

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**PLANEJAMENTO AGROAMBIENTAL DE UMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA UTILIZANDO UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS**

SÉRGIO PASCOAL DE CAMPOS

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU - SP
Março-2001**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLANEJAMENTO AGROAMBIENTAL DE UMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA UTILIZANDO UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS**

SÉRGIO PASCOAL DE CAMPOS

Orientador: LINCOLN GEHRING CARDOSO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Março-2001

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - Campus de Botucatu - UNESP, por dar condições a concretização desta realização profissional.

À FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO – FAPESP, pela seriedade e competência com que conduz as suas finalidades e pelas condições financeiras oferecidas, sem as quais, não seria possível a realização deste estudo.

Ao Professor Doutor LINCOLN GEHRING CARDOSO, o qual considero como parceiro das conquistas obtidas durante a realização deste estudo, dispondo além das orientações e da amizade, de uma conduta conscienciosa e confiante.

À Professora Doutora CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK e a Pesquisadora Doutora LÊDA M. A. GURGEL GARRIDO pelos apoios em momentos antecedentes a este trabalho, mas que contribuíram para que o caminho a ser seguido fosse o do aperfeiçoamento técnico e o da pesquisa.

Aos Professores Doutores ZACARIAS XAVIER DE BARROS e SÉRGIO CAMPOS, pela saudável convivência e amizade.

À amiga e companheira de curso LÍGIA BARROZO SIMÕES, que em sua pessoa foi de grande importância para que problemas em comum e em situações adversas fossem solucionados, permitindo que este trabalho se desenvolvesse com as ferramentas adequadas para o momento.

A Deus;

A Albertino e Adelaide, meus pais;

A Celso e Célio, meus irmãos;

A Maria G. Pauletti (in memorian), minha avó;

DEDICO.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
1 RESUMO.....	10
2 SUMMARY.....	12
3 INTRODUÇÃO.....	14
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4.1 Erosão e o Meio Ambiente.....	17
4.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)	19
4.3 Sensoriamento Remoto.....	25
4.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG)	31
4.5 O Sistema de Informações Geográficas IDRISI.....	36
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
5.1 Material.....	39
5.1.1 Descrição geral da área.....	39
5.1.2 – Equipamentos e programas.....	40
5.1.3 - Base de dados.....	40
5.2 – MÉTODOS.....	41
5.2.1 - Geração do banco de dados.....	41
5.2.1.1 - Obtenção dos mapas e geração dos planos de informação (PI).....	42
5.2.1.1.1 – Plano de informação - Rede de drenagem.....	44
5.2.1.1.2 - Plano de informação – Cotas.....	44
5.2.1.1.3 - Plano de informação - Uso do solo.....	44
5.2.1.1.4 Plano de Informação - Propriedades rurais.....	48
5.2.1.1.5 Plano de informação – Solo.....	50
5.2.1.2 Parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo.....	50
5.2.1.2.1 Fator erosividade (R).....	50
5.2.1.2.2 Erodibilidade (K).....	52
5.2.1.2.3 Fator Topográfico LS.....	54

5.2.1.2.4 Práticas conservacionistas (P).....	61
5.2.1.2.5 Fator uso e manejo do solo (C).....	62
5.2.2 Obtenção da estimativa de perdas de solo.....	65
5.2.3 Obtenção das perdas de solo com simulação da adoção de algumas práticas de uso e manejo.....	65
5.2.3.1 Recomendações.....	67
5.2.3.2 Determinação dos parâmetros da EUPS para as recomendações propostas.....	71
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
6.1 Geração do banco de dados.....	75
6.1.1 Obtenção dos mapas e geração dos planos de informação (PIs).....	75
6.1.1.1 PI - Rede de drenagem.....	76
6.1.1.2 PI – Cotas.....	76
6.1.1.3 PI – Uso do solo.....	78
6.1.1.4 PI – Solo e Propriedades rurais.....	86
6.1.2 – Parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).....	88
6.1.2.1 Fator erosividade (R).....	88
6.1.2.2 Fator erodibilidade (K).....	96
6.1.2.3 Fator Topográfico LS.....	97
6.1.2.4 Práticas conservacionistas (P).....	105
6.1.2.5 Fator uso e manejo do solo (C).....	106
6.2 Obtenção das perdas de solo para a situação atual.....	108
6.3 Obtenção das perdas de solo com simulação de práticas de uso e manejo sugeridas por CAMPOS (1996).....	113
7 CONCLUSÕES.....	117
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
APÊNDICE 1.....	131
APÊNDICE 2.....	132
APÊNDICE 3.....	133
APÊNDICE 4.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Resultado da análises químicas e físicas dos solos – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) (Conforme Marques e Zimback, 1995).....	41
2 Arquivo de correspondência utilizado para georeferenciar as imagens AZUL, VERDE e VERMELHO.....	45
3 Localização dos pluviógrafos instalados na microbacia Água da Cachoeira.....	52
4 Valores de erodibilidade obtidos por Freire et al. (1998).....	53
5 Classes de declividade utilizadas para o cálculo do comprimento de rampa de acordo com Rocha et al. (1996).....	56
6 Relação de espécies vegetais para recomposição da mata ciliar da microbacia Água da Cachoeira (conforme Marques et al., 1991).....	70
7 Resultados da matriz de erro de SAMPLE5TRUE contra SAMPLE5ID.....	82
8 Participação de cada ocupação na área total a microbacia Água da cachoeira para os anos de 1984 e 2000.....	85
9 Distribuição da erosividade ao longo do ano em porcentagem.....	93
10 Efeito do comprimento de rampa nas perdas de solo.....	102
11 Valores do fator C adotados para os usos e manejos dos solos da microbacia Água da Cachoeira para o ano de 2000.....	107
12 Área da microbacia Água da Cachoeira dividida conforme a perda de solo.....	109
13 Erosividade mensal e total anual do município de Paraguaçu Paulista-SP, para o período de 1958-1992. (*MJ.mm/ha.h.mês; **MJ.mm/ha.h.ano).....	131
14 Precipitação mensal (mm) do município de Paraguaçu Paulista-SP, para os anos de 1958-1992, de acordo com Pereira & Alves, 1997.....	132
15 Precipitação mensal para o período de 1995-99.....	133
16 Erosividade mensal e anual para o período de 1995-99.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Mapa contendo a rede de drenagem, limite da microbacia e cinco pontos de controle georeferenciados.....	43
2 Localização dos pontos de amostragem sobre a área da microbacia Água da Cachoeira.....	49
3 Valores médios anuais do índice de erosão da chuva do Estado de São Paulo..	51
4 Fluxograma das operações para obtenção do comprimento de rampas pelo método proposto por Rocha et al. (1996).....	57
5 Representação dos valores do comprimento de rampa obtido pelo método proposto por Rocha et al. (1996).....	58
6 Alterações nos valores dos pixels após a sobreposição pelos pixels da imagem contendo as áreas terraceadas.....	60
7 CLASUSO - Mapa das sub-classes de capacidade de uso da microbacia Água da Cachoeira.....	66
8 PI-SGCOTA utilizado para a obtenção do modelo digital de elevação. Como ilustração tem-se o divisor d'água da microbacia e sua rede de drenagem.....	77
9 Valores máximos e mínimos de reflectância das assinaturas utilizadas na classificação supervisionada.....	79
10 Valores médios de reflectância das assinaturas utilizadas na classificação supervisionada.....	80
11 Imagem SCLASSIFIC resultante do processo de classificação supervisionada.	84
12 Planos de informação SOLO e PROPRIEDADES RURAIS apresentados sobrepostos, juntamente com a rede de drenagem.....	87
13 Distribuição da erosividade mensal para o período de 1958-1992.....	90
14 Distribuição da erosividade mensal para o período de 1995-1999.....	92
15 Distribuição da erosividade mensal para o período de 1995-1999.....	93
16 Variação espacial da erosividade média anual na microbacia Água da Cachoeira para o período de 1995-1999.....	95

17 Modelo digital de elevação SGDEM da microbacia Água da Cachoeira com sobreposição das curvas de nível.....	97
18 Imagem de aspecto reclassificada em 8 classes.....	98
19 Imagem contendo as declividades da superfície na microbacia Água da Cachoeira.....	99
20 Mapa contendo as rampas da microbacia e seus respectivos comprimentos	100
21 Mapa contendo as rampas da microbacia Água da Cachoeira e seus respectivos comprimentos determinados pelo software ERODE2.....	103
22 Fator LS obtido utilizando o software ERODE2 para o cálculo do comprimento de rampa.....	104
23 Valores do fator práticas conservacionistas para a microbacia Água da cachoeira.....	106
24 Imagem SGUSLE - expressa as estimativas de perdas de solo na a microbacia Água da Cachoeira para o ano de 2000.....	108
25 - Perda de solo na microbacia Água da cachoeira diferenciada para os grupos de solo considerados.....	112
26 Perda de solo estimada pela EUPS para as condições propostas por Campos (1996).....	114
27 Perda de solo na microbacia Água da cachoeira diferenciada para os grupos de solo considerados.....	115
28 Foz do riacho Água da Cachoeira em 1994.....	137
29 Foz do riacho Água da Cachoeira em 1999.....	137

1 RESUMO

A microbacia do riacho Água da Cachoeira, unidade hidrográfica básica para o desenvolvimento deste estudo, retrata uma situação complexa de degradação ambiental provocada pelo uso do solo sem a adoção de técnicas adequadas de manejo do solo. O uso adequado do solo exige a implantação e/ou manutenção de várias técnicas de manejo e conservação do solo envolvendo, além de sua delimitação, a identificação e mapeamento dos componentes relevo, hidrografia, geologia, solos, vegetação, erosão, classes de declive, entre outros.

A equação universal de perdas de solos (EUPS) e os sistemas de informações geográficas (SIGs), que tem entre suas principais habilidades, a de fornecer condições para a integralização espacial de informações, apresentam-se como ferramentas ideais para avaliar o comportamento da erosão e promover subsídios para a proposição de técnicas de manejo que possibilitem a redução dos efeitos negativos da exploração agrícola sobre o solo e a água. Neste trabalho buscou-se avaliar, utilizando a EUPS e o sistema de informação geográfica IDRISI32, a perda de solo na microbacia Água da Cachoeira para a situação de uso de manejo existente no ano de 2000 e para uma situação de simulação embasada na utilização do terraceamento e na recomposição da mata ciliar.

Para a situação de uso em 2000, a perda média de solo estimada para a microbacia foi de $9,54 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, estando as maiores taxas de perdas de solo concentradas nas áreas compostas pelo solo ARGISSOLO. Nestas áreas as perdas acima da tolerância de 6

t.ha⁻¹.ano⁻¹, são comuns justificando a ocorrência de afloramentos do horizonte B ou do material de origem. No LATOSSOLO foram observadas perdas acima da tolerância de 14 t.ha⁻¹.ano⁻¹, no entanto, com área total proporcionalmente menor, do que a encontrada para o ARGISSOLO. Com a adoção do terraceamento e implantação da mata ciliar, a perda média estimada de solo para a microbacia passou a ser de 4,17 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

O desenvolvimento deste estudo e os resultados obtidos permitiram concluir que: a) há a necessidade da definição de metodologias mais aplicadas e valores mais representativos para alguns dos parâmetros da EUPS, que permitam a um planejador obter informações confiáveis a partir da associação da EUPS com os SIGs; b) a adoção do terraceamento aliado a recomposição da mata ciliar são as ações que irão promover o restabelecimento das condições naturais do riacho Água da Cachoeira; c) a metodologia utilizada com base na integração dos *softwares* ERODE2 e IDRISI, para o cálculo do comprimento de rampa, mostrou-se adequada na obtenção de dados para o cálculo do fator LS.

2 SUMMARY

ENVIRONMENT AND AGRICULTURAL PLANNING OF WATERSHED USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SÉRGIO PASCOAL DE CAMPOS

Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO

The microwatershed of Água da Cachoeira creek, basic hidrographic unit for the developmente of this study, portrays one complex situation of environment degradation, provoked by use without adoption of soil management adequate technique. The adequate use of soil requers the establishment and/or maintenance of several soil conservation and management technique, involving of the following components: relief, hidrografy, geology, soils, vegetation, erosion, slope classes, among others.

The universal soil loss equation and geographic information systems (GIS), which has among its principal skills, to provide conditions to the space integralization of informations, are shown as ideal tools to evaluate the erosion behavior and to raise subsidy

for management techniques recommendation that enables the negatives effects reduction of agricultural exploration on the soil and water. In this work, it was searched to estimate the behavior of drop soil in the watershed making use of USLE and IDRISI32 geographic information system, for the situation of use and management existent in the year 2000 and for a situation of simulation according to the recommendation offers for Campos (1996).

To the use situation in 2000, the average soil drop estimated to the watershed was $9,54 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$, being the major rate of soil drops concentrated in areas containing the ULTISOLL soil. In this areas, drops over $6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ tolerance, are commons, justifying the occurrence of B horizon and rocky material outcropping. At about OXISOLL it was observed drops over $14 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ tolerance, however, with area total proportionally smaller than the ones found to the ULTISOLL. With the adoption of terracing end cilium forest implantation, the average soil drop to the watershed became being $4,17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$.

The development of this study and the obtained results allowed to conclude that: a) there is the necessity of defining methodologies more applicated and more representatives values to some USLE parameters, that may be possible to one planner to obtain trustful information starting the association between USLE with the GIS; b) the adoption of terracing joined to cilium forest recomposition are the actions that will raise the re-establishment of natural conditions at Água da Cachoeira creek; c) the used methodology based in the ERODE2 and IDRISI softwares integration, to calculate slope length showed adequate to obten data to LS factor calculate.

Keywords: IDRISI32, environment, USLE.

3 INTRODUÇÃO

Como em toda região, onde a vegetação natural foi removida com a finalidade de tornar o solo passível de ser explorado pela agropecuária, o primeiro efeito desta atitude sobre a microbacia Água da Cachoeira foi a redução da fertilidade natural do solo e o incremento na velocidade do processo de erosão do solo pelas águas da chuva. O oeste do Estado de São Paulo apresenta como agravante seu embasamento geológico que deu origem a solos, na maioria das vezes, com fertilidade baixa e quando não, com propriedades físicas favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos, que dificultam os trabalhos de manejo e conservação do solo. Quando se refere à baixa fertilidade não devemos somente considerar, por exemplo, que isto irá promover uma produtividade menor das culturas, mas também que os agricultores, apesar de compartípe da situação atual, não possuem condições financeiras suficientes para arcar com as despesas de implantação de um manejo correto do solo, ou a sua recuperação e proteção, pois estão locados sob solos que exigem grandes investimentos para a correção da fertilidade e ações trabalhosas de controle à erosão.

A erosão hídrica do solo tem suas conseqüências diretas na produtividade das culturas e no desenvolvimento da pecuária, afetando a sócio-economia do setor. No entanto, o problema se torna mais complexo e abrangente quando se avalia o problema fora da propriedade rural e constata-se que o material retirado pela erosão esta poluindo os mananciais, provocando inundações, assoreamento de reservatórios e destruição

da fauna e flora que deles dependem. Neste âmbito de visão, o problema atinge a todos e deve ser estudado, visando a busca das ações mais adequadas para cessar tal processo.

A microbacia do riacho Água da Cachoeira, município de Paraguaçu Paulista-SP, retrata uma situação complexa de degradação ambiental, resultado da destruição da vegetação nativa e do processo erosivo acelerado. Alguns trabalhos e estudos já foram realizados pelo Instituto Florestal-SP, Casa da Agricultura de Paraguaçu Paulista, Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, Prefeitura Municipal, Japan International Cooperation Agency, Campos (1996) e Domingues et al. (1998), visando a recuperação ambiental desta microbacia. Apesar de se observar alterações favoráveis no riacho, como o estreitamento do seu leito menor e conseqüentemente ganho de profundidade, verifica-se que este cenário não se mantém fiel, ocorrendo alternâncias entre a deposição e a remoção de sedimentos do canal. Estas observações de instabilidade se enquadram com alguns métodos citados por Guerra & Cunha (1998), que comentam a existência de maneiras distintas de se identificar às mudanças fluviais induzidas pelo homem. Estas alterações podem ser avaliadas a partir de observações anteriores às modificações ou por comparações ao longo do próprio rio, entre porções que se mantêm natural e as porções que apresentam mudanças causadas por alguma condição.

O uso adequado do solo exige a utilização de várias técnicas de manejo e conservação do solo, sendo também variados os níveis de complexidade apresentados por cada uma. Para o planejamento conservacionista em microbacias hidrográficas, Politano et al. (1989/90) ressaltam que as atividades de uso e manejo do solo, proteção de nascentes, controle das águas pluviais, estabilização das rampas ou encostas, infra-estrutura e sistemas viários, devem ser elaboradas em consonância com as características das bacias hidrográficas em que vão ser implantadas. Tal caracterização envolve, além de sua delimitação, a identificação e mapeamento dos componentes relevo, hidrografia, geologia, solos, vegetação, erosão, classes de declive, entre outros. A equação universal de perdas de solos (EUPS) e os sistemas de informações geográficas (SIGs), que tem entre suas principais habilidades, a de fornecer condições para a integralização espacial de informações, apresentam-se como ferramentas ideais para avaliar o comportamento da erosão e promover subsídios para a proposição de técnicas de manejo que possibilitem a redução dos efeitos negativos da exploração agrícola sobre o solo e a água.

As conclusões obtidas por Campos (1996), a respeito do estado de degradação a qual se encontra a microbacia Água da Cachoeira, sugerem a adoção de práticas de controle à erosão e a recomposição da mata ciliar, como forma de promover a inversão do processo de assoreamento do riacho Água da Cachoeira. O objetivo deste trabalho foi avaliar, através da integração da EUPS com o sistema de informações geográficas IDRISI32, os efeitos das adoções destas proposições sobre as perdas de solo na microbacia.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Erosão e o Meio Ambiente

A maioria das áreas em cultivo hoje no Estado de São Paulo sofreu uma seqüência de ações que reduziram drasticamente a sua capacidade produtiva. Como agente principal do depauperamento das terras pode-se citar a erosão hídrica. A erosão do solo influencia a produtividade alterando os fatores que a limitam. Em outras palavras, a progressiva erosão do solo aumenta a magnitude das propriedades do solo relacionadas com a produção, as quais podem ser físicas, químicas ou biológicas. Dentre as mais importantes propriedades físicas agravadas pela erosão tem-se a redução da profundidade de enraizamento, perda na capacidade de armazenamento de água e compactação do solo. Para as alterações nas propriedades químicas relacionadas a erosão tem-se perda na capacidade de troca de cátions, deficiência de nutrientes (N, P, K, Zn, S), toxicidade por nutrientes (Al e Mn) e aumento da acidez (Lal, 1988). Para Bertoni & Lombardi Neto (1990) os fatores resultantes da erosão do solo, responsáveis pela queda do potencial produtivo são: a redução da camada cultivada do solo; a perda de nutrientes da camada cultivável; redução da capacidade de infiltração e na capacidade de retenção de umidade do solo; os sulcos e grotas que se formam dificultando a mecanização.

Segundo Iwasa & Prandini (1980) a erosão pode, de início, estar refletindo o mau uso do solo ou, depois de um certo tempo, as condições intrínsecas da área, como a geologia e geomorfologia, o clima e o regime hidrológico das bacias.

O uso adequado da terra é o primeiro passo em direção à agricultura correta. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica de forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício procurando ao mesmo tempo preservar estes recursos para gerações futuras (Lepsch et al., 1991).

Estudar as potencialidades de uso do solo, para que se possa elaborar um plano adequado de exploração, seja ela agrícola, pecuária, etc., parece ser o correto quando se visa a manutenção ou elevação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Keller (1969) destaca que a ausência de estudos de uso do solo, em países subdesenvolvidos, possibilita apenas o planejamento de esquemas muito gerais de desenvolvimento, salientando também que, a menos que o uso da terra seja conhecido e compreendido, tanto qualitativamente como quantitativamente, os projetos de desenvolvimento poderão trazer mais prejuízos do que benefícios à estrutura econômica existente.

A adaptação das terras às várias modalidades de utilização agrosilvopastoril diz respeito à sua capacidade de uso, idéia esta diretamente ligada às possibilidades e limitações que elas apresentam. Assim, capacidade de uso da terra é a sua adaptabilidade para fins diversos, sem que sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento. A expressão encerra efeitos de condições do meio físico (incluindo o clima) na aptidão da terra para ser utilizada sem sofrer danos consideráveis por desgaste e empobrecimento, através de cultivos anuais, perenes, pastagem, reflorestamento ou vida silvestre (Lepsch et al., 1991).

Canil et al. (1998) realizaram o estudo da dinâmica do processo erosão-sedimentação na bacia do Ribeirão Areia Dourada e o impacto nos recursos hídricos da Bacia do Rio Santo Anastácio (SP). Os resultados deste estudo realizado sobre uma bacia cujas características do meio físico assemelham-se às encontradas na área de estudo deste trabalho, principalmente na composição do substrato rochoso, possibilitaram uma melhor compreensão do mecanismo erosão-transporte-sedimentação sobre tais condições.

4.2 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

Conforme Wischmeier & Smith (1978), a EUPS é um modelo desenvolvido para estimar a perda de solo em escoamento superficial a partir de uma área específica, sob um sistema de cultivo e manejo específico. No entanto, selecionando-se os valores adequados dos fatores, a equação poderá estimar a perda de solo para sistemas de multicultivo, para um cultivo em particular num sistema de rotação ou para um período do cultivo anual.

A equação universal de perdas de solos, apesar de suas restrições, é o mais eficiente modelo de estimativa de perdas de solo, sendo amplamente utilizada, principalmente nos EUA (Marques et al., 1997a; Marques et al., 1997b; DeMaria & Lombardi Neto, 1997). No entanto, a precisão dos resultados obtidos, depende da qualidade das informações utilizadas para representar os fatores que a compõe.

A EUPS possibilita determinar a perda média anual de terra, provocada por erosão hídrica, em função dos fatores: energia da chuva (erosividade – fator R), suscetibilidade do solo a erosão (erodibilidade – fator K), comprimento e grau do declive (fator L e S), uso e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). É expressa por $A = RKLSCP$, onde: A = perda de solo por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); R = é a erosividade ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$); K é a erodibilidade ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$); L é o comprimento do declive (metros); S é o grau do declive (porcentagem); C é o uso e manejo (adimensional) e P é a prática conservacionista (adimensional) (Nascimento & Lombardi Neto, 1999).

Castro & Valério Filho (1997) comentam sobre os problemas da erosão hídrica dos solos, e afirmam que a forma mais direta de controle da erosão trata da implementação de práticas conservacionistas, dentre as quais se destaca o manejo de unidades hidrográficas como a mais promissora. Os trabalhos realizados por Lo et al., McCool et al., Donzeli et al. e Mollerowicz et al. são citados pelos autores como forma de provar que a utilização da EUPS em estudos prospectivos, é o instrumento analítico mais bem sucedido para estudos de processos de erosão, em especial superficiais.

O parâmetro erosividade da EUPS diz respeito a capacidade da chuva de causar erosão. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990) quando são mantidos constantes todos os fatores responsáveis pelas perdas de solo, à exceção da chuva, as perdas de

solo são diretamente proporcionais ao valor do produto de duas características de chuva: sua energia cinética total e sua intensidade máxima em trinta minutos.

Carvalho et al. (1989a) estudando a erosividade da chuva na região de Mococa (SP), com as parcelas instaladas sobre um Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico, Tb, A chenzêmico, textura argilosa/muito argilosa, verificaram que a melhor característica para estimar as perdas de solo é o índice EI_{25} , no entanto, como não houve diferença estatística entre os coeficientes EI_{25} e EI_{30} , concluíram que este último, a exemplo do que ocorreu em outros locais, é um parâmetro conveniente para estimar as perdas de solo em Mococa (SP). Em seguida correlacionando o índice EI_{30} e as perdas de solo, puderam estimar o fator K para o solo em questão, obtendo o valor de 0,0232 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Carvalho et al.(1989b) calcularam a erosividade da chuva da localidade de Mococa/SP pelo índice EI_{30} , obtendo para o fator R da EUPS o valor de 7.747 MJ.mm/ha.h.ano. Os autores citam os trabalhos de Lombardi Neto e de Pereira que obtiveram valores do fator R para Campinas e para Piracicaba, respectivamente, menores do que o encontrado para Mococa, confirmando a tendência decrescente dos valores médios anuais do índice de erosividade da chuva, tanto no sentido norte-sul como no nordeste-sudoeste, apresentadas no mapa de isoerodentes.

A escassez de registros pluviográficos e a morosidade das análises de diagramas de pluviógrafos para a energia cinética, instigaram alguns pesquisadores a buscar novas metodologias para a determinação do índice de erosão. Lombardi Neto & Moldenhauer (1980) encontraram alto coeficiente de correlação entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva, sendo a equação desenvolvida dada por $EI = 67,355(r^2/P)^{0,85}$, onde: EI = média mensal do índice de erosão (MJ/ha.mm); r = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm). Bertoni & Lombardi Neto (1990) citam o mapa de isoerodentes para o Estado de São Paulo, obtido a partir da utilização da equação desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1980), onde são encontrados os valores médios anuais do índice de erosão da chuva. Deste mapa podem ser extraídos valores de erosividade, os quais são aplicáveis a planejamentos conservacionistas em qualquer localidade do Estado de São Paulo.

Carvalho et al. (1997) comentam sobre a importância da equação universal de perdas de solo para estimar o valor médio anual da erosão que poderá ocorrer em determinada área agrícola e ressaltam a importância desta equação como ferramenta para o correto estabelecimento do uso, manejo e conservação do solo. Assim, estudaram a melhor metodologia para a obtenção do fator R (erosividade) da EUPS para o município de Pindorama/SP, considerando três grupos de parâmetros de erosividade: da chuva; da enxurrada e da chuva-enxurrada, onde puderam concluir que a utilização do parâmetro EIA (erosividade da chuva durante a ocorrência da enxurrada) aumentou em 20,54% a probabilidade de estimativa das perdas de solo por erosão quando comparado com o tradicional parâmetro EI₃₀ (erosividade da chuva dada pelo produto da sua energia cinética total pela intensidade máxima em 30 minutos – MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹) utilizado no fator R da EUPS.

Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) realizaram estudos na região de Campinas, onde procuraram determinar a energia cinética e o índice de erosão para chuvas individuais de Campinas, as distribuições anual, mensal e estacional do índice de erosão e a correlação entre perdas de solo e características de chuva. O índice anual médio de erosão (EI₃₀) encontrado foi de 6.738 MJ.mm/ha.h.ano, com valores variando de 3.444 a 13.830 MJ.mm/ha.h.ano. Foram observadas boas correlações entre o coeficiente de chuva e o índice de erosão ($R^2 = 0,983$) e entre perdas de solo e o índice de erosão ($R^2 = 0,964$ – solos descoberto; $R^2 = 0,958$ – solo com cobertura de algodão).

A equação obtida por Carvalho et al., apud Colodro & Carvalho (1998) foi utilizada por estes autores para obter o fator erosividade de Teodoro Sampaio (SP). Os autores obtiveram para o fator R o valor de 7.206 MJ.mm/ha.h.ano para a localidade estudada e verificaram que os maiores valores de erosividade (33,4%) ocorreram nos meses de dezembro e janeiro. No entanto, como não houve similitude entre as precipitações para Mococa/SP e Teodoro Sampaio/SP nos meses compreendidos entre novembro e fevereiro, os autores concluíram que a equação obtida em Mococa/SP não foi uma boa estimadora da erosividade da chuva de Teodoro Sampaio/SP.

O significado de erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo.

Contudo, alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Wischmeier & Smith (1978) definem o fator K da EUPS como sendo um valor quantitativo determinado experimentalmente, para cada tipo de solo. Para a determinação do seu valor Bertoni e Lombardi Neto (1990) citam a utilização de uma parcela unitária de 25m de comprimento e numa declividade uniforme de 9%, em alqueive, preparada para o plantio no sentido do declive. Durante o período de determinações de perda de solo, em cada primavera, a parcela é preparada e deixada em condições convencionais, como para o plantio de milho, sendo capinada quando necessário para prevenir o crescimento de ervas daninhas ou formação de crostas superficiais.

Medidas experimentais do valor de K, conforme as normas estabelecidas no surgimento da equação universal de perdas de solo, são custosas e requerem muitos anos de determinações, assim, vários pesquisadores buscam formas alternativas para estimar a erodibilidade de um solo. O método indireto proposto por Wischmeier et al. apud Marques et al. (1997b) é o mais conhecido para estimar o fator K, sendo no entanto, considerado inadequado para as condições brasileiras, segundo Henklain & Freire (1983); Silva et al. (1986); Lima (1991); Silva et al. (1994) pelo fato de incluir na sua elaboração, solos de textura média do meio oeste dos EUA. Os métodos para determinação da erodibilidade de Wischmeier et al., Cogo e IAPAR-EMBRAPA, citados por Martins Filho & Silva (1985), foram utilizados por estes autores para avaliar a erodibilidade de um Latossolo-Vermelho Amarelo distrófico de Ubajara (CE). O valor do fator K determinado pelo método nomográfico foi de 0,003 t.ha.h/ha.MJ.mm, sendo este valor sete e nove vezes inferior aos determinados, respectivamente, com chuvas naturais e chuvas artificiais, confirmando a inadequação do método nomográfico para solos com baixos teores de silte mais areia muito fina.

Lombardi Neto & Bertoni (1975) estudaram dois grupamentos de solos que ocorrem no Estado de São Paulo e consideraram os valores obtidos como uma estimativa do fator K para estes solos.

Equações obtidas por meio de regressões múltiplas entre o fator K medido diretamente no campo e os atributos do solo, vem sendo estudadas e utilizadas para estimar o fator K de algumas localidades, e segundo Rönkens apud Marques et al. (1997b), mesmo não refletindo as relações causa e efeito, podem ser empregadas desde que forneçam valores próximos aos medidos. Marques et al. (1997a) compararam 13 métodos indiretos de avaliação da erodibilidade com o valor do fator K medido diretamente no campo, visando identificar os métodos mais adequados para se estimar a erodibilidade de solos brasileiros com horizonte B textural, e concluíram diante dos resultados obtidos que nenhum dos métodos avaliados são recomendáveis para estimar o fator K do conjunto de solos utilizados no estudo. Contudo, Marques et al. (1997b) desenvolveram uma equação para a obtenção do fator K para solos com horizonte B textural de diferentes regiões do Brasil, envolvendo variáveis de fácil determinação. Os valores obtidos para 22 solos, através da equação, mostram-se bastante próximos dos valores observados a campo, excetuando para três solos.

O estudo realizado por Freire et al. (1998), mostrou que os valores de erodibilidade estimados por meios indiretos podem se equiparar aos obtidos por experimentos à campo. Sob solos do oeste do Estado de São Paulo realizaram testes de campo e observaram que, salvo para os solos derivados do basalto, houve boa concordância entre os resultados obtidos pelo método direto e pelo método indireto utilizado. Concluíram ainda, pelos dados obtidos pelo método direto que: a permeabilidade é o fator mais importante na determinação da erodibilidade; a ocorrência de horizonte B textural não é indicador de alta erodibilidade e solos derivados do basalto apresentam alta erodibilidade.

Na busca da integração da EUPS com SIG, umas das dificuldades encontradas foi a determinação do comprimento de rampa (fator L) por procedimentos computacionais, o mesmo não ocorrendo para o fator declividade da rampa (fator S). Para este último, o IDRISI32 possui o módulo SURFACE, que produz como resultado uma imagem contendo as declividades da área em estudo. Ranieri et al. 1996 comentam que o fator LS é o parâmetro de maior dificuldade de determinação de forma automatizada devido a EUPS ter sido desenvolvida para glebas homogêneas, não contemplando áreas como uma bacia hidrográfica. Buscando desenvolver uma metodologia para o cálculo do fator LS de forma automatizada, os autores encontraram limitações para o método proposto em áreas terraceadas.

Rocha et al. 1996, através de uma metodologia similar a de Ranieri et al. 1996, para o cálculo do comprimento de rampa, com a utilização do IDRISI, encontraram algumas limitações como falhas no algoritmo de interpolação e limitação no número de polígonos processados pelo módulo GROUP. Baptista et al. 1997, utilizando o IDRISI, desenvolveram uma metodologia para cálculo do comprimento de rampa, discretizando o parâmetro pixel a pixel. Os resultados obtidos mostraram que a discretização por pixel tende a uma redução dos valores superiores a 30 t/(ha.ano), e sugerem novos trabalhos para melhorar a acurácia dos diagnósticos de perda de solo por meio do geoprocessamento.

O efeito da ocupação dada ao solo e do manejo adotado é avaliado na EUPS pelo fator uso e manejo do solo (C), sendo a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A determinação do fator C, é feita a partir das razões de perdas de solo (RPS) e da distribuição do índice de erosão anual local. Considerando que as dificuldades em se obter o fator C, está no estabelecimento da RPS para um número infinito de possíveis combinações de culturas, rotações e outras práticas de manejo, De Maria & Lombardi Neto (1997) estudaram diferentes condições de manejo para a cultura do milho, visando a obtenção da RPS e cálculo do fator C para esta cultura, para ser utilizado na EUPS. Diante dos resultados concluíram que os valores das RPS apresentados por Wischmeier & Smith (1978) superestimam os valores de perda de terra para as condições de solo e clima e nos sistemas de manejo da cultura do milho estudados. Os valores de C calculados para as diferentes situações variaram entre 0,025 e 0,156 t.ha.t⁻¹ha⁻¹.

O fator P da equação de perdas de solo é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive Bertoni & Lombardi Neto (1990). Estes autores ressaltam que para as áreas terraceadas, o comprimento do declive a usar na determinação do valor do fator LS deve ser o intervalo do terraço.

A integração de sistemas de informação geográfica (SIG) e da equação universal de perdas de solos (EUPS) foi utilizada por Castro & Valério Filho (1997) no estudo do impacto da exploração florestal sobre o meio ambiente, onde abordaram à influência de

diferentes manejos florestais sobre a perda de solos. Neste estudo os autores comentam que a EUPS apresenta como vantagens a facilidade de implementação e interpretação dos resultados, embora a aplicação em SIG mereça atenção especial, em particular quanto à dispersão de erros.

Cruz & Ffolliott (1990) realizaram uma avaliação do uso mais adequado e uma classificação da capacidade de uso do solo de uma bacia hidrográfica com 65000 ha, localizada nas Filipinas, baseadas nas perdas de solo estimadas pela EUPS, com a ajuda de um SIG. Os resultados obtidos, em forma de mapas, foram satisfatórios e confirmam a possibilidade da integração da EUPS com o SIG. Para Blaszczyński et al. (1992), as vantagens da interface EUPS/SIG estão na possibilidade de obtenção do fator LS a partir de modelos digitais de elevação (MDE), permitindo o cálculo rápido da perda de solos para grandes áreas e na flexibilidade dos procedimentos, que permitem a modelagem de alternativas de manejo do solo, através do uso de valores que refletem as condições desejadas.

Ito et al. (1998) fizeram uso da equação universal de perdas de solo e do software IDRISI para avaliar os impactos da variação da época de plantio do eucalipto e obtiveram os indicativos dos solos mais susceptíveis a erosão, bem como as diferenças de perdas de material entre os solos estudados, com a variação na cobertura morta. Afirmam ainda que o uso do SIG IDRISI *for windows* foi de grande valia, otimizando os custos e tempo de execução do trabalho.

4.3 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como a detecção da natureza de um objeto sem que haja contato físico, em que aviões e satélites são as plataformas mais comuns. O termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que se utilizam da energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos, incluindo-se aqui as energias relativas a luz, calor e ondas de rádio (Garcia, 1982).

Dentre os sistemas disponíveis de sensoriamento remoto, os mais utilizados em trabalhos de exploração e monitoramento ambiental, constam as fotografias aéreas e as imagens de satélites.

A fotografia aérea teve início em 1858, com fotos obtidas pelo francês Gaspard Felix Tournachon, sobrevoando a cidade de Bievre (França), em um balão. No entanto, a fotografia aérea não recebeu grande impulso devido aos riscos e resultados incertos. A valorização da fotografia aérea como instrumento para representação da superfície da terra, teve grande impulso na I Guerra Mundial, sendo reconhecida como instrumento de operação militar (Lillesand & Kiefer, 1987).

Desde então, o uso da fotografia aérea na obtenção de dados referentes a superfície da terra, tem se intensificado. A fotografia aérea constitui material básico para a fotointerpretação, no entanto, deve-se conhecer suas características geométricas, suas informações marginais, as regras para manutenção, limitações e outras informações de tal forma que o fotointerprete seja capaz de usufruir eficientemente dessa fonte de dados, ressaltam Anderson & Ribeiro (1982).

Vários autores defendem o uso da fotografia aérea nos mapeamentos de solos. Para França (1968), as características da rede de drenagem obtidas em fotografias aéreas podem fornecer informações tão importantes quanto à forma fisiográfica. Audi (1972) acredita que, na diferenciação de séries de solos, o estudo da rede de drenagem superficial deve ser complementado pela análise dos demais elementos da paisagem e comenta que a drenagem e as características erosivas são os aspectos mais importantes, quando se utilizam fotografias aéreas na interpretação de solos.

