

KAROLEY LIMA CUNHA

**DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROSÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU (VIÇOSA –
MG) COMO SUBSÍDIO À CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**

VIÇOSA-MG

SETEMBRO/2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE ARTES E HUMANIDADES
CURSO DE GEOGRAFIA**

**DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU (VIÇOSA –
MG) COMO SUBSÍDIO À CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**

**Monografia apresentada à disciplina GEO
481 – Monografia e Seminário do curso
Geografia da Universidade Federal de
Viçosa como exigência parcial para
aprovação.**

Autor: Karoley Lima Cunha

Orientador: Prof. André Luiz Lopes de Faria

Viçosa-MG

Setembro/2006

KAROLEY LIMA CUNHA

DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROSÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU (VIÇOSA – MG) COMO
SUBSÍDIO À CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Monografia defendida e aprovada em ___ de _____ de 2006.

Prof. André Luiz Lopes de Farias
(Orientador)

Prof. Patrício Aureliano Carneiro

Prof. Antônio

Dedico à pessoa mais importante da minha vida: minha mãe.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, principalmente minha mãe, que é uma pessoa maravilhosa.

Agradeço a todos os meus amigos que me deram força nesse tempo em que vivi em Viçosa. Gilberto, Fábio e Tiago pela ajuda e pelas risadas. Aureliana pelas noites intermináveis na Biblioteca.

Agradeço especialmente à Fernanda e sua família que me acolheram muito bem em sua casa.

E agradeço também ao prof. André, pela paciência e pelos puxões de orelha.

“Herdarás o solo sagrado e a sua fertilidade será transmitida de geração em geração.

Protegerás teus campos contra a erosão e tuas florestas contra a desolação e impedirás que tuas fontes sequem e que seus campos sejam devastados pelo gado, para que teus descendentes tenham abundância para sempre.

Se falhares, ou alguém depois de ti, na eterna vigilância de tuas terras, teus campos abundantes se transformarão em solo estéril e pedregoso ou em grotões áridos, teus descendentes serão cada vez menos numerosos, viverão miseravelmente e serão eliminados da face da terra...”

(Dr. Walter C. Lawdermil)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE QUADROS.....	iii
LISTA DE DIAGRAMAS.....	iv
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	iv
LISTA DE SIGLAS	v
INTRODUÇÃO.....	1
1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 - A erosão	5
2.2 - Tipos de erosão.....	7
2.2.1 - Quanto ao agente erosivo.	7
2.2.1.1 - A erosão hídrica.....	7
2.3 - Quanto ao grau de intensidade.....	8
2.3.1 - Erosão laminar.	8
2.3.2 - Erosão em sulco.....	10
2.3.3 - Voçorocas.....	11
2.4 - Processos erosivos básicos.....	12
2.4.1 - A gota de chuva.....	12
2.4.2 - a infiltração.....	14
2.4.3 - O escoamento superficial.....	15
2.5 - Fatores que influenciam na erosão.....	16
2.5.1- Erosividade da chuva.....	17
2.5.2 - Erodibilidade.....	18
2.5.2.1 - Textura.....	18
2.5.2.2 - Densidade aparente.....	20
2.5.2.3 - Porosidade.....	20
2.5.2.4 - Estrutura do solo.....	20
2.5.2.5 - Teor de matéria orgânica.....	21
2.5.3 - Cobertura vegetal.....	22
2.5.4 - Características das encostas.....	24
2.6 - Práticas conservacionistas.....	25
2.6.1 - Práticas vegetativas.	27
2.6.1.1 - Florestamento e reflorestamento.....	27
2.6.1.2 - Pastagens.....	28
2.6.1.3 - Plantio em cobertura.....	28
2.6.1.4 - Usar coberturas sem faixas.....	29

2.6.2 - Práticas mecânicas.....	29
2.6.2.1 - Plantio em contorno.....	29
2.6.2.2 - Terraceamento.....	29
2.6.2.3 - Bacias de captação e retenção de águas pluviais de estradas.....	31
2.6.3 - Práticas edáficas.....	33
2.6.3.1 - Controle das queimadas.....	33
2.6.3.2 - Adubação verde.....	33
2.7 - A bacia hidrográfica como unidade de planejamento.....	34
2.8 - Áreas suscetíveis a erosão na BHRSB.....	36
METODOLOGIA.	36
3.1 - Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG’s.....	36
3.2 - O uso do SIG no planejamento ambiental.....	37
3.3 - Geração do mapa de áreas suscetíveis à erosão na BHRSB.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.	45
BIBLIOGRAFIA.	57
ANEXOS.	61

Lista de figuras

FIGURA 1: Mapa de localização da área de estudo.....	4
FIGURA 2: Rede hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.....	35
FIGURA 3: Exemplo de espacialização do modelo de elevação.....	39
FIGURA 4: Exemplo de espacialização do Grid.....	40
FIGURA 5: Classes de declividade do terreno da BHRSB.....	42
FIGURA 6: Mapa de uso e ocupação do solo da BHRSB	46
FIGURA 7: Mapa de Modelo Digital de Elevação da BHRSB.....	49
FIGURA 8: Mapa de suscetibilidade a erosão.....	54

Lista de quadros

QUADRO 1: Velocidade terminal das gotas de chuvas.....	13
QUADRO 2: Escala textural americana.....	19
QUADRO 3: A ação de diferentes tipos de cobertura vegetal nas perdas de solo e água por erosão no Estado de São Paulo.....	24
QUADRO 4: Perdas de solo em relação ao comprimento da rampa.....	25
QUADRO 5: Reclassificação da declividade da BHRSB.....	41
QUADRO 6: Classes de fragilidade (declividade).....	43
QUADRO 7: Grau de fragilidade dos tipos de solo.....	44
QUADRO 8: Graus de proteção do solo pela cobertura vegetal.....	44
QUADRO 9: Distribuição das classes de uso e ocupação do solo na BHRSB.....	45
QUADRO 10: Graus de proteção do solo pelo uso e cobertura da BHRSB.....	45
QUADRO 11: Reagrupamento das variáveis.....	47
QUADRO 12: Distribuição do uso e ocupação do solo em Ha de acordo	

com a declividade do terreno	47
QUADRO 13: Graus de fragilidade para os solos da BHRSB.....	51
QUADRO 14: Graus de suscetibilidade a erosão na BHRSB.....	52

Lista de diagramas

DIAGRAMA 1: Erosão do solo.....	6
---------------------------------	---

Lista de fotografias

FOTOGRAFIA 1: Voçoroca em área central, Av. Castelo Branco.....	11
FOTOGRAFIA 2: Vista geral de terraços em encostas.....	30
FOTOGRAFIA 3: Bacias de captação armazenando água para infiltração em canal de escoamento de região torrencial.....	32

Lista de siglas

APP - Área de Preservação Permanente

BHRSB – Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DPS - Departamento de Solos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEOMINAS - Geoprocessamento em Minas Gerais

GPS - Global Position System

Ha - Hectares

MG - Minas Gerais

SIG - Sistema de Informações Geográficas

TIN - Triangular Irregular Network

UFV - Universidade Federal de Viçosa

UTM – Utility

INTRODUÇÃO

A intensa interferência do homem no meio rural e urbano, nos últimos, anos tem agravado de forma crescente a degradação da natureza. A implantação de culturas agrícolas, a pecuária extensiva e problemas urbanos são fatores associados à problemática ambiental. Estes problemas são associados à substituição da cobertura vegetal, à ocupação de áreas inadequadas, como encostas e topos de morros, e à utilização inadequada dos solos, que podem levar ao processo erosivo de forma acelerada.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu - BHRSB - é responsável pelo abastecimento de água da cidade de Viçosa (MG) e da Universidade Federal de Viçosa - UFV. Esta bacia sofreu uma intensa substituição da cobertura vegetal nativa por pastagens e culturas agrícolas, o que compromete sua qualidade e quantidade de água. A vegetação conserva e regula o volume de água nas nascentes, protege o solo e é um ambiente adequado à fauna. Dessa forma, torna-se urgente a preservação e a manutenção da vegetação existente para preservarem-se qualitativa e quantitativamente os recursos hídricos.

Esta pesquisa tem como objetivo diagnosticar e analisar a erosão na Bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu através da elaboração de um mapa de suscetibilidade a erosão dos solos, tendo como base os mapas de declividade e uso e ocupação, relacionando os resultados com os tipos de solos encontrados na bacia.

Em condições normais, o desgaste da superfície por erosão é compensado pela contínua alteração das rochas, mantendo assim o perfil do solo (Bigarella, 2003). Isso se agrava quando há interferência antrópica nesse equilíbrio. Nesse caso, a erosão acelerada ocorre principalmente em vertentes mais íngremes, encostas de solos mais suscetíveis ou sem cobertura vegetal e em terras utilizadas inadequadamente.

A suscetibilidade a erosão está ligada a fatores como: características físico-químicas do solo, tipo de cobertura vegetal, forma de comprimento e declividade das encostas e manejo inadequado do solo (Guerra e Botelho, 2001).

Diante do conhecimento da problemática ambiental a ser estudada, é necessário que se tenha em mãos informações a respeito de solos, declividade, uso e ocupação do solo, no

mínimo, para que se possa, através de ferramentas do geoprocessamento, nesse caso o programa *Arcview 3.3*, identificar as áreas suscetíveis à erosão na bacia .

Essa ferramenta permite cruzar uma série de mapas temáticos e estimar riscos e potenciais ambientais, permitindo a definição e espacialização de áreas com diferentes níveis de ocorrência de riscos e uso da terra. Essas informações são importantes instrumentos no planejamento e gestão de bacias hidrográficas, auxiliando na prevenção e combate de problemas ambientais.

A caracterização da bacia nos permite obter informações a respeito do clima, altitude e localização da bacia. A revisão bibliográfica discorre sobre os diversos tipos de erosão encontrados e sua causa e conseqüências. Além disso são citadas formas de conservação do solo e práticas de controle da erosão. Na metodologia são indicados os métodos e procedimentos utilizados para a obtenção dos dados e dos mapas necessários para este estudo. Nos resultados e discussões são apresentados o mapa de suscetibilidade a erosão e as tabelas com os resultados dos cruzamentos das variáveis (declividade, uso e ocupação e tipos de solos). Ainda neste tópico percebe-se que a erosão é um problema ambiental e sociais e que existem métodos de contê-la ou evitá-la.

1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Viçosa, onde se encontra a Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, está localizado na Zona da Mata Mineira, possuindo uma área de 279 km², a uma altitude de 650m, posicionado entre as latitudes 7706000 N e 769600 S e as longitudes 717000 W e 724000 E.

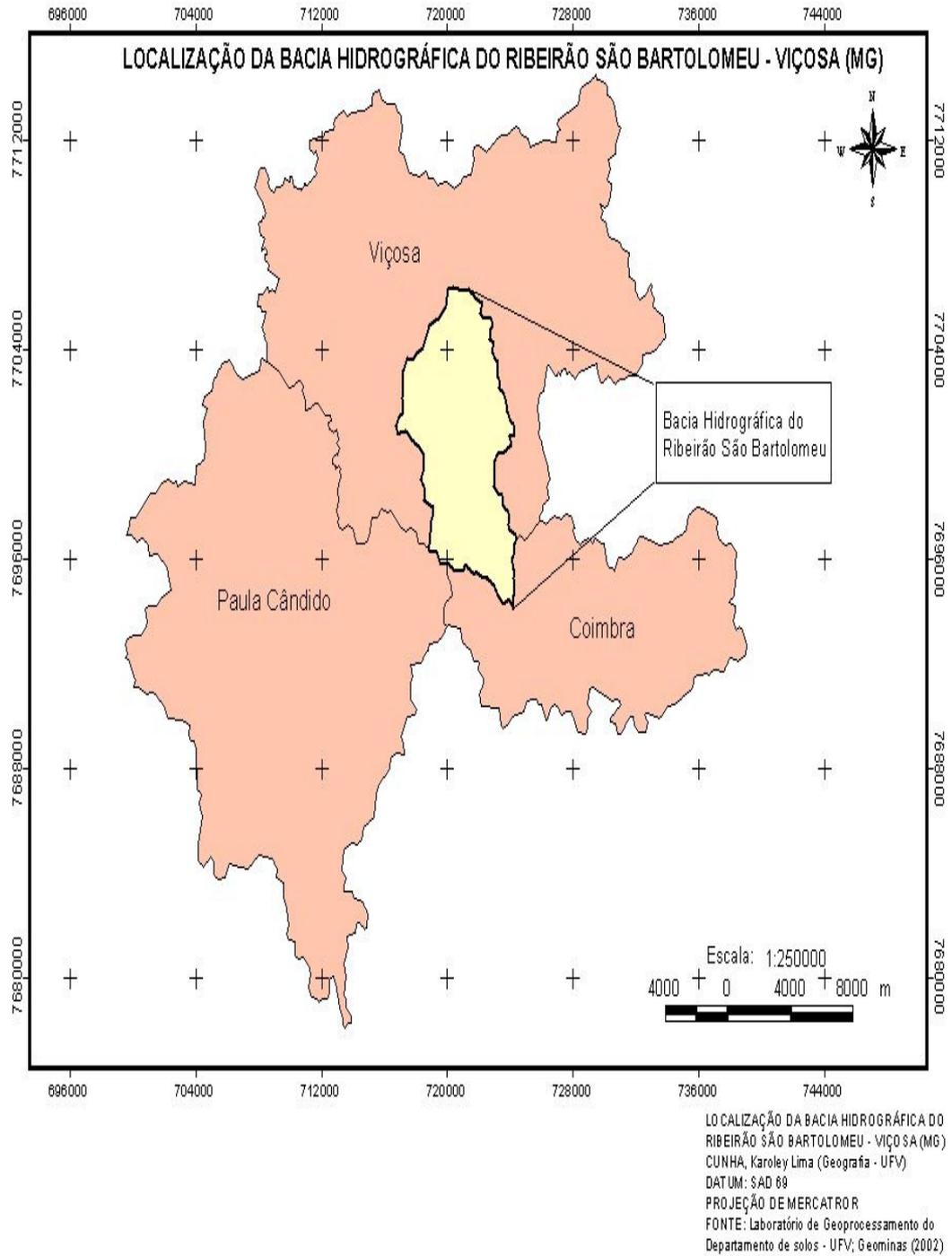
O clima da região é o Cwb de acordo com a classificação de Köpen – clima mesotérmico, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com precipitação média de 1200 mm/ano. As temperaturas médias mensais são superiores a 17°C e inferiores a 24°C (Orlandini, 2002).

Os solos encontrados, predominantemente é o Latossolo, de acordo com o Geominas (2002). Porém existem outros tipos, em escalas menores.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu – BHRSB – está inserida no município de Viçosa e faz limite ao sul com os municípios de Coimbra e Paula Cândido, como pode ser visto na figura 1.

A BHRSB ocupa uma área de 55,10 km², ou 18,48% do município e possui orientação sul-norte (Arruda, 1997). Ao norte da bacia encontra-se a zona urbana do município.

