

IRINEU MOTTER

**USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO AUXÍLIO  
NO MONITORAMENTO DA OCUPAÇÃO  
DO SOLO EM MICROBACIAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia Área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Iraci Scopel

CURITIBA

1996

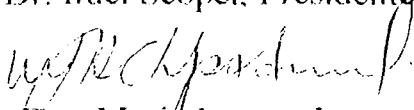
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO  
"MESTRADO"

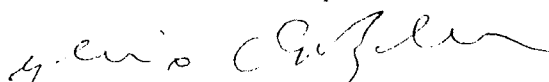
PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **IRINEU MOTTER**, com o título: "**Uso do geoprocessamento como auxílio no monitoramento da ocupação do solo em microbacias**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com média 9,2 conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 28 de fevereiro de 1996.

  
Prof. Dr. Iraci Scopel, Presidente.

  
Profa. Dra. Maria Leonor Lopes Assad, I<sup>o</sup> Examinador.

  
Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, II<sup>o</sup> Examinador.

**IRINEU MOTTER**

**USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO AUXÍLIO NO  
MONITORAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO EM MICROBACIAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia Área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Iraci Scopel

Curitiba

1996

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus,

agradeço aos meus pais e familiares pelo apoio,

agradeço aos Mestres e em especial ao Dr. Iraci Scopel pela orientação e companheirismo,

agradeço ao coorientador Prof. Dr. Helio O. da Rocha pelo incentivo e apoio,

agradeço aos colaboradores Prof. Dr. Glaucio Roloff e o pesquisador Dr. Henrique M. L.

Chaves,

agradeço ao Analista de Sistemas Sr. Dimas Clemente pelo apoio,

agradeço a todos que de certa forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE MAPAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Uso do Geoprocessamento na Agricultura.....	3
2.2 - USLE (Equação Universal de Perdas de Solos).....	5
2.2.1 - Erosividade da chuva (fator R).....	6
2.2.2 - Erodibilidade do solo (fator K).....	7
2.2.3 - Declividade e Comprimento de Rampa (fator LS).....	11
2.2.4 - Uso e Manejo do solo (fator C).....	14
2.2.5 - Práticas Conservacionistas (fator P).....	15
2.3 - Índices de tolerância de perdas de solo (IT).....	16
2.4 - Sensoriamento Remoto como auxílio ao controle da erosão.....	18
2.4.1 - Fotografias aéreas e Imagens de satélite.....	18
2.4.2 - Dados de GPS.....	21
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 - Área de estudo.....	23
3.1.1 - Clima.....	23
3.1.2 - Geologia e Geomorfologia.....	24
3.1.3 - Solos.....	24
3.1.4 - Hidrografia.....	24
3.1.5 - Vegetação primária.....	26
3.2 - Bases utilizadas.....	26

3.3 - Material de campo e laboratório.....	27
3.4 - Sensoriamento Remoto.....	27
3.4.1 Aquisição de pontos com GPS.....	27
3.4.2 Fotointerpretação .....	28
3.4.3 Imagem de satélite TM/Landsat-5 .....	28
3.5 - Obtenção dos fatores da USLE.....	29
3.5.1 - Fator Erosividade da chuva (R) .....	29
3.5.2 - Fator Erodibilidade do solo (K) .....	30
3.5.3 - Fator Topográfico (LS).....	31
3.5.4 - Fator Uso e Manejo do solo (C).....	33
3.5.5 - Fator Práticas conservacionistas (P).....	35
3.5.6 - Tolerância de perdas de solos.....	35
3.6 - Aptidão agrícola dos solos.....	37
3.7 - Integração, processamento e cruzamento dos dados no SGI.....	38
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1 - Dados do GPS e o georreferenciamento das imagens no SITIM.....	39
4.2 - Estimativa do fator topográfico homogêneo (LSh) em SGI.....	42
4.3 - Erosão potencial ( $EP=RK*LS$ ).....	43
4.4 - Fatores antrópicos (CP).....	50
4.5 - Índices de estimativas de perdas de solos ( $IEPS=A$ ) e o índice tolerável	54
4.6 - Aptidão agrícola e uso do solo.....	56
4.7 - Aptidão agrícola versus uso e os índices de estimativas de perdas de solos versus tolerância.....	59
4.8 - Análise e monitoramento da ação antrópica (fatores C e P) e os métodos utilizados.....	65
5 - CONCLUSÕES.....	67
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro</b>	<b>Título</b>	<b>pg</b>
<b>nº</b>		
01	Principais aplicativos para as sete bandas da imagem do LANDSAT e intervalos espectrais do campo ótico	20
02	Razão de perdas de solo para as fases de desenvolvimento das culturas de Milho, Fumo e Feijão (SEAB-SC, 1994)	34
03	Valores de C e P para as Classes de Uso do Solo	34
04	Tolerância de perdas de solos estimada pela equação de LOMBARDI & BERTONI (1975)	36
05	Classificação e descrição dos subgrupos de Aptidão Agrícola das Terras e sua distribuição nas Unidades de Mapeamento	37
06	Pontos geodésicos obtidos pelo receptor GPS (Global Positioning System) Trimble 4000 SST de projeção SAD-69	41
07	Valores do fator K para as Unidades de Mapeamento e descrição das classes de solos	45
08	Áreas correspondentes aos valores de LSh (LSh LS homogêneo) e as Unidades de Mapeamento	46
09	Valores de "EP" e sua ocorrência nas Unidades de Mapeamento	47

10	Distribuição da EP (Erosão Potencial) acumulada nas unidades de mapeamento, produto dos Quadros 08 e 09	48
11	Distribuição mensal do potencial de erosão	50
12	Cálculo dos valores dos fatores CP para a cultura de Milho	51
13	Cálculo dos valores dos fatores CP para a cultura de Fumo	51
14	Cálculo dos valores dos fatores CP para a cultura de Feijão	51
15	Valores de "C" e "P" para as culturas anuais	52
16	Distribuição das áreas ocuoadas pelas Classes de Uso do Solo nas Unidades de Mapeamento	53
17	Áreas correspondentes ao uso atual e classes de erosão potencial	54
18	Áreas pertencentes às classes das Estimativas de Perdas de Solos (USLE) e respectivo Uso	55
19	Áreas classificadas conforme a Aptidão Agrícola e Classes de Uso do Solo	57
20	Classificação das áreas em relação à "EP" e Aptidão Agrícola	58
21	Área com uso adequado estimadas pelos índices da USLE e Aptidão Agrícola	62



22	Parcelas relativas às Culturas Anuais e Pastagem frente às Classes de Tolerância de Perdas de Solos, Aptidão Agrícola e os Índices de Estimativas de Perdas de Solos da USLE	63
23	Parcelas pertencentes às Classes de Uso do Solo e Aptidão Agrícola e Índices de Estimativas de Perdas de Solos da USLE	64
24	Classificação das áreas segundo a Aptidão Agrícola e Uso do solo, e Índices de Perdas de Solos pela USLE	65

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura nº</b>	<b>Título</b>	<b>Pg.</b>
01	Comportamento da curva de reflectância em tons de cinza	21
02	Localização da área de estudo	25
03	Caracterização das feições das rampas através de perfis	32
04	Organograma das atividades e produtos finais	40
05	Valores médios anuais, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , do índice de erosão da chuva do Estado do Paraná, 1972-89, 3ª aproximação RUFINO et. al. (1993)	44

**LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa n°</b>	<b>Título</b>	<b>Pg.</b>
01	Mapa de Classes de Declive	68
02	Mapa de Solos	69
03	Mapa de Aptidão Agrícola das Terras	70
04	Mapa de Uso Atual do Solo	71
05	Mapa de LSh (LS homogêneo)	72
06	Mapa de Erosão Potencial (EP = RKLSH)	73
07	Perdas de Solos determinadas pela USLE (A = RKLSCP)	74
08	Uso atual e adequação em relação aos índices de erosão	75
09	Uso Atual e adequação em relação à Aptidão Agrícola	76

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>USLE</b>	<b>Equação Universal de Perdas de Solos</b>
<b>R</b>	<b>Erosividade da chuva</b>
<b>K</b>	<b>Erodibilidade do solo</b>
<b>L</b>	<b>Comprimento da pendente</b>
<b>S</b>	<b>Declividade da pendente</b>
<b>C</b>	<b>Uso e Manejo do solo</b>
<b>P</b>	<b>Práticas conservacionistas</b>
<b>LS</b>	<b>Fator Topográfico</b>
<b>LSh</b>	<b>Fator Topográfico homogêneo</b>
<b>IEPS</b>	<b>Índice de Estimativa de Perdas de Solo</b>
<b>IT</b>	<b>Índice de Tolerância de perdas de solo</b>
<b>EP</b>	<b>Erosão Potencial</b>
<b>SIG</b>	<b>Sistema de Informações Geográficas</b>
<b>SIGI</b>	<b>Sistema Geográfico de Informações (INPE)</b>
<b>SITIM</b>	<b>Sistema de Tratamento de Imagens (INPE)</b>
<b>PIs</b>	<b>Planos de Informações</b>
<b>GPS</b>	<b>Global Positioning System</b>
<b>MNT</b>	<b>Modelo Numérico do Terreno</b>
<b>UVI</b>	<b>Unidade de Visualização (Monitor de alta resolução)</b>

## RESUMO

A erosão dos solos tem sido um dos fatores mais importantes na limitação da produção agrícola e poluição dos recursos hídricos do Estado do Paraná. O objetivo deste trabalho, realizado na microbacia piloto do projeto PARANÁ RURAL, localizada no município de Campo do Tenente, sul do Estado do Paraná, foi de desenvolver metodologia para a obtenção e a representação espacial automatizada dos fatores da USLE (Equação Universal de Perdas de Solos), através do SGI (Sistema Geográfico de Informações) e analisar a adequação do uso, apurado pelas estimativas da USLE comparada ao método da Aptidão Agrícola das Terras. Os aplicativos do SGI, juntamente com os arquivos de regras, possibilitaram a obtenção, quantificação e a representação cartográfica e digital dos fatores da USLE. Os dois métodos (USLE e Aptidão Agrícola), indicaram algumas áreas subutilizadas quando em uso com mata, capoeira e reflorestamento e algumas áreas superutilizadas quando ocupadas por culturas anuais. Apesar de ocorrer 53,10% de concordância entre os métodos, a USLE mostrou-se mais rigorosa que a Aptidão Agrícola quanto à adequação do uso do solo. A comprovação a campo e a adequação dessas informações indicam serem as técnicas de geoprocessamento alternativas para controlar o uso adequado do solo e garantir a preservação dos recursos naturais.

## ABSTRACT

Soil erosion has been one of the most important factors on the limitation of agricultural production and pollution of hydric resources in the state of Paraná. This work was accomplished in the pilot microbasin of Paraná Rural Project, located in Campo do Tenente county, in the South of Paraná. Its purpose was developing methodology to get the acquirement and the automatized spatial representation of USLE (Universal Soil Losses Equation) agents through GIS (Geographic Information System ) and analyze the fitness in use, verifield by USLE appraisement compared to the method of Agricultural Suitability of Lands. The GIS application system together with the rules files made possible to obtain, to quantify and to get the cartografic and digital representation of USLE coefficients. Both methods (USLE and Agricultural Suitability) showed, related to the soil use, predominance of occupation of forest, cut-over land and reforestation in the areas defined as underutilized and the agriculture predominance in the areas overutilized. Despite the methods showing 53,10% of agreement, the USLE showed itself more accurate than the Agricultural Suitability of Lands considerind the soil's use fitness. The results demonstrate the geoprocessment importance applied to natural resources conservation.

## 1 - INTRODUÇÃO

A erosão dos solos tem sido um dos fatores mais importantes na limitação da produção agrícola e poluição dos recursos hídricos do Estado do Paraná. Apesar dos esforços realizados no sentido de controlar estes processos de degradação, RUFINO (1993b) e PARANÁ RURAL (1994) estimam as perdas de solo em 15 a 20 t/ha/ano, em áreas agrícolas no Estado do Paraná.

O conhecimento do potencial de erosão dos solos é de extrema importância para o processo de planejamento do uso e ocupação destes, bem como para definição das práticas de manejo e conservação. Assim, objetivando a adequação do uso e ocupação do solo, tem-se utilizado métodos de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO, 1983) a partir de características de solo e relevo, e, no sentido de quantificar estimativamente o volume do solo carreado por processos erosivos, a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (WISCHMEIER e SMITH., 1978), que considera fatores físicos do solo, topográficos, hidrológicos e antrópicos.

A utilização da USLE, originalmente, previa sua aplicação exclusivamente em áreas específicas com a finalidade de planejamento a nível de propriedade. Entretanto, trabalhos elaborados por SCOPEL (1988), PINTO (1991) e CASTRO (1992) demonstraram a possibilidade de sua utilização também para áreas de maior abrangência.

Todavia, o grande volume de dados necessários para implementação da USLE e a dificuldade em sua representação têm determinado a necessidade de desenvolvimento de metodologias que considerem e integrem de forma facilitada todos esses parâmetros.

A atual disponibilidade de sistemas computacionais e de programas de geoprocessamento permitem o aprimoramento do uso desta equação, quer pela rapidez do processamento quer pelo gerenciamento destas informações.

Desta forma, este trabalho apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de metodologia para analisar e possibilitar de maneira mais adequada a representação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), e que se utilize das facilidades do geoprocessamento para a manipulação dos dados de forma automatizada, espacializada, georreferenciada e em base informatizada. Como objetivo secundário, o trabalho propõe a análise da adequação do uso apurado pelas estimativas da USLE, comparada ao método de Aptidão Agrícola das Terras.



## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Uso do Geoprocessamento na Agricultura**

O Geoprocessamento mostra-se cada vez mais efetivo como ferramenta de manipulação de informações em amplas áreas de estudos dos recursos naturais e computação gráfica. CÂMARA (1993) caracteriza o SIG (Sistema de Informações Geográficas) como instrumento para: a) integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e MNTs; b) combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; c) consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Neste trabalho, vamos concentrar mais atenção aos softwares designados SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI desenvolvidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial). Estes softwares apresentam tecnologia nacional, de fácil manipulação, baixo custo e perfeita interface entre o módulo raster do SITIM e o módulo vetorial do SGI. O módulo SGI, permite a importação de imagens (raster) ao projeto em forma de PI, o que é fundamental nos estudos comparativos e na atualização das informações existentes nas bases cartográficas com a realidade da imagem (FELGUEIRAS, 1993). Estas imagens podem ser de origem muito diversa, desde produtos rasterizados por scanner, imagens obtidas por sensores a bordo de satélites, a exemplo do LANDSAT, SPOT e imagens de RADAR.

Ainda na década de 1980, eram poucos os laboratórios de Sensoriamento Remoto equipados com Sistema Geográfico de Informações (SGI) e Sistema de Tratamento de Imagem (SITIM), pois praticamente só o INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) possuía os equipamentos, softwares e equipe técnica capacitada.

Os sistemas processadores de imagens, SIGs, computação gráfica e outros sistemas específicos, direcionados a aplicativos de monitoramento ambiental e dos recursos naturais, são bastante recentes. No Brasil, um dos trabalhos pioneiros utilizando imagens de satélite em estudos ambientais, foi realizado por SCOPEL (1988). As informações das áreas foram extraídas de projeção das imagens através de Slides, em diversas composições pré-estabelecidas. Esta metodologia

permitiu a interpretação estática de uso, manejo e práticas conservacionistas para a determinação dos fatores C e P da USLE, onde a composição colorida mais adequada foi a TM 7B, 5G e 4R.

Com a interação entre o SITIM e o SGI, outras metodologias foram desenvolvidas com esta finalidade, a exemplo do trabalho de PINTO (1991). Este autor considerou mais apropriada a composição do TM 7R, 5G e 3B na discriminação de variações da cobertura vegetal para a determinação do fator C e a composição híbrida em IHS, formada pelas imagens multiespectrais LANDSAT e imagem pancromática HRV do SPOT como altamente informativa para trabalhos de sensoriamento remoto orbital.

CASTRO (1992) também utilizou imagem TM para a determinação do fator C, através dos aplicativos disponíveis no SITIM e no SGI. Neste estudo, realizou-se a rotina de classificação automática supervisionada, com auxílio de fotografias aéreas de datas recentes, para a melhor definição dos pontos de amostragem e confirmação da verdade de campo, bem como a apreciação da qualidade da classificação efetuada. Este autor integrou no SGI as informações extraídas de imagem com os demais fatores da equação USLE obtidos de outras fontes. Ele considerou o sistema (SGI) como instrumento adequado à integração de dados em função da versatilidade analítica e de representação dos resultados.

No trabalho de GIAROLA (1994), o Sistema de Informações Geográficas prestou-se como mecanismo de integração das informações constantes no levantamento de solo, do uso atual do solo, aptidão agrícola, na estimativa de perdas de solo e tolerância de perdas na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos-MG. Estas informações foram manipuladas com aplicativos do sistema SGI, possibilitando a tabulação cruzada entre o levantamento de aptidão e o uso atual, caracterizando assim as áreas em conflito de uso para os vários grupos de aptidão agrícola, com destaque nas áreas de exploração marginal com super ou subutilização.

ASSAD (1995) determinou a aptidão agrícola através do SGI e concluiu que a quantificação automática de áreas, a obtenção de mapas e a possibilidade de constante atualização, constituíram as grandes vantagens do geoprocessamento como subsídio ao planejamento do uso e ocupação do solo.

Em contraposição às vantagens do SGI nos trabalhos citados, RAFAELI NETO (1994), realizou pesquisa com 36 parâmetros morfométricos absolutos e relacionais de bacias hidrográficas. Estes parâmetros foram analisados no sistema SGI, e como sistema gerenciador de banco de dados

utilizou-se dBASE III Plus<sup>TM</sup>, concluindo que as metodologias desenvolvidas permitiram que 1/3 dos parâmetros morfométricos estudados fossem determinados no ambiente SGI e 2/3 no ambiente dBASE. Este trabalho evidencia que o planejamento das etapas e o conhecimento do potencial dos aplicativos do SIG são os principais condicionantes para a obtenção dos resultados positivos.

Existem muitos modelos desenvolvidos para estimar perdas de solo e/ou aporte de sedimentos, a exemplo da: USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978), CREAMS (KNISEL, 1980), ANSWERS (BEASLEY, D. B. et alii, 1982), SWRRB (WILLIAMS, J. R. et alii, 1984), EPIC (WILLIAMS, J. R. et al, 1983), SLENSA (ELWELL, H. A. et alii, 1982), MUSLE (WILLIAMS, J. R. 1975) e WEPP (CANE e NEARING, 1989). Normalmente apresentam valores absolutos como atributos dos fatores contemplados, o que possibilita maior interação na representação em SIG. Estes métodos são mais facilmente integrados a SIGs quando comparados aos métodos descritivos, a exemplo da classificação da capacidade de uso do solo de LEPSCH et al. (1983), que classifica a erosão laminar em "ligeira, moderada, severa, muito severa e extremamente severa", sem distinção das classes de solos.

Os modelos de estimativa de perdas de solo, contemplam variáveis normalmente relacionadas ao meio físico, climático, hidrológico e antrópico; porém, muitas vezes, a pequena disponibilidade de dados e a complexidade dos modelos dificultam a sua aplicação, principalmente nas condições de Brasil.

## **2.2 - USLE (Equação Universal de Perdas de Solos)**

A USLE foi desenvolvida inicialmente para determinar perdas de solo por erosão laminar e em sulco, em pequenas parcelas agrícolas e para longo período de tempo. Sua finalidade consistia em auxiliar o planejamento de uso e ocupação do solo e água de forma racional. Aplica-se em diversos sistemas de cultivo em monocultura ou sistema de rotação, como um guia para uso na agricultura e na construção civil (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Os grupos de fatores componentes da USLE são basicamente representados por fatores físicos relacionados ao solo (K), fator hidrológico (R), fator topográfico (LS) e fator antrópico (CP).

Estes fatores estão relacionados na Equação Universal de Perdas de Solos da seguinte forma:

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

Onde :

A = representa a estimativa de perda média de solo em uma determinada área, em condições específicas de uso e ocupação do solo, expressa em t/ha.ano.

R = fator erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano)

K = fator erodibilidade do solo (t.h/Mj.mm)

L = fator comprimento da rampa (m)

S = fator declividade da rampa (%)

C = fator uso e manejo do solo (0 a 1)

P = fator práticas conservacionistas (0 a 1)

Esta equação, originalmente não visava a previsão de perdas de solo em microbacias. Entretanto, seu uso em microbacias passou a generalizar-se após trabalhos realizados com sucesso nos Estados Unidos e Canadá, onde foram utilizadas fotografias aéreas, imagens orbitais, cartas planialtimétricas e mapas de solos como fontes de dados (MORGAN e NALEPA, 1982).

### 2.2.1 - Erosividade da chuva (fator R)

Na equação de WISCHMEIER e SMITH (1978), o fator R representa os  $EI_{30}$  de cada evento de chuva. O somatório dos  $EI_{30}$  determina o valor de R para o este período. Onde  $EI_{30} = E_c \times I_{30} \times 10^{-3}$ , sendo  $EI_{30}$  o índice de erosão do evento,  $E_c$  a energia cinética da chuva, e  $I_{30}$  a intensidade máxima em 30 minutos de precipitação naquela região. Estes autores analisaram dados de chuva num período de mais de 30 anos, em diferentes locais, e observaram que, são poucos os eventos de chuva isolados com potencial erosivo significativo ou que apresentem picos de precipitação elevados. Concluíram também que, para as estimativas de perdas de solo, os índices de erosividade utilizados compreendem o efeito cumulativo de mais de um evento de chuva, de intensidade e duração moderadas. Foram consideradas chuvas com intervalos inferiores a seis horas como sendo o mesmo evento, e dispensadas a apreciação das chuvas com precipitação inferior a 6,35 mm com duração superior a 15 minutos.

BERTONI et al. (1975a) processaram os dados de chuva de 21 anos, de estações pluviométricas da região de Campinas (SP) e chegaram à estimativa de energia cinética e índice de erosão médio anual de  $686 \text{ tm.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Para a estimativa correta de  $EI_{30}$ , conforme rege a equação, seriam necessários dados de pluviógrafos, porém no Brasil o número destes equipamentos é escasso. Na tentativa de aproveitamento dos dados de pluviômetros existentes nas estações meteorológicas no estado de São Paulo, LOMBARDI e MOLDENHAUER (1980) utilizaram 22 anos de registros de precipitação e encontraram alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva. A relação obtida é:

$$EI = 6,886 (r^2 / p)^{0,85}$$

onde:

EI = média mensal do índice de erosão

r = precipitação média mensal em milímetros

p = precipitação média anual em milímetros

CHAVES (1991) analisando a sensibilidade dos parâmetros da MUSLE (que difere da USLE no fator de erosividade da chuva), observou que este fator é maior nos parâmetros hidrológicos, CN e I, onde CN é estimado a partir de informações de manejo, permeabilidade e umidade antecedente do solo e I é o volume de precipitação do evento. Os parâmetros de manejo e erodibilidade apresentaram média sensibilidade e os parâmetros topográficos apresentaram menor sensibilidade.

### 2.2.2 - Erodibilidade do solo (fator K)

O fator erodibilidade do solo não se confunde com erosão do solo. Neste sentido, a taxa de erosão do solo pode ser influenciada mais pela forma da rampa, características da gota de chuva, cobertura e manejo, que pelas propriedades inerentes ao solo.

A diferença na susceptibilidade natural à erosão dos solos é de difícil detecção em observações no campo. O mesmo solo, com baixa erodibilidade, no campo pode apresentar elevado índice de erosão, em função dos demais fatores da equação. Contudo, alguns solos erodem mais, mesmo que todos os outros fatores permaneçam constantes, e esta característica é definida como fator de erodibilidade (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Estes autores originalmente adotaram padronizar as parcelas de estudo para avaliar o fator de erodibilidade do solo (K). Tais parcelas deveriam ter 72,6 pés de comprimento, 9 % de declividade, e com mais de 2 anos livres de qualquer vegetação, sendo continuamente cultivadas morro abaixo. Nestas condições, os fatores L, S, C e P são iguais a 1,0 e  $K = A/EI$ .

Paralelamente à obtenção dos dados de erodibilidade (K) nas parcelas, foram estabelecidas relações físicas e químicas destes solos em laboratório. Estas relações ponderam a composição granulométrica, teor de matéria orgânica, grau de estruturação e permeabilidade do solo. Estes fatores possibilitam a obtenção de valores de K através de nomograma.

