a 0,8, sendo o local onde é mais notada a adoção dessas práticas.

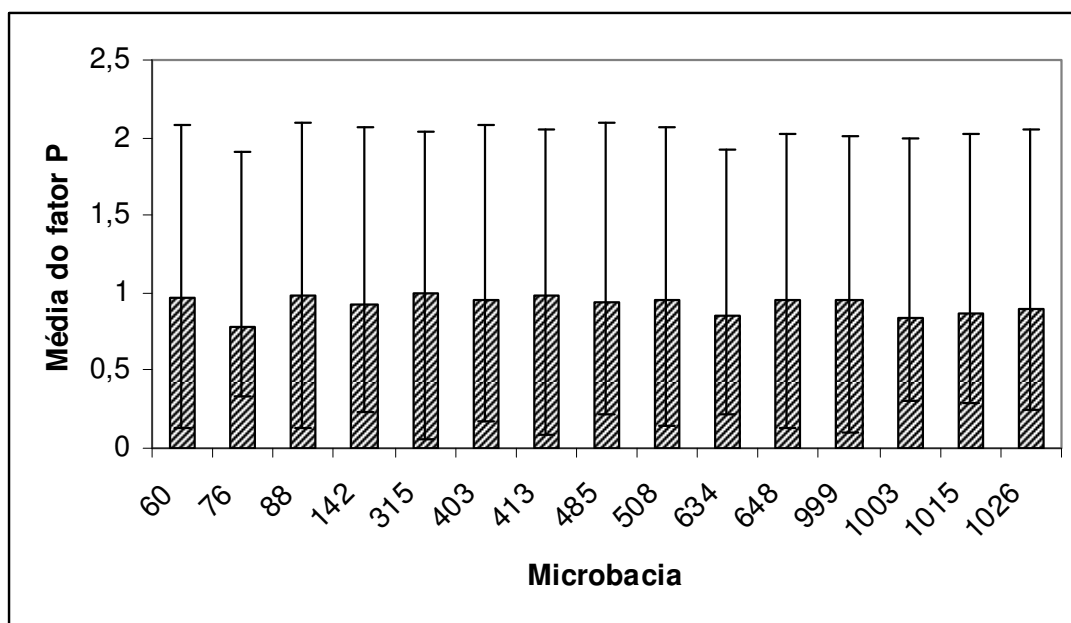


Figura 14: Média do fator de práticas conservacionistas para cada microbacia.

5.5. Multiplicação dos fatores e total de sedimentos observados nas microbacias

Na tabela 9 são apresentados os valores médios de cada fator calculado para as microbacias analisadas. O uso do solo foi o que mais influenciou nos resultados, pois apresentou a maior variabilidade dos fatores avaliados (CV=85%). As diferenças no uso do solo nas 15 microbacias implicaram em uma expressiva variação na obtenção do fator CP, variando desde 0,006 na microbacia 315, onde há uma área muito expressiva de floresta, até 0,078 na microbacia 403, onde há dominância de cana-de-açúcar.

Tabela 9: Classes de solo e usos predominantes, e a média dos quatro fatores obtidos para cada microbacia na situação atual.

ID	Área (ha)	Solos predominantes	Uso(s) predominante(s)	Fator R MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹	Fator K t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹	Fator LS	Fator CP
60	216,0	Argissolo	Mata	7351,3	0,039	5,640	0,009
76	300,5	Argissolo	Mata e pasto	7351,3	0,038	5,267	0,026
88	194,0	Argissolo	Mata	7351,3	0,042	5,518	0,010
142	215,2	Argissolo	Pasto	7269,2	0,038	4,952	0,019
315	229,7	Cambissolo, argissolo e neossolo litólico	Mata	7249,0	0,032	5,452	0,006
403	289,0	Cambissolo	Cana	7269,2	0,022	7,223	0,078
413	444,1	Neossolo	Pasto	7249,0	0,027	7,279	0,020
485	472,7	Cambissolo	Mata e pasto	6514,9	0,022	13,809	0,030
508	301,3	Latossolo	Mata e pasto	7249,0	0,031	5,666	0,014
634	256,3	Neosolo litólico	Cana e pasto	6298,3	0,026	5,647	0,0568
648	586,7	Argissolo e Neosolo litólico	Cana e pasto	6298,3	0,037	7,737	0,042
999	98,8	Argissolo	Mata	7351,3	0,042	4,483	0,009
1003	284,1	Latossolo	Mata e pasto	7249,0	0,028	5,656	0,007
1015	537,2	Argissolo e neossolo	Cana e pasto	6514,9	0,030	6,180	0,043
1026	404,3	Neoloso litólico	Mata	7141,8	0,027	8,968	0,011
Média	322,2	-	-	7047,19	0,032	6,632	0,025
Desvio padrão				407,84	0,01	2,31	0,02
Coeficiente de variação (CV)				6%	21%	35%	85%

Através da figura 15, onde é apresentada a perda média anual de solos obtida para cada microbacia, observa-se que as microbacias 403, 1015, 648 e 485 apresentam uma alta perda de solos. As três primeiras apresentam muitas áreas destinadas à cana-de-açúcar, enquanto que a última é influenciada pela alta declividade, que favorece o transporte de sedimentos.

Nota-se que onde há muitas áreas de mata, como nas microbacias 315 e 999, a produção média anual de sedimentos é baixa. O mesmo ocorre onde há adoção de práticas conservacionistas, como na microbacia 1003, onde é observada uma das menores médias do fator P.

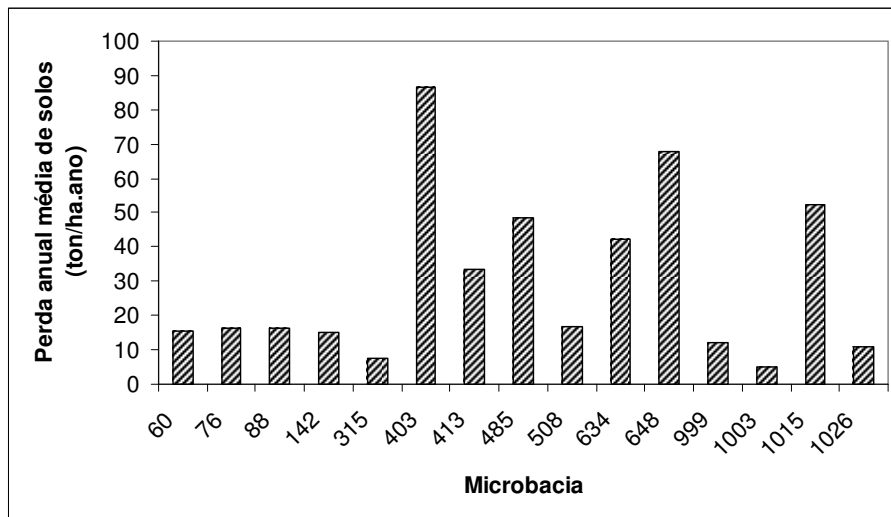


Figura 15: Perda anual média de solos para cada micorbacia.

5.6. Cenários de APP

A delimitação do reflorestamento em APPs foi realizada para áreas com declividade superior a 100%, em uma largura de 30 metros em faixa marginal ao longo dos rios, e em um raio de 50 metros ao redor das nascentes, além da união de todas as áreas com essas situações. Na figura 16, são localizadas essas áreas para a microbacia 1026.

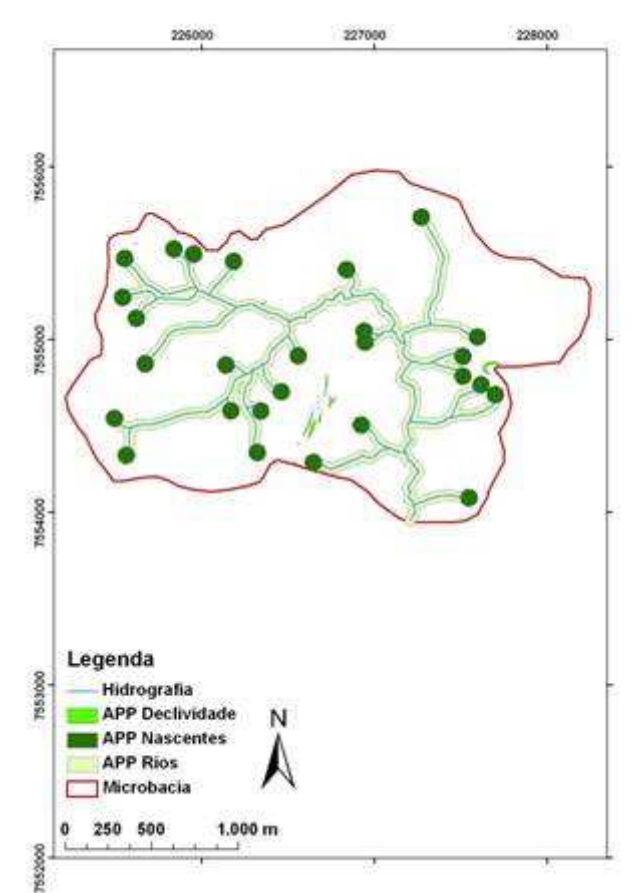


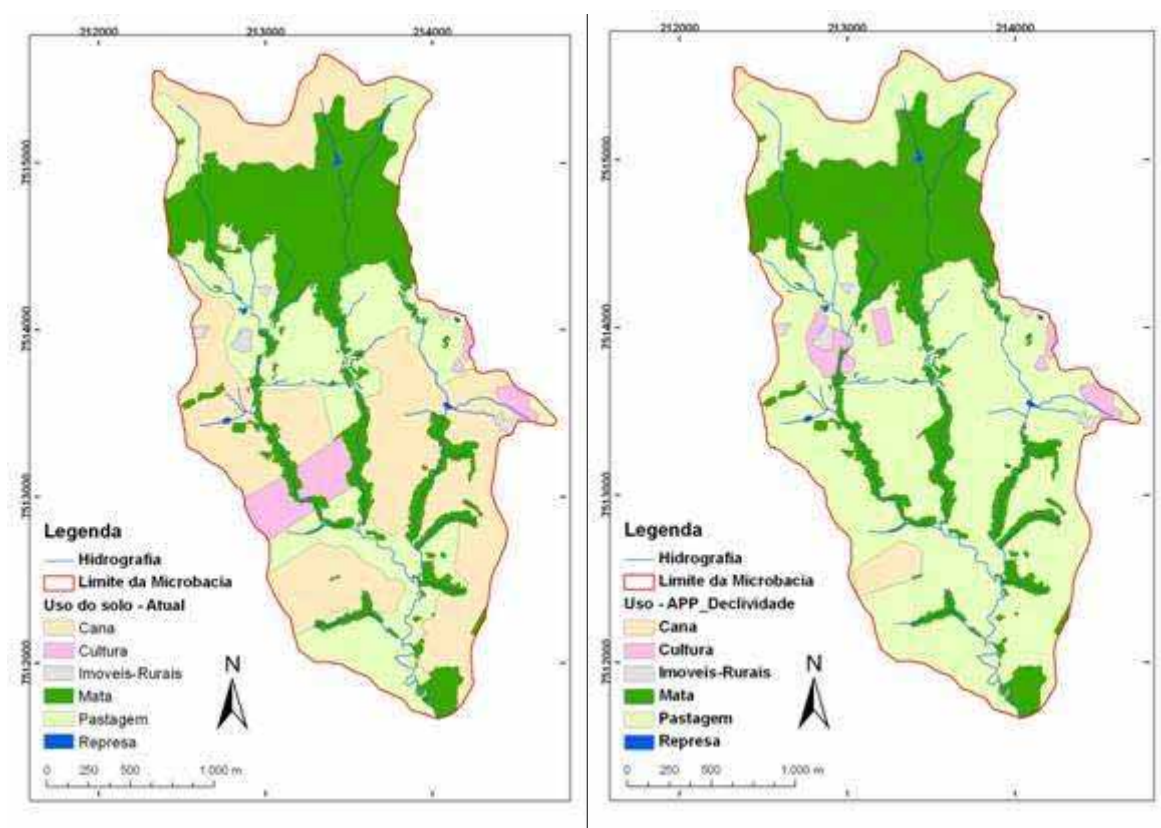
Figura 16: Cenários de APP na microbacia 1026.