Figura 1: Localização da área de estudo



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A erosão

A erosão dos solos tem como origem diversos fatores como: fatores naturais (clima, relevo, geologia e vegetação) e fatores antrópicos (políticos, econômicos, sociais, tecnológicos e institucionais), cada um com sua complexa problemática (Monegati, 1991).

Segundo Guerra (1998), a erosão é um processo que ocorre em duas fases: a remoção das partículas do solo e o transporte dessas pelos agentes erosivos. E mais, quando há energia suficiente para continuar o arraste, ocorre uma terceira fase, a deposição do material transportado (Souza e Pires, 2003).

Para Bertoni e Lombardi Neto (1990) o processo erosivo consiste no desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. Para o mesmo autor, o processo erosivo é um processo de trabalho físico onde o consumo de energia é usado em todas as fases da erosão (rompimento dos agregados, salpicamento das gotas de chuva, turbulência da enxurrada e no escorrimento e transporte das partículas).

Segundo Bigarella (2003), a erosão é um processo de desgaste da superfície do terreno com a retirada e transporte de grãos minerais, que atua através de vários processos intempéricos (físicos e químicos) e pela ação da água, principalmente.

O processo erosivo caracteriza-se pela interação ou não dos fatores controladores, que poderão ser alterados pela ação antrópica, acelerando ou retardando o processo (Galeti, 1984). Os fatores controladores da erosão são, de acordo com Guerra (1998), a erosividade, a erodibilidade, características da encosta e tipo de cobertura vegetal.

Para Souza (2003) a erosão é o processo responsável pelo desgaste e empobrecimento dos solos agrícolas, reduzindo a produtividade das culturas e exigindo cada vez mais o uso de adubos e corretivos.

A erosão dos solos é o processo responsável pelo desgaste e empobrecimento dos solos, porém é um processo que ocorre naturalmente, segundo Pires (2003) e Galeti (1984), e de grande importância na formação da paisagem e rejuvenescimento do solo.

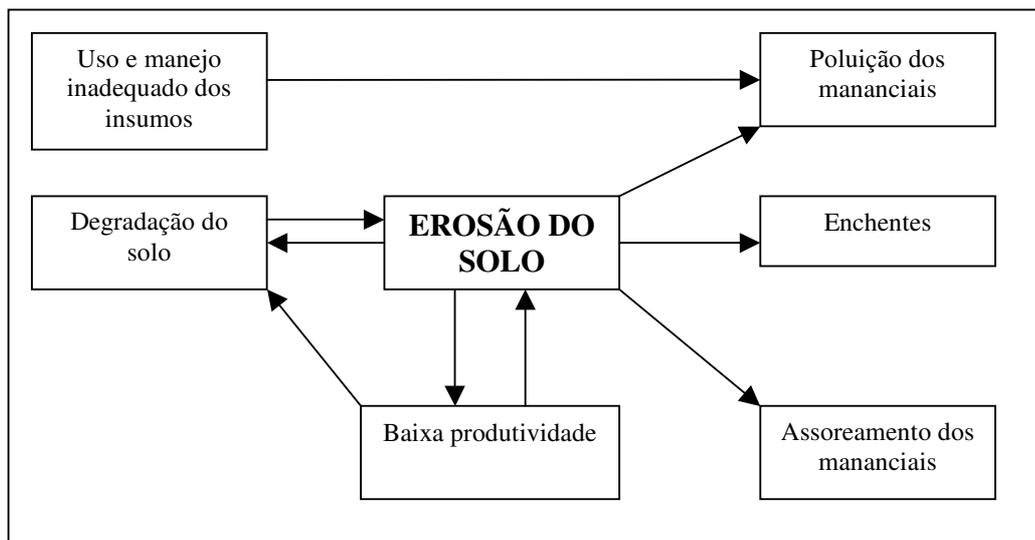
A degradação do solo e a erosão são causadas pela interação entre o uso, vegetação e forças erosivas (erosividade, escoamento superficial e subsuperficial, energia solar e

eólica), além dos elementos sociais que agravam mais a situação (Almeida e Guerra, 2004). Atualmente, o aceleramento do processo erosivo tem se tornado danoso ao meio ambiente.

É importante a observação da erosão acelerada, porque é um processo que age com rapidez e acarreta grandes prejuízos para as atividades econômicas e para o meio ambiente. E ainda, além do empobrecimento do solo pela perda de nutrientes e matéria-orgânica, há a contaminação dos cursos d'água, porque a água que não se infiltra carrega o material do solo e os resíduos dos produtos químicos usados no preparo e manejo do solo.

A baixa produtividade causa degradação do solo, que é um fator que interfere de maneira acentuada no processo erosivo, que também é causador da degradação. A improdutividade do solo é causada pelo uso e manejo inadequado dos insumos, que, além disso, causam a poluição dos cursos d'água. Como pode ser visto no diagrama 1, há uma relação entre todas as causas e conseqüências da erosão.

DIAGRAMA 1: Erosão do solo



Fonte: Adaptado de Bragagnolo (1994)

Existem dois tipos de erosão: a erosão hídrica, causada pela água, principalmente pela chuva e a erosão eólica, causada pela ação do vento. De acordo com Monteiro (1979), também existe a erosão fluvial, causada pelo trabalho dos rios na superfície terrestre, erodindo, transportando e acumulando materiais.

2.2. Tipos de erosão

2.2.1. Quanto ao agente erosivo

O principal tipo de erosão que ocorre no Brasil é a provocada pelas chuvas, ou seja, a erosão hídrica, que é afetada pelo clima (vento, temperatura e chuvas), solo (textura e uso), relevo (declividade e comprimento da rampa) e pela vegetação (Galeti, 1984). Apesar de considerar os fatores climáticos, eles não têm um papel relevante no processo erosivo realizado pela água. O vento é decisivo na erosão eólica.

Neste estudo, em especial, será tratado o caso da erosão hídrica, visto que, de acordo com a literatura consultada, é o principal tipo de erosão que ocorre no Brasil. Sendo assim é o tipo de erosão que provavelmente ocorre na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.

2.2.1.1. A erosão hídrica

A erosão hídrica pode ser descrita dessa forma, de acordo com Pereira (2000): com o início da chuva, parte do volume precipitado é interceptado pela vegetação e outra parte atinge o solo, umedecendo os agregados e reduzindo sua coesão. Com a continuidade da chuva os agregados se desintegram e se desprendem, sendo arrastados pela enxurrada.

Segundo Pires (2003), a erosão hídrica se inicia com o impacto das gotas de chuva, principalmente em áreas desnudas, sem cobertura vegetal, resultando no desprendimento e arraste das partículas. Para Souza e Pires (2003), além do desprendimento (desagregamento do solo promovida pelas gotas de chuva e pelas atividades de preparo e uso do solo) e transporte (argila, matéria-orgânica e outras partículas leves do solo), ainda há a deposição do material erodido que ocorre quando os agentes erosivos perdem a energia.

O ciclo hidrológico é o ponto de partida para o processo erosivo (Guerra, 1998). Durante a chuva a água cai no solo, independente da cobertura vegetal, e a ação das gotas da chuva causam a erosão por salpicamento. A água se infiltra e quando o solo não consegue mais absorvê-la o excesso escoar na superfície ou na subsuperfície, arrastando as partículas do solo.

A quantidade de solo desestruturado depende da intensidade da precipitação, da velocidade e do tamanho das gotas de chuva (Pereira, 2000). A intensidade é o fator pluviométrico mais importante, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990). Juntamente com

a intensidade, a duração da chuva determina a chuva total. A frequência também influi no processo de erosão hídrica, pois, chuvas que ocorrem num intervalo menor aumentam a umidade do solo, portanto, aumenta a enxurrada. Mas em longos períodos sem chuva, a vegetação sofre por falta de chuva, reduzindo a proteção natural do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Para Bigarella (2003), a água é o agente mais atuante nas mudanças morfológicas da paisagem, atuando na erosão, transporte e deposição dos sedimentos. A erosão pela água compreende fatores erosivos sob a forma laminar, de sulcos e voçorocas, causados pelo salpicamento das gotas de chuva e pelo escoamento superficial.

Enfim, a precipitação é o fator primordial na erosão hídrica, devido ao impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial gerado.

2.3. Quanto ao grau de intensidade

As formas erosivas encontradas dependem dos fatores controladores da erosão, ou seja, erosividade, erodibilidade, cobertura vegetal e características da encosta. Além disso, é importante considerar o tempo e o espaço, pois com o passar do tempo, se o processo erosivo não for contido, uma forma de erosão pode sofrer mudanças nos padrões e na sua magnitude. Para Guerra (1998), existem três tipos de erosão (laminar, ravinas e voçorocas), mas para Bertoni e Lombardi Neto (1990) existe, além dessas formas, a erosão em pedestal, em pináculo, em túnel, da fertilidade dos solos e em sulcos.

Neste estudo serão tratadas as formas de erosão laminar, em sulcos e voçorocas. Estes são os tipos mais comuns e que ocorrem com maior frequência em áreas com as características físicas da área de estudo em questão, além disso, a bibliografia consultada se refere em geral a estas formas.

2.3.1. Erosão laminar

A erosão laminar também é conhecida como erosão em lençol. Este tipo ocorre porque o escoamento superficial se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais. Isso ocorre porque a superfície do solo não é lisa nem uniforme, ela é quase sempre irregular e a água escolhe caminhos de menor resistência. De acordo com Foster (1977) *apud* Pereira (2000), a erosão laminar também é conhecida como

erosão entre sulcos, e o fator mais importante nesse processo é o impacto da gota de chuva na superfície do solo. Seguindo essa mesma linha, Sparoveck (1998), Bertoni e Lombardi Neto (1990), acrescentam que o impacto da gota de chuva na lâmina de água que se forma durante o escoamento superficial aumenta a turbulência da água da enxurrada que desce no sentido da vertente, aumentando sua velocidade.

A diferença entre erosão em sulcos e erosão entre sulcos está no tamanho das partículas erodidas. De acordo com Alberts *et al* (1980) *apud* Paiva (1999), a erosão em sulcos transporta partículas maiores do que a erosão laminar devido aos mecanismos de desagregação e transporte.

Este tipo de erosão (laminar) é o mais difícil de ser percebido, e por isso é o mais perigoso, principalmente em seu período inicial, causando muitos problemas à agricultura (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Pereira, 2000). Como ela é pouco perceptível, ela pode ser verificada quando as enxurradas estão mais barrentas, quando há uma mistura dos diferentes horizontes do solo e também pela exposição das raízes das plantas, segundo Costa e Matos (1997).

Ela arrasta as partículas mais leves do solo, que são à parte de mais valor no solo (argila, matéria-orgânica), por isso ela tem grandes efeitos sobre a fertilidade do solo, pois são essas partículas que contem mais nutrientes (Costa e Matos, 1997; Silva e Pruski, 1997).

O salpicamento causado pelas gotas de chuva, associado à erosão laminar agravam o processo erosivo, isso porque as gotas de chuva desagregam as partículas do solo, que ficam suspensas e mais fáceis de serem transportadas.

Em pequenas declividades, a erosão laminar pode ser limitada pela capacidade de transporte do escoamento. Aumentando a declividade, a velocidade do escoamento, conseqüentemente também aumenta, elevando o transporte de sedimentos como silte, argila e matéria-orgânica, desestruturando o solo e diminuindo sua fertilidade.

A erosão laminar ou em lençol é a fase inicial da erosão hídrica, que pode ser constante, provocando o arraste mais intenso em determinados pontos de escoamento da água, dando origem à erosão em sulcos e até a voçorocas (Rio Grande Do Sul, 1983).

De acordo com Guerra (1998), a erosão laminar formada após uma chuva pode ser eliminada por uma nova tempestade, que causaria uma nova rede de erosão, sem relação com a anterior.

2.3.2. Erosão em sulcos

A suscetibilidade do solo à erosão em sulcos está associada ao preparo do solo. De acordo com Paiva (1999), o revolvimento do solo aumenta a erodibilidade e reduz a tensão de cisalhamento do solo. O desprendimento das partículas ocorre quando a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento é maior que a resistência de cisalhamento do solo (Pereira, 2000).

As perdas de solo provocadas pela erosão hídrica são descritas por Foster et al (1977) *apud* Bragagnolo (1994), a partir da combinação de dois processos que regem o desprendimento das partículas do solo pela ação da água: erosão entre sulco e erosão no sulco. A erosão entre sulcos é provocada pelo desprendimento de partículas de solo pelo impacto da gota de chuva e a erosão em sulcos é provocada pela concentração do escoamento superficial.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno, fazendo com que a erosão se concentre em alguns pontos, alcançando velocidades e volumes suficientes para formar riscos mais ou menos profundos no solo.

Ela é facilmente perceptível devido à formação de valas e sulcos irregulares e é ocasionada por chuvas de grande intensidade em terrenos de elevada declividade. Para Foster (1992) *apud* Bragagnolo (1994), a erosão em sulcos é formada por pequenos canais resultantes do escoamento superficial causado pela chuva. Este é um tipo de erosão laminar num estado mais avançado, porém o impacto da gota de chuva é desprezível - a energia cinética da chuva (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

A erosão em sulcos se forma porque a erosão laminar (ou entre sulcos) não resulta num desgaste absolutamente igual na superfície do solo, ocorrendo a concentração das enxurradas onde a erosão laminar se manifestou originando um fluxo de água que determinará a formação de um sulco (César, 1952 *apud* Sparoveck, 1998).

Em estágio inicial os sulcos podem ser desfeitos por máquinas durante a preparação normal do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Rio Grande do Sul, 1983). Em estágio avançado, quando resulta em prejuízos para o produtor, os sulcos podem impedir a passagem das máquinas.

2.3.3. Voçorocas

As voçorocas consistem no deslocamento de grandes massas de solo, formando depressões, grotas, cavidades ou sulcos de grandes extensões e profundidade, podendo chegar até o lençol freático (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Guerra, 1998; Rio Grande do Sul, 1983; Souza e Pires, 2003). São ocasionadas por grandes concentrações de enxurradas que passam no mesmo local ano após ano. A seguir, na fotografia 1, pode-se visualizar um grande deslocamento de terra na cidade de Viçosa, em uma área central.

FOTOGRAFIA 1: Voçoroca em área central da cidade, Avenida Castelo Branco.



Fonte: Fernanda Xavier, 2006.

As principais causas das voçorocas são: o mau uso do solo agrícola, o superpastoreio e as queimadas, associados ao tipo de chuvas e propriedades do solo. Além disso, existem outras origens variadas como o escoamento superficial, deslizamentos e alongamento e aprofundamento dos sulcos.

2.4. Processos erosivos básicos

A erosão, em sua complexa totalidade, é caracterizada pela interação dos processos erosivos básicos. É importante entender cada um deles para que se compreenda como ocorre a erosão e quais as suas conseqüências para o meio ambiente.

Os processos erosivos básicos são, segundo Guerra (1998) a infiltração, escoamento superficial e *splash* e formação de crostas (características das gotas de chuva).

Neste item será tratado cada um desses fatores de forma isolada, porém é importante lembrar existe uma forte interação entre eles.