Para Amaral & Audi (1972), como o solo é um elemento da paisagem da superfície terrestre, embora a maior parte das vezes não esteja visível nela, apresentando cobertura vegetal, o seu estudo pode ser realizado, através da fotointerpretação, analisando outros aspectos visíveis na superfície do terreno, como as formas do relevo, a drenagem superficial, as formas da erosão, a vegetação e uso atual.

Mapeamentos e inventários de vegetação e suas associações com solos, tem sido amplamente realizados, partindo-se de dados obtidos da fotointerpretação. Piedade (1980) verificou, através da fotointerpretação, que houve menor evolução de voçorocas no período de 1962 - 1972, no município de Botucatu-SP, em regiões onde houve reflorestamento e ou porque o declive da área proporcionava uma situação de equilíbrio, devido à deposição e entulhamento de sedimentos dentro das próprias voçorocas. Lopes et al. (1994), estudando por

fotointerpretação a ocupação da citricultura no município de Taquaritinga - SP, constataram que a mesma ocupava 36% da área do município, estando mais concentradas em áreas de solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo.

Moraes et al. (1993) realizaram o estudo comparativo entre as mudanças ocorridas no uso da terra e as classes de solos existentes na microbacia da rio Campo do Tenente - Sudeste do Paraná. Como material para a realização deste estudo, os autores utilizaram mapas de solos da região e fotografias aéreas pancromáticas de 1952 e 1980, que foram interpretadas e restituídas através do aerostechmaster. Os mapas de uso, obtidos a partir das fotografias e o mapa de solos, foram cruzados através do sistema de informação geográfica SGI/INPE, usando o aplicativo denominado “tabulação cruzada e cálculo de áreas”. Concluiu-se que a metodologia empregada viabiliza a dinâmica e acompanhamento do uso da terra, bem como permite a quantificação de cada classe de solo existente na área com a respectiva categoria de uso.

Em muitos casos, verifica-se a importância do uso da fotografia aérea na pesquisa de situações passadas de determinada área. Assad et al. (1993), num estudo feito na microbacia do córrego Taquara-DF, utilizaram fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:25.000, obtidas em 1954, objetivando mapear a vegetação natural sem as alterações antrópicas ocorridas na área de estudo.

Na realização da análise do uso e ocupação do solo e processos de erosão na área de influência do conjunto de Urubupungá, Silva & Politano (1995) obtiveram as cartas temáticas “Uso da Terra/Erosão Acelerada”, utilizando-se fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:25.000. Num processo mais avançado, que inclui a correção de distorções, Petersen et al. (1995) mencionam a possibilidade de se criar mapas temáticos a partir de fotografias aéreas, utilizando a digitalização das feições diretamente na tela do computador. Neste caso, as fotografias são convertidas para forma digital, através de scanners, e inseridas no SIG, onde a digitalização sobre a tela produz uma forma digital de mapa.

Cavalcanti (1993) fez uso da fotografia aérea como base para a obtenção dos dados necessários para a formação dos planos de informações que seriam utilizados no SIG “OSU-MAP -for-the-PC”. O autor obteve a partir das fotografias o mapa da rede de drenagem, mapa do uso do solo e o mapa da fisiografia da área de estudo.

Scolpel (1988), utilizando produtos de sensoriamento remoto, entre eles fotografias aéreas, obteve informações a um nível de detalhe suficiente para estabelecer, em conjunto com a EUPS, índices hierarquizados de erosão do solo em diversas épocas. Concluiu ainda que, os produtos de sensoriamento remoto orbital, hoje fornecidos regularmente, possibilitam a atualização constante das informações, tornando neste sentido, viável o monitoramento de áreas críticas, sujeitas a processos de degradação dos seus solos.

As imagens de satélites são obtidas através de sinais enviados por sensores colocados em plataformas orbitais (satélites). No Brasil, os sistemas mais utilizados são o LANDSAT e o SPOT. O programa LANDSAT é atualmente gerido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e pelo *United States Geological Survey* (USGS).

A potencialidade do sensoriamento remoto como fonte de dados para sistemas de informação geográfica é comentada por Petersen et al. (1995), onde os autores citam algumas situações onde o uso dos dados de sensoriamento remoto seria proveitoso. Imagens geradas na forma digital ou fotografias aéreas convertidas para forma digital, podem ser utilizadas como auxílio visual na criação ou adaptação de mapas. Os dados de sensoriamento remoto, usados para exposição, podem ser processados, para corrigir influências das distorções, como por exemplo, na geração de ortofotos digitais, onde são utilizados modelos digitais de elevação para remover influências topográficas sobre localização de feições. Dados de sensoriamento remoto, podem ainda ser utilizados na geração de mapas temáticos, que podem subsequentemente ser utilizados como uma camada de dados, para as operações dentro de um SIG.

Ferrante (1990) utilizou a interação de resultados obtidos da interpretação de produtos de sensoriamento remoto aéreo e orbital, no mapeamento geotécnico regional, na região de São Carlos - SP. O autor concluiu que o uso de técnicas de sensoriamento remoto e de SIGs, são indispensáveis para o melhor conhecimento do meio físico e que, a interação das fotografias aéreas com as imagens orbitais, deram uma resposta bastante positiva para a identificação e monitoramento de informações, principalmente na carta de uso atual do solo, sendo imprescindível o uso de ambas para o mapeamento geotécnico.

Como exemplos do uso do sensoriamento remoto no monitoramento ambiental, pode-se citar o estudo da evolução do uso das terras realizado por Ranieri & Sparovek (1993), no município de Piracicaba-SP, utilizando como fonte de dados fotografias aéreas de 1962, escala 1:25.000 e informações obtidas de imagens LANDSAT de março de 1991, na escala 1:100.000 e bandas 3, 4 e 5 e o estudo realizado por Valério Filho & Pereira Neto (1994), sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal, localizada entre os municípios de Londrina, Cambé e Rolândia - PR, onde utilizaram-se das técnicas de processamento de imagens digitais e de sistema de informação geográfica, para a confecção do mapa de aptidão agrícola e realização da análise comparativa deste mapa com o uso atual.

Estudos que realizaram o mapeamento da ocupação do solo e utilizaram imagens do satélite LANDSAT-5 para este fim, demonstram que com a utilização das bandas 3,4 e 5 obtém-se os melhores resultados a partir da classificação digital destas imagens. Pereira et al. (1995) concordando que a ocupação rural brasileira tem ocorrido de forma desordenada, contribuindo para o empobrecimento e a exaustão dos solos, realizou para uma bacia hidrográfica piloto a determinação das taxas de adequação de uso, objetivando identificar as áreas adequadamente utilizadas e as com o uso atual acima e abaixo do potencial natural. Utilizaram o sistema de informação geográfica SGI/INPE para a geração dos planos de informação e interpretação visual da composição formada pelas bandas 3, 4 e 5 do satélite LANDSAT-5. Becker et al. (1999) também utilizando o IDRISI for windows, versão 2.0 e imagens LANDSAT-5, bandas 3, 4 e 5, realizaram a classificação digital do uso da terra da microbacia do Arroio do Veado (Silveira Martins-RS) concluíram que as imagens possibilitaram o mapeamento do uso da terra de forma rápida, confiável e atual, recomendando a metodologia utilizada para análises semelhantes, que podem subsidiar atividades de planejamento regional. Pinto (1998) estudando a expectativa de *runoff* como um indicador da erosão hídrica de superfície do solo, em uma bacia hidrográfica de pequeno porte, utilizando sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e com apoio do modelo de predição de erosão MUSLE obteve, através da hibridação das imagens TM/LANDSAT (bandas 3,4 e 5) e HRV/SPOT pancromática, o que chamou produto altamente informativo para caracterização das classes de uso da terra.

Campos (1982) utilizou imagens LANDSAT MSS e RBV, na identificação e classificação de reflorestamento por interpretação visual. O autor concluiu ser possível localizar projetos florestais com área superior a 15 ha, diferenciando pinus de eucalipto, e ainda diferenciar por idade os reflorestamentos da área de estudo.

Lima et al. (1992) utilizaram imagens orbitais digitais na geração de planos de informação, no sistema de informação geográfica denominado SGI/INPE, para gerar mapas de suscetibilidade e de risco de erosão do solo, de uma área de aproximadamente 109 Km², no estado da Paraíba. Foram gerados planos de informações de declividade, erodibilidade, erosividade, litologia e cobertura vegetal. Os resultados demonstraram que a utilização do Sistema de Informação Geográfica - SIG/INPE, e de imagens orbitais digitais na geração e integração dos PIs foi bastante satisfatória, inclusive se comparada a procedimentos convencionais.

Para embasar a avaliação das terras e orientar o correto uso e manejo das mesmas, é necessário que se obtenha a curto prazo mapas de solos mais detalhados que os existentes. A classificação de imageamentos orbitais por computador é indicada como uma metodologia mais rápida e econômica, em relação ao mapeamento convencional, na obtenção de mapas de solos. Contudo, uma série de aspectos metodológicos devem ser considerados na busca de maior eficiência desta técnica (Viegas et al., 1993). Estes mesmos autores, realizaram um estudo da região da Campanha do RS, comparando mapas de solos obtidos de forma convencional e mapas obtidos por classificação de imagens de satélites, concluindo-se de maneira geral que as classificações obtidas discriminam solos com diferentes profundidades, indicando sua utilidade no mapeamento da capacidade de uso das terras.

Parte do sucesso da classificação digital de imagens de satélite irá depender do método de classificação utilizado. Os classificadores do IDRISI *for windows*, versão 2.0 que utilizam os métodos da máxima verossimilhança, da mínima distância e o paralelepípedo, foram analisados por Decian et al. (1999), utilizando imagens LANDSAT-5 bandas 3, 4 e 5 no mapeamento da ocupação do solo e sugerem o uso do método da máxima verossimilhança, pois consegue diferenciar melhor a resposta espectral dos alvos. Nogueira et al. (2000) utilizaram este mesmo método de classificação digital de imagens de satélites para

realizar o levantamento das categorias de uso e ocupação das terras, objetivando analisar a adequabilidade da exploração agrícola no município de Vera Cruz-SP.

Estudos como os de Ferreira et al. (1999); Werlang & Strieder (1999); Piroli et al. (2000); Marques et al. (2000) e Lagrotti et al. (2000) foram realizados a partir de informações obtidas do processamento de imagens de satélite LANDSAT-5, evidenciando a tendência do uso desta fonte de informação, a ser reforçada pela melhoria da qualidade de imageamento com o advento de novas tecnologias.

O programa SPOT (*Système Pour L'Observation de la Terre*) teve seu primeiro satélite lançado a partir de 1985. Os satélites SPOT transportam dois sensores idênticos HRV (High Resolutions Visible), atuando no modo pancromático, com resolução de 10 m (com estereoscopia) e no modo multiespectral, com resolução de 20 m. Os satélites SPOT 1-2-3, apresentam três bandas multiespectrais: verde, vermelho e infravermelho. O SPOT 4, lançado em 1998, possui as mesma três bandas e uma banda de ondas curtas no infravermelho (Eastman, 1999a).

4.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Eastman (1992) define como sistema de informação geográfica um sistema assistido por computador para aquisição, armazenamento, análise e exposição de dados geográficos.

Como característica fundamental de um sistema de geoprocessamento, Câmara (1993) coloca a faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional, possibilitando:

- integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e modelos numéricos de terreno;
- combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados;
- consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Paredes (1990) coloca como objetivos do sistema de informação geográfica, a descrição físico-espacial da topografia e suas permanentes relações de interação, que sobre ela se estabelecem. Ressalta ainda, a capacidade dos SIGs de descreverem objetos do mundo real dentro dos termos:

- localização absoluta no espaço da superfície terrestre (sistema de coordenadas);
- descrição de sua forma bi ou tridimensional, referenciada ao sistema de coordenadas (geométrica);
- informação classificada e qualificada, inerente ao objeto cartográfico (atributos);
- relação espacial com os demais objetos do seu entorno (topologia).

Sobre as técnicas de análises em um SIG, Petersen et al. (1991) comenta que incluem proximidade, sobreposição, coincidência, delineamento de limites, diversidade, maioria, minoria, cálculo da média, cálculo da distância e área, etc. Um SIG inclui ainda a geração de informações estatísticas simples, se preocupando com a relação espacial complexa entre uma variedade de variáveis. A análise digital do terreno é a investigação da topografia por meio do computador e sua representação computadorizada. A representação usual dos dados é um modelo digital de elevação (MDE). MDE produz um jogo fundamental de informações, necessárias para descrever e modelar a paisagem geométrica, que são importantes em muitos processos de modelagem envolvendo superfície, subsuperfície e fenômenos próximos da superfície. Explorando MDE, produz-se uma variedade de parâmetros secundários da paisagem, importantes na aplicação global em hidrologia e microclimatologia. Técnicas manuais para obter parâmetros similares, consomem tempo e são caras e conseqüentemente são limitados a menos e menores áreas de estudo, quando comparado com áreas estudadas usando MDE.

Em seus estudos Assad et al. (1993) comprovaram o grande potencial de SIGs na integração de dados geocodificados, e que, para pequenas áreas as principais vantagens são a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos métodos tradicionais de análise.

A utilização de SIGs possibilita a geração de bancos de dados codificados espacialmente, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de um grande número de informações, possibilitando ainda, a atualização dos bancos de dados para obtenção de novos mapas com rapidez e precisão. No entanto a eficiência dos SIGs depende da definição precisa do objetivo e dos passos metodológicos a serem desenvolvidos no ambiente do sistema Assad (1993).

A importância do SIG na integração e análise de muitos tipos de dados, dos recursos do terreno, para resolver problemas de uso da terra, planejamento e avaliação é ressaltada por Zhou, apud Walsh, 1985 e Ventura, 1988. O autor comenta que os SIGs podem combinar inventários de solo e dados climáticos, com muitos outros tipos de dados espaciais incluindo valores modelados de rendimento de colheita, umidade do solo e erosão, e aspectos econômicos da produção agrícola. No entanto, a compatibilidade dos dados deve ser cuidadosamente avaliada antes de serem combinados.

A capacidade de manipulação e processamento de informações sobre recursos naturais, do sistema de informação geográfica SPRING (INPE/EMBRAPA), foi avaliada por Silva & Oliveira (1993). O trabalho foi realizado tendo como área teste a microbacia do córrego da Tábua - RJ, onde os autores concluíram que o SPRING (INPE/EMBRAPA), permite a integração dos mapas de solos e declividade para obtenção de um mapa de aptidão agrícola das terras, com boa precisão e maior rapidez na execução dos trabalhos.

Segundo Petersen et al. (1991), SIGs em conjunto com dados provenientes de sensores remotos, oferecem novas oportunidades a cientistas que trabalham com disciplinas relacionadas com a paisagem. Estes instrumentos podem ser usados para estudar a variabilidade espacial e temporal, melhorar a organização e integração de dados, avaliar os problemas com a ajuda de modelos simulados baseados em estudos de drenagem de bacias hidrográficas, entender e manejar paisagens como ecossistemas e quantificar processos geomorfológicos. Eles permitirão modelar as paisagens do solo, usando métodos quantitativos e estatísticos, para definir as relações entre características da paisagem e propriedades dos solos e fazer previsões.

Oliveira & Sano (1993) utilizaram o sistema de informação geográfica SGI/INPE, para realizar uma avaliação da ocupação do solo da bacia hidrográfica do alto Taquari - MS. Os elementos temáticos utilizados nesta avaliação foram o tipo de ocupação e solos, que, interagidos pelo SGI, possibilitaram intensificar a ocupação predominante em cada unidade de solo. O autor comenta que os SIGs estão se revelando uma importante ferramenta na integração de dados temáticos como solo, ocupação, vegetação, aptidão agrícola, declividade, clima, etc., podendo resultar em uma importante ferramenta para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, minimizando os efeitos negativos no ambiente, promovendo a sustentabilidade das culturas e uma maior produtividade da atividade agropecuária.

Sano et al. (1993), com o objetivo de realizar o monitoramento da ocupação agrícola de três municípios do sul do Maranhão, utilizaram o sistema de informação geográfica SGI/INPE em conjunto com imagens de satélite LANDSAT, ressaltando como resultados positivos a rapidez da execução do estudo e a baixa relação custo/benefício do trabalho.

Valente (1995) utilizou o sistema de informação geográfica SGI-340/INPE, na determinação de áreas com suscetibilidade preliminar à erosão laminar na sub-bacia do Arroio Feijó-Porto Alegre-RS. O autor conclui que o uso de técnicas de geoprocessamento, em especial o emprego do SGI-340/INPE, mostrou-se muito eficiente na integração de dados oriundos de carta topográfica e mapa temático. O cruzamento das informações georeferenciadas, permitido pelo sistema, agilizou a identificação de áreas com suscetibilidade preliminar à erosão laminar. Portanto, embora não prescindindo de um trabalho realizado no local, o emprego do SGI pode auxiliar no direcionamento do trabalho de campo com redução de tempo e agilização dos resultados finais.

Para obtenção de parâmetros que nos permitam elaborar um planejamento conservacionista de determinada área, contamos hoje com os SIGs, tendo como base de dados os mapas de solos, mapas topográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites, etc. Vários estudos foram realizados com SIGs, não apenas com o intuito da realização de trabalhos antes realizados manualmente, mas sim, por a prova a eficiência dos sistemas de informação geográfica, bem como, o desenvolvimento de novas técnicas de trabalho. Como

exemplo do exposto, pode-se citar o estudo realizado por Assad et al. (1993), sobre a microbacia do córrego Taquara-DF, onde utilizaram mapas de solos, de declividade e de uso para gerar o mapa de meio físico, objetivando estruturar dados para fins de planejamento. Segundo os autores, a elaboração do mapa de meio físico manualmente é difícil, no entanto, tal dificuldade é eliminada quando confeccionado através de um SIG, utilizando processos de cruzamento automáticos.

Valério Filho & Araújo Júnior (1995) consideram as técnicas de geoprocessamento, as quais contemplam segmento do sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, ferramentas que possibilitam a aquisição, manipulação e integração de dados temáticos oferecendo subsídios relevantes para a caracterização espacial/temporal de áreas submetidas aos processos de erosão, ao nível de bacias hidrográficas.

Souza & Calijuri (1995), utilizaram-se dos recursos oferecidos pelos SIGs, no desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para quantificar o assoreamento no reservatório do Sistema Manso (região metropolitana de Belo Horizonte - MG), visando promover o acompanhamento da sua evolução e ainda identificar regiões, ao longo da hidrografia, que estão sujeitas a fenômenos de erosão/assoreamento, visando subsidiar eventuais medidas para o aperfeiçoamento das ações de controle implementadas no caso em questão.

Koffler & Palanca (1995) utilizaram o SIG IDRISI - 4.1 e o software SAMPA (Sistema de Análise Ambiental para Planejamento Agrícola), para analisar através da geração de mapas de Uso Preferencial das Terras e de Suscetibilidade à erosão, a situação da Bacia da rio Jaú. Com base nos resultados, recomendam a intensificação dos cuidados contra a erosão, em especial nas áreas com suscetibilidade forte e muito forte, adequando o seu uso aos tipos propostos pelo programa SAMPA.

Lombardi Neto et al. (1995), utilizando-se do SIG IDRISI - 4.1, realizaram o planejamento da microbacia do ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis-SP. As perdas médias de solo encontradas antes do planejamento eram de 27,6 t/ha, sendo 2,24 vezes maior do que a tolerância média ponderada para a microbacia (12,3 t/ha). Com a proposição do planejamento as perdas médias de solo seriam de 11,8 t/ha, menor do que as tolerâncias médias da microbacia, viabilizando os sistemas conservacionistas adotados.

Em termos de planejamento das operações agrícola, Petersen et al. (1995) mencionam o uso de sistemas de informação geográfica e dados obtidos a partir do GPS (*Global Positioning System*) dentro do sistema conhecido como cultivo localizado. Neste sistema algumas operações são realizadas conforme a necessidade local, como por exemplo, dosar a adubação conforme ocorra variação da necessidade e dosagens de defensivos em função do grau e localização da infestação.

Trabalhos mais recentes como os realizados por Campos (1996), Campos et al. (1998), Ferreira et al. (1999), Vilela & Souza (2000), Rocha et al. (2000) e Ranieri et al. (2000) comprovam as potencialidades da utilização do geoprocessamento para o estudo do meio ambiente.

4.5 O Sistema de Informações Geográficas IDRISI

O sistema de informação geográfica - IDRISI, é um sistema que trabalha sobre uma base de informação geográfica e processamento de imagem, sendo primeiramente um SIG raster. O sistema IDRISI não deve ser considerado como um programa que executa várias funções e análises, mas sim, como uma coleção de programas que agem sobre uma base de dados, executando operações diferenciadas, seguindo uma sequência operacional.

Alves (1993), no estudo comparativo entre os sistemas de informação geográfica IDRISI, MAP e pMAP, concluiu, em relação ao IDRISI, que pelas suas características e porte, é mais adequado para trabalhos profissionais, sendo recomendável, entretanto, interfaceá-lo com outros sistemas referentes a armazenagem dos dados e geração de produtos.

Os trabalhos encontrados na literatura atual, mostram que a utilização do sistema de informação geográfica IDRISI, se restringe mais na obtenção de dados resultantes de sobreposições de mapas, cálculo de áreas e perímetros e interpolação de dados, como no trabalho de Lombardi Neto et al. (1995), que utilizaram o sistema de informação geográfica IDRISI-4.1 na geração e sobreposição de mapas, para fins de planejamento de uma microbacia hidrográfica. No entanto, de acordo com exposto por Eastman (1992), várias

outras operações podem ser realizadas, limitadas pela imaginação do usuário, a qual esta condicionada a rotina de análise.

Reis & Calijuri (1995) utilizaram o sistema de informação geográfica - IDRISI-4.1, no desenvolvimento de uma metodologia para estimativa do volume de assoreamento, considerando os processos da dinâmica superficial da erosão-transporte-sedimentação e os fatores que a influenciam. O SIG - IDRISI 4.1 se mostrou eficaz na metodologia proposta, além de fornecer a oportunidade da realização de simulações.

A utilização do sistema de informação geográfica IDRISI vem se desenvolvendo no compasso de sua aceitação como uma ferramenta que produz resultados satisfatórios, variando de acordo com a qualidade da base de dados e da consistência das metodologias utilizadas. Como auxílio ao estudo da erosão e ao planejamento da utilização do solo, os recursos disponíveis para análises no IDRISI correspondem às expectativas, enquanto que os recursos para a edição dos produtos finais apresentam limitações, conforme concluiu Campos (1996), sugerindo a interface com softwares gráficos para a apresentação de resultados mais bem elaborados visualmente. Campos et al. (1998) fizeram uso do IDRISI em interface com o software SURFER 5.0 para a elaboração de um mapa de suscetibilidade à erosão, avaliando ainda, neste estudo, os resultados de interpolação pelo método krigagem ordinária. Concluíram que a interpolação e análise dos dados foram rápidas, com eliminação da subjetividade que ocorre quando se faz o referido mapa à mão, estando as classes de suscetibilidade bastante condizente com o encontrado a campo.

Com a inclusão do método de interpolação pela krigagem ordinária na mais recente versão do IDRISI (IDRISI32), a interface com o *software* SURFER tornou-se desnecessária, ficando a adoção de um ou outro procedimento conforme a preferência do usuário.

Algumas inovações apresentadas na versão IDRISI32, tornando-a mais poderosa por disponibilizar ao usuário novos recursos para a realização de procedimentos, antes limitados pela inabilidade do *software* em executá-los. Nas versões anteriores, o algoritmo de interpolação criava para pontos de máxima cota, na elaboração do modelo digital de elevação (MDE), elevações buscas da superfície do modelo se utilizado, não representando o verdadeiro comportamento da superfície do terreno. Ao contrário, quando estes pontos eram

omitidos nos arquivos, os topos de morros não eram representados nos MDE, ficando a superfície plana de acordo com a representação da curva de nível mais elevada.

Este problema foi solucionado no IDRISI32 através da utilização da modelagem *Triangulated Irregular Networks* (TINs), que é a estrutura mais comum usada para modelagem de superfícies contínuas usando dados vetoriais. Existem vários métodos para a modelagem TIN, sendo o processo *Delaunay* de triangulação o mais comum, e o qual é utilizado pelo IDRISI32 no módulo TIN. Com a triangulação, pontos com valores de atributos conhecidos (como elevação) são usados como vértices na geração de triângulos. O resultado é a triangulação da área limitada pelos dados dos pontos externos (Eastman, 1999b). O modelo de gerado pelo módulo TIN, é utilizado pelo módulo TINSURF para a realização do processo de interpolação e geração do modelo raster da superfície, onde os topos de morros e depressões são modelados de acordo com as tendências dos dados existentes. Sendo estes dados deficientes para estas regiões, é realizada uma progressão da superfície embasada no comportamento da variação dos dados originais. Em relação à análise de superfície esta versão apresenta ainda recursos para o desenvolvimento de estudos utilizando a geoestatística, obtenção de novas variáveis topográfica, além do mapa de aspecto e de declividade, e obtenção de feições a partir da MDE, com limites de bacias hidrográficas, rede de drenagem, contornos em nível, etc...

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Descrição geral da área

A área de estudo, a qual refere-se este trabalho, constitui-se de uma microbacia com 3.640 ha, localizada no município de Paraguaçu Paulista - SP, sendo suas coordenadas centrais iguais a 22°20'18"S de Latitude Sul e 50°35'58"W de Longitude. É drenada pelo riacho Água da Cachoeira, constituindo-se numa microbacia de quarta ordem de ramificação (de acordo com método modificado por Strahler, 1964, citado por Villela & Mattos, 1975), e conforme Marques & Zimback (1995), possui mata natural de cerrado tropical e floresta tropical, relevo de plano a ondulado, solos oriundos de depósitos recentes do Quaternário e de arenitos de duas formações do Grupo Bauru: Marília e Adamantina e clima classificado como Cwa da classificação de Köppen.

A microbacia do riacho Água da Cachoeira é explorada basicamente pela agropecuária, estando a maior parte de sua área ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar e pelas pastagens.

Em termos gerais, a microbacia se encontra degradada, apresentando áreas com erosão laminar, em sulcos rasos, em sulcos profundos e em algumas nascentes, a ocorrência de voçorocas, situação concordante com as encontradas por Campos (1996) e por

Domingues et al. (1998). No entanto, verifica-se que a intensidade dos fatores que contribuíram para o estabelecimento deste quadro, está assumindo valores menos expressivos ao longo dos últimos dez anos, o que pode ser comprovado pela redução na taxa de assoreamento. A qualidade da água do riacho Água da Cachoeira influencia diretamente o município, por ser este curso d'água componente da principal fonte de abastecimento de água da Estância Turística de Paraguaçu Paulista.

5.1.2 – Equipamentos e programas

a) Sistema de computação: PENTIUM, 64 Mb de memória RAM; winchester de 4.2 Gb; monitor SVGA 17”; impressora HP - Deskjet 692, mesa digitalizadora e plotter.

b) Estereoscópio Wild modelo ST-4 e aerosketchmaster - Carl Zeiss.

c) Programas

- ERODE2
- SIG IDRISI versão 4.1 (Clark University - USA).
- SIG IDRISI32 (Clark University - USA).
- SURFER versão 5.0 - Surface Mapping System - Golden Software.
- CorelDRAW 9

5.1.3 - Base de dados

a) Carta topográfica do município de Paraguaçu Paulista-SP, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1974), escala 1:50000, com distância vertical de 20 m entre cotas.

b) Mapa de solos do município de Paraguaçu Paulista -SP, extraído do “Levantamento Pedológico Semidetalhado da Região do Governo de Assis”, elaborado por Bagnola et al. (1990).

c) Fotografias aéreas verticais do levantamento realizado pela Terrafoto S/A em 1984, com escala aproximada 1:35.000.

d) Imagem de satélite sistema LANDSAT TM (bandas 3, 4 e 5) de julho de 1997.

e) Dados físicos e químicos dos solos da microbacia obtidos através do Relatório: projeto de recuperação da bacia da Água da Cachoeira (Marques et al., 1991) e do Levantamento semidetalhado de solos na microbacia do riacho Água da Cachoeira visando a recuperação ambiental, realizado por Marques & Zimback (1995) (Quadro 1).

QUADRO 1 - Resultado das análises químicas e físicas dos solos – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) (Conforme Marques & Zimback ,1995).

Horiz	Prof. cm	pH	M.O. Kg.m ⁻³	CTC Cmol.Kg ⁻¹	V %	P mg.Kg ⁻¹	granulometria % areia % argila		densidade Kg.m ⁻³
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd)									
Ap	0-5	3,7	19	7,0	13	6	80	18	1,50
AB	5-30	3,8	10	5,0	24	2	79	18	1,60
BA	30-65	3,8	8	4,7	24	4	77	19	1,58
Bw1	65-110	3,8	5	3,7	22	2	77	21	1,58
Bw2	110-180+	3,9	5	3,3	31	2	76	22	1,58
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd)									
Ap	0-15	4,5	7	2,3	40	5	90	3	1,90
E	15-45	4,4	3	2,4	35	5	86	7	1,91
Bt1	45-85	4,3	8	3,0	27	6	73	27	1,90
Bt2	85-120	4,2	4	3,2	23	7	77	21	1,90
C1	120-130+	4,1	3	3,0	26	7	78	17	1,90

5.2 - MÉTODOS

5.2.1 - Geração do banco de dados

A primeira etapa para o desenvolvimento do trabalho foi a obtenção dos mapas, que seriam utilizados na criação dos Planos de Informações (PIs). Como forma de facilitar o georeferenciamento e a inserção dos mapas no sistema, convencionou-se que todos seriam elaborados na escala 1:50.000 uma vez que a carta topográfica e o mapa de solos já se encontravam na respectiva escala.

5.2.1.1 - Obtenção dos mapas e geração dos planos de informação (PI)

Elaborou-se de início mapas base contendo a rede de drenagem da microbacia, o divisor d'água e cinco pontos de controle devidamente georeferenciados (Figura 1). Assim, todos os mapas analógicos antes de serem inseridos na base de dados do SIG - IDRISI, foram transferidos para estes mapas base, para que fosse assegurada uma perfeita sobreposição entre os planos de informação gerados.

Os planos de informações (PIs), podem ser considerados como arquivos que contém dados, prontos para serem manipulados e/ou analisados dentro de um SIG. Segundo Felgueiras & Câmara (1993), os PIs podem pertencer às categorias: temáticas (ex: drenagem e divisão político-administrativa), modelo numérico de terreno (ex: curvas de nível e curvas de isobatimetria) ou imagem (ex: imagens de sensoriamento remoto, não temáticas). Neste estudo, serão utilizados em conformidade os termos: plano de informação, imagem ou mapa (quando esta fizer parte do banco de dados do IDRISI32) e *layer*.

Como em outros SIGs, o sistema IDRISI32, permite a entrada de dados através da mesa digitalizadora, do teclado, de scanners ou de qualquer tipo de informação na forma digital, desde que o formato do arquivo seja compatível com os recursos de importação existentes. Para o presente trabalho, utilizou-se para a formação da base de dados a mesa digitalizadora e dados na forma digital (imagem de satélite). Os resultados do uso da mesa digitalizadora são arquivos vetoriais, que podem ser pontos, linhas ou polígonos. Para todas as situações, quando se deseja converter estes arquivos vetoriais para imagens raster, tem-se a necessidade da criação de uma imagem “branca” para ser utilizada pelos módulos que realizaram esta conversão. Uma imagem “branca”, é uma imagem raster contendo os mesmos limites de X e Y e o mesmo referenciamento das imagens constantes na base de dados a ser complementada. No entanto, os pixels desta imagem não contém informações, sendo estes codificados com valor 0 (zero). Desta forma quando um arquivo vetorial é convertido, os pixels da imagem “branca” utilizada no processo assumem códigos ou informações de acordo com aquelas existentes no arquivo vetorial.

A resolução é fator limitante para uma boa definição das feições, ou seja, por se tratar de imagens raster, quanto maior o número de linha e colunas que formam a

imagem, maior será a nitidez com que seus detalhes serão apresentados. A grade utilizada para elaboração das imagens, presentes neste trabalho, é constituída de 600 linhas e 400 colunas, cabendo lembrar que, necessariamente todas as imagens, para que possam participar das operações de sobreposição, devem possuir grades com valores idênticos de linhas e colunas.

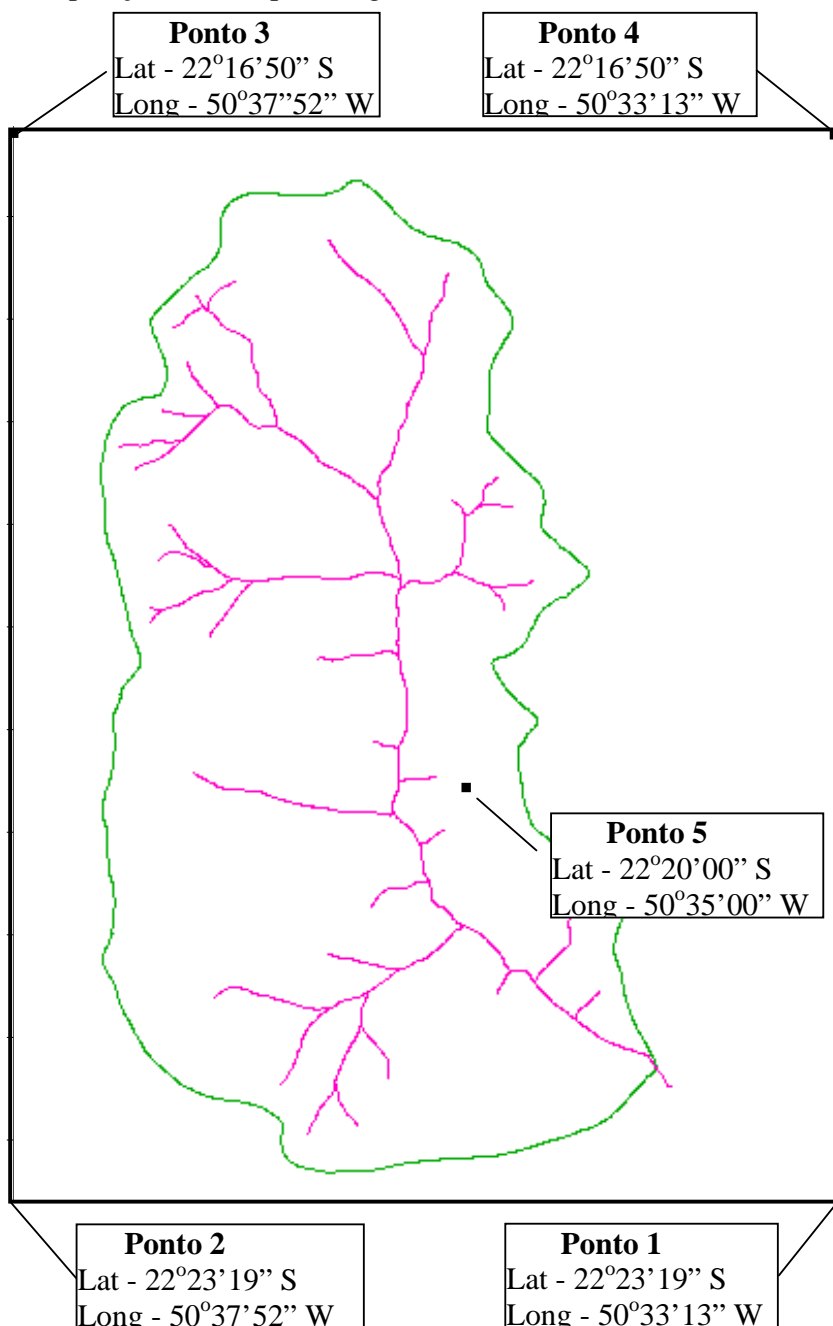


Figura 1 - Mapa contendo a rede de drenagem, limite da microbacia e cinco pontos de controle georeferenciados.

5.2.1.1.1 – Plano de informação - Rede de drenagem

O mapa da rede de drenagem foi obtido através da carta topográfica e das fotografias aéreas. A elaboração do mapa da rede de drenagem, teve por finalidade não só a obtenção das informações convencionais, mas o seu uso na composição dos mapas base. O mapa da rede de drenagem foi digitalizado, criando-se o arquivo vetorial SGREDE, que foi convertido para o formato raster através do módulo LINERAS.

5.2.1.1.2 - Plano de informação - Cotas

O mapa topográfico foi obtido, através da transferência direta das curvas de nível da área de interesse, constantes da carta topográfica do IBGE, para o mapa base. Como meio de dar maior confiabilidade aos resultados desejados, criou-se um mapa com as curvas de nível abrangendo não só a área de estudo, mas todo o retângulo formado pelos quatro pontos extremos de controle. O PI SGCOTA, contendo as cotas da área de estudo foi criado através da digitalização do mapa topográfico, onde o valor do atributo de cada linha é o próprio valor de sua cota. Os módulos INITIAL e LINERAS foram utilizados para a conversão do arquivo vetorial em imagem raster.