Para o mapeamento das APPs, foi alterado o fator de uso do solo, uma vez que nessas áreas, deve haver uma cobertura florestal. Portanto, todas as áreas de APP possuem um fator C valendo 0,0004, correspondente à mata.

O fator de práticas conservacionistas, por sua vez, não foi alterado, uma vez que essas práticas não são muito frequentes na bacia do Corumbataí, e, portanto, sua alteração pouco influenciaria na estimativa da perda de solos.

5.6.1. APP -Declividade

Observa-se que as áreas de declividade alta, superior a 100%, é quase totalmente coberta por mata, portanto seria pouco expressiva a diferença entre a produção de sedimentos na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal para essas áreas. Na figura 17, são apresentados mapas de uso do solo na microbacia 1015, para a situação atual (Figura 17A), e com o estabelecimento de APPs para áreas com declividade superior a 100% (Figura 17B).



A- Situação atual

B- APP - Declividade

Figura 17: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal em áreas de declividade superior a 100% na microbacia 1015.

Na figura 18, é apresentado um gráfico com a média do fator C, obtida para cada microbacia na situação atual e com o estabelecimento de APP para áreas de declividade superior a 100%. Nota-se, que, praticamente, não há variação, em relação ao gráfico do fator C na situação atual, apresentado na figura 11. A microbacia 508, por exemplo, possui uma média do fator C valendo 0,0146756 na situação atual e 0,0146755, com o estabelecimento das APPs em áreas declivosas.

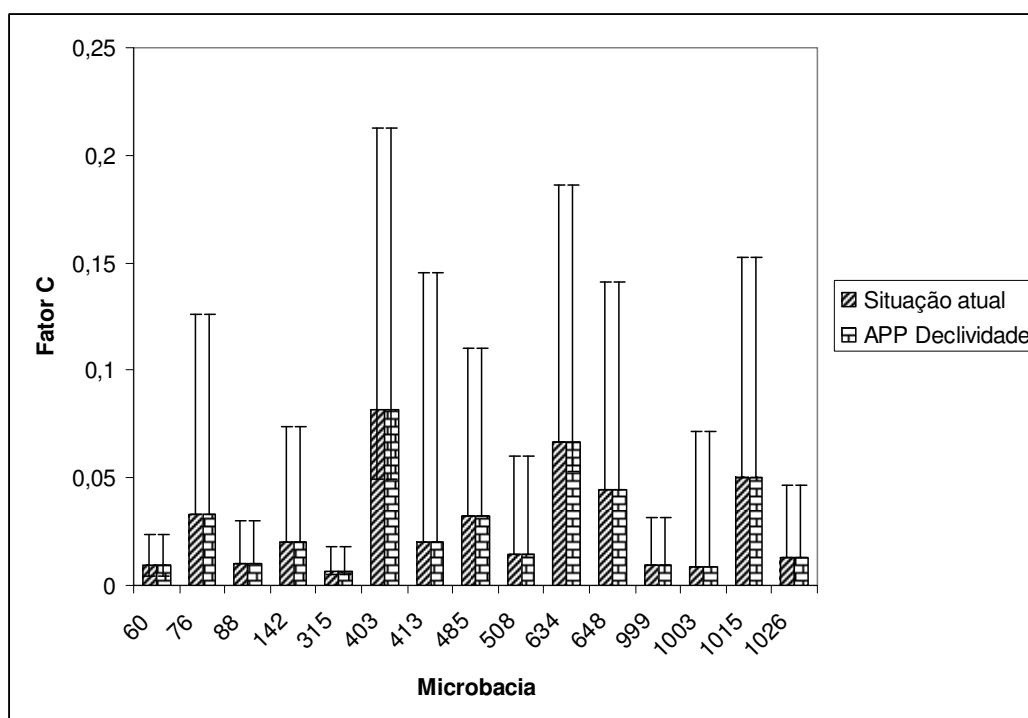


Figura 18: Média do fator C, obtida para a situação atual e com o estabelecimento de APPs para áreas de declividade superior a 100%.

Na figura 19, é apresentado um gráfico com as médias da perda média anual de solos para a situação atual e com o estabelecimento de APP em regiões de declividade superior a 100%, notando-se que, praticamente, não haveria modificação.

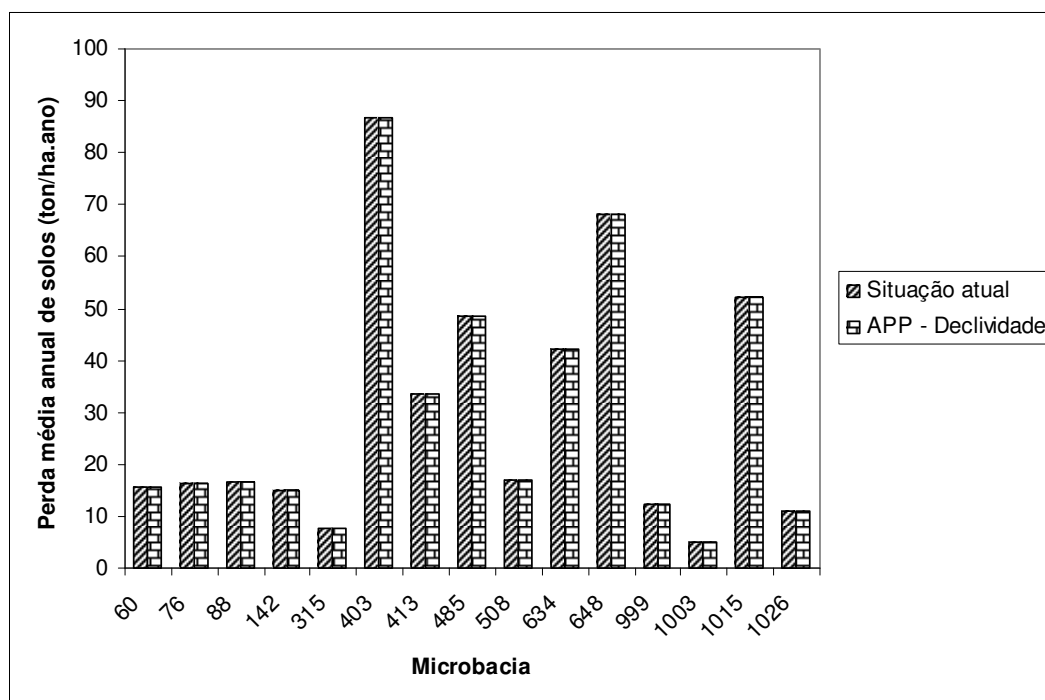
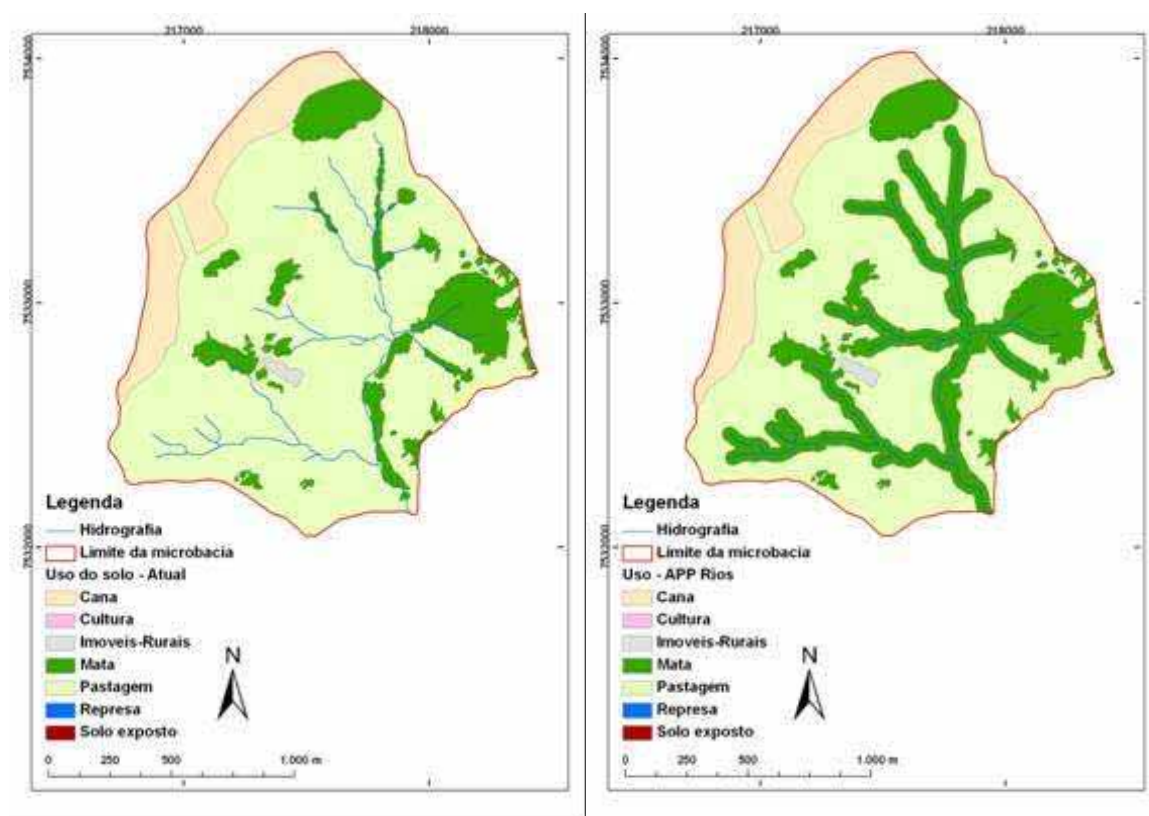


Figura 19: Perda anual média de solos com a criação de APPs para todas as áreas de declividade superior a 100%.

5.6.2. APP-Rios

Nas margens dos rios, por sua vez, observam-se muitas áreas sem a presença de mata ciliar. Esta possui uma importância fundamental na preservação de recursos naturais, como a água e o solo, uma vez que eleva a infiltração da água no solo, aumenta a ligação das partículas do solo e, conseqüentemente, minimiza o carreamento das mesmas. Em corpos d'água com ausência de mata ciliar, portanto o transporte de sedimentos em direção aos mesmos e o assoreamento podem ser favorecidos, comprometendo a qualidade desses recursos. Na figura 20, são apresentados os mapas de uso do solo para a microbacia 142 na situação atual (Figura 20A) e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal para a largura de 30 metros em faixa marginal ao longo dos rios (Figura 20B). Observa-se que uma grande área deveria ser reflorestada.