Quando o solo é exposto diretamente ao impacto das gotas de chuva, é comum a ocorrência de uma crosta superficial que dificulta a infiltração de água no solo. Portanto, os solos que oferecem maior resistência à desagregação pelo impacto da gota de chuva, são os que devem apresentar estrutura mais estável e, conseqüentemente, maior resistência à erosão e, portanto, valores de K menores.

Experimentos realizados por GHADIRI e PAYNE (1979) demonstraram os efeitos causados pelo impacto da gota em queda livre, com diâmetros que variaram de 3,3 a 6,1 mm. Observaram que o stress causado pelo impacto foi maior quando as gotas atingiram o diâmetro de 4,6 mm, exercendo uma pressão de  $27 \text{ kN/m}^2$ . Este trabalho também demonstrou que a força exercida por unidade de área da gota foi praticamente constante.

Para um mesmo evento de chuva, independente das suas características, cada solo oferece diferente capacidade de resistência quanto à desagregação. O estudo desenvolvido por ANGULO (1983) para determinação do fator K através de método direto com gotejamento sobre os agregados dos solos (realizado em solos brasileiros), obteve valores que variaram de 0,08 a 0,44 para os Latossolos e 0,9 a 0,26 para os Podzólicos. O mesmo trabalho mostrou que o nomograma de WISCHMEIER e SMITH (1978) é inadequado aos nossos solos, principalmente devido às características texturais, indicando que os solos com maiores valores de erodibilidade são os que

apresentam maiores teores de areia média, areia fina e areia total, e que a fração granulométrica menos estável é a de silte e areia com diâmetro menor que 0,5 mm.

De acordo com LOMBARDI e BERTONI (1975), a razão entre "teor de argila natural/teor de argila dispersa" x "argila dispersa/umidade equivalente", possibilitou, através de análise de regressão, concluir que os solos do Estado de São Paulo, com B textural, apresentam-se mais sensíveis à erosão que os solos com B latossólico. Este fenômeno ocorre tanto nos horizontes superficiais como nos subsuperficiais. Portanto, devem receber tratamento diferenciado quanto ao uso e ocupação.

Outro método para a estimativa do fator erodibilidade dos solos brasileiros foi proposto por DENARDIN (1990), o qual considerou como características dos solos estudados, os seguintes fatores e coeficientes:

$$K = 0,00608397X_1 + 0,00834286X_2 - 0,001166162X_3 - 0,00037756X_4$$

K = é o valor da erodibilidade do solo, em t.ha.h/ha.MJ.mm;

X<sub>1</sub> = a permeabilidade do perfil do solo codificada por WISCHMEIER e SMITH (1978);

X<sub>2</sub> = teor de matéria orgânica (1,72 x % de carbono);

X<sub>3</sub> = teor de óxidos de alumínio extraíveis pelo ataque de ácido sulfúrico;

X<sub>4</sub> = porcentagem de partículas com diâmetro entre 2,0 a 0,5 mm;

A exemplo da equação sugerida por DENARDIN, o nomograma de WISCHMEIER e SMITH (1978) ainda é o parâmetro balizador para os demais métodos propostos na determinação do fator K. A sua aplicabilidade direta fica limitada aos dados físicos e químicos, apresentados pelas análises dos nossos levantamentos pedológicos, principalmente os derivados da determinação da granulometria dos solos.

Analisando as variáveis contempladas pela equação de DENARDIN (1990) para os solos brasileiros, ROLOFF e DENARDIM (1994) observaram que, para os solos do Paraná, a aplicação desta equação é dificultada pela: a) incerteza na inferência dos valores de permeabilidade do perfil, b) pela variação do teor de matéria orgânica na mesma unidade de solo em função do manejo e, c) fração areia utilizada na equação não ser comumente determinada nos levantamentos existentes. Na tentativa de estimar K a partir de características que constam no levantamento de solos do estado do

Paraná (EMBRAPA-SNLCS, 1984), os dados de DENARDIM (1990) foram retrabalhados e obteve-se a seguinte equação:

$$K = 0,0049X_1 + 0,0331 \times (Mm^{0,5})$$

com  $r^2$  de 0,93, onde  $Mm$  é o parâmetro textural de WISCHMEIER (1971) modificado, calculado pela fração silte multiplicada pela soma das frações silte e areia fina (g/g), e  $X_1$  a permeabilidade do perfil codificada por WISCHMEIER (1971), citado por ROLOFF e DENARDIN (1994). Entendendo que, para a estimativa de permeabilidade do perfil não existem critérios precisos, estes autores excluíram o fator  $X_1$  resultando na seguinte equação:

$$K = 0,1038 \times (Mm^{0,5}) - 0,0454X_3$$

com  $r^2$  de 0,90 e onde  $X_3$  é o teor de óxido de alumínio extraível pelo ataque de ácido sulfúrico, expresso em (g/g). Estas equações são facilmente aplicadas pois existem dados nos levantamentos pedológicos do Estado do Paraná.

É comum observar-se diferentes valores de  $K$  para uma mesma classe de solos quando obtidos por métodos diferentes, os quais analisam distintas características dos mesmos. Assim, alguns métodos podem sub ou superestimar os valores de  $K$  para algumas classes de solos, por não contemplarem as características de estabilidade do modelo.

O fator erodibilidade do solo, obtido em laboratório, representa em síntese o valor estimado para aquela amostra, e a qual, no terreno, varia tanto no sentido horizontal como no sentido vertical PINTO (1991). Assim, para a melhor estimativa do fator  $K$  devemos considerar, além do método a ser utilizado, o local e a profundidade de coleta das amostras, de modo que, as áreas sejam as mais representativas em cada classe de solos.



### 2.2.3 - Declividade e Comprimento de Rampa (fator LS)

Entre os fatores físicos que influenciam a erosão hídrica, tem sido dada atenção especial àqueles que podem sofrer alteração antrópica, no sentido de reduzir os danos causados pela erosão.

Desde a década de 30 nos Estados Unidos, os pesquisadores procuram identificar e caracterizar os fatores que compõem o fenômeno da erosão, principalmente em solos sob exploração agrícola. Um exemplo marcante dessa preocupação é o trabalho de BENNETT (1939), que cita, como práticas conservacionistas no combate à erosão hídrica, o cultivo em faixas alternadas, o cultivo em nível, a rotação de culturas, o terraço em desnível e o terraço em nível. Estas práticas permanecem até hoje, com algumas inovações.

Depois de vinte anos do trabalho de BENNETT, WISCHMEIER (1959), numa primeira aproximação, tentou melhor dimensionar e quantificar a influência do comprimento e declividade da rampa, respectivamente, fator L e S da USLE.

A intensidade de erosão pela água é grandemente afetada tanto pelo comprimento da rampa como pelo seu gradiente (BERTONI et al., 1975a). Estes dois fatores da equação interagem de forma muito estreita entre si. Os valores estimados pela equação no cálculo de LS estão agrupados no fator topográfico, assim equacionados por Wischmeier e SMITH (1978), para as condições dos dados coletados nos Estados Unidos.

$$LS = (l/72,6)^m (65,41 \cdot \text{sen}^2 q + 4,56 \text{ sen } q + 0,065)$$

onde:

l = comprimento da rampa em pés

m = 0,2 para gradiente < 1% de declividade

0,3 para gradiente de 1 a 3% de declividade

0,4 para gradiente de 3,5 a 4,5% de declividade

0,5 para gradiente com 5% de declividade ou mais

q = ângulo da rampa em graus

Esta equação assume a seguinte forma no sistema internacional de unidades:

$$LS = L^{0,5}/100 \cdot (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2)$$

onde:

L = comprimento da rampa em metros

S = grau do declive em porcentagem BERTONI et al. (1975a)

Esta equação considera os declives e comprimentos de rampas essencialmente uniformes.

Não considera portanto, os efeitos de rampas côncavas, convexas e complexas.

Utilizando dados das determinações de perdas de solos por erosão, obtidos nos principais tipos de solos do Estado de São Paulo, numa média de 10 anos de observações, em diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, BERTONI e LOMBARDI (1985) determinaram uma equação que permite calcular as perdas médias de solos para várias porcentagens de declive e comprimentos de rampa, resultando na seguinte formulação:

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

onde:

LS = fator topográfico

C = comprimento de rampa em metros

D = grau de declive em porcentagem

Este método é prático, porém, também apresenta limitações quando aplicado em pendentes com inclinação irregular. Como se pode verificar pela equação, quanto maiores forem a inclinação e o comprimento da rampa maiores serão a velocidade do escoamento superficial e o potencial erosivo.

FOSTER e WISCHMEIER (1974) por sua vez desenvolveram uma equação para o cálculo do valor de LS da USLE em rampas irregulares. Esta equação permite o seccionamento da rampa em seus diversos segmentos, conforme o número de inflexões do gradiente de declividade que a rampa apresentar.

CASTRO e ZOBECK (1986) caracterizaram o incremento do valor de LS com o aumento do comprimento da rampa, enquanto o gradiente de declividade permanece constante, e com o aumento do gradiente de declividade o valor de LS segue aumentando mesmo com igual

comprimento de rampa. Esta análise divide as várias formas de rampa em segmentos iguais, sendo que o número de segmentos variou de 2 a 7. Concluiu-se que, dividindo a rampa em três segmentos iguais foi suficiente para se obter valores satisfatórios de LS.

FOSTER e WISCHMEIER (1974) e CASTRO (1986), através dos métodos desenvolvidos, observaram que a forma da rampa influencia da seguinte maneira na estimativa de LS e, conseqüentemente, na previsão de perdas de solo e índices de erosão. Forma da pendente: côncava < uniforme < complexa < convexa. Esta ordem ocorre porque, em pendentes côncavas, o escoamento superficial é menos volumoso no início da pendente, onde a declividade é mais acentuada, o que proporciona maior oportunidade de deposição do material removido antes de atingir o pé da encosta, onde a declividade é relativamente menor. Nas rampas convexas, o volume do escoamento superficial aumenta com o aumento do gradiente de declividade, acarretando maior capacidade de desagregação e transporte dos colóides e agregados do solo.

Para a obtenção dos valores de LS, normalmente são utilizados quadros de valores de LS, a exemplo do apresentado por WISCHMEIER e SMITH (1978), onde estão relacionadas declividades de 0,2 a 20 % e comprimentos de rampa de 25 a 1.000 pés. BERTONI et al. (1975a) apresentam quadro com valores de LS com declividades de 1 a 20% e comprimentos de rampa de 5 a 100 metros. Estes quadros se aplicam diretamente apenas em rampas uniformes.

Quanto à influência do LS na erosão potencial (EP), a análise feita por PINTO (1991) mostrou que o fator mais influente é a declividade (S), com o coeficiente de determinação  $r^2 = 0,47$  seguida pela erodibilidade do solo (K) com  $r^2 = 0,41$ . Dos fatores da EP, o único que pode sofrer alteração significativa devido a ação antrópica é o fator L, através da construção de terraços.

Para determinação do fator S, CASTRO (1992) utilizou duas formas distintas. Na primeira, considerou a plena utilização dos recursos do SGI e na segunda, serviu-se de um ábaco analógico. Os dois métodos foram aplicados para curvas com equidistância de 05 a 20 metros em cartas na escala 1:10.000 e 1:50.000, respectivamente. O autor preferiu os dados obtidos através do segundo método, porque assemelham-se mais ao modelo real.

#### 2.2.4 - Uso e Manejo do solo (fator C)

O fator C da USLE é a combinação do uso (tipo de cultura) e manejo do solo (tipo de rotação e sistema de cultivo). Este constitui-se no fator antrópico de maior flexibilidade no processo erosivo podendo, de modo geral, ser o mais dinâmico de todos. Já os demais fatores são estáveis por um curto espaço de tempo, porém interagem entre si, interferindo no planejamento de uso do solo. As características do fator C são de valiosa importância quando analisadas, por exemplo, na combinação do regime hídrico de uma determinada região com o desenvolvimento vegetativo, capacidade de produção de massa seca, altura média das plantas e área de proteção do solo durante todo o ciclo de cada cultura.

O fator C compreende valores entre 0 e 1. Assim, as plantas que oferecem maior proteção ao solo possuem valores menores (mata, reflorestamento), reduzindo significativamente o potencial de perdas de solo, enquanto que para culturas que protegem menos, os valores são maiores (culturas anuais), estabelecendo maior probabilidade de perdas de solos por erosão (WISCHMEIER e SMITH, 1978; DONZELLI et al. 1987).

Os macroporos são os principais condutores da água para o interior do perfil do solo. Quando obstruídos, qualquer excedente de precipitação provoca o escoamento superficial em grande escala (ROLOFF, 1986). As culturas possuem uma capacidade variável de reduzir ou anular este efeito da chuva diretamente sobre o solo.

A modernização do sensoriamento remoto, aliada às inovações tecnológicas, principalmente àquelas relacionadas à captura de informações por sensores a bordo de satélites, já demonstrou que é de fundamental importância no processo de busca e apreciação de informações da superfície da Terra. Estas informações, quando georreferenciadas em algum sistema de coordenadas, constituem-se numa perfeita fonte de dados para a interpretação do uso e ocupação do solo, que na USLE é representado pelo fator C (PINTO, 1991; e CASTRO 1992).

No Brasil, trabalhos pioneiros na busca destas informações de sensores orbitais como subsídio à interpretação do uso e manejo do solo, com a finalidade de utilizar os dados para alimentar o fator C da USLE, foram realizados com sucesso por DONZELLI et al. (1988), SCOPEL (1988) e SCOPEL et al. (1989/90).

Para melhor auxiliar o planejamento agrícola em Santa Catarina, a SEAB-SC (1994) publicou o zoneamento estadual de potencial erosivo das chuvas e a razão de perdas para as diversas fases de desenvolvimento das principais culturas e tipos de solos do Estado. Estes dados permitem a obtenção do valor do fator C para diversas culturas possibilitando assim o melhor planejamento da propriedade e uma aplicação maior.

### **2.2.5 - Práticas Conservacionistas (fator P)**

Este fator corresponde às práticas de contenção da erosão na proteção do solo. As principais práticas para as culturas anuais são: preparo do solo em contorno ( $P = 0,5$ ), alternância de capinas + plantio em contornos ( $P = 0,4$ ), cordões de vegetação permanente ( $P = 0,2$ ) e terraço ( $P = 0,1$ ) (BERTONI et al., 1975a). Estas práticas reduzem as expectativas de perdas de solo quando comparadas com o plantio da mesma cultura morro abaixo ( $P = 1,0$ ) (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Neste sentido muitos trabalhos evidenciam que as práticas conservacionistas são auxiliares importantes na contenção da erosão (BENNETT; 1939, FAO; 1967, DONZELLI et al.; 1987, SCOPEL; 1988, CASTRO; 1992 e outros).

Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1985), para áreas terraceadas, o comprimento do declive a ser usado na determinação do fator topográfico LS na equação, é o intervalo entre os terraços. Nestas condições, deve-se entender que as estimativas de perdas de solo serão referentes ao montante de solo que atingir o canal do terraço, independente de deixar a propriedade ou não.

Em propriedades com agricultura intensiva, especialmente com culturas anuais, os fatores C e P são tratados simultaneamente com as práticas de uso e manejo dos solos. Em áreas bem manejadas, o terraceamento faz parte da paisagem agrícola com a finalidade de interceptar o escoamento superficial, reduzindo o comprimento da rampa (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Conseqüentemente, reduz o volume de água capaz de provocar erosão, proporcionando maior oportunidade para a infiltração da água no perfil do solo.

Também no intuito de determinar a máxima intensidade de exploração racional do uso do solo, o trabalho do IPT (1987), estabeleceu relação entre os índices de tolerância de perdas de

solos (IT) e a erosão potencial (EP), obtendo-se assim os valores máximos de CP ( $CP_{Tolerável}$ ) para cada classe de EP.

Conforme BERTONI e LOMBARDI (1985), BERTONI et al. (1975a) e WISCHMEIER e SMITH (1978), através de práticas conservacionistas (P), com a adoção de plantio em contorno associado ao terraceamento e cordões vegetados, os valores de P podem assumir valores entre 0,1 e 0,5.

Na metodologia de avaliação da adequação do uso do solo, em relação às expectativas de perdas por erosão, SCOPEL (1988) estabeleceu índices de discrepância, valores de CP, classificando o uso em discrepâncias positivas quando aos valores de  $CP_{Tolerável} > CP_{Real}$  e discrepâncias negativas quando  $CP_{Tolerável} < CP_{Real}$ .

### **2.3 - Índices de tolerância de perdas de solo (IT)**

As informações disponíveis a respeito dos índices toleráveis de perdas de solo são ainda escassas e deficientes em fundamentação científica, sobretudo considerando a USLE que foi concebida com base em dados de muitos anos acumulados de pesquisas.

O parâmetro "tolerância de perdas de solo" é considerado como a perda máxima que um solo pode sofrer, sem que seja exaurido seu potencial produtivo, econômica e indefinidamente (WISCHMEIER e SMITH, 1978; BERTONI et al., 1975a).

O volume de solo erodido deve ser compensado de alguma forma, para que seja indefinidamente produtivo. O processo de formação do solo depende, em grande parte, das condições climáticas que tem a função importante na determinação da velocidade dos processos de intemperismo e pedogênese do solo. O clima árido é menos favorável aos processos pedogenéticos do que os úmidos. Este fato deve-se à pouca profundidade de infiltração de água no solo, resultando em concentração de sais solúveis, superficialmente, em quantidades capazes de retardar ou impedir o crescimento normal da maioria das plantas cultivadas (BENNETT, 1939).

OLIVEIRA (1975a) cita como fatores de formação de solo o material de origem, o relevo, o clima, os organismos vivos e o tempo. Destes, os mais ativos são o clima e os organismos vivos. Assim, o solo poderia ser analisado também pela influência pedogenética diferenciada em função destes fatores.

Conforme OLIVEIRA (1975b), os processos pedogenéticos é que determinam o tempo para formação de determinado volume de solo, através de ações desenvolvidas no interior ou à superfície dos perfis por meio de adições, transformações, transportes seletivos, remanejamentos mecânicos e perdas.

As plantas exercem um papel fundamental no aumento da quantidade e diâmetro dos canais no perfil do solo, possibilitando assim, maior circulação de ar e água no seu interior. Elas realizam ainda, adição de matéria orgânica e ácidos húmicos que aceleram as reações químicas, bem como melhoramento das condições físicas do solo, favorecendo a atividade de micro e macro organismos aeróbicos (OLIVEIRA, 1975a).

A FAO (1967) estabeleceu os seguintes critérios para definir limites de perdas de solo:

- 1 - O solo deve manter uma espessura favorável para a produção agrícola e florestal durante longo tempo. Deve-se considerar os efeitos da erosão do solo sobre o rendimento dos cultivos.
- 2 - As perdas de solo devem ser inferiores às que ocasionam grande quantidade de formação de sulcos e formação de voçorocas.
- 3 - As perdas de solo devem ser inferiores às que causam consideráveis aterramentos nos canais de drenagem, terraceamento, curvas de nível, estradas etc.
- 4 - Deve-se reduzir o escoamento e favorecer a absorção de água para que o solo retenha mais água para o uso das plantas, especialmente durante os períodos de escassez de chuva.
- 5 - A erosão ocasiona exposição ou aterramento das sementes, o que se traduz em cultivos com baixa densidade de plantas. As perdas de solos não devem chegar ao ponto em que isto se constitua em problema grave.

BERTONI et al. (1975a) estimaram limites de tolerância para as principais classes de solos do Estado de São Paulo, considerando a profundidade média de cada classe. Estes limites variam de 4,5 a 9,1 t/ha/ano para os Podzólicos; 9,8 a 15 t/ha/ano para os Latossolos e para os Solos Litólicos até 4,2 t/ha/ano.

Estes índices são relativamente importantes, no sentido de sensibilizar os técnicos que utilizam a USLE como suporte ao planejamento do uso e ocupação racional dos solos. Este parâmetro visa apenas estabelecer teto máximo de perdas de solo, sendo este apenas um dos importantes problemas causados pela erosão. Por outro lado, as áreas adjacentes ao local erodido,

podem sofrer consequências mais severas de impacto ambiental do que o local fonte dos sedimentos, mesmo sem exceder o índice tolerável de perdas de solos para aquela classe de solo.

## **2.4 - Sensoriamento Remoto como auxílio ao controle da erosão**

### **2.4.1 - Fotografias aéreas e Imagens de satélite**

A interpretação de fotografias aéreas depende não somente da experiência do fotointérprete, mas também dos critérios por ele adotados. Os elementos básicos de reconhecimento na foto para identificar o elemento no terreno são: tonalidade, forma, padrão, densidade, declividade, textura, tamanho, sombra, posição e adjacências (ANDERSON, 1982).

SCOPEL et al. (1988) analisaram, em relação à drenagem, quatro tomadas de fotografias aéreas pancromáticas escala 1:25000 (1953, 1962, 1970 e 1980), no Município de Cornélio Procópio (PR), concluindo que no decorrer do tempo houve um aumento considerável no comprimento dos canais de primeira e segunda ordem.

Para uso suplementar às fotografias aéreas convencionais, DISPERATI (1991) apresenta formas de obtenção de fotografias de pequeno formato, a bordo de balão, ultraleve, avião ou helicóptero. A aplicação principal destas fotografias é a atualização de mapas e em estudos detalhados de pequenas áreas, reduzindo consideravelmente o custo e o tempo para elaboração do mapa desejado.

Por outro lado, as imagens de satélite também apresentam potencial valioso em estudos de impacto ambiental. A evolução das pesquisas espaciais resultou em aplicativos importantes em muitas áreas de conhecimento em todo o mundo como nos sistemas de telecomunicações, estudos climáticos, estudos subterrâneos (RADAR), estudos marítimos, estudos da superfície terrestre, missões espaciais e até mesmo na aquisição de informações de outros planetas. Estes instrumentos de captura e registro das informações ( sinais) espaciais são de fundamental importância no processo de análise e previsão dos processos dinâmicos que ocorrem em nosso universo.

Existem sensores capazes de transmitir instantaneamente os sinais obtidos para as estações terrestres, a exemplo do NOAA. Estes sinais são processados e transformados em



informações para análise e tomada de decisões, prevenindo catástrofes em tempo hábil, como maremoto, furacão, chuvas, neve etc.

Em conformidade com os objetivos deste trabalho, iremos nos deter nos sensores de estudo da superfície da terra. Estes sensores são mais precisos do que os destinados aos estudos climáticos, apresentando melhor resolução espacial. Entre os sensores existentes, os mais conhecidos e utilizados para estudos terrestres estão colocados à bordo dos Satélites LANDSAT e SPOT. Em seguida oferecemos uma breve descrição das principais características destes Satélites:

O sistema SPOT (CNES/França), lançado em 1986, é equipado com dois sistemas de sensores HRV (High Resolution Visible), com 2 formatos: o primeiro é o multiespectral, com 3 bandas, com resolução de 20 m no terreno, onde a banda 1 e 2 estão no campo ótico do visível e a banda 3 no infravermelho próximo; o segundo formato é o pancromático, com resolução de 10 m no terreno. O sensor a bordo do satélite SPOT possui uma plataforma flexível que possibilita a inclinação do nadir em relação à imagem obtida perpendicularmente. Estas imagens inclinadas permitem a estereoscopia com a mesma imagem obtida em ângulo diferente. Com esta característica, a imagem SPOT se aproxima muito dos sistemas convencionais de fotografias aéreas, deixando a desejar ainda quanto à resolução.

As imagens obtidas pelo sensor TM (Thematic Mapper), a bordo no LANDSAT-5, lançado em 1984, apresenta 7 bandas no campo ótico, sendo 3 no campo ótico do visível (bandas 1, 2 e 3), 3 bandas no infravermelho (bandas 4, 5 e 7), com resolução de 30 x 30 m no terreno e 1 no termal (banda 6). Esta última com resolução espacial de 120 x 120 m no terreno.

Suscintamente, conforme NASA (1984), confira a apresentação dos sete canais do TM LANDSAT-5 e de seus principais aplicativos potenciais nos estudos da terra no Quadro 01.