2.4.1. A gota de chuva

Considerando que a chuva afeta diretamente a erosão do solo, é importante salientar algumas características da gota de chuva: elas têm no máximo 7 mm de diâmetro, não são esféricas por causa das condições da atmosfera e as gotas grandes não são estáveis, se dividindo no ar (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Wünsche e Denardi (1980) *apud* Monegati (1991), através de seus estudos atestaram que o impacto da gota de chuva é responsável por 95% da erosão hídrica, sendo que a crosta formada na superfície tem maior efeito na redução da absorção de água que o tipo de solo e a declividade.

O impacto das gotas de chuva contribui com a erosão de três formas:

1. Desprendem as partículas do solo no local do impacto;
2. Transportam por salpicamento as partículas desprendidas,
3. Imprimem energia em forma de turbulência à água da superfície (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Pereira (2000), ainda ressalta que, as gotas de chuva liberam as partículas de solo e também o compacta, reduzindo sua capacidade de infiltração da água.

A erosão por salpicamento ou *splash*, termo usado por Guerra (1998), é causada pelo impacto da gota de chuva. Quando as gotas golpeiam o solo, desagregando suas partículas e jogando-as para cima e para os lados, elas podem ser atiradas a mais de 60 cm de altura e mais de 1,5 cm de distância, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990). E a determinação da força com que a gota golpeia o solo, ou seja, a energia cinética da chuva natural, é dada pela equação:

$$E = 12,14 + 8,88 \log I$$

Onde:

E= energia cinética em toneladas/hectares

I= intensidade da chuva em mm/h

Essa equação foi determinada por Wishmeier e Smith (1958), *apud* Guerra (1998), indicando que o tamanho da gota de chuva aumenta com a elevação da intensidade da chuva. Como uma grande parte das gotas grandes pertence a intensidades entre 50 e 100 mm/h, as maiores energias são encontradas nessas intensidades.

A energia cinética é uma função de massa x velocidade. O importante é determinar a distância que a gota de chuva percorre em sua queda até alcançar sua velocidade terminal, ou seja, a velocidade constante (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Então, considerando-se que ela está relacionada com a intensidade, ela é função da sua duração, massa, tamanho e velocidade. Laws (1941) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1990), através de um método fotográfico conseguiu determinar a altura que as gotas necessitam para obter 95% de sua velocidade terminal, de acordo com o quadro 1, abaixo:

QUADRO 1: Velocidade terminal das gotas de chuva de vários diâmetros

<i>Diâmetro da gota de chuva (mm)</i>	<i>Velocidade terminal (m/s)</i>	<i>Altura da queda com a qual a gota adquire 95 da velocidade (m)</i>
1	4	2,2
2	6,5	5
3	8,1	7,2
4	8,8	7,8
5	9,1	7,6
6	9,3	7,2

Fonte: Laws (1991), *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1990)

A energia cinética é um parâmetro usado para prever a perda de solo, mas deve ser considerada juntamente com outros fatores que interferem no processo erosivo.

Uma gota de chuva que é interceptada por uma cobertura vegetal de altura superior a 8m, por exemplo, chega com a mesma velocidade terminal que uma gota que cai sobre um terreno sem cobertura vegetal. Isso depende do tipo de vegetação, já que as folhas grandes podem aumentar o tamanho das gotas.

O impacto das gotas de chuva no solo desnudo desagrega as partículas na superfície. As partículas menores, quando dispersas, são arrastadas pela ação da água, preenchendo os lugares vazios entre os agregados, formando uma crosta de aproximadamente 1 mm de espessura, de acordo Vasconcelos e Landers(1994), que quando seca se torna impermeável, impedindo a infiltração da água e a aeração do solo, comprometendo a germinação das plantas e aumentando a erosão.

Segundo Guerra (1998), a erosão por *splash* pode ser diminuída em determinados tipos de solo, se o *splash* formar crostas na superfície, assim as gotas de chuva encontrarão uma superfície mais resistente a energia cinética. Porém, nesse caso há um aumento do escoamento superficial. A compactação do solo causada pelas gotas de chuva diminui, também, sua capacidade de infiltrar água. A formação de crostas é um fator importante no processo erosivo, pois, selam a superfície do solo diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (Guerra, 1998; Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

O encrostamento superficial pode ser evitado pela manutenção da cobertura protetora do solo contra o impacto das gotas de chuva, que dissipará sua energia cinética, diminuindo a desagregação e a velocidade do escoamento e aumentando a infiltração (Vasconcelos e Landers, 1994).

2.4.2. A infiltração

Durante a chuva, parte da água é evaporada, e a outra parte chega ao solo, seja diretamente, ou por gotejamento das folhas e escoamento pelos troncos, quando interceptada pela vegetação.

Para Guerra (1998), a água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar no solo, aumentando a umidade do solo e abastecendo o lençol freático.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) definem a infiltração como o movimento da água dentro da superfície do solo, realizado pelas forças da gravidade (através dos grandes poros

em solos saturados) e da capilaridade (em solos não saturados). Em solo não saturado a condutividade da água é dada em função da umidade do solo, ou seja, a água se move de zonas úmidas para zonas mais secas (Winter, 1976).

A infiltração de água no solo é um processo que depende de fatores relacionados as características do solo, como estrutura e textura; fatores relacionados a superfície, como declividade e rugosidade; preparo e manejo do solo; cobertura vegetal e frequência e intensidade das chuvas (Bertonni e Lombardi Neto, 1990; Bigarella, 2003; Brandão et al, 2006).

A quantidade de água infiltrada é reduzida pela formação ou presença de selamento superficial, causado pelo impacto das gotas de chuva no solo. A infiltração aumenta através da estruturação do solo, aumento dos macroporos, rugosidade; diminuição do selamento e do escoamento superficial. Dessa forma se diminuem os efeitos da erosão hídrica (Guerra, 1998).

2.4.3. O escoamento superficial

De acordo com Guerra (1998), o escoamento superficial se inicia quando o solo, durante uma chuva, perde sua capacidade de infiltrar a água, ou seja, quando o solo está saturado. A partir da saturação, com o excedente que não é infiltrado, forma-se o escoamento superficial, que ocorre através da ação da gravidade, gerada pelo desnível das encostas (Lorandi e Cançado, 2002). A água escoar por caminhos preferenciais e tem que transpor barreiras como rochas, vegetação, a força do atrito entre a água e a superfície do solo, os quais diminuem sua energia.

Para Calasans *et al* (2002), o escoamento superficial corresponde à parte do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. As gotas de chuva que atingem o solo provocam o desagregamento das partículas, que obstruem os poros do solo e também provocam o selamento da superfície, fator este que aumenta o escoamento superficial. O selamento superficial consiste da formação de uma crosta fina, de 1 a 5 mm de espessura, mas que diminui muito a capacidade de infiltração da água no solo, aumentando conseqüentemente o escoamento superficial.

Os fatores que influenciam o escoamento superficial são os mesmos que influenciam a velocidade da infiltração de água no solo (Calasans *et al*, 2002). São eles:

- Quantidade, intensidade e duração da chuva (o escoamento aumenta com o aumento da intensidade e do tempo de duração da precipitação);
- Tipo de precipitação (chuva, granizo ou neve);
- Cobertura e uso dos solos;
- Evapotranspiração, pois quanto maior ela for menor será a velocidade de infiltração;
- Área, forma e declividade da bacia. Quanto maior a área e a declividade da bacia, maior será o escoamento superficial e quanto mais a forma da bacia se aproximar da forma circular mais rápida será a concentração do escoamento e maior será sua vazão;
- O tipo de solo interfere diretamente na infiltração de água e, conseqüentemente, no escoamento superficial;
- A topografia influencia a velocidade do escoamento, sendo que as áreas mais declivosas apresentam menor capacidade de armazenamento de água que as áreas planas, assim nessas áreas o escoamento superficial é maior;
- Rede de drenagem com grau de ramificação e altos valores de densidade de drenagem, aumentam a concentração do escoamento superficial.

A principal causa do escoamento superficial, segundo Guerra (1998), é a ausência da cobertura vegetal, que facilita o desagregamento das partículas do solo e formação de crostas, aumentando o processo de escoamento, e conseqüentemente as taxas de erosão do solo.

A água que esco das encostas é o principal agente de arraste das partículas do solo, que além de desestruturá-lo, causa o assoreamento e poluição dos cursos d'água, pelos resíduos químicos que também são arrastados junto com o material edáfico.

2.5. Fatores que influenciam na erosão

A erosão é causada por fatores ligados à chuva, à capacidade de infiltração do solo, características das encostas, que de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990) são forças ativas; e por forças passivas, como a vegetação e a resistência do solo à ação erosiva, que está determinada por suas características físicas e químicas.

O processo erosivo se caracteriza pela interação ou não dos fatores controladores, que determinam as taxas de erosão, que podem ser maiores ou menores (Pires *et al*, 2002).

A erosão do solo, de acordo com Pereira (2000), depende de fatores como as características da chuva; escoamento superficial, condições da superfície do terreno, infiltração de água no solo e cobertura vegetal. Esses mesmos fatores são descritos e subdivididos por Guerra (1998) da seguinte forma:

- Erosividade da chuva;
- Erodibilidade (ligada às características do solo);
- Características das encostas;
- Natureza da cobertura vegetal.

Essas variáveis são significativas para explicar e prever a erosão, mas não devem ser observadas de forma isolada, pois apesar de cada uma dessas propriedades agir de uma forma diferente sobre o solo, será a inter relação entre elas que resultará no complexo processo erosivo.

2.5.1. Erosividade da chuva

Hudson (1961) *apud* Guerra (1998), define a erosividade como a habilidade da chuva em causar erosão. Wünsche e Denardi (1980) *apud* Monegati (1991), afirmam que o potencial erosivo das chuvas é avaliado por um fator denominado erodibilidade, que é expresso em energia trazida pela chuva por unidade de área relacionada à intensidade da chuva.

A chuva é o fator climático mais importante na erosão dos solos, onde a intensidade é o fator pluviométrico mais atuante. O volume e a velocidade dependem da intensidade, duração e frequência da chuva (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Guerra (1998), ainda inclui como parâmetros da erosividade, o momento e a energia cinética. Ambos concordam que o total de chuva (mensal ou anual) é pouco significativo na erosão dos solos.

A intensidade, como já foi dito, é o parâmetro mais importante para prever as perdas de chuva, pois quanto maior a intensidade e o tempo da precipitação, maior será o escoamento superficial.

A frequência é outro fator relevante nas taxas de perda do solo. Um intervalo menor entre as precipitações aumenta a umidade do solo, portanto ele perde sua capacidade de infiltração e armazenamento de água, que começa a escoar, e dependendo das

características do solo haverá maior ou menos perda deste. Mas em longos períodos sem chuva, a vegetação sofre por falta de umidade, reduzindo a proteção natural do solo. Assim, a perda de solo pelo impacto das gotas de chuva é elevada.

Todos os parâmetros citados, de menor ou maior importância, já foram utilizados em vários estudos, e Guerra (1998) ressalta que eles devem ser considerados em conjunto com os demais fatores que afetam a erosão.

2.5.2. Erodibilidade

A erodibilidade de um solo é explicada pela sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, que é recíproca da sua resistência à mesma (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Segundo Wischmeier e Smith (1962) *apud* Pereira (2000), a suscetibilidade de um solo ao processo erosivo é expressa pela sua erodibilidade e as propriedades do solo estão diretamente ligadas a ela.

As propriedades do solo, juntamente com outros fatores controladores da erosão, definem a maior ou menor perda de solo devido ao processo erosivo. Para Bertoni e Lombardi Neto(1990), as propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são:

- As que afetam a velocidade da infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção da água.
- As que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e as forças de transporte da chuva e da enxurrada.

Já Guerra (1998) define essas características da seguinte forma: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e o pH do solo. Estas propriedades agem de maneira distinta no processo erosivo, mas estão todas interligadas, além disso, são dependentes da ação do tempo, não são estáticas.

2.5.2.1. Textura

A textura constitui a fase mineral sólida do solo, mede em porcentagem a proporção de argila, silte e areia e tem sido usada como sinônimo de granulometria (Prado, 1991).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), a textura, ou seja, o tamanho das partículas influi na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Por exemplo,

um solo arenoso em uma chuva fraca, absorve quase toda a água e há pouco arraste das partículas, mas uma chuva forte arrasta grande quantidade de material. Segundo Guerra (1998) é importante reconhecer a influência das frações de areia silte e argila em conjunto com outras propriedades, pois elas são afetadas por outras propriedades do solo como a matéria- orgânica.

A textura afeta a erosão, porque a granulometria das frações são diferentes, algumas são mais fáceis de serem arrastadas que outras como pode ser visto no quadro 2:

QUADRO 2: Escala textural americana

<i>Tipo de fração</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>
Areia grossa	De 2,0 a 0,2mm
Areia fina	De 0,2 a 0,053mm
Silte	De 0,053 a 0,002mm
Argila	Menos de 0,002mm

FONTE: Prado (1991)

Estudos comprovam que solos mais siltosos tem maior suscetibilidade à erosão. As argilas às vezes dificultam a infiltração, mas são difíceis de serem removidas. Podemos notar isso através das diferentes texturas e respectivas classes texturais apresentadas por Prado (1991), baseado na classificação textural americana e da Embrapa.

- Textura arenosa: compreende classes texturais areia e areia franca.
- Textura média: compreende as composições granulométricas com menos de 35% de argila, mais de 15% de areia, excluídas as classes areia e areia franca.
- Textura argilosa: compreende composições granulométricas com teor de argila superior a 60%.
- Textura siltosa: compreende composições granulométricas com teor de argila inferior a 35% e menos de 15% de areia.

2.5.2.2. Densidade aparente

A densidade aparente se refere ao grau de compactação dos solos. Ela está relacionada com o teor de matéria orgânica, isto é, à medida que o teor de matéria orgânica diminui, a probabilidade dos agregados se romperem aumenta surgindo as crostas superficiais e a compactação do solo causadas pelo impacto das gotas de chuva.

De acordo com Guerra (1998), a densidade aparente pode aumentar sob várias circunstâncias, sendo a principal causa a agricultura, através das práticas agrícolas inadequadas e do uso intensivo do maquinário.

2.5.2.3. Porosidade

A porosidade é a capacidade do solo de infiltrar água. Ela está relacionada de maneira inversa com a densidade aparente, pois, se a densidade aumenta, a porosidade diminui, aumentando o escoamento superficial.

A porosidade, assim como a densidade aparente, varia de acordo com a estrutura, a textura e o teor de matéria – orgânica do solo (Costa, 1991). O espaço poroso do solo é ocupado pela água e pelo ar.

Um solo ideal, segundo Azambuja (1996), deve apresentar alta porosidade total, ou seja, metade de macroporos e a outra metade de microporos. Os macroporos permitem maior aeração do solo, maior permeabilidade e evaporação mais rápida da água do solo. Já os microporos são responsáveis pela retenção da umidade no solo e a gradual liberação desta para as plantas.