5.2.1.1.3 - Plano de informação - Uso do solo

O plano de informação contendo o uso do solo, foi obtido através da classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT-5 TM, de 24 julho de 1997, bandas 3, 4 e 5, com algumas adaptações posteriores para a situação de exploração no ano de 2000. Foi elaborado ainda um mapa de uso do solo a partir de fotografias aéreas verticais de 1984, o qual foi georeferenciado e digitalizado, passando a fazer parte da base de dados deste estudo.

As imagens representando as bandas, ao serem incorporadas ao banco de dados do IDRISI32, receberam as designações de AZUL (banda 3), VERDE (banda 4) e VERMELHO (banda 5) e por apresentarem um sistema de referência diferente daquele utilizado pelos demais planos de informação, foram submetidas ao módulo RESAMPLE para

a realização da adequação do seu sistema de referência ao sistema utilizado na formação da base de dados (Latitude/Longitude). Foram demarcados 14 pontos, sobre a composição colorida, criada pelo módulo COMPOSITE a partir das três bandas, que fossem facilmente identificáveis na carta topográfica do município de Paraguaçu Paulista-SP (IBGE, 1974), dando origem a um arquivo vetorial de pontos. Outro arquivo vetorial foi criado, através do módulo EDIT, contendo as coordenadas dos pontos no sistema de referência das bandas, e as coordenadas correspondentes obtidas na carta topográfica. Este arquivo, chamado de arquivo de correspondência (Quadro 2), foi utilizado pelo módulo RESAMPLE para adequar as imagens ao novo sistema de referência.

Quadro 2 – Arquivo de correspondência utilizado para georreferenciar as imagens AZUL, VERDE e VERMELHO.

SISTEMA DE REFERÊNCIA		SISTEMA DE REFERÊNCIA			
		LONGITUDE		LATITUDE	
X/Y					
127.552185	335.227015	-50.592610	50°35'33,4"W	-22.310551	22°18'37,98"S
127.552186	335.227016	-50.592702	50°35'33,73"W	-22.309907	22°18'35,67"S
123.066875	288.790523	-50.596938	50°35'48,98"W	-22.323150	22°19'23,34"S
150.386487	267.201627	-50.589940	50°35'23,78"W	-22.329679	22°19'46,84"S
135.707292	259.869549	-50.594912	50°35'41,68"W	-22.331150	22°19'52,14"S
133.668515	263.535588	-50.594820	50°35'41,35"W	-22.330231	22°19'48,83"S
87.999911	305.491367	-50.606515	50°36'23,45"W	-22.316804	22°19'00,49"S
57.418256	340.115067	-50.613237	50°36'47,65"W	-22.306413	22°18'23,09"S
88.815422	372.294742	-50.604121	50°36'14,84"W	-22.298780	22°17'55,61"S
145.330320	186.670970	-50.595465	50°35'43,67"W	-22.350646	22°21'02,33"S
144.514810	128.014347	-50.597951	50°35'52,62"W	-22.366371	22°21'58,94"S
171.834421	155.305970	-50.588927	50°35'20,14"W	-22.360486	22°21'37,75"S
144.922565	119.460256	-50.598412	50°35'54,28"W	-22.369314	22°22'09,53"S
214.322534	131.680386	-50.578347	50°34'42,05"W	-22.368670	22°22'07,21"S

Dos 14 pontos existentes no arquivo de correspondência somente 8 pontos foram utilizados, pois houve a necessidade da exclusão de 6 pontos para que o valor do

erro médio quadrado fosse menor que $\frac{1}{2}$ da resolução da imagem de entrada. Assim, obteve-se um erro médio quadrado de 0,476517 para uma resolução de valor 1.

Tendo concluído o georeferenciamento das imagens, estas receberam a designação de SCVERDEREF, SCAZULREF e SCVERMELHOREF, sendo posteriormente utilizadas para a elaboração de uma composição colorida através do módulo COMPOSITE. Para cada uso do solo contido nesta imagem foram delimitados polígonos para a criação das áreas de treinamento. Quanto mais heterogêneo for o uso a ser classificado, em termos de reflectância, maior deve ser o número de áreas de treinamento. As áreas de treinamento são polígonos, que reúnem no seu interior pixels, cujas reflectâncias apresentadas caracterizam uma determinada cobertura do solo, ou mesmo o próprio solo quando exposto. Em seguida o arquivo vetorial contendo as áreas de treinamento foi submetido ao módulo MAKESIG para o desenvolvimento das assinaturas, com base nas três bandas, sendo realizada a seguir a classificação supervisionada através do módulo MAXLIKE. Através da análise visual da imagem produzida pela classificação supervisionada, pôde-se perceber a ocorrência de imperfeições no resultado do processo de classificação adotado, tornando-o insatisfatório. As assinaturas foram então submetidas aos módulos SIGCOMP para a realização da comparação das reflectâncias e SEPSIG para o cálculo da distinção entre assinaturas para todas as possibilidades de combinações. Resultados mais coerentes a partir da classificação supervisionada só foram obtidos com a supressão das assinaturas para eucalipto e café, do processo de classificação. Como a microbacia possui poucas áreas com estes usos, criou-se um arquivo vetorial destes usos a partir da digitalização em tela sobre a composição colorida, sendo criada a seguir uma imagem raster, que foi posteriormente sobreposta a imagem originada da classificação realizada sem considerar estes usos. A imagem final recebeu a denominação de SCLASSIFIC.

A utilização do módulo FILTER se fez necessária para melhorar os resultados da classificação tornando-os menos partilhados. Mesmo a imagem SCLASSIFIC não sendo um produto único da classificação supervisionada, ou seja, sendo um produto da classificação supervisionada, mas com auxílio de adaptações posteriores, optou-se por realizar uma verificação da qualidade dos resultados obtidos, embora tenha sido verificada visualmente uma boa correlação entre o resultado do procedimento adotado e a real ocupação

do solo. Esta verificação foi realizada através da matriz de erro e do índice KAPPA, obtidos do confronto entre os resultados do processo de classificação e a situação real de ocupação do solo. Para a realização desta avaliação fez-se uso do módulo SAMPLE para a definição da localização dos pontos de amostragem. O número de pontos a serem amostrados foi obtido através da expressão apresentada por Eastman (1999b):

$$n = Z^2 pq/e^2 \text{ onde,}$$

n = número de pontos

Z = número padrão requerido para o nível de confiança desejado

p = erro proporcional estimado

q = 1 – p

e = intervalo de confiança desejado

Cálculo:

Os valores adotados foram:

- para o nível de confiança de 98% o valor de $Z = 2,41$

- erro proporcional estimado $p = 0,97$

- para intervalo de confiança de ± 10 , valor de $e = 0,01$

$$n = (2,41)^2 \times (0,97 \times 0,03)/(0,01)^2$$

$$n = 1690,15 \cong 1690 \text{ pontos}$$

Como a microbacia possui formato irregular e as imagens no IDRISI32 são exibidas em grade retangular, para que ocorresse sobre a área da microbacia o número desejado de pontos, no módulo SAMPLE preencheu-se o parâmetro “número de pontos” com um valor 35% maior do que o calculado, uma vez a área ocupada pelo polígono da microbacia era equivalente a 65% da área total do retângulo de exibição. Assim, após o processamento pelo módulo SAMPLE foram contabilizados 1703 pontos sobre a área da microbacia, demonstrados na Figura 2. O arquivo vetorial produzido pelo módulo SAMPLE foi convertido em imagem raster, sendo em seguida utilizada juntamente com o módulo EXTRACT, para

extrair da imagem SCLASSIFIC os códigos dos usos em cada ponto, dando origem a imagem SAMPLE5ID. Para cada ponto foi checado em seguida a identificação (uso), baseando-se na imagem de satélite analógica escala 1:50000 e visitas a campo, dando origem a uma imagem (SAMPLE5TRUE) contendo os mesmos pontos da imagem SAMPLE5ID, possuindo, no entanto, as codificações dos usos que realmente se encontram no campo. A verificação da coerência entre a imagem SCLASSIFIC e a realidade encontrada no campo pôde ser quantificada através do módulo ERRMAT, que realizou a comparação entre as imagens SAMPLE5ID e SAMPLE5TRUE, gerando uma matriz de erro e o valor do índice KAPPA.

5.2.1.1.4 Plano de Informação - Propriedades rurais

Na elaboração do mapa das propriedades rurais da microbacia Água da Cachoeira, fez-se uso de várias informações: o mapa de propriedades existente no Relatório: Projeto de recuperação da bacia da Água da Cachoeira (Marques et al., 1991), fotografias aéreas, informações obtidas com os proprietários sobre a localização das divisas e o mapa apresentado por Campos (1996).

Com base nessas informações foi elaborado um mapa base contendo as divisas das propriedades, o qual foi digitalizado dando origem a um arquivo vetorial. Este arquivo foi convertido para imagem raster através dos módulos INITIAL e POLYRAS.

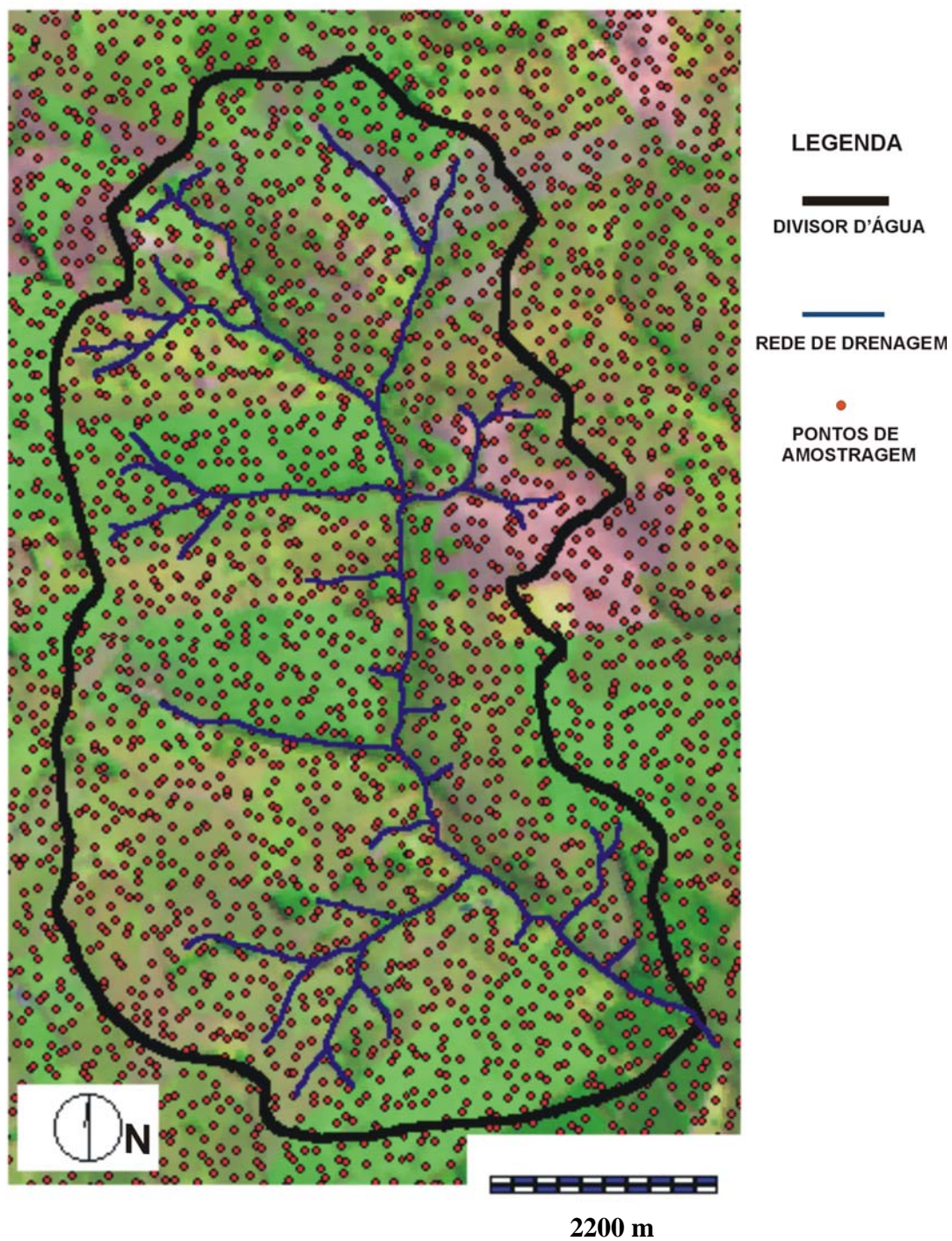


Figura 2 – Localização dos pontos de amostragem sobre a área da microbacia Água da Cachoeira.

5.2.1.1.5 Plano de informação - Solo

De acordo com o mapa de solos do município de Paraguaçu Paulista - SP, extraído do “Levantamento Pedológico Semidetalhado da Região do Governo de Assis”, elaborado por Bagnola et al. (1990), são encontrados dois grupos de solos na microbacia Água da Cachoeira: LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO, A moderado, textura média ; PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO Tb, A moderado, textura arenosa/média. (Marques et al., 1991) e Marques & Zimback (1995) apresentam para a mesma área os seguintes grupos de solos:

- a) LATOSSOLO VERMELHO ESCURO (LEd)
- b) ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd)
- c) ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico (PVAe)
- d) GLEISSOLO MELÂNICO (GM)
- e) NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico (RUbd)

No presente trabalho, foram considerados os solos apresentados nesta última citação, sendo que destes somente os solos *a* e *b* foram considerados representativos, em termos de mapeamento e análise. Em virtude da atualização ocorrida na classificação de solos no Brasil, estes solos tiveram sua nomenclatura alterada de acordo com Embrapa (1999).

O mapa de solos foi digitalizado e editado, através do módulo TOSCA, criando-se um arquivo vetorial, o qual foi submetido ao módulo CYCLE, proporcionando a criação dos polígonos dos diferentes tipos de solos. Os módulos INITIAL e POLYRAS foram utilizados em seguida para criação da imagem raster.

5.2.1.2 Parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

5.2.1.2.1 Fator erosividade (R)

Dentre os parâmetros da equação universal de perdas de solo (EUPS) o fator erosividade é aquele que expressa o potencial erosivo da chuva, dependendo portanto de parâmetros pluviométricos para sua obtenção. Três procedimentos para a obtenção deste parâmetro, foram efetuados neste estudo, permitindo a escolha daquele que melhor

representasse a efetiva ação deste fator sobre a área de estudo. Os três procedimentos de obtenção do fator R são demonstrados a seguir:

a) Lombardi Neto et al., apud Bertoni & Lombardi Neto (1990) utilizando a equação $EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$ (onde EI = média mensal do índice de erosão (MJ/ha-mm); r = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm)), elaboraram o mapa de isoerodentes para o Estado de São Paulo a partir dos valores de EI₃₀ de 115 localidades (Figura 3). A partir deste mapa foi possível a obtenção do índice de erosividade para a área de estudo.

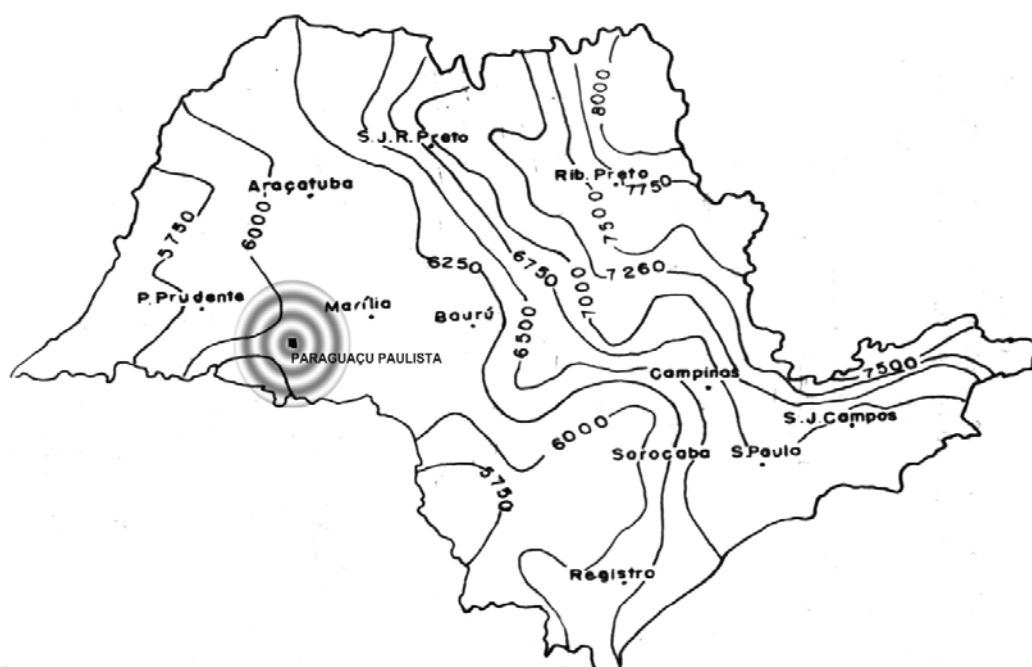


Figura 3 – Valores médios anuais do índice de erosão da chuva do Estado de São Paulo (Fonte: Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

b) A partir de dados pluviométricos presente no trabalho desenvolvido por Pereira & Alves (1997), referentes ao município de Paraguaçu Paulista, abrangendo o período de 1958-1992 (Apêndice 2) e da equação utilizada por Ito et al. (1998) ($EI = 89.823(p^2/P)^{0,759}$, onde EI = índice mensal de erosão – MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ ; p = precipitação média mensal – mm; P = precipitação média anual – mm), que foi desenvolvida por Lombardi

Neto & Moldenhaur (1982) e modificada por Lombardi Neto (1995) estimou-se a erosividade para o município de Paraguaçu Paulista-SP.

c) No terceiro procedimento a erosividade para a microbacia em estudo foi estimada a partir de dados de precipitação de 6 pluviógrafos (Quadro 3), obtidos pelo Instituto Florestal-SP, referentes aos anos de 1995, 1996; 1997, 1998 e 1999 (Apêndice 3) e da equação utilizada por Ito et al. (1998) - $EI = 89.823(p^2/P)^{0,759}$, cujos parâmetros estão demonstrados no procedimento anterior. Para cada pluviógrafo estimou-se a erosividade para o período de 1995 a 1999. Elaborou-se um arquivo de pontos no software SURFER, contendo as coordenadas geográficas de cada pluviógrafo e o valor da erosividade calculada para o período. Estes valores foram interpolados com a utilização do *software* SURFER e foi elaborado um mapa de isolinhas com número de linhas e colunas iguais aos das imagens existentes na base de dados deste trabalho no IDRISI32. O mapa obtido foi em seguida importado para a base de dados do IDRISI32, passando a constituir o plano de informação erosividade (R).

Quadro 3 – Localização dos pluviógrafos instalados na microbacia Água da Cachoeira.

PLUVIÓGRAFO	LONGITUDE	LATITUDE
1	-50.60178	50°36'06,41"W -22.36336
2	-50.61266	50°36'45,58"W -22.31068
3	-50.57809	50°34'41,12"W -22.35722
4	-50.59343	50°35'36,35"W -22.34008
5	-50.60159	50°36'05,72"W -22.30202
6	-50.6146	50°36'52,56"W -22.34802

5.2.1.2.2 Erodibilidade (K)

Este plano de informação foi desenvolvido com base no PI-SOLO, onde foi determinado o valor da erodibilidade para cada tipo de solo. O fator erodibilidade do solo (K), na equação universal de perdas de solo é um valor quantitativo determinado experimentalmente, podendo ser expresso em t.h.ha⁻¹.mm⁻², t.ha⁻¹.mm⁻¹, t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ e t.h. MJ⁻¹.mm⁻¹. O valor é obtido em uma parcela unitária de 72,6 pés (23,958m) de comprimento com uma declividade de 9%, preparada no sentido do declive e livre de vegetação por no mínimo dois anos (Wischmeier & Smith, 1978). No entanto, conforme a

colocação de Bertoni & Lombardi Neto (1990), medidas experimentais do fator K, conforme as normas estabelecidas no surgimento da EUPS, são custosas e requerem muitos anos de determinações, além de ser difícil isolar os efeitos do solo de outros fatores. Marques et al. (1997b) confirmam estas afirmações e ressaltam a rigorosa padronização, quando os valores são obtidos sob chuvas naturais. Desta forma buscou-se para a utilização neste estudo, um valor para este fator que melhor representasse a erodibilidade dos solos estudados, a partir de trabalhos realizados por outros pesquisadores.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) apresentam as erodibilidade de alguns grupamentos de solos para o Estado de São Paulo. Para os Podzolizados os índices de erodibilidade variam entre 0,028 e 0,055 t.h.MJ⁻¹ e para os Latossolos entre 0,011 e 0,022 t.h.MJ⁻¹.

O método direto de Pereira apud Freire et al. (1998) foi utilizado para obter o índice de erodibilidade dos solos do oeste do Estado de São Paulo. Neste estudo foram avaliados, dentre outros, os solos: LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO, A fraco, textura média, relevo ondulado, fase floresta tropical subperenifólia e PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO, A moderado, textura arenosa, transição abrupta e relevo ondulado, os quais podem ser considerados semelhantes aos avaliados no presente trabalho. O método indireto proposto por Denardin & Freire, foi citado pelos autores e utilizado para estimar os índices de erodibilidade dos solos em questão. Os valores obtidos pelos dois métodos são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores de erodibilidade obtidos por Freire et al. (1998).

SOLO	ERODIBILIDADE (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	
	MÉTODO DIRETO	MÉTODO INDIRETO
LATOSSOLO	0,033	0,031
PODZÓLICO	0,029	0,027

Foram utilizados neste trabalho os índices de erodibilidade obtidos por Freire et al. (1998), levando-se em consideração a proximidade geográfica e pedológica entre os solos da microbacia hidrográfica Água da Cachoeira e os da Fazenda Laranjeiras/CESP-Narandiba (SP) e por considerá-los mais representativos uma vez que foram obtidos por método direto, que conforme ressaltaram Marques et al. (1997a), quando este fator é obtido

através de métodos diretos, por meio de chuvas simuladas ou naturais, reflete verdadeiramente a erodibilidade do solo, tal como ele é compreendida na USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Portanto para o PODZÓLICO, que neste trabalho é equivalente ao ARGISSOLO, o valor adotado foi de $0,029 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e para o LATOSSOLO foi de $0,033 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

Realizou-se a seguir a assinatura destes valores aos solos do plano de informação (PI)-Solo, gerando o plano de informação erodibilidade (K), para utilização no processamento da equação universal de perdas de solo.

5.2.1.2.3 Fator Topográfico LS

A taxa de erosão do solo pela água é afetada substancialmente pelo comprimento e declive da rampa, sendo que o efeito de cada fator, tem sido avaliado separadamente pela pesquisa e são representados na equação de perda de solo por L e S, respectivamente. Entretanto, na prática, considerar os dois como um simples fator topográfico, LS, é mais conveniente (Wischmeier & Smith, 1978).

O fator LS é definido como a razão de perda de solo esperada por unidade de área, a partir de uma rampa, comparada com aquela possuindo 72,6 pés (23,958m) de comprimento e com 9 % de declividade. Wischmeier & Smith (1978) apresentam gráficos e tabelas para diferentes combinações de comprimento e declive de rampa, que possibilitam a obtenção do fator LS, elaborados a partir da equação:

$$LS = (\lambda/72,6)^m \cdot (65,41\sin^2\theta + 4,56\sin\theta + 0,065)$$

Onde:

λ = comprimento da rampa em pés;

θ = ângulo do declive;

$m = 0,5$ se a porcentagem de declividade for de 5% ou mais; 0,4 para declives de 3,5 a 4,5%; 0,3 para declives de 1 a 3%, e 0,2 para gradientes uniformes menores que 1%.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) apresentam para o sistema métrico a equação:

$$LS = (\sqrt{L/100}) \cdot (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2)$$

onde:

L = comprimento do declive (m);

S = grau do declive (%).

O efeito do comprimento e do grau de declive assim estabelecido pressupõe declives essencialmente uniformes, isto é, não considera se eles são côncavos ou convexos. Contudo, dados escassos indicam que o uso do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de declives convexos e superestimar aquelas de declives côncavos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Para uso na equação universal de perdas de solo, estes autores sugerem para o cálculo do fator LS, a equação:

$$LS = 0.00984 C^{0,63} D^{1,18}$$

onde:

C = comprimento de rampa (m)

D = declividade (%)

Neste estudo utilizou-se desta última equação para a determinação dos fatores LS para as diferentes combinações de comprimento de rampa e declive existentes na microbacia Água da Cachoeira. Para a utilização da equação elaborou-se um plano de informação para cada parâmetro. O parâmetro “declividade” foi obtido através do módulo SURFACE, utilizando o modelo digital de elevação SGDEM, resultante da interpolação das cotas referentes a área de estudo (PI-SGCOTAS), com o uso dos módulos TIN e TINSURF. Para o parâmetro “comprimento de rampa” foram avaliados dois procedimentos:

O primeiro procedimento seguiu de acordo com o proposto por Rocha et al. (1996). A partir do modelo digital de elevação SGDEM foram gerados os PIs de aspecto e de declividade, através do módulo SURFACE. A imagem de aspecto indica o direcionamento da rampa em relação ao norte verdadeiro, sendo este um parâmetro para diferenciação de rampas. Em seguida a imagem com as declividades foi reclassificada de acordo com intervalos previamente definidos (Quadro 5) e a imagem aspecto, contendo variações de 0 a 360°, foi reclassificada em oito classes com intervalos de 45°. O nome atribuído a cada plano de informação foi SGASPECT e SGSLOPEG, respectivamente.

Quadro 5 – Classes de declividade utilizadas para o cálculo do comprimento de rampa de acordo com Rocha et al. (1996).

IDENTIFICAÇÃO	INTERVALO (Graus)	INTERVALO (%)
1	0 - 0°54'00"	0-2
2	0°54'00" – 2°42'00"	2-6
3	2°42'00" – 5°24'00"	6-12
4	5°24'00" – 9°00'00"	12-20
5	9°00'00" – 18°00'00"	20-40
6	>18°00'00"	>40

O módulo CROSSTAB foi utilizado para gerar um plano de informação com todas as combinações entre a imagem de aspecto e a imagem contendo as declividades calculadas para a área de estudo. Para cada combinação foi originado um polígono, que recebeu uma identidade, após o PI ser submetido ao módulo GROUP. Neste PI, designado SGRAMPAS, estavam todas as rampas existentes na área de estudo, determinadas de acordo com o método em desenvolvimento, restando ainda a determinação do comprimento de cada uma. Para a determinação do comprimento das rampas foi necessário determinar o declive médio e a diferença de altura (desnível) em cada rampa. Utilizando o módulo EXTRACT e a imagem SGRAMPAS, foram obtidas as declividades médias de cada rampa a partir da imagem SGSLOPEG. Para a obtenção do desnível utilizou-se o mesmo procedimento a partir da imagem SGDEM (Modelo Digital de Elevação - MDE). Duas novas imagens foram originadas, uma contendo as declividades médias (SGDECLMÉDIO) e outra contendo o desnível (SGALTURA) em cada rampa, que foram utilizadas para calcular os comprimentos das rampas, através do recurso IMAGE CALCULATOR e da equação:

$$L = \Delta H / \text{sen}\alpha \quad \text{onde:}$$

L = comprimento de rampa (m); ΔH = diferença de altura na rampa (m); $\text{sen}\alpha$ = ângulo médio da rampa (graus).

A expressão utilizada no SIG IDRISI foi:

$$\text{SGRAMPAS} = [\text{SGALTURA}] / \text{SEN}(\text{RAD}[\text{SGDECLMÉDIO}])$$

Para melhor compreensão da metodologia utilizada tem-se o fluxograma das operações na Figura 4.

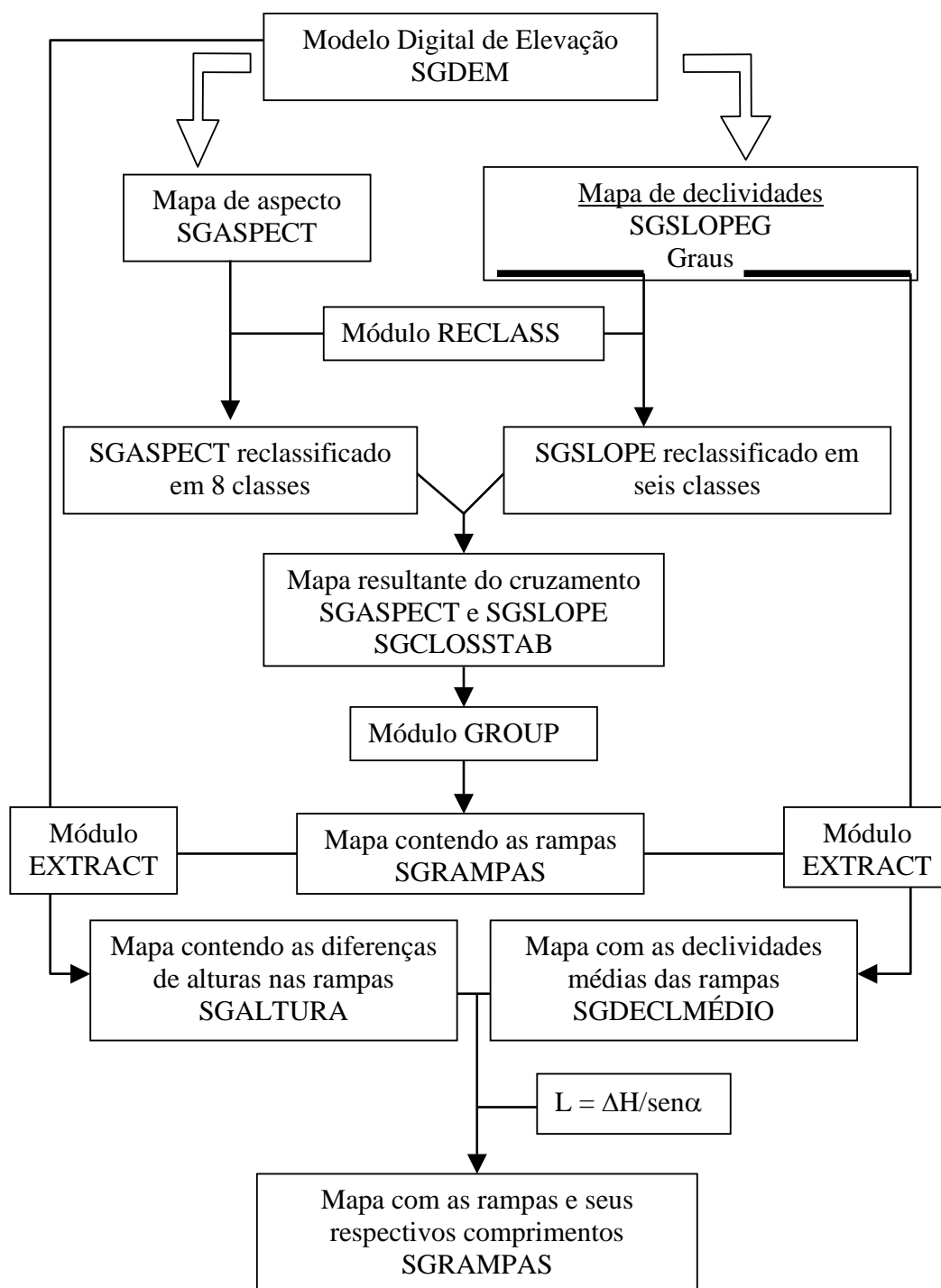


Figura 4 – Fluxograma das operações para obtenção do comprimento de rampas pelo método proposto por Rocha et al. (1996).

Os resultados apresentados por este método se apresentam insatisfatórios. Considerando que as rampas possuem forma de polígonos irregulares, e que por este método a distância máxima calculada para a maior extensão da rampa é atribuída a todos os pixels pertencentes a esta rampa, segmentos menores estariam representados por valor de comprimento do maior segmento. Quando utilizados para a determinação do fator LS, nestes locais de menor extensão, o fator LS estaria sendo superestimado. A Figura 5 ilustra uma rampa com 30 m de desnível do ponto A ao ponto B, com uma declividade média de $3^{\circ}36'$. Adotando a equação $L = \Delta H / \text{sen}\alpha$, (ΔH = altura máxima – altura mínima; α = declividade média da rampa) o comprimento calculado para a rampa será de 477,77m, valor atribuído a todos os pixels componentes da rampa. Conclui-se que o segmento A-B possui o comprimento calculado, no entanto, os demais segmentos estão com o valor de comprimento de rampa superestimado.

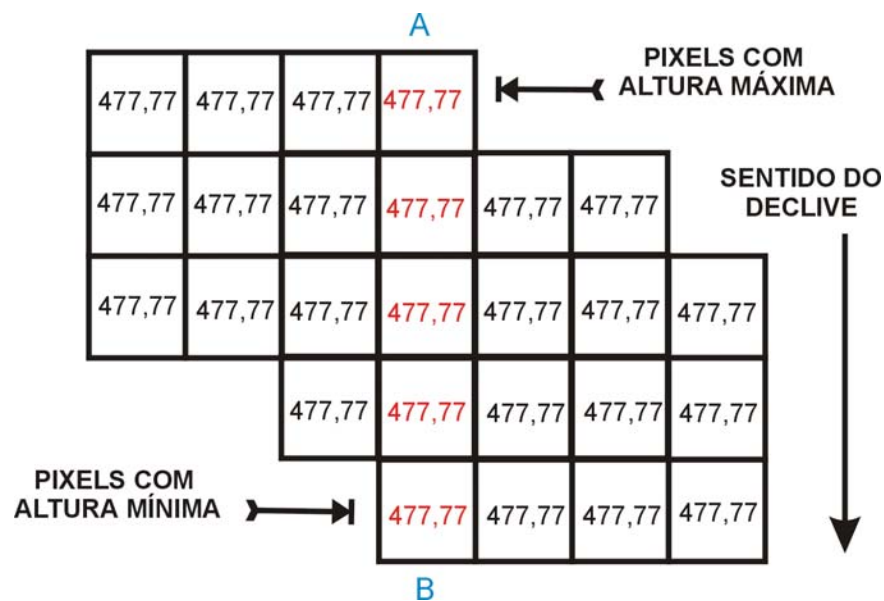


Figura 5 - Representação dos valores do comprimento de rampa obtido pelo método proposto por Rocha et al. (1996).

No segundo procedimento utilizou-se o programa ERODE2, desenvolvido pelo *Department of Geography and Land Studies, Central Washington University, Ellensburg, W.A.* (<http://www.cwu.edu/~rhickey/slope/erode.html>). O programa ERODE2 pode ser considerado como sendo uma rotina computacional, que utiliza os módulos

do *software* IDRISI versão 4.1 para realizar o cálculo do comprimento acumulado de uma rampa, devendo ambos estarem instalados no mesmo diretório.

A base de dados utilizada pelo ERODE2 para a obtenção das rampas e seus respectivos comprimentos é o modelo digital de elevação da área em estudo, cujo nome do arquivo é solicitado pelo programa juntamente com os nomes a serem dados aos arquivos que serão gerados. Os arquivos criados irão conter, para cada célula, o ângulo de inclinação, o comprimento e o direcionamento (aspecto). É solicitado ainda o nome para o arquivo que irá conter os comprimentos acumulados para as rampas e, o fator *Cutoff Slope*, que define a mudança necessária no declive para que o comprimento acumulado da rampa seja finalizado, caracterizando uma região onde a taxa de deposição é maior que a erosão ou nula. O valor dado a este parâmetro deve variar de 0 - 1 (0-100%), ou seja, se o declive decrescer mais do que o valor estabelecido, então haverá deposição e não erosão, sendo o comprimento acumulado do declive neste ponto considerado como 0 (zero). Se for estabelecido um valor, por exemplo, de 0,5 (50%) e o ângulo de inclinação da rampa sofrer uma variação na direção do escoamento de 10 graus para 4 graus, então este ponto será considerado como final da rampa, pois a mudança foi maior que 50%.

Utilizando-se o PI SGDEM como base de dados para a determinação do comprimento das rampas existentes na microbacia Água da Cachoeira através do ERODE2, estaria-se procedendo de maneira incorreta na obtenção deste parâmetro, para o cálculo do fator LS, pois conforme Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Wischmeier & Smith (1978), para a determinação do fator LS em áreas terraceadas deve-se utilizar como comprimento da rampa a distância entre os terraços.

Na busca de um procedimento que permitisse a obtenção dos comprimentos das rampas, levando-se em consideração às áreas terraceadas, elaborou-se primeiramente um PI contendo as áreas terraceadas (SGTERRAÇO), a partir de informações obtidas através da imagem de satélite, das fotografias aéreas, do mapa contendo as divisas das propriedades e de visitas a campo. Os pixels destas áreas receberam a identificação de valor 50, o qual representa a distância inclinada entre os terraços. Este valor representa uma média das distâncias encontradas a campo, pois o uso das distâncias tal qual elas se apresentam a campo exigiria procedimentos mais complexos, como por exemplo um levantamento

topográfico com o uso do *Global Position System* (GPS) para mapear todos os terraços. Através do PI SGDEM e o programa ERODE2 elaborou-se, para a área de estudo, o PI contendo as rampas e seus comprimentos, que foi sobreposta pela imagem SGTERRAÇO. A imagem resultante se mostrou insatisfatória, e se utilizada para a obtenção do fator LS, este apresentaria valores superestimados. A Figura 6 ilustra a disposição dos pixels constituintes de uma rampa, cujo comprimento acumulado foi calculado pelo ERODE2. Após a sobreposição por pixels cujos valores de identificação representam a distância entre terraços, alguns pixels não sofreram tal sobreposição, permanecendo com o valor do comprimento acumulado da rampa.