Quadro 01 PRINCIPAIS APLICATIVOS PARA AS SETE BANDAS DA IMAGEM DO LANDSAT E INTERVALOS ESPECTRAIS DO CAMPO ÓTICO

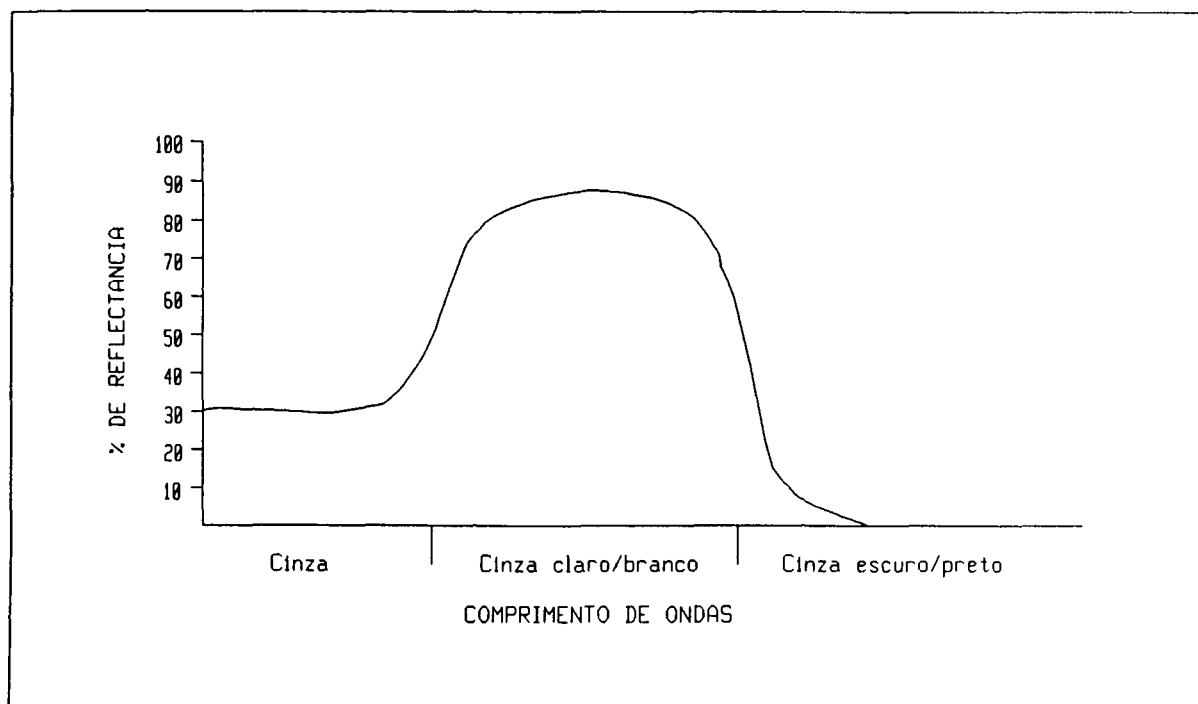
Bandas	Intervalo espectral mm	Campo ótico	Principais aplicativos potenciais
1	0,45-0,52	azul	águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação e entre tipos de vegetação
2	0,52-0,60	verde	vegetação sadia
3	0,63-0,69	vermelho	observação de clorofila, separação de zonas com vegetação, ênfatização de contraste entre diferentes tipos vegetais
4	0,73-0,90	infra-vermelho	estimativas de biomassa, discriminação de corpos d'água
5	1,55-1,75	infra-vermelho	umidade da vegetação, tipo da cultura, umidade do solo, separação entre nuvens e neve
6	10,04-12,05	termal	classificação vegetal, análise de stress da vegetação, umidade do solo e mapeamento de fenômenos termais como variação da temperatura de corpos d'água e focos de fogo
7	2,08-2,35	infra-vermelho	mapeamento de formações rochosas

FONTE: NASA 1984.

Como elucidado no Quadro 01, cada banda registra sinais provenientes da energia eletromagnética refletida pelos objetos. Assim, um corpo com capacidade de absorção total no intervalo de 0,63 mm a 0,69 mm terá valor zero na banda 3, conseqüentemente apresentará coloração cinza escuro/preto em tons de cinza. O contrário acontece quando o objeto não absorve e reflete totalmente um determinado comprimento de onda. Para aquela banda, ele se apresenta cinza claro bem próximo do branco. Assim, se um objeto imageado e suas características proporcionam um alto índice de reflectância em determinado comprimento de onda, então, numa composição colorida, ele terá coloração dominante sobre as demais bandas com reflectância inferior. Ou seja, se a banda correspondente à maior reflectância estiver no canal vermelho, este objeto apresentará dominância de coloração vermelha em relação ao canal verde e azul.

O exemplo da Figura 01 representa uma banda qualquer do SPOT ou LANDSAT em tons de cinza. Porém, para efeito de uso e ocupação do solo, normalmente são utilizados composições coloridas na combinação de 3 em 3, nos canais vermelho (R), verde (G) e azul (B). Assim, as combinações de tons de cinza de cada banda compõem as infinitas combinações coloridas, similares a uma fotografia colorida comum.

Figura 01 COMPORTAMENTO DA CURVA DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL EM TONS DE CINZA



#### 2.4.2 - Dados de GPS

O sistema GPS (Global Positioning System) permite a obtenção do posicionamento pontual, através de sinais de ondas eletromagnéticas que percorrem a distância entre o satélite e o receptor. O tempo gasto para a propagação dos sinais é que determina o posicionamento de um determinado ponto em latitude, longitude e altitude.

Os sistemas orbitais de coleta de dados da superfície terrestre, a exemplo do LANDSAT e do SPOT, são considerados portadores de sensores passivos, ou seja, eles capturam a radiação emitida pelos elementos componentes da superfície terrestre. No caso dos sistemas de RADAR e também do GPS, são considerados sensores ativos por emitirem sinais em direção ao alvo terrestre em determinado comprimento de onda.

Para que as coordenadas pontuais obtidas pela unidade receptora do GPS possam atingir a máxima precisão é necessário basicamente que: a) tenha 3 ou mais satélites não alinhados em comunicação durante o rastreamento; b) a unidade receptora apresente alta precisão, c) o trabalho seja executado com dois receptores terrestres, onde um é a base fixa, com coordenadas conhecidas e o outro é móvel, e d) conhecer previamente os horários em que os satélites em órbita estejam bem posicionados (geometria do satélite) em relação às unidades receptoras, denominado pedop ideal (CAMPOS, 1995)\*.

COUTO (1995) estudou o sistema GPS com dois receptores Trimble 4000 SST, objetivando utilizar o sistema no posicionamento e nivelamento das réguas linimétricas localizadas em pontos representativos ao longo do canal do rio Paraná. Os dados obtidos permitiram concluir que o sistema GPS é eficiente no posicionamento de marcos referenciais, reduzindo o tempo, custo e pessoal envolvidos quando comparado aos sistemas tradicionais.

O satélite GPS irradia em duas bandas de frequência, L1 (1575,42 Mhz) e L2 (1227,60 Mhz), moduladas em fase por dois códigos e por informações a respeito da órbita do satélite. O receptor terrestre Trimble 4000 SST opera com 8 canais com os códigos L1, L2 e código P (Precisão) com frequência de 10,23 Mhz e antenas geodésicas com dupla frequência (COUTO, 1995). O autor cita que a resolução das medidas dependem do comprimento de ondas do código, sendo que o comprimento de ondas de 19,05 cm ao atingir a antena do receptor torna a resolução das medidas de alta precisão, na ordem de milímetros.

\*CAMPOS, M. de A. Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná. 1995.

"comunicação pessoal"

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Área de estudo**

A área situa-se no Município de Campo do Tenente, no segundo planalto paranaense, a aproximadamente 80 km de Curitiba, Br. 116, sentido sul. A microbacia do Rio Cascavel compreende uma área de 1.485,90 ha. Este é afluente do rio da Várzea que é integrante da bacia do rio Iguaçu. A área está localizada entre os paralelos 25° 57' e 26° 03' de latitude sul, e entre os meridianos de 49° 45' e 49° 40' de longitude oeste de Greenwich, mais precisamente entre as coordenadas UTM's 624.000 a 628.000 m. W e 7.121.000 a 7.125.000 m. S do meridiano central - 51°. A figura 02 ilustra a localização da área.

Esta bacia é objeto de outros estudos vinculados ao programa PARANÁ RURAL (Governo do Estado do Paraná - BID). A concentração de pesquisas na mesma área tem como objetivo principal servir de base para o desenvolvimento piloto de técnicas mais adequadas de uso, manejo e ocupação racional dos solos. Esta bacia supõe-se representar tipicamente as características de solo, clima, relevo, geologia, geomorfologia e vegetação da porção sul do segundo planalto paranaense.

##### **3.1.1 - Clima**

Conforme classificação de Köeppen, o clima regional é Cfb - Subtropical úmido mesotérmico de verões frescos e com média do mês mais quente inferior a 22°C, apresentando temperatura média anual de 16,4 °C. As geadas são severas e mais frequentes do que no clima Cfa. Segundo cartas climáticas do Estado do Paraná (IAPAR, 1994), a precipitação média anual nesta região é de 1.400 mm

### **3.1.2 - Geologia e Geomorfologia**

O material geológico pertence ao grupo Itararé, que consiste em sedimentos glaciais e outros, variando desde tilitos verdadeiros, "drifts", arenitos e siltitos fluviais, até argilitos varvíticos e folhelhos. Sobrepostas, encontram-se camadas de arenitos, siltitos e folhelhos. Sobressaliente apresenta dique de Diabásio de idade Juro-Cretácea (EMBRAPA, 1984).

As rampas são predominantemente curtas e uniformes/convexas nas partes mais dissecadas junto às nascentes, com dominância de rampas côncavas nas partes menos dissecadas. Estas feições podem ser observadas na Figura 3.

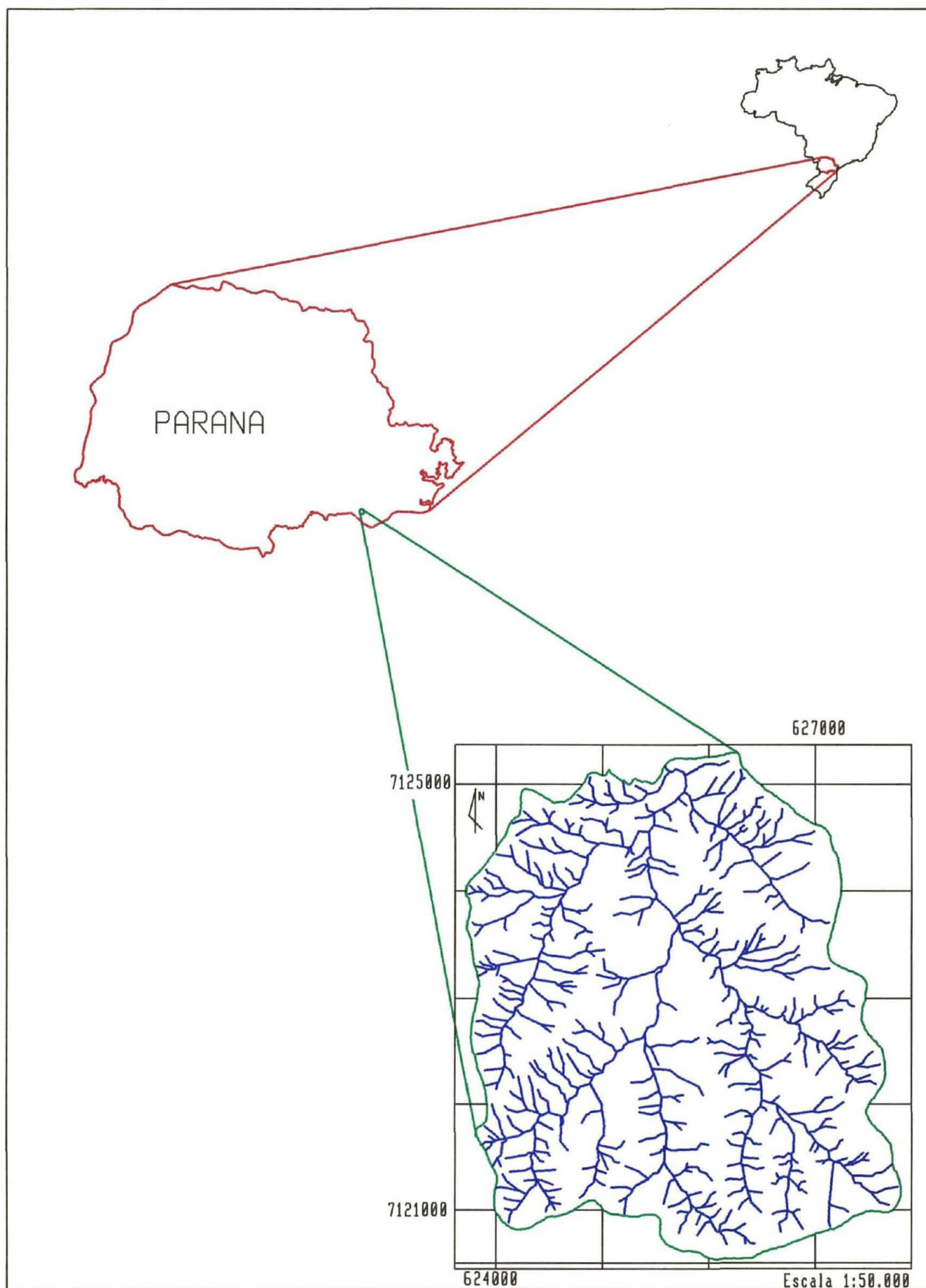
### **3.1.3 - Solos**

Conforme levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984), ocorrem na área de estudo duas unidades de mapeamento: Ca23 - Associação Cambissolo álico Tb substrato folhelho siltico + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb Câmbico ambos A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado de vertentes curtas, e Ra - Solos Litólicos álicos A proeminente textura média fase floresta subtropical subperenifólia relevo ondulado, substrato siltitos e arenitos.

### **3.1.4 - Hidrografia**

A rede de drenagem nesta porção do Estado do Paraná é bastante ramificada e densa em razão de fatores como a formação geológica, a pedogênese, vegetação e o regime hídrico regional.

Figura 02 LOCALIZACAO DA AREA DE ESTUDO



### **3.1.5 - Vegetação primária**

Segundo levantamento da EMBRAPA (1984) ocorriam, originalmente na área de estudo, duas tipologias de vegetação, assim descritas:

Floresta Subtropical Perenifólia - em geral apresenta três estratos, sendo o superior constituído por araucária, imbuia, cedro, canela e outras espécies folhosas de grande porte; o médio, por podocarpus, pimenteira, guarimirim, erva-mate, caroba, bracatinga, guariroba e outras; e o inferior, por ervas, arbustos e gramíneas sendo grande a incidência de capim-de-cachorro, sapé, uvarana, fetos arbóreos e samambaias. Hoje, a floresta secundária é predominante e ocorrem maciços de bracatinga com aspecto de perenifólia.

Floresta Subtropical Subperenifólia - normalmente apresenta três estratos: o superior, ocupado pela araucária ou espécies folhosas de grande porte; o médio, pela erva-mate, caroba, bracatinga, guariroba, taquara e outras; e o inferior, por ervas, arbustos e gramíneas.

### **3.2 - Bases utilizadas**

Foram utilizadas as seguintes cartas planialtimétricas do Serviço Geográfico do Exército assim identificadas, sendo SG.22-X-C-VI-4 (Lapa), SG.22-X-C-VI-3 (Faxinal dos Castilhos), SG.22-Z-A-III-1 (Rio Negro) e SG.22-Z-A-III-2 (Rio Preto do Sul) escala 1:50.000, com equidistância entre curvas de nível de 20 metros, cuja restituição teve por base fotografias aéreas de 1966.

Para a microbacia foi gerada carta na escala 1:10.000 com equidistância de 10 metros entre as curvas de nível tendo por base fotografias aéreas escala 1:25.000 (ITC 1980). Também foram utilizados mapa de solos, 1:600.000, e mapa geológico, 1:50.000, do Estado do Paraná além do mapa de solos a nível de semidetalhe na escala 1:10.000, obtido por SILVA (1993).



### **3.3 - Material de campo e laboratório**

Para fotointerpretação foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:25.000, ano de 1980 nos 48345, 48346, 48347, 48561, 48562 e 48563 e imagens geradas pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT 5, órbita/ponto 221/78, bandas 3, 4 e 5, sob as formas de composições coloridas 5R4G3B e 4R5G3B, passagem de 16/09/1990. O processamento foi desenvolvido sobre a plataforma de microcomputador DX2 486, software SITIM 340 versão 4.2 composto pelo Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) e Sistema Geográfico de Informações (SGI), editor de textos Word 6.0, planilha de cálculo excel, mesa digitalizadora Digigraf, tamanho A1, ploter HP 650 color e Scanner de mesa. Também foram utilizados equipamentos auxiliares como: GPS (Global Positioning System) Trimble 4000 SST, estereoscópio de mesa e demais materiais convencionais de laboratório. No campo utilizou-se, além de fotografias aéreas e imagem de satélite, a combinação de imagem de satélite com fotografias aéreas, clinômetro, altímetro, ficha de campo e entrevista com agricultores.

### **3.4 - Sensoriamento Remoto**

#### **3.4.1 Aquisição de pontos com GPS**

A exemplo dos trabalhos de PINTO (1991) e CASTRO (1992), o método normalmente utilizado para a correção geométrica de imagens (raster), é o da aquisição de pontos homólogos em cartas planialtimétricas e na imagem. Nesses trabalhos, as escalas de referência foram de 1:50.000 e 1:100.000, com eficiência crescente devido à maior dimensão das áreas. Como a área, neste trabalho, é pequena e a escala grande, para melhor posicionamento espacial da área de estudo em relação às imagens, foram utilizados dados de coleta pontual com auxílio de GPS. Os pontos cotados foram selecionados previamente na faixa de sobreposição das fotografias aéreas (na linha de vôo e nos pontos de asa). Assim o mesmo ponto está presente nas fotos envoltentes, o que possibilitou melhorar a confecção do mosaico.

Para a aquisição dos pontos geodésicos, foram utilizados dois receptores tipo Trimble 4000 SST, com um deles fixo como estação de referência na estação PARA (de coordenadas conhecidas), situada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (Curitiba-PR), e o outro receptor deslocado para a área de estudo, onde foram rastreados 9 pontos com duração de rastreamento de aproximadamente 2 horas para cada ponto. Os dados foram processados junto ao Departamento de Geociências da UFPR para a obtenção das coordenadas geodésicas do sistema SAD-69 e transformadas para o sistema de projeção geográfica de coordenadas UTM.

### **3.4.2 Fotointerpretação**

As fotografias aéreas foram analisadas em mesa de luz com auxílio de estereoscópio de mesa. Nelas foram identificados os principais padrões de uso, de ocupação do solo e das práticas conservacionistas. Após este reconhecimento, efetuaram-se visitas a campo para caracterizar os padrões relacionados a cada cultura.

A "digitalização" das fotografias aéreas em formato TIF (raster) possibilitou a entrada no SITIM, onde se procedeu o georreferenciamento e a formação de mosaico, abrangendo toda a área de estudo.

Através do módulo "registro" do SITIM, as fotografias, em formato raster, foram submetidas à aquisição dos "pontos de controle", através das coordenadas UTM, obtidas pelo rastreamento com GPS.

### **3.4.3 Imagem de satélite TM/Landsat-5**

As imagens digitais foram adquiridas junto ao INPE em fita "streamer", o que possibilitou a leitura e introdução da mesmas no sistema através da unidade de leitura 250 Mb.

Na correção geométrica destas imagens (bandas 3, 4 e 5), utilizou-se o referenciamento das fotografias aéreas para submetê-las ao processo de "registro", com o seguinte procedimento para a aquisição dos "pontos de controle": Primeiramente foi feita a aquisição dos pontos

imagem/imagem, onde a imagem de referência (imagem ajustada) correspondeu ao mosaico das fotografias aéreas e as imagens corrigidas foram as imagens do Landsat.

#### **3.4.4 Tratamento e interpretação das imagens**

Após a fase de registro, foram feitas nas imagens os tratamentos em ambiente SITIM, como o realce linear para a correção atmosférica, utilizando o recurso de alteração de histograma para cada banda. Este procedimento fez-se necessário no sentido de tornar mais contrastante os elementos com valores de pixel muito próximos, o que dificultaria a distinção e interpretação.

As classificações automáticas, supervisionadas e não supervisionadas, serviram de apoio para a identificação de alguns padrões.

A interpretação final foi feita com a utilização das composições coloridas em R (vermelho), G (verde) e B (azul) e substituição de bandas na combinação com o mosaico digital das fotografias aéreas e informações de campo.

Um aspecto muito importante neste procedimento é a utilização das composições de imagens com resoluções e com recursos potenciais diferentes, as quais, quando analisadas em conjunto, auxiliam na interpretação.

A separação das classes foi executada diretamente sobre a imagem raster no monitor de alta resolução (UVI) por intermédio da mesa digitalizadora.

### **3.5 - Obtenção dos fatores da USLE**

#### **3.5.1 - Fator Erosividade da chuva (R)**

Para o cálculo do fator R, foram utilizados os dados de chuva diária, registrados pelo pluviômetro da estação meteorológica de Rio Negro (IAPAR), distante aproximadamente 15 km da área de estudo. Estes dados foram os melhores disponíveis para o trabalho, porém não apresentam aplicação direta na equação de WISCHMEIER. Para o cálculo adotou-se, neste estudo, a equação desenvolvida por LOMBARDI e MOLDENHAUER (1980).

$$EI = 6,886 (r^2 / p)^{0,85}$$

onde:

EI = é a média mensal do índice de erosão

r = é a precipitação média mensal em milímetros

p = é a precipitação média anual em milímetros

Os registros diários de chuva compreendem o período de 1923 a 1991, sendo que os dados utilizados para o cálculo de R referem-se à média dos últimos 22 anos, ou seja, de 1970 a 1991. Estes foram processados em planilha de cálculo para a estimativa de precipitação média mensal e anual.

Neste estudo foi calculado um único valor de R para a microbacia.

Em 1990, para fins de monitoramento por parte das instituições que trabalham na área, foram instalados 3 pluviômetros e 3 pluviógrafos junto às parcelas de estudo. Estes dados pontuais fazem parte de um projeto de avaliação de perdas de solos em áreas de aproximadamente 1,5 ha cada, com cultivos tradicionais pelos agricultores. Além disso, foi instalada no exutório da bacia uma estação de coleta de amostras d'água e um linígrafo. Estes estudos possibilitarão, no futuro, melhorar o desempenho de métodos de previsão de perdas de solo.

### **3.5.2 - Fator Erodibilidade do solo (K)**

A delimitação espacial do fator K da USLE foi obtida a partir da digitalização do mapa de solos (SILVA, 1993) na escala 1:10.000. A classe de solos predominante na área de estudo pertence aos Cambissolos, com ocorrência menos expressiva de solos Litólicos e Cambissolos com caráter Latossólico.

Através dos dados analíticos do levantamento de SILVA (1993), o fator K foi determinado pela equação de ROLOFF e DENARDIN (1994).

$$K = 0,0049X_1 + 0,0331 \times (Mm^{0,5})$$

onde  $Mm$  é o parâmetro textural de WISCHMEIER (1971) modificado, calculado pela fração silte multiplicada pela soma das frações silte e areia fina (g/g), e  $X_1$  a permeabilidade do perfil codificada por WISCHMEIER (1971).