2.5.2.4. Estrutura do solo

Em primeiro lugar, a matéria-orgânica influencia a estabilidade dos agregados, assim atua sobre a estrutura do solo. Segundo, a propriedade físico-química da argila faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). As propriedades da matéria-orgânica na estabilidade dos agregados reduzem a erosão pelo efeito de coesão das partículas dos agregados, por causa da decomposição pelos microorganismos.

De acordo com Costa (1991), por estrutura do solo entende-se a característica física do solo expressa pelo tamanho, forma e arranjo das partículas, considerando-se não apenas

as frações de areia, argila e silte, mas também as frações compostas, isto é, os agregados estruturais. Eles são formados pelas frações de silte, areia e argila e são separados por superfícies de fraqueza.

A estrutura, ou seja, o modo como as partículas se arranjam, é também importante na definição da quantidade de solo arrastado. A maior estabilidade dos agregados diminui a erosão e a enxurrada.

O arranjo das partículas pode ser definido em termos de tipo, classe e grau de desenvolvimento. A respeito dos tipos ela pode ser laminar, prismática, poliédrica ou granular. As estruturas em bloco e granular são muito parecidas, por isso é importante discernir as duas. Na estrutura granular, a forma e o aspecto são arredondados, mas apresenta pontos de contato. Na estrutura em blocos, as superfícies planas ou ligeiramente curvas estão em contato com as vizinhas. A estrutura granular é subdividida em: estrutura em grumos e a estrutura granular, propriamente dita. O que as diferencia é a porosidade, a primeira é muito porosa e a segunda é pouco porosa.

As classes são definidas pelo tamanho da estrutura, que pode ser: pequena, muito pequena, média, grande e muito grande. Já o grau de desenvolvimento refere-se às condições de coesão dentro e fora dos agregados.

2.5.2.5. Teor de matéria orgânica

A quantidade de matéria orgânica é de grande importância no controle da erosão, pois ela está ligada à estabilidade dos agregados, porque ajuda a agregar as frações de silte, areia e argila. E ainda, a matéria orgânica tem a capacidade de reter de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão (Bertoni e Lombardi, 1990).

A formação da matéria orgânica em um solo depende do tipo de fauna e flora onde se encontra. Uma boa parte dela é formada por raízes e microorganismos, juntamente com os minerais, que contribuem na formação do húmus-argila (Guerra, 1998).

As taxas de erodibilidade dos solos vão depender do teor de matéria-orgânica e da estabilidade dos agregados, o que nos leva a crer que a maior estabilidade dos agregados reduz sua erodibilidade, pois facilita a porosidade, aumentando as taxas de infiltração.

Além disso, a porosidade eleva a resistência do solo ao impacto das gotas de chuva, reduzindo o salpicamento e o selamento superficial.

Nos solos argilosos a matéria orgânica melhora as condições de arejamento e retenção de água. Já nos solos arenosos, ela firma a estrutura reduzindo o tamanho dos macroporos e também aumentando a retenção de água.

As atividades humanas, principalmente a agricultura, provocam alterações no solo, e conseqüentemente na matéria orgânica. A redução nas taxas de matéria-orgânica eleva a intensidade dos processos erosivos.

Sendo a matéria orgânica uma das principais fontes de nitrogênio do solo, sua perda por lixiviação – uma vez que durante a chuva o solo perde altas quantidades de matéria-orgânica, limo e argila - reduz o desenvolvimento aéreo e radicular das plantas, reduzindo a cobertura vegetal e expondo ainda mais a superfície do solo. É o início do processo erosivo, de acordo com Monegati (1991).

2.5.3. Cobertura vegetal

Segundo Guerra (1998), a vegetação influi nos processos erosivos através dos efeitos espaciais da cobertura, dos efeitos na energia cinética da chuva e através do seu poder de formação do húmus, que por sua vez age no teor e estabilidade dos agregados. A densidade espacial da cobertura é fundamental na redução do impacto das gotas de chuva, interceptando-as e diminuindo a velocidade com a qual elas chegam, impedindo, dessa forma uma maior remoção do solo. Porém, isso depende do tipo de espécie vegetal encontrada no local.

Quando a chuva cai em uma área coberta com vegetação mais densa, a gota de chuva se divide e perde sua força de impacto. Em terreno descoberto, a gota de chuva aumenta a erosão por salpicamento. Considerando a velocidade terminal da gota de chuva, deve-se observar a altura da vegetação, pois a gota precisa de aproximadamente 8m de altura para adquirir a velocidade terminal, causando dessa maneira, o desagregamento das partículas do solo.

Segundo Guerra (1998) em áreas com menos de 70% de cobertura vegetal, o escoamento e a erosão ocorrem rapidamente, e geralmente são regiões semi-áridas, agrícolas ou de superpastoreio. A cobertura vegetal, além de influenciar na interceptação da

água da chuva, atua na produção de matéria orgânica, na formação de agregados e na infiltração, pois as raízes em decomposição formam canalículos no solo, aumentando a porosidade e conseqüentemente, todos esses eventos, diminuem a erosão.

A cobertura vegetal é a defesa natural do solo contra a erosão. Bertoni e Lombardi Neto (1990), Galetti (1984) e Monegati (1991), em uma síntese, enumeram os benefícios da cobertura vegetal da seguinte maneira:

- *Proteção direta contra as gotas de chuva.* A cobertura vegetal absorve a energia da gota de chuva antes que ela caia no solo e cause a desagregação das partículas e o selamento superficial. Esses efeitos são evitados pela cobertura vegetal verde, morta ou palha. A cobertura morta é eficiente dependendo da quantidade presente, da distribuição sobre o terreno e do tempo de permanência. Estes aspectos variam com o tipo de planta e do manejo utilizado. As plantas baixas e densas são mais eficientes que as altas e menos densas, pois além de cobrir mais rapidamente o solo elas impedem que algumas gotas não golpeiem o solo diretamente.
- *Decomposição das raízes das plantas.* Ao se decompor, as raízes das plantas formam canalículos no solo aumentando sua capacidade de infiltração da água. Por isso, plantas com raízes densas e ramificadas são eficientes para segurar o solo e impedir que ele seja removido pela erosão. As gramíneas e a aveia, por exemplo, agregam o solo e promovem uma cobertura do solo bastante eficiente. Já as leguminosas, possuem raiz pivotante e profundas, e assim como as gramíneas, a decomposição da raiz forma canalículos mesmo em solos muito adensados, por onde a água da chuva chega com mais facilidade.
- *Melhoramento da estrutura do solo, pela matéria-orgânica.* Quanto mais matéria-orgânica existir no solo, melhor será sua estrutura e sua retenção de água da chuva. Uma boa qualidade estrutural significa uma boa qualidade de espaço poroso e maior infiltração que, conseqüentemente, diminui do escoamento superficial.
- *Diminuição do escoamento superficial da enxurrada.* A cobertura vegetal (verde e morta) forma obstáculos na superfície do solo, influencia a redução

da velocidade do escoamento da água da enxurrada, aumentando sua infiltração (Monegati, 1991).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), as diversas coberturas vegetais proporcionam diferentes taxas de perda de solo e de água, como pode ser visto no quadro 3.

QUADRO 3: Ação de diferentes tipos de cobertura vegetal nas perdas de solo e água por erosão no Estado de São Paulo

<i>Tipos de uso</i>	<i>Perdas de solo (t/ha)</i>	<i>Perdas de água (% de chuva)</i>
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
algodoal	26,6	7,2

FONTE: Bertoni e Lombardi Neto (1999)

Esses dados experimentais nos mostram o quanto é necessário planejar o uso da terra para prevenir o processo erosivo ou mesmo recuperar as áreas já afetadas por ele.

2.5.4. Características das encostas

Outro fator controlador que influencia direta e intensamente a erosão diz respeito à topografia do terreno. As características da encosta contribuem para o processo erosivo através da declividade, do comprimento e da forma da rampa.

O grau de declividade influencia tanto a velocidade quanto do volume da enxurrada. Os processos de erosão em sulcos e entre sulcos são os mais afetados pela declividade das encostas, devido ao aumento da velocidade do escoamento.

O comprimento da rampa é aceito como um fator que influencia a erosão, segundo Guerra (1998), embora seja um parâmetro de difícil avaliação. Para Bertoni e Lombardi Neto (1990), o comprimento da rampa não é menos importante, pois à medida que o caminho percorrido aumenta, aumentam também o volume e a velocidade do escoamento.

O efeito do comprimento da rampa sobre os processos erosivos, apresentados por Bertoni (1972) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1990), levaram no a considerar este fator como um dos mais importantes agentes no processo erosivo. Segundo ele, associa-se freqüentemente a erosão apenas a declividade do terreno. Galeti (1973) e Bellinazzi Jr

(1992) também consideram o comprimento da rampa como um fator muito importante no estudo da erosão, uma vez que, o volume e a velocidade da enxurrada aumentam à medida que aumenta o comprimento da rampa, elevando o desagregamento e arraste de grande quantidade de partículas menores e também maiores do solo. No quadro 4, verifica-se que nos últimos 100m da rampa perde-se 51,4 t/ha, ou seja, quatro vezes mais do que nos primeiros 25m da encosta. Assim, pode-se concluir o quanto é importante para o controle da erosão, o parcelamento das encostas através do terraceamento, bacias de contenção e outras técnicas, que serão vistas mais adiante.

QUADRO 4: Perdas de solo em relação ao comprimento da rampa

<i>Comprimento da rampa</i>	<i>Média</i>	<i>Primeiros 25m</i>	<i>Segundos 25m</i>	<i>Terceiros 25m</i>	<i>Quartos 25m</i>
25	13,9	13,9	-	-	-
50	19,9	13,9	25,9	-	-
75	26,2	13,9	25,9	38,8	-
100	32,5	13,9	25,9	38,8	51,4

FONTE: Bertoni e Lombardi Neto (1990)

A forma das encostas é outro fator a ser mencionado em relação à topografia do terreno. A forma da encosta pode ser côncava, convexa, homogênea ou deformada. Encostas côncavo-convexas e topografia ondulada estão mais propícias a erosão.

As características das encostas devem ser consideradas juntamente com os outros fatores controladores do processo erosivo, como o tipo de solo e cobertura vegetal, principalmente.

2.6. Práticas conservacionistas

Nos últimos anos a erosão tem se tornado um problema que diz respeito a toda a sociedade, pois ela é um problema agrícola, social e econômico, e é uma preocupação constante de técnicos, autoridades e agricultores.

De acordo com Monegati (1991), em nível de uma microbacia ou de uma propriedade, ocorrem outros fatores que contribuem para intensificar os processos erosivos, como: sulcos abertos morro abaixo por veículos de transporte da produção, surgimento de nascentes ou intensificação das já existentes, por causa das chuvas, estradas construídas no sentido do aclave e pouca cobertura vegetal.

As práticas conservacionistas são procedimentos ou trabalhos utilizados para manter o solo produtivo (Galeti, 1973). Elas implicam na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, de acordo com Guerra (1998). Já para Bertoni e Lombardi Neto (1990), as práticas conservacionistas são técnicas usadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo.

Existe uma grande quantidade de práticas conservacionistas e a escolha de uma delas depende do objetivo, que pode ser a redução do escoamento e o aumento da capacidade de infiltração por exemplo.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1990), a aplicação de uma prática apenas resolve parcialmente o problema. Assim, para obter melhores resultados, o ideal é aplicá-los simultaneamente. Mas Guerra (1998) e Galeti (1987), a aplicação de apenas uma prática conservacionista é suficiente para reduzir a erosão a níveis aceitáveis, considerando o objetivo, como já foi dito, e as condições naturais e uso do solo.

As práticas conservacionistas são divididas em:

- Práticas vegetativas, através da própria vegetação.
- Práticas mecânicas, que são as estruturas feitas pelo homem.
- Práticas edáficas, modificando-se o modo de usar o solo.

A respeito da conservação do solo, Bertoni e Lombardi (1998), afirmam que:

A conservação do solo não se reduz à simples aplicação de um número determinado de práticas: é todo um sistema de manejo do solo que assegura a obtenção de maiores lucros possíveis sem a redução da produtividade do terreno.

As práticas conservacionistas adequadas aumentam a renda líquida/ha do produtor, que vai crescendo ao longo dos anos. Nas pequenas propriedades a conservação dos solos tem um papel muito importante, pois a terra, em grande parte é o meio de produção mais

escasso, de acordo com Monegati (1991). Por isso, para que o pequeno produtor continue suas atividades, a execução de práticas conservacionistas e o manejo do solo são vitais.

2.6.1. Práticas vegetativas

A utilização racional da vegetação para recobrir e travar o solo é um dos princípios básicos de sua conservação.

As práticas vegetativas são aquelas em que se utiliza a vegetação para proteger o solo, principalmente quando a erosão é provocada pela chuva ou pelo vento. Essas práticas podem ser feitas nas roças, nos taludes das estradas, nos campos, quintais e nas cidades (Jucksch, 2003). Os principais tipos de práticas vegetativas são o florestamento e o reflorestamento, as pastagens e plantio de cobertura.

2.6.1.1. Florestamento e reflorestamento

É uma prática usada principalmente em terrenos muito inclinados, nas margens dos córregos, rios e lagos. De acordo com Jucksch (2003), essa prática é utilizada nessas áreas porque elas são Áreas de Preservação Permanente (APP's) e se elas foram desmatadas, é uma obrigação a reconstrução da vegetação, para evitar e conter a erosão e assoreamento dos rios.

O reflorestamento ciliar é usado para a proteção das margens dos rios, empregando espécies arbóreas que forneçam frutos comestíveis para os peixes e também é usado nas cabeceiras e barrancos.

As principais espécies de essências nativas são a Cássia imperial, Sibipuruna, Tamarindo, Ipê roxo, Felícia, Oiti, Quaresma roxa, Pau-brasil etc, além do eucalipto e pinus. O reflorestamento feito com eucalipto, ou outro tipo de floresta, caracteriza um tipo de mata onde praticamente não existe erosão, isso porque as árvores protegem o solo ao nível da copada, interceptando as gotas de chuva; ao nível da superfície, onde a serrapilheira amortece as gotas; e no interior do solo, onde aumenta a porosidade, elevando a capacidade de infiltração.

2.6.1.2. Pastagens

A pastagem bem manejada e bem conduzida oferece uma boa proteção contra a erosão, devido a sua alta densidade.

Um problema com a pastagem é a falta de cuidado com seu manejo, pois o agricultor não a considera como uma cultura. Quando a terra não serve mais para outras culturas ela é deixada para a pastagem e normalmente a terra está pobre, seca, esburacada, assim a cultura não consegue cobrir o solo, por isso a erosão ocorre severamente (Galeti, 1987).

Ela pode ser formada por gramíneas, que são as mais utilizadas, ou por leguminosas. As gramíneas mais utilizadas são: o Capim elefante, Tifton, Andropogon e vários tipos de Braquiária. As leguminosas são a leucena, guandu, mucuna, etc.

2.6.1.3. Plantio de cobertura

O plantio de cobertura reduz a erosão e melhora as condições do terreno na época das chuvas e podem estar nas entrelinhas das culturas perenes (café, pomares, etc) ou com culturas anuais (mamona, milho, etc), na ocasião da última capina ou cultivo. Após a colheita, estas espécies devem ser roçadas ou acamadas, deixando apodrecer a massa verde sobre o terreno, até ser feito seu enterrio.