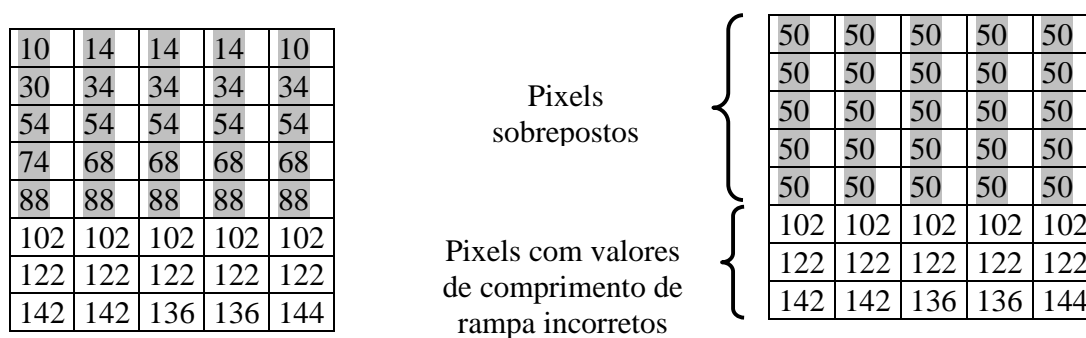


Figura 6 - Alterações nos valores dos pixels após a sobreposição pelos pixels da imagem contendo as áreas terraceadas.

O valor do fator LS para estes pixels estaria incorreto, pois o terraceamento partilhou a vertente em rampas menores, e os comprimentos das rampas nestas áreas deveriam ser calculados a partir do último terraço a jusante.

Outro procedimento foi realizado, partindo-se da hipótese de que o programa ERODE2 realizaria os cálculos, mesmo contendo regiões no MDE cujos valores dos pixels fossem iguais a 0 (zero), calculando o comprimento das rampas para as demais regiões onde os pixels continham valores de altitude. Os pixels da imagem SGTERRAÇO representantes das áreas terraceadas foram assinados com valor 0 (zero) e os demais com valor 1, permanecendo o background com valor 0 (zero). Através do módulo OVERLAY a imagem SGTERRAÇO foi multiplicada pela imagem SGDEM (MDE), originando uma imagem onde os pixels das áreas terraceadas possuíam valor 0 (zero) e os demais pixels, valores conforme aqueles encontrados no modelo digital de elevação. Desta forma um novo MDE foi elaborado,

contendo valores de altitudes somente para as áreas não terraceadas. Este MDE foi utilizado então para calcular o comprimento acumulado das rampas pelo programa ERODE2, utilizando para o parâmetro *Cutoff Slope* o valor 0,05, ou seja, quando o declive da rampa sofresse uma alteração de 95% o cálculo do comprimento acumulado seria finalizado. Este valor foi estipulado com base na avaliação do histograma da imagem SGSLOPEG (imagem contendo as declividades em graus) e na declividade média para a bacia (5°28') calculada através do módulo EXTRACT. Considerou-se a ocorrência de deposição para declividades em torno de 1%. A imagem resultante foi sobreposta pela imagem SGTERRAÇO, através do módulo OVERLAY, com os pixels das áreas terraceadas codificados com o valor 50 representando a distância entre os terraços. A imagem final apresentou resultados satisfatórios, e ao arquivo foi atribuído o nome de SGERORAMPA.

O fator LS foi calculado com a utilização do recurso IMAGE CALCULATOR para realizar o processamento da equação:

$$LS = 0.00984 C^{0.63} D^{1.18}$$

onde:

C = comprimento de rampa (m) (SGERORAMPA)

D = declividade (%) (SGSLOPEP)

A imagem SGSLOPEP foi obtida através do módulo SURFACE, e iguala-se a imagem SGSLOPEG, estando, no entanto, as declividades expressas em porcentagem.

A expressão utilizada no IDRISI32 foi:

$$FATORLS = 0.00984(([SGERORAMPA]^{0.63}) * ([SGSLOPEP]^{1.18}))$$

5.2.1.2.4 Práticas conservacionistas (P)

Para a obtenção deste plano de informação, contendo os valores do fator práticas conservacionistas (P), primeiro houve a necessidade da avaliação das práticas conservacionistas adotadas nas diversas formas de utilização do solo. Foram consideradas as seguintes situações para este fator:

- terraceamento: incluiu-se todas as áreas com cultivo de cana-de-açúcar e áreas terraceadas, identificadas a campo e mapeadas com o uso da imagem de satélite e fotografia aérea;

- Plantio em nível: prática encontrada em todas as áreas cultivadas;
- Foram observadas outras práticas de conservação do solo tais como utilização de adubação orgânica e química, não utilização do fogo sobre restos culturais, etc..., no entanto, para fins de avaliação das perdas de solo foram considerados apenas as práticas de terraceamento e plantio em nível para estabelecimento do fator práticas conservacionistas (P).

As áreas cultivadas com cana-de-açúcar e cultura anual foram extraídas do plano de informação SCLASSIFIC, o que deu origem a um novo PI, sendo adaptado sobre ele, através do módulo POLIRAS o arquivo vetorial contendo as demais áreas com terraceamento (pastagem) obtidas pela digitalização sobre a imagem de satélite. Assim, elaborou-se um plano de informação contendo as áreas terraceadas e as áreas com plantio em nível denominado SCFATORP.

Os valores adotados para este fator seguem as recomendações de Bertoni & Lombardi Neto (1990).

5.2.1.2.5 Fator uso e manejo do solo (C)

O fator C na equação de perda de solo é a razão de perda de solo a partir de um solo cultivado sobre condições específicas e a correspondente perda a partir de um terreno mantido sem cultivo e continuamente descoberto. Este fator avalia os efeitos combinados de todas as correlações entre as variáveis cobertura e manejo. A perda que poderia ocorrer sobre um campo particular se ele estivesse continuamente em condições descobertas é computado pelo produto de RKLS na equação de perdas de solo. A perda atual a partir de um campo cultivado é usualmente muito menor que este valor. O quanto menor depende da combinação de cobertura, seqüência de cultivo e praticas de manejo. Ele também depende da relação entre o estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal e as chuvas. A correspondência de períodos onde são esperadas chuvas altamente erosivas com

períodos de má ou boa cobertura vegetal difere entre regiões e localizações. O valor apropriado do fator C para uma dada localidade requer o conhecimento de como as chuvas erosivas se distribuem ao longo do ano nesta localidade e o quanto de proteção ao controle a erosão o crescimento das plantas, resíduos de colheita e práticas de manejo selecionadas irão promover no mesmo tempo em que as chuvas erosivas ocorrem. Um procedimento para a obtenção do fator C é baseado em dados climáticos e pesquisas que reflitam o efeito da cultura e manejo em sucessivos segmentos de um ciclo de rotação (Wischmeier & Smith, 1978).

Para a obtenção do fator C, Bertoni e Lombardi Neto (1990), comentam a necessidade da combinação as intensidades de perdas de solo da cada período de desenvolvimento da cultura, com dados relativos à chuva, bem como, datas prováveis de plantio e colheita, tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais, bem como a produção esperada média.

Para algumas situações de uso e manejo foi possível o cálculo do fator C, com base na metodologia e informações encontradas em Bertoni e Lombardi Neto (1990), DeMaria & Lombardi Neto (1997) e Castro & Valério Filho (1997), mediante a possibilidade de obtenção de valores adequados para as variáveis. Em outras situações optou-se por utilizar os valores para o fator C encontrados por Gracia et al. (2000). De uma forma ou outra, elaborou-se a divisão em estágios de crescimento das ocupações do solo encontradas na área de estudo, e apresentadas a seguir.

Cana-de-açúcar: por se tratar de uma cultura já implantada, foram consideradas as seguintes etapas no ano agrícola:

- Estágio 1 - Colheita e tratos culturais: maio
- Estágio 2 – Da colheita a cobertura parcial do solo (estabelecimento): junho/julho
- Estágio 3 – Crescimento: agosto/setembro/outubro/novembro/dezembro/janeiro
- Estágio 4 – Maturação: fevereiro/março/abril

Milho: Como cultura do milho segue em rotação com a cultura do feijão nas poucas áreas de culturas anuais, o fator C determinado no ano se deu pela soma dos fatores obtidos para cada um dos usos.

- Estágio D - Preparo do solo ao plantio: setembro/outubro
- Estágio PL – Do plantio até 30 dias depois (pós-plantio) : novembro
- Estágio 1 – Dos 30 dias aos 60 dias após o plantio (estabelecimento): dezembro
- Estágio 2 – Dos 60 aos 90 dias do plantio até colheita (desenvolvimento): janeiro
- Estágio 3- Dos 90 dias do plantio até a colheita (maturação): fevereiro/março

Feijão

- Estágio D – Preparo do solo ao plantio: abril/maio
- Estágio PL – Do plantio até 30 dias depois (pós-plantio): junho
- Estágio 1 – Dos 30 dias aos 60 dias após o plantio (desenvolvimento): julho
- Estágio 2 – Dos 60 dias até a colheita (maturação): agosto

Café: a cultura do café por ser perene, o seu ciclo produtivo anual apresenta-se em um único estágio.

- Estágio único - crescimento e maturação: janeiro a dezembro

Reflorestamento (espécies comerciais): os reflorestamentos existentes na área de estudo estão na fase adulta, devendo então, a cobertura ser considerada máxima para este tipo de uso.

Estágio único - crescimento: janeiro a dezembro

Mata nativa: todas as áreas com mata nativa ou reflorestadas com espécies nativas, estão em pleno desenvolvimento e o solo apresenta-se com boa cobertura.

Estágio único - crescimento: janeiro a dezembro

Pastagem: áreas com pastagens já implantadas e estabelecidas.

Estágio único - crescimento: janeiro a dezembro

Determinados os fatores C, elaborou-se o PI-FATORC através da assinatura dos valores aos respectivos usos presentes na imagem SCLASSIFIC.

5.2.2 Obtenção da estimativa de perdas de solo

A estimativa de perdas de solos por erosão na microbacia Água da Cachoeira foi realizada através da equação universal de perdas de solo, dada pela expressão:

$$A = RKLSCP \quad \text{onde:}$$

A = perda de solo por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); R = é a erosividade ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$);

K é a erodibilidade ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$);

LS = fator topográfico (adimensional);

C é o uso e manejo (adimensional);

P é a prática conservacionista (adimensional).

Portanto, para cada fator da equação utilizou-se um plano de informação contendo as informações referentes a áreas de estudo sendo que, para a imagem resultante, contendo as variações nas taxas de perda de solo ao longo bacía, designou-se o nome de SGUSLE.

A perda média de solo para a bacía foi obtida através do módulo EXTRACT e da imagem contendo o polígono formado pelos limites da microbacia.

5.2.3 Obtenção das perdas de solo com simulação da adoção de algumas práticas de uso e manejo

De acordo com a classificação realizada por Campos (1996), a microbacia Água da Cachoeira possui classes de capacidade de uso II, III, IV e VI, distribuídas em subclasses de capacidade de uso, como mostra a (Figura 7).

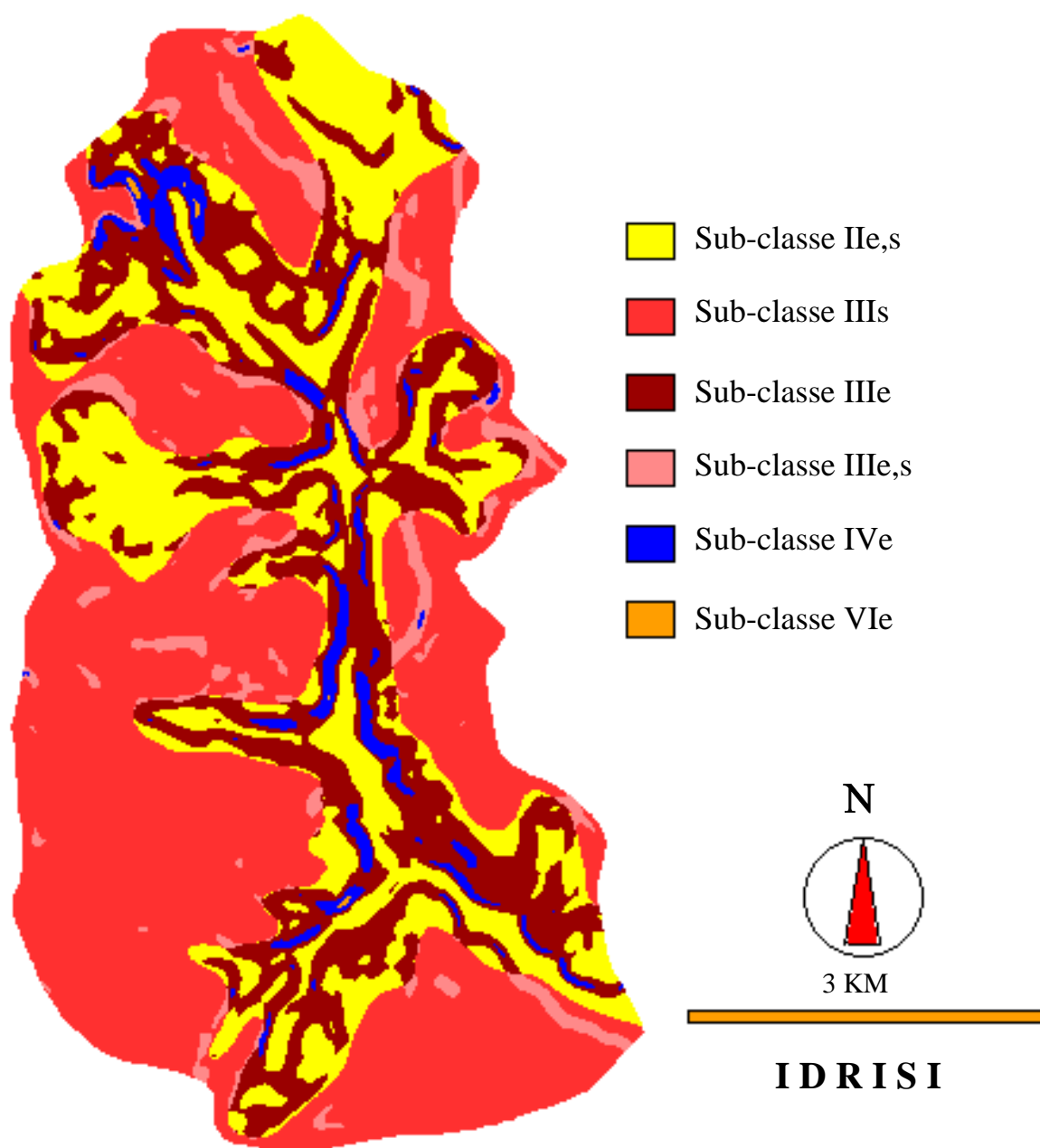


Figura 7 - CLASUSO - Mapa das sub-classes de capacidade de uso da microbacia Água da Cachoeira. (Fonte: Campos, 1996)

As descrições de cada classe e subclasse de capacidade de uso, são baseadas naquelas dadas por Lepsch et al.(1991). A erosão se apresenta como fator comum de limitação para a maioria das subclasses de capacidade de uso, logo o planejamento da exploração agropecuária deve estar pautado na utilização de técnicas que reduzam o seu efeito sobre solo e conseqüentemente sobre o meio ambiente. Campos (1996) concluiu em relação a microbacia Água da Cachoeira, que:

- cerca de 96,89 % da microbacia, pode ser utilizada com culturas anuais, desde que obedecidas recomendações de manejo e conservação do solo;

- os problemas de degradação do solo e assoreamento do riacho, não devem ser atribuídos, a ocupação incorreta do solo, pois somente 2,949 ha (0,081% da área total da microbacia) estavam sendo utilizados fora das recomendações do sistema de capacidade de uso;

- o estágio de degradação, em que se encontra a microbacia, é resultante principalmente da não adoção de práticas conservacionistas;

- aliada as práticas de conservação do solo, deve-se implementar a recomposição da mata ciliar, de maneira a promover a estabilização das margens do riacho Água da Cachoeira e a redução do volume de sedimentos que chegam até o seu leito.

5.2.3.1 Recomendações

Os procedimentos sugeridos para o planejamento da exploração da microbacia, visam o restabelecimento e preservação do equilíbrio ambiental no que se refere a solo e água.

a) Uso e manejo do solo

Após a classificação das terras da microbacia Água da Cachoeira, em classes e subclasses, pode-se indicar os usos e as práticas de manejo do solo a serem adotados, de maneira a possibilitar a sua utilização sem causar o seu depauperamento.

As recomendações apresentadas a seguir, estão embasadas naquelas dadas por Lepsch (1991), Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Galetti (1984). Como a maior parte da microbacia está sendo explorada dentro das recomendações quanto ao uso, do sistema de capacidade de uso, não se propõe alterações nos tipos de culturas exploradas, levando-se

em consideração a sócio-economia da região. As recomendações apresentadas para as subclasses são gerais, e visam além da redução das perdas de solo, a melhoria das condições físicas e químicas do solo. No entanto, na avaliação das perdas de solo foram abordadas somente as mudanças promovidas pelo terraceamento e pela recomposição da mata ciliar.

Subclasse IIe,s

Recomendações: a) plantio e cultivo em nível; b) culturas em faixas; c) manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo; d) terraceamento; e) canais de divergência (desvio de água de áreas situadas imediatamente a montante); f) aplicação de fertilizantes e corretivos; g) plantio direto (sem aração); h) escarificação ou subsolagem; faixa de retenção; rotação de culturas e alternância de capinas.

Subclasse IIIs

Recomendações: a) escarificação e subsolagem; b) melhoramento das condições físicas do solo (incorporação de matéria orgânica, rotação com culturas de raízes profundas e com grande quantidade de resíduos vegetais); c) adubação e calagem; d) cultivo mínimo do solo.

Subclasse IIIe

Recomendações: a) plantio e cultivo em nível aliado a b) e/ou d); b) culturas em faixas; c) rotação de culturas; d) aumento da proporção de culturas densas nos planos de rotação; e) terraceamento; f) canais de divergência; g) plantio direto e h) alternância de capinas

Subclasse IIIe,s

Recomendações: Todas as já recomendadas para as unidades IIIe e IIIs, no entanto com maiores cuidados, pois, tem-se nesta unidade a junção das limitações relativas a declividade e fertilidade do solo.

Subclasse IVe / VIe

- Pastagens

Recomendações: a) controle de sulcos de erosão e pequenas voçorocas; b) preparo adequado do solo; d) sulcos em nível; e) controle do pisoteio (número de cabeças por hectare) e do pastoreio (número de dias no pasto-rodízio); f) plantio de forrageiras de vegetação densa.

b) Gerais

As recomendações apresentadas a seguir, se fazem necessárias pelo fato do trabalho de manejo e conservação do solo e da água em microbacia hidrográfica, exigir para a obtenção de bons resultados, um trabalho abrangente, não se restringindo a uma única propriedade, mas sim, no conjunto de propriedades rurais pertencentes a microbacia em estudo.

- Estradas

Segundo Lombardi Neto & Bertolini (1993), os problemas mais graves causados pela erosão geralmente são provenientes de estradas e carreadores mal localizados fazendo com que a água da enxurrada se acumule em determinados pontos em grande volume.

Campos (1996) sugeriu a adequação de estradas para a microbacia Água da cachoeira. No presente estudo foi observada uma adequação das estradas principais com o seu soerguimento e alocação preferencial acompanhando a topografia do terreno. Ressalta-se ainda que é possível contornar livremente o leito principal do riacho devido à inexistência de porteiras, sendo estas substituídas por “mata-burros”, nas divisas das propriedades rurais.

- Mata ciliar

A implantação e/ou recomposição da mata ciliar na microbacia Água da Cachoeira, é um aspecto importante na preservação do riacho, uma vez que se verifica, em algumas de suas nascentes, e ao longo de seu curso, intenso desenvolvimento da erosão de suas margens, bem como o assoreamento de seu leito.

A mata ciliar assume papel importante na estruturação das margens dos cursos d'água, bem como na retenção de materiais provindos da erosão do solo. Estas considerações justificam sua implantação, mesmo nos locais onde a vegetação natural é rasteira, pois estes tipos de ambientes não estruturam o solo profundamente, uma vez que possuem raízes frágeis e que atingem pouca profundidade.

A seguir é apresentada no Quadro 6, uma relação de espécies vegetais, que podem ser utilizadas para compor a mata ciliar da microbacia Água da Cachoeira, seguindo sugestões apresentadas por Marques et al. (1991).

Quadro 6 - Relação de espécies vegetais para recomposição da mata ciliar da microbacia Água da Cachoeira (conforme Marques et al., 1991).

ESPÉCIES NATIVAS	
NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO
Ingá	<i>Inga</i> spp
Tapiá	<i>Alchornea triplinervia</i>
Três folhas	<i>Allophylus edulis</i>
Angico	<i>Anadenanthera falcata</i>
Guanandi	<i>Calophyllum brasiliense</i>
Embaúba	<i>Cecropia adenopus</i>
Cedro do brejo	<i>Cedrella odorata</i> var. <i>xerogeiton</i>
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>
Sangra d'água	<i>Croton urucurana</i>
Canela do brejo	<i>Nectandra leucothursus</i>
Maçaranduba	<i>Persea major</i>
Amescla	<i>Protium heptaphyllum</i>
Pessegueiro bravo	<i>Prunus myrtifolia</i>
Capororoca	<i>Rapanea umbellata</i>
Ipê roxo	<i>Tabebuia avellanadae</i>
Magnólia do brejo	<i>Talauma ovata</i>
Peito de pombo	<i>Tapirira guianensis</i>
Canelinha	<i>Ocotea corymbosa</i>
Candeia	<i>Gochinatia polymorpha</i>
ESPÉCIES EXÓTICAS	
NOME CIENTÍFICO	
<i>Pinus elliottii</i> var. <i>densa</i>	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	
<i>Eucalyptus robusta</i>	
FRUTÍFERAS	
NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO
Araça vermelho	<i>Psidium cattleuanum</i>
Goiaba	<i>Psidium guajava</i>
Jambolão	<i>Eugenia jambolana</i>
Coquinho	<i>Syagrus romanzottianum</i>
Jenipapo	<i>Genipa americana</i>
Macaúva	<i>Acroconia aclerocarpa</i>
Gabiroba de árvore	<i>Compomanesia shombea</i>
Jabuticaba	<i>Myrciaria delicatula</i>
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>
Uvaia	<i>Eugenia uvalha</i>
Nêspera	<i>Eryobotrya japonica</i>

5.2.3.2 Determinação dos parâmetros da EUPS para as recomendações propostas

- Fator práticas conservacionistas

Conforme Bertoni & Lombardi Neto (1990) o terraceamento é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão nas terras cultivadas, sendo que nem todos os declives podem ser terraceados com êxito, uma vez que o custo de construção e manutenção do terraço aumenta com o grau do declive do terreno, a tal ponto que esse fator pode torná-lo desaconselhável. Lombardi Neto et al. (1994) comentam que o espaçamento horizontal mínimo entre terraços, para que os mesmos sejam viáveis de implantação e permitam um trabalho mais eficiente das máquinas agrícolas deve ser em torno de 12 metros e estabelecem limitações de uso de terraceamento em função da declividade do terreno correlacionada com o tipo de solo. Para os solos da microbacia adotou-se como declividade limite para terraceamento os valores de 12% para o ARGISSOLO, com terraceamento em desnível e 16% para o LATOSSOLO, com terraceamento em nível. Elaborou-se desta forma o plano de informação DTERRAÇO, contendo as declividades da microbacia variando de 1 em 1% até no máximo de 12% para o ARGISSOLO e 16% para o LATOSSOLO. Utilizou-se a fórmula sugerida por Lombardi Neto et al. (1994) para o cálculo do espaçamento vertical entre terraços:

$$EV = 0,4518 \times K \times D^{0,58} \times \frac{u + m}{2}$$

onde: - EV = espaçamento vertical (m);

- K = índice variável para cada tipo de solo;

- D = declividade do terreno (%);

- u = fator de uso do solo;

- m = fator de manejo do solo.

Os valores utilizados para os parâmetros **K**, **u** e **m** para a elaboração dos referidos planos de informação estão de acordo com os estabelecidos por Lombardi Neto et al. (1994).

a) Parâmetro K

Para o solo tipo ARGISSOLO utilizou-se o valor 0,90 e para o LATOSSOLO o valor 1,10.

b) Parâmetro u

- Áreas de rotação feijão/milho e áreas com cana-de-açúcar: $u = 1,25$
- Áreas com café: $u = 1,50$
- Áreas com pastagem: $u = 1,75$
- Áreas com reflorestamento: $u = 2,00$

Não se propõe o terraceamento nas áreas com vegetação nativa, uma vez em sua grande maioria, está localizada mais ao longo dos cursos d'água, além de oferecer uma boa proteção ao solo. Considerou-se ainda que, para a construção dos terraços, parte da vegetação teria que ser arrancada, fato não desejado no presente trabalho.

c) Parâmetro m

- Áreas de rotação feijão/milho: $m = 0,75$
- Áreas com cana-de-açúcar: $m = 0,5$
- Áreas com café: $m = 2,00$
- Áreas com pastagem: $m = 2,00$
- Áreas com reflorestamento: $m = 2,00$

Os planos de informação para os parâmetros **u** e **m** foram obtidos através da assinatura dos valores aos respectivos usos encontrados na imagem SCLASSIFIC.

Desta forma foi gerada uma imagem contendo os espaçamentos verticais a serem utilizados no terraceamento ao longo da microbacia, designada de ESPVERT. Para o cálculo do espaçamento horizontal, utilizou-se o recurso IMAGE CALCULATOR, sendo utilizada a equação:

$$EH = \frac{100 \times EV}{D}$$

onde:

- EH = espaçamento horizontal (m);
- EV = espaçamento vertical (m); (imagem ESPVERT)
- D = declividade (%); (imagem DTERRAÇO)

A imagem contendo as distâncias horizontais recebeu o nome de ESPHORIZ.

- Fator (LS)

O fator LS utilizado na avaliação das perdas de solos com a adoção das recomendações, será aquele obtido tendo como comprimento de rampa as distâncias inclinadas existente entre os terraços. O plano de informação contendo as distâncias inclinadas para as áreas terraceadas foi obtido a partir da equação:

$$DI = EV/\text{sen}D$$

onde:

- DI = distância inclinada (m);
- EV = espaçamento vertical (m); (imagem ESPVERT)
- D = declividade do terreno (graus). (imagem SGSLOPEG)

No entanto, como se propôs apenas o terraceamento nas áreas com declividade menor que 12% para solo do tipo ARGISSOLO e menores que 16% para o solo do tipo LATOSSOLO, surgiram áreas sem comprimento de rampa. Para o cálculo do comprimento de rampa nestas áreas, utilizou-se o *software* ERODE2 seguindo o mesmo procedimento realizado na obtenção do fator LS para as condições atuais de uso e manejo da microbacia (subtítulo 5.2.1.2.3.), dando origem a imagem DISTINCLI.

Para o cálculo do fator LS utilizou-se a equação proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1990), juntamente com os planos de informação DISTINCLI e SGSLOPEG.

$$LS = 0.00984 C^{0,63} D^{1,18}$$

onde:

- C = comprimento de rampa (m); (imagem DISTINCLI)
- D = declividade média da rampa (%)

- Fatores erosividade (R) e erodibilidade (K)

Os valores utilizados para estes fatores foram os mesmos utilizados para o cálculo da perda de solo nas situações atuais, uma vez que não se pode influenciar o poder erosivo da chuva e, embora se possa proporcionar mudanças no solo que irão alterar a sua suscetibilidade à erosão, estas são de difícil aplicabilidade na prática.

- Fator uso e manejo do solo (C)

O plano de informação contendo o fator uso e manejo para cada exploração da microbacia foi obtido a partir da imagem originada da classificação supervisionada da imagem de satélite. Sobrepostos a esta imagem, a imagem contendo a área sem terraceamento, a qual foi atribuído o uso com pastagem, contendo o valor do fator C para este uso. Em seguida sobrepostos-se a imagem contendo as áreas com vegetação nativa existente atualmente na microbacia e aquelas onde se propõe o reflorestamento com espécies nativas, contendo o valor do fator C para esta ocupação. Em relação a recomposição da mata ciliar adotou-se para a largura da faixa de vegetação a distância de 50m para as nascentes e 30m para os cursos d'água.

Novamente fez-se uso da equação universal de perdas de solo para estimar a perda de solo na microbacia Água da Cachoeira, adotando-se os novos valores para alguns dos parâmetros envolvidos. A imagem originada recebeu o nome de SGUSLESIM.

A perda média de solo para a bacia, foi obtida através do módulo EXTRACT e da imagem contendo o polígono formado pelos limites da microbacia.

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1 Geração do banco de dados

De acordo com a colocação de Star & Estes (1990), a exatidão das decisões obtidas sobre as análises espaciais, está limitada pela exatidão e precisão dos jogos de dados básicos. Esta lógica, também afirmada por outros autores, é um dos fatores que torna a etapa de criação do banco de dados a mais exaustiva e demorada, dentre todos os procedimentos que envolvem o desenvolvimento de um trabalho utilizando SIG.

6.1.1 Obtenção dos mapas e geração dos planos de informação (PIs)

Em virtude da própria lógica de operação do IDRISI32, principalmente nas operações de sobreposição, todos os mapas referentes a uma mesma área devem sobrepor-se de maneira exata. Com este intuito, a criação dos mapas base mostrou ser um método satisfatório, pois não foram observados erros de localização de feições em PIs originados a partir de sobreposições.

A morosidade na execução dos mapas foi resultado principalmente da meticulosidade exigida pelas técnicas envolvidas, bem como a necessidade de seguir corretamente os procedimentos metodológicos de cada uma, visando obter o mínimo de erro no resultado final. A transferência dos mapas para a forma digital (digitalização) transcorreu

de forma rápida e eficiente, ressaltando dificuldades no estabelecimento da conexão entre software e a mesa digitalizadora.

6.1.1.1 PI - Rede de drenagem

O plano de informação rede de drenagem constituiu um banco de dados que pôde ser utilizado para obtenção de diversas informações, necessárias ao estudo e planejamento do manejo e conservação da microbacia Água da Cachoeira. Para o planejamento da recomposição da mata ciliar, primeiramente fez-se a demarcação sobre a rede de drenagem dos pontos onde se tem o afloramento do lençol freático. Estes pontos foram obtidos a partir de trabalho de campo, onde foram avaliados todos os contribuintes do riacho água da cachoeira, identificando os pontos exatos das nascentes, ou mesmo as áreas com saturação de água e/ou presença de vegetação característica destas áreas. Assim, a proposição de recomposição da mata ciliar teve início a partir destes pontos.

6.1.1.2 PI – Cotas

A importância deste plano de informação, ilustrado na Figura 8 , está na constituição da base de informação de altitudes da área de estudo, para a geração do modelo digital de elevação (MDE), que será utilizado na obtenção de várias imagens, imprescindíveis na obtenção do fator topográfico (LS) da equação universal de perdas de solo (EUPS), pelos métodos avaliados neste estudo. O arquivo vetorial SGCOTA foi utilizado ainda, para facilitar algumas análises visuais sobre imagens que tratam de informações sobre a geomorfologia da área de estudo, ou seja, comparando os resultados com a conformação da topografia mostrada pelas curvas de nível, pôde-se averiguar a coerência das informações obtidas.

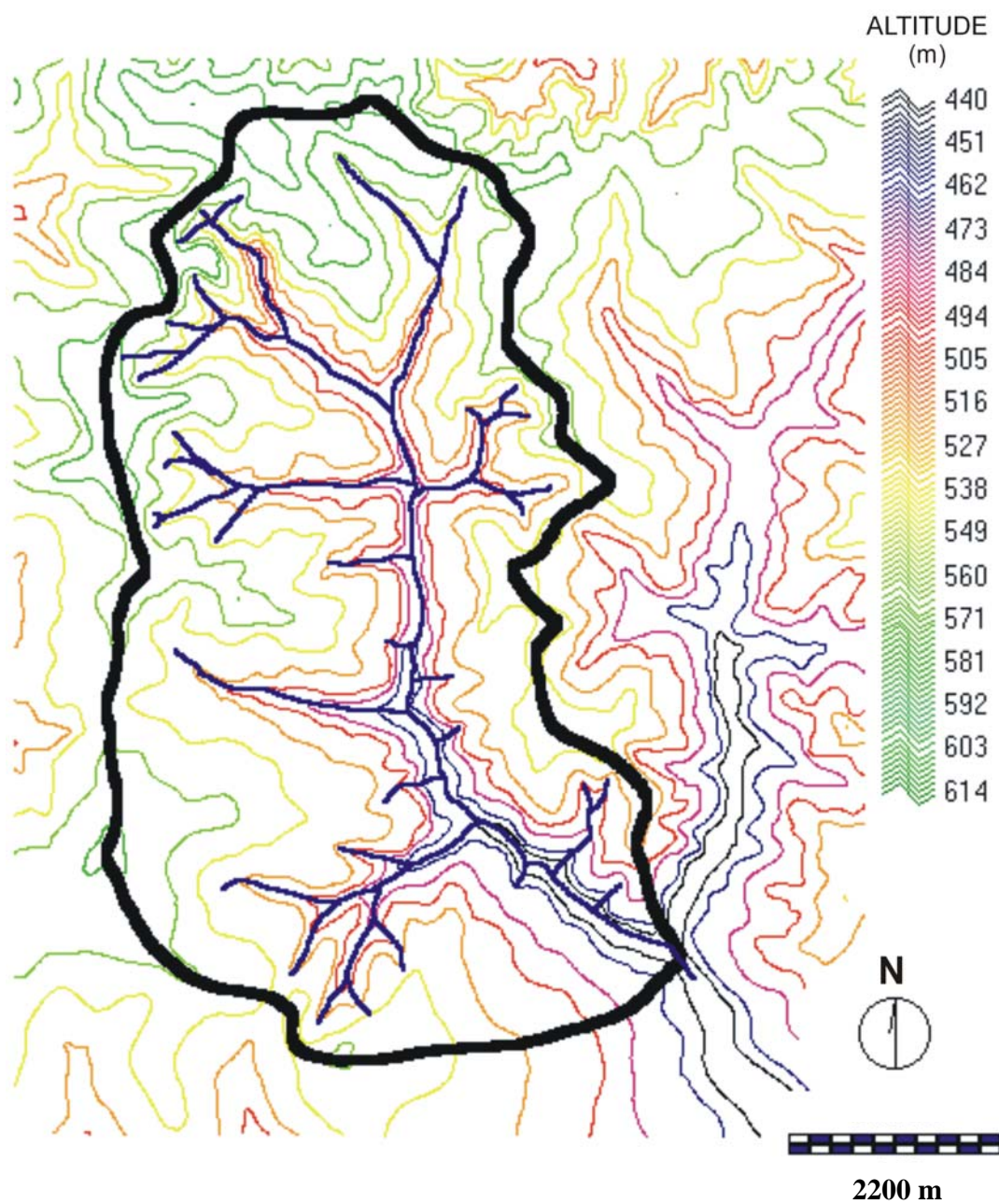


Figura 8 – PI-SGCOTA utilizado para a obtenção do modelo digital de elevação. Como ilustração tem-se o divisor d'água da microbacia e sua rede de drenagem.

6.1.1.3 PI – Uso do solo

Na elaboração do plano de informação uso do solo a partir das fotografias aéreas, o processo de fotointerpretação foi a etapa que exigiu a maior atenção, pelo fato da necessidade de se identificar com exatidão as feições apresentadas nas fotografias, diferenciando principalmente as áreas de vegetação nativa, daquelas com plantio de pinus e eucalipto. As demais ocupações não apresentaram grandes dificuldades quanto a sua identificação e delimitação. A obtenção da ocupação da microbacia para o ano de 1984 foi importante para, além de auxiliar na classificação supervisionada, no que se refere a delimitação das áreas de treinamento e posteriormente na conferência dos resultados obtidos, analisar as alterações ocorridas na microbacia no período de 1984 a 2000.

O IDRISI32 dispõe dos módulos MINDIST, PIPED e MAXLIKE para a realização da classificação supervisionada como classificadores rígidos. No presente estudo todos foram avaliados, com a finalidade de averiguar qual apresentaria melhores resultados. Dentre os classificadores o módulo MAXLIKE foi o que apresentou os melhores resultados, concordando com os resultados obtidos por Decian et al. (1999), que realizou uma comparação entre os classificadores pelo método da máxima verossimilhança, método da mínima distância e método do paralelepípedo, presentes no Software IDRISI for Windows. Eastman (1999a) comenta que dos três classificadores apresentados, o MAXLIKE é o mais poderoso, sendo, no entanto, o mais lento.