A- Situação atual

B- APP – Rios

Figura 20: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal na largura de 30 metros em faixa marginal ao longo dos rios na microbacia 142.

Na figura 21, é apresentado um gráfico com a média do fator C, obtida para cada microbacia na situação atual e com o estabelecimento de APP nas margens dos rios, observa-se uma redução mais expressiva. A microbacia 76, por exemplo, possui uma média do fator C igual a 0,033 na situação atual e 0,031, com o estabelecimento das APPs nas margens dos rios.

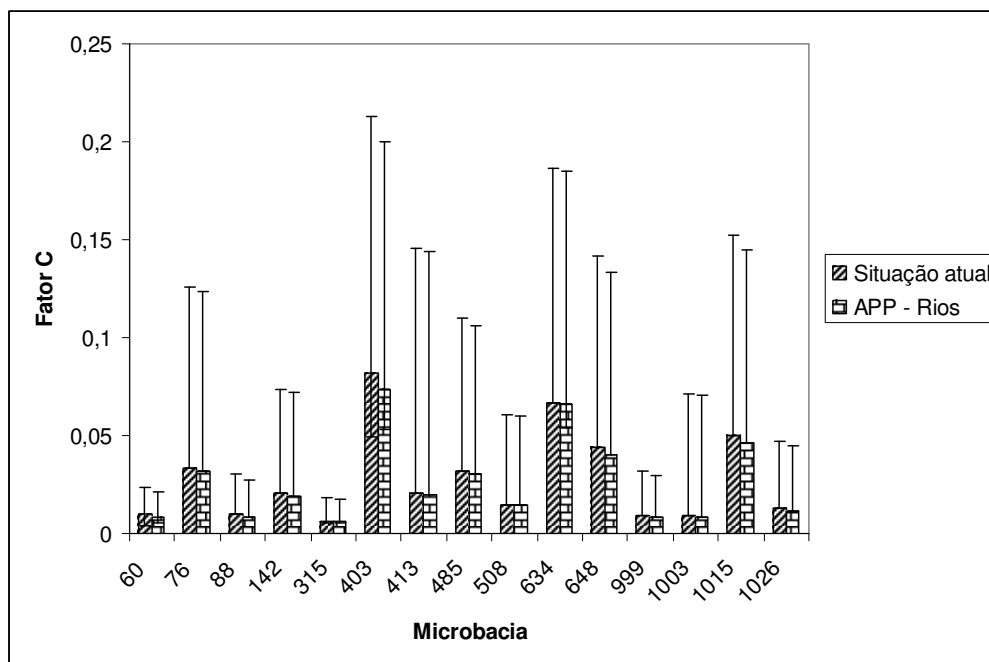


Figura 21: Média do fator C obtida na situação atual e com o estabelecimento de APPs na faixa de 30 metros ao longo de ambas as margens dos riachos.

Na figura 22, é apresentado um gráfico com as médias obtidas do fator A para cada microbacia na situação atual e com o estabelecimentos das APPs ao longo das margens dos rios, sendo observada uma considerável redução na taxa de erosão, a exemplo da microbacia 403, que na situação atual possui uma perda anual média de solos 86,7ton/ha.ano e que, com a criação das APPs nas margens dos rios, teria essa taxa reduzida a 79,4ton/ha.ano.

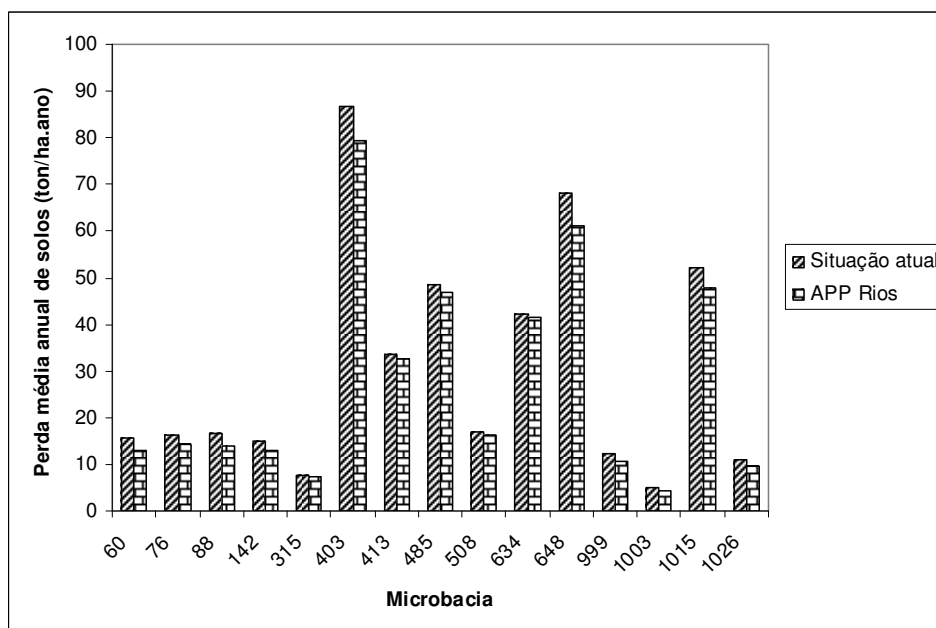
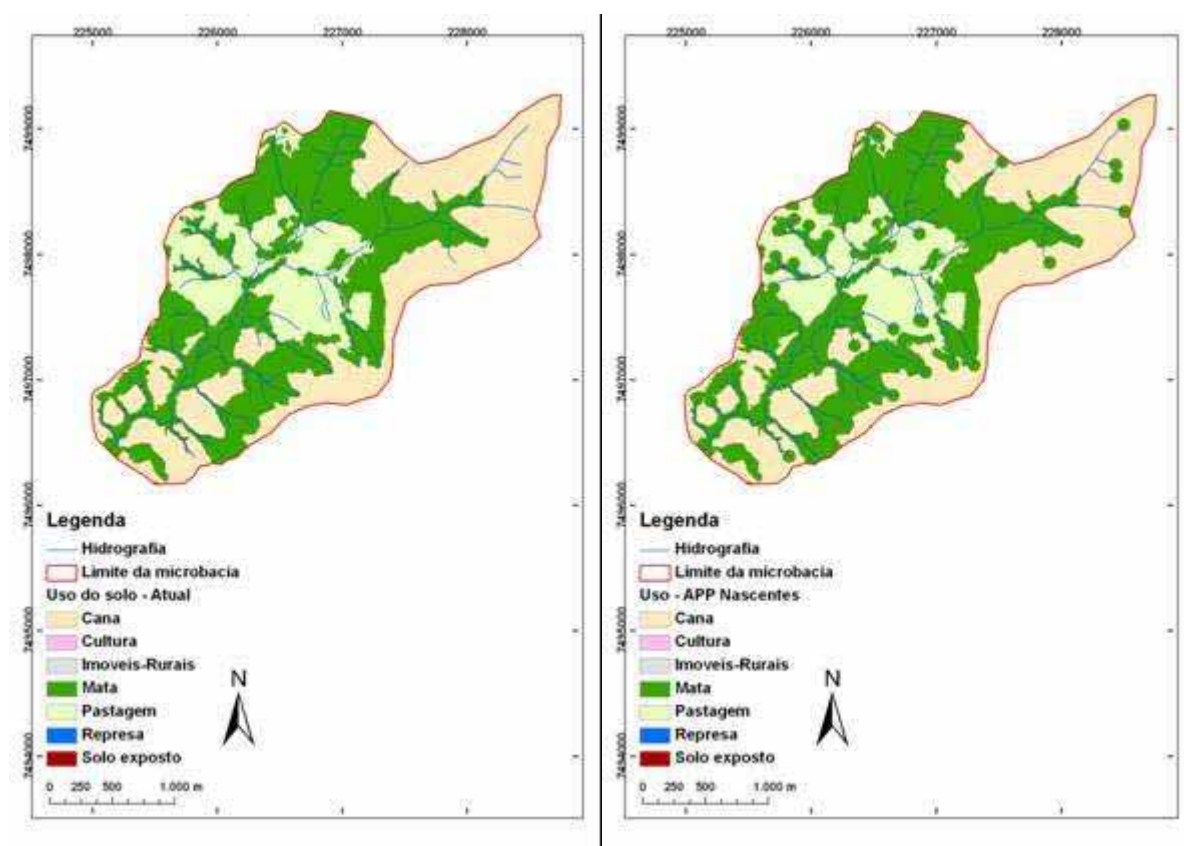


Figura 22: Perda anual média de solos na situação atual e com a criação de APPs na faixa de 30 metros ao longo de ambas as margens dos rios.

5.6.3. APP-Nascentes

Nas microbacias, são observadas algumas nascentes com a ausência de mata ao redor, estando localizadas, muitas vezes, em áreas de pasto ou de cana, contribuindo para o transporte de sedimentos nos corpos d'água. Na microbacia 648, em destaque na figura 23, observa-se cerca de 10 nascentes localizadas em área de cana. À esquerda, está representado o mapa de solo para a situação atual (Figura 23A), e à direita, o mapa de uso do solo para o cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal em um raio de 50 metros ao redor da nascente (Figura 23B).



A- Situação atual

B- APP – Nascentes

Figura 23: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura florestal em um raio de 50 metros ao redor das nascentes na microbacia 648.

Na figura 24, é apresentado um gráfico com a média do fator C, obtida para cada microbacia. Para as áreas de nascentes, há uma baixa redução do fator C em relação à situação atual. A microbacia 60, por exemplo, possui uma média do fator C valendo 0,0096 na situação atual e 0,0092, com o estabelecimento das APPs nas áreas de nascentes.

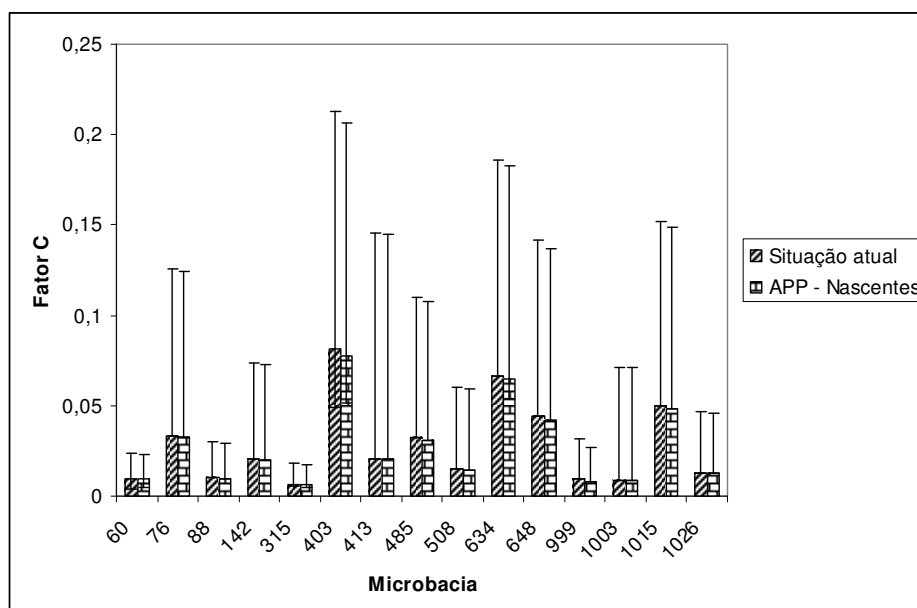


Figura 24: Média do fator C, obtida com o estabelecimento de APPs na faixa de 50 metros ao redor das nascentes.