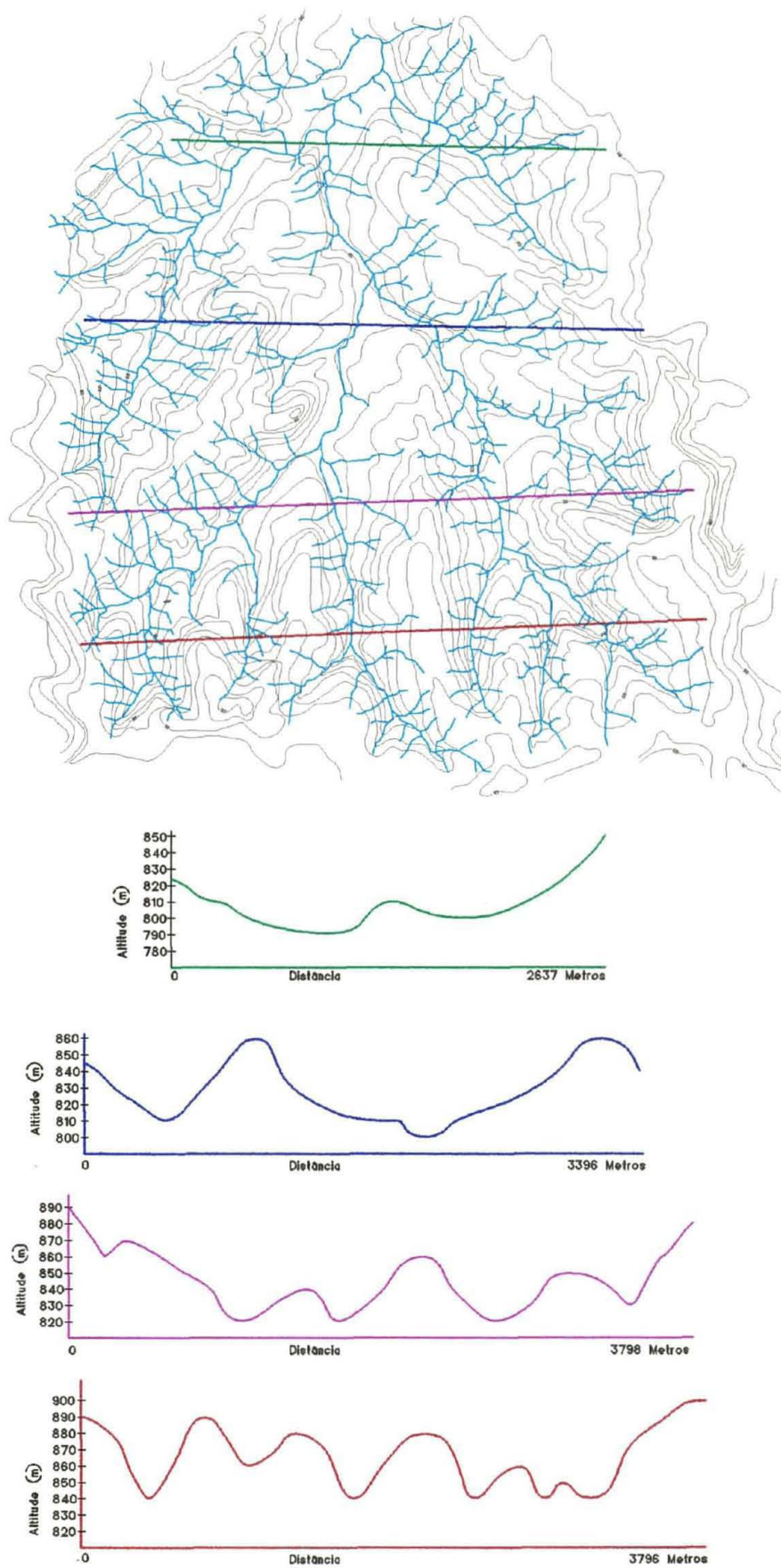
### 3.5.3 - Fator Topográfico (LS)

Para a determinação do comprimento de rampa, (fator "L"), foi utilizado o mapa topográfico com auxílio de fotografias aéreas. Sobre as fotografias aéreas foram definidos divisores de água, transferidos e ajustados sobre o mapa base, o que possibilitou a obtenção mais precisa dos valores de comprimento das pendentes. Estes foram obtidos, medindo-se do interflúvio até a drenagem ou áreas de deposição. Este procedimento possibilitou a obtenção dos comprimentos totais de cada rampa, os quais foram sobrepostos ao mapa de classes de declividade e subdivididos em segmentos de comprimento variável quando da mudança da declividade. Na obtenção dos comprimentos de rampa não foram considerados os terraceamentos, pois esta prática é pouco utilizada na região. As estradas apresentam-se, principalmente, em divisores de água ou em divisas de propriedade. Estas, normalmente, são perpendiculares às pendentes e não interferem, no presente estudo, no comprimento total das rampas.

A declividade foi obtida através de dois procedimentos:

a) - Digitalização dos dados altimétricos das cartas topográficas escala 1:50.000 com equidistância de 20 m e escala 1:10.000 com equidistância de 10 m, o que possibilitou a geração do modelo numérico do terreno (MNT), através do qual foram gerados perfis topográficos (Figura 03), caracterizando as principais feições das rampas na área de estudo. O modelo numérico do terreno também possibilitou, através de aplicativos do SGI, a geração do mapa de classes de declive, nos intervalos de 0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45% e >45%. Para efeito de cálculo do fator "S" da USLE

Figura 03 – CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES DAS RAMPAS ATRAVÉS DE PERFIS



adotou-se o valor médio dos intervalos, ou seja 1,5%, 5,5%, 14% e 32,5%, respectivamente. Não houve valores maiores de 45% de declive.

b) - Pelo método tradicional, com auxílio de gabarito (ábaco analógico) sobre as mesmas bases cartográficas. Estes dados foram inseridos no ambiente SGI (Sistema Geográfico de Informações), através da mesa digitalizadora.

A forma da rampa foi avaliada segundo procedimento proposto por CASTRO (1986), o qual considera a inflexão da rampa para a mudança da classe de declive, bem como, o comprimento proporcional para cada segmento.

Assim, de posse do comprimento total de cada rampa e dos segmentos correspondentes em cada classe de declive, foi possível estimar os valores de LS com auxílio da equação programada por CASTRO (1986), através de software denominado "LS" em linguagem GBASIC, possibilitando o cálculo de LS em rampas uniformes, côncavas, complexas e convexas em número de segmentos variável para cada rampa estudada.

A adaptação deste procedimento, neste trabalho, possibilitou a representação espacial e a obtenção de um mapa de 16 classes de LSh (LS homogêneo). Os intervalos dos valores de LS adotados corresponde a: 0,0 0,2 0,4 0,7 1,0 1,4 1,8 2,3 3,0 4,0 5,0 6,5 8,5 11,1 14,4 e 17,4

#### **3.5.4 - Fator Uso e Manejo do solo (C)**

A distribuição espacial do uso e manejo do solo foi determinada através da interpretação do produto digital, gerado a partir do processamento e interpretação das combinações coloridas RGB da imagem do TM/Landsat 5, fotografias aéreas digitais e da composição destas, conforme metodologia apresentada no item 3.4.

Os padrões mapeados foram: cultura anual, pastagem, capoeira, mata, reflorestamento e várzea. Foi feita a verificação de campo e entrevista com os agricultores para confirmação dos padrões de uso, manejo, práticas conservacionistas e épocas de implantação das culturas.

O valor de C para culturas anuais foi obtido através da razão de perdas de solo para as diversas fases de desenvolvimento das culturas, conforme SEAB-SC (1994) (Quadro 02). Também

foi considerado o potencial de erosividade referente às fases de desenvolvimento das culturas. Estes potenciais foram estimados pelos índices médios de precipitação mensal dos últimos 20 anos.

A modificação da metodologia, apresentada pela SEAB-SC (1994), refere-se ao período de 30 dias após a colheita e o novo preparo de solo, onde considerou-se o valor de C equivalente ao da classe de capoeira na fase de “pousio”. Esta alteração fez-se necessária devida a uma característica regional de não se fazer cultivos de inverno, e o solo permanecer com cobertura equivalente à classe de capoeira, no somatório dos restos de colheita (palhada) e desenvolvimento generalizado das plantas daninhas.

**Quadro 02 RAZÃO DE PERDAS DE SOLO PARA AS FASES DE DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DE MILHO, FUMO E FEIJÃO (SEAB-SC, 1994)**

Culturas	Fases de desenvolvimento das culturas				
	1	2	3	4	5
Milho	0,23	0,19	0,17	0,04	0,02
Fumo	0,38	0,33	0,15	0,11	0,07
Feijão	0,70	0,55	0,29	0,29	0,15

As áreas ocupadas com pastagem, mata, reflorestamento, capoeira e várzea receberam valores de C e P, conforme dados de WISCHMEIER e SMITH (1978).

**Quadro 03 VALORES DE "C" E "P" PARA AS CLASSES DE USO DO SOLO**

Classes de Uso do Solo	C	P
Pastagem	0,011	1,00
Capoeira	0,003	1,00
Reflorestamento	0,0001	1,00
Mata	0,0001	1,00
Várzea	0,0	0,0



### 3.5.5 - Fator Práticas conservacionistas (P)

Para a definição e caracterização das práticas conservacionistas (fator P), consideramos conjuntamente o uso e manejo dos solos (fator C).

Na área de estudo, identificou-se apenas uma prática conservacionista, caracterizada pelo cultivo em nível. Esta prática, em geral, esteve aliada às áreas utilizadas com culturas anuais e, em alguns casos, foi observado a presença de terraceamento e cordão vegetado. Esses não foram considerados neste trabalho pela pouca expressão, pois representam de 5 a 10% das áreas cultivadas.

Para se estabelecer o valor de P, considerou-se as condições regionais e a relação estabelecida por WISCHMEIER e SMITH (1978), entre comprimento de rampa e declividade média. Adotou-se o valor de  $P = 0,8$  para cultivo em nível e, para as demais classes de uso  $P = 1,0$ , exceto para várzea, para a qual foi atribuído valor  $P=0$ , também adotado por PINTO (1991), apresentado no Quadro 03.

### 3.5.6 - Tolerância de perdas de solos

Com base nos dados do levantamento semi-detalhado de solos (SILVA, 1993), utilizou-se a equação de LOMBARDI e BERTONI (1975) para o cálculo dos índices de tolerância de perdas de solos, assim estimados:

$$P = 100 \times h \times d$$

onde:

P = peso do solo (t/ha)

h = espessura da camada de solo (cm)

d = densidade do solo ( $g/cm^3$ )

A tolerância foi estabelecida considerando o desgaste do volume total de solo por unidade de área (P) em 1.000 anos. Portanto, a tolerância é equivalente a  $P/1.000$  dada em t/ha.ano. (Quadro 04).

Quadro 04 TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLOS ESTIMADA PELA EQUAÇÃO DE LOMBARDI e BERTONI (1975)

Grupo de solos	h (cm)	d (g/cm <sup>3</sup> )	Tolerância de perdas (t/ha.ano)
Cambissolos com caráter Latossólico	125	1,0	12,5
Cambissolos Álicos e Distróficos	75	1,0	7,5
Solos Litólicos	18	1,0	1,8

### 3.6 - Aptidão agrícola dos solos

A classificação da aptidão agrícola dos solos foi estabelecida por SILVA (1993), conforme Quadro 05.

Quadro 05 CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SUBGRUPOS DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS E SUA DISTRIBUIÇÃO NAS UNIDADES DE MAPEAMENTO

Unidade de Mapeamento	Descrição dos Subgrupos de Aptidão	Subgrupo de aptidão (RAMALHO FILHO et al, 1983) de SILVA (1993).	Área (ha)	Área (%)
C11	Regular para o nível de manejo C, restrita ao nível B e inapta ao nível A	2(bc)	80,90	5,45
C12	Restrita aos níveis de manejo B e C e inapta ao nível A	3(bc)	56,70	3,82
C13	Restrita aos níveis de manejo B e C e inapta ao nível A	3(bc)	20,80	1,40
Ca1	Regular para o nível de manejo C e restrita ao nível B e inapta ao nível A	2(bc)	217,80	14,66
Ca2	Restrita aos níveis de manejo B e C e inapta ao nível A	3(bc)	647,40	43,57
Ca3	Restrita ao nível de manejo B e inapta aos níveis A e C	3(b)	88,20	5,93
Ca4	Regular para o nível de manejo C e restrita ao nível B e inapta ao nível A	2(bc)	30,90	2,08
Ca5	Restrita aos níveis de manejo B e C e inapta ao nível A	3(bc)	8,90	0,60
Ca6	Terras sem aptidão para uso agrícola, destinadas à preservação da fauna e da flora	6	32,90	2,21
Cd1	Restrita ao nível de manejo B e inapta aos níveis A e C	3(b)	43,60	2,93
Cd2	Restrita para pastagem no nível de manejo B e inapta ao uso com lavoura	4(p)	9,00	0,61
Ra1	Regular para pastagem plantada no nível de manejo B	4p	9,90	0,67
Ra2	Restrita ao nível de manejo B e inapta aos níveis A e C	3(b)	120,00	8,07
Ra3	Restrita para pastagem no nível de manejo B e inapta ao uso com lavoura	4(p)	73,50	4,95
Ag	Terras sem aptidão para uso agrícola, destinadas à preservação da fauna e da flora	6	45,40	3,06
<b>TOTAL</b>			<b>1485,90</b>	<b>100</b>

### **3.7 - Integração, processamento e cruzamento dos dados no SGI**

No SGI foi criado um projeto dentro do sistema de coordenadas planas (UTM), no qual foram incorporadas as informações que possibilitaram a manipulação e a apreciação dos dados. Estas informações vetoriais foram integradas neste ambiente juntamente com as imagens digitais, em forma de PI's (Planos de informações), possibilitando a obtenção das informações descritas no item 3.4, e dos dados da USLE apresentados no item 3.5, e da aptidão agrícola, item 36..

De posse dos fatores da USLE, cada fator no SGI foi representado em forma de PI independente, e georreferenciado de conformidade com as bases cartográficas utilizadas. Foi feita a integração entre os PI's através do módulo Tabulação Cruzada do SGI e a opção Cruzar, usando arquivos de regras para imagens em formato raster. Este procedimento foi adotado para a geração dos mapas de LSh (LS homogêneo), de EP (Erosão Potencial), de índices de estimativas de perdas de solos (A), de tolerância de perdas de solos, de aptidão agrícola e mapas de conflito de uso. A Figura 04 ilustra os principais procedimentos e produtos obtidos através da metodologia apresentada.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados são apresentados em forma de quadros e mapas. Os quadros apresentam os valores quantitativos e percentuais das combinações analisadas, e os mapas, a sua distribuição espacial. O organograma (Figura 04) representa, esquematicamente, as principais atividades desenvolvidas e os resultados obtidos.

### **4.1 - Dados do GPS e o georreferenciamento das imagens no SITIM**

A utilização do GPS (Trimble 4000 SST) com dois receptores possibilitou a correção dos dados pontuais obtidos pelo receptor móvel com os do receptor estacionário de posicionamento conhecido. Esta correção aproximou a precisão dos pontos para centímetros, o que melhorou significativamente o registro e a confecção do mosaico digital com as fotografias aéreas. Estes pontos estão representados no Quadro 06, constando da altitude, latitude e longitude.

Para mapeamento temático, os pontos de GPS poderiam ser dispensados, se as bases cartográficas existentes fossem compatíveis com o tamanho da área de estudo e a escala do levantamento. Mesmo considerando que este procedimento melhorou significativamente a qualidade dos dados obtidos, deve-se salientar que, para áreas muito grandes, o custo torna-se elevado em função do tempo de obtenção e de necessitar equipamento e pessoal qualificado. A utilização de receptores GPS para fins de levantamento torna-se indispensável, principalmente, onde as informações georreferenciadas são escassas ou inexistentes.



Quadro 06 PONTOS GEODÉSICOS OBTIDOS PELO RECEPTOR GPS (Global Positioning System) TRIMBLE 4000 SST DE PROJEÇÃO SAD-69

ESTAÇÃO	ALTITUDE (m)	SAD - 69		UTM	
		LAT	LON	E	N
1- PARA	-----	-25.26523651	-49.13497013	677928.374	7184267.137
2- EST 1	843,816	-26.02254231	-49.45197755	624511.222	7119238.960
3- EST 2	795,440	-25.58024308	-49.44331751	625884.305	7127317.988
4- EST 3	823,545	-25.58205252	-49.45503817	623731.835	7126781.747
5- EST 4	870,361	-25.59502740	-49.45391059	624019.247	7124017.511
6- EST 5	843,455	-25.47521477	-49.43051293	628516.393	7146070.525
7- EST 6	918,948	-26.02011118	-49.43055637	628248.867	7119950.841
8- EST 7	876,818	-26.01554646	-49.44095050	626473.252	7120141.922
9- EST 8	833,806	-25.59420260	-49.44063698	626600.156	7124246.575
10- EST 9	813,793	-25.59514925	-49.42400871	628996.367	7123931.881

O registro (georreferenciamento), realizado com auxílio do Software SITIM 340 (INPE), utilizando 6 pontos em cada fotografia, ajustou com muita precisão os pontos homólogos que foram identificados pelo GPS. Verificou-se, apenas, pequenos deslocamentos na linha de sobreposição onde não haviam referências de campo (GPS). Estes deslocamentos são atribuídos às distorções de relevo e paralaxe, que poderiam inexistir se antes tivesse sido feito o processo de ortocorreção digital das fotos.

As fotografias aéreas apresentam distorções consideráveis, referentes ao desvio do relevo e paralaxe, quando comparadas às imagens de satélite e produtos de restituição. O procedimento adotado conferiu uma adequada correção destas distorções, apresentando grande versatilidade no auxílio de entrada de dados no sistema utilizado SGI, principalmente porque foi possível relacionar os padrões de uso do solo com a imagem digitalizada, a exemplo da identificação e auxílio na interpretação do uso, manejo e práticas conservacionistas, que serviram de base para a distribuição espacial dos fatores C e P da USLE.

Com o ajuste das bases sobre o mosaico gerado pelos pontos coletados, observou-se que as bases existentes apresentaram um deslocamento de aproximadamente 150 metros no eixo X, e 226 metros no eixo Y, em relação aos pontos coletados com o GPS.

Com auxílio de aplicativos do SGI foi possível homogeneizar as bases no mesmo sistema de coordenadas, e introduzi-las no projeto através da mesa digitalizadora, o que possibilitou a

sobreposição dos planos de informação (PI's) para o processamento, interpretação e cruzamento destes na geração dos produtos, em forma de mapas e quadros.

Trabalhando com informações digitais, podemos observar algumas vantagens que apontam para o caminho tecnológico mais versátil do que os métodos convencionais (manuais). Neste sentido, podemos citar a análise conjunta de informações em diferentes formatos, a exemplo de: informações raster (imagens), vetores (drenagem, limites de sub-bacias, estradas, mapas temáticos), dados pontuais (pontos cotados, sistema de coordenadas) e dados altimétricos (curvas de nível, modelo numérico do terreno e imagem tridimensional).

Com o auxílio da informatização do sensoriamento remoto, as imagens de satélite vêm demonstrando cada vez mais sua importância, principalmente no que se refere ao planejamento de grandes áreas, a nível municipal ou regional. Estas áreas, normalmente, apresentam dimensões que praticamente impossibilitam o manuseio de fotografias aéreas nos diagnósticos das feições predominantes na paisagem, seja de ordem natural e/ou antrópica.

A utilização de imagens orbitais para mapeamentos temáticos já se tornou uma prática bastante comum em levantamentos destinados à atualização do uso e ocupação dos solos, de estradas, ferrovias, oleodutos, diagnóstico e planejamento para ocupação de novas áreas agrícolas, estudo multitemporal, auxílio para estudo e relatório de impacto ambiental (EIA-RIMA) e outras áreas de interesse específico.

#### **4.2 - Estimativa do fator topográfico homogêneo (LS<sub>h</sub>) em SGI**

A metodologia desenvolvida neste trabalho permitiu a representação espacial do fator topográfico (Mapa 05), de conformidade com a disposição das rampas na paisagem, efetuando-se o agrupamento por similaridade de valores processados e a separação quando da variação destes.

Na legenda do Mapa 01, são apresentados os valores de abrangência de cada classe, com a predominância de relevo ondulado, em 54,70% da área, seguido da classe de relevo suave ondulado com 32,63%. As áreas mais críticas, com mais de 20% de declive, comportam apenas 4,19% da bacia.



A distribuição espacial do fator topográfico, apresentada no Mapa 05, mostra a predominância de algumas classes, condicionadas pela combinação de comprimento de rampa (L) e declividade (S), bem como a forma destas na paisagem, definida pela geomorfologia.

Os aplicativos do SGI possibilitaram a geração da tabulação cruzada dos mapas de classes de LS homogêneo (LS<sub>h</sub>) com o mapa de solos. Para cada célula do Quadro 08 pode-se observar a correspondência entre as classes apresentadas em ha e em porcentagem.

Pode-se observar também a relação de algumas unidades de mapeamento com a concentração de ocorrência em determinadas classes do fator topográfico, a exemplo do Ca4, onde 13,1 dos 30,9 ha. estão contidos na classe de LS<sub>h</sub> = 1,0 e o Cd1 com 15,6 dos 43,6 ha na classe de LS<sub>h</sub> = 4,0. Ainda, a classe Ag, onde 78,9% (35,8 ha) da sua área na bacia encontra-se com valores nulos de LS<sub>h</sub>, pela simples razão de estarem situados nas planícies aluviais. Outro exemplo é dado pelos solos CL3 e Ca5 que têm 54,44% (11,3 ha.) e 65,72% (5,8 ha.) de suas áreas com valores de LS<sub>h</sub> iguais a 5,0 e 1,0, respectivamente. Porém, as condicionantes desta bacia hidrográfica evidenciaram que 64,0% da área está relacionada a apenas 4 dos 16 valores do fator topográfico, sendo as classes 1,0 + 4,0 + 5,0 + 0,0 (Quadro 8).

Os valores de LS<sub>h</sub> = 0,0 referem-se às áreas de deposição e/ou sedimentação, onde os processos erosivos são teoricamente nulos; esta classe corresponde às várzeas e adjacências. Estas áreas foram separadas com auxílio de estereoscopia e o valor de comprimento de rampa foi considerado nulo.

#### **4.3 - Erosão potencial (EP=RK\*LS<sub>h</sub>)**

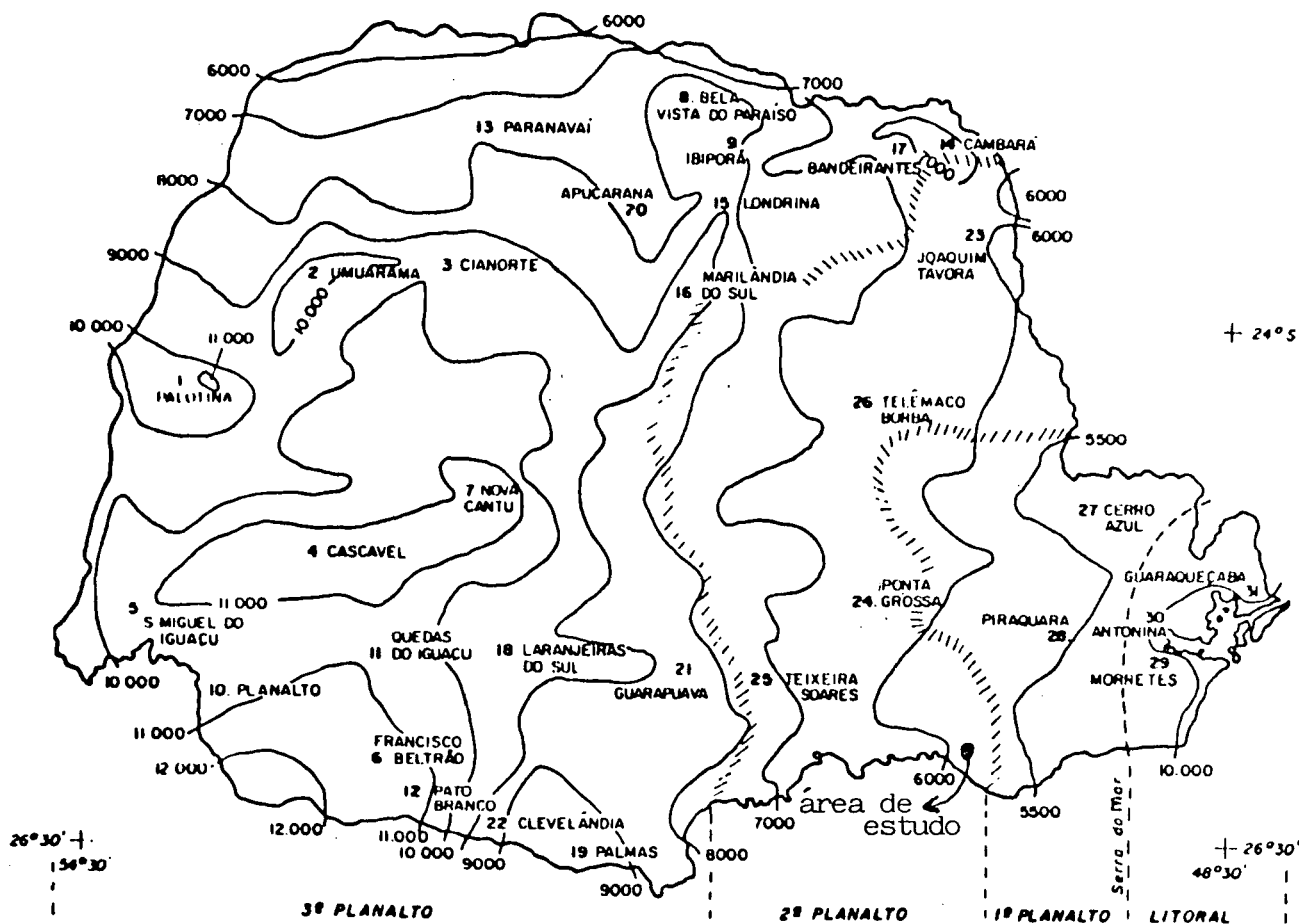
A EP considera em seu cálculo o conjunto de fatores relacionados ao meio físico e contemplados pela USLE. Os valores variam de 0 a 3915 (Quadro 09) para as área relacionadas no Quadro 08. Observamos que os maiores valores de EP correspondem aos maiores valores de LS<sub>h</sub> e RK.