Não bastando um bom classificador é necessário que outros parâmetros sejam satisfeitos para se ter resultados coerentes a partir da classificação digital de imagens de sensoriamento remoto. As classificações supervisionadas são realizadas pelas rotinas dos softwares, comparando as reflectâncias das assinaturas criadas pelo usuário com aquelas participantes de toda a imagem, classificando-as conforme a similaridade apresentada com as assinaturas. Logo, confusões de classificação podem ocorrer quando se tem variações nas reflectâncias apresentadas por uma feição, que se igualam as reflectâncias apresentadas por outra feição. Pode-se ter ainda, erros de classificação ocasionados pela seleção incorreta das áreas de treinamento. A Figura 9 e a Figura 10 ilustram o comportamento das reflectâncias das assinaturas criadas neste estudo, avaliadas através do módulo SIGCOMP. São

apresentados os valores máximos e mínimos de reflectância encontrados para as assinaturas criadas a partir das áreas de treinamento.

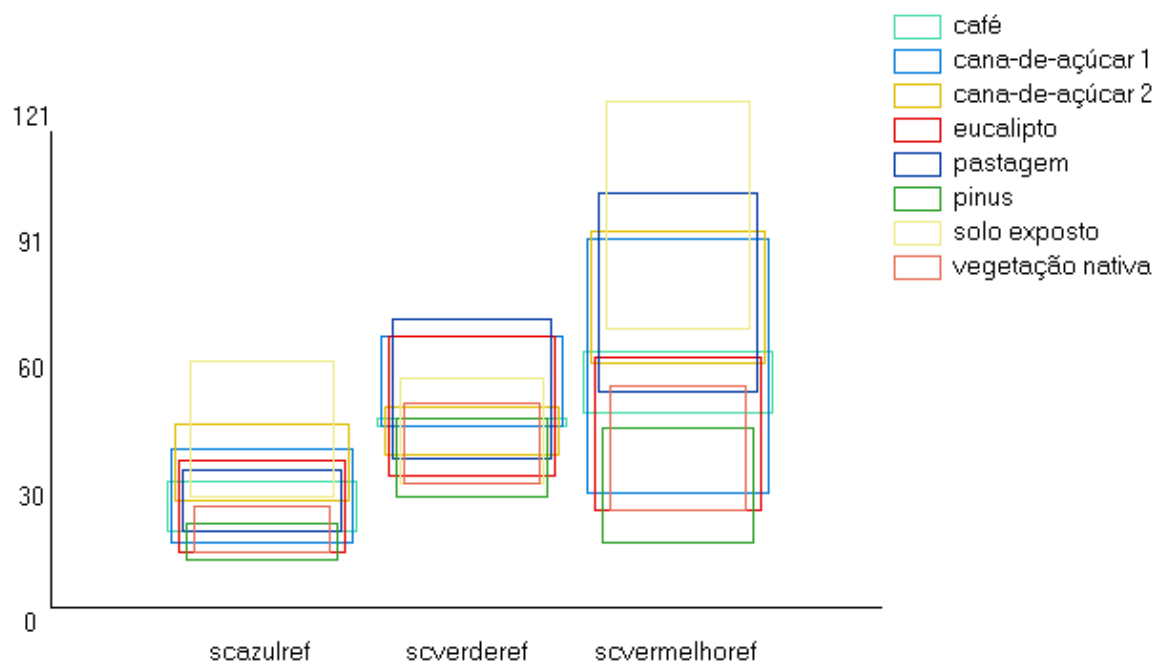


Figura 9 – Valores máximos e mínimos de reflectância das assinaturas utilizadas na classificação supervisionada.

Analisando os valores máximos e mínimos apresentados pelas assinaturas em cada banda, pode-se verificar que existe uma interação muito grande entre elas nas bandas azul e verde, e que a melhor distinção é obtida na banda vermelha. Quando maior a interação entre as assinaturas, mais confusa será a classificação e maior será o número de erros cometidos pelo classificador. A imagem originada da classificação, utilizando todas as assinaturas, mostrou uma confusão de classificação entre cana-de-açúcar x eucalipto e café x vegetação nativa. Os resultados apresentados pelo módulo SEPSIG, demonstraram que as combinações que apresentaram as menores distinções foram: cana-de-açúcar 1 x pastagem; cana-de-açúcar 1 x eucalipto; vegetação nativa x eucalipto; vegetação nativa x pinus e eucalipto x pinus. A assinatura para cana-de-açúcar 2 se refere às áreas exploradas com esta cultura, mas que na data de aquisição da imagem pelo satélite tinha sido colhida, já a cana-de-açúcar 1 são áreas com plantas adultas, tendo-se então diferentes reflectâncias para as duas situações.

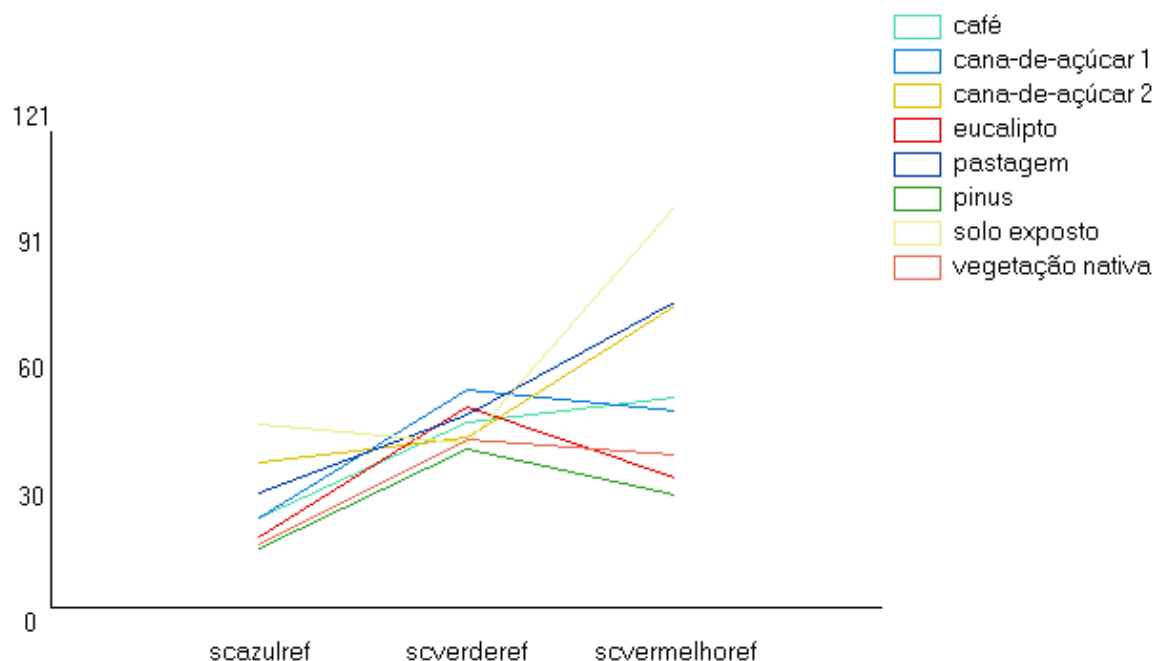


Figura 10 – Valores médios de reflectância das assinaturas utilizadas na classificação supervisionada.

Os resultados originados a partir do módulo SIGCOMP podem também, ser apresentados na forma de valores médios de reflectância encontradas em cada assinatura. Pela Figura 10, verifica-se que existe uma variação de correlação entre as médias de cada assinatura dependendo da banda avaliada. O distanciamento das médias das assinaturas em todas as bandas seria o ideal para obter-se bons resultados na classificação digital, no entanto, pode-se observar que as assinaturas avaliadas mudam de comportamento dependendo da banda considerada. A avaliação do comportamento das assinaturas pela média das reflectâncias auxilia no desenvolvimento do procedimento, mas por se tratar de médias, mesmo que estas se apresentem separadas, a avaliação dos valores de reflectâncias em separado pode mostrar uma interação parcial entre as assinaturas o que induzirá o classificador a cometer erros de atribuição.

O rigor na avaliação do produto final da classificação supervisionada da imagem de satélite foi de certamente exagerado, o que levou a uma grande quantidade de pontos de verificação. Para uma região extensa e desconhecida, a quantidade de pontos a serem checados pode-se tornar trabalho penoso e elevar o custo do mapeamento. A situação

abordada neste trabalho, permitiu a utilização de um grande número de pontos, pois trata-se de uma microbacia com acesso fácil e perfeitamente conhecida pelo agente classificador. Com o conhecimento da área e o uso de imagem de satélite analógica e fotografias aéreas, um reduzido número de pontos teve que ser checado a campo.

A verificação da correlação entre a imagem gerada e a verdadeira ocupação do campo é dada pela comparação entre duas imagens contendo pontos com a mesma localização geográfica, podendo possuir, no entanto, identificações diferentes ou iguais dependendo da veracidade da imagem em relação ao que de real existe no campo. A imagem SCLASSIFIC, utilizada na criação do plano de informação referente ao uso do solo, apresentou um ótimo índice de adequação em relação a situação real, conforme os valores apresentados no erro de atribuição e omissão presentes no Quadro 7, lembrando que esta imagem não é produto único a classificação supervisionada, mas um produto obtido por procedimentos que proporcionaram os melhores resultados possíveis. O erro de atribuição representa casos onde um grupo de pontos de uma categoria foi encontrado como sendo algo diferente e erro de omissão são casos onde, na localização mapeada como uma categoria particular encontrou-se algo verdadeiramente diferente. Em resumo o erro de omissão representa a porcentagem de pontos que foram omitidos da classificação correta e o erro de comissão representa a porcentagem de pontos que possuíam categorias classificadas erroneamente. Para ambos os casos os erros são expressos em porcentagem. Em adição a matriz de erro, o módulo ERRMAT apresenta ainda os valores do Índice de Concordância Kappa (*Kappa Index of Agreement - KIA*). Os limites para a interpretação dos resultados são 0 (zero) e 1 (um), onde 0 indica nenhuma correlação entre as imagens e 1 indica total correlação entre as imagens. O índice encontrado entre as imagens SAMPLE5TRUE e SAMPLE5ID foi de 0,9442, o que indica uma ótima correlação entre o uso apresentado na imagem e situação real de campo.

A classificação digital de imagens de sensoriamento remoto possibilita uma obtenção rápida de informações a respeito do uso do solo de uma região. No entanto, a qualidade dos resultados obtidos é extremamente dependente de uma série de fatores, que podem induzir a erros graves de interpretação.

Quadro 7 – Resultados da matriz de erro de SAMPLE5TRUE contra SAMPLE5ID.

		SAMPLE5TRUE								Total	Erro C
		1	2	3	4	5	6	7	8		
S	1	497	10	0	4	1	0	0	1	513	0,0312
A	2	1	956	2	6	0	10	0	0	975	0,0195
M	3	0	0	16	1	0	0	0	0	17	0,0588
P	4	0	2	0	76	3	0	0	7	88	0,1364
L	5	0	0	0	1	18	0	0	1	20	0,1000
E	6	0	4	0	0	0	63	1	0	68	0,0735
S	7	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0,0000
I	8	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0,0000
D											
Total		498	972	18	88	22	73	6		1701	
ErroO		0,0020	0,0165	0,1111	0,1364	0,1818	0,1370	0,1667	0,3750		

Erro O = Erro de Omissão (expressado como proporção))

Error C = Erro de Atribuição (expressado como proporção)

A reflectância apresentada para cada feição influencia de maneira preponderante no desenvolvimento das assinaturas, sendo que esta é influenciada por uma série de fatores biológicos, geomorfológicos, hídricos e outros. Mudanças no relevo poder induzir a variações nos padrões de reflectância de uma cultura, como por exemplo, a cana-de-açúcar que ocupa áreas extensas. Neste estudo observou-se que quando incluído o eucalipto no processo de classificação, surgiram manchas nos talhões de cana-de-açúcar classificadas como se fossem reflorestamentos, mostrando uma interação entre as assinaturas para estas duas categorias. A imagem de satélite utilizada neste estudo foi adquirida no mês de julho, época de estiagem na região, com redução no volume de precipitação e horas de sol. Neste período o sol está posicionado no hemisfério norte, e a interação deste posicionamento com o direcionamento em relação ao norte e a inclinação das rampas, irão proporcionar uma variação de reflectância para uma mesma feição, ou seja, a mesma cultura posicionada em rampas com orientações diferentes, irá apresentar padrões de reflectância diferentes. Em épocas de escassez de chuva, a variação de resposta apresentada pelos vegetais é maior, variando conforme as condições edáficas. As propriedades dos solos sofrem variação espacial o que promove diferenciações nas respostas de desenvolvimento das culturas em termos de

cobertura do solo, coloração das folhas, resistência a pragas e doenças, que irão promover uma variação de resposta espectral. Na amplitude desta variação, podem surgir padrões de resposta espectral que se assemelham ao padrão de outra cultura, promovendo uma interação entre as assinaturas e conseqüentemente uma confusão de interpretação e classificação por parte do método de classificação utilizado. O mesmo pode ocorrer com o manejo adotado para a cultura, como por exemplo, as pastagens onde a taxa de cobertura do solo é dependente do manejo adotado. Na estiagem os efeitos do manejo, estarão mais bem pronunciados e com maior variabilidade espacial dificultando a delimitação das áreas de treinamento. A classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa para o mapeamento de grandes áreas, mas deve ser executada criteriosamente. O IDRISI32 disponibiliza recursos adicionais para a tentativa de melhoria dos resultados da classificação de imagens como, por exemplo, módulos para correção do ângulo solar, distância sol-terra e dos efeitos topográficos. Pode-se utilizar ainda os *soft classifiers*, que são classificadores que fornecem como resultado a probabilidade de um pixel pertencer a determinada categoria. No entanto, o estudo comparativo entre os procedimentos para a classificação supervisionada de imagens de satélite não é alvo principal deste trabalho, sendo ainda, que os resultados obtidos foram plenamente satisfatório para a sua conclusão.

A Figura 11 mostra a imagem resultante da classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT TM5 (bandas 3,4 e 5), sendo que para constituir o plano de informação para o ano de 2000, a maior porção indicada como solo exposto foi reclassificada como cana-de-açúcar, por ser esta a ocupação em 2000. Diferentemente da imagem obtida por fotointerpretação e posterior criação de uma imagem raster, as imagens originadas a partir da classificação digital apresentam vários partilhamentos e as feições não apresentam seus limites bem definidos. Em alguns casos isto mostra o poder de distinção dos classificadores e da boa escolha das áreas de treinamento, como, por exemplo, quando se tem ao redor de uma área de reflorestamento, que faz interface com pastagem, áreas classificadas como solo exposto. Uma associação de fatores irá levar a uma conclusão de que esta classificação está correta, pois solos que margeiam os reflorestamentos apresentam uma disponibilidade menor de água devido à competição, são áreas que recebem um número menor de horas de sol por serem sombreadas e são áreas utilizadas para descanso e proteção pelos animais. Logo a pastagem não oferece uma boa cobertura deixando o solo

parcialmente exposto modificando o padrão de resposta espectral. A capacidade de mapear mudanças sensíveis no padrão de resposta espectral, que em muitos casos provoca erros de interpretação, em outras situações pode revelar informações importantes.

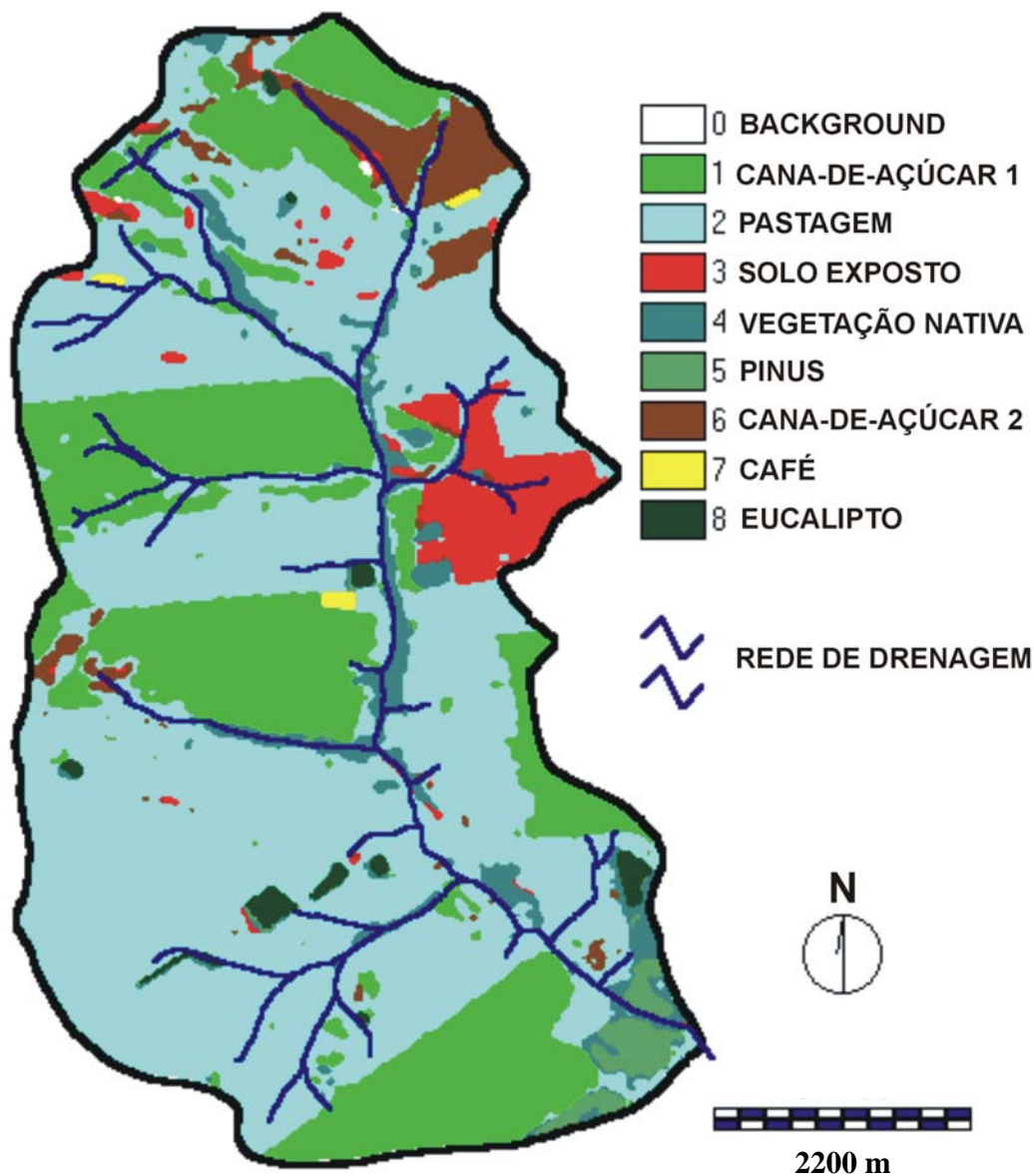


Figura 11 – Imagem SCLASSIFIC resultante do processo de classificação supervisionada.

No Quadro 8 tem-se a área de cada ocupação e a sua participação na área total da microbacia para os anos de 1984 e 2000, podendo-se observar com relação o desestímulo dos produtores com a exploração agrícola. A área cultivada com café sofreu uma

drástica redução, sendo substituída pela cultura da cana-de-açúcar, esta que teve um incremento na área plantada de 43%, substituindo também porcentagem das áreas ocupadas anteriormente com pastagem. A exploração da cana-de-açúcar, da maneira como vem sendo executado os trabalhos de manejo e conservação do solo na microbacia Água da Cachoeira, pode ser considerada como uma das responsáveis pelo início da estabilização da degradação do riacho e restabelecimento do equilíbrio ambiental. Isto se deve principalmente aos trabalhos de controle à erosão, que evitam a chegada de volumes concentrados de água à rede de drenagem, provocando enchentes e conseqüentemente o solapamento das margens dos cursos d'água. Deve-se considerar ainda, a proteção que a cultura oferece ao solo após seu estabelecimento. Outros efeitos deixam de ser considerados, sejam eles benéficos ao meio ambiente ou não, por exigirem conhecimentos específicos e por não fazerem parte da abordagem proposta para este estudo. Em termos sócio-econômicos o aumento da área cultivada com esta cultura, é reflexo da falência da exploração agropecuária pelos pequenos e médios proprietários, onde a receita obtida pelo produtor não lhe dá condições da manutenção do seu bem e muito menos de ter anseio de prosperar. Os motivos para esta situação podem ser enumerados a partir da falta de uma política agrícola nacional, passando pela inadequação das técnicas utilizadas, chegando a somatória de vários fatores que fazem da agropecuária um atividade econômica de alto risco.

Quadro 8 - Participação de cada ocupação na área total a microbacia Água da Cachoeira para os anos de 1984 e 2000.

USO DO SOLO	1984		2000	
	ÁREA (ha)	PARTICIPAÇÃO (%)	ÁREA (ha)	PATICIPAÇÃO (%)
Café	267,372	7,33	8,36	0,22
Cana-de-açúcar	528,364	14,50	1230,99	33,84
Pastagem	2.533,591	69,51	2081,16	57,22
Terra nua	156,725	4,30	38,18	1,04
Reflorestamento	126,98	1,42	84,38	2,32
Mata nativa	32,157	0,88	194,10	5,36
TOTAL	3.645,192	100	3637,17	100

Quanto ao reflorestamento houve realmente uma retirada de eucalipto da área de estudo, concordando os dados apresentados, no entanto, para a vegetação nativa a

qual houve um aumento expressivo na sua área, verifica-se que este aumento se deve em parte pela consideração, no momento de se estabelecer as áreas de treinamento para esta ocupação, de áreas marginais que apresentavam vegetação arbustiva ou rasteira. Na área de vegetação nativa mapeada com o uso das fotografias aéreas, foram delimitadas somente as áreas com vegetação arbórea. Na realização de incursões a estas áreas observou-se que houve um aumento da mata ciliar arbórea, consequência da recomposição em determinados trechos, e em outros devido a regeneração induzida pela proteção destas áreas contra o acesso do gado.

6.1.1.4 PI – Solo e Propriedades rurais

Embora constituam planos de informações diferentes o PI-SOLO e o PI-PROPRIEDADES RURAIS, são apresentados juntos na Figura 12 . Os solos apresentados representam os dois grupos de solos que ocupam a maior parte da microbacia. São encontrados solos pertencentes a outras ordens, mas para sua representatividade seria necessário um levantamento pedológico ultradetalhado, devido a ocorrência em pequenas porções ou em faixas estreitas. Podem ser encontrados com facilidade às margens dos cursos d'água, solos Aluviais e Hidromórficos. Dos solos apresentados na Figura 12 , o ARGISSOLO é o merecedor de maiores atenções no estabelecimento das técnicas de uso e manejo, não somente pela presença do horizonte B textural, que na maioria das situações de análise apresentou mudança abrupta, mas também pela sua ocorrência apresentar uma estreita relação com declividades mais acentuadas. Sobre este solo são encontrados os estágios mais avançados de degradação pela erosão hídrica, que em determinadas áreas promoveu a total remoção do horizonte A e em outros o afloramento do material de origem, situações que concordam com o mapeamento de erosões realizado por Domingues et al. (1998). Estes fatores fazem deste solo mais suscetível a erosão do que os LATOSSOLOS, apresentando para as várias formas de erosão hídricas uma degradação mais acentuada

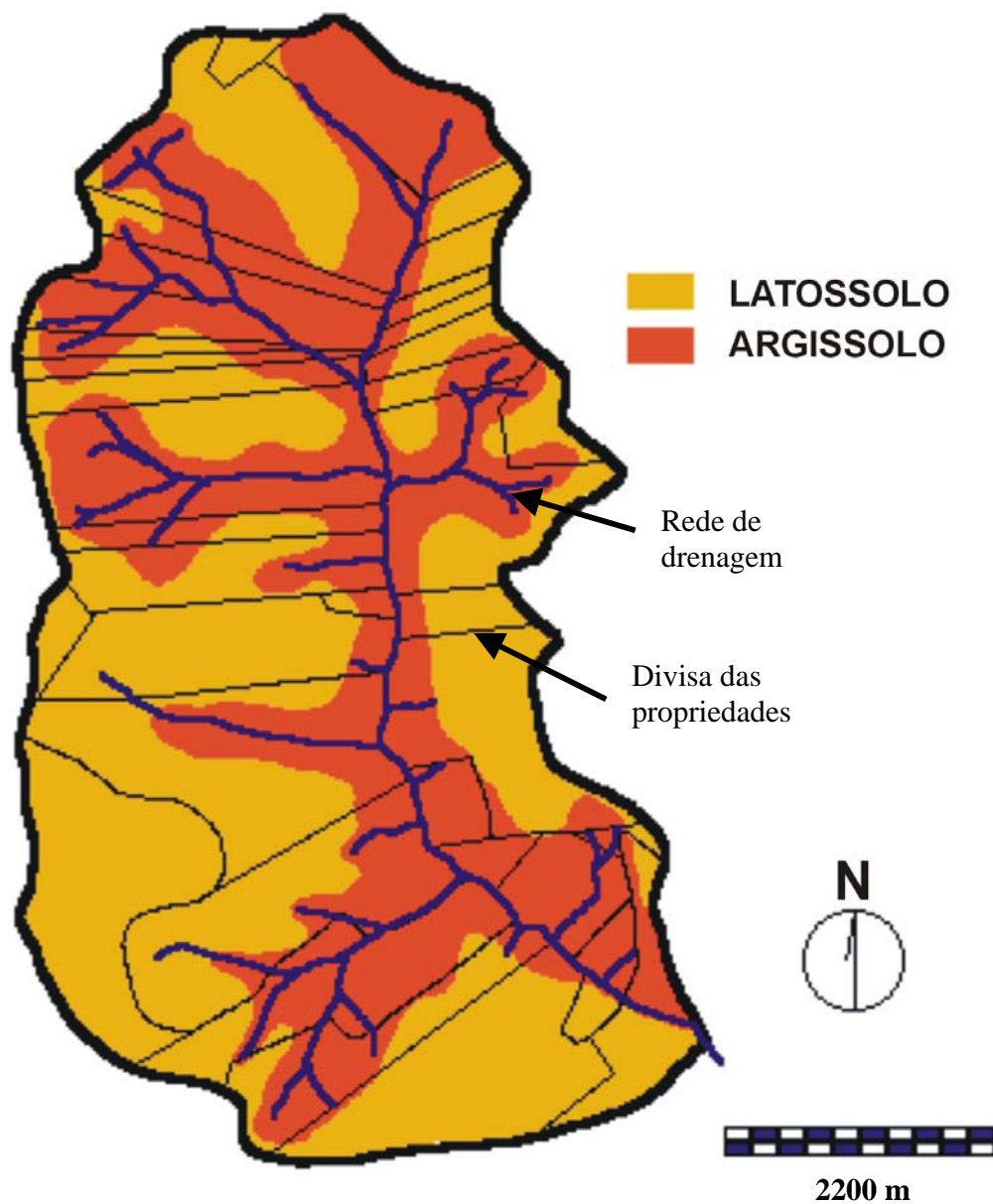


Figura 12 - Planos de informação SOLO e PROPRIEDADES RURAIS apresentados sobrepostos, juntamente com a rede de drenagem.

6.1.2 – Parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

A erosão do solo causada pela água das chuvas pode ser descrita como sendo uma função do produto dos vários fatores que a influenciam. Uma maneira fácil de se verificar a importância relativa de cada um dos fatores que influenciam a erosão hídrica do solo é através da EUPS (Wischmeier & Smith, 1978). Apesar de sua universalidade, é preciso levar em conta que a equação de Wischmeier foi projetada para estimar perdas médias anuais de solo num prazo longo, provocadas por erosão laminar e em sulcos, nas condições em que foram obtidos os valores dos seus componentes. Áreas fisiográficas diferentes vão exigir a obtenção dos valores que representam as novas condições (Margolis, 1985). O presente estudo, por utilizar como unidade geográfica uma microbacia hidrográfica, com usos do solo diversificados, exigiu maiores esforços e atenções na obtenção dos valores dos parâmetros a serem utilizados na estimativa de perda de solo. Pôde-se constatar que para alguns dos fatores, as metodologias adotadas para a obtenção de seus valores estão agregadas a incertezas e apresentam resultados diferenciados entre si. O crescente uso de sistemas de informações geográficas na busca da integralização de parâmetros tem aumentado a demanda e exigência quanto a precisão ou representatividade dos valores destes parâmetros, com propósito de evitar a propagação de erros, que produziriam resultados incorretos e conseqüentemente conclusões equivocadas. Como não é objetivo deste estudo, avaliar para cada parâmetro, os métodos de obtenção de seus valores, os índices utilizados foram aqueles obtidos por procedimentos que apresentam ser os mais adequados pelas pesquisas.

6.1.2.1 Fator erosividade (R)

a) Mapa de isoerodentes elaborado por Lombardi Neto et al. (1980).

Através das informações contidas no mapa de isoerodentes elaborado por Lombardi Neto et al. (1980), pôde-se obter o valor do índice de erosão para o município de Paraguaçu Paulista, através da interpolação entre os valores das isoerodentes, sendo o valor obtido igual a 6125 MJ.mm/ha.h.ano.

b) Erosividade obtida pela equação $EI = 89.823(p^2/P)^{0,759}$ e dados pluviométricos referentes ao período de 1958 a 1992.

No Quadro 14 (Apêndice 2) estão as informações de erosividade necessárias para avaliar o comportamento deste parâmetro ao longo de um período, no entanto, devendo-se considerar que os valores de precipitação utilizados para o desenvolvimento da determinação destes valores não foram obtidos exatamente no interior da área de estudo. O uso dos valores obtidos tem mérito, pois os pontos de coleta de dados pluviométricos estão distante cerca de 8 Km da microbacia, distância esta, que permite concluir que as chuvas com um mínimo de significância pluviométrica são uniformes para as duas localidades.

No estudo do comportamento pluviométrico de uma região é importante a extensão do período avaliado, pois desta forma tem-se uma melhor avaliação do padrão médio do regime hídrico. O período avaliado é suficiente para dar credibilidade aos resultados obtidos, sendo a média anual do período igual a 7193,8 MJ.mm/ha.h.ano.

O valor anual de erosividade ocorrente em uma região é um parâmetro que permite avaliar a intensidade da ação da chuva sobre o solo, no entanto, o estudo do comportamento desta erosividade ao longo dos meses, nos permite compreender melhor a interação da força erosiva da chuva e o uso e manejo do solo durante o ano. A distribuição da erosividade para a microbacia de acordo com os dados utilizados neste procedimento, é apresentada na Figura 13 . Verifica-se uma concentração percentual nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, sendo este último o que apresenta maior índice.

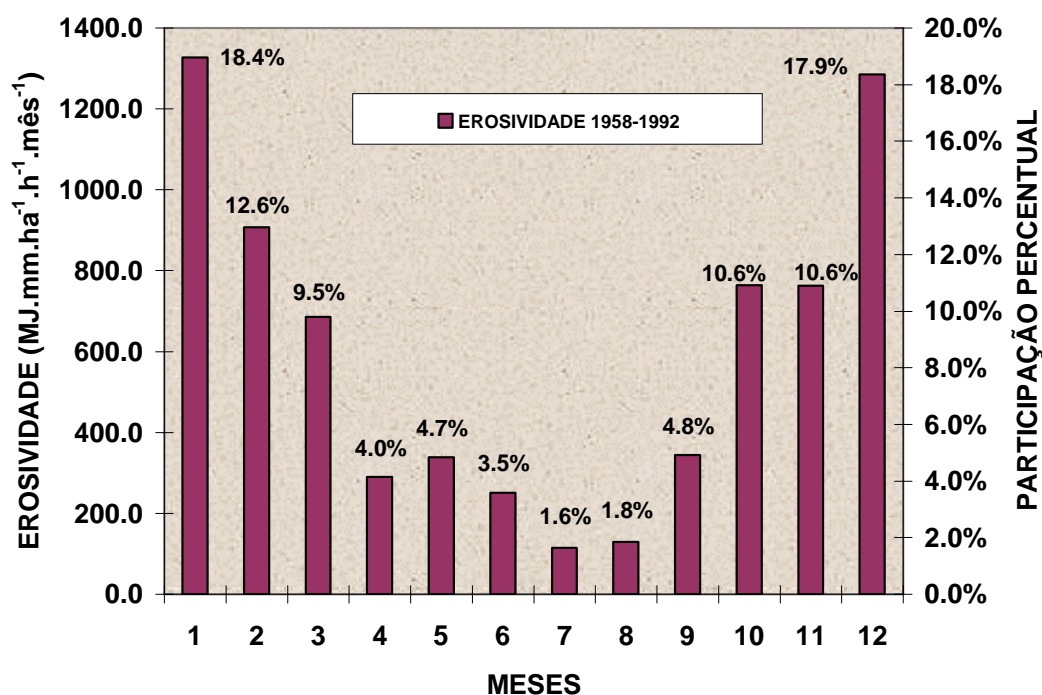


Figura 13 – Distribuição da erosividade mensal para o período de 1958-1992.

c) Erosividade obtida a partir de dados de precipitação, de 6 pluviógrafos para os anos de 1995-1999 e da equação $EI = 89.823(p^2/P)^{0,759}$.

A erosividade mensal e o total anual são apresentados no Apêndice 3, permitindo uma avaliação quantitativa da variação deste parâmetro ao longo dos anos avaliados. Observa-se pelos dados apresentados que apesar de ocorrer uma variabilidade, quando se analisa o comportamento da erosividade para cada ano em particular, o total anual não sofreu variações significativas. Para uma área de aproximadamente 3640 ha, o número de pluviógrafos utilizado foi suficiente para demonstrar a variabilidade da erosividade dentro da área de estudo, o que pode ser verificado analisando as diferenças de valores entre os equipamentos, independentemente do ano avaliado. O fator variabilidade espacial, induziu a escolha deste procedimento para ser utilizado na obtenção do fator R da EUPS, por permitir uma melhor interação deste parâmetro com os demais da EUPS, que sofrem igualmente variações espaciais. Estaria-se agindo de forma incorreta, se fosse estabelecido um único valor

para a microbacia, pois para determinados locais, os erros seriam por subestimar e em outros por superestimar os valores de erosividade.

Aceita-se que o período de informações utilizado, está fora do que se acredita ser representativo, no entanto, uma comparação com a erosividade obtida para a região de 7193,8 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, utilizando um período de 34 anos, permitiu verificar uma diferença pouca significativa para o valor médio de 7391,4 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ encontrado neste procedimento, permitindo a sua utilização sem afetar os rigores técnicos exigidos neste estudo. Lombardi Neto & Picini (2000) avaliaram a distribuição do potencial erosivo das chuvas no Estado de São Paulo, através da equação utilizada neste procedimento, porém com dados coletados em 378 localidades no período de 1963 a 1992, e obtiveram valores bastante semelhantes ao encontrados neste estudo, variando de 6500 a 7000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Os valores obtidos nos nestes estudos, por possuírem pouca diferenciação dos obtidos no presente trabalho, aumentam a confiabilidade no procedimento utilizado para gerar o fator R a ser utilizado na EUPS.

Uma discussão a respeito da erosividade e a exploração agropecuária se faz necessária, para que se possa juntar subsídios que permitam compreender o desenvolvimento do processo erosivo ao longo do ano, e que levaram ao estado de degradação a qual se encontra hoje a microbacia Água da cachoeira, não diferenciando de várias outras regiões do Estado de São Paulo. A análise do comportamento da erosividade ao longo do ano, (Figura 14), deixa claro o porque das maiores perdas de solos ocorrerem nos meses de outubro a fevereiro, existindo uma variabilidade entre os anos.

Para este período, igualmente para o comportamento pluviométrico, tem-se os maiores valores de erosividade, ou seja, para o período onde a exploração do solo é mais intensiva, tem-se também chuvas com maior poder de erosão. Para a microbacia Água da Cachoeira, Domingues et al. (1998) observaram que durante os episódios de verão há o assoreamento das planícies mais largas e trechos dos canais fluviais.

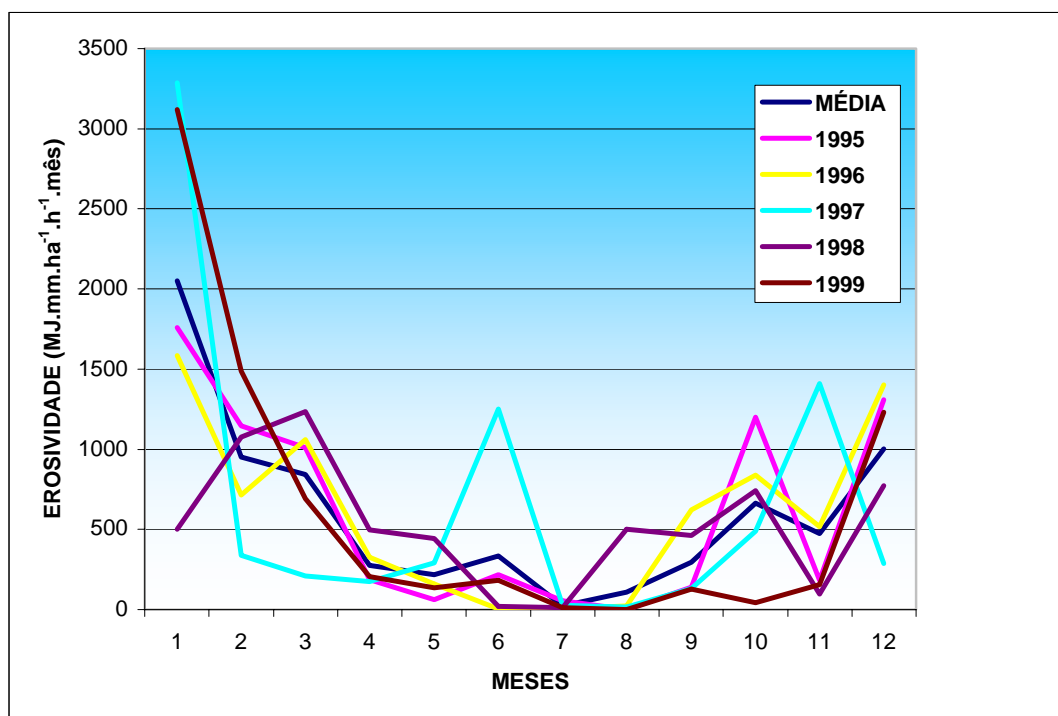


Figura 14 - Distribuição da erosividade mensal para o período de 1995-1999.