Na figura 25, é apresentado um gráfico com as médias obtidas do fator A para cada microbacia na situação atual com o estabelecimento das APPs ao redor das nascentes.

Neste este cenário, há uma pequena redução na taxa de erosão em relação à situação atual, inferior à do cenário anterior. Pode-se citar, como exemplo, a microbacia 648, que na situação atual possui uma perda anual média de solos de 68,0ton/ha.ano e que, com a criação das APPs ao redor das nascentes, teria essa taxa reduzida a 67,98 ton/ha.ano.

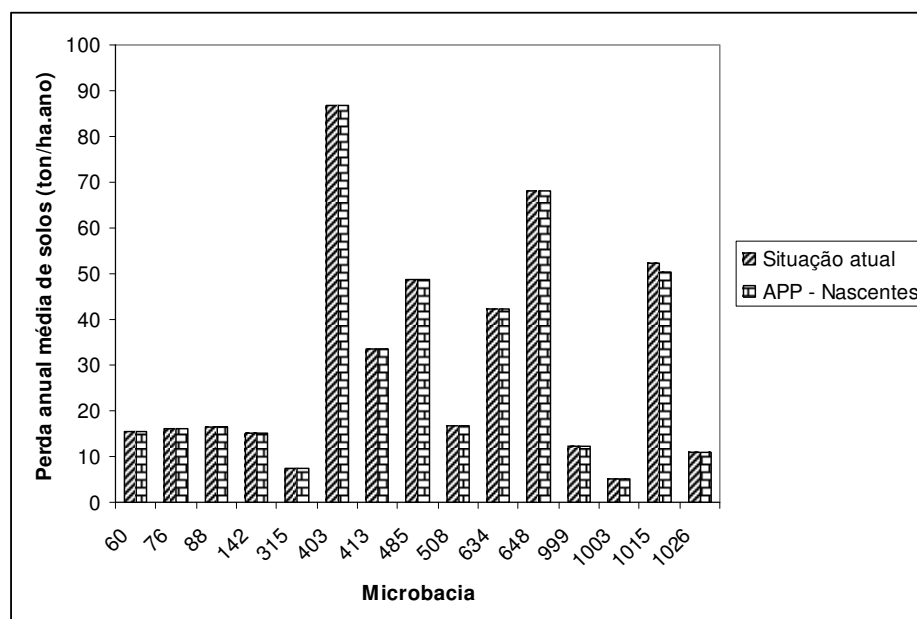
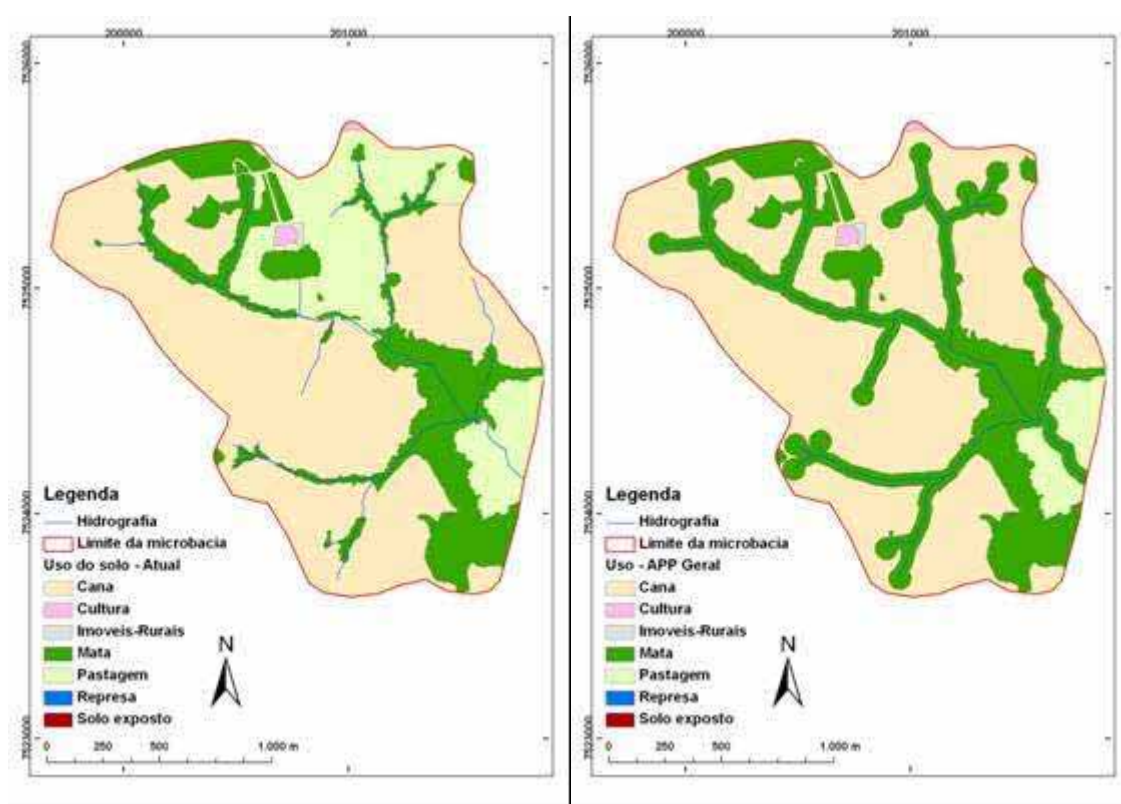


Figura 25: Perda anual média de solos na situação atual e com o estabelecimento de APP na distância de 50 metros ao redor das nascentes.

5.6.3. APP-Geral

Esse cenário consiste na união dos três anteriores, com o estabelecimento de APPs para áreas de declividade superior a 100%, em uma largura de 30 metros em faixa marginal ao longo dos rios, e em um raio de 50 metros ao redor das nascentes.

Conforme mencionado anteriormente, há muitos corpos d'água, com trechos apresentando ausência de mata ciliar, e nascentes localizadas em áreas de pasto ou de cana. Na figura 26, são apresentados o mapa de uso do solo na situação atual (Figura 26A) e no cenário projetado com totalidade de cobertura vegetal nessas áreas para a microbacia 403 (Figura 26B), observando-se que uma grande área deveria ser destinada ao reflorestamento.



A- Situação atual

B- APP - Geral

Figura 26: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com totalidade de cobertura florestal nas áreas declivosas, nas margens dos rios e ao redor de nascentes na microbacia 403.

Na figura 27, observa-se uma considerável redução no fator C em relação à situação atual, principalmente nas microbacias onde há escassez de regiões de mata, uma vez que esse cenário consiste em várias áreas destinadas ao reflorestamento. A microbacia 413, por exemplo, possui uma média do fator C valendo 0,020 na situação atual e 0,016, com o estabelecimento das APPs.

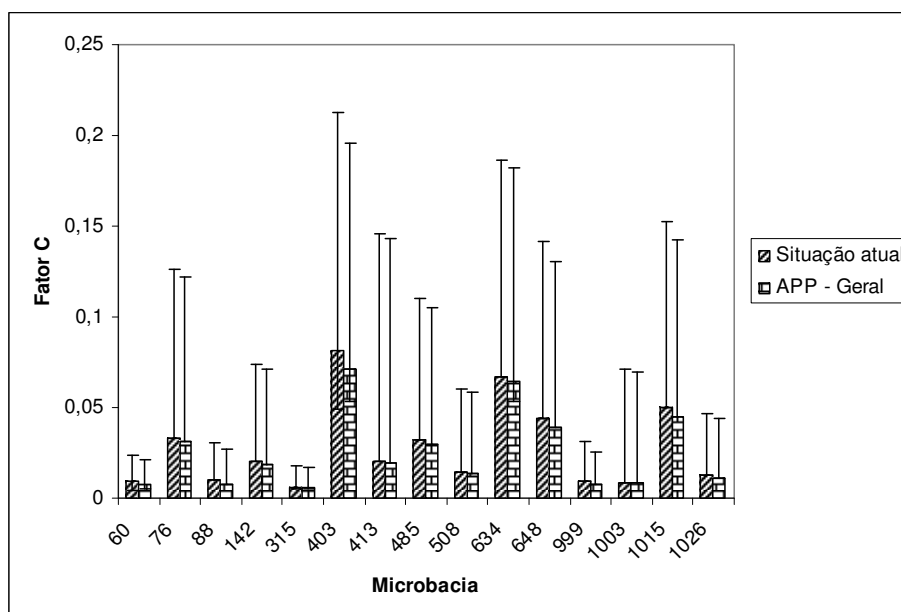


Figura 27: Média do fator C obtida para a situação atual e com o estabelecimento de APPs na união dos três cenários anteriores.

Na figura 28, é apresentado um gráfico com as médias obtidas do fator A para cada microbacia na situação atual e unindo os 3 cenários anteriores. Conforme esperado, nota-se uma considerável redução da taxa de erosão em relação à situação atual, a exemplo da microbacia 403, que possui uma taxa de 86,7ton/ha.ano na situação atual e que, com o cenário, teria essa taxa reduzida pra 77,6ton/ha.ano.