No Mapa 06 é apresentada a distribuição das 5 classes de EP, designadas como Baixa 0-100, Média 100-300, Alta 300-700, Muito Alta 700-1500 e Extremamente Alta 1500-3915. Estas denominações também foram adotadas por SCOPEL (1988), divergindo apenas nos intervalos das

classes. As limitações para utilização agrícola intensiva aumentam no mesmo grau das classes de EP. Assim, as áreas com EP Baixa (0-100) podem ser utilizadas com culturas anuais que oferecem menor cobertura e proteção ao solo (maiores valores de C), sem que sejam depauperados em poucos anos de cultivo.

O valor de R calculado corresponde a  $6.127 \text{ Mj.mm.ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Este valor difere pouco dos dados apresentados por RUFINO et al. (1993), com se pode observar na Figura 05, através das linhas isoerosivas geradas com base em 144 postos meteorológicos da Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Paraná (SUREHMA). Este valor calculado do fator foi considerado único para toda a bacia, não cabendo assim possibilidade de adequá-lo ou de lhe atribuir variações, tendo em vista a inexistência de outros dados pluviométricos na região com registro de 20 anos ou mais.

Figura 05 VALORES MÉDIOS ANUAIS, EM  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , DO ÍNDICE DE EROSÃO DA CHUVA DO ESTADO DO PARANÁ, 1972-89, 3ª APROXIMAÇÃO (RUFINO et al. 1993)



Os valores de K, estimados pela equação de ROLOFF e DENARDIN (1994), para as unidades de mapeamento são apresentados no Quadro 07. Estes valores estão relacionados também ao mapa de solos (Mapa 02). Os valores da erodibilidade do solo (K), especificados para os diferentes agrupamentos de unidades de mapeamento que ocorrem na área, apresentam variações compreendidas entre 0,0173 a 0,0385 t.h/Mj.mm.

Quadro 07 VALORES DO FATOR K PARA AS UNIDADES DE MAPEAMENTO E DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS

Unidades de Mapeamento	Descrição das classes de solos (SILVA, 1993)	Valores de K (t.h/Mj.mm)
Cl1	CAMBISSOLO LATOSSÓLICO Tb profundo A moderado textura média relevo suave ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0173
Cl2	CAMBISSOLO LATOSSÓLICO Tb profundo A moderado textura média relevo ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0173
Cl3	CAMBISSOLO LATOSSÓLICO Tb profundo A moderado textura argilosa relevo ondulado substrato produtos retalhados de diabásio e sedimentos do Grupo Itararé.	0,0269
Ca1	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura média relevo suave ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0269
Ca2	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura média relevo ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0269
Ca3	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura média relevo forte ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0269
Ca4	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura argilosa relevo suave ondulado substrato diabásio.	0,0269
Ca5	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura argilosa relevo ondulado substrato diabásio.	0,0296
Ca6	CAMBISSOLO ÁLICO Tb pouco profundo A moderado textura média relevo suave ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0269
Cd1	CAMBISSOLO DISTRÓFICO Tb pouco profundo A moderado textura média relevo ondulado substrato sedimentos conglomeráticos do Grupo Itararé.	0,0269
Cd2	CAMBISSOLO DISTRÓFICO Tb pouco profundo A proeminente textura média relevo forte ondulado substrato sedimentos conglomeráticos do Grupo Itararé.	0,0296
Ra1	SOLOS LITÓLICOS ÁLICOS Tb raso A proeminente textura média relevo suave ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0367
Ra2	Associação SOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICO raso + CAMBISSOLO ÁLICO raso e pouco profundo ambos Tb A moderado textura média relevo ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0367
Ra3	Associação SOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICO raso A proeminente + CAMBISSOLO ÁLICO raso e pouco profundo Álico ambos Tb A moderado textura média relevo ondulado a forte ondulado substrato sedimentos do Grupo Itararé.	0,0367
Ag	SOLOS ALUVIAIS GLEIZADO ÁLICO Tb pouco profundo A proeminente.	0,0385

Quadro 08 ÁREAS CORRESPONDENTES AOS VALORES DE LSh (LS homogêneo) E AS

Unidade de Mapeamento	LS homogêneos												
	0.2	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	3.0	4.0	5.0	6.5	8.5	11.1
Cl1	4,7	0,9	3,7	14,1		13,5		3,9	13,1	8,0	3,9		
Cl2	3,3	0,1	5,1	3,3		3,1			14,4	8,5	7,8		
Cl3				1,0					8,3	11,3			
Ca1	24,9		16,2	50,3	6,3	0,9	0,9	23,3	47,9	7,0	16,9		1,2
Ca2	18,2	0,5	25,2	101	21	9,3	1,4	39,6	235,7	53,8	64,7	0,6	8,1
Ca3	2,5		3,5	12,1	1,6			13,1	23,4	9,1	10,0		2,7
Ca4	8,3		3,7	13,1					5,3	0,5			
Ca5	0,8			5,8					1,9	0,4			
Ca6	1,5		4,3	6,7	3,4		1,5	0,9	4,2				
Cd1	3,6	0,7	1,4	2,8		2,5		4,7	15,6	4,9	0,2		
Cd2		0,5	1,3	1,7				0,2	3,7				
Ra1			3,8	0,5				2,3	3,1				
Ra2	7,1		22,6	16,1				17,7	17,5	27,0			1,3
Ra3		0,1	4,1	2,6	1,6			13,4	7,1	27,8	3,4		0,2
Ag	0,3		1,8	2,2					4,4	0,9			
Área (ha.)	75,2	2,8	96,7	233,0	33,9	29,3	3,8	119,1	405,6	159,2	106,9	0,6	13,5
Área (%)	5,06%	0,19%	6,51%	15,7%	2,28%	1,97%	0,26%	8,01%	27,3%	10,71%	7,19%	0,04%	0,91%

O resultado da estimativa da EP (erosão potencial) está apresentado no quadro abaixo.

Quadro 09 VALORES DE "EP" E SUA OCORRÊNCIA NAS UNIDADES DE MAPEAMENTO

Unidades de Mapeamento	RK	LS homogêneos															
		0.2	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	3.0	4.0	5.0	6.5	8.5	11.1	14.4	17.4	0.0
Cl1	106	21	42	74	106		191		318	424	530	689					0
Cl2	106	21	42	74	106		191			424	530	689					0
Cl3	165				165					660	825						0
Ca1	165	33		116	165	231	297	380	495	660	825	1073		1832		2871	0
Ca2	165	33	66	116	165	231	297	380	495	660	825	1073	1403	1832	2376	2871	0
Ca3	165	33		116	165	231			495	660	825	1073		1832	2376	2871	0
Ca4	165	33		116	165					660	825						
Ca5	181	36			181					724	905						
Ca6	165	33		116	165	231		380	495	660							0
Cd1	165	33	66	116	165		297		495	660	825	1073			2376	2871	0
Cd2	181		72	127	181				543	724					2606		0
Ra1	225			158	225				675	900						3915	
Ra2	225	45		158	225				675	900	1125			2498			0
Ra3	225		90	158	225	315			675	900	1125	1463		2498	3240	3915	0
Ag	236	47		165	236					944	1180						0
Classes de EP ref. Mapa 06		0-100		100-300		300-700			700-1500			1500-3915			0-100		

Em atenção aos apontamentos de PINTO (1991), quanto à influência da declividade na EP, partiu-se para sua obtenção a partir de base 1:10.000 e equidistância de 10 m, que se mostrou mais precisa em relação à declividade gerada pela base 1:50.000 com equidistância de 20 m, quando comparado ao método tradicional. A declividade apresentada no Mapa 01 foi gerada através do sistema SGI, o qual apresentou uma concordância de 85% em relação ao método tradicional com uso de gabarito. Este índice de correlação foi obtido após vários testes de geração automática no SGI. Foram testadas varias resoluções diferentes no refinamento da imagem, antes de efetuar o fatiamento das classes de declividade.

A opção pela declividade gerada no SGI, apesar de não apresentar correlação igual a 1 com a tradicional, justifica-se pela agilidade do processo, o que possibilita a aplicabilidade mais ampla desta metodologia, sendo, entretanto, ainda necessário melhorias. Mesmo a declividade obtida

**Quadro 10 DISTRIBUIÇÃO DA EP (Erosão Potencial) ACUMULADA NAS UNIDADES PRODUTO DAS TABELAS 08 E 09**

Unidades de Mapeamento	LS homogêneos												
	0.2	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	3.0	4.0	5.0	6.5	8.5	11.1
Cl1	99,6	38,2	274,5	1494,6		2575,8		1240,2	5554,4	4240,0	2687,1		
Cl2	69,9	4,2	378,4	349,8		591,5			6105,6	4505,0	5374,2		
Cl3				165,0					5478,0	9322,5			
Ca1	821,7		1871,1	8299,5	1455,3	267,3	341,5	11533,5	31614,0	5775,0	18125,2		2197,8
Ca2	600,6	33,0	2910,6	16681,5	4851	2762,1	531,3	19602,0	155562,0	44385,0	69390,7	841,5	14835,
Ca3	82,5		404,2	1996,5	369,6			6484,5	15444,0	7507,5	10725,0		4945,1
Ca4	273,9		427,3	2161,5					3498,0	412,5			
Ca5	28,9			1049,8					1375,6	362,0			
Ca6	49,5		496,6	1105,5	785,4		569,2	445,5	2772,0				
Cd1	118,8	46,2	161,7	462,0		742,5		2326,5	10296,0	4042,5	214,5		
Cd2		36,2	164,7	307,7				108,6	2678,8				
Ra1			598,5	112,5				1552,5	2790,0				
Ra2	319,5		3559,5	3622,5				11947,5	15750,0	30375,0			3246,
Ra3		9,0	645,75	585,0	504			9045,0	6390,0	31275,0	4972,5		499,
Ag	14,2		297,4	519,2					4153,6	1062,0			
Total t/ha.ano	2479,2	166,8	12190,4	38912,6	7965,3	6939,2	1442,1	64285,8	269462,0	143264,0	111489,3	841,5	25724,3
Total %	0,30%	0,02%	1,47%	4,69%	0,96%	0,83%	0,17%	7,74%	32,46%	17,26%	13,43%	0,10%	3,10%

por gabarito pode não representar a verdade terrestre, entendendo que entre as curvas possam existir variações de declividade no terreno. Na realidade, qualquer método determinado com base em curvas de nível deve representar a inclinação média entre duas curvas e/ou pontos cotados, independente da escala e equidistância das curvas. Estes métodos são utilizados justamente para evitar as determinações no campo mais onerosas e prolongadas.

Analisando tão somente a topografia da área, podemos observar que apenas 4,19% ( Mapa 01) da microbacia apresenta relevo limitante a qualquer atividade agrícola, sendo caracterizado por relevo forte ondulado, que compreende declividades entre 20 e 45%. Pode-se observar, também, que declividades inferiores a 8% com topografia favorável à mecanização contemplam 41,11% da área.

As áreas compreendidas entre 8 e 20%, com 54,70% da área total, requerem a maior cautela em termos de ocupação. Estas áreas, quando bem manejadas, podem comportar algumas atividades agrícolas, principalmente quando executadas com tração animal, o que é típico desta região. As mesmas devem ser bem assistidas antes de sofrerem ocupação intensiva, observando-se os outros fatores contemplados pela USLE, principalmente no que se refere ao solo, tipo e intensidade do uso e das práticas conservacionistas, que influenciam diretamente na conservação do solo.

O fator topográfico LS apresentou valores de 0 a 17,4 (Quadro 08). Estes valores foram agrupados em 16 classes, com variação regular agregando os valores próximos, o que possibilitou a manipulação dos dados e a geração de um mapa de LSh (Mapa 5). Esse procedimento permitiu-nos conduzir no SGI os cruzamentos e processamentos para obtenção dos demais fatores da USLE, de forma mais rápida e sem inferência de outros erros.

Outro fator que condicionou a elaboração do mapa de LSh foi que, para cada segmento de rampa seriam obtidos diferentes valores de LS, entendendo que seria praticamente impossível trabalhar com todos os valores de forma individualizada. Mesmo quando aplicada à USLE em áreas relativamente pequenas, a tendência natural é aumentar o detalhamento, o que também produziria um grande volume de dados heterogêneos e a metodologia ficaria limitada à aplicação em rampas isoladas ou a nível de propriedades.

Fazendo-se uma analogia entre o mapa de classes de declividade (Mapa 1) e o mapa de EP (Mapa 6), percebemos com certa clareza que as áreas ocupadas com declividade entre 8 e 20 %, dividem-se em duas classes de EP (EP Alta e Muito Alta) por influência direta do fator K (solo).

Com o Mapa 06 podemos concluir que as estimativas de EP inferiores a 700 perfazem 80% da área total, sendo que destes 35,12% pertence à classe denominada de EP Alta (300-700 t/ha/ano). Este valor pode ser considerado como o máximo para uma exploração racional com culturas anuais e depende grandemente da adoção da melhor combinação dos fatores C e P, a fim de reduzirem os índices de estimativas de perdas de solos abaixo dos limites de tolerância.

O Quadro 10 é o produto dos Quadros 08 e 09, apresentando a distribuição da EP acumulada. A interação destes valores com os fatores antrópicos C e P irá representar a quantificação da redução nos índices de estimativas de perdas de solos. Observa-se, também, os índices quantitativos da EP acumulada com mais expressão nas classes de LSh 4,0, 5,0 e 6,5, totalizando 63,15% do total, sendo que principalmente as classes 5,0 e 6,5 apresentam valores de EP em níveis críticos e restritos a determinados tipos de uso do solo.

#### 4.4 - Fatores antrópicos (CP)

Nos Quadros 12, 13 e 14 apresentamos os resultados dos cálculos do fator C para as três culturas predominantes na área de estudo. No Quadro 11, estão os dados da distribuição mensal do potencial de erosão. Estes foram obtidos dos registros das chuvas da estação de Rio Negro.

Quadro 11 DISTRIBUIÇÃO MENSAL DO POTENCIAL DE EROSIÃO

Potencial de erosão											
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
0,104	0,098	0,071	0,060	0,082	0,077	0,075	0,071	0,084	0,092	0,079	0,107



Quadro 12 CÁLCULO DOS VALORES DOS FATORES CP PARA A CULTURA DE MILHO

MILHO	Época (mês)	Potencial erosão/ fase 1	Razão de perdas 2	Valor de CP			
				Unitário 1 x 2	C	P	CP
preparo / plantio	set.	0,084	0,23	0,0193			
plantio / 30 dias	out	0,092	0,19	0,0175			
30 dias / 60 dias	nov	0,079	0,17	0,0134			
60 dias / colheita	dez	0,038	0,04	0,0152			
colheita + 30 dias	abr.	0,060	0,02	0,0012			
pousio	ago.	0,305	0,003	0,0009	0,0675	0,8	0,054

Quadro 13 CÁLCULO DOS VALORES DOS FATORES CP PARA A CULTURA DE FUMO

FUMO	Época (mês)	Potencial erosão/ fase 1	Razão de perdas 2	Valor de CP			
				Unitário 1 x 2	C	P	CP
preparo / plantio	ago.	0,071	0,38	0,0270			
plantio / 30 dias	set.	0,084	0,33	0,0277			
30 dias / 60 dias	out.	0,092	0,15	0,0138			
60 dias / colheita	nov.	0,29	0,11	0,0319			
colheita + 30 dias	fev.	0,098	0,07	0,0069			
pousio	jul.	0,365	0,003	0,0011	0,1084	0,8	0,0867

Quadro 14 CÁLCULO DOS VALORES DOS FATORES CP PARA A CULTURA DE FEIJÃO

FEIJÃO	Época (mês)	Potencial erosão/ fase 1	Razão de perdas 2	Valor de CP			
				Unitário 1 x 2	C	P	CP
preparo / plantio	ago.	0,071	0,70	0,0497			
plantio / 15 dias	set.	0,042	0,55	0,0231			
15 dias / 45 dias	out.	0,134	0,29	0,0389			
45 dias / colheita	nov.	0,079	0,29	0,0229			
colheita + 30 dias	dez.	0,107	0,15	0,0161			
pousio	jul.	0,567	0,003	0,0017	0,1524	0,8	0,1219

Conforme informações coletadas em campo, aproximadamente 75% da área de culturas anuais são ocupadas com a cultura de milho, 12,5% com fumo e 12,5% com feijão. Estes índices foram considerados para a obtenção do valor de C anual pela média ponderada, assim o C para culturas anuais é 0,08323 (Quadro 15).

A consideração do fator topográfico para obtenção do fator C para as culturas anuais deve-se, principalmente, à dinâmica da variação do potencial de erosão da chuva nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas e a proteção diferenciada desta ao solo, o que não ocorre da mesma maneira em áreas ocupadas com pastagem, mata, reflorestamento, capoeira e várzea. Para estas

classes os valores de C foram obtidos através dos dados tabulados por WISCHMEIER e SMITH (1978).

Quadro 15 VALORES DE "C " E "P" PARA AS CULTURAS ANUAIS

Classe de Uso do Solo	Fator C	Fator P
Culturas anuais	0,08323	0,80

A utilização do geoprocessamento mostrou-se muito útil no processamento das informações conjugadas neste trabalho, em especial na agilidade de manipulação das imagens para a obtenção do uso e ocupação do solo. O SGI permite, com bastante facilidade, a substituição de bandas, resultando em novas composições coloridas, o que facilitou a interpretação dos padrões confirmados em campo.

O Quadro 16 é o produto da sobreposição digital das imagens (raster) do levantamento de solos (SILVA, 1993) com as classes de uso. Estes dados demonstram que as áreas utilizadas com culturas anuais ocupam parte de todas as classes de solos, inclusive os Solos Litólicos que são os mais limitantes às práticas de cultivo intensivo. Por outro lado, as áreas ocupadas por reflorestamento, que oferecem mais proteção aos solos quanto à erosão, não ocorrem nesta classe de solos. Os valores apresentados neste quadro mostram que, nesta microbacia, os solos não atingem distribuição equivalente em todas as pequenas propriedades agrícolas. Esta realidade afeta não somente a questão técnica de uso do solo, mas também a de subsistência das famílias que ocupam propriedades em áreas marginais. Podemos também observar que as únicas classes de uso presentes em todas as unidades de mapeamento são as classes de cultura anual e capoeira. Estas classes apresentam-se como complementares em sistemas de rotação de culturas com pousio (descanso temporário).

Quadro 16 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS OCUPADAS PELAS CLASSES DE USO DO SOLO NAS UNIDADES DE MAPEAMENTO

Unidade de Mapeamento SILVA (1993)	Classes de uso do solo											
	Cultura anual		Pasto plantado		Capoeira		Reflorestamento		Várzea		Mata	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cl1	13,22	0,89%	0,5	0,03%	3,7	0,25%	44,95	3,03%	0,46	0,03%	18,47	1,24%
Cl2	11,69	0,79%			8,29	0,56%	15,01	1,01%	2,15	0,14%	20,06	1,35%
Cl3	20,58	1,39%			0,32	0,02%						
Ca1	92,21	6,21%	10,70	0,72%	32,78	2,21%	27,97	1,88%	0,47	0,03%	55,24	3,72%
Ca2	192,77	12,98%	35,45	2,39%	59	3,97%	111,27	7,49%	1,22	0,08%	243,88	16,41%
Ca3	29,63	1,99%	2	0,13%	10,41	0,70%	11,14	0,75%			35,55	2,39%
Ca4	16,74	1,13%			7,69	0,52%	4,22	0,28%			1,9	0,13%
Ca5	6,81	0,46%			3,25	0,22%						
Ca6	2,5	0,17%			4,98	0,34%	11,11	0,75%	0,39	0,03%	13,45	0,91%
Cd1	12,7	0,85%	3,56	0,24%	9,21	0,62%	0,89	0,06%			17,24	1,16%
Cd2	7,68	0,52%			0,34	0,02%					1,13	0,08%
Ra1	3,98	0,27%	0,24	0,02%	0,38	0,03%					5,36	0,36%
Ra2	53,33	3,59%	3,01	0,20%	34,31	2,31%					29,52	1,99%
Ra3	12,35	0,83%	1,97	0,13%	10,19	0,69%	17,25	1,16%			32,11	2,16%
Ag	11,42	0,77%	1,21	0,08%	3,61	0,24%			28,47	1,91%	0,25	0,02%
TOTAL	487,75	33,59%	57,33	3,95%	185,42	12,76%	245,99	16,94%	33,69	2,27%	475,70	32,76%

O Quadro 17 apresenta a ocorrência das classes de uso atual do solo nas classes de EP. Nestes dados podemos observar que a interação entre o uso e EP está presente em todas as possíveis combinações, o que, conforme o discutido anteriormente, não é o mais desejável. O ideal seria que as classes de uso com maiores valores de CP ocupassem as áreas com os menores valores de EP, e vice-versa.

O IT (Índice Tolerável de Perda de Solo) apresentado no Quadro 04 e os valores de EP contidos em cada célula do Quadro 09, permite-nos concluir que os valores de  $CP_{Tolerável}$  podem variar de 0,5952 ( $IT=12,5/EP=21$ ) para o menor valor, e de EP a 0,00046 ( $IT=1,8/EP=3915$ ) ao maior valor de EP. Com isso, podemos constatar que os valores de CP ( $CP_{Real}$ ) utilizados neste trabalho (Quadros 03 e 15), estão compreendidos no intervalo de  $CP_{Tolerável}$ . Portanto, o ordenamento das classes de uso do solo na bacia é que vai determinar se os índices de expectativas de perdas de solos superam os limites de IT.

Quadro 17 ÁREAS CORRESPONDENTES AO USO ATUAL E CLASSES DE EROÇÃO POTENCIAL

EP t/ha.ano	Classes de uso atual do solo										Total	
	culturas anuais		pastagem		capoeira		reflorestamento		mata			
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0-100	62,53	4,31	5,54	0,38	39,70	2,73	36,82	2,53	68,71	4,73	213,30	14,69
100-300	138,33	9,52	16,84	1,16	63,71	4,39	68,30	4,70	90,59	6,24	377,70	26,01
300-700	187,51	12,91	28,44	1,96	57,50	3,96	56,20	3,87	190,65	13,13	520,30	35,82
700-1500	85,71	5,90	3,46	0,24	22,02	1,52	69,71	4,80	95,59	6,58	276,42	19,04
1500-3915	13,73	0,94	3,08	0,21	2,55	0,17	14,97	1,03	30,16	2,08	64,49	4,44
Total	487,75	33,59	57,33	3,95	185,42	12,76	245,99	16,94	475,70	32,76	1452,21	100%

O fator "comprimento de rampa (L)" pode sofrer redução significativa, relacionada às práticas conservacionistas (P) através do terraceamento. Esta prática, geralmente, está relacionada a áreas agrícolas, onde, de certa forma, são menos expressivas as reduções nos índices de estimativas de perdas de solo com culturas de ciclo curto (culturas anuais), que assumem maiores valores de C.

#### 4.5 - Índices de estimativas de perdas de solos (IEPS=A) e o índice tolerável

De posse dos dados de EP e com os valores de C e P, apresentados nos Quadro 03 e 15, procedeu-se, em ambiente SGI, ao desenvolvimento de arquivo de regras para a apuração dos índices de estimativas de perdas de solo (IEPS). Dessa forma foram geradas 7 classes de índices de estimativas de erosão, cujos intervalos são apresentados no Quadro 18. Para facilitar a análise conjunta, foi gerado no SGI a tabulação cruzada do PI (Plano de Informação) dos índices de estimativas de perdas de solo com o PI de uso atual do solo (Quadro 18).

As unidades de mapeamento descritas no Quadro 07, foram agrupadas em três classes quanto aos índices de tolerância de perdas de solos (IT). Este agrupamento corresponde aos Cambissolos com caráter Latossólico IT=12,5, Cambissolos Álicos e Distróficos IT=7,5 e Solos Litólicos IT=1,8 t/ha.ano.