O que se observa é a exposição do solo através do preparo mecânico, já no início do referido período, sendo que a proteção do solo se desenvolverá proporcionalmente ao desenvolvimento da cultura implantada. Para o mês de janeiro, conforme demonstrado no Quadro 9 e na Figura 15 são observados os maiores valores de erosividade, mas que tem seus efeitos atenuados por coincidir com o período onde a maioria das culturas de verão já oferece proteção ao solo, variavelmente conforme a cultura explorada. Para o início do período, outubro e novembro, apesar dos valores de erosividade serem menores, comparados com janeiro, o solo nesta época está desprotegido, favorecendo a ação erosiva da chuva.

A utilização de técnicas de manejo que proporcionem uma melhor proteção ao solo durante o ano todo é, mediante o exposto, uma maneira coerente de se desenvolver a agropecuária com reduzido impacto ao meio ambiente.

Quadro 9 – Distribuição da erosividade ao longo do ano em porcentagem.

MÊS	1995	1996	1997	1998	1999	MÉDIA	PERCENTUAL MENSAL
Janeiro	1761,16	1585,33	3287,90	503,01	3119,19	2051,32	28,34%
Fevereiro	1144,85	714,43	337,62	1076,35	1486,53	951,96	13,15%
Março	1008,38	1060,35	209,85	1236,76	691,17	841,30	11,62%
Abril	186,03	324,51	173,33	496,61	206,26	277,35	3,83%
Maio	61,16	157,38	291,66	444,10	137,76	218,41	3,02%
Junho	219,38	2,83	1251,30	21,20	182,07	335,36	4,63%
Julho	53,82	2,75	27,90	13,24	11,04	21,75	0,30%
Agosto	0	24,33	14,88	500,39	0,77	108,07	1,49%
Setembro	141,46	622,38	130,14	460,54	128,88	296,68	4,10%
Outubro	1200,78	838,14	490,76	740,76	42,63	662,61	9,16%
Novembro	182,14	518,52	1411,00	95,31	153,61	472,12	6,52%
Dezembro	1307,79	1403,45	288,90	772,35	1231,45	1000,79	13,83%
TOTAL	7267,00	7254,45	7915,29	6360,68	7391,42	7237,77	100%

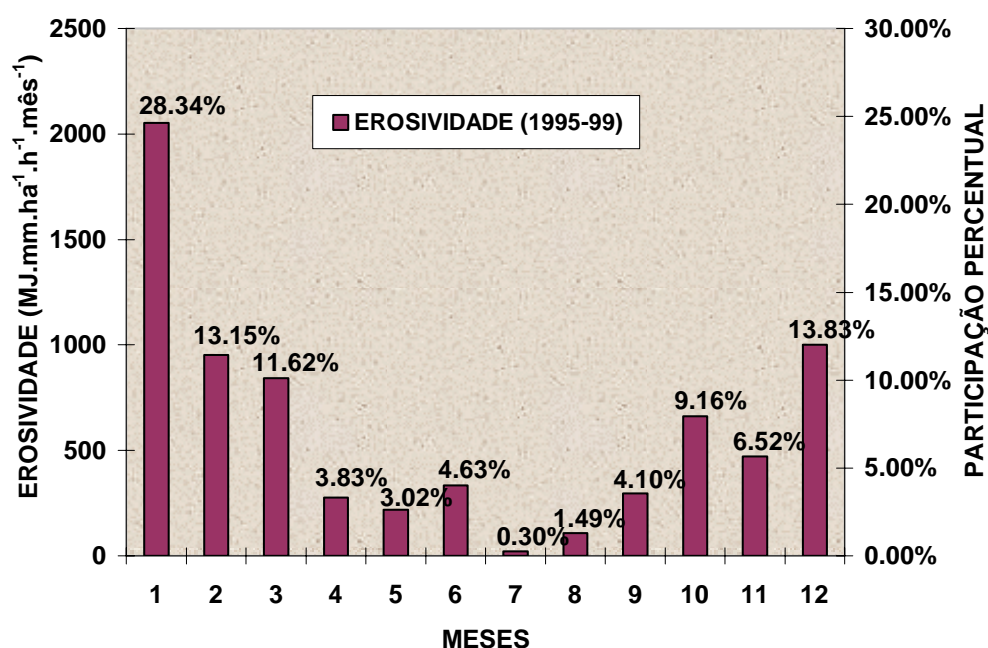


Figura 15 – Distribuição da erosividade mensal para o período de 1995-1999

A correlação entre a variação anual da erosividade e o uso e manejo do solo, conforme abordado anteriormente, se faz, na EUPS, na forma do parâmetro uso e manejo, onde o valor para este fator é estimado levando-se em consideração o estágio de

desenvolvimento da cultura, o manejo utilizado e o índice percentual de erosividade para os diferentes estágios da exploração abordada.

O comportamento espacial da erosividade para o período avaliado pode ser visualizado na Figura 16 , onde constam ainda a rede de drenagem e as divisas das propriedades rurais existentes na microbacia. São observadas mudanças extremadas de intensidade da erosividade das porções oeste para as porções leste, com valores variando de 6560,28 a 7526,27 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Francisco & Campos (1999) realizaram o mapeamento da distribuição pluviométrica para microbacia Água da Cachoeira, para o período de 1995 a 1998. Pelo mapa de isolinhas gerado, verifica-se uma ocorrência de um índice pluviométrico maior na porção leste. A porção leste apresenta as maiores dificuldades, no controle a erosão. Analisando os planos de informações solo, declividade e erosividade, verifica-se para estas localidades os maiores índices de erosividade e uma associação de solo com B textural e declividade acentuada que configuraram a existência de canais de drenagem mais curtos e pouco ramificados, conseqüência de um deflúvio rápido e concentrado.

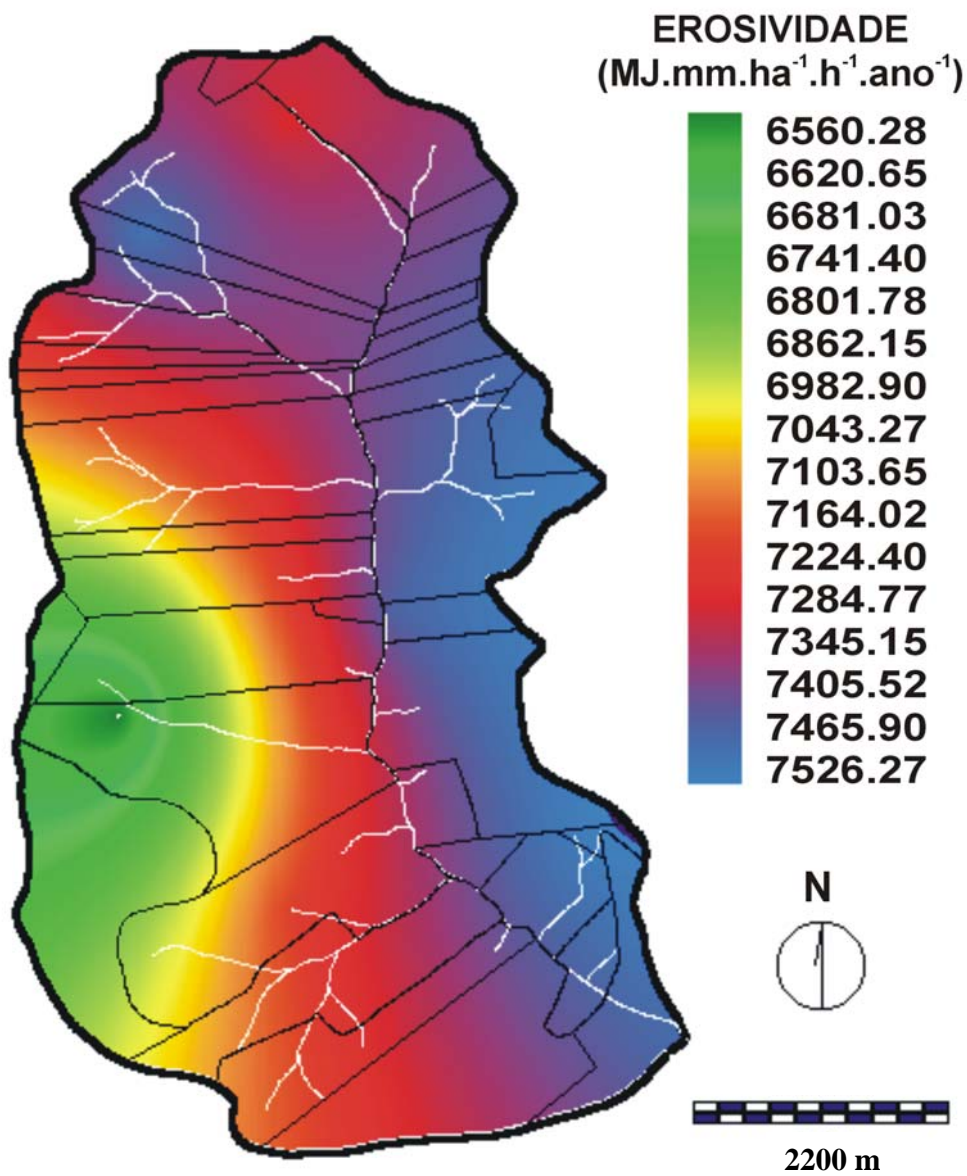


Figura 16 – Variação espacial da erosividade média anual na microbacia Água da Cachoeira para o período de 1995-1999.

6.1.2.2 Fator erodibilidade (K)

A erodibilidade do solo é a recíproca da resistência do mesmo à erosão, ou seja, é a vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão. Os grupos de solos considerados para a área da microbacia Água da Cachoeira, tendo como horizonte subsuperficial o B latossólico e o B textural, apresentam características e propriedades bem diferenciadas. Tal afirmação é concordante com Bertoni & Lombardi Neto (1990) que concluíram, com base nos estudos realizados, que os solos com horizonte B textural apresentam comportamento diferente daqueles com B latossólico, com relação a erosão, tanto nos horizontes superficiais como nos subsuperficiais, afirmando que para os solos com horizonte B textural a suscetibilidade à erosão é maior. Nos solos com B textural, o que se observa de maneira generalizada, é a influência deste horizonte na redução permeabilidade do solo, o que favorece o desenvolvimento do escoamento superficial. No entanto, Marques et al. (1997b) avaliando a erodibilidade de solos com B textural no Brasil a partir de atributos destes solos, não incluíram o parâmetro permeabilidade em suas análises, afirmando a baixa correlação entre esta variável e o fator K. Contradizendo estes autores, Freire et al. (1998), concluíram que a permeabilidade é o fator mais importante na determinação da erodibilidade e que a ocorrência de horizonte B textural não é indicador de alta erodibilidade. Os valores obtidos por Freire et al. (1998) foram adotados neste estudo por serem frutos de estudo recente, e os solos avaliados fazem parte da mesma região onde se desenvolve o presente trabalho, sendo pedologicamente semelhantes. O que se verifica para o fator K, é uma instabilidade de seu valor, para um solo, conforme a variação espacial e temporal e conforme o desenvolvimento da exploração deste solo. As alterações nas condições físicas, químicas e biológicas do solo com a sua utilização, tendem a alterar substancialmente a suscetibilidade do solo a erosão. Quando são consideradas as variações nas interações destas propriedades em para uma determinada área, ou mesmo, as mudanças naturais ou antrópicas que ocorrem no processo de desenvolvimento do solo, verifica-se que o número de variáveis que influenciam o comportamento do solo frente à ação da água, tornam complexa a determinação precisa do valor de sua erodibilidade.

6.1.2.3 Fator Topográfico LS

Na Figura 17 tem-se o modelo digital de elevação (SGDEM) e as curvas de nível que o originaram, a partir da utilização dos módulos TIN e TINSURF.

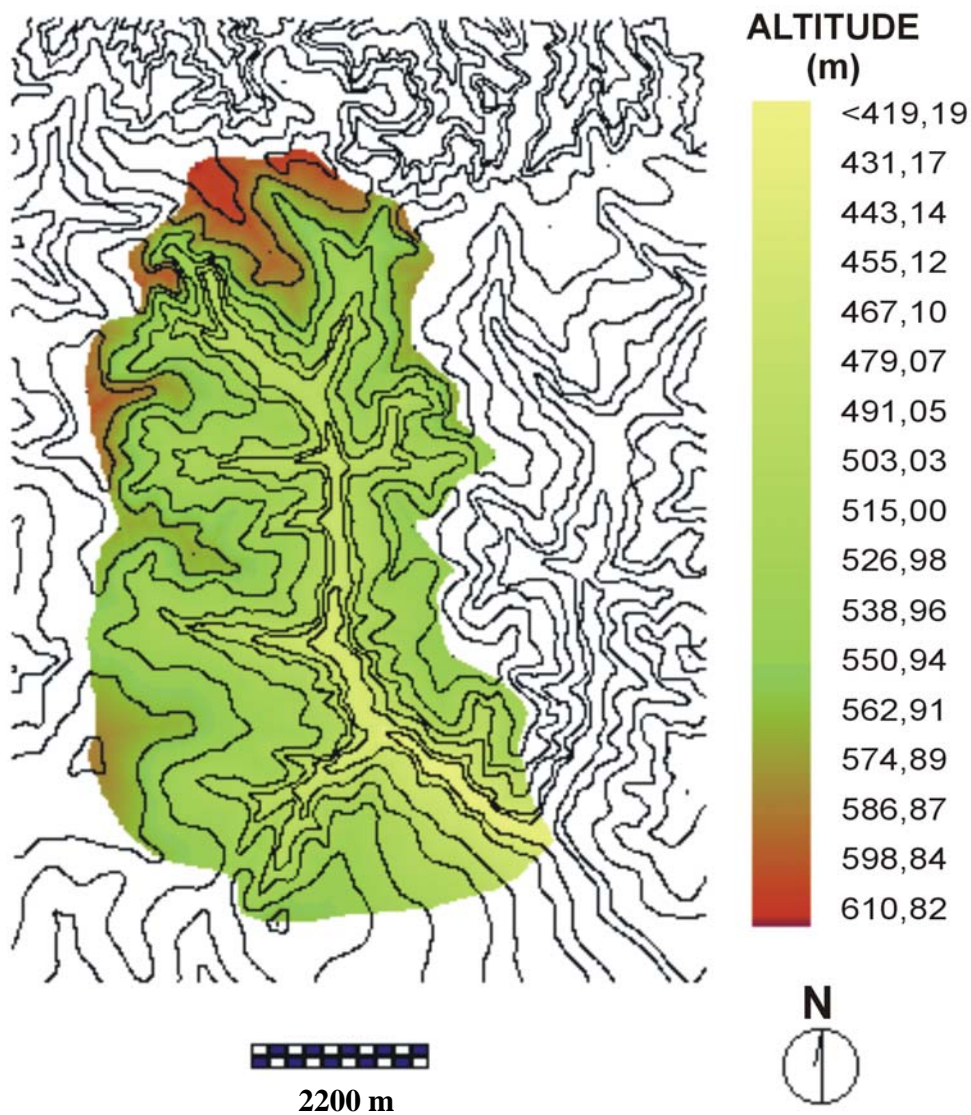


Figura 17 – Modelo digital de elevação SGDEM da microbacia Água da Cachoeira com sobreposição das curvas de nível.

O mapa de aspecto é uma imagem que classifica a superfície do MDE utilizado, de acordo com suas orientações em relação ao norte verdadeiro, estabelecido pelo sistema de referenciamento. O mapa de aspecto (Figura 18) para a área em estudo foi obtido a partir da imagem SGDEM e do módulo SURFACE, sendo em seguida reclassificado, através do módulo RECLASS, em 8 classes variando em intervalos de 45° . Desta forma obteve-se a separação parcial das rampas existentes na área de estudo, restando ainda, a reclassificação quanto à declividade. O valor -1 atribuído a determinados pixels da imagem é um indicativo de que nestes pontos a superfície não possui orientação definida, ou seja, é plana.

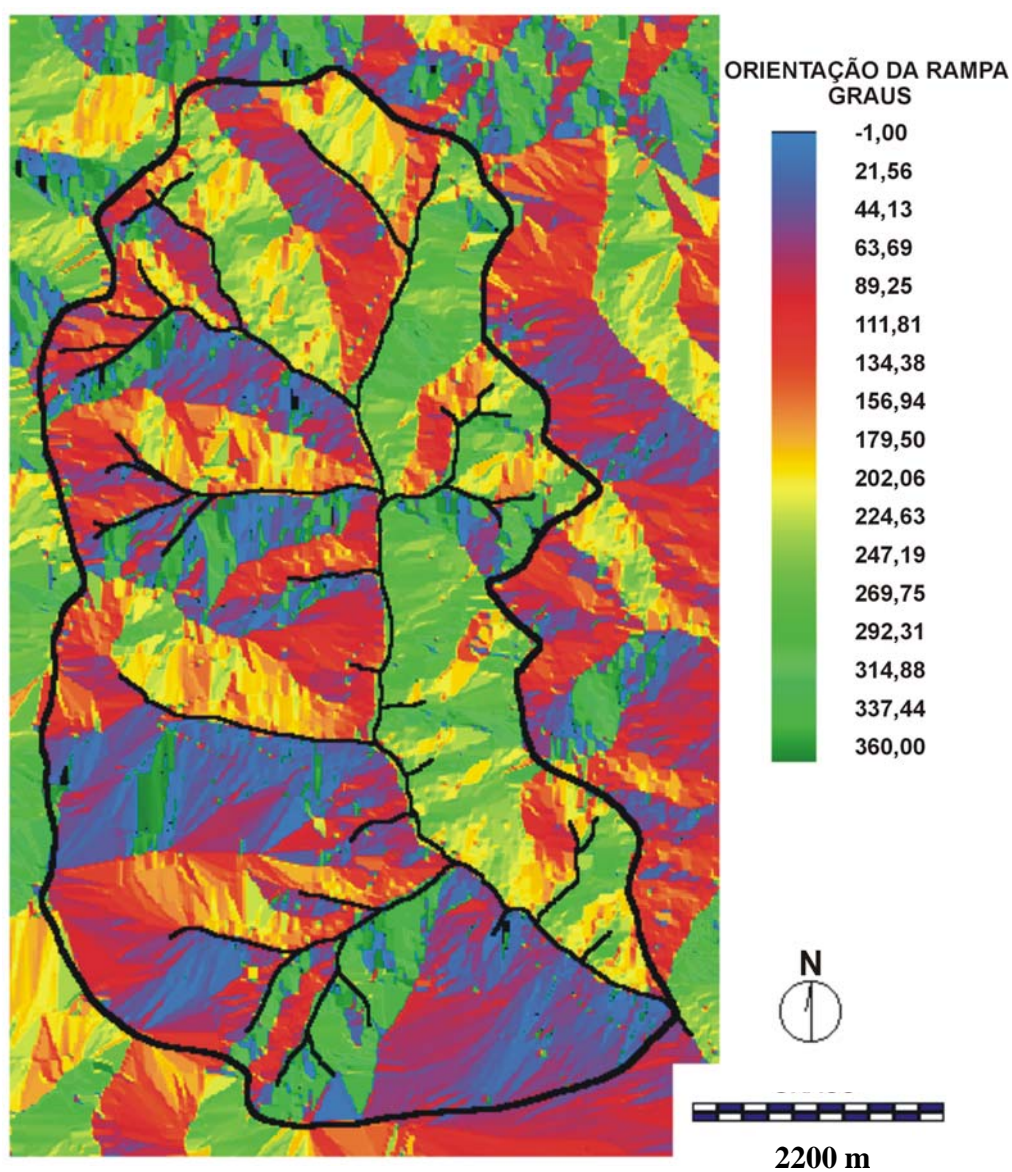


Figura 18 – Imagem de aspecto reclassificada em 8 classes.

O mapa de aspecto pode ainda ser utilizado em estudos que avaliam a influência da orientação de vertente sobre o desenvolvimento das plantas, ou mesmo planejar a implantação de culturas em função da movimentação do sol ao longo do ano e do posicionamento da rampa. No mapa de declividades em graus, utilizado para a obtenção das rampas, apresentado na Figura 19, verifica-se que as declividades mais acentuadas situam-se ao longo da rede de drenagem, numa conformação que se assemelha a do posicionamento do solo ARGISSOLO, sendo esta semelhança, um indicativo que para estas áreas o domínio das águas da chuva se torna mais problemático.

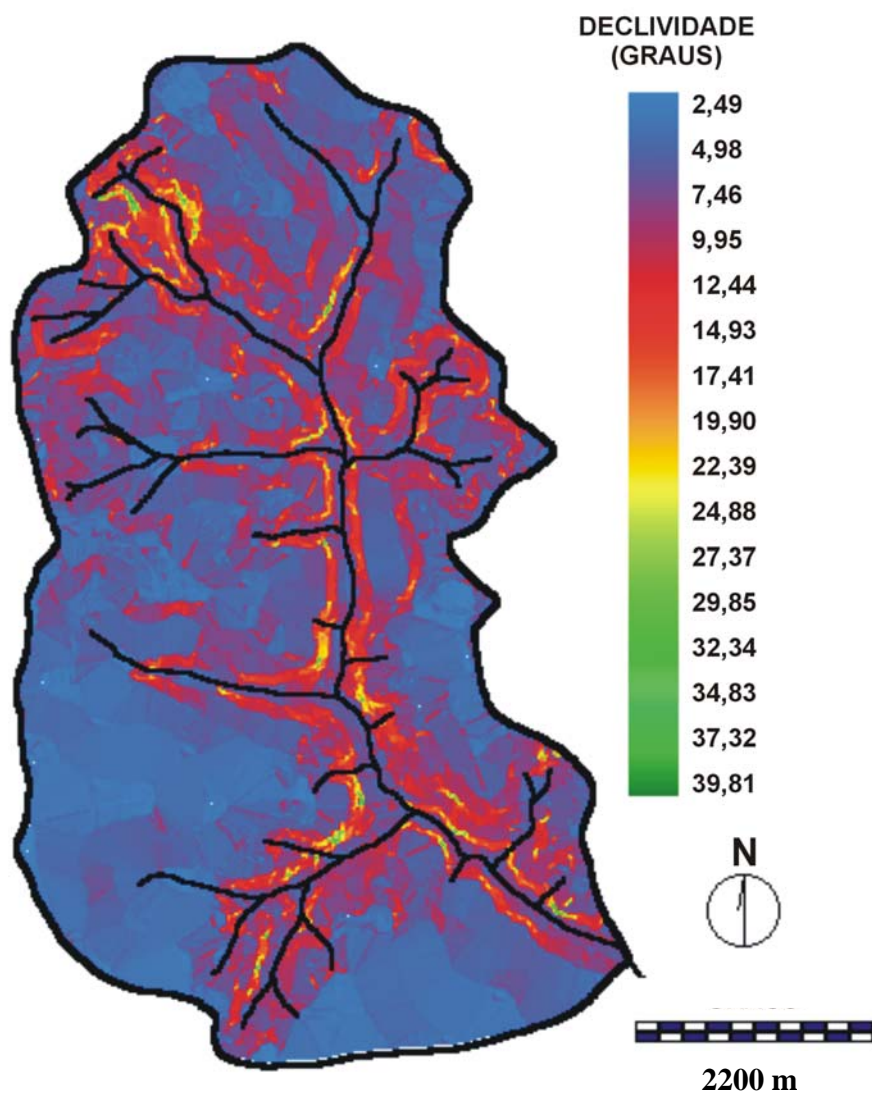


Figura 19 – Imagem contendo as declividades da superfície na microbacia Água da Cachoeria.

O mapa contendo as rampas e seus respectivos comprimentos, apresentado na Figura 20, não considera as áreas terraceadas, pois não foi dado seguimento ao procedimento proposto por Rocha et al. 1996.

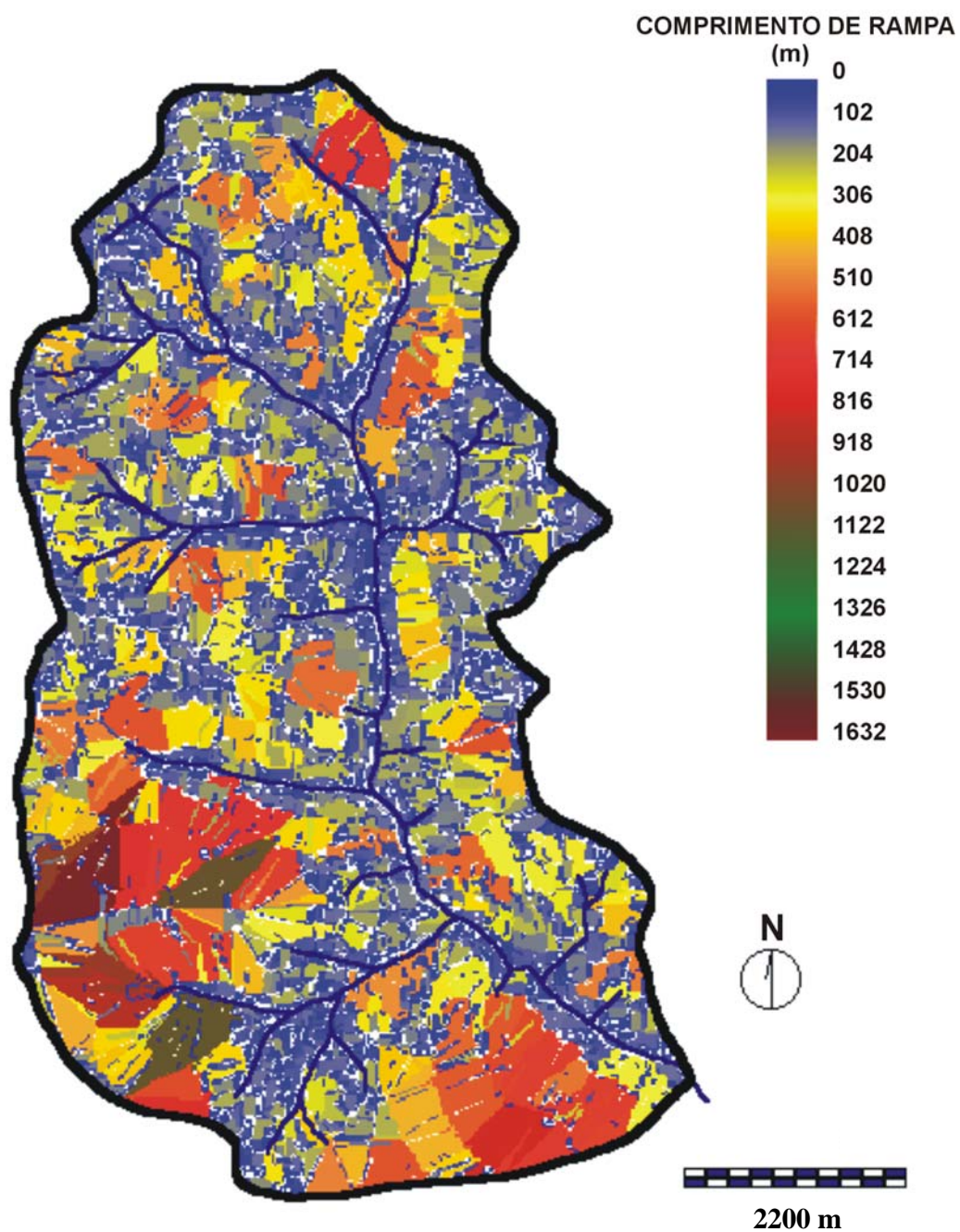


Figura 20 – Mapa contendo as rampas da microbacia e seus respectivos comprimentos.

Segundo os dados obtidos através do procedimento proposto por Rocha et al. (1996), o comprimento médio de rampa para a microbacia Água da Cachoeira, desconsiderando as áreas terraceadas, seria de 261,80 m com um valor máximo de 1632 m.

Rampa é definida como sendo a distância a partir do ponto de origem do escoamento até o ponto onde a declividade decresce a tal ponto que a deposição começa, ou o escoamento entra em um canal de drenagem bem definido, que pode fazer parte de uma cadeia de rios Wichmeier & Smith (1965). Logo a metodologia utilizada no estabelecimento dos comprimentos de rampa para grandes áreas deve contemplar a influência das áreas de deposição. O parâmetro *cutoff slope* utilizado no programa ERODE2 possibilita considerar as áreas de deposição no cálculo do comprimento de rampas, entretanto, o estabelecimento preciso deste valor para áreas extensas e com amplas variações na declividade, exigiria avaliações por meio de métodos diretos ou indiretos, do comportamento dos processos de remoção e deposição de solo ao longo da vertente, com o objetivo de se determinar sob quais condições tem-se o fim da remoção e início do aporte. Deve-se considerar ainda, que a deposição de materiais erodidos não ocorre apenas quando a declividade decresce a tal ponto, que a energia contida no fluxo d'água não é capaz de movimentar as partículas, mas também por influência da mudança de rugosidade na superfície, existência ou não de cobertura do solo, bem como, o tipo de vegetação existente. Buscando a praticidade, a avaliação das áreas de deposição existente na microbacia permitiu estabelecer, de forma generalizada, a condição de declividade onde ocorre a alternância do processo de remoção para o de deposição.

Além de considerar a ocorrência de deposição, no cálculo do comprimento de rampa, o programa ERODE2 o faz de forma acumulada, sendo este procedimento considerado positivo para o estabelecimento do fator LS, pois conforme Wichmeier & Smith (1965) a perda de solo por unidade de área geralmente aumenta substancialmente com o aumento do comprimento da rampa, devido a somatória do escoamento superficial que aumenta a capacidade de desagregação e transporte de sedimentos. Esta afirmação é confirmada por Bertoni & Lombardi Neto (1990), que apresentam o Quadro 10, para esclarecer os efeitos do comprimento da rampa nas perdas de solo por erosão.

Os autores comentam que, quadruplicando-se o comprimento de rampa, quase que triplicam as perdas de solo por unidade de área, diminuindo mais da metade as perdas de água por unidade de área.

Quadro 10 - Efeito do comprimento de rampa nas perdas de solo. (Fonte: Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Comprimento da rampa (m)	Média t/ha	1º segmento 25m	2º segmento 25m	3º segmento 25m	4º segmento 25m
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

Para os comprimentos de 25, 50, 75 e 100 metros de rampa, foram verificados uma proporção de 1:1,4:2,3 em perdas de solo, e de 1:0,7:0,2 em perdas de água, por unidade de área.

A utilização do programa ERODE2 se fez levando-se em consideração as citações apresentadas e as afirmações do *Department of Geography and Land Studies, Central Washington University, Ellensburg. W.A.*, de que o programa ERODE2 produz os resultados requeridos para a USLE e RUSLE.

Vários mapas foram elaborados preliminarmente, desconsiderando as áreas terraceadas e utilizando vários valores para o fator *Cutoff Slope*, objetivando estudar as informações produzidas em função dos dados de entrada. Utilizando o arquivo vetorial SGCOTAS e a opção ADD LAYER do COMPOSER, realizou-se a sobreposição das linhas de nível sobre os mapas produzidos, e pôde-se verificar que os resultados produzidos se apresentam de forma coerente.

Deve-se considerar ainda os resultados no cálculo dos comprimentos de rampas para áreas remanescentes daquelas terraceadas. Uma exemplificação dos bons resultados obtidos pode ser visualizada, seguindo as indicações, na Figura 21. Nestas posições tem-se áreas terraceadas, com início no divisor d'água e que se estendem até as proximidades do riacho Água da cachoeira. Para o intervalo entre o final destas áreas e o riacho foi calculado o comprimento acumulado destas rampas. Desta forma a influência das áreas a montante sobre estas áreas é desconsiderado, assim como ocorre no campo, pois se os terraços forem eficientes, não haverá contribuição de águas pluviais.

As áreas terraceadas correspondem a 70,28% da área da microbacia, que de acordo com os dados obtidos por este procedimento possui um comprimento máximo

de rampa de 937 m e uma média de 61,45m. Este baixo valor para a média pode ser explicado pela alta porcentagem de áreas com comprimento de rampa igual a 50m que correspondem às áreas terraceadas.

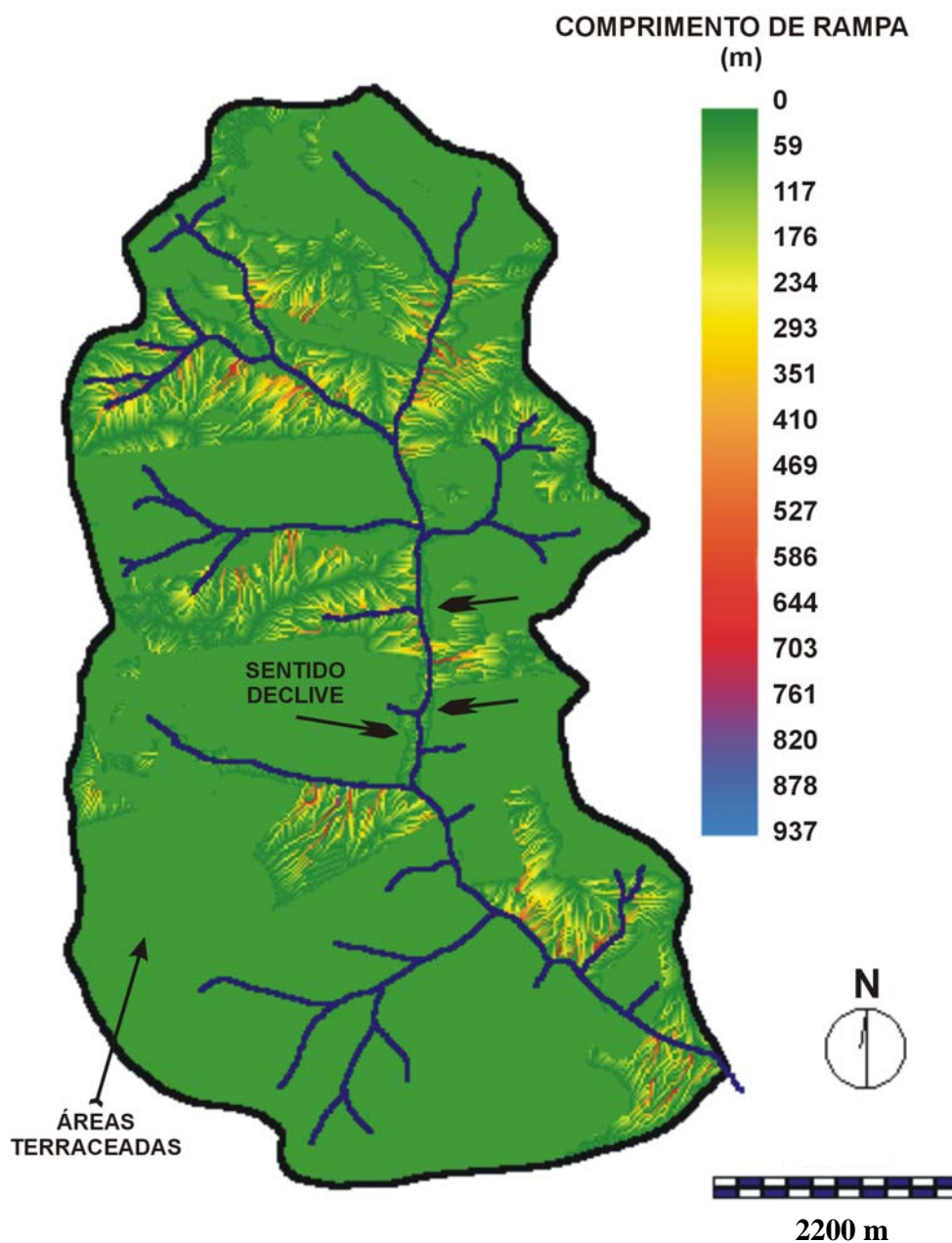


Figura 21 – Mapa contendo as rampas da microbacia Água da Cachoeira e seus respectivos comprimentos determinados pelo software ERODE2.

Os fatores LS obtidos para as diferentes combinações de comprimento de rampa e declividade são apresentados na Figura 22 . A média do fator LS para a microbacia foi de 1,93, sendo encontrados valores altos nos finais de rampas extensas, resultados da determinação das distâncias de forma acumulada.