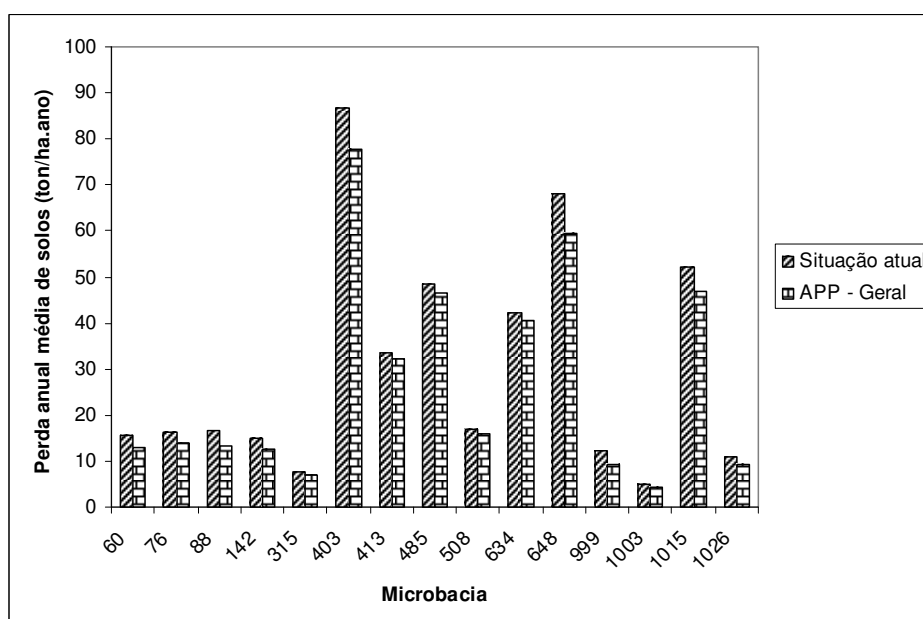


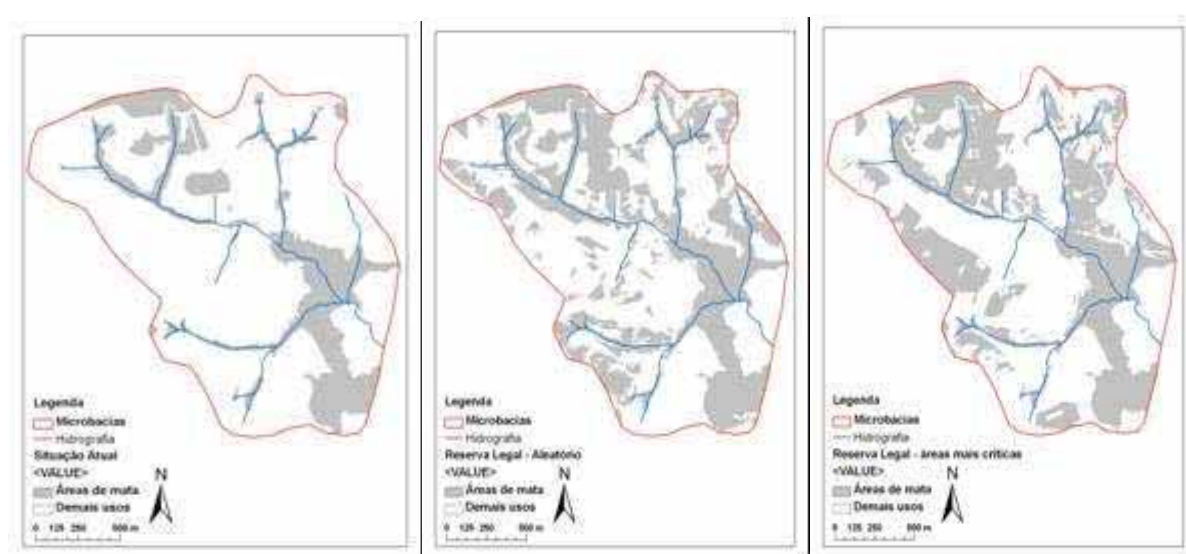
Figura 28: Perda anual média de solos na situação atual e com o estabelecimento de APPs na união dos três cenários anteriores.

5.7. Cenários de Reserva Legal

Nesse cenário, uma área correspondente a 20% do total de cada microbacia, é destinada à reserva legal, onde a vegetação nativa é mantida.

Foram simulados dois cenários de reserva legal. No primeiro, essas áreas foram estabelecidas nas regiões mais críticas de cada microbacia, onde foi observada uma maior taxa média de perda anual de solos na situação atual. No outro, as áreas foram escolhidas aleatoriamente, totalizando 20% de cada microbacia.

Na figura 29, observa-se a diferença entre as áreas de mata para a situação atual e para os dois cenários de reserva legal na microbacia 403.



A- Situação atual

B- RL aleatória

C- RL nas áreas mais críticas

Figura 29: Áreas de mata para a microbacia 403 na situação atual e para os cenários de reserva legal.

Foram notadas expressivas reduções no fator C em relação à situação atual para os cenários da reserva legal estabelecida, tanto aleatoriamente, quanto para áreas mais críticas, o que pode ser observado através dos gráficos apresentados nas figuras 30 e 31. A microbacia 403, por exemplo, possui uma média do fator C valendo 0,08 na situação atual e 0,06, com o estabelecimento da reserva legal para áreas mais críticas.

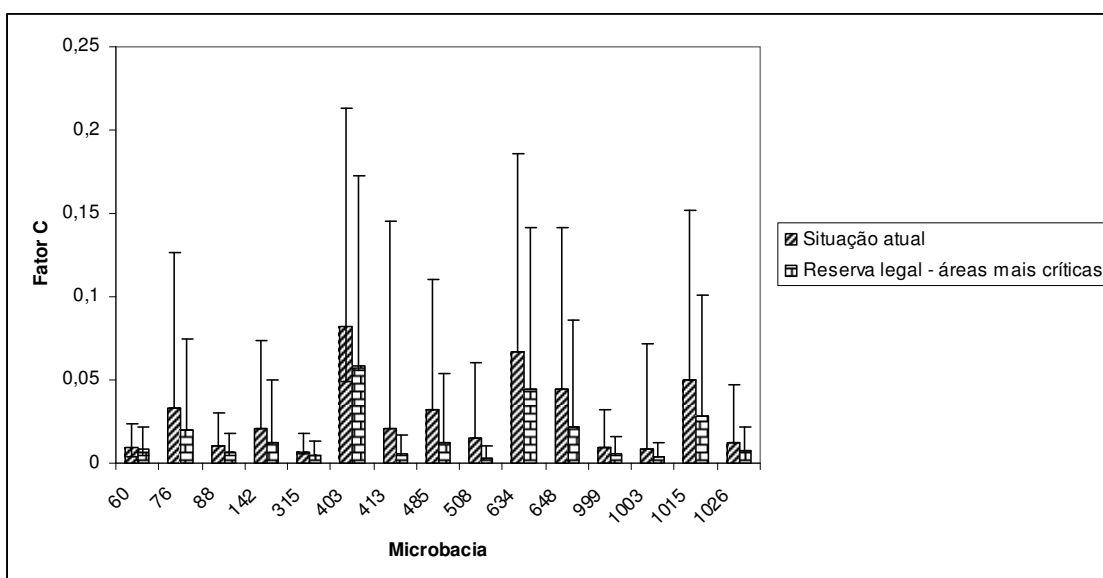


Figura 30: Média do fator C, obtida com o estabelecimento da reserva legal para áreas consideradas mais críticas quanto à taxa de erosão.

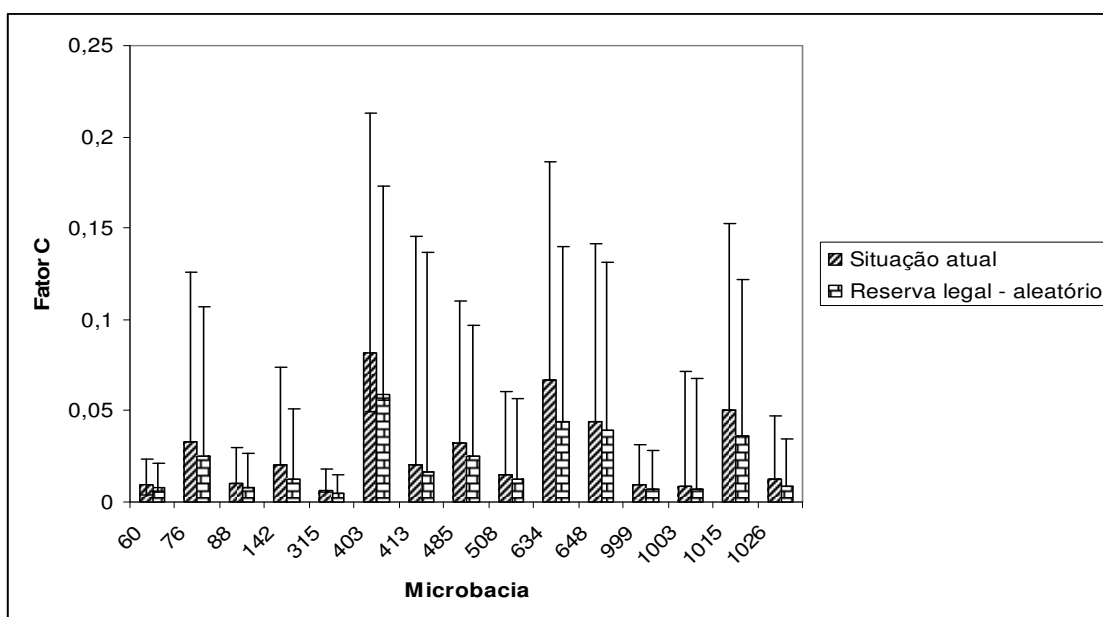


Figura 31: Média do fator C, obtida com o estabelecimento aleatório da reserva legal.

Com o estabelecimento aleatório da reserva legal, observou-se uma considerável redução na perda anual média do solo, e para o estabelecimento em áreas mais críticas, observou-se uma redução ainda mais expressiva, conforme observado nas figuras 32 e 33, onde são apresentados os gráficos das médias obtidas do fator A para cada microbacia com o estabelecimento da reserva legal aleatório e para áreas mais críticas, respectivamente, além da comparação destes cenários com a situação atual.

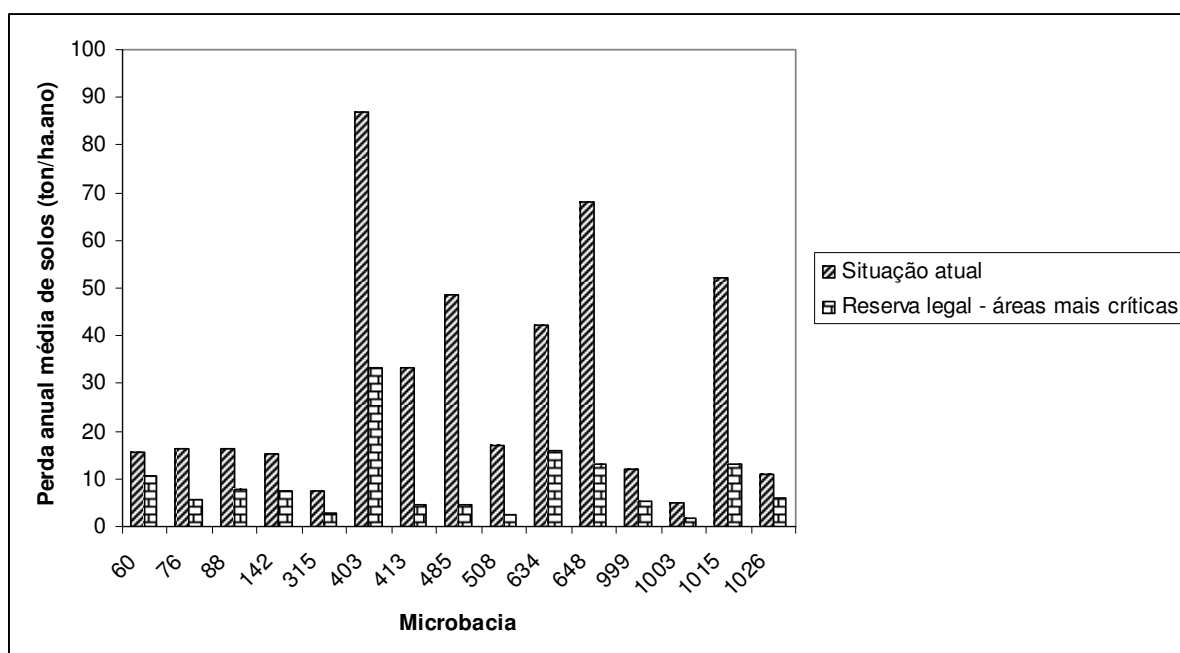


Figura 32: Perda anual média de solos na situação atual e em função do estabelecimento da reserva legal para áreas consideradas mais críticas nas 15 microbasias.