As plantas de cobertura evitam o impacto direto das gotas de chuva, promovem o aumento da infiltração e redução do escoamento superficial, e ainda possibilitam a redução do revolvimento do solo, evitam ou reduzem significativamente a erosão e acumulam matéria-orgânica (Monegati, 1991). Isso ocorre em função de sua rapidez de cobertura do solo, tempo de cobertura, volume da massa verde e relação de carbono/nitrogênio, e os diferentes sistemas de manejo que elas possibilitam, determinam efeitos diferenciados em relação ao acúmulo de matéria-orgânica.

No caso do consórcio de plantas de cobertura com outras culturas, as espécies utilizadas são as leguminosas, como feijão-de-porco e mucuna, que cobrem rapidamente o solo, ou a crotolária, caupi, guandu e sesbanias, que tem o desenvolvimento inicial lento. Todas essas espécies são plantas de verão. Mas deve-se estar atento para que elas não venham causar problemas para a cultura principal (Jucksch, 2003).

2.6.1.4. Usar coberturas em faixas

Consiste na disposição das culturas em faixas de largura variável, de maneira que a cada ano se alternem as plantas que ofereçam pouca proteção ao solo com outras de crescimento mais denso. Essa prática se caracteriza pela distribuição das culturas em faixas niveladas com o objetivo de reduzir a velocidade das águas.

O cultivo em faixas pode ser realizado com as culturas comuns, como feijão e milho ou outras menos densas, com as mais densas. É a prática mais efetiva quando associada a outras práticas de conservação do solo.

Ela é usada em áreas de relevo ondulado para plano e serve para proteger o solo tanto da erosão causada pela água, quanto da erosão causada pelo vento (Jucksch, 2003).

2.6.2. Práticas mecânicas

As práticas mecânicas são utilizadas quando se recorre a estruturas artificiais, construídas pelo homem, através da movimentação adequada do solo. Exemplos de práticas mecânicas são: o preparo e plantio em contorno, terraceamento e bacias de captação da água pluvial proveniente de estradas.

2.6.2.1. Plantio em contorno

É uma prática muito simples de controle da erosão e com conseqüente conservação do solo e da água. Tanto as culturas perenes como as pastagens e reflorestamento devem ser implantadas e conduzidas em nível ou contorno

Essa prática deve ser aplicada junto com outras práticas, principalmente em declives maiores que 4%.

2.6.2.2. Terraceamento

É a prática de construção de terraços. O terraço é um conjunto de técnicas formado pela combinação de um canal (valeta) com um camalhão (monte de terra ou dique) construídos a intervalos dimensionados, nos sentido transversal ao declive, ou seja, feito em nível, cortando o declive (Pires, 2003).

O terraço deve ser bem planejado, pois se for mal construído, ele pode se romper e a água armazenada em grande quantidade terá maior capacidade de provocar erosão em sulcos e até voçorocas, podendo levar à inutilização da área.

O terracamento está diretamente ligado ao tipo de solo, declividade do terreno e quantidade de chuva. Quanto maior o comprimento da encosta, maior será a velocidade da enxurrada e sua energia capaz de arrastar o solo, promovendo a erosão. Dessa maneira,, para se construir o terraço, deve-se parcelar uma rampa comprida, mais sujeita a erosão, em várias rampas menores, o que diminuirá o processo erosivo. Na fotografia 2, pode-se visualizar um terraço construído pelo SAAE – Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto de Viçosa, no período chuvoso de 2001/2002, para conter as perdas de água e conservar os solos.

FOTOGRAFIA 2: Vista geral de terraços em encostas



FONTE: SAAE Viçosa

A função do terraço é reduzir a concentração e a velocidade da enxurrada, dando à água tempo para se infiltrar e reduzir sua capacidade de causar erosão. O terraço pode reduzir a perda do solo em até 80% e da água em até 100%, de acordo com Pires (2003), já que esta é a prática mais eficiente de contenção da erosão.

O tipo de solo pode determinar o tipo de terraço a ser construído, que pode ser terraço em nível, com gradiente, paralelo, tipo murundu ,embutido, tipo patamar, tipo camalhão, etc.

2.6.2.3. Bacias de captação e retenção de águas pluviais provenientes de estradas

Antes de mais nada, é importante explicar a importância das estradas, no caso da área de estudo, a maior parte das estradas estão no meio rural. As estradas rurais são de fundamental importância para o escoamento da produção agrícola, para o acesso da população rural aos mercados e serviços essenciais. Por isso a manutenção de sua infraestrutura é primordial, caso contrário há um desestímulo à atividade agrícola, isolamento social e econômico dos agricultores, gerando assim, aumento do êxodo rural (Bellinazzi Jr, 1992; Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, 2002).

A maioria das estradas rurais é aberta pelos próprios proprietários das terras, baseando-se apenas em sua estrutura fundiária e nas facilidades do terreno (Arruda, 1997). Essa falta de planejamento causa sérios danos ao longo das estradas, aumentando os custos de manutenção e execução.

As estradas rurais têm muitos problemas por causa do manejo inadequado das águas e também porque não há um planejamento conservacionista. Com isso há um enorme desperdício de água. Aproveitar racionalmente a água reduz sua perda por enxurrada e dá as áreas trabalhadas segurança e conservação permanente.

A construção das estradas elimina a cobertura vegetal e impermeabiliza o solo, seja pela compactação ou pelo asfaltamento, o que constitui um forte fator para contribuir com o processo erosivo. Impermeabilizando a faixa central e acumulando água nas margens das estradas, direcionando-as morro abaixo, concentra-se grande força destruidora e arrastadora do solo, acarretando em problemas na manutenção, prejudicando acostamentos, taludes de cortes e aterros e à própria pista, além de prejuízos às áreas adjacentes. Por isso é necessário o combate à erosão com medidas preventivas assim que se inicie a construção das estradas (Politano, 1989).

Como as águas pluviais são a principal causa da erosão nas estradas, é importante captar e cuidar dessas águas. Além de diminuir a erosão, as técnicas utilizadas para a captação de águas pluviais favorecem o lençol freático, alimentando as fontes e nascentes

(Bellinazzi Jr, 1992). As águas que escorrem pela superfície, normalmente causam erosão, mas a água que se infiltra, em função das características e propriedades de cada solo, vão penetrar através de suas camadas e chegar até o lençol freático.

As bacias de captação e retenção da água pluvial têm a finalidade de captar, como o próprio nome diz as águas da chuva ao longo das estradas, como pode ser visto na fotografia 3, as bacias de captação foram construídas em algumas áreas da BHRSB, como parte de uma série de práticas mecânicas de conservação do solo. Essas são locadas em função do declive, da área de exposição, do tipo de solo e da precipitação local. Elas devem ser construídas, de acordo com Pires (2003), após o término do período chuvoso e podem ser construídas em série ou em paralelo.

FOTOGRAFIA 3: Bacias de captação da água da chuva ao longo de estradas rurais



FONTE: SAAE Viçosa.

A declividade média da estrada determina a velocidade da enxurrada, o que determina o espaçamento entre as bacias, para que a contenção do processo seja mais efetivo, esse fator é essencial. As bacias são recomendadas em estradas com declividade até 20%, e de acordo com Bellinazzi Jr (1992), acima disso, sua construção é dispendiosa e compromete a segurança da estrutura. Em declives com mais de 10% são utilizadas bacias em paralelo, acima de 10%, recomenda-se as bacias em série (Pires, 2003).

2.6.3. Práticas edáficas

As práticas edáficas consistem nas modificações no sistema de cultivo, para controle da erosão e melhora da fertilidade do solo.

As principais práticas edáficas são: o controle das queimadas, adubação verde, adubação orgânica, adubação química e calagem. Neste estudo, serão tratadas apenas o controle das queimadas e da adubação verde, uma vez que as demais práticas estão mais relacionadas com a fertilidade do solo que com o controle da erosão. Mesmo que estas duas variáveis estejam ligadas (fertilidade do solo e erosão) neste estudo este não é o ponto central.

2.6.3.1. Controle das queimadas

As queimadas são o meio mais eficiente e barato de limpar a área cultivada, seja pastagens ou outro tipo de cultura, onde se queimam os restos.

De acordo com Galeti (1973) existem dois tipos principais de queimadas:

- Queimada anual, onde se queimam os restos de culturas, palhas, capim, etc.
- Queimada de desbravamento ou para abertura de novas glebas.

Quando se queima, simplesmente se destrói a matéria-orgânica do solo, privando-o dos benefícios que ela traz. Nenhum tipo de queimada traz benefícios para o solo, mas as queimadas anuais são mais prejudiciais e deveriam ser evitadas.

2.6.3.2. Adubação verde

É a incorporação ao solo de plantas, ou parte delas, para melhorá-lo. A adubação verde caracteriza-se e atinge por inteiro seus objetivos quando a cultura é uma leguminosa ou gramínea e a incorporação é total.

As leguminosas são plantas protetoras, que protegem o solo da erosão e o melhoram, enquanto as gramíneas as plantas melhoradoras, pois fixam o nitrogênio no solo, além de protegerem o solo.

Uma boa cobertura realiza um controle muito bom da erosão, pois diminui o impacto da gota de chuva e quando as plantas são incorporadas ao solo elas aumentam a porosidade.

2.7. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento

A bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento das componentes e da dinâmica de inter-relações referentes ao planejamento ambiental e a gestão do desenvolvimento, isso é um consenso no meio científico, segundo Schiavetti e Camargo (2002). Quando se fala em bacia hidrográfica como uma unidade ambiental adequada, isso se deve ao fato de, dentro dessa unidade delimitada geograficamente e topograficamente, serem encontrados todos os agentes biológicos, físicos, químicos e antropológicos atuantes em sua dinâmica.

Uma microbacia pode ser definida como uma área delimitada topograficamente, de modo que as suas bordas separem as águas de um lado e de outro e que seja drenada por um único tributário perene, de acordo com Sparoveck (1999), como pode ser visto na figura 2.

A unidade ideal para a programação do uso e manejo dos recursos naturais renováveis é a bacia hidrográfica, que é definida como a região de contribuição para um determinado curso d'água (Assad et al, 1993 *apud* Faria, 2001). A delimitação da microbacia hidrográfica engloba a área de drenagem dos principais canais fluviais de fluxo permanente contendo os afluentes do rio com maior expressão regional. A possibilidade de definição relativamente precisa das formas e causas da erosão do solo, considerando a escala de bacia hidrográfica pode ser considerada uma atitude importante nas ações conservacionistas. Sendo a bacia hidrográfica o lugar mais favorável para a análise e controle de problemas ambientais, pode-se dizer que quando as formas de erosão e a sua distribuição estiverem relacionadas à sua causa, ao seu impacto e à forma de seu controle, as recomendações para a área podem ser gerais e válidas para toda a unidade de planejamento. Quando as formas de erosão e sua distribuição são muito variáveis, e as estratégias de controle variam, haverá maior probabilidade de sucesso na adoção das práticas conservacionistas se a área for dividida em partes mais homogêneas (Sparovek, 1999).

2.8. Áreas suscetíveis à erosão na B.H.R.S.B.

Todo benefício que o homem extrai da natureza traz seus malefícios, de modo que toda a ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto (positivo e negativo), gerando alterações em diferentes intensidades, até mesmo com danos irreversíveis (Ross, 1997).

Para estabelecer as áreas suscetíveis na BHRSB foram consideradas: a rede de drenagem, a declividade, o tipo de solo e o seu uso e ocupação do solo. De acordo com Oliveira e Robaina (1979), as áreas suscetíveis a risco são aquelas com declividade superior a 12%, onde os processos erosivos da vertente são mais acentuados, com necessidade de corte para a ocupação, portanto sujeitas a processos de movimento de massas. Essas áreas representam um grave problema, resultado da complexa interação entre o homem e os recursos naturais.

No caso da BHRSB e da cidade de Viçosa, o relevo íngreme, a intensa ocupação das encostas na área urbana, a substituição da vegetação nativa facilitaram os processos de movimento de massas, principalmente em épocas de intensa pluviosidade.

3. METODOLOGIA

3.1. Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG's

A principal característica de um SIG é a sua habilidade de fornecer respostas a consultas geográficas Johnston (1998) *apud* Becker (2001) onde é de grande importância à localização precisa de um objeto em relação a outras entidades. Por isso em estudos onde se faz o uso do SIG é importante que os dados sejam georreferenciados de acordo com um sistema de coordenadas (UTM, latitude-longitude, graus, etc).

Um SIG produz os resultados dos dados espaciais, registrados em forma numérica, sob a forma de tabelas e mapas, que podem representar, por exemplo, a hidrografia, estradas, topografia do terreno ou uso do solo.

Os dados espaciais podem ser obtidos de várias formas, como:

- Em trabalho de campo, e esses dados são introduzidos no computador pelo teclado;

- Através de dados existentes em mapas ou fotografias aéreas, digitalizados em mesa digitalizadora,
- Através de dados gerados ou capturados em outros sistemas ou descarregados diretamente no computador, como GPS.

Esses dados podem ter o formato *raster* ou vetorial. É importante diferenciá-los, pois a escolha do formato depende da aplicação que se pretende dar aos dados e do objetivo do estudo. Em condições ideais, um SIG deverá ser capaz de transmitir dados entre todas as estruturas de dados possíveis.

O formato *raster* representa as feições utilizando pixels ou células, que são unidades discretas para identificar um objeto e contem uma topologia implícita. Ou seja, os pixels são definidos pela resolução adotada e cada um deles recebe um valor numérico que pode ser um atributo qualitativo ou quantitativo. O formato vetorial representa as feições por pontos, linhas e polígonos, armazenados em um arquivo ou banco de dados, ligados a cada feição por um número identificador. O formato vetorial define o limite dos objetos representados, o que exige a definição de suas propriedades espaciais tais como conexão, proximidade, contigüidade e pertinência (Silva, 2001).

3.2. O uso do SIG no planejamento ambiental

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo nos remota a noção de espaço. Dessa maneira pressupõe-se que bacia hidrográfica está determinada ou associada tanto à posição de entidades no espaço quanto à sua posição relativa a outras entidades - objetos reais (Becker, 2002).

O SIG tem sido muito utilizado em estudos sobre ecologia e manejo de bacias hidrográficas, e de acordo com Faria (2001), o planejamento ambiental tem demonstrado uma procura crescente de técnicas de geoprocessamento em função de sua complexidade e necessidade de geração de informação, em um curto espaço de tempo.

Os benefícios do SIG para a gestão e manejo de bacias hidrográficas estão relacionadas à sua capacidade de armazenar, manipular e visualizar uma grande quantidade de dados.

O processamento de dados através do SIG significa o emprego de termos sócio-econômicos relevantes, através de medidas diretas ou indiretas. Daí surgem expressões

territoriais como “unidades dinâmicas de uso da terra”, “áreas críticas”, “zonas de influência”, etc. Conseqüentemente, isso servirá na prestação de serviços para o planejamento geoeconômico, para a proteção ambiental e até na análise geopolítica, de acordo com Silva (2001).