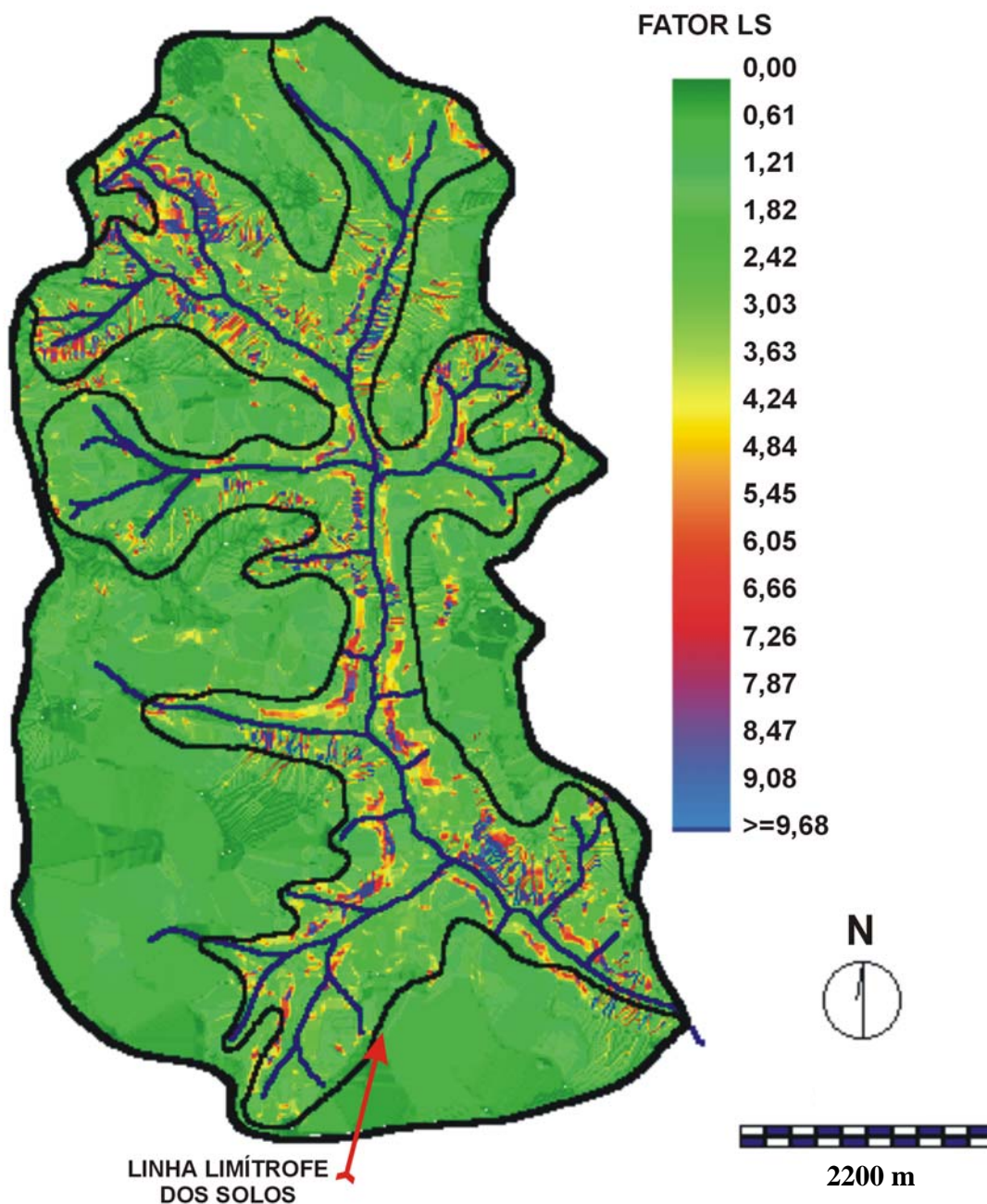


Figura 22 – Fator LS obtido utilizando o software ERODE2 para o cálculo do comprimento de rampa.

6.1.2.4 Práticas conservacionistas (P)

O mapeamento das áreas que adotavam práticas de conservação do solo foi realizado através de verificação a campo, principalmente para se considerar apenas aquelas que efetivamente contribuíam para a redução do processo erosivo. Sendo o plantio em nível prática comum na região, o terraceamento foi a prática mais relevante considerada. As áreas que adotam este tipo de prática receberam o valor 0,5 para o fator práticas conservacionistas enquanto que as demais receberam o valor 1,0, ou seja, ausência de práticas de conservação do solo (Figura 23).

Algumas das áreas com cultivo de cana-de-açúcar apresentam a adoção da prática de terraceamento em desnível para situações onde a cultura se desenvolve sobre o solo ARGISSOLO. Em talhões que se estendem do divisor d'água até o riacho, abrangendo os dois tipos de solos, tem-se uma associação do terraceamento em nível sobre o LATOSSOLO e em desnível sobre o ARGISSOLO. Os canais escoadouros se apresentam estáveis e não se observa problemas de erosão em sulco ou voçorocamento, embora por ocasião da instalação deste sistema constatou-se a ocorrência de uma completa destruição do canal.

As demais áreas terraceadas ocupadas com culturas anuais ou pastagem apresentam terraços em condições satisfatórias, embora não sejam muitas vezes, capazes de reter todo escoamento superficial, tendo-se a perda de água e partículas em suspensão.



Figura 23 - Valores do fator práticas conservacionistas para a microbacia Água da Cachoeira.

6.1.2.5 Fator uso e manejo do solo (C)

Os valores do fator uso e manejo (C) adotados para as diferentes coberturas existentes na microbacia estão expressos no Quadro 11 , onde a avaliação destes,

permite verificar que a mata nativa é a ocupação que oferece maior restrição a perda de solo, pelo baixo valor do fator C, tendo-se em seguida a pastagem.

Quadro 11 - Valores do fator C adotados para os usos e manejos dos solos da microbacia Água da Cachoeira para o ano de 2000.

USO E MANEJO DO SOLO	PERÍODO	MÊS	EI ACUM.	EI %	Índice erosão Período	RAZÃO DE PERDA DE SOLO		FATOR C
Cana-de-açúcar ³	Estágio 1	05	218,4169	3,0177	0,25590	-----	-----	0,1063
	Estágio 2	06-07	357,1124	4,9339	0,01916	-----	-----	
	Estágio 3	08-01	4591,6237	63,4395	0,58505	-----	-----	
	Estágio 4	02-04	1793,2668	28,6084	0,34831	-----	-----	
Milho ¹	Estágio D	09-10	959,3046	13,2541	0,11760	0,240	0,0282	0,1094
	Estágio PL	11	472,1217	6,5230	0,06731	0,242	0,0162	
	Estágio 1	12	1000,795	13,8273	0,07304	0,114	0,0083	
	Estágio 2	01	2051,323	28,3419	0,14514	0,114	0,0165	
	Estágio 3	02-03	1793,2668	24,7764	0,03565	0,052	0,0018	
Feijão ¹	Estágio D	04-05	495,7708	6,8497	0,17926	0,15	0,0268	
	Estágio PL	06	335,361	4,6334	0,02216	0,12	0,0026	
	Estágio 1	07	21,7514	0,3005	0,04332	0,20	0,0086	
	Estágio 2	08	108,0794	1,4932	0,01192	0,04	0,0004	
Café ¹	Estágio único	01-12	7237,774	100	1,00	-----	-----	0,0783
Reflorestamento ²	Estágio único	01-12	7237,774	100	1,00	0,05	0,05	0,05
Mata nativa	Estágio único	01-12	7237,774	100	1,00	0,004	0,004	0,004
Pastagem ⁴	Estágio único	01-12	7237,774	100	1,00	-----	-----	0,0096

- ¹ Plantio convencional
- ² Plantas adultas
- ³ Segundo corte ou mais
- ⁴ Sem reforma

6.2 Obtenção das perdas de solo para a situação atual

A Figura 24 é resultado da interação dos fatores que compõem a EUPS e expressa a perda de solo estimada de forma variável ao longo da área de estudo. Desta forma pode-se identificar e analisar facilmente e com maior clareza, as áreas que apresentam perdas excessivas de solo, expressando a existência de problemas no manejo e conservação do solo.

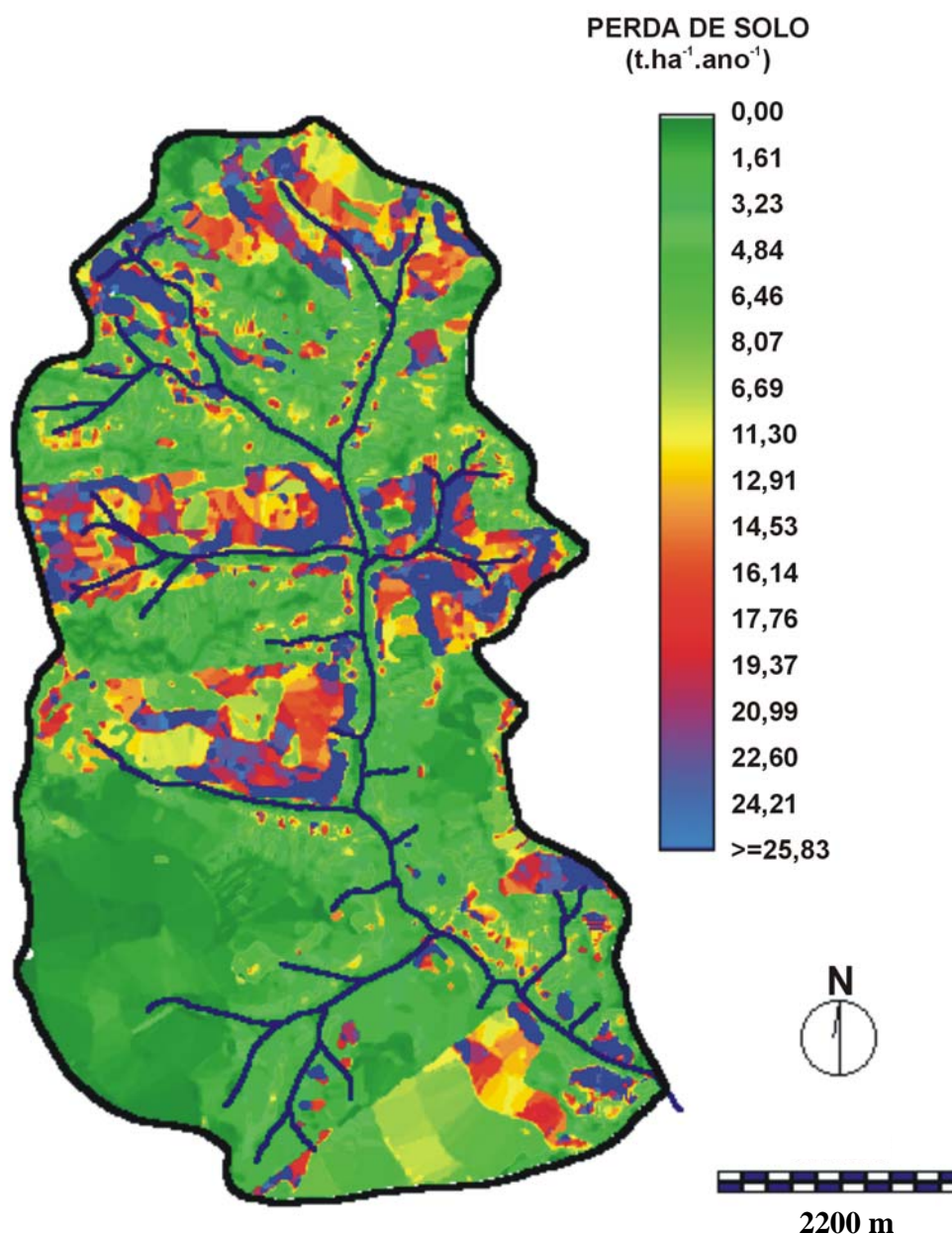


Figura 24 - Imagem SGUSLE - expressa as estimativas de perdas de solo na a microbacia Água da Cachoeira para o ano de 2000.

O valor médio de perda de solo para a microbacia Água da Cachoeira, considerando o uso apresentado em 2000 foi de $9,54 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. O valor estimado para a perda de solo pode ser considerado expressivo para o ARGISSOLO, sendo no entanto aceitável para o LATOSSOLO, considerando a tolerância de perda de solo. Cerca de 15,82% da microbacia apresenta perda de solo acima de $7 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, conforme os dados apresentados no Quadro 12, e da área restante 50,98% apresentam perdas iguais ou menores que $2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Pela expressão destes dados verifica-se que a porcentagem da área total da microbacia que apresenta problemas graves de perda de solo é pequena.

Quadro 12 - Área da microbacia Água da Cachoeira dividida conforme a perda de solo.

PERDA DE SOLO t.ha⁻¹.ano⁻¹	ÁREA (ha)	PARTICIPAÇÃO NA ÁREA TOTAL (%)
1	1225,52	33,70
2	627,15	17,28
3	358,91	9,87
4	305,30	8,39
5	231,19	6,36
6	178,97	4,92
7	133,23	3,66
>7 - <21	-----	-----
21/22/23	106,75	2,93
24/25/26	72,05	1,98
27/28/29	48,27	1,33
> 29	348,66	9,58

A tolerância de perda de solo é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda um elevado nível de produtividade do solo por um longo período de tempo. Essa tolerância reflete a perda máxima de solo que se pode admitir, com um grau de conservação tal que mantenha uma produção econômica em futuro previsível com os meios técnicos atuais Bertoni & Lombardi Neto (1990). Dados apresentados por estes autores, quando adaptados para os solos avaliados neste estudo, nos fornecem valores médios de tolerância de perda de solo de $6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o ARGISSOLO e $14 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o LATOSSOLO. Com base na Figura 25 verifica-se que a maior parte da área abrangida pelo ARGISSOLO está com uma perda de solo que ultrapassa a tolerância estabelecida. Para o LATOSSOLO verifica-se a

ocorrência de perdas acima da tolerância estabelecida, mas a área de ocorrência é proporcionalmente menor. A ocorrência de valores maiores que $17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, é observada em grande parte nas áreas exploradas com cana-de-açúcar, mostrando o quanto o fator uso e manejo influencia nas perdas de solo, mais do que o fator práticas conservacionistas, pois nestas áreas o fator utilizado expressa a correta adoção de práticas de controle a erosão.

As considerações sobre a perda de solo nestas áreas se tornam mais complexas, quando se questiona o destino do material retirado do solo. Se for considerado o riacho, como destino para os sedimentos que estão sendo retirados do solo, como isto ocorre, se existem situações com presença de barreiras (terraços) que impedem o caminhamento da água ao longo da vertente. Para a situação específica da erosão em áreas terraceadas, os resultados obtidos de perda de solo devem ser interpretados como a quantidade de material que está sendo desagregado e movimentados, independentemente do espaço percorrido neste transporte.

Para a microbacia não se pode afirmar que a quantidade estimada de solo erodido será transportada para os cursos d'água, uma vez que cerca de 70,28% de sua área possui terraços. Se estes forem eficientes, pode-se considerar a movimentação do solo entre terraços, como perda estimada pela equação, mas não como solo transportado para os rios.

Áreas exploradas com pastagem apresentaram as menores perdas de solo, mostrando conforme o exposto para as áreas de cana-de-açúcar, a importância do uso dado ao solo sobre estas perdas. A elaboração de composições formadas por vários “*layers*” facilitaram a localização das áreas críticas, que para um planejador é uma informação importante na definição de ações a serem executadas e em quais localidades.

Uma situação onde não houvesse a perda de solo parece ser a ideal, entretanto ela ocorre na natureza, mesmo nas áreas alheias as ações do homem, e faz parte de um processo onde a movimentação de materiais é essencial para a evolução ou mesmo a formação de determinados tipos de solo. Quando se tem um solo explorado pelo homem, esta ação deve ser realizada considerando uma elevação desta movimentação, que deve estar dentro de limites que possibilitem um equilíbrio entre o volume de solo perdido e o volume de solo formado. Aceitando este limite de perdas de solo, as áreas que apresentarem valores maiores devem ser estudadas visando promover a redução destas perdas.

Neste estudo foi possível identificar estas áreas, conforme as apresentações contidas na Figura 25. Como as tolerâncias de perdas de solo são diferenciadas para cada tipo de solo, dois mapas foram elaborados. Para ambos, as áreas desprovidas de coloração apresentam perdas de solo abaixo do tolerável, sendo que para as demais as perdas estão demonstradas de forma gradativa. Poucas são as áreas com perda expressiva no LATOSSOLO, o mesmo não ocorrendo no ARGISSOLO. Para este, as perdas excessivas se distribuem uniformemente independente do uso, mostrando que neste caso existe uma interação maior entre o solo e outros fatores, do que com o uso.

A situação caracterizada para o ARGISSOLO, é comprovada a campo, onde as áreas compreendidas por este tipo de solo apresentam os estágios mais avançados de degradação pela erosão, com perda dos horizontes superficiais, e em alguns locais o afloramento do material de origem.

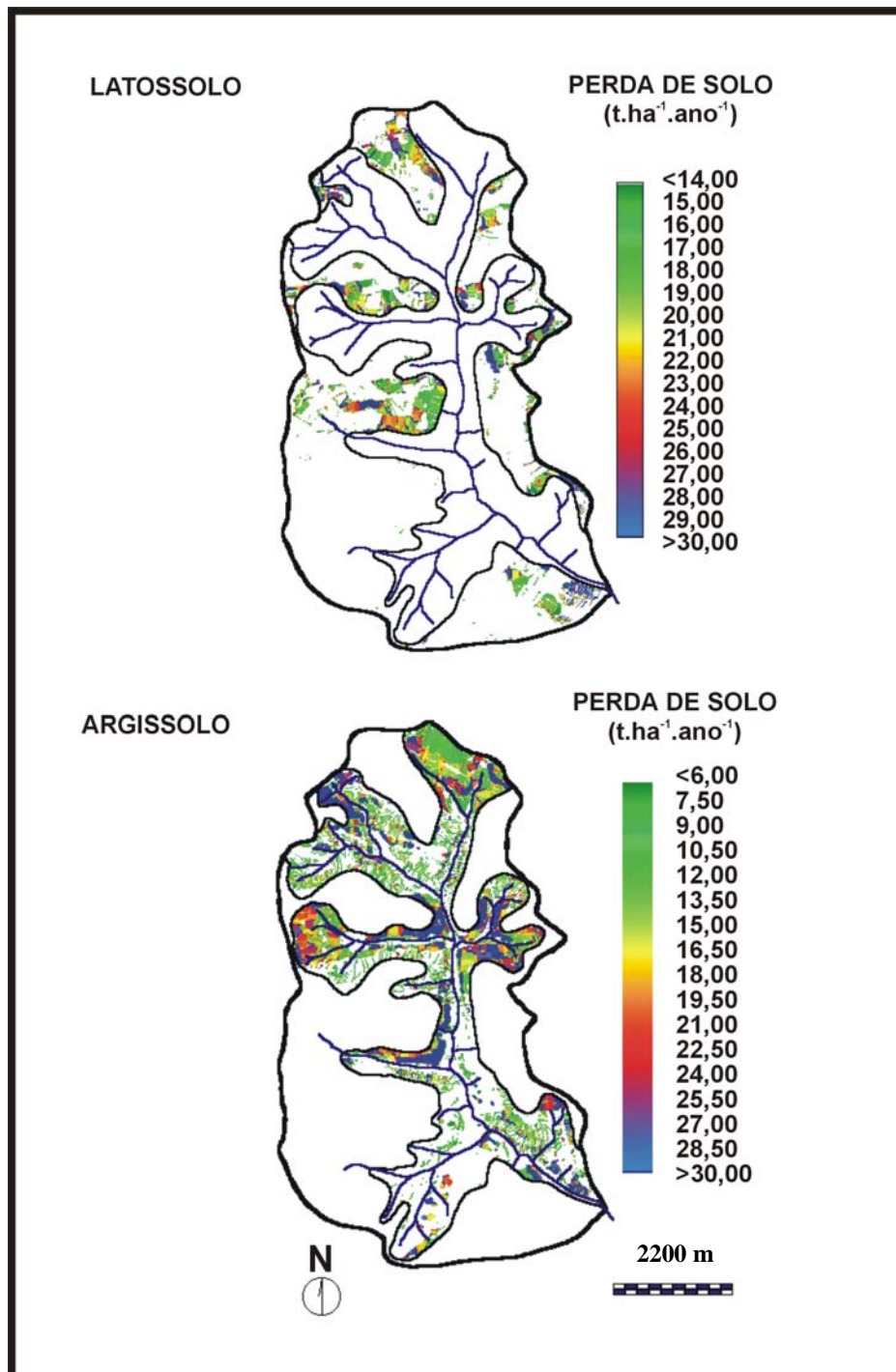


Figura 25 - Perda de solo na microbacia Água da Cachoeira diferenciada para os grupos de solo considerados.

6.3 Obtenção das perdas de solo com simulação de práticas de uso e manejo sugeridas por CAMPOS (1996)

Se fossem adotadas as recomendações propostas neste estudo, que para efeito da estimativa de perda de solo, se baseiam na implementação do controle mecânico da erosão através do terraceamento e na proteção dos cursos d'água com a recomposição da mata ciliar, a perda média estimada de solo por erosão hídrica na microbacia Água da Cachoeira seria de $4,17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Este valor representa uma redução de $19546,8 \text{ t.ano}^{-1}$ (56,29%) de solo perdido em toda a área da microbacia. Se este valor fosse interpretado como o total de material que se encaminha para os canais de drenagem, a recomposição da mata ciliar certamente reduziria o volume de material depositado nos leitos, além de contribuir para a estruturação das margens, tornando-as mais resistentes à ação das águas de enchentes.

Os maiores valores de perda de solo são observados nas médias e baixas vertentes, o que pode ser correlacionado com o tipo de solo e aumento da declividade, uma vez que, existem áreas onde o uso é o mesmo do topo de morro ao final da vertente e as mudanças nos valores de perdas são mais pronunciados com a alteração do tipo de solo (Figura 26).

Verifica-se também para as áreas com cana-de-açúcar uma diferenciação, para maior, na taxa de perda de solo em relação às áreas com pastagem, independentemente se estas possuem ou não terraceamento. No entanto, retomando a abordagem sobre a interpretação dos dados gerados pela EUPS, esta diferenciação não significa que as áreas com cana são maiores fornecedoras de material ao assoreamento dos cursos d'água, mas sim que a movimentação de solo é maior nestas áreas, levando-se em consideração a existência de terraceamento. Ao contrário, áreas com pastagem que apresentam baixa perda de solo, mas que estão desprovidas de terraceamento, podem ser as maiores fornecedoras de material ao assoreamento.

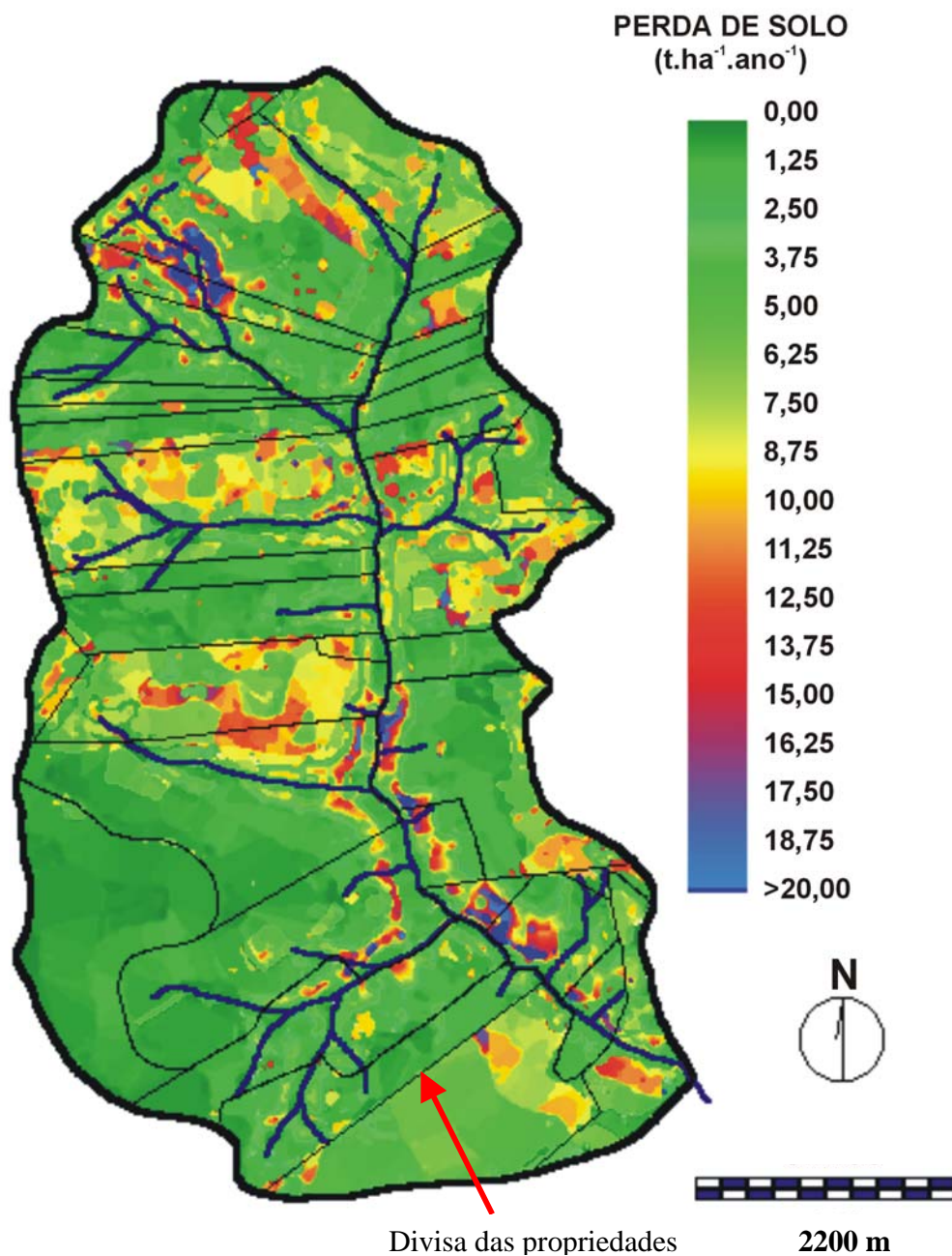


Figura 26 - Perda de solo estimada para as condições propostas por Campos (1996).

A resposta ao terraceamento foi mais pronunciada sobre as áreas com LATOSSOLO, onde somente pequenas manchas apresentaram perdas de solo além da tolerância, conforme ilustra a Figura 27. A área composta por ARGISSOLO apresenta uma porção considerável com perdas de solo que ultrapassam o tolerado para este solo, ocorrência

prevista pelos vários fatores favoráveis ao desenvolvimento do processo erosivo sobre estas áreas, inclusive limitações ao emprego do terraceamento, o que resultou em áreas onde não se propôs a adoção desta técnica.

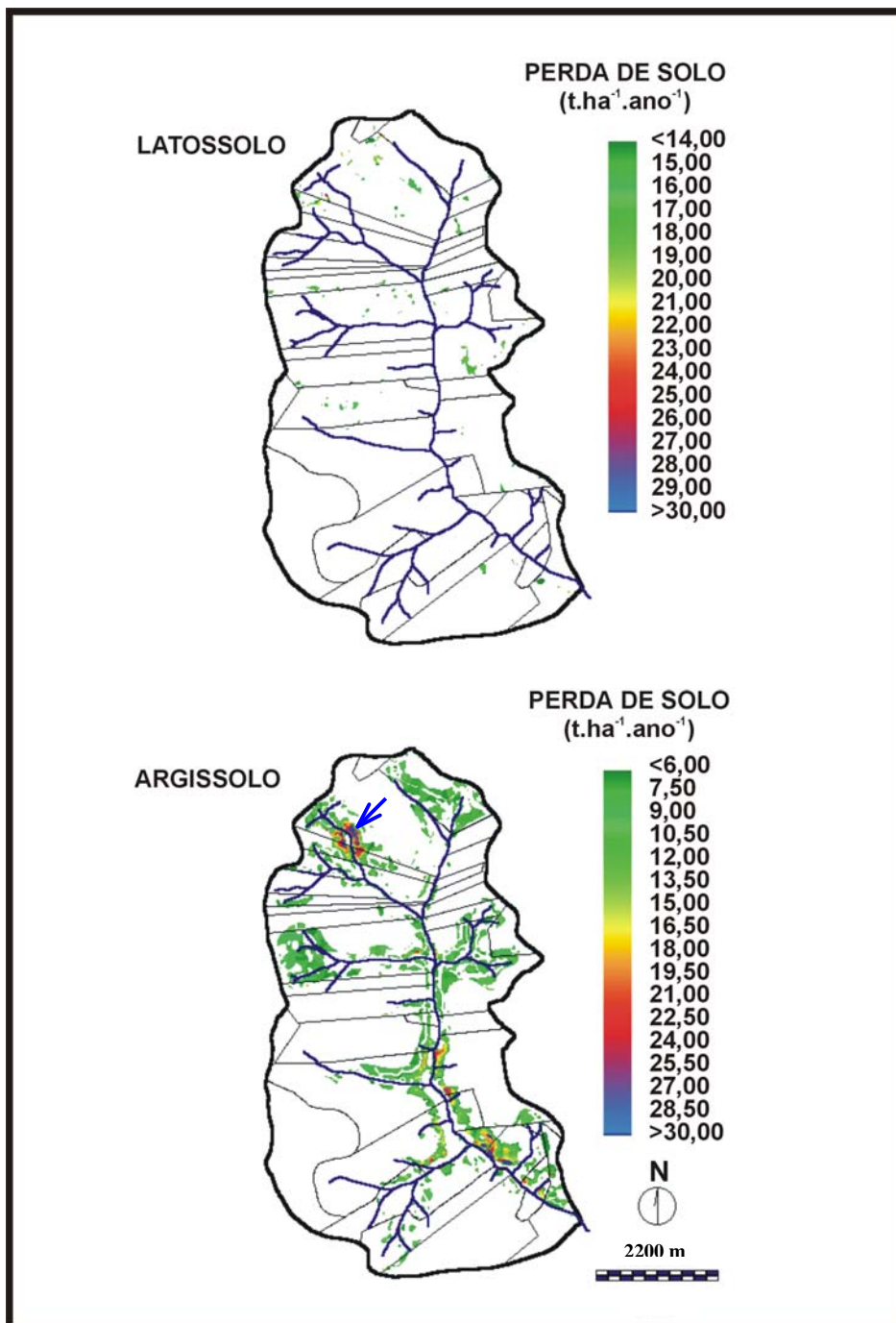


Figura 27 - Perda de solo na microbacia Água da Cachoeira diferenciada para os grupos de solo considerados.

Se adotado terraceamento mesmo nas áreas onde a declividade ultrapassa os limites estabelecidos para a adoção desta prática certamente a taxa de perda de solo seria reduzida. No entanto, para estas áreas o uso adotado deveria ser o reflorestamento ou implantação de vegetação nativa.

Na Figura 27, a sobreposição das divisas das propriedades sobre o mapa de perdas de solo, proporciona uma visão precisa dos pontos de ocorrência de perdas de solo, o que facilita a avaliação da situação e, para um planejador tornaria mais claras as ações a serem implementadas.

A indicação apresentada nesta figura por uma seta, mostra uma área onde a perda de solo estimada assume os maiores valores. No campo observou-se para estas áreas solos com horizonte A removido e com frequência encontrou-se material de origem exposto. Domingues et al. (1998) apresentam um mapeamento da distribuição dos processos erosivos na microbacia Água da Cachoeira, e para esta área são indicadas as ocorrências de erosão em sulco profundo, ravina, ravina profunda e voçoroca. Esta exemplificação de correlação entre os dados obtidos neste estudo e as situações encontradas no campo, aumenta a confiabilidade dos procedimentos e informações utilizados.

7 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste estudo e os resultados obtidos permitiram concluir que:

- Há a necessidade da definição de metodologias mais aplicadas e valores mais representativos para alguns dos parâmetros da equação universal de perdas de solo (EUPS), que permitam a um planejador obter informações confiáveis a partir da associação da EUPS com os sistemas de informações geográficas;
- a metodologia utilizada com base na integração dos *softwares* ERODE2 e IDRISI versão 4.1, para o cálculo do comprimento de rampa, mostrou-se adequada na obtenção de dados para o cálculo do fator LS;
- a adoção do terraceamento aliado a recomposição da mata ciliar são ações que irão promover o restabelecimento das condições naturais do riacho Água da Cachoeira;
- o nível de recuperação do riacho Água da Cachoeira apresentado nos últimos anos, em termos de redução da taxa de assoreamento e ganho de profundidade, pode ser atribuído ao aumento das áreas terraceadas, a redução das áreas com cultivo anual e ao incremento da vegetação ciliar. (Apêndice 4)

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

- ALVES, L.M. *Sistemas de informação geográfica como instrumento para o planejamento de uso a terra, em bacias hidrográficas*. Viçosa, 1993. 112p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa.
- AMARAL, A.Z., AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., (Coord). *Elementos de pedologia*. São Paulo: EDUSP, v.42, 1972. p.429-42.
- ANDERSON, P.S., RIBEIRO, A.J. *Introdução à fotointerpretação*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 129p.
- ASSAD, E.D., SANO, E.E., MEIRELLES, M.L., MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993. p.89-107.
- ASSAD, M.L.L. Sistema de informação geográfica na avaliação da aptidão agrícola de terras. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA - C¹PAC. 1993. p.173-99.
- AUDI, R. *Fotointerpretação de atributos de canais de drenagem em solos da região noroeste do Estado de São Paulo*. Piracicaba, 1972. 182p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

¹ De acordo com as normas para elaboração de Dissertações e Teses adotadas pela FCA/UNESP/BOTUCATU/1997

- BAGNOLA, I.A., JOAQUIM, A.C., PRADO, H. do, LEPSCH, I.F. *Levantamento pedológico semidetalhado da região do governo de Assis*. Instituto Agrônomo - CIERGA - IGC. 1990.
- BAPTISTA, G.M. de M., OLIVEIRA, A.L. de, CARVALHO JÚNIOR, O.A. de, EID, N.J. Método de determinação do comprimento de rampa da USLE, discretizado espacialmente pixel a pixel. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 2, 1997, Campinas-SP. *Resumos...*Campinas: UNICAMP/FEAGRI, FPE/Faculdade de Agronomia “Manoel Carlos Gonçalves”, EMBRAPA/CNPq, UNICAMP/CEPAGRI, 1997. p. 97-100.
- BECKER, E.L.S., BOLFE, E.L., PIROLI, E.L., PEREIRA, R.S. Classificação digital do uso da terra na microbacia do Arroio do Veado Silveira Martins-RS. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria-RS. *Anais...*Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 1999. p. 109-16.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BLASZCZYNSKI, J., JOHNSON, A.L., PETTERSSON, C.B., FULTON, J.L. Regional soil loss prediction using the RUSLE/GIS interface. In: *Geographic Information System GIS and Mapping Practices and Standards*. Denver/CO/USA: American Society for Testing and Materials (ASTM). 1992, p. 122-31.
- CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC. 1993. p.15 - 37.
- CAMPOS, J.C. *Identificação e classificação de reflorestamentos por interpretação visual de imagens LANDSAT*. Viçosa, 1982. 62p. Tese (“Magister Scientiae”) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.
- CAMPOS, S.P. de. *Planejamento do uso do solo através do sistema de informações geográficas IDRISI*. Botucatu, 1996. 124p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- CAMPOS, S.P., SIMÕES, L.B., RIBEIRO, F.L., ZIMBACK, C.R.L. Krigagem ordinária na avaliação da suscetibilidade de solos à erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.

- CANIL, K. IWASA, O.Y., JÚNIOR, J.L.R., MADUREIRA, S.R.Di. A dinâmica dos processos de erosão-sedimentação na bacia da Ribeirão Areia Dourada e o impacto nos recursos hídricos da bacia do Rio Santo Anastácio, SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.
- CARVALHO, M.P., CATANEO, A., LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.279-86, 1997.
- CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI₃₀. *R. Bras. Ci. Solo*, v.13, p.243-49, 1989b.
- CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A. Índice de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.13, p.237-42, 1989a.
- CASTRO, A.G., VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.419-26, 1997.
- CAVALCANTI, H.C. *Uso de um sistema de informação geográficas no processo de elaboração de laudos e na concessão de licenças para desmate*. Viçosa, 1993. 62p. Tese (“Magister Scientiae”) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.
- COLODRO, G., CARVALHO, M. de P. Estimativa da erosividade da chuva de Teodoro Sampaio (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.
- CRUZ, R.V.O., FFOLIOTT, P.F. A geographically-based land use suitability assessment and land capability classification. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, v.20, p.51-62, 1990.