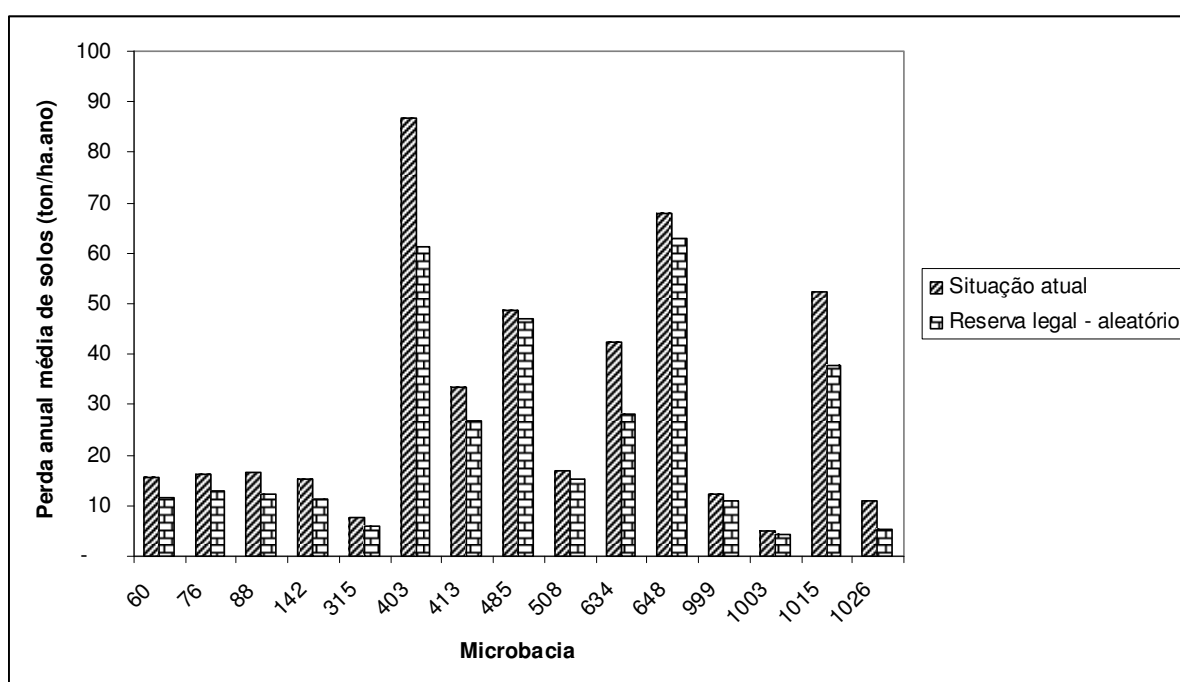
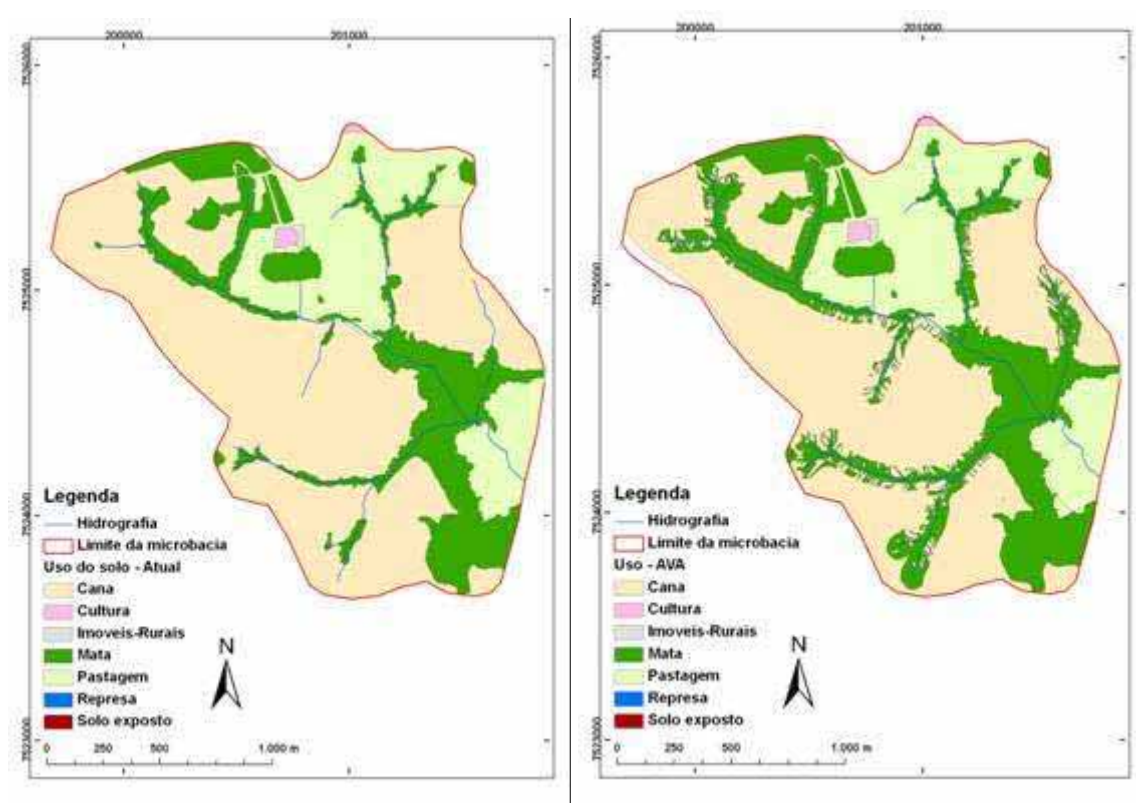


Figura 33: Perda anual média de solos na situação atual e em função do estabelecimento aleatório da reserva legal.

Nos dois cenários foram observadas reduções na taxa de erosão. Contudo, para o estabelecimento da reserva legal em áreas consideradas mais críticas, a redução foi mais expressiva, a exemplo da microbacia 403, que possui uma taxa de 86,7ton/ha.ano na situação atual e que, com o cenário, teria essa taxa reduzida pra 33,4ton/ha.ano.

5.8. Cenário de reflorestamento das áreas variáveis de afluência (AVA)

Para o cenário de reflorestamento nas áreas variáveis de afluência, não foi observada uma diferença muito expressiva para o uso do solo em relação à situação atual, como em outros cenários de restauração florestal. Na figura 34, são apresentados os mapas de uso do solo para a microbacia 403 na situação atual (Figura 34A) e no cenário projetado com o reflorestamento nas AVAs. (Figura 34B).



A- Situação atual

B- Reflorestamento nas AVAs.

Figura 34: Situação da cobertura vegetal na situação atual e no cenário projetado com o reflorestamento nas AVAs na microbacia 403.

Na figura 35, é apresentado um gráfico com as médias do Fator C para as 15 microbacias na situação atual e com o reflorestamento das AVAs. A microbacia 60, por exemplo, teria o fator C reduzido de 0,01 a 0,008, o que representaria uma pequena contribuição na redução dos processos erosivos.

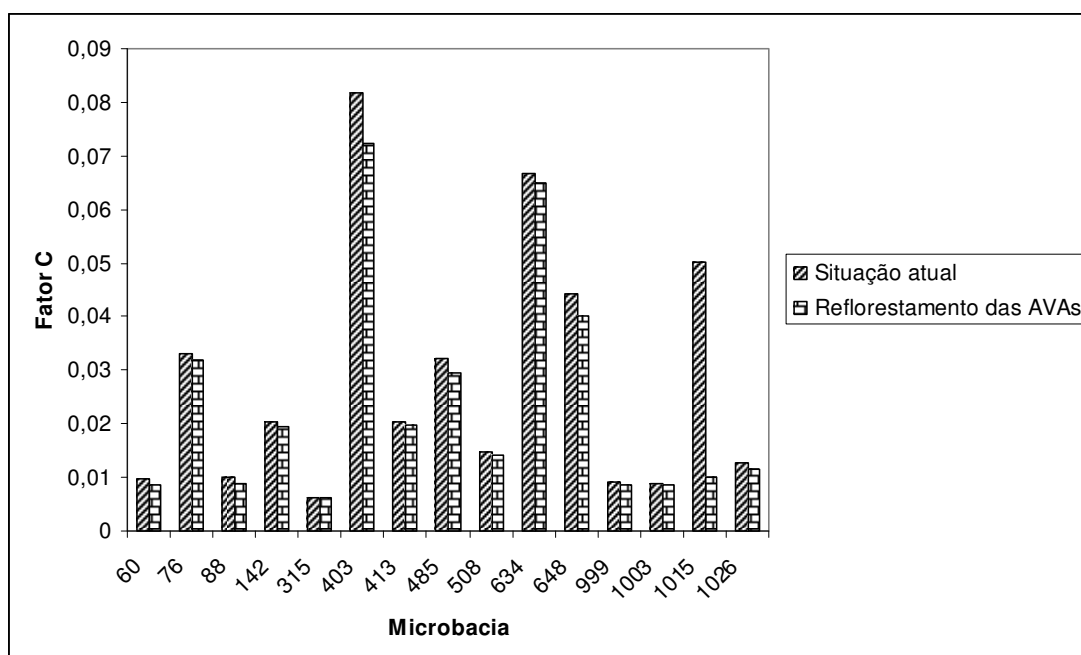


Figura 35: Média do fator C obtida com o reforestamento das áreas variáveis de afluência.

Na figura 36, é apresentado um gráfico com a média do fator A obtida para cada microbacia na situação atual e com o reforestamento das AVAs, sendo observada diferença pouco expressiva, o que pode ter ocorrido uma vez que foram identificadas poucas áreas de saturação hídrica em áreas com ausência de cobertura florestal. A microbacia 1003, por exemplo, teria sua taxa reduzida de 52,3 ton/ha.ano para 47,3 ton/ha.ano.

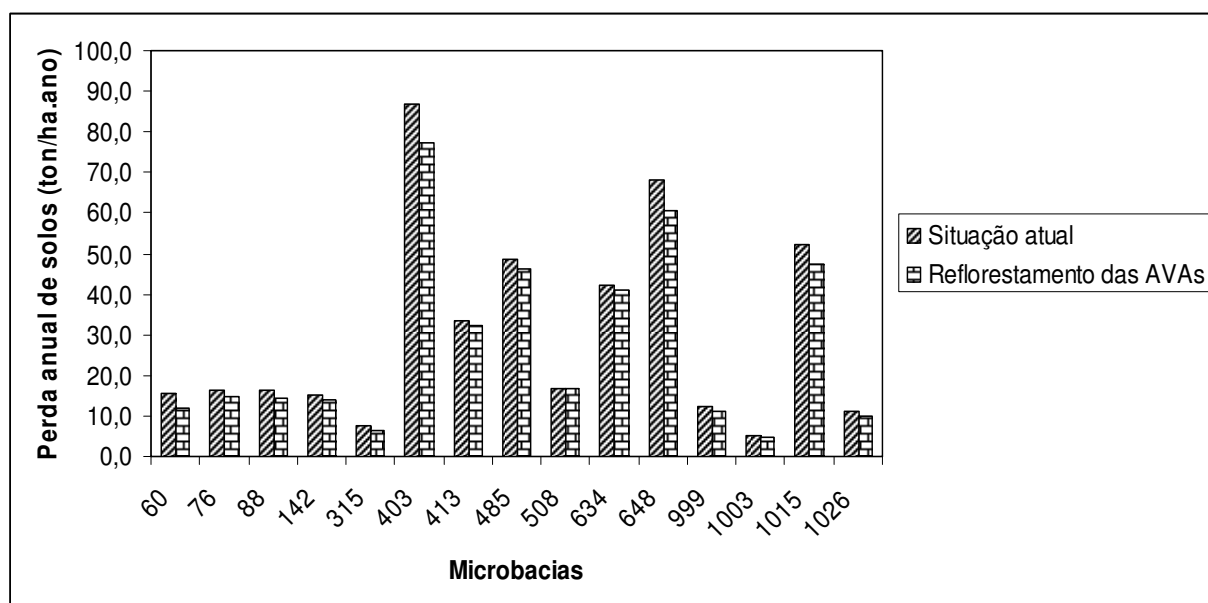


Figura 36: Perda anual média de solos na situação atual e com o reforestamento das áreas variáveis de afluência.