Os procedimentos de geoprocessamento recomendáveis referem-se a levantamentos e diagnósticos de riscos, potenciais de uso dos recursos naturais, estimativas de impacto, etc. Estes procedimentos oferecem ao município o zoneamento de suas aptidões geoeconômicas, contribuindo para a construção dos planos diretores.

O uso da análise ambiental a nível municipal tem como objetivo definir a presença de fatores ambientais que contribuem para a melhoria da vida da população. As escalas usadas são de 1:50.000 para o município como um todo, e de 1:10.000 para a análise de problemas urbanos (Silva, 2001).

O geoprocessamento, entendido como um conjunto de técnicas utilizado na coleta e tratamento, manipulação e produção de informações, permite mostrar magnitude das áreas propícias a erosão do solo. De acordo com Silva (2001), o geoprocessamento é uma ferramenta excelente no estudo de problemas ambientais.

Por esta razão neste estudo, os dados serão tratados e manipulados no programa *Arcview*, que é uma ferramenta do geoprocessamento que permite a definição de áreas suscetíveis a erosão através do intercruzamento de mapas de uso e ocupação do solo, declividade e tipo de solos.

Alguns dados foram obtidos no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Solos – DPS/UFV, e outros foram obtidos através do Geominas (2002). Os dados estavam configurados para o seguinte sistema:

- UTM
- Zona 23
- DATUM – SAD 69
- Unidade em metros

Foram elaborados os mapas com a rede hidrográfica, mapa de solos, uso e ocupação, modelo de elevação e declividade do terreno.

A estrutura de pontos amostrais regularmente espaçados é um modelo criado pela interpolação de pontos irregularmente distribuídos. De acordo com Silva (1998) cartas de

declividade e extensão das encostas podem ser derivadas dessa estrutura e representam as variações geométricas das formas de relevo e permitem interferências quanto a presença e intensidade de atuação dos processos geomorfológicos.

A TIN (Triangular Irregular Network) permite o cálculo de algumas características importantes da superfície do terreno como a declividade, altitude e exposição das encostas.

Para a confecção do mapa de modelo digital de elevação foram utilizadas as feições: curvas de nível (20 em 20m), rede hidrográfica e limite da bacia. Para criar a TIN, foram seguidos os seguintes passos:

1. Criar a TIN

Após selecionar as feições, vá até o menu *Surface > Creat new TIN*. É importante lembrar de classificar as feições da seguinte maneira:

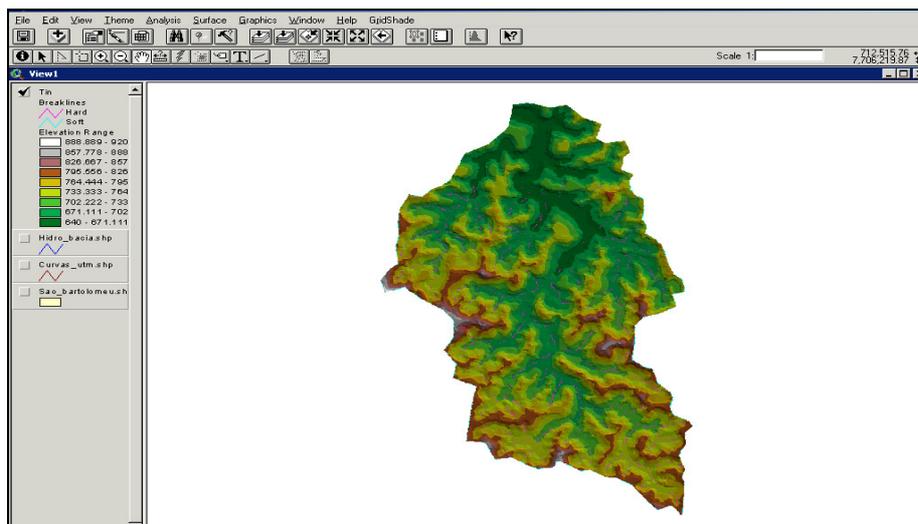
Hidrografia = *Hard Breaklines*

Curvas de nível = *Mass point*

Limite da área = *Soft Clip Poligons*

Após a interpolação dos pontos é formada a rede triangular de pontos, como pode ser visto na figura 3.

FIGURA 3: Exemplo de espacialização do modelo de elevação digital



Nesse passo ocorre a interpolação das feições, gerando uma malha triangular irregular, que chamamos de TIN.

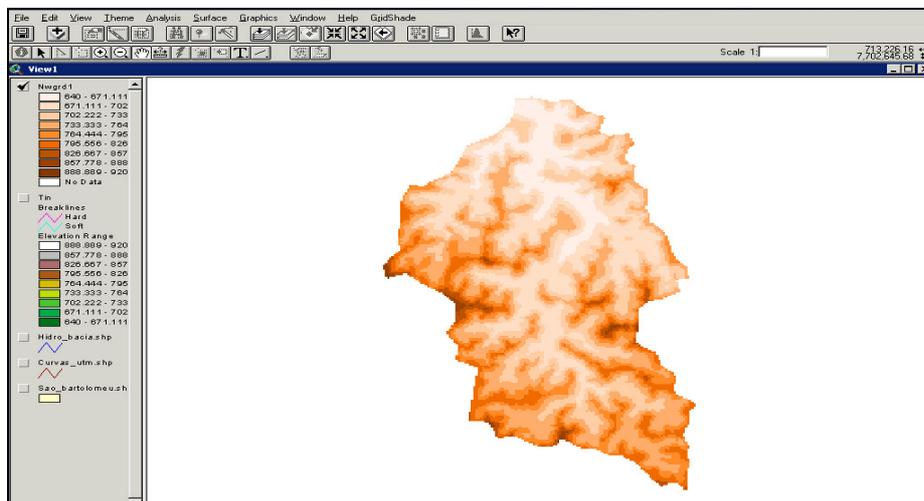
2. Transformar a TIN em Grid

A transformação do modelo digital de elevação deve ser feita quando se pretende gerar um mapa de declividade, como é o caso desse estudo.

Através do modelo digital de elevação foi possível confeccionar o mapa de declividade da área. Para isso foram seguidos os seguintes passos:

Vá até o menu Theme > Convert to Grid >

FIGURA 4: Exemplo de espacialização do Grid



3. Gerar o mapa de declividade

Depois de gerar o Grid, é possível obter a declividade do terreno e reclassificá-lo de acordo com as classes desejadas. Para isso, deve-se seguir este esquema:

No menu Surface > Derive Slope

Depois vá ao menu Analysis > reclassify. A partir desse comando é possível reclassificar a altitude da bacia de acordo com as classes desejadas.

No caso da bacia estudada, e de acordo com as classes sugeridas por Ross (1997), a reclassificação ficou da seguinte maneira:

QUADRO 5: Reclassificação da declividade da BHRSB

<i>Categorias</i>	<i>%</i>
1	6 - 12
2	12 - 20
3	20 - 30

O mapa de classes de declividade do terreno da BHRSB pode ser visto na figura 5, ele será a base do mapa de suscetibilidade junto com o mapa de uso e ocupação dos solos.

FIGURA 5: Classes de declividade do terreno da BHRSB

3.3. Geração do mapa de áreas susceptíveis a erosão na BHRSB

Depois de gerados os mapas de declividade e cobertura do solo, e identificadas as classes de fragilidade, graus de suscetibilidade do solo e graus de proteção da cobertura vegetal é o momento de intercruzar os dados para se obter as áreas susceptíveis a erosão. Assim a integração dos dados se dará da seguinte forma:

MAPA DE DECLIVIDADE + MAPA DE USO E OCUPAÇÃO + TIPOS DE SOLOS → MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

As classes de declividade são de extrema importância neste estudo, uma vez que o processo erosivo tende a ser mais expressivo em áreas com declive mais acentuado. No quadro 6, Ross (1997) as classifica da seguinte maneira:

QUADRO 6: Classes de fragilidade

<i>Fragilidade</i>	<i>Declividade</i>
Fraca (1)	De 6 a 12%
Média (2)	De 12 a 20%
Forte (3)	De 20 a 30%

FONTE: Ross (1997).

A suscetibilidade a erosão de um solo também é definida em função do tipo de solo, como pode ser visto a seguir, no quadro 7. As principais variáveis, relacionadas aos solos, que influenciam a erosão são a textura, profundidade e permeabilidade, de acordo com Faria (2001).

QUADRO 7: Grau de fragilidade dos tipos de solo

<i>Fragilidade</i>	<i>Tipos de solos</i>
Fraca (1)	Latossolo Vermelho Amarelo; Latossolo Vermelho Escuro – textura argilosa Nitossolos – textura argilosa
Média (2)	Argissolos – textura média argilosa Latossolo Vermelho Amarelo – textura média argilosa
Forte (3)	Cambissolos Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo (hidromórficos) Neossolos Latossolos – textura média a arenosa

FONTE: Ross (1997).

A última variável a ser tratada aqui, diz respeito ao uso e ocupação do solo, que segundo Ross (1997) estabelecem graus de proteção do terreno, como se pode observar no quadro 8, a seguir:

QUADRO 8: Graus de proteção do solo pela cobertura vegetal.

<i>Graus de proteção</i>	<i>Tipos de cobertura vegetal /uso do solo</i>
Fraca (1)	Áreas desmatadas Agricultura de ciclo curto e ciclo longo de baixa densidade
Médio (2)	Pastos, capoeiras Agricultura de ciclo longo de ocupação densa
Forte (3)	Florestas naturais Florestas cultivadas

FONTE: Ross (1997).

Resultados e discussão

A BHRSB tem cerca de 55,10 km² e o seu uso/ocupação está distribuído de acordo com o quadro 9. Essa distribuição foi feita com base nos dados obtidos através do mapa de uso e ocupação (figura 6), são importantes no momento de analisar o processo erosivo, pois ele está diretamente condicionado ao tipo de vegetação e uso dado ao solo.

QUADRO 9: Distribuição das classes de uso e ocupação do solo na BHRSB

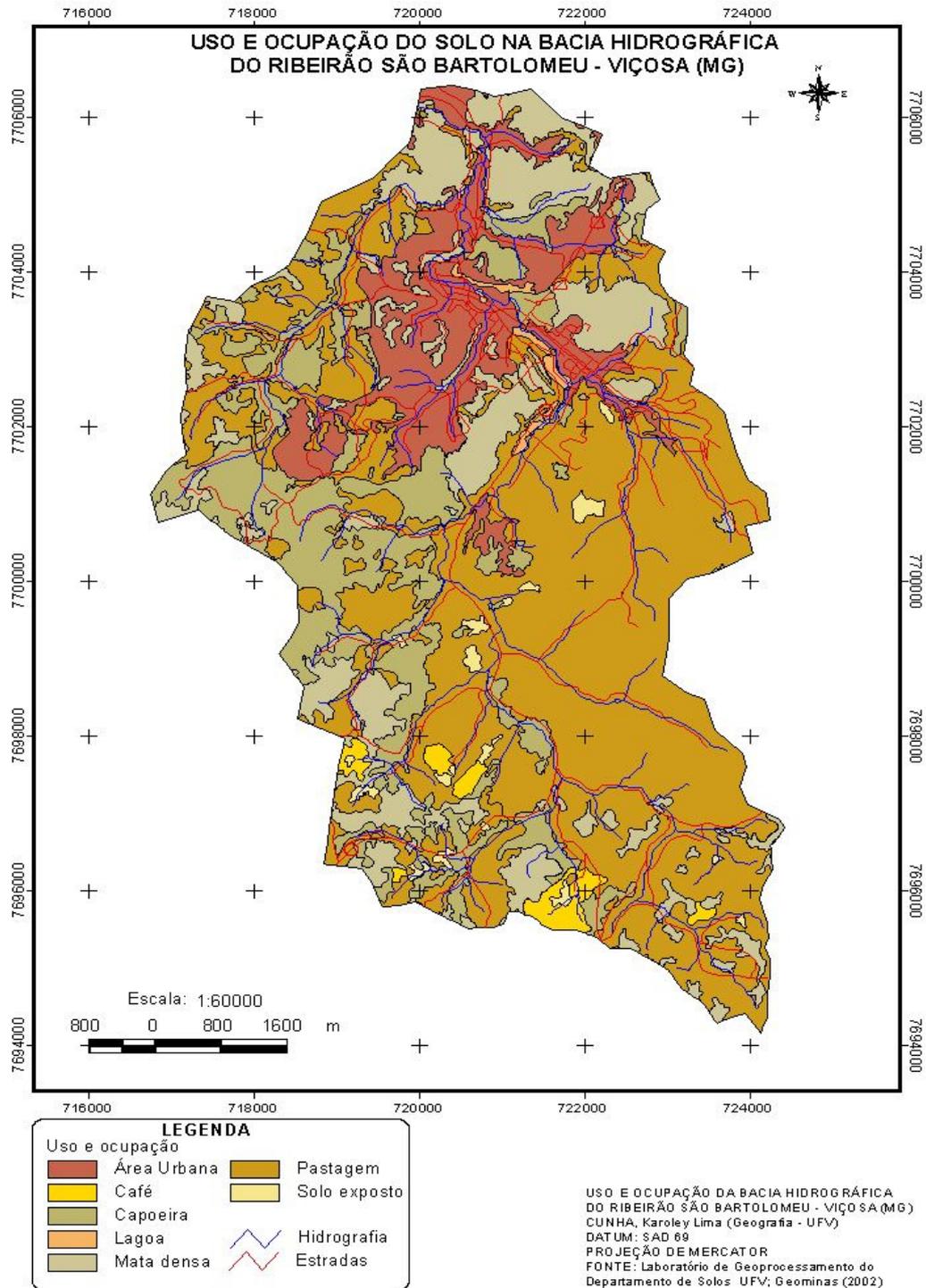
<i>Uso/ocupação do solo na BHRSB</i>	<i>% em Ha</i>
Área urbana	12,30
Café	1,5
Capoeira	17,26
Mata densa	16,4
Pastagens	52,0
Solo exposto	0,05

Após a identificação dos tipos de uso e ocupação eles foram reclassificados com base nos graus de proteção sugeridos por Ross (1997), como pode ser visto no quadro 10.

QUADRO 10: Graus de proteção do solo pelo uso e cobertura da BHRSB

<i>Graus de proteção</i>	<i>Tipos de cobertura vegetal / uso do solo</i>
Fraca (1)	Solo exposto Área urbana e Café
Médio (2)	Pastos, capoeiras
Forte (3)	Mata densa

FIGURA 6: Mapa de uso e ocupação do solo da B.H.R.S.B.



Cruzando os dados de declividade e uso do solo pode-se observar que a nova tabela ficaria da seguinte maneira:

QUADRO 11: Reagrupamento das variáveis

<i>Graus de proteção</i>	<i>Tipos de cobertura vegetal / uso do solo</i>	<i>Declividade</i>
Fraca (1)	Solo exposto Área urbana e Café	6 a 12%
Médio (2)	Pastos, capoeiras	12 a 20%
Forte (3)	Matas	20 a 30%

Após se cruzar os dados de declividade e uso/ocupação foi possível calcular a área de cada classe, de acordo com o quadro 12.