PINTO (1991) utilizou a relação entre as perdas relativas de solos e os limites de tolerância de perdas (RKLSCP)/(IT) para classificar as áreas como não críticas quando os valores da relação variam de 0-1, e as áreas denominadas críticas quando os valores da relação estabelecida

forem maiores do que 1. Nas áreas críticas, as expectativas de erosão evidenciam maior fragilidade e susceptibilidade à erosão hídrica.

Neste trabalho procurou-se racionalizar mais a relação entre IEPS e IT, utilizando aplicativos do SGI. Esta relação foi estabelecida classificando o uso em três níveis de adequação, representados no Mapa 08 e definidos como:

**1- Uso racional** - este nível corresponde às áreas contidas nas colunas 1 do Quadro 21. Foram classificadas, neste nível de uso, as áreas que apresentaram valores de IEPS < IT. Estabeleceu-se um intervalo para cada classe de IT com valores mínimos de IEPS; assim, foi considerado uso racional para IEPS < 1,8 quando IT=1,8, e IEPS entre 4,5 a 7,5 quando IT=7,5 e IEPS entre 7,5 a 12,5 quando IT=12,5.

**2- Subutilizado** - este nível corresponde aos valores contidos nas colunas 2 do Quadro 21. Neste nível estão as áreas com as menores expectativas de erosão, contemplando os valores de IEPS < 4,5 quando IT=7,5 e áreas com IEPS < 7,5 quando IT=12,5.

**3- Superutilizado** - este nível corresponde aos valores contidos nas colunas 3 do Quadro 21. Este nível é equivalente às áreas denominadas críticas por PINTO (1991) quando IEPS > IT.

Quadro 18 ÁREAS PERTENCENTES ÀS CLASSES DAS ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLOS (USLE) E RESPECTIVO USO

IEPS USLE t/ha.ano	Classes de uso atual do solo										Total	
	culturas anuais		pastagem		capoeira		reflorestamento		mata			
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0 - 1,8	13,52	0,93	7,34	0,51	112,45	7,74	245,99	16,94	475,70	32,76	854,95	58,88
1,8 - 4,5	43,66	3,01	15,53	1,07	70,42	4,85					129,67	8,92
4,5 - 7,5	22,41	1,54	27,92	1,92	0,93	0,06					51,28	3,54
7,5 - 12,5	119,04	8,20	2,94	0,20	1,62	0,11					133,60	8,51
12,5 - 20	19,27	1,33	1,16	0,08							20,42	1,40
20 - 50	192,87	13,28	2,44	0,17							195,31	13,45
> 50	76,98	5,30									76,98	5,30
<b>Total</b>	<b>487,75</b>	<b>33,59</b>	<b>57,33</b>	<b>3,95</b>	<b>185,42</b>	<b>12,76</b>	<b>245,99</b>	<b>16,94</b>	<b>475,70</b>	<b>32,76</b>	<b>1.452,21</b>	<b>100,00</b>

No mapa de adequação do uso com base nos IEPS/IT (Mapa 08), constata-se que para a área de estudo 16,51% da bacia do rio Cascavel corresponde ao nível de uso racional, 51,69% foi classificado como subutilizado e 31,80% como superutilizado. O Quadro 18, produto da tabulação cruzada dos PIs "IEPS" e "uso atual do solo", evidencia que grande parte das classes de uso do solo com os maiores valores de CP estão relacionadas aos maiores valores de IEPS. As culturas anuais

apresentam 19,91% dos 33,59% como áreas consideradas críticas (onde os valores de EP não comportam valores de CP de culturas anuais) com IEPS > 12,5 t/ha.ano. Estas áreas estão certamente contidas no nível superestimado para qualquer classe de IT. Por outro lado, o nível subutilizado contempla grande parte das áreas ocupadas com mata e reflorestamento, com 49,70% dos 58,88% dos IEPS de 0-1,8 t/ha.ano (Quadro 18).

#### **4.6 - Aptidão agrícola e uso do solo**

A metodologia de avaliação das terras de RAMALHO FILHO et al. (1983), conforme demonstrado no trabalho de SILVA (1993), é a mais adequada para a avaliação das terras quanto à aptidão agrícola, ao incorporar parte substancial das preocupações dos agricultores, e ao diferenciar os níveis de manejo e as respectivas classes de viabilidade de melhoria.

Com a entrada dos dados de solos, através de aplicativos do SGI, obteve-se o mapa de aptidão agrícola das terras (Mapa 03). O Quadro 19 mostra o produto da tabulação cruzada da aptidão agrícola e do uso do solo. Com isso, detectou-se que dos 33,59% das áreas com culturas anuais, 30,30% estão de acordo com a aptidão agrícola. As áreas de pastagem são concordantes em apenas 0,13% dos 3,95% da área total da bacia. Pode-se ainda observar que dos 31,91% da área ocupada com mata, apenas 0,92% são coincidentes com a aptidão do grupo 6, sendo que os restantes 30,99% pertencem à classe subutilizada. Neste grupo estão presentes, também, as áreas de várzeas que foram classificadas como áreas de preservação da fauna e da flora. Devido à fragilidade do ecossistema local esta classe de uso apresenta concordância em 2% dos 2,27%.

Quadro 19 ÁREAS CLASSIFICADAS CONFORME A APTIDÃO AGRÍCOLA E CLASSES DE USO DO SOLO

Aptidão	Classes de uso atual do solo											
	mata		capoeira		refloresta- mento		pastagem		culturas anuais		várzea	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>2(b)c</b>	74,72	5,02	42,75	2,88	76,87	5,17	11,05	0,74	120,87	8,14	0,81	0,05
<b>3(bc)</b>	267,63	18,00	70,39	4,74	128,26	8,63	34,90	2,34	234,10	15,72	3,00	0,22
<b>3(b)</b>	81,74	5,50	53,17	3,58	11,70	0,80	8,20	0,55	95,64	6,44		
<b>4p</b>	5,34	0,35	0,35	0,02			0,20	0,01	3,81	0,25		
<b>4(p)</b>	32,94	2,22	10,14	0,68	17,39	1,16	1,79	0,12	19,10	1,28		
<b>6</b>	13,70	0,92	8,68	0,58	11,75	0,79	1,19	0,08	14,76	1,00	29,88	2,00
<b>Total</b>	475,70	31,91	185,42	12,68	245,99	16,94	57,33	3,95	487,75	33,59	33,69	2,27

Para melhor entender a interação entre o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras e com o uso do solo, elaborou-se um arquivo de regras através do aplicativo cruzar entre os PIs de aptidão e uso, obtendo-se como produto o mapa de adequação do uso definida pela aptidão agrícola das terras em relação ao uso atual do solo (Mapa 09). Tendo em vista que a ocupação do solo não está diretamente vinculada à classificação da aptidão agrícola e sim à ocupação efetivada pelos agricultores, certamente existem pontos de concordância, bem como, pontos de discordância de uso. O grau de adequação foi conjugado em três classes, como segue:

- 1- **Uso racional** - foram consideradas como uso racional as áreas ocupadas com culturas anuais que ocupam áreas dos grupos de aptidão 2 e 3. Para a classe de pastagem quando ocupa áreas do grupo 4 e para as classes de mata, várzea e reflorestamento quando ocupam o grupo 6.
- 2- **Subutilizado** - nesta classe foram designadas as áreas dos grupos 2 e 3 quando ocupadas com pastagem, mata, reflorestamento e várzea, as áreas do grupo 4 ocupadas por mata, reflorestamento e várzea, bem como a classe de capoeira que está toda contida no grupo 4 pois trata-se de áreas ociosas que não apresentam nenhuma prática de manejo e exploração racional. Para a concepção desta classe, foi adotado o critério de separar as áreas que estão sendo exploradas em classe de uso menos restrita do que a classe de aptidão a que ela pertence.

**3- Superutilizado** - esta classe esta sendo utilizada mais intensivamente do que a recomendação da aptidão. Portanto, a composição desta é fruto da combinação das áreas do grupo 4, quando ocupado com culturas anuais, e das áreas do grupo 6 ocupadas com culturas anuais e /ou pastagem..

Para a avaliação da adequação do uso quanto à aptidão nos três níveis especificados, faz-se necessário algumas considerações:

1º- Na classificação da aptidão não existe uso racional para a classe designada de capoeira (pousio). Portanto, considerou-se como subutilizada para todos os grupos de aptidão.

2º- A aptidão é apresentada a nível de grupo, para possibilitar os comparativos com a USLE. Todavia os níveis de manejo que o método prevê serão considerados na adequação das áreas de uso mais restrito.

3º- A classe de uso ocupada por reflorestamento foi considerada como do grupo 6 na classificação da aptidão, por ser a mais próxima quanto à proteção do solo e por estabelecer-se posteriormente, neste trabalho, índices comparativos entre a adequação do uso avaliados pela aptidão e pela USLE. Na determinação dos fatores CP da USLE foi estabelecido uma relação de igualdade entre a classe de mata e reflorestamento quanto à proteção do solo.

Quadro 20 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS EM RELAÇÃO À "EP" E APTIDÃO AGRÍCOLA

Aptidão	Classes de Erosão Potencial (EP=RKLS <sub>h</sub> ) t/ha/ano										TOTAL	
	0 - 100		100 - 300		300 - 700		700 - 1500		1500 - 3915		ha	%
Agrícola	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>2(b)c</b>	72,2	4,86%	118,00	7,94%	105,50	7,10%	24,02	1,62%	7,68	0,52%	327,40	22,03%
<b>3(bc)</b>	81,71	5,50%	168,75	11,36%	318	21,40%	135,15	9,10%	34,3	2,31%	737,91	49,66%
<b>3(b)</b>	32,63	2,20%	61,86	4,16%	74,51	5,01%	68,03	4,58%	13,42	0,90%	250,45	16,86%
<b>4p</b>			4,18	0,28%	2,29	0,15%	3,07	0,21%	0,18	0,01%	9,72	0,65%
<b>4(p)</b>	6,39	0,43%	9,39	0,63%	14,92	1,00%	41,77	2,81%	8,90	0,60%	81,37	5,48%
<b>6</b>	48,90	3,29%	18,34	1,23%	6,60	0,44%	5,22	0,35%			79,06	5,32%
<b>TOTAL</b>	241,83	16,27%	380,52	25,61%	521,86	35,12%	277,26	18,66%	64,48	4,34%	1485,90	100,00%

No Quadro 20, são apresentadas as parcelas classificadas concomitantemente quanto à EP e conforme a aptidão agrícola das terras. Estes dados mostram que, para os grupos de aptidão 2 e 3 (aptos para lavouras), as áreas apresentam menor restrição aos níveis de manejo quando estes forem combinados aos menores valores de EP. Assim, dos 16,27% da área da classe de EP (0 - 100),



12,56% são concordantes e comportam os valores de CP, adotados neste trabalho para a classe culturas anuais. Para a classe de EP (100 - 300), os níveis de manejo da aptidão devem ser cuidadosamente equacionados no sentido preventivo quando utilizados com culturas anuais. Nesta situação estão presentes 23,46% dos 25,61% da área. Na classe de EP (300 - 700), dos 35,12% da área, 33,51% correspondem aos grupos de aptidão 2 e 3. Estas áreas não são concordantes com os valores de CP estimados para a classe de culturas anuais, adotados neste trabalho. Portanto, se as restrições estabelecidas pela aptidão agrícola não forem suficientemente eficazes no sentido preventivo quanto à utilização com lavouras, estas áreas devem ser submetidas a grupos de aptidão mais restritos.

Para o grupo 4 de aptidão, verifica-se que na classe 4(p), dos 5,48%, 2,81% está contido na classe de EP (700 - 1500). Estas áreas herdam restrição quanto ao uso, que podem sofrer alteração inferida por um nível de manejo mais adequado. Se considerarmos o valor de CP adotado neste trabalho, as estimativas de perdas de solos certamente seriam superiores aos limites de tolerância. Porém, se a ocupação destas áreas for efetivada de acordo com as restrições, o valor de P pode reduzir as estimativas em níveis toleráveis e, então, o uso indicado pela aptidão mostra-se adequado.

#### **4.7 - Aptidão agrícola versus uso e os índices de estimativas de perdas de solos versus tolerância**

Através da mesa digitalizadora, efetuou-se a entrada de informações, tais como: curvas de nível, drenagem, mapa de solos e limite da microbacia. A integração destas informações, feitas no SGI, utilizando os aplicativos de edição, ajuste de linhas, poligonalização, rasterização, vetorização, refinamento de grade regular, cálculo de áreas, tabulação cruzada e o módulo cruzar + arquivos de regra, foram os artificios que permitiram conjugar e analisar simultaneamente vários PIs. Para sintetizar a análise conjunta das informações utilizadas neste trabalho, elaborou-se os Quadros 21, 22 e 23 em ambiente SGI, conforme metodologia descrita no item 3.7.

Observa-se no Quadro 21 duas grandes partições: a primeira representa as áreas onde a aptidão agrícola apresenta uso racional com 16,09% (colunas 1) em relação às classes de tolerância e, com áreas subutilizadas 52,08% (colunas 2); na segunda partição, observam-se as áreas super-

utilizadas (colunas 3) com 31,04% da área total, onde 29,57% destas estão contidas em solos com baixos níveis de tolerância de perdas de solos, consequentemente, com maior limitação quanto à aptidão agrícola.

No Quadro 22, partição 1, observam-se as áreas de agricultura e pastagem com o uso compatível com a aptidão agrícola, onde os IEPS (Índices de Estimativas de Perdas de Solo) através da USLE estão abaixo da tolerância de perdas. A grande maioria das áreas ocupadas por agricultura estão inseridas na partição 2 dos quadros (Quadros 21 e 22), onde o uso não corresponde com a aptidão frente aos IEPS, extrapolando os níveis de tolerância. Nesta partição, a aptidão deve ser rebaixada para subgrupos mais restritos, a fim de que a aptidão seja compatibilizada com os índices de estimativas de perdas de solo.

Conclui-se que, na área de estudo, os índices de estimativas da USLE restringem mais a utilização da terra para a agricultura do que o proposto pela aptidão agrícola, estando esta discrepância associada ao peso relativo dado aos fatores da USLE quanto à erosividade regional da chuva (R), declividade (S) comprimento da rampa (L) e fragilidade do solo à erosão (K). Isso mostra que a consideração dos fatores mencionados é de fundamental importância no julgamento e avaliação das terras marginais para agricultura.

No Quadro 23, podemos observar que a maior parte das áreas ocupadas com mata e reflorestamento estão inseridas nos grupos 2 e 3 de aptidão agrícola, correspondentes aos menores índices de estimativas de perdas de solos, classe de 0-1,8 t/ha.ano. Esta situação demonstra que as classes de mata e reflorestamento que ocorrem em áreas onde os índices de tolerância de perdas de solos (IT) estão classificados nos IT=12,5 e IT=7,5 evidenciam áreas classificadas como subutilizadas (Quadro 21 colunas 2). É importante salientar este fato, não no sentido de que os solos devam ser mais expostos aos riscos de erosão, mas sim, para que haja um melhor ordenamento no processo de ocupação do solo através do planejamento, prevendo estas possíveis situações. Muitas vezes, por necessidade, o agricultor, por decisão própria, destina áreas marginais às lavouras onde, certamente, terá que fazer maiores investimentos para evitar riscos de erosão excessiva. Não obstante a necessidade vital das áreas de preservação, a implantação de áreas reflorestadas fruto da ação antrópica intencional tem, em muitos casos as condições sócio-econômicas prevalecendo sobre a questão técnica.

Na Figura 04, podemos observar os principais passos e recursos utilizados para a obtenção dos Quadros, mapas e figuras. Podemos observar que poucas destas etapas foram executadas fora do SGI/SITIM. Isso demonstra a grande versatilidade dos equipamentos para a obtenção dos dados em formato raster e vetorial fechado (polígonos).

Observa-se, no canto superior direito de alguns retângulos (Figura 04) o número de classes (variáveis) que contém cada PI. Podemos analisar simultaneamente no Quadro 21 as 6 classes de aptidão agrícola (Mapa 3), com as 7 classes de IEPS (Mapa 7), com as 3 classes de IT (Quadro 10), com as 3 classes de adequação do uso da USLE (Mapa 9), totalizando 378 possíveis combinações geradas por arquivo de regras e SGI. Este volume de dados praticamente impossibilita a sua obtenção por métodos convencionais, tanto na representação espacial por mapas como nos valores quantitativos apresentados nos quadros.

Quadro 21 ÁREAS COM USO ADEQUADO ESTIMADAS PELOS ÍNDICES DA USLE E APTIDÃO AGRÍCOLA

Estimativas de perdas USLE t/ha.ano	Classe de Aptidão Agrícola das Terras	Classes de tolerância de perdas de solos									TOTAL		
		CL-tolerância 12,5 t/ha.ano			Ca-tolerância 7,5 t/ha.ano			Re-tolerância 1,8 t/ha.ano			ha	%	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3			
P A R T I Ç Ã O  1	0 - 1,8	2(b)c		67,19			121,24					188,43	12,98%
		3(bc)		42,68			399,01					441,69	30,42%
		3(b)					71,57			52,01		123,58	8,51%
		4p								5,64		5,64	0,39%
		4(p)						1,46		52,73		54,19	3,73%
		6						41,45				41,45	2,85%
	1,8 - 4,5	2(b)c		3,92		29,42						33,34	2,30%
		3(bc)		2,96		49,64						52,6	3,62%
		3(b)				16,48					20,26	36,74	2,53%
		4(p)				0,15					6,62	6,77	0,47%
		6				0,18						0,18	0,01%
		4,5 - 7,5	2(b)c		2,36		5,76						8,12
	3(bc)			2,48		16,37						18,85	1,30%
	3(b)					3,88					15,77	19,65	1,35%
	4(p)					0,44					4,22	4,66	0,32%
	7,5 - 12,5	2(b)c						39,45				39,45	2,72%
		3(bc)	0,98					55,26				56,24	3,87%
		3(b)						11,64			7,55	19,19	1,32%
4p										3,15	3,15	0,22%	
4(p)							2,90			0,64	3,54	0,24%	
6							2,03				2,03	0,14%	
P A R T I Ç Ã O  2	12,5 - 20	2(b)c					1,85				1,85	0,13%	
		3(bc)						6,75			6,75	0,46%	
		3(b)						0,72			8,44	9,16	0,63%
		4(p)									0,86	0,86	0,06%
		6									1,81	1,81	0,12%
	20 - 50	2(b)c			6,82			37,38				44,2	3,04%
		3(bc)			14,96			98,21				113,17	7,79%
		3(b)						19,66			9,32	28,98	2,00%
		4p									0,52	0,52	0,04%
		4(p)						2,84			4,71	7,55	0,52%
6							0,89				0,89	0,06%	
> 50	2(b)c						10,85				10,85	0,75%	
	3(bc)			10,99			34,13				45,12	3,11%	
	3(b)						6,66			6,49	13,15	0,91%	
	4p									0,35	0,35	0,02%	
	4(p)						0,95			2,83	3,78	0,26%	
	6									3,73	3,73	0,26%	
ha.		0,98	121,59	32,77	122,32	634,73	332,17	110,38	0	97,27	1452,21		
%		0,07%	8,37%	2,26%	8,42%	43,71%	22,87%	7,60%	0,00%	6,70%		100,00%	

\* coluna 1 - uso racional, 2 - subutilizado e 3 - superutilizado

Quadro 22 PARCELAS RELATIVAS ÀS CULTURAS ANUAIS E PASTAGEM FRENTE ÀS CLASSES DE TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLOS, APTIDÃO AGRÍCOLA E OS ÍNDICES DE ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLOS DA USLE

Estimativas de perdas USLE t/ha.ano	Classe de Aptidão Agrícola das Terras	Classes de tolerância de perdas de solos							
		CL- tolerância 12,5 t/ha.ano		Ca - tolerância 7,5 t/ha.ano		Re - tolerância 1,8 t/ha.ano			
		agricultura	pastagem	agricultura	pastagem	agricultura	pastagem		
PARCELAS ANUAIS E PASTAGEM	0 - 1,8	2(b)c	0,29		0,99	1,09			
		3(bc)	0,23		2,07	4,61			
		3(b)			0,12	0,58	2,72	0,06	
		4p							
		4(p)			0,22			0,39	
		6			0,02				
	1,8 - 4,5	2(b)c	3,42	0,50	18,70	2,43			
		3(bc)	2,68		8,27	11,97			
		3(b)			4,61	0,48	5,96	0,15	
		4(p)							
		6			0,02				
		4,5 - 7,5	2(b)c	2,35			5,76		
	3(bc)		2,48			15,69			
	3(b)					3,62	13,92	1,85	
	4(p)				0,44		3,22	1,00	
	7,5 - 12,5		2(b)c			38,98	0,46		
			3(bc)	0,98		53,72	0,79		
		3(b)			10,85	0,07	6,95	0,60	
4p						2,94	0,21		
4(p)				2,75		0,41	0,24		
6				1,46					
12,5 - 20	2(b)c			1,85					
	3(bc)			6,03	0,72				
	3(b)			0,71	0,01	8,17	0,27		
	4(p)					0,70	0,16		
	6								
	20 - 50	2(b)c	6,82		36,58	0,81			
3(bc)		14,96		97,09	1,12				
3(b)				19,14	0,51	9,32			
4p						0,52			
4(p)				2,84		4,71			
6				0,81					
2 > 50	2(b)c			10,85					
	3(bc)	10,99		34,13					
	3(b)			6,66		6,49			
	4p					0,35			
	4(p)			0,95					
	6					2,83			

Quadro 23 PARCELAS PERTENCENTES ÀS CLASSES DE USO DO SOLO E APTIDÃO AGRÍCOLA E OS ÍNDICES DE ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLOS DA USLE

Estimativas de perdas USLE t/ha.ano	Classe de Aptidão Agrícola das Terras	Classes de uso do solo (ha)				
		culturas anuais	pastagem	capoeira	reflorestamento	mata
0 - 1,8	2(b)c	1,28	1,09	34,46	76,89	74,72
	3(bc)	2,30	4,61	39,30	128,26	267,23
	3(b)	2,84	0,64	26,66	11,70	81,75
	4p			0,29		5,35
	4(p)	0,22	0,39	3,24	17,39	32,95
	6	6,88	0,62	8,50	11,75	13,70
1,8 - 4,5	2(b)c	22,12	2,93	8,28		
	3(bc)	10,95	11,97	29,68		
	3(b)	10,57	0,63	25,53		
	4(p)	0,02		6,75		
	6			0,18		
4,5 - 7,5	2(b)c	2,35	5,76			
	3(bc)	2,48	15,69	0,67		
	3(b)	13,92	5,47	0,26		
	4(p)	3,66	1,00			
7,5 - 12,5	2(b)c	38,98	0,46			
	3(bc)	54,70	0,79	0,75		
	3(b)	17,80	0,67	0,72		
	4p	2,94	0,21			
	4(p)	3,16	0,24	0,15		
	6	1,46	0,57			
12,5 - 20	2(b)c	1,85				
	3(bc)	6,03	0,72			
	3(b)	8,88	0,28			
	4(p)	0,70	0,16			
	6	1,81				
20 - 50	2(b)c	43,40	0,81			
	3(bc)	112,05	1,12			
	3(b)	28,46	0,51			
	4p	0,52				
	4(p)	7,55				
	6	0,89				
> 50	2(b)c	10,85				
	3(bc)	45,12				
	3(b)	13,15				
	4p	0,35				
	4(p)	3,78				
	6	3,73				

#### 4.8 - Análise e monitoramento da ação antrópica (fatores C e P) e os métodos utilizados

Para melhor referenciar os dois métodos, vamos nominá-los como o método da USLE e o método da Aptidão. Estes foram processados e analisados no SGI de forma individualizada nos capítulos 4.5 e 4.6, onde as considerações necessárias foram feitas. Podemos ainda analisá-los em conjunto, priorizando os fatores antrópicos de uso e ocupação do solo (C), bem como as práticas conservacionistas (P).

O Quadro 24 possibilita a visualização dos níveis de concordância entre o método da USLE e o método da Aptidão, considerando como concordantes as áreas classificadas com a mesma denominação, as quais totalizam 53,10% da área. No entanto, a evidência mais relevante é observada nas áreas subutilizadas, com 48% das áreas em concordância entre os dois métodos. Portanto, as áreas onde os indicativos dos métodos não foram os mesmos, totalizam 46,90%. A pequena diferença nos totais das classes no método de Aptidão em relação aos apresentados no Mapa 9, deve-se à exclusão das áreas ocupadas com solos aluviais.