5.9. Comparação dos cenários

Para os testes t realizados entre microbacias com maior e menor presença de mata, não foram encontradas diferenças significativas na produção média de sedimentos, tanto na situação atual quanto nos cenários de restauração florestal, indicando que a diferença na cobertura vegetal pode não ser o fator principal influenciando a produção de sedimentos nas microbacias avaliadas.

A média do fator A observada no grupo com maior presença de mata (25,5 ton/ha.ano), foi ligeiramente menor que no outro grupo (28,7 ton/ha.ano), na situação atual.

Na tabela 10, são apresentadas as médias da perda de solo anual obtida através das simulações para cada microbacia na situação atual, com a união dos três cenários de APP, nos dois cenários de reserva legal e com o reflorestamento das AVAs.

Tabela 10: Perda anual média de solos em cada microbacia na situação atual e nos principais cenários de restauração florestal.

Microbacia	ATUAL	APP	RL20ALE	RL20SUE	AVA
60	15,6	12,8	11,5	10,6	12,0
76	16,2	14,1	12,8	5,8	14,7
88	16,5	13,4	12,1	7,9	14,3
142	15,1	12,6	11,2	7,4	14,1
315	7,5	7,1	5,9	2,9	6,5
403	86,7	77,6	61,2	33,4	77,3
413	33,4	32,4	27,0	4,6	32,3
485	48,6	46,5	47,1	4,8	46,1
508	16,9	16,0	15,1	2,6	16,6
634	42,3	40,6	28,3	15,8	41,2
648	68,0	59,6	62,8	13,0	60,6
999	12,2	9,3	10,8	5,3	11,0
1003	5,1	4,3	4,2	1,7	4,7
1015	52,3	46,7	37,6	13,3	47,6
1026	11,1	9,4	5,4	5,9	10,1
Média	29,8	26,8	23,5	9,0	27,3

Comparando as médias obtidas nas simulações e com a classificação proposta por Carvalho, N. de O. (Apud Silva et al., 2003) para o parâmetro “expectativa de perda de solos”, observa-se a predominância das classes de erosão “média” para a situação atual, para o estabelecimento das áreas de preservação permanente e para o reflorestamento das AVAs. Com a instalação da reserva legal em áreas mais críticas, por sua vez, observa-se a predominância da classe “nula a pequena”, indicando uma expressiva redução nos processos erosivos.

Nas áreas, onde são encontradas áreas de cana-de-açúcar, como nas microbacias 403, 1015 e 648, foram observadas as maiores perdas anuais de solos, favorecidas pelo fato da mesma não oferecer uma boa cobertura vegetal em seu estágio inicial de desenvolvimento e pela considerável compactação da camada superficial do solo pelos pneus de tratores e caminhões, favorecendo a ocorrência de enxurradas e a criação de ravinas. Em regiões de declividade alta, como na microbacia 485, também foram observados elevados valores para o fator A.

Em geral, o estabelecimento de APP reduziu em 10% (de 29,8 ton/ha.ano para 26,8 ton/ha.ano), e o reflorestamento das AVAs reduziu em 7,8% (de 29,6 ton/ha.ano para 27,3 ton/ha.ano) a produção de sedimentos nas microbacias, não sendo observada, de acordo com os testes t realizados para as 15 microbacias, diferença significativa na produção média de sedimentos. A pequena redução nos dois cenários provavelmente se deu em função das áreas não serem muito susceptíveis à erosão e também por que não foram contabilizados neste estudo o efeito de retenção de sedimentos pela faixa ripária.

Em contrapartida, com o estabelecimento da reserva legal em áreas mais críticas, em termos de processos erosivos, notou-se uma expressiva redução de 69,8% (de 29,8 ton/ha.ano para 9,0 ton/ha.ano) na taxa média de erosão. Para o teste t realizado com todas as microbacias na situação atual e com o estabelecimento da reserva legal foi observada uma diferença significativa, indicando que a implementação adequada da mesma afetaria fortemente a produção de sedimentos.

No Anexo A, são apresentados os mapas da perda anual média de solos da microbacia 142, sendo observada a maior redução para o cenário de reserva legal estabelecido para as áreas mais críticas.

Um trabalho análogo foi realizado por Domingos (2006), no qual foi estimada a perda de solos através da EUPS na bacia hidrográfica dos córregos Rangel, Penha e Santo Antônio, localizada no município de Rio Bananal-ES, na situação atual e com a recuperação e substituição dos usos existentes na faixa de preservação permanente por florestas nativas, sendo encontrada uma redução semelhante à obtida no cenário da união das 3 APPs nas microbacias do rio Corumbataí, da ordem de, aproximadamente, 9,54% na perda de solos.

Simulações também foram realizadas por Machado et al. (2003) para a microbacia do Ribeirão dos Marins, no município de Piracicaba-SP, em função do uso atual, da manutenção de mata ciliar na faixa de 30 metros em toda a extensão de corpos d'água e de 50 metros ao redor das nascentes, e da substituição total das áreas de pastagem por vegetação florestal. Para o primeiro cenário de modificação no uso do solo, foi encontrada uma redução de 10,8%,

enquanto que para o segundo, a mesma foi de 94,0%, podendo ser considerada bastante expressiva.

5.10. Validação no campo

Em algumas microbacias, como 76, 999, 403 e 315, foram observadas paisagens com mata fechada e solo predominantemente argiloso, verificando-se apenas alguns pontos de erosão fluvial, decorrentes da ação do fluxo do canal no trecho percorrido de cada microbacia, como na figura 37.



Figura 37: Erosão fluvial, decorrente da ação do fluxo do canal em épocas de cheia, na microbacia 634, nas coordenadas UTM N = 227.393,528m e E = 7.500.505,409m.

Outras microbacias, porém, apresentam situações menos favoráveis. A microbacia 413, por exemplo, apresenta pouca vegetação nas margens dos rios, solo arenoso, além de áreas de caminho de gado, contribuindo assim para a freqüente ocorrência dos processos erosivos. Na microbacia 142, por sua vez, a situação é ainda mais crítica, havendo vegetação praticamente escassa nas margens do rio e sendo a área onde foi observado o maior número de pontos de erosão.

Em decorrência do transporte de sedimentos, também foi verificado assoreamento em diversos trechos dos corpos d'água, principalmente em áreas de solo mais arenoso.

Vários pontos de erosão de margem de rio, como das figuras 38 e 39, são decorrentes de fatores observados no campo, como ausência de mata ciliar, manejo inadequado de pastagens e solo arenoso, com maior suscetibilidade ao transporte de partículas.



Figura 38: Erosão de margem de rio, observado na microbacia 142 devido, principalmente à ausência de mata ciliar nas coordenadas UTM N=217.834,946m e E=7.532.039,702m.



Figura 39: Erosão de margem de rio observada na microbacia 1015, também devido à ausência de mata ciliar nas coordenadas nas coordenadas UTM N=213.888,309m e E=7.120.056,603m.

Na figura 40, observa-se uma estrada construída, inadequadamente no sentido morro-abaixo, ocasionando a formação de sulcos erosivos e, gerando conseqüências como perda da fertilidade do solo, assoreamento do rio, comprometimento da qualidade da água, entre outros.



Figura 40: Sulcos erosivos no leito de uma estrada de terra construída inadequadamente na microbacia 1015 nas coordenadas UTM N=214.014,82m e E=7.511.669,586m.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Na bacia do rio Corumbataí, onde é observada uma intensa redução na cobertura florestal, decorrente de um processo desordenado do uso e ocupação do solo, observa-se muitas áreas com ausência de mata ciliar. O reflorestamento nas APPs e nas AVAs, embora não tenham propiciado diferenças significativas na produção de sedimentos, pode oferecer um forte auxílio na proteção de corpos d'água.

O planejamento adequado da Reserva Legal, com reflorestamento em áreas mais sensíveis à erosão, pode reduzir entre 20% e 70% as perdas de solo, dependendo da metodologia adotada para seleção das áreas a serem reflorestadas. Com base nestes resultados, recomendam-se estudos prévios de áreas prioritárias para reflorestamento com o objetivo de aumentar a eficiência na redução de perdas de solo.

O estudo mostra que a eficiência dos serviços ambientais dos reflorestamentos pode ter variação significativa, em função da localização da área reflorestada na propriedade. A eficiência do planejamento adequado do reflorestamento da Reserva Legal pode aumentar em mais de três vezes a sua eficiência na redução das perdas de solo.

Para as áreas consideradas mais críticas em termos de erosão, recomenda-se, também, a adoção de algumas medidas, tais como a utilização de curvas de nível para plantio, o terraceamento, a criação de obstáculos aos escoamentos sobre as linhas de maior declive, entre outros. Na microbacia 1003, por exemplo, observou-se, através das simulações, uma baixa produção de sedimentos devido à adoção destas práticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.L.F.; OLIVEIRA, J.B; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadricula de Brotas**. Mapa escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônômico, 1981.
- AMARAL, A.J. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo de solo em um cambissolo húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2145-2155, 2008.
- ATTANOSIO, C.M. et al. Método para identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). **Scientia Forestalis**, n° 71, p. 131-140, Ago. 2006.
- BAPTISTA, G.M.M. **Diganóstico ambiental de perda laminar de solos por meio de geoprocessamento**. Tese (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 1997, 102p.
- BARROS, W.D. **Problemas da erosão do solo no Brasil**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1961, 53p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª ed. Piracicaba. Ed Ícone, 1990. 355 p.
- BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vol 30, n° 3, p. 565-573, 2005.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. Prentice Hall, São Paulo, 2002, 305 p.
- BRASIL, Lei no. 4.771 de 15/09/1965. Código Florestal, 1965.
- BRASIL, Lei no. 9433 de 8/01/1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997.
- CANTALICE, J.R.B.; CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vol 29, n° 4, Jul/Ago. 2005.
- CARDOSO, D.P. et al. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, n° 66, p. 25-37, Dez. 2004.
- CASTRO, A.G. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**. São José dos Campos, 1992. 145 p. Tese (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

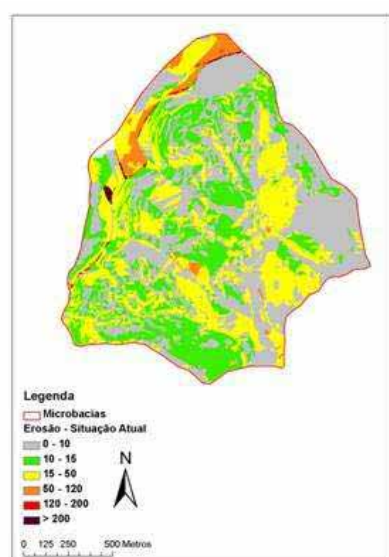
- CBH-PCJ (2004) - COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Plano de bacia hidrográfica 2000-2003 (Síntese do Relatório Final)**. São Paulo: Fehidro - Fundo Estadual de Recursos Hídricos 2004, 61p.
- CBH-TB (2000) - COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO TIETÊ/BATALHA. **Relatório de situação dos recursos hídricos da UGRHI 16**. São Paulo: Fehidro - Fundo Estadual de Recursos Hídricos, 2004. Disponível em: <http://tb.sigrh.sp.gov.br/relatorio/pdf/TB_2-7e2-7-1.PDF>. Acesso em: 09 Set. 2007.
- CEAPLA/UNESP. **Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí**. Rio Claro, IGCE-UNESP, 2001. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas>>. Acesso em 11 Mai. 2008.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M. Agricultura tropical e aquecimento global: impactos e opções de mitigação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, Vol. 67, n° 1, p. 83-99, Jan/Fev. 2007
- CERRI, C.E.P. **Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. Piracicaba, 1999, 89 p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade Estadual Paulista.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vol. 27, n° 4, Viçosa, Jul/Ago. 2003.
- CORRÊA, C.M.C. **Perdas de solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no planalto catarinense**. Curitiba, 2005, 155p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DERPSCH, C.H.. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, 1991, 272 p.
- DIAZ, J.S. Control de erosion em zonas tropicales. In: PEREIRA, A.R. **Boletim técnico – determinação da perda de solos**. Belo Horizonte-MG, Ano 01, n° 001, Mar. 2006.
- DICKINSON, W.T; WHITELEY, H. Watershed areas contributing to runoff. In: **Colloque sur les résultats des recherches sur less bassins représentatifs et experimentaux**. IASH (16).p.1.12-1.26.
- DOMINGOS, J.L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. Vitória, 2006, 67 p. Monografia – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**.