QUADRO 12: Distribuição do uso e ocupação do solo em Ha de acordo com a declividade do terreno

Uso e ocupação	Classe de Declividade 1 (de 6 a 12%)	% em Ha	
		Classe de Declividade 2 (de 12 a 20%)	Classe de Declividade 3 (de 20 a 30%)
Área Urbana	61,4%	33,52%	5%
Café	46,8%	51,9%	2,1%
Capoeira	45,5%	49%	5,6%
Lagoas	48,8%	53,2%	10,9%
Mata densa	42,5%	53,2%	4,25%
Pastagens	47,35%	47,76%	4,87%
Solo exposto	63,7%	35%	1,22%
Total	48%	46%	5,25%

Pode-se considerar que a maior parte da área da BHRSB tem graus de suscetibilidade a erosão de fraco a médio. Quando se cruzam as classes de uso/ocupação, com grau de proteção fraco e classes de fragilidade de grau forte, como é o caso da área urbana, temos uma pequena porcentagem: apenas 5% da área urbana em declividade de 20 a 30%. A área urbana se encontra em 64,1% sobre classes de declividade equivalente a 1 (de 6 a 12%), ou seja, um grau de declividade pouco suscetível à erosão. 33,5% da área urbana está situada em declividade de 12 a 20% .

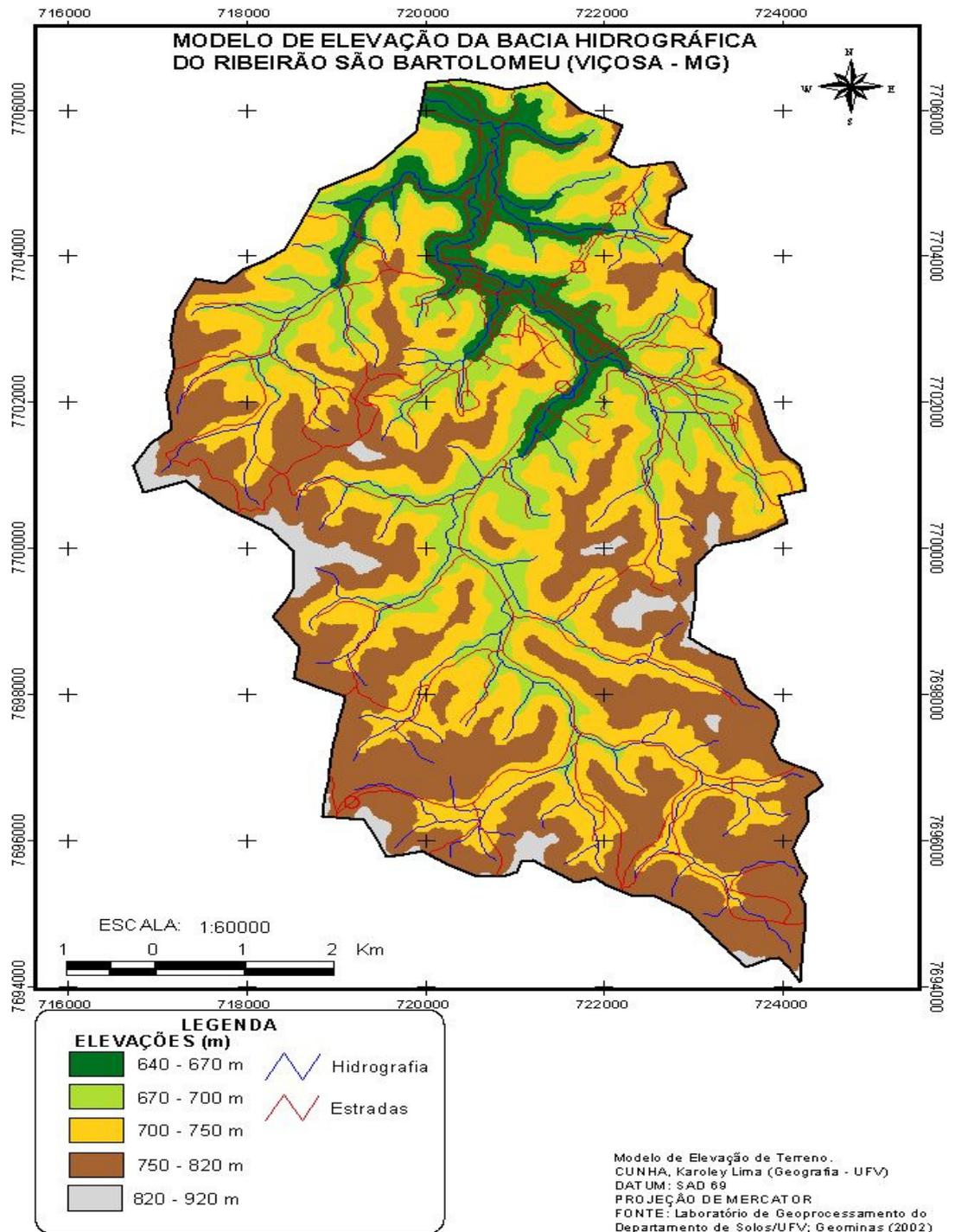
As pastagens ocupam cerca de 52% da área da bacia e cruzando com os dados de declividade temo 47,76% em área de risco médio. As áreas de solo exposto encontram-se em sua maior parte em áreas próximas das culturas de café e pastagens e em declividades entre 20 e 30%, o que pode sugerir que as pastagens mal cuidadas e as culturas permanentes levam a exaustão do solo, elevando sua capacidade de ser erodido.

Na falta do mapa de solos, a identificação dessas áreas suscetíveis à erosão pode ter sido pouco precisa. Porém é relevante considerar a ocorrência dos tipos de solos que ocorrem na área de estudo e fazer uma nova análise dos dados.

De acordo com os dados coletados através do Geominas (2002), a BHRSB se encontra sobre um grande domínio de solos denominados Latossolos.

A ocorrência de outros tipos de solos, em escalas menores, pode ser dada de acordo com a sua posição na paisagem, ou seja, de acordo com a altimetria, como pode ser visto no mapa de modelo de elevação (figura 7), onde as altitudes variam de 640 a 920 m. Nos topos de morros e encostas mais arredondadas predominam os Latossolos Vermelho Amarelo – LVA e em encostas mais declivosas predominam os Cambissolos. Nos terraços e leito maior encontram-se os argissolos e os solos Hidromórficos (Gleissolos), de acordo com Corrêa (1984).

FIGURA 7: Modelo Digital de Elevação do Terreno



Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (1999), o latossolo é caracterizado pelo horizonte B latossólico (Bw), bastante intemperizado; com formação de argila de baixa atividade (Tb), baixa capacidade de troca catiônica (CTC); cores vivas e boa agregação. São solos profundos, ácidos, bastante permeáveis e porosos.

Os argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt). São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. São de forte a moderadamente ácidos, o que é um fator que está associado ao processo erosivo, pois e aumenta a acidez do solo, ele tende a ser mais suscetível a erosão e está incluído na classe 2 de fragilidade do solo.

Os cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos. São encontrados na BHRSB em declividades com grau de fragilidade forte (de 20 a 30%).

O gleissolo compreende os solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo, ou a profundidades entre 50 e 125 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (gleisados ou não). São solos que ocasionalmente podem ter textura arenosa (areia ou areia franca) somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei de textura franco arenosa ou mais fina, que são frações do solo mais fáceis de serem arrastadas e por isso estão classificadas de acordo com Ross (1997), como um solo com grau de fragilidade médio (2).

O grau de fragilidade do solo depende do comprimento da rampa, quantidade de chuva, do tipo de cobertura vegetal e uso do solo. Deve-se considerar as características texturais e estruturais do solo, devido a possibilidade de ocorrência da erosão mesmo em solos muito estruturados como o latossolo. Essa situação ocorre com frequência nos latossolos, que apresentam uma estrutura granular de pequeno diâmetro e que podem se

tornar tão suscetíveis à erosão como um solo siltoso ou arenoso não estruturado. Embora profundos, estes solos passam a funcionar como rasos a partir do momento em que o escoamento superficial fica mais ativo.

Reclassificando as classes de solos para a bacia em questão, tendo como base a classificação de Ross (1997), tem-se as seguintes classes, como pode ser visto no quadro 13, a seguir:

QUADRO 13: Graus de fragilidade para os solos da BHRSB

<i>Fragilidade</i>	<i>Tipos de solos</i>
Fraca (1)	LVA
Média (2)	Argissolos
Forte (3)	Gleissolos e cambissolos

Como se pode notar o uso e a ocupação tem função primordial no processo erosivo. Dessa forma podemos concluir que, como cerca de 5,25% da bacia se encontra em áreas com declividade de 20 a 30%, ocupadas por área urbana, solo exposto, pastagens e plantações de café e em solos de fragilidade forte (3), predominantemente cambissolos, temos aí uma situação de **grau de suscetibilidade a erosão alto**.

Áreas em declividades classificadas como média (2), ocupam 46,7% da área da bacia e todas as classes de uso e ocupação estão inseridas aí. Nesse caso, o fator solo é de extrema importância. Podemos ter uma área de pastagem com de grau de proteção 2, com fragilidade 2 (declividade) e em latossolo ou argissolo (classe de fragilidade 2). Então, teremos aí **grau de suscetibilidade a erosão média**. Nesse caso, deve-se considerar o histórico de uso do solo, pois mesmo em solos com grau de fragilidade médio pode passar a ter um grau mais elevado devido a falta de cobertura vegetal, diminuição da matéria orgânica e aumento da acidez do solo.

No caso das áreas com **baixa suscetibilidade à erosão**, ou seja, declividade de 6 a 12% (fragilidade fraca -1), com cobertura de mata densa e capoeira e em latossolos ocorre em grande parte da bacia, porém, devido à ausência do mapa de solos não é possível quantificar essas informações. Isso porque, temos os terraços, onde a declividade é pequena e o tipo de solo é altamente frágil, como os argissolos e gleissolos.

Então teríamos para a BHRSB, o cruzamento dos dados de declividade, uso e ocupação e tipo de solo onde obteríamos as seguintes classes de suscetibilidade, de acordo com o quadro 14.

QUADRO 14: Graus de suscetibilidade a erosão na BHRSB

Declividade	Ocupacao	Solos	Suscetibilidade Fraca	Suscetibilidade Média	Suscetibilidade Alta
Fraca (1)	Fraca (1)	Fraca (1)	1,2,1	2,2,2	3,3,3
Média (2)	Média (2)	Média (2)	1,3,1	2,1,1	3,2,3
Forte (3)	Forte (3)	Forte (3)	2,3,1	2,3,3,	3,1,2
			3,2,1	1,1,3	2,1,3
			-,3,-		-,1,-

O mapa de suscetibilidade (figura 7) gerado é uma forma de visualizar a situação da bacia e nos mostrar que, apesar da área se encontrar num grau de suscetibilidade à erosão entre fraco e médio, predominantemente, não se deve descuidar dessas áreas, pois elas podem evoluir para um estado de degradação irreversível.

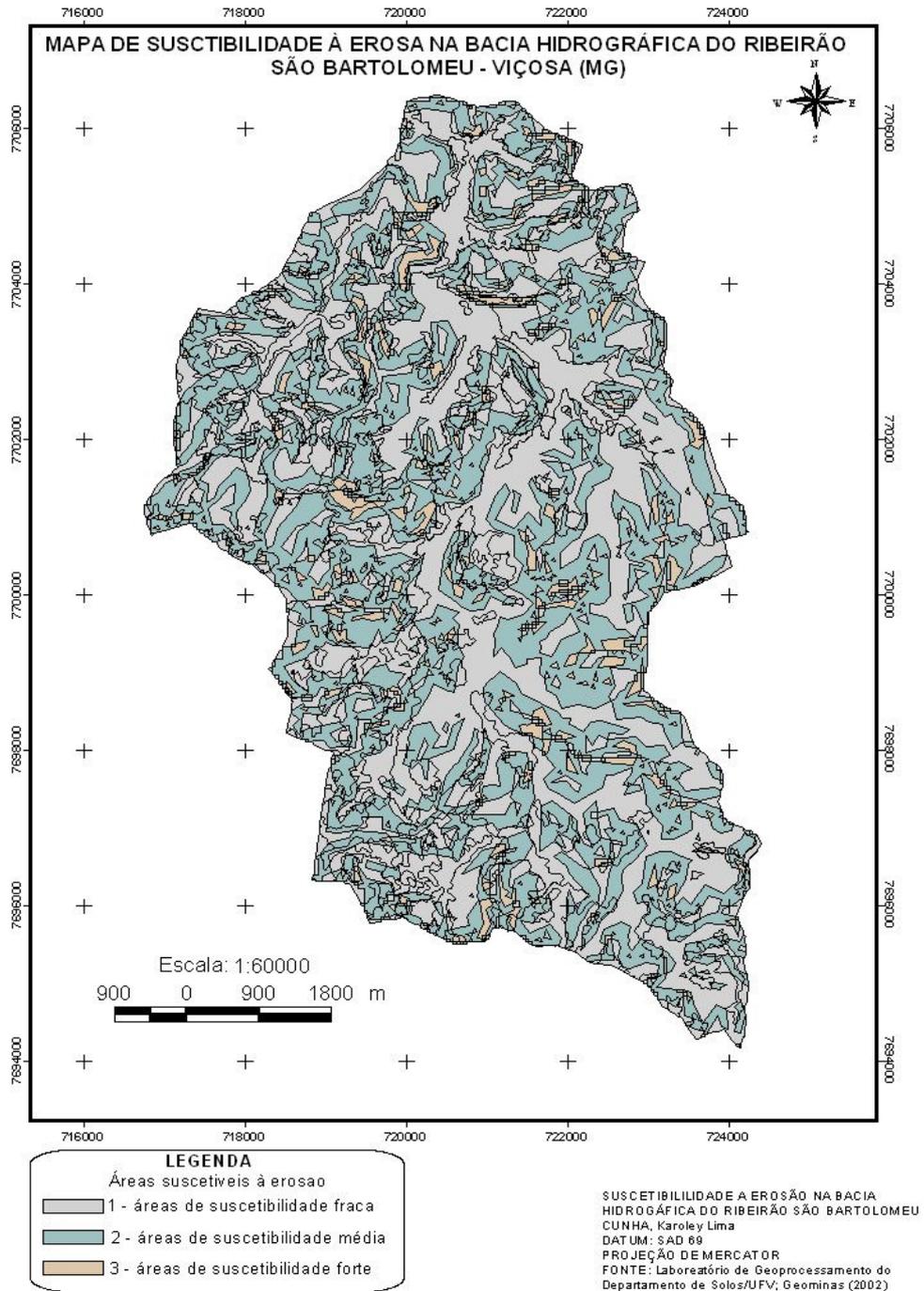
Na área urbana de Viçosa é comum, principalmente em períodos chuvosos, a ocorrência de eventos relacionados a movimentos de massa, devidos ao mau uso do solo. A área urbana do município tem se expandido de forma crescente, e a ocupação tem sido feita de forma irregular e sem planejamento, chegando dessa forma a ocupar áreas impróprias, acima de 30% de declividade. Pode-se notar que a área urbana ocupa APP's – Áreas de Preservação Permanente - que oferecem risco para a população, como as encostas e topos de morro, e também as margens e leito do Ribeirão São Bartolomeu. As APP's são consideradas de acordo com a resolução do CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002 (anexo I), e são as áreas de topos de morros, declividades muito altas e margens de rios. Esses problemas são verificados tanto na área urbana quanto na área rural, que é predominantemente ocupada por pastagens.