- DECIAN, V., MARCHESAN, D. NUNES, G.M., BOLFE, E., MADRUGA, P.R. de A., PEREIRA, R.S. Análise dos diferentes classificadores digitais de imagem com o uso do software IDRISI 2.0 *for Windows*. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria-RS. *Anais...Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria*, 1999. p. 18-23.
- DeMARIA, I.C., LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.263-70, 1997.
- DOMINGUES, E.N., ROSSI, M., MATTOS, I.F.A., ABE, K., KITADA, M. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão Água da Cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22, p.141-49, 1998.
- EASTMAN, J.R. *User's guide*. Worcester, Massachusetts, USA: Clark University, 1992. 178p.
- EASTMAN, J.R. *Guide to GIS and image processing*. Worcester, Massachusetts, USA: Clark University, 1999a. vol 1, 193p.
- EASTMAN, J.R. *Guide to GIS and image processing*. Worcester, Massachusetts, USA: Clark University, 1999b. vol 2, 170p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999, 412p.
- ENGESAT, <http://www.engesat.com.br>, 2000.
- FELGUEIRAS, C.A., CÂMARA, G. Sistema de informações geográficas do INPE. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1993. p. 41-59.
- FERRANTE, E.T. *O uso de sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica no mapeamento geotécnico regional*. s.l.: ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna, 1990. p.17-20.
- FERREIRA, Z.S., GONTAN, N.E.J., CASSOL, R. Determinação de perdas de solo através de técnicas de geoprocessamento para o uso e manejo racional em sub-bacias hidrográficas. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria-RS. *Anais...Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria*, 1999. p. 117-20.

- FRANÇA, G.V. de. *Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba - SP*. Piracicaba, 1968. 151p. Tese (Doutoramento) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP.
- FRANCISCO, A., CAMPOS, S.P. de. Mapeamento da distribuição pluviométrica da microbacia Água da Cachoeira através de recursos computacionais. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3, Marília-SP, 1999. *Resumos...*Marília: Universidade de Marília, 1999. p.68.
- FREIRE, O., PEREIRA, V. de P., CARVALHO, W.A., TOMMASELLI, J.T.G., GODOY, M.C.F.T., TEIXEIRA, S.R. Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.
- GALETI, P.A. *Práticas de controle à erosão*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984. 278p.
- GAMA, C.D. Cartografia digital e sua utilização em microcomputadores gráfico interativo. *Geociência*, v. 7, p.95-114, 1988.
- GARCIA, G.J. *Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens*. São Paulo: Nobel, 1982. 357p.
- GRACIA, M.E., LOMBARDI NETO, F., PAROLIN, M.A. Uso de informações de levantamento sócio econômico no dimensionamento do fator uso e manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus/BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- GUERRA, A.J.T., CUNHA, S.B.da (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 472p.
- HENKLAIN, J.C., FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, v.7, p.191-95, 1983.
- ITO, H.K., ROCHA, J.V., CAVALIERI, A., NETO, F.L. Análise da estimativa de perdas de solo, com a variação do fator uso e manejo (C), na equação universal de perdas de solo

- (EUPS), aplicada a um reflorestamento de eucalipto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.
- IWASA, O.Y., PRANDINI, F.L. Diagnóstico da origem e evolução de voçorocas: condições fundamentais para a preservação e correção. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DA EROSÃO. 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba: s.n., 1980. p. 5-30.
- KELLER, E.C.S. Projeto do mapeamento da terra. *Aerofotogeografia*, v.3, p. 1-15, 1969.
- KOFFLER, N.F., PALANCA, R.T.S. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento agrícola e identificação de áreas suscetíveis à erosão na bacia do rio Jaú (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...*Bauru: s.n., 1995. p.275-77.
- LAGROTTI, C.A.A., LOMBARDI NETO, F., ROCHA, J.V. Estimativa do risco de erosão para a microbacia do Córrego do Jardim – município de Santo Antônio do Jardim – SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- LAL, R.(Ed.). *Soil erosion research methods*. Ankeny-Iowa: Soil and Water Conservation Society, 1988. 244p.
- LEPSCH, I. F. (Coord.), BELLINAZZI, R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C.R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 721p.
- LIMA, E.R.V. de, KUX, H.J.H., SAUSEN, T.M. Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão de Paraíba. *R. Bras. Ci. Solo*, v.16, p.257-63, 1992.
- LIMA, P.M.P. Índices de erodibilidade diretos e indiretos para dois latossolos do município de Lavras – Minas Gerais. *Ci. Prát.*, v.15, p.186-93, 1991.
- LOMBARDI NETO, F., BERTOLINI, D. Distribuição racional de estradas e carreadores. In: DRUGOWICH, M.I. (Coord.), LOMBARDI NETO, F. *Manual técnico de manejo e*

- conservação de solo e água*. Campinas: CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. p.1-2.
- LOMBARDI NETO, F., BERTONI, J. *Erodibilidade de solos paulistas*. Campinas/SP: Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim Técnico nº 27)
- LOMBARDI NETO, F., JÚNIOR, R.B., LEPSH, I.F., OLIVEIRA, J.B. de, BERTOLINI, D., GALETI, P.A., DRUGOWICH, M.I. *Terraceamento agrícola*. Campinas: CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. 38p. (Boletim técnico nº 206)
- LOMBARDI NETO, F, MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, 1980, Recife. *Anais...Recife*: s.n., 1980. p.13.
- LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, v.51, n.2, p.189-96, 1992.
- LOMBARDI NETO, F., PICINI, A.G. Distribuição do potencial erosivo das chuvas no Estado de São Paulo. In: RUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus/BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS. CD-ROM, 2000.
- LOMBARDI NETO, F., ROCHA, J.V., BACELLAR, A.A.A. Planejamento agroambiental da microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha - município de Iracemápolis, SP, utilizando um sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...Bauru*: s.n., 1995. p.257-59.
- LOMBARDI NETO, F., SILVA, I.R., CASTRO, O.M. Potencial de erosão das chuvas da Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife, 1980. *Anais...Recife*:s.n., 1980. p.13-A.
- LOPES, L.R., POLITANO, W., AMARAL, C. Avaliação por fotointerpretação da ocupação pela citricultura no início da década de oitenta em Taquaritinga - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas - SP. *Resumos...* Campinas: SBEA/UNICAMP, 1994. p.309.
- MARGOLIS, E., SILVA, A.B.da, JACQUES, F. de O. Determinação dos fatores da equação universal das perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *R. Bras. Ci. Solo*, v.9, p.165-169, 1985.

- MARQUES, A., SANTOS, G.R.dos, MARTINCI, A., ARAUJO, M. Análise do cobertura vegetal da reserva biológica de UNA através de técnicas de geoprocessamento. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- MARQUES, A.F., ZIMBACK, C.R.L. Levantamento semidetalhado de solos na microbacia Água da Cachoeira visando a recuperação ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...Bauru*: s.n., 1995. p.459-461.
- MARQUES, A.F., ZIMBACK, C.R.L., CAMPOS, S.P., GARRIDO, L.M.A.G., NALOTO, A. *Relatório: projeto de recuperação da bacia da Água da cachoeira*. Paraguaçu Paulista: Instituto Florestal - Estação Experimental João José Galhardo, 1991. 19p.
- MARQUES, J.J.G.S.M., CURI, N., FERREIRA, M.M., LIMA, J.M. de, SILVA, M.L.N., CAROLINO de SÁ, M. A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.447-56, 1997a.
- MARQUES, J.J.G.S.M., CURI, N., LIMA, J.M. de, FERREIRA, M.M., SILVA, M.L.N., FERREIRA, D.F. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.457-65, 1997b.
- MARTINS FILHO, E.C., SILVA, J.R.C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, v.9, p.175-77, 1985.
- MORAES, M.E.S., ROCHA. H.O., SCOPEL, I., SÍRTOLI, A. Avaliação e comparação do uso da terra e classes de solos na microbacia do rio Campo do Tenente (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia-GO. *Resumos...Goiânia*: SBCS, 1993. p.379-80.
- NASA, http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html, 2000.
- NASCIMENTO, P.C., LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.121-25, 1999.
- NOGUEIRA, F. de P., DONZELI, P.L., VALERIANO, M. de M., LOMBARDI NETO, F., MACHADO, H.M. Adequação do uso e manejo do solo no planejamento agroambiental sustentado do município de Vera Cruz-SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E

- CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- OLIVEIRA, H., SANO, E.E. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação da ocupação dos solos da bacia do Alto Taquari, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia-GO. *Resumos...* Goiânia: SBCS, 1993. p.363-64.
- PAREDES, E.A. Automatização de restituidores analógicos e estruturação de dados compilados para uso na tecnologia CAD e SIG. *Revista UNIMAR*, Maringá, v.12, n.1, p.35-46, 1990.
- PEREIRA, J.R.A., ALVES, L.M. *Obtenção, processamento e análise de dados meteorológicos do município de Paraguaçu Paulista-SP*. Paraguaçu Paulista-SP: Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista-ESAPP, 1997.
- PEREIRA, L.C., FORMAGGIO, A.R., STRAUCH, J.C.M. Taxa de adequação de uso das terras de uma bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa-MG. *Anais...*Viçosa: SBCS, 1995. p.2117-8.
- PETERSEN, G.W., BELL, J.C., McSWEENEY, K., NILSEN, G.A., ROBERT, P.C. Geographic information systems in agronomy. *Advances in Agronomy*. v.55, p.67-109, 1995.
- PETERSEN, G.W., NIELSEN, G.A., WILDING, L.P. Geographic information systems and remote sensing in land resources analysis and management. *Suelo y Planta*. v.1, p.531-43, 1991.
- PIEDADE, G.C.R. *Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP*. Botucatu, 1980. 161p. Tese de livre docência-FCA/UNESP.
- PINTO, S. dos A.F. Geoprocessamento aplicado à caracterização de indicador da erosão do solo: exemplo da bacia hidrográfica do Ribeirão Claro (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998, Presidente Prudente/SP. *ABGE/CD-ROM*. Presidente Prudente/SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE, 1998.
- PIROLI, E.L., ZIMBACK, C.R.L., CAMPOS, S., RODRIGUES, J.B.T. Avaliação do uso da terra na microbacia do Arroio das Pombas no município de Botucatu (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.

- POLITANO, W., DEMÉTRIO, V.A., LOPES, L.R. Características básicas do material cartográfico empregado em atividades agrônômicas nas bacias hidrográficas. *Rev. Geogr.*, v.819, p.21-29, 1989/90.
- RANIERI, S.B.L., SOUZA, M.P. de, SPAROVEK, G. Cálculo de comprimento de rampa para bacias hidrográficas através do software IDRISI. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1, 1996, Campinas-SP. *Resumos...*Campinas: UNICAMP, 1996. p.17-9.
- RANIERI, S.B.L., SPAROVEK, G. Evolução do uso das terras do município de Piracicaba-SP (1962 - 1991). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia-GO. *Resumos...*Goiânia: SBCS, 1993. p.387-88.
- RANIERI, S.B.L., VAN LIER, Q. de J., SPAROVEK, G., FLANAGAN, D.C. EVI: Interface entre modelos de estimativa de erosão e sistemas de informação geográficas vetoriais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- REIS, J.C., CALIJURI, M.L. Utilização de sistema de informação geográfica para estudo de mensuração do processo de assoreamento de reservatórios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa-MG. *Resumos...*Viçosa: SBEA; UFV, 1995. p.461.
- ROCHA, A.T. da, SILVA, H.P. da, GALINDO, I.C. de L., SOUZA, E.A. de. Capacidade de uso das terras da estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina, UFRPE, PE, utilizando o sistema de informações georeferenciadas – SPRING 3.3. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM*. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.
- ROCHA, J.V., LOMBARDI NETO, F., BACELLAR, A.A.A. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a equação universal de perdas de solo. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1, 1996, Campinas-SP. *Resumos...*Campinas: UNICAMP, 1996. p.3-6.
- SANO, E.E., ASSAD, E.D., ORIOLI, A.L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC., 1993. p.157-70.
- SCOLPEL, I. *Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)*. Curitiba,

1988. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SILVA, E.F. da, OLIVEIRA, R.P. de. Avaliação do software Spring na obtenção do mapa de aptidão agrícola das terras da microbacia do córrego da Tábua-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia-GO. *Resumos...Goiânia: SBCS, 1993. p.369-70.*
- SILVA, H.R, POLITANO, W. Análise do uso e ocupação do solo e processos de erosão na área de influência do conjunto de Urubupunga: estudo dos municípios de Pereira Barreto, Ilha Solteira e Suzanápolis (S.P.). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais ...Bauru: s.n., 1995. p.145-47.*
- SILVA, I.F., ANDRADE, A.P., CAMPOS FILHO, O.R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. *R. Bras. Ci. Solo*, v.10, p.283-87, 1986.
- SILVA, M.L.N., CURI, N., OLIVEIRA, M.S., FERREIRA, M.M., LOMBARDI NETO, F. Comparação de método direto e indireto para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.29, p.1751-61, 1994.
- SOUZA, S.P. de, CALIJURI, M.L. Aplicação de sistemas de informação geográfica para avaliação de assoreamento em reservatórios e mapeamento de regiões ao longo da hidrografia sujeitas a erosão ou sedimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa-MG. *Resumos...Viçosa: SBEA/UFV, 1995. p.444.*
- SPACEIMAGING, 2000. <http://www.spaceimaging.com/aboutus/satellites/IKONOS/ikonos.html>
- STAR, J., ESTES, J. *Geographic information systems: an introduction*. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 303p.
- VALENTE, A.L.S. Uso de SIG na determinação da suscetibilidade preliminar à erosão laminar na sub-bacia do Arroio Feijó, RS. In: 5º SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 1995, Bauru. *Anais...Bauru: s.n., 1995. p.287-89.*
- VALERIO FILHO, M., ARAUJO JUNIOR, G. J. L. Técnicas de geoprocessamento e modelagem aplicadas no monitoramento de áreas submetidas aos processos de erosão do

- solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, 1995, Bauru. *Anais...Bauru: s.n., 1995. p.279-82.*
- VALÉRIO FILHO, M., PEREIRA NETO, O.C. Análise temporal da equação do uso do solo através de técnicas de geoprocessamento. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis-SC. *Resumos...Florianópolis: SBCS, 1994. p.328-29.*
- VIEGAS, P.L.D.C., SCHNEIDER, P., HAERTEL, V. Mapeamento de solos da região da Campanha-RS através de classificação de imageamentos orbitais por computador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia-GO. *Resumos...Goiânia: SBCS, 1993. p.361-62.*
- VILELA, M. de F., SOUZA, C.M. de. Uso de um sistema de informações geográficas para determinação do risco potencial de erosão dos solos da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG, baseado na equação universal de perda de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus-BA. *CEPLAC/SBCS/CD-ROM. Ilhéus/BA: CEPLAC/SBCS, 2000.*
- VILLELA, S.M., MATTOS, A. Bacia hidrográfica. In: *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. p. 7-28.
- WERLANG, M.K., STRIEDER, I.T. Aplicação da equação universal de perdas de solo (USLE) na folha topográfica de São Pedro do Sul-RS. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria-RS. *Anais...Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 1999. p.194-200.*
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington D.C.: Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agr. handbook 537)
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains*. Washington D.C.: Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, 1965. 47p. (Agr. handbook 282)
- ZHOU, H.Z., MACDONALD, K.B., MOORE, A. Some cautions on the use of geographic information systems (GIS) technology to integrate soil site and area data. *Canadian Journal of Soil Science*. v. 71, p. 389-94, 1991.

APÊNDICE 1

Quadro 13 – Erosividade mensal e total anual do município de Paraguaçu Paulista-SP, para o período de 1958-1992. (* MJ.mm/ha.h.mês; ** MJ.mm/ha.h.ano)

	Jan*	Fev*	Mar*	Abr*	Mai*	Jun*	Jul*	Ago*	Set*	Out*	Nov*	Dez*	Tot**
1958	750,1	272,3	997,3	352,1	451,3	438,6	33,7	14,5	812,4	1068,2	563,2	1416,4	7170,3
1959	1699,5	2864,9	191,9	269,5	399,1	36,8	4,9	189,3	10,8	740,2	324,6	221,3	6952,8
1960	2453,7	1595,7	248,4	887,1	146,9	119,7	0,0	75,0	30,3	698,5	846,7	341,0	7442,9
1961	1550,5	499,8	638,0	749,6	1,6	101,1	0,0	20,4	15,2	511,4	488,2	1465,8	6041,5
1962	1132,4	843,8	1313,1	262,4	179,7	286,2	19,8	128,4	147,7	1182,2	74,7	1153,1	6723,6
1963	2799,1	1383,9	324,6	109,1	17,6	29,9	0,0	0,0	292,7	453,4	938,3	949,8	7298,3
1964	334,7	2544,1	400,0	8,6	83,8	167,7	77,0	78,7	235,0	1289,0	1113,9	1844,6	8177,2
1965	805,7	1440,8	700,0	154,0	632,4	132,3	160,0	42,4	362,9	236,7	331,9	2454,4	7453,6
1966	684,3	908,3	290,7	226,2	501,8	41,3	107,0	47,2	196,1	2129,7	362,3	1444,8	6939,8
1967	1823,9	368,9	2556,3	0,4	0,0	630,2	53,0	2,1	115,6	355,0	1502,9	409,5	7817,8
1968	3502,3	112,2	797,4	127,1	39,8	118,1	9,4	0,0	116,4	1000,0	619,9	1346,5	7789,1
1969	413,7	1132,8	570,2	122,1	149,3	520,7	44,2	10,3	233,6	1576,2	903,2	596,3	6272,6
1970	595,4	697,9	439,6	253,3	316,3	521,2	49,8	671,3	277,0	1284,2	167,5	600,6	5874,2
1971	1012,4	1284,2	318,5	287,8	338,3	734,6	302,3	11,9	620,4	261,7	25,5	2800,1	7997,6
1972	2249,8	1469,7	219,9	136,5	384,0	7,4	533,2	161,9	171,1	1922,4	757,3	662,9	8676,0
1973	2067,5	373,5	172,3	448,7	466,3	172,8	244,4	393,0	173,2	376,9	383,2	2244,4	7516,2
1974	2042,0	882,7	892,2	124,7	523,6	487,0	2,2	17,8	75,6	1181,3	365,1	1858,6	8452,6
1975	111,6	554,0	550,3	288,9	60,3	105,7	157,5	0,1	88,1	726,1	2021,8	2243,0	6907,5
1976	862,8	1251,2	163,6	170,7	434,7	462,9	246,7	897,6	546,2	750,1	810,2	1273,2	7869,7
1977	3366,2	182,5	386,0	171,0	56,9	364,7	3,0	15,2	243,5	144,5	1521,5	1869,7	8324,8
1978	658,2	545,0	1324,3	3,1	587,4	8,8	834,3	1,6	550,3	277,0	287,3	891,2	5968,3
1979	332,3	402,1	347,9	185,2	841,0	0,0	243,8	118,1	855,1	519,1	637,8	1140,9	5623,1
1980	725,6	2403,1	171,8	192,6	198,1	236,5	10,5	37,2	655,9	522,3	17,1	1059,4	6230,1
1981	876,6	661,4	195,4	701,1	0,0	485,4	17,4	3,3	4,1	1751,6	1290,0	733,5	6719,8
1982	962,2	877,0	1334,3	164,6	196,7	928,5	166,1	51,9	9,0	843,7	1112,3	1893,8	8540,1
1983	1281,8	525,1	729,7	371,3	1293,7	621,1	17,2	0,0	1598,2	621,7	505,9	783,9	8349,6
1984	1190,1	283,3	467,1	312,9	198,5	0,5	0,0	237,5	471,8	411,7	873,1	2649,5	7095,9
1985	1581,1	490,1	1061,5	749,9	256,8	32,9	65,3	10,3	24,2	34,4	720,9	620,0	5647,3
1986	1151,4	950,0	724,8	136,8	670,9	0,0	53,6	777,8	117,9	91,6	616,4	2294,1	7585,1
1987	700,5	1172,9	172,5	43,0	1025,3	332,5	43,6	19,4	354,7	306,3	739,2	872,8	5782,7
1988	990,1	496,4	522,6	634,0	431,4	97,1	0,0	0,0	74,1	1839,8	744,5	742,1	6572,1
1989	1451,3	993,9	1506,1	2,0	59,7	282,4	354,9	101,3	602,0	335,6	904,0	1670,3	8263,5
1990	2565,0	131,1	325,2	179,6	94,8	9,6	121,9	372,9	844,0	531,8	2912,4	873,3	8961,6
1991	1564,9	703,2	1368,1	522,9	31,9	233,3	21,3	0,2	23,5	287,6	422,8	1297,8	6477,6
1992	155,5	455,4	1560,9	819,4	791,0	52,7	20,4	33,6	1100,7	505,8	771,8	270,9	6267,3
Média	1327,0	907,2	685,2	290,5	338,9	251,4	114,8	129,8	344,3	764,8	762,2	1285,4	7193,8
Perc. Men.	18,4%	12,6%	9,5%	4,0%	4,7%	3,5%	1,6%	1,8%	4,8%	10,6%	10,6%	17,9%	
Max.	3502,3	2864,9	2556,3	887,1	1293,7	928,5	834,3	897,6	1598,2	2129,7	2912,4	2800,1	
Min.	111,6	112,2	163,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	34,4	17,1	221,3	

APÊNDICE 2

Quadro 14 – Precipitação mensal (mm) do município de Paraguaçu Paulista-SP, para os anos de 1958-1992, de acordo com Pereira & Alves, 1997.

MÊS ANO	MÊS												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1958	157,5	80,8	190,0	95,7	112,7	110,6	20,4	11,7	166,0	198,8	130,4	239,4	1514,0
1959	234,8	331,2	55,8	69,8	90,4	18,8	5,0	55,3	8,4	135,8	78,9	61,3	1145,5
1960	323,3	243,5	71,5	165,4	50,6	44,2	0,0	32,5	17,9	141,3	160,4	88,1	1338,7
1961	206,6	98,0	115,1	128,0	2,2	34,2	0,0	11,9	9,8	99,5	96,5	199,1	1000,9
1962	191,3	157,6	210,9	73,0	56,9	77,3	13,3	45,6	50,0	196,8	31,9	193,6	1298,2
1963	332,4	209,0	80,4	39,2	11,8	16,7	0,0	0,0	75,1	100,2	161,8	163,1	1189,7
1964	92,4	351,5	103,9	8,3	37,1	58,6	35,1	35,6	73,2	224,6	204,0	284,4	1508,7
1965	162,7	238,6	148,3	54,7	138,7	49,5	56,1	23,4	96,2	72,6	90,7	338,9	1470,4
1966	138,5	166,9	78,8	66,8	112,9	21,8	40,8	23,8	60,8	292,6	91,1	226,6	1321,4
1967	262,2	91,5	327,5	1,0	0,0	130,2	25,5	3,0	42,6	89,2	230,8	98,0	1301,5
1968	395,5	41,0	149,2	44,5	20,7	42,4	8,0	0,0	42,0	173,2	126,4	210,7	1253,6
1969	94,7	183,9	117,0	42,4	48,4	110,2	21,7	8,3	65,0	228,6	158,4	120,5	1199,1
1970	121,5	134,9	99,5	69,2	80,1	111,3	23,7	131,5	73,4	201,6	52,7	122,2	1221,6
1971	195,8	229,0	91,4	85,5	95,1	158,5	88,3	10,5	141,8	80,3	17,3	382,7	1576,2
1972	351,6	265,6	76,0	55,5	109,7	8,1	136,2	62,1	64,4	317,0	171,6	157,2	1775,0
1973	307,8	99,7	59,9	112,5	115,4	60,0	75,4	103,1	60,1	100,3	101,4	324,9	1520,5
1974	321,1	184,8	186,1	50,9	131,0	124,9	3,6	14,1	36,6	223,9	103,3	301,8	1682,1
1975	39,6	113,8	113,3	74,1	26,4	38,2	49,7	0,4	33,9	136,0	267,0	285,9	1178,3
1976	189,6	242,2	63,4	65,2	120,7	125,8	83,1	194,6	140,3	172,9	181,9	245,0	1824,7
1977	407,3	59,7	97,8	57,2	27,7	94,2	4,0	11,6	72,2	51,2	241,4	276,5	1400,8
1978	123,1	108,7	195,1	3,6	114,2	7,2	143,9	2,3	109,4	69,6	71,3	150,3	1098,7
1979	78,5	89,0	80,9	53,4	144,7	0,0	64,0	39,7	146,3	105,3	120,6	176,9	1099,3
1980	128,9	283,7	49,9	53,8	54,8	61,6	7,9	18,2	120,6	103,8	10,9	165,4	1059,5
1981	153,5	127,5	57,1	132,5	0,0	104,0	11,6	3,9	4,5	242,2	198,0	136,5	1171,3
1982	202,6	190,6	251,3	63,3	71,2	197,9	63,7	29,6	9,3	185,8	222,9	316,5	1804,7
1983	246,1	136,7	169,8	108,8	247,6	152,7	14,4	0,0	284,6	152,8	133,4	178,0	1824,9
1984	197,2	76,6	106,5	81,8	60,6	1,1	0,0	68,2	107,2	98,0	160,8	334,1	1292,1
1985	204,0	94,3	156,9	124,8	61,6	15,9	25,0	7,4	13,0	16,4	121,6	110,1	951,0
1986	205,1	180,7	151,2	50,4	143,7	0,0	27,2	158,4	45,7	38,7	135,9	323,0	1460,0
1987	127,6	179,2	50,7	20,3	164,0	78,1	20,5	12,0	81,5	74,0	132,2	147,5	1087,6
1988	169,4	107,5	111,2	126,3	98,0	36,7	0,0	0,0	30,7	254,8	140,4	140,1	1215,1
1989	258,7	201,6	265,1	3,4	31,6	88,0	102,3	44,8	144,9	98,6	189,4	283,8	1712,2
1990	375,8	53,0	96,4	65,2	42,8	9,5	50,5	105,5	180,7	133,3	408,6	184,8	1706,1
1991	220,7	130,3	202,0	107,2	17,0	63,0	13,0	0,6	13,9	72,3	93,2	195,1	1128,3
1992	51,0	103,5	233,0	152,4	148,9	25,0	13,4	18,6	185,1	110,9	146,5	73,5	1261,8
Média	207,7	159,6	131,8	71,6	79,7	65,0	35,6	36,8	80,2	142,7	142,4	206,7	1359,8

APÊNDICE 3

Quadro 15 – Precipitação mensal para o período de 1995-99.

ANO	MÊS	PLUVIÓGRAFO/PRECIPITAÇÃO (mm)						MÉDIA
		1	2	3	4	5	6	
1995	Janeiro	239,5	279,5	290,5	246,5	302,2	191	258,2
	Fevereiro	190,5	187	181	211	178,5	218	194,3
	Março	179,5	179	193	193,5	150,1	177,8	178,8
	Abril	61,5	44,5	71,5	63,5	45	64,1	58,4
	Maiο	26	29	28	27,5	31,1	28,2	28,3
	Junho	76	57	61	59	65,8	72,7	65,3
	Julho	22	26,5	29	19	34,4	24,3	25,9
	Agosto	0	0	0	0	0	0	0
	Setembro	47	47	55	47	55,6	43,3	49,2
	Outubro	175,5	211	203	198,5	218	201,1	201,2
	Novembro	45	51,5	55,5	51	62,1	80	57,5
	Dezembro	169,5	213,5	220,5	226,5	257,4	188,1	212,6
	TOTAL	1232	1325,5	1388	1343	1400,2	1288,6	1329,7
1996	Janeiro	249,5	223	304	255	179,4	252,9	244,0
	Fevereiro	151	110	151,5	137,5	155,7	160,3	144,3
	Março	214	168	224	195,5	165,1	157	187,3
	Abril	52,5	113	81	71	120,9	68,4	84,5
	Maiο	47,5	56	41	52,5	61,7	60,3	53,2
	Junho	1,5	2	4,5	5	4,4	4,5	3,7
	Julho	4,5	0	5,5	2	0,6	6,7	3,2
	Agosto	14,5	18,5	14	20	2,1	20,2	14,9
	Setembro	116,5	180,5	121,5	131,5	126,9	112,3	131,5
	Outubro	143	176,5	156,5	156,5	167,4	165,5	160,9
	Novembro	95,5	158,5	126,5	71	146,2	96,1	115,6
	Dezembro	256	200	214	216	208,7	257,6	225,4
	TOTAL	1346	1406	1444	1313,5	1339,1	1361,8	1368,4
1997	Janeiro	334	472	367	371	460,1	398,4	400,4
	Fevereiro	102	82,5	95	69,5	97,9	89,4	89,4
	Março	60,5	53,5	85	74,5	64	53,2	65,1
	Abril	59	54,5	62	53,5	58	59,4	57,7
	Maiο	81	88,5	83	76	78,6	81,3	81,4
	Junho	235	196,5	225,5	199	198,1	218,2	212,1
	Julho	16	16	17	17	17,9	19,8	17,3
	Agosto	12	10,5	9	10	12,1	14,5	11,4
	Setembro	44	47,5	50	43,5	51,9	49,9	47,8
	Outubro	107	118,5	112,5	106	125	118,6	114,6
	Novembro	255	225	288,5	225	227,6	152,8	229,0
	Dezembro	87,5	110	86,5	93,5	51	48,7	79,5
	TOTAL	1393	1475	1481	1338,5	1442,2	1304,2	1405,65

Continuação - Quadro 15

ANO	MÊS	PLUVIÓGRAFO/PRECIPITAÇÃO (mm)						MÉDIA
		1	2	3	4	5	6	
1998	Janeiro	105,5	182	119,5	106,5	78,7	61	108,9
	Fevereiro	200,5	180	204,5	225	153,7	124,9	181,4
	Março	218,5	189,5	262,5	197	213,4	114	199,2
	Abril	109	115,5	124	130	113,2	66	109,6
	Mai	104,5	108,5	115,5	114	108,4	60,3	101,9
	Junho	17	10,5	15	13,5	11,6	13	13,4
	Julho	13,5	8	11	12,5	6,8	7,3	9,9
	Agosto	104,5	99	107	118,5	118,8	105,5	108,9
	Setembro	54,5	115	102,5	103,5	128,9	107,5	102,0
	Outubro	130,5	151,5	147,5	138	200,8	84,9	142,2
	Novembro	34	41	38,5	38	49,2	20,8	36,9
	Dezembro	114	195	106,5	159	185	111,5	145,2
	TOTAL	1206	1395,5	1354	1355,5	1368,5	876,7	1259,36
1999	Janeiro	407,5	367,5	367	375,5	262,8	324,5	350,8
	Fevereiro	243	241	236	238	220,7	121,5	216,7
	Março	62	131,5	127,5	241	139,8	66,2	128,0
	Abril	62	68	56,5	60,5	65,8	40,5	58,9
	Mai	38	48,5	47	48,5	59,4	28,3	45,0
	Junho	53,5	52	55	61	66,9	37	54,2
	Julho	5,5	11,5	3,5	11,5	11,3	6,5	8,3
	Agosto	3	0	0	0	1,4	2,2	1,1
	Setembro	46,5	46	47	52	43,3	25,4	43,4
	Outubro	21,5	23	22	21	23	14,6	20,9
	Novembro	53,5	46,5	52	35,5	64,7	34,6	47,8
	Dezembro	190	165	184	265,5	173,1	168,4	191,0
	TOTAL	1186	1200,5	1197,5	1410	1132,2	869,7	1165,98

Quadro 16 – Erosividade mensal e anual para o período de 1995-99.

ANO	MÊS	EROSIVIDADE (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)						MÉDIA
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	
1995	Janeiro	1657,29	1982,02	2029,40	1621,64	2140,50	1136,1	1761,16
	Fevereiro	1170,83	1076,85	989,62	1280,67	962,53	1388,62	1144,85
	Março	1069,75	1007,70	1090,91	1122,94	739,90	1019,07	1008,38
	Abril	210,43	121,81	241,62	206,91	118,85	216,58	186,03
	Mai	56,95	63,59	58,22	58,08	67,83	62,27	61,16
	Junho	290,19	177,38	189,86	185,06	211,59	262,19	219,38
	Julho	44,19	55,46	61,40	33,13	79,05	49,67	53,82
	Agosto	0	0	0	0	0	0	0
	Setembro	139,91	132,35	162,24	131,04	163,85	119,39	141,46
	Outubro	1033,77	1293,48	1177,85	1167,28	1303,78	1228,53	1200,78
	Novembro	130,97	152,06	164,49	148,34	193,79	303,17	182,14
	Dezembro	980,60	1316,82	1335,39	1426,17	1677,77	1110,01	1307,79
	TOTAL	6784,93	7379,57	7501,06	7381,32	7659,47	6895,64	7267,00
1996	Janeiro	1648,90	1345,22	2109,97	1736,30	1003,31	1668,29	1585,33
	Fevereiro	769,35	460,15	733,06	679,89	809,15	834,99	714,43
	Março	1306,20	875,15	1327,24	1160,00	884,45	809,04	1060,35
	Abril	154,75	479,33	283,37	249,29	551,13	229,19	324,51
	Mai	132,94	165,12	100,80	157,65	198,51	189,28	157,38
	Junho	0,70	1,04	3,52	4,44	3,60	3,68	2,83
	Julho	3,71	0	4,77	1,10	0,17	6,73	2,75
	Agosto	21,94	30,73	19,72	36,43	1,17	35,98	24,33
	Setembro	518,94	975,88	524,40	635,37	593,18	486,48	622,38
	Outubro	708,34	943,24	770,10	827,50	903,22	876,45	838,14
	Novembro	383,78	801,14	557,50	249,29	735,40	384,03	518,52
	Dezembro	1714,55	1140,32	1238,35	1349,58	1262,32	1715,58	1403,45
	TOTAL	7364,15	7217,38	7672,85	7086,88	6945,67	7239,78	7254,45
1997	Janeiro	2501,35	4048,72	2754,85	3024,08	3961,83	3436,57	3287,90
	Fevereiro	413,22	286,71	354,09	237,91	378,17	355,60	337,62
	Março	186,99	148,56	299,08	264,37	198,36	161,72	209,85
	Abril	180,00	152,80	185,26	159,92	170,83	191,18	173,33
	Mai	291,21	318,95	288,46	272,49	270,98	307,86	291,66
	Junho	1466,93	1070,53	1315,26	1174,74	1102,44	1377,91	1251,30
	Julho	24,83	23,77	25,98	28,06	28,67	36,07	27,90
	Agosto	16,04	12,54	9,89	12,53	15,82	22,48	14,88
	Setembro	115,31	124,02	133,65	116,81	144,31	146,74	130,14
	Outubro	444,35	496,79	457,70	451,54	548,02	546,13	490,76
	Novembro	1660,56	1314,88	1911,77	1415,45	1361,05	802,30	1411,00
	Dezembro	327,41	443,71	307,13	373,22	140,53	141,41	288,90
	TOTAL	1743,84	8442,03	8043,18	7531,18	8321,06	7526,02	7915,29

Continuação - Quadro 16.

ANO	MÊS	EROSIVIDADE (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)						
		1*	2*	3*	4*	5*	6*	MÉDIA
1998	Janeiro	485,22	993,86	536,94	450,44	282,53	269,08	503,01
	Fevereiro	1286,04	977,33	1213,72	1401,96	780,45	798,62	1076,35
	Março	1465,31	1056,69	1773,07	1145,83	1284,38	695,25	1236,76
	Abril	509,86	498,35	567,94	609,66	490,58	303,27	496,61
	Maiο	478,25	453,23	509,90	499,46	459,35	264,41	444,10
	Junho	30,37	13,08	23,00	19,58	15,44	25,74	21,20
	Julho	21,40	8,65	14,36	17,42	6,86	10,72	13,24
	Agosto	478,25	394,37	454,03	529,69	527,89	618,10	500,39
	Setembro	178,03	495,08	425,37	431,32	597,50	635,97	460,54
	Outubro	670,10	752,32	739,12	667,51	1171,04	444,47	740,76
	Novembro	86,98	103,45	96,20	94,24	138,47	52,55	95,31
	Dezembro	545,79	1103,59	450,82	827,64	1034,05	672,24	772,35
	TOTAL	6235,65	6850,04	6804,53	6694,81	6788,61	4790,47	6360,68
1999	Janeiro	3822,35	3237,51	3236,97	2960,65	2034,46	3423,18	3119,19
	Fevereiro	1743,84	1706,29	1655,98	1481,74	1560,81	770,53	1486,53
	Março	219,28	680,26	650,34	1510,19	780,44	306,52	691,17
	Abril	219,28	249,97	189,05	185,28	248,61	145,38	206,26
	Maiο	104,29	149,66	142,96	132,46	212,84	84,37	137,76
	Junho	175,30	166,35	181,48	187,61	254,95	126,74	182,07
	Julho	5,54	16,83	2,77	14,90	17,14	9,04	11,04
	Agosto	2,21	0	0	0	0,71	1,74	0,77
	Setembro	141,69	138,10	142,96	147,23	131,71	71,60	128,88
	Outubro	43,93	48,22	45,16	37,17	50,41	30,89	42,63
	Novembro	175,30	140,39	166,67	82,48	242,33	114,47	153,61
	Dezembro	1200,34	960,04	1134,93	1749,28	1079,43	1264,71	1231,45
	TOTAL	7853,40	7493,68	7549,31	8489,03	6613,89	6349,24	7391,42

* Identificação do pluviógrafo

APÊNDICE 4

Figura 28 – Foz do riacho Água da Cachoeira em 1994.



Figura 29 – Foz do riacho Água da Cachoeira em 1999.