Quadro 24 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS SEGUNDO A APTIDÃO AGRÍCOLA E USO DO SOLO, E ÍNDICES DE PERDAS DE SOLOS PELA USLE

Estimativas da USLE x tolerância de perdas	Aptidão agrícola x Uso atual do solo							
	Uso racional		Subutilizado		Superutilizado		Total	
	ha.	%	ha.	%	ha.	%	ha.	%
Uso racional	37,60	2,59	199,34	13,72	2,50	0,20	239,44	16,51
Subutilizado	41,47	2,87	707,02	48,68	2,15	0,14	750,94	51,69
Superutilizado	403,66	27,80	31,67	2,18	26,50	1,82	461,83	31,80
<b>Total</b>	<b>483,03</b>	<b>33,26</b>	<b>938,03</b>	<b>64,58</b>	<b>31,15</b>	<b>2,16</b>	<b>1452,21</b>	<b>100,00</b>

As áreas divergentes nos permite concluir que na classe subutilizada pelo método da Aptidão, com 13,72%, se submetida ao uso racional definido por este método, certamente irá somar-se aos 27,80% das áreas contidas na classe superutilizado pelo método da USLE. Esta evidência

permite-nos concluir que, o método da Aptidão mostrou-se menos severo nas limitações para um uso racional do que o método da USLE. Estes índices são baseados nos dados equacionados pelos métodos. Portanto, se as restrições incorporadas através dos grupos de aptidão 2 e 3 forem realmente minimizadas com a utilização de terraceamento, plantio em nível, cultivo mínimo (plantio direto) e cordões vegetados, numa segunda análise os valores de CP da USLE também seriam substancialmente ajustados, e os índices de discordância diminuiriam.

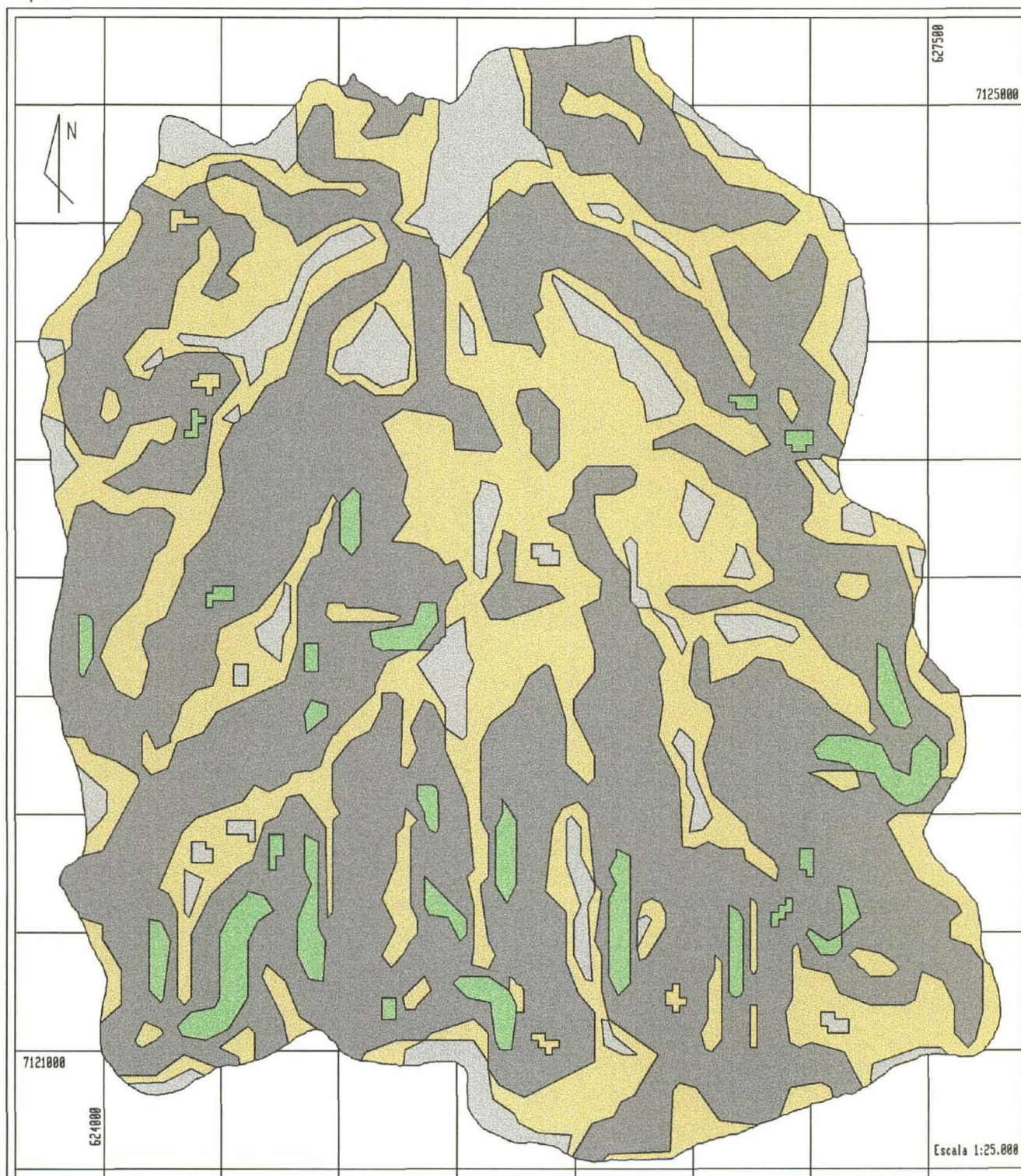


## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:





- através de aplicativos do Sistema Geográfico de Informações (SGI) e com arquivos de regras, foi possível a obtenção, quantificação e a representação espacial automatizada dos fatores da USLE, em formato raster e vetorial;
- dos fatores da USLE, somente o fator topográfico (LS<sub>h</sub>) apresentou limitações na sua representação cartográfica, por apresentar formatos distintos em seus sub-fatores: a declividade (S) no formato raster, e o comprimento das pendentes (L) no formato vetorial (polígono aberto);
- tanto o método da USLE como o da Aptidão Agrícola, apresentaram predominância de ocorrência das classes de uso "mata", "capoeira" e "reflorestamento", nas áreas consideradas como subutilizadas e de "agricultura" nas áreas superutilizadas;
- os métodos estudados apresentaram maior semelhança nas áreas classificadas como subutilizadas, com 48,68% de áreas em comum.
- os resultados apresentados no quadro 24 evidenciam grande concordância entre os métodos ( 53,10%), porém, a USLE mostrou-se mais rigorosa em termos de adequação do uso dos solos, com 31,8% das áreas qualificadas como superutilizadas contra 2,16% apontados pela Aptidão.

Mapa 01



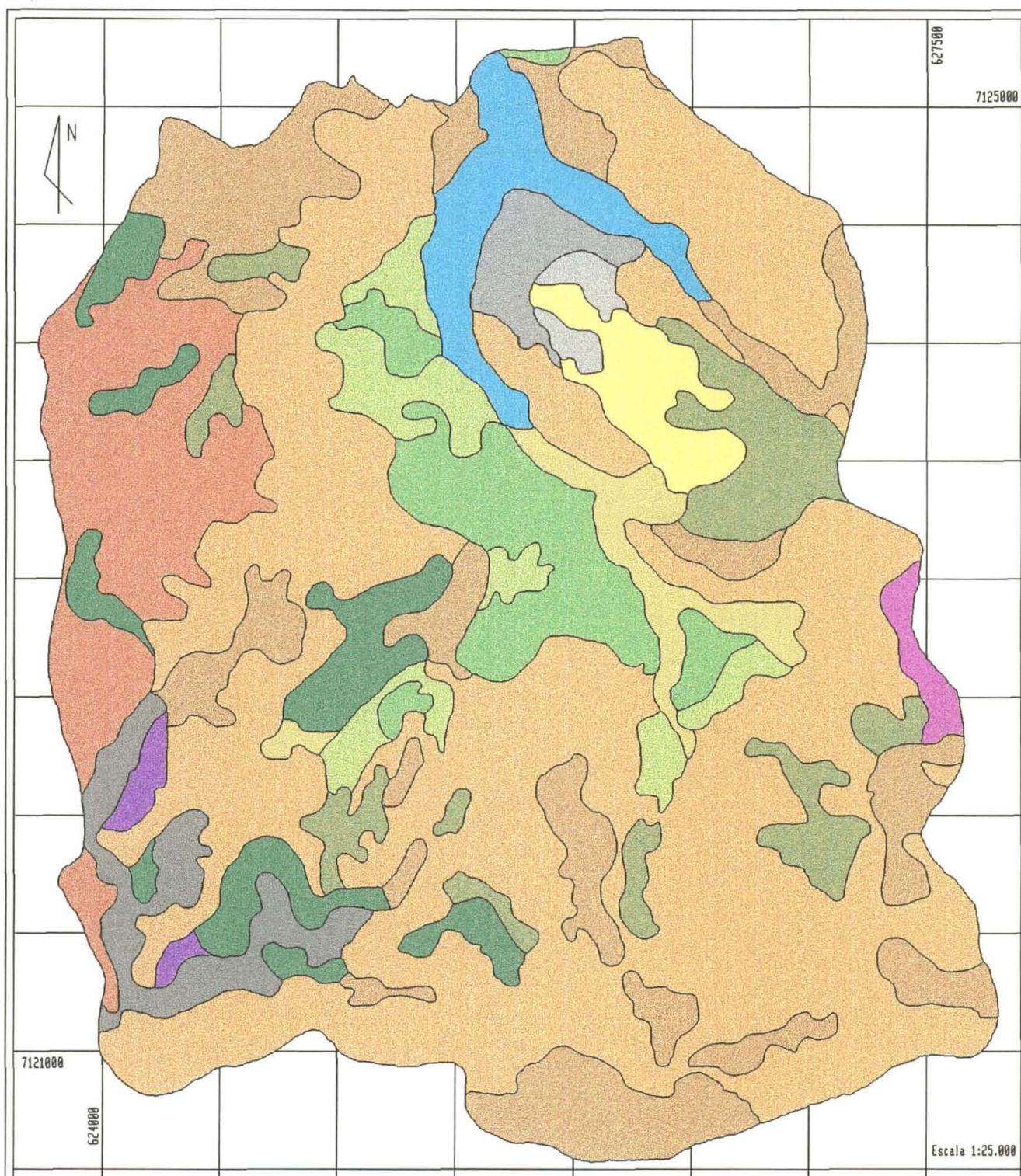
MAPA DE CLASSES DE DECLIVE

## LEGENDA

		ha.	%
	0-3%	126,02	8,48
	3-8%	484,83	32,63
	8-20%	812,84	54,70
	20-45%	62,21	4,19

Fonte: MOTTER, 1996.

Mapa 02

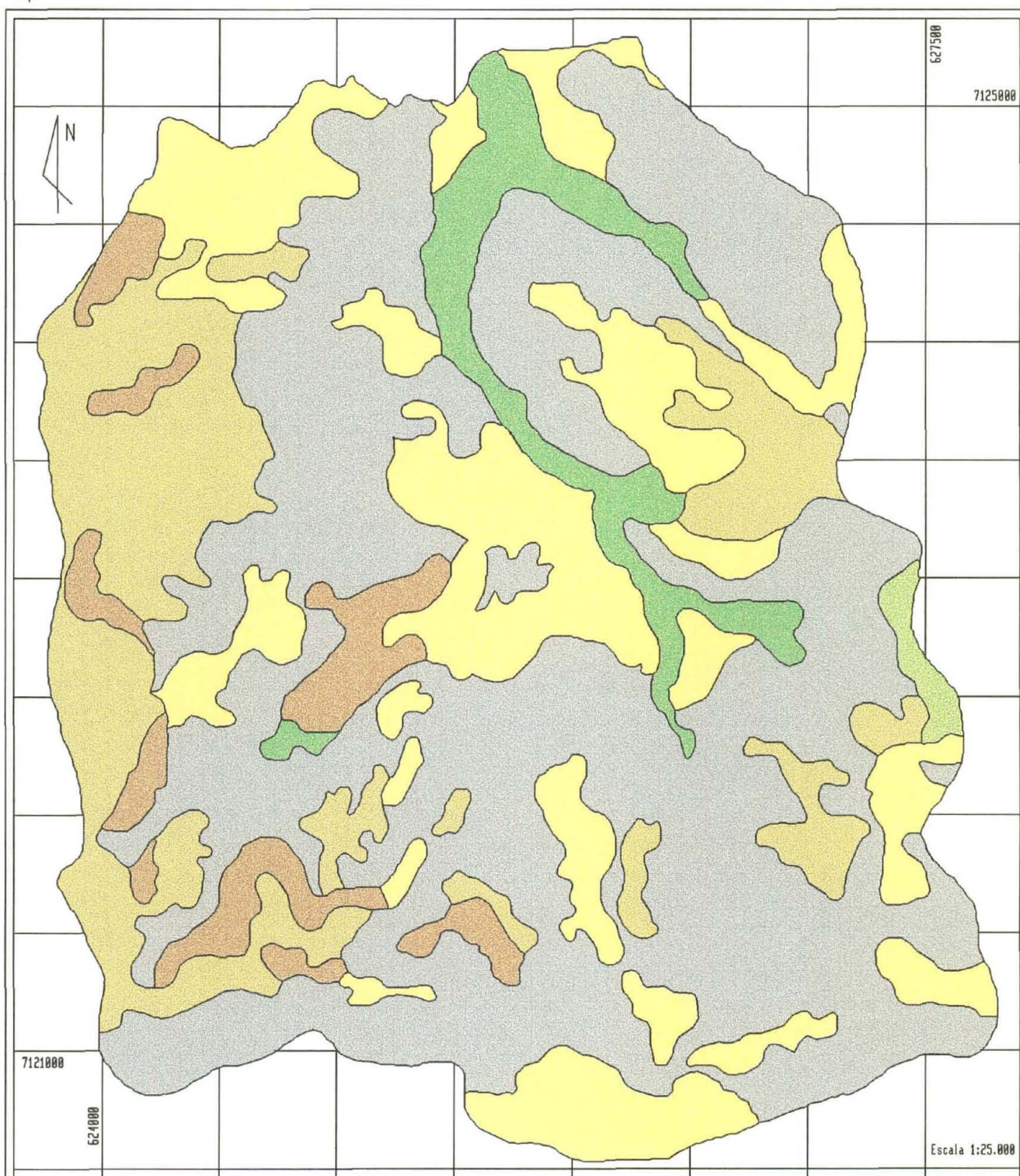


## MAPA DE SOLOS

LEGENDA	ha.	%			
C11	80,90	5,45	Ca5	8,90	0,60
C12	56,70	3,82	Ca6	32,90	2,21
C13	20,80	1,40	Cd1	43,60	2,93
Ca1	217,80	14,66	Cd2	9,00	0,61
Ca2	674,40	43,57	Ra1	9,90	0,67
Ca3	88,20	5,93	Ra2	120,00	8,07
Ca4	30,90	2,08	Ra3	73,50	4,95
			Ag	45,40	3,06

Fonte: SILVA, 1983.

Mapa 03

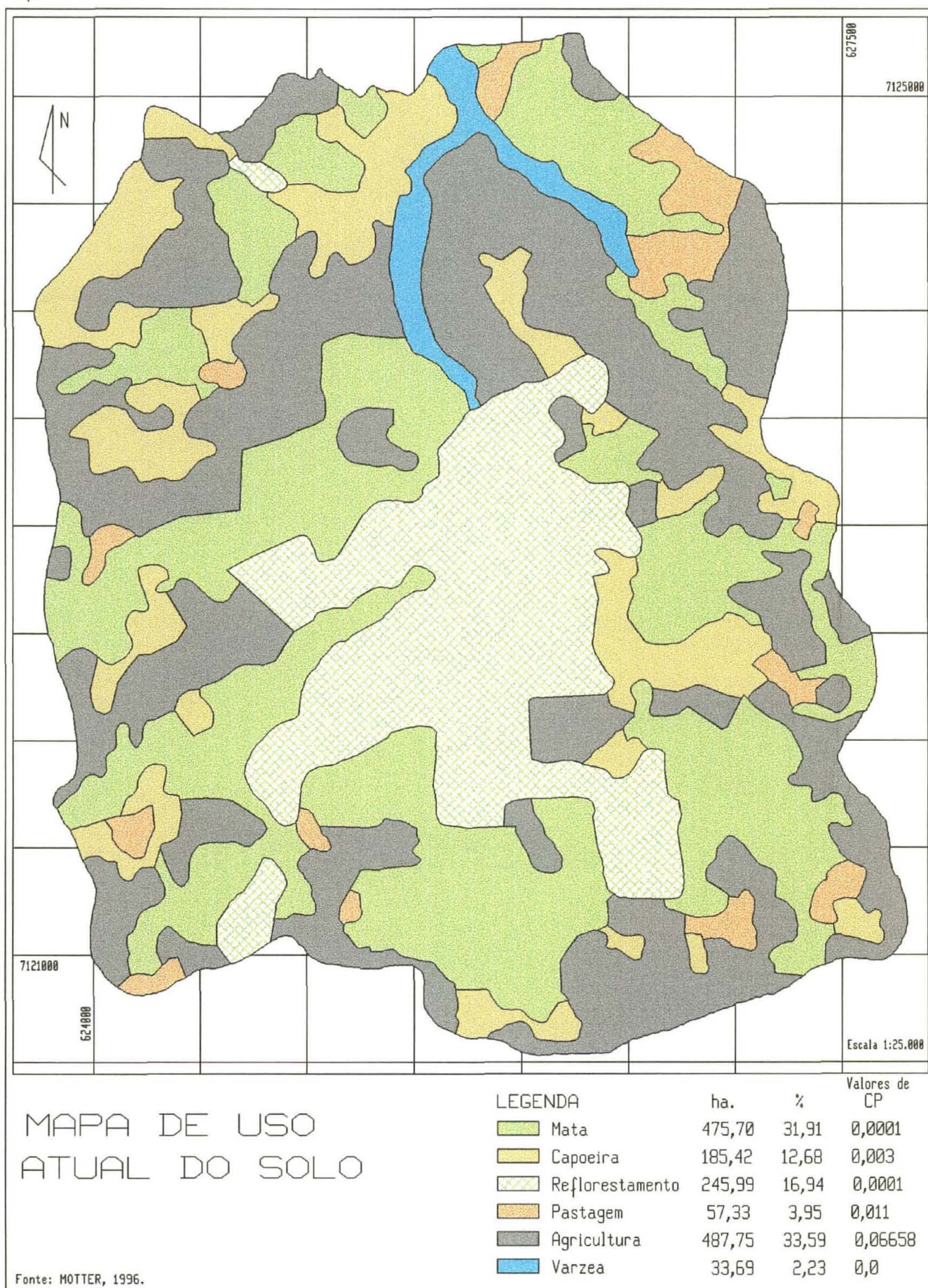


MAPA DE APTIDÃO AGRÍCOLA  
DAS TERRAS

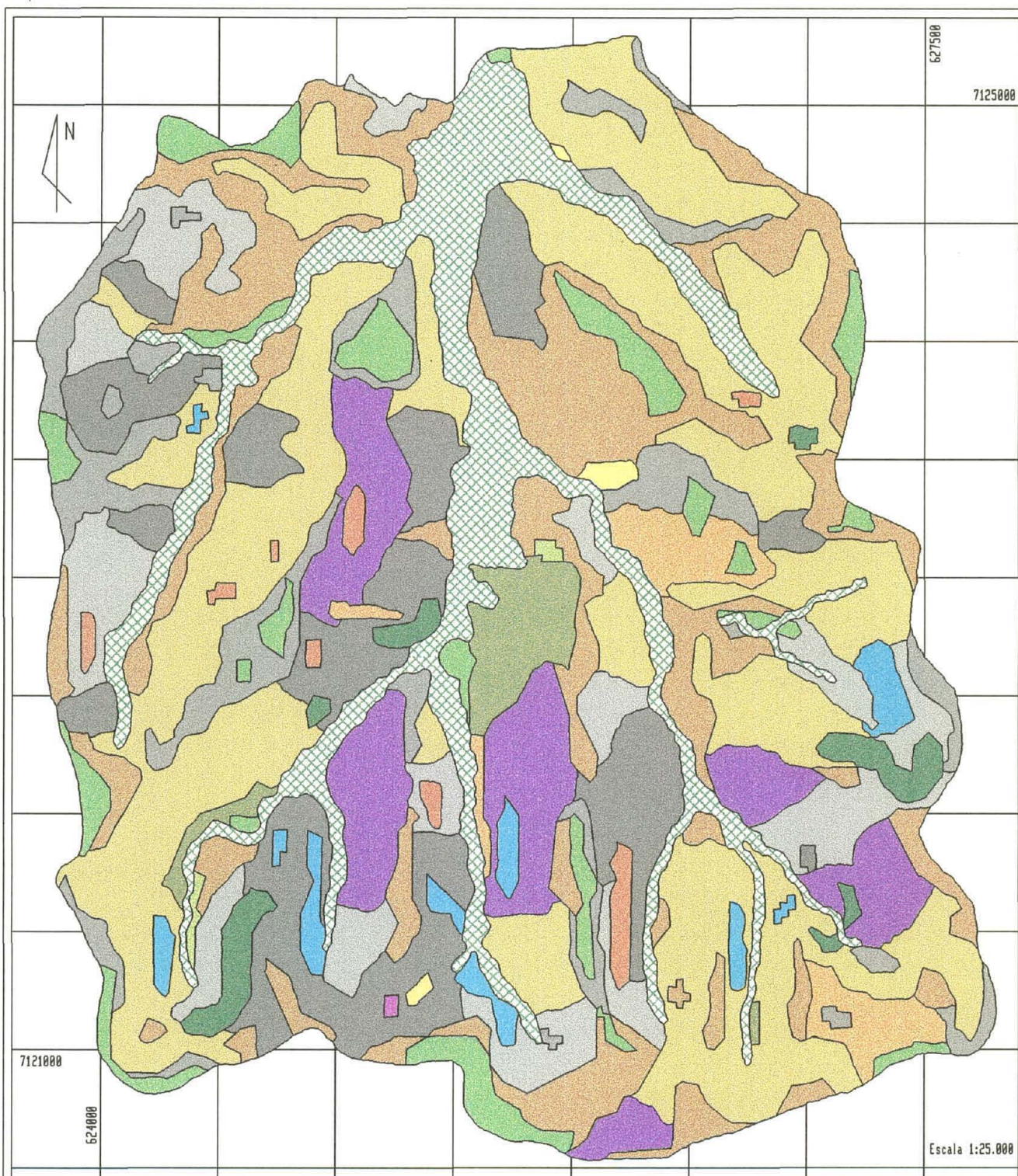
Fonte: SILVA, 1993.