- Brasília: Embrapa Produção de Informação; 2ª edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FORNELOS, L.F.; NEVES, S.M.A.S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas do solo. In: **Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, Campo Grande, p. 182-191, 11-15 Nov. 2006.
- GONZALEZ-BONORINO, G.; OSTERKAMP, W.R.; Applying RUSLE 2.0 on burned-forest lands: An appraisal. **Journal of Soil & Water Conservation**, Vol. 29, nº1, p. 36-42, Jan/Fev. 2004.
- HEWLETT, J.D.; NUTTER, W.L. **An outline of forest hydrology**. Athens. University of Georgia Press, 1969. 137 p.
- INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998, cap. 9, p. 131-152.
- JACOVINE, L.A.G.; Viana, W.D.; Alves, R.R.; Walter. M.K.C.; Silva, M.L.; Valverde, S.R. Environmental approach of companies within the pulp/paper, metallurgical and sugar/alcohol sectors. **Scientia agricola**66 (1), Piracicaba, 2009
- JULIEN, P. Y. Erosion and sedimentation, Cambridge University, New York, 1998, 280 p.
- KINNELL, P.I.A. Letter to the editor on "The mathematical integrity of some universal soil loss equation variants". **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, nº1, Jan/Fev. 2004, p. 336-7.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, F.P. **Inventário canavieiro com auxílio de fotografias aéreas**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1979. 38 p.
- MACHADO, R.E.; VETORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP) Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** – Vol. 27, nº 4 Viçosa, Jul/Ago 2003.
- MACHADO, R.E.; VETORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** – Vol. 27, nº 4 Viçosa, Jul/Ago 2003.
- MITASOVA, H. et al. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **Inst. Journal of Geographycal Information Science**, Vol. 11, nº 6, p. 629-641, 1996.
- MORETI, D. et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Vol. 27, nº 4, Viçosa, Jul/Ago. 2003.

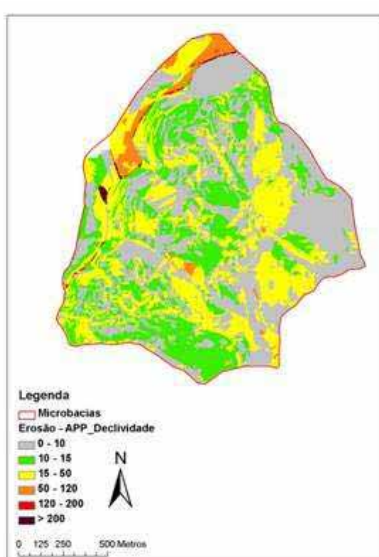
- OLIVEIRA, J.B.; ALMEIDA, C.L.F.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Piracicaba**. Mapa escala 1:100.000. Convênio EMBRAPA/CPA/IA, 1991.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos**. Mapa escala 1:100.000. Mapa escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônômico, 1984.
- OLIVEIRA, M.F. et al. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor de controle de plantas daninhas na cultura do milho em sistemas de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasil**, Vol. 26, nº 1, p. 37-41, Brasília, Jan. 2001.
- PAULA, F.R.; GERHARD, P.; VETTORAZZI, C.A.; FERREIRA, A.; FERRAZ, S.F.B. Riparian forest at agricultural landscapes: influence on large wood debris (LDW) input and habitat structure in streams of Corumbataí watershed, southeast Brazil. **Forest Ecology and Management** (em preparação).
- PRUSKI, F.F.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Vol. 5, nº 2, p. 301-307. Campina Grande-PB, DEAg/UFPB, 2001.
- RODRIGUES, R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios de entorno. Circular Técnica do IPEF, v. 189, p. 1-18, 1999.
- SCHÄUBLE, H. **Simulation of soil erosion with GIS and EDP - Comparison of different concepts considering a silt-dominated landscape**. Tese (Mestrado) – Institute of Geography, University of Tübingen, 1999.
- SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. **Integration of a basin-scale water quality model with GIS**. *Water Res. B.*, 30:453-462, 1994.
- SILVA, A.M. et al. Simulação da variabilidade espacial de erosão hidráulica em uma sub-bacia hidrográfica de latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2125-2134, 2008.
- SILVA, A.B. **Sistemas de informações geo-referenciadas**. Conceitos e Fundamentos. Editora da Unicamp, 1ª edição, 1999, 236 p.
- SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. Erosão e Hidrossedimentos em Bacias Hidrográficas. RiMA. São Carlos, 2003, 138 p.
- VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Avaliação da estrutura florestal na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, v 68, p.45-57. 2005.
- VETTORAZZI, C.A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**.

- Piracicaba, 2006. 150p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- VOLK, L.B.; COGO, N.P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea – estabilidade de agregados-erosão hídrica em solos submetidos a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1713-1722, 2008.
- WISCHMEIER, W.H. et al. A soil erodibility nanograph and construction sites. J. Soil and Water Cons., Fairmont, Vol. 26, 1971.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting a rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. Washington: USDA/ARS, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook N° 573).
- ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização de uma zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. São Carlos, 1998. 98p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

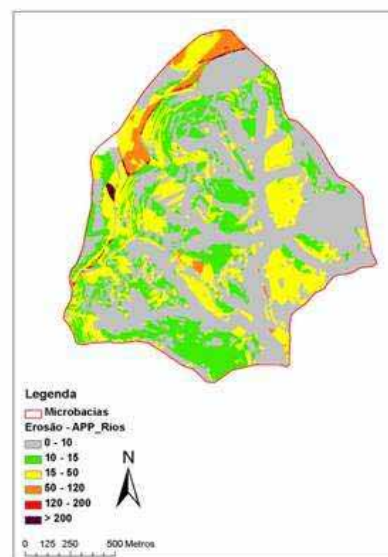
ANEXO A. Perda anual media de solos na microbacia 142.



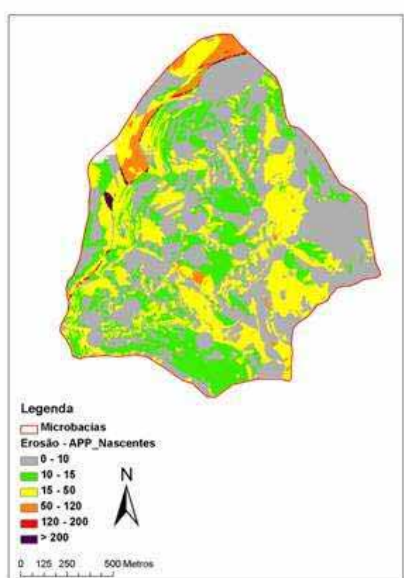
A- Situação atual



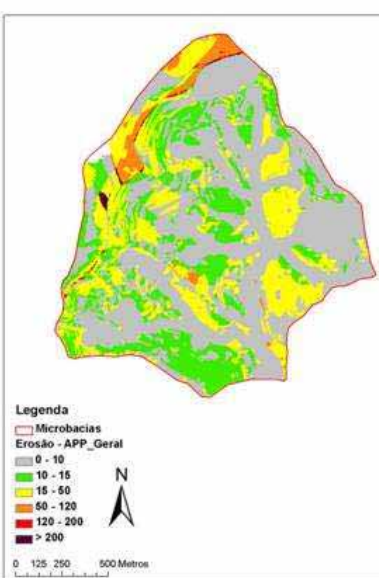
B- APP Declividade



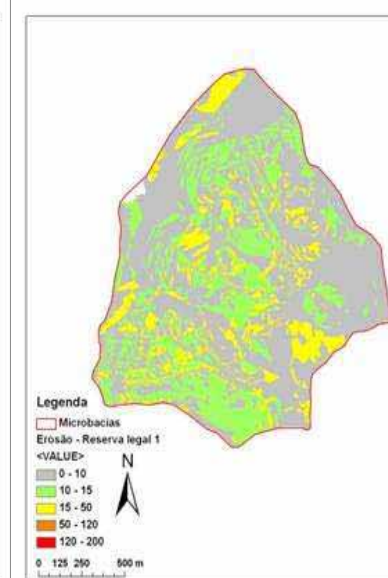
C- APP Rios



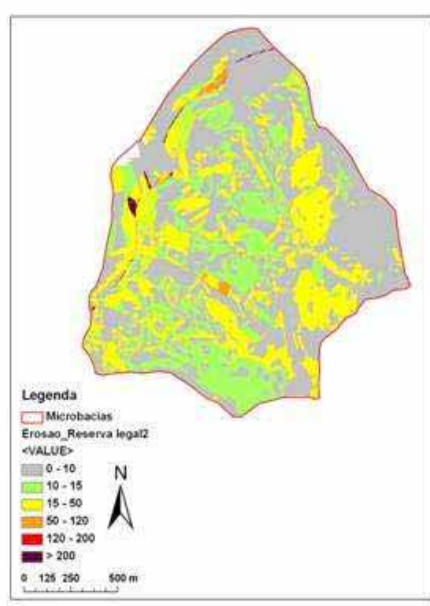
D- APP Nacentes



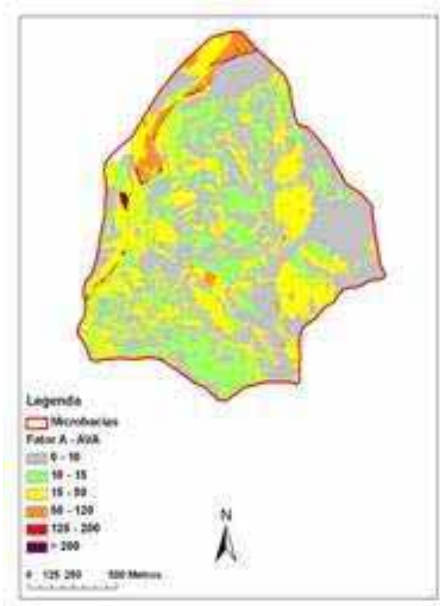
E- APP Geral



F- Reserva legal – áreas mais críticas



G- Reserva legal – aleatório



H- AVA.