O fato da bacia apresentar áreas com risco à erosão fraco não significa que se deva deixar de utilizar o solo de forma racional e adequada. Com esse quadro o melhor que se tem a fazer, para prevenir problemas futuros é conservar as áreas com vegetação densa e capoeira, melhorar as pastagens e culturas de café e planejar melhor o uso do solo urbano.

A aplicação de técnicas conservacionistas simples, como as praticas edáficas, são muito eficazes no controle e combate à erosão e não demandam altos custos para os produtores. Além dos proprietários de imóveis rurais, é de responsabilidade do poder público e da sociedade como um todo preservar o solo. É de competência do poder público esclarecer a sociedade a importância desse recurso natural e fornecer aos proprietários de terras condições de manejar corretamente o solo.

O SAAE – Viçosa já utiliza algumas práticas mecânicas de combate à erosão, como foi dito no início deste trabalho, como as bacias de contenção de água e o terraceamento. Essas práticas, além de conter a erosão captam a água da chuva e abastecem o lençol freático, aumentando a quantidade de água do ribeirão.

FIGURA 7: Mapa de suscetibilidade à erosão na BHRSB



A ocupação da BHRSB, seja no meio urbano ou rural, trouxe sérias conseqüências para o meio ambiente, principalmente quando se trata do uso e ocupação do solo, o que acaba trazendo vários problemas pra os recursos naturais e para a sociedade.

Através dos resultados obtidos nesta análise podemos perceber que a bacia se encontra numa situação que pode ser agravada, caso não sejam tomadas as medidas corretas de conservação do solo. As práticas conservacionistas devem ser utilizadas para melhorar a estabilidade e a fertilidade do solo, e no caso da bacia, as práticas devem ser utilizadas para conservar e melhorar a qualidade e quantidade da água.

A água é um recurso que vem sendo destruído gradativamente, por isso seu uso se deve dar de acordo com o Código das águas de 1934 ¹, para que a população não sofra com a escassez de água futuramente, Omo já acontece em varias partes do mundo. À medida que aumenta o risco de erosão, maiores serão os cuidados de uso e manejo do solo nos empreendimentos agrícolas e urbanos.

Para um planejamento mais efetivo da bacia hidrográfica é necessário que se cumpram as resoluções do CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002, como pode ser visto no ANEXO I, pois assim se evitariam que as APP's fossem ocupadas, diminuindo o risco de erosão, principalmente na área urbana.

Visto que a maior parte da bacia hidrográfica é ocupada por pastagens e possui muitas estradas rurais, seria interessante um planejamento mais adequado no meio rural, junto aos pequenos proprietários principalmente, com mais informações e incentivos.

A melhora das pastagens, a diminuição das queimadas e o terraceamento, por exemplo, são práticas simples e capazes de reduzir a erosão a níveis significantes. Embora a erosão não possa ser contida, nem reduzida a zero, é possível controla-la através das práticas conservacionistas adequadas.

¹ O referido Código assegura o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida e permite a todos usar as águas públicas, conformando-se com os regulamentos administrativos. Impede a derivação das águas públicas para aplicação na agricultura, indústria e higiene, sem a existência de concessão, no caso de utilidade pública, e de autorização nos outros casos; em qualquer hipótese, dá preferência à derivação para abastecimento das populações. Estabelece, também, que a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo a terceiros.

Através deste estudo espera-se que os leitores possam ficar a par do que é o processo erosivo e de como as suas conseqüências afetam a sociedade, de forma direta ou indireta, e como ela é um evento natural e antrópico importante na modificação do relevo.

Bibliografia

ARRUDA, P.R.R. **Uma contribuição ao estudo ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 1997.

ALMEIDA, F.G. GUERRA, A.J.T. **Erosão dos solos e impactos ambientais na cidade de sorriso (MT).** *In: Impactos Ambientais Urbanos.* Orgs.: A.J.T. Guerra e S.B. da Cunha. 2^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

AZAMBUJA, **O solo e o clima na produtividade agrícola.** Guaíba, RS: Agropecuária, 1996.

BELLINAZZI JR, R. **Controle da erosão em estradas rurais.** Campinas, SP: CATI, 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990.

BECKER, F.G. **Aplicações de Sistema de Informação Geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas.** *In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.* Orgs.: A.Schiavetti e A.F.M. Camargo. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003. v. 3

BRAGAGNOLO, N. **Uso dos solos altamente suscetíveis a erosão.** *In: Solos altamente suscetíveis à erosão.* Orgs: V.P. Pereira et al. Jaboticabal, FCAV – UNESP/SBCS, 1994.

BRANDÃO, V.dos S. **Infiltração de água no solo.** Viçosa: Ed. UFV, 2006.

CALASANS, et al. **A bacia hidrográfica como unidade de planejamento.** *In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.* Orgs.: A.Schiavetti e A.F.M. Camargo. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

COSTA, J.V.B.da. **Caracterização e constituição do solo.** Lisboa: Fundação Colouste Gulbenkian, 1991.

COSTA, L.M; MATOS, A.T. **Impactos da erosão dos solo em recursos hídricos.** *In: Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura.* Orgs: S,D,D; P, F.F.. Brasília, DF: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1997.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 303 de 20 de março de 2002.** Disponível em: <<http://www.mma.go/port/conama/res/res02/res30202.html>> , acessado em 18/007/2006.

CORRÊA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG.** Viçosa, 1984. Tese de Mestrado.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa. Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FARIA, A.L.L. de. **Uma análise por geoprocessamento das áreas suscetíveis à erosão na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora (MG).** (Tese – Mestrado). Seropédica, RJ, 2001.

GALETI, P.A. **Conservação do solo; reflorestamento; clima.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

GALETI, P.A. **Práticas de controle a erosão.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

GEOMINAS. **Dados sobre Minas Gerais.** Disponível em <http://www.geominas.mg.gov.br/>, acesso em 25/08/2006.

GUERRA, A.J.T. **Processos erosivos nas encostas.** *In:* Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Orgs.: A.J.T. Guerra e S.B. da Cunha. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A.J.T. BOTELHO, R.G.M. **Erosão dos solos.** *In:* Geomorfologia do Brasil. Orgs.: A.J.T. Guerra e S.B. da Cunha. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

JUCKSCH, I. **Práticas vegetativas de controle da erosão.** Brasília: SENAR, 2003.

LORANDI, R. CANÇADO, C.J. **Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas.** *In:* Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Orgs.: A.Schiavetti e A.F.M. Camargo. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

MONEGATI, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades.** Chapecó (SC): Ed. Do autor, 1991.

MONTEIRO, M.F. **Aspectos fluviais importantes para a fotointerpretação.** Salvador. UFBA, 1979. 2ª edição.

OLIVEIRA, E.L.A. ROBAINA, L.E.S. **Mapeamento das áreas de risco geomorfológico da bacia do Arroio Cadena, Santa Catarina – RS.** *In:* *Ciência e natural* Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Naturais e Exatas. 1979.

ORLANDINI, D. **Avaliação do uso dos recursos naturais de uma sub-bacia do Ribeirão São Bartolomeu com vista ao aumento da produção de água de qualidade.** Viçosa: UFV, 2002. Dissertação – Mestrado.

PAIVA, K.W.N. **Perdas de solo e água em função da porcentagem de cobertura do solo e da energia cinética da precipitação.** (Dissertação – Mestrado).Viçosa: UFV, 1999.

PEREIRA, S.B. **Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial.** Viçosa: UFV, 2000.

PIRES, F.R. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água.** Viçosa, 2003.

PIRES, J.S.R; SANTOS, J.E; DEL PRETTE, M.E. **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação de recursos naturais.** *In:* Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Orgs.: A.Schiavetti e A.F.M. Camargo. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

POLITANO, W. **O papel das estradas na economia rural.** São Paulo: Nobel, 1989.

PRADO, H. do. **Manejo dos solos.** São Paulo: Nobel, 1991.

PROGRAMA ESTADUAL DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS. Campinas, SP: CATI, 2002

RIO GRANDE DO SUL,Secretaria da agricultura. **Manual de conservação do solo.** 2ª edição atualizada, 1983.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** 4ª ed. São Paulo: Contexto, 1997.

SAAE. **Tecnologias apropriadas à revitalização da capacidade de produção de água de mananciais.** Disponível em: <http://www.saaevicosa.com.br/cmcn/artigo.htm>, acessado em 28/08/2006.

SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A.F.M. **Análise das áreas suscetíveis a erosão em duas bacias hidrográficas.** *In:* Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Orgs: A.Schiavetti e A.F.M.Camargo. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura.** Brasília, DF: MMA; SRH; ABEAS, Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 2003.

SOUZA, C.M; PIRES, F.R. **Práticas mecânicas de controle da erosão.** Brasília: SENAR, 2003.

SPAROVECK, R.B.M. **Estimativa de erosão em sulcos e entre sulcos na microbacia do Córrego de Ceveiros – Piracicaba (SP).** Piracicaba: ESALQ, 1998. Dissertação - Mestrado

SPAROVEK, R.B.M.; TORRADO, P.V.; SPAROVEK, G. **Erosão em sulcos, entre sulcos e voçorocas em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada.** *Sci. Agric.* v.56 n. 4 Piracicaba out/dez. 1999

SOUZA, C. M.; PIRES, F.R.. **Prevenção da erosão do solo e seus efeitos**. Brasília: SENAR, 2003.

SILVA, J.X. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Xavier da Silva, 2001.

Vasconcelos, H. Landers, J.N. **Agricultura sustentável no cerrado**. *In*: Solos altamente suscetíveis à erosão. Orgs: V.P Pereira et al. Jaboticabal, FCAV – UNESP/SBCS, 1994.

WINTER,E.J. **A água, o solo e a planta**. São Paulo, EPU, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1976.

ANEXO

ANEXO I

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 303, DE 20 DE MARÇO DE 2002

Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de
Áreas de Preservação Permanente.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto nas Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e o seu Regimento Interno, e

Considerando a função sócio-ambiental da propriedade prevista nos arts. 5º, inciso XXIII, 170, inciso VI, 182, § 2º, 186, inciso II e 225 da Constituição e os princípios da prevenção, da precaução e do poluidor-pagador;

Considerando a necessidade de regulamentar o art. 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no que concerne às Áreas de Preservação Permanente;

Considerando as responsabilidades assumidas pelo Brasil por força da Convenção da Biodiversidade, de 1992, da Convenção Ramsar, de 1971 e da Convenção de Washington, de 1940, bem como os compromissos derivados da Declaração do Rio de Janeiro, de 1992;

Considerando que as Áreas de Preservação Permanente e outros espaços territoriais especialmente protegidos, como instrumentos de relevante interesse ambiental, integram o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações, resolve:

Art. 1º Constitui objeto da presente Resolução o estabelecimento de parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente;

II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

III - vereda: espaço brejoso ou encharcado, que contém nascentes ou cabeceiras de cursos d'água, onde há ocorrência de solos hidromórficos, caracterizado predominantemente por renques de buritis do brejo (*Mauritia flexuosa*) e outras formas de vegetação típica;

IV - morro: elevação do terreno com cota do topo em relação a base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

V - montanha: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros;

VI - base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;

VII - linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas;

VIII - restinga: depósito arenoso paralelo a linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, também consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do substrato do que do clima. A cobertura vegetal nas restingas ocorrem mosaico, e encontra-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivos e abóreo, este último mais interiorizado;

IX - manguezal: ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência flúvio-marinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Amapá e Santa Catarina;

X - duna: unidade geomorfológica de constituição predominante arenosa, com aparência de cômodo ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação;

XI - tabuleiro ou chapada: paisagem de topografia plana, com declividade média inferior a dez por cento, aproximadamente seis graus e superfície superior a dez hectares, terminada de forma abrupta em escarpa, caracterizando-se a chapada por grandes superfícies a mais de seiscentos metros de altitude;

XII - escarpa: rampa de terrenos com inclinação igual ou superior a quarenta e cinco graus, que delimitam relevos de tabuleiros, chapadas e planalto, estando limitada no topo pela ruptura positiva de declividade (linha de escarpa) e no sopé por ruptura negativa de declividade, englobando os depósitos de colúvio que localizam-se próximo ao sopé da escarpa;

XIII - área urbana consolidada: aquela que atende aos seguintes critérios:

a) definição legal pelo poder público;

b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infra-estrutura urbana:

1. malha viária com canalização de águas pluviais,
2. rede de abastecimento de água;
3. rede de esgoto;
4. distribuição de energia elétrica e iluminação pública ;
5. recolhimento de resíduos sólidos urbanos;
6. tratamento de resíduos sólidos urbanos; e

c) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

- a) trinta metros, para o curso d`água com menos de dez metros de largura;
 - b) cinqüenta metros, para o curso d`água com dez a cinqüenta metros de largura;
 - c) cem metros, para o curso d`água com cinqüenta a duzentos metros de largura;
 - d) duzentos metros, para o curso d`água com duzentos a seiscentos metros de largura;
 - e) quinhentos metros, para o curso d`água com mais de seiscentos metros de largura;
- II - ao redor de nascente ou olho d`água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinqüenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;
- III - ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de:
- a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas;
 - b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d`água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinqüenta metros;
- IV - em vereda e em faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de cinqüenta metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado;
- V - no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base;
- VI - nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros;
- VII - em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive;
- VIII - nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa;
- IX - nas restingas:
- a) em faixa mínima de trezentos metros, medidos a partir da linha de preamar máxima;
 - b) em qualquer localização ou extensão, quando recoberta por vegetação com função fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues;
- X - em manguezal, em toda a sua extensão;
- XI - em duna;
- XII - em altitude superior a mil e oitocentos metros, ou, em Estados que não tenham tais elevações, à critério do órgão ambiental competente;
- XIII - nos locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias;
- XIV - nos locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçadas de extinção que constem de lista elaborada pelo Poder Público Federal, Estadual ou Municipal;
- XV - nas praias, em locais de nidificação e reprodução da fauna silvestre.
- Parágrafo único. Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangerá o conjunto de morros ou montanhas, delimitada a partir da curva de

nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha de menor altura do conjunto, aplicando-se o que segue:

I - agrupam-se os morros ou montanhas cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos;

II - identifica-se o menor morro ou montanha;

III - traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços deste; e

IV - considera-se de preservação permanente toda a área acima deste nível.

Art. 4º O CONAMA estabelecerá, em Resolução específica, parâmetros das Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso de seu entorno.

Art. 5º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogando-se a Resolução CONAMA 004, de 18 de setembro de 1985.