LEGENDA	ha.	%
2(b)c	327,40	22,03
3(bc)	737,91	49,66
3(b)	250,45	16,86
4p	9,72	0,65
4(p)	81,37	5,48
6	79,06	5,32

Mapa 04



Mapa 05



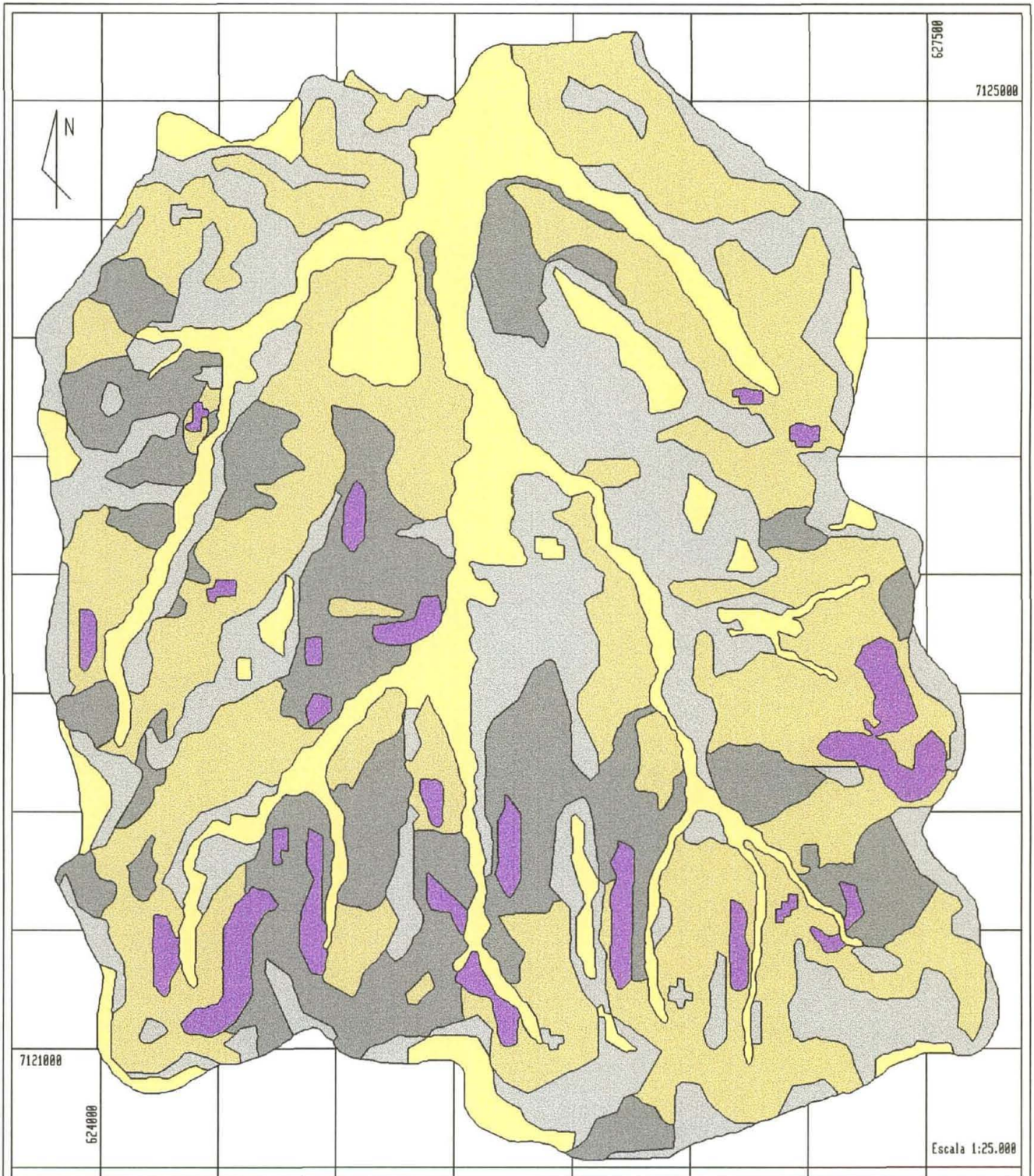
MAPA DE LSh  
(LS homogêneo)

LEGENDA

LSh	ha.	%	LSh	ha.	%	LSh	ha.	%
0,2	75,20	5,06	1,8	29,30	1,97	6,5	106,9	7,19
0,4	2,80	0,19	2,3	3,80	0,26	8,5	0,6	0,04
0,7	96,70	6,51	3,0	119,10	8,01	11,1	13,50	0,91
1,0	233,00	15,70	4,0	405,60	27,30	14,4	27,60	1,86
1,4	33,90	2,28	5,0	159,20	10,71	17,4	24,90	1,68
						0,0	153,40	10,32

Fonte: MOTTER, 1996.






Mapa 06



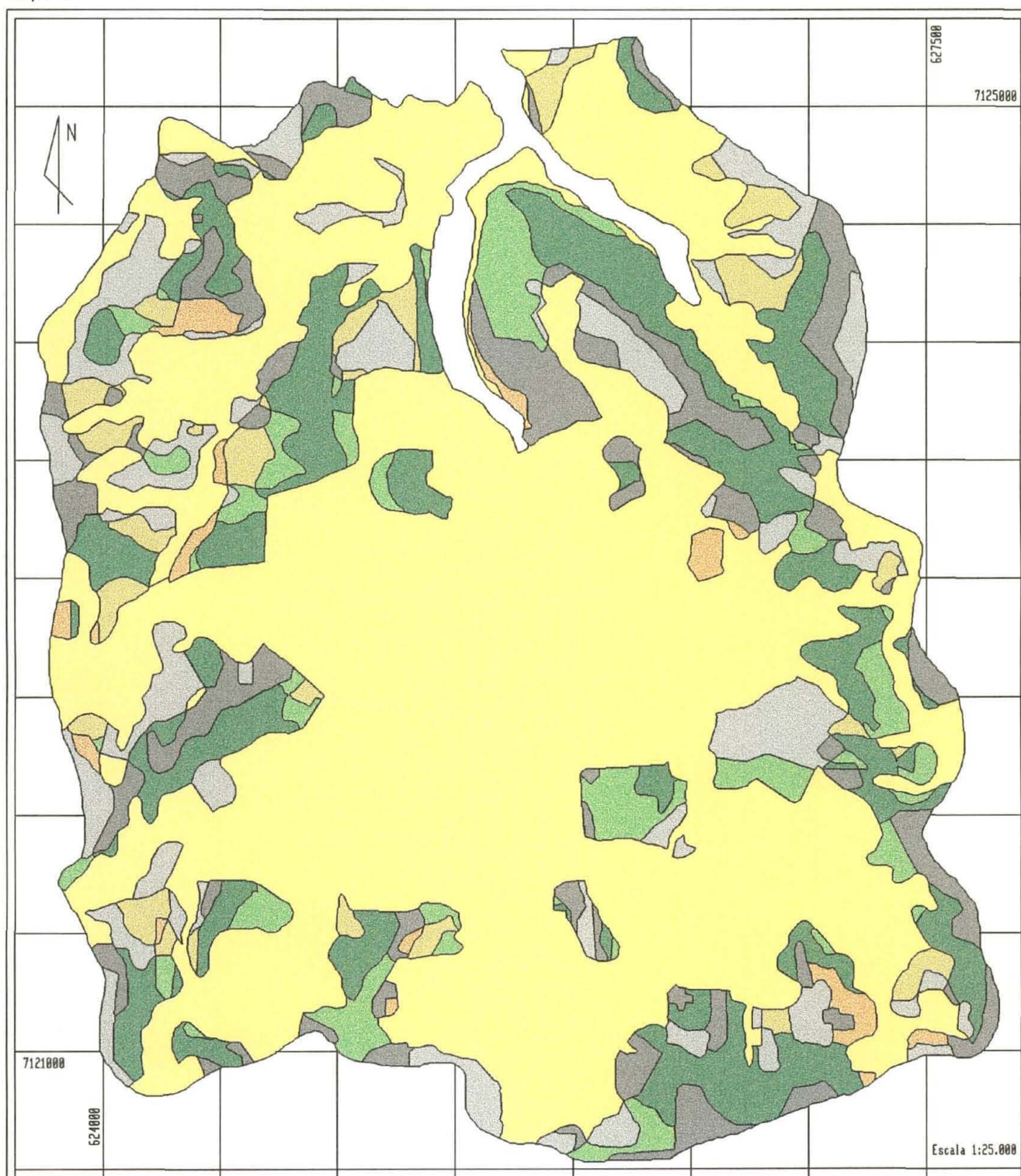
MAPA DE EROSIÃO POTENCIAL  
(EP = RKLSh)

Fonte: MOTTER, 1996.

LEGENDA

	t/ha/ano	ha.	%
	0-100	241,83	16,27
	100-300	380,52	25,61
	300-700	521,86	35,12
	700-1500	277,26	18,66
	1500-3915	64,48	4,34

Mapa 07



PERDAS DE SOLOS DETERMINADAS  
PELA USLE

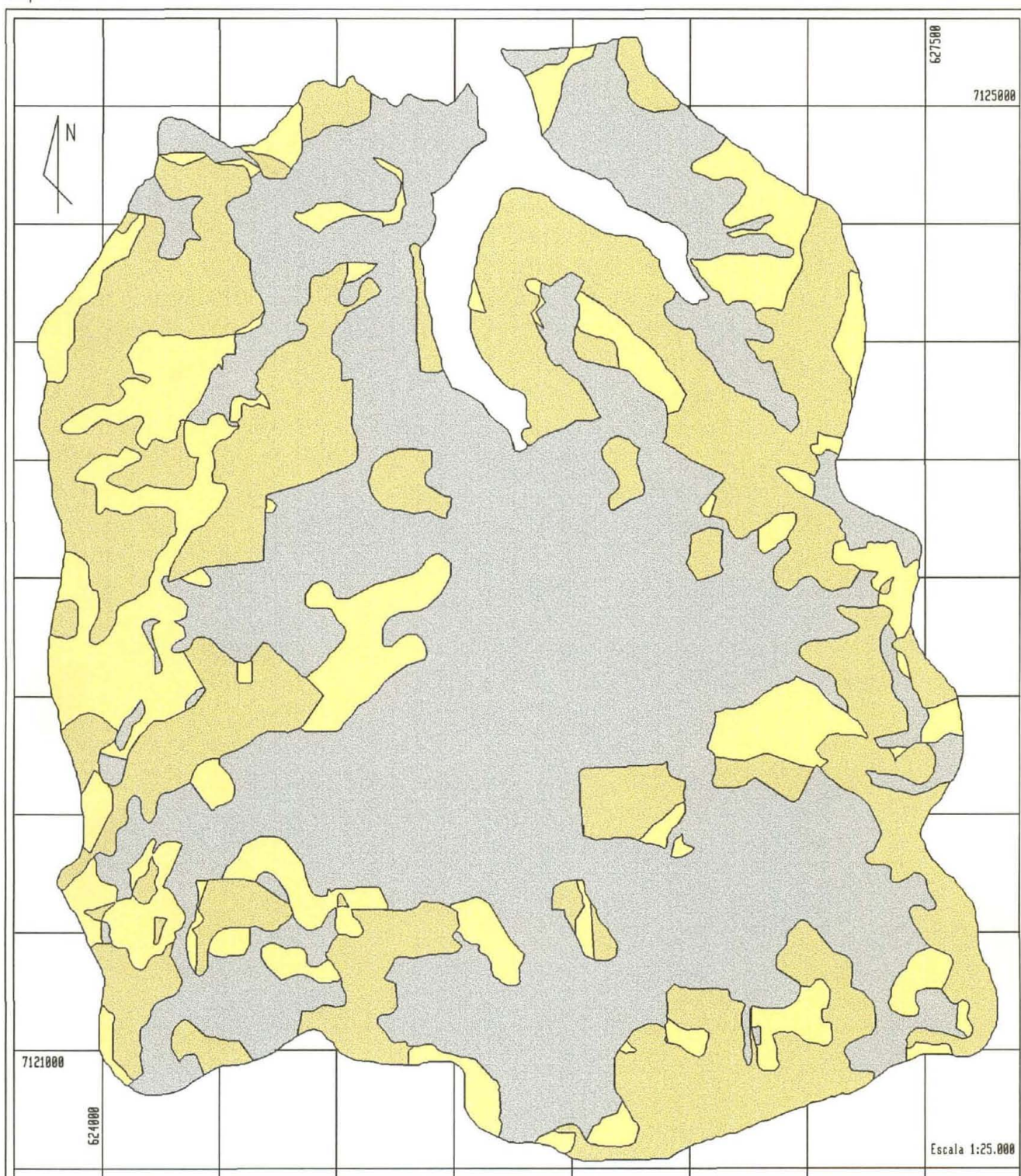
LEGENDA

t/ha.ano		ha.	%
0	a 1,0	854,95	58,88
1,0	a 4,5	129,67	8,92
4,5	a 7,5	51,28	3,54
7,5	a 12,5	123,60	8,51
12,5	a 20,0	20,42	1,40
20,0	a 50,0	195,31	13,45
>	> 50,0	76,98	5,30

Fonte: MOTTER, 1996.



Mapa 08



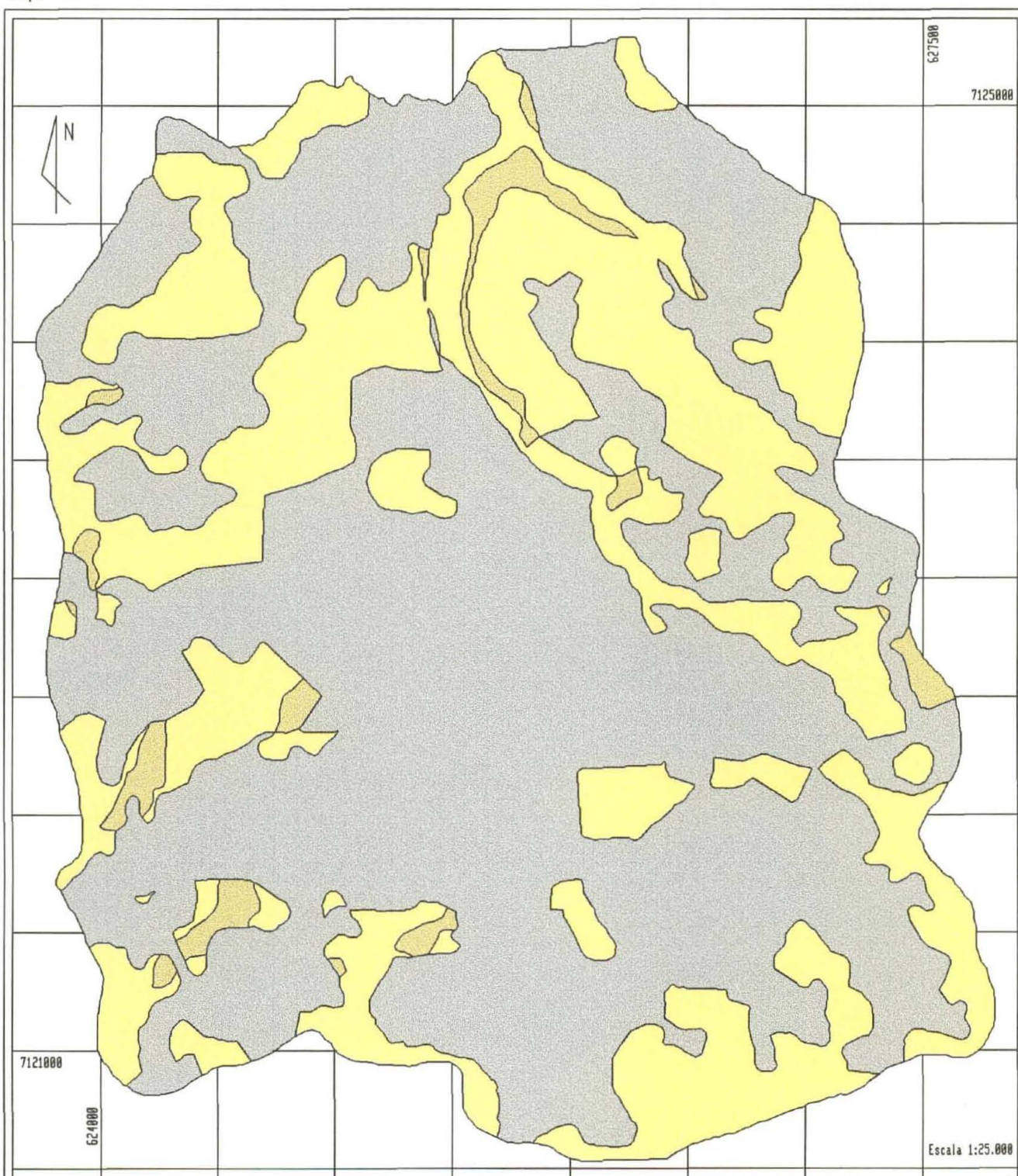
USO ATUAL E ADEQUAÇÃO EM  
RELAÇÃO AOS ÍNDICES DE EROSÃO

LEGENDA

	ha.	%
 Uso racional	233,56	16,28
 Subutilizado	745,16	51,93
 Superutilizado	456,19	31,79


Fonte: MOTTER, 1996.

Mapa 09



USO ATUAL E ADEQUAÇÃO  
EM RELAÇÃO A APTIDÃO AGRÍCOLA

LEGENDA

	ha.	%
 Uso racional	506,80	34,12
 Subutilizado	940,00	63,28
 Superutilizado	39,10	2,60

Fonte: MOTTER, 1996.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, P. S. (ed. coord) Fundamentos para Fotointerpretação. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 136p.
- ANGULO, R. J. Relação entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos Brasileiros. Curitiba, UFPR 1983, 130p. Tese de Mestrado.
- ASSAD, M.L.L; Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. Manejo e conservação do solo e da água. Revista Brasileira de Ciência do solo. Campinas, 19(1) 133-140. 1995.
- BENNETT, H. H. Soil Consevation McGRAW--HILL COMPANY, Inc. New York and London. 1939. 993p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, R. J. Equação de perdas de solo. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico, (21), 1975a 25p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, R. J. Metodologia para a determinação de perdas por erosão. Circular do Instituto Agrônômico, (44), 1975b 14p.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, Livroceres, 1985. 368p.
- CASTRO, F.C. Programas para calculo do fator LS da equação universal de perdas de solo, IAPAR, Contribuição nº 184, 6º encontro nacional de pesquisa sobre conservação de solo, Campo Grande, 1986.

- CAMARA, G. "Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução". In Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura. ASSAD. E.D.; SANO, E.E., Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 15-35p.
- CASTRO, A. G. de Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e SGI no estudo integrado de bacias hidrográficas, São José dos Campos: INPE, 1992. 126p. Tese de Mestrado. 126p.
- CASTRO, C. D; ZOBECK, T. M. Evaluation of the topographic factor in the universal soil loss equation on irregular slopes. Soil Conservation Society of America , (41-2) 1986 113--116p.
- CASTRO, C.D; ZOBECK, T. M.; LOGAN, T. L. Evaluation of soil slope length and gradient factors using topographic maps and soil survey reports. Soil Conservation and Productivity, IV international conference on Soil Conservation, Maracay-Venezuela, (3-9) 1985 788--797p.
- CASTRO, F.C. Programas para calculo do fator LS da equação universal de perdas de solo, IAPAR, Contribuição nº 184, 6º encontro nacional de pesquisa sobre conservação de solo, Campo Grande, 1986.
- CHAVES, H. M. L. Análise de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE). Revista Brasileira de Ciência do solo. Campinas, 1991.
- COUTO, N. B. A utilização do GPS na aquisição de dados hidrológicos. Maringá, 1995. Tese. Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. 15p.
- DENARDIN, J. R. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, ESALQ, 1990. Tese de doutorado.
- DISPERATI, A. A. Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato. Curitiba, UFPR, FUPEF, 1991. 290P.

DONZELLI, P.L.; NOGUEIRA, F. P.; ROTA, C. L. COELHO, A. G. S.; VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. VAL, L. A.; PRADO, H.; STEIN, D. P.; GIMENES, A. F.; PONSANO, W. L.; NOVAIS SANTOS M. T.; XIMENES, F.; SANTORO, E.; CARSTRON, Fº. C.; PIRES, F. A.; VALERIO, Fº. M.; PINTO, S. A.; BERTOLDO, M. A.; RIEDEL, P. S.; LAMPARELLI, R. A. Potencial natural e antrópica à erosão laminar. in: Orientação para o combate à erosão no estado de São Paulo (Bacia do Peixe-Paranapanema). Cooperação técnica. IPT-DAEE/IAC-INPE. Relatório IPT nº 24.739, São Paulo, 1987. 110p.

EMBRAPA, SNLCS Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná Curitiba, SUDESUL / IAPAR, 1984. Boletim Técnico 57.

FAO. La erosion del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Roma. 1967. (81) 207p.

FELGUEIRAS, C.A.; CAMARA, G. "Sistemas de informações geográficas". In Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura. ASSAD. E.D.; SANO, E.E., Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 40-59p.

FENTON, T. E. Estimating soil erosion by remote sensing techniques. In: JOHANSEN, C. J. e SANDERS, J. L. Remote sensing for resource management. Ankey, Iowa, Soil Conservation Society American, 1982. 217-231p.

FOSTER, G.R.; WISCHMEIER, W.H. Evaluating erregular slope for soil loss prediction. Trans. ASEA 1974. 17: 305-309

GHADIRI, H. e PAYNE, D. "Raindrop impact and soil splash" In Soil physical properties and crop production in the tropic. LAL, R. e GREENLAND, D. J.; Chichester, England, John Wiley e Sons Ltd., New York. 1979. 95-104p.

GIAROLA, N. F. B. Levantamento pedológico de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório dde Itutinga/Camargo (MG). Lavras: ESAL, 1994. 223P. Tese de Mestrado.

GREENLAND, D. J.; e LAL, R. Soil conservation and management in the humid tropic. John Wiley e Sons. New York. 1979. 283p.

GREENLAND, D. J.; “Structural organization of soil and crop production” In Soil physical properties and crop production in the tropic. LAL, R. e GREENLAND, D. J.; Chichester, England, John Wiley e Sons Ltd., New York. 1979. 47-56p.

IAPAR Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina, 1994.

IPT-DAEE/IAC-INPE. Relatório IPI. nº 24734, São Paulo, 1987. 110p. 6 carta.

LANTIERI, D.; DALLEMAND, J. F.; BISCAIA. R.; SOHN, S. PÖTTER, R. O. Use of high resolution satelite data and geographic information sistem for soil erosion mapping, Remote Sensing Centre, FAO and Agriculture Organization of the United Nations, FAO IAPAR ITC e EMBRAPA. Roma. 1990 149p.

LEPSCH, I. F. BELLINAZZI, R. BERTOLINI, Jr., D. ESPINDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.

LOMBARDI NETO, F. e BERTONI, J. Erodibilidade de solos Paulistas. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico, (27), 1975. 12p.

LOMBARDI NETO, F. e BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico, (28), 1975b.

- LOMBARDI NETO, F. e MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas-SP in: Encontro Nacional de pesquisa sobre conservação do solo. Recife 1980.
- MORGAN, K.M. e NALEPA, R. Aplicacion of aerial photograph end computer analisys to the USLE for areawide erosion studies. *Journal of Soil and Water Conservation*. 37 (6): 374-59, 1982.
- RAFAELI NETO, S. L. R.; Análise morfométrica em bacias hidrográficas integradas a um sistema de informações geográficas, Curitiba: UFPR, 1994, 138p. Tese de Mestrado
- OLIVEIRA, J. B. de; "Fatores de formação". In Elementos de pedologia. MONIZ, A. C. Poligono S.A. Rio de Janeiro, 1975a. 275-288p.
- OLIVEIRA, J. B. de; "Processos pedogenéticos". In Elementos de pedologia. MONIZ, A. C. Poligono S.A. Rio de Janeiro, 1975b. 325-334p.
- PARANÁ, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, 2ºed. 1994. 372p.
- PINTO, S. dos A.F. "Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: Contribuição Metodológica." São Jose dos Campos, 1991. Tese. Doutorado. INPE. 134p.
- RAMALHO, F. A.; PEREIRA, A. G.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (2º ed.). Rio de Janeiro, SUPLAN/EMBRAPA/SNLCS 1983. 51p.
- ROLOFF, G. Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo. Embaixada do Brasil em Washington. Department of Soil Science, University of Minnesota. 1986. 91p.

- ROLOFF, G. e DENARDIN, J. E. “Estimativa simplificada da erodibilidade do solo” In X Reunião brasileira de manejo e conservação de solo e água. Pequena propriedade x desenvolvimento sustentado. Florianópolis, 1994 146-153p.
- RUFINO, R.L., BISCAIA R.C.M., MERTEN, G.H., Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. Manejo e conservação do solo e da água. Revista Brasileira de Ciência do solo. Campinas, 17(3) 439-450. 1993.
- RUFINO, R.L. EROSÃO. Folheto distribuído na 2º EXPOSUL. Curitiba, 1993.
- SCOPEL, I. Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação uniersal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR). Curitiba 1988. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- SCOPEL, I. ROCHA, H.O; SANTOS, M.E dos; MOTTER, I. Potencial Natural à erosão laminar e em sulcos no município de Palmeiras/Pr. Revista do Setor de Ciência Agrárias. Vol. 11. nº 1-2. 1989/90.
- SEAB-SC. Manual de uso, manejo e conservação do solo e água. Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2º ed. Florianópolis, EPAGRI, 1994. 384P.
- SILVA. G. M. da. Avaliação de Terras para o desenvolvimento rural, com o apoio do enfoque de sistemas, no município de Campo do Tenente. Curitiba. 1993. Tese. Mestrado. Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências Agrárias.
- VALÉRIO, F.M. et alii, Avaliação das imagens orbitais como base para levantamento de solos, INPE - 1054 - NTE/091, 1977. 37P.



- VALÉRIO, F.M. et alii, Utilização de imagens TM/Landsat na análise comparativa entre dados do uso da terra e de aptidão agrícola. Revista Brasileira de Ciência do solo. Campinas, 13(1): 101-110, 1989.
- WILLIAMS, J.R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. in: Presente and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Handbook, nº S-40. 1975. 244-252p.
- WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook. n. 537, 1978. 58p.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Science Society of America Proceedings. 23:246-249, 1959.