

**ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE EROSÃO
LAMINAR NO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS
GOYTACAZES/RJ ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

LUZIANE SANTOS RIBEIRO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2006**

ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE EROSÃO
LAMINAR NO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS
GOYTACAZES/RJ ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO

LUZIANE SANTOS RIBEIRO

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil”

Orientador: Prof^a. Maria da Glória Alves

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF
22/2006

Ribeiro, Luziane Santos

Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento / Luziane Santos Ribeiro. – Campos dos Goytacazes, 2006.

xv, 139f. : il.

Orientador: Maria da Glória Alves.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2006.

Área de concentração: Geotecnia

Bibliografia: f. 129-138

1. Erosão 2. Erosão laminar 3. Equação Universal de Perda de Solo 4 Geoprocessamento 1. Universidade Estadual do Norte

ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE EROÇÃO
LAMINAR NO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS
GOYTACAZES/RJ ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO

LUZIANE SANTOS RIBEIRO

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil”

Aprovada em 23 de fevereiro de 2006

Comissão Examinadora:

Prof^ª. Rozanda Guedes da Silva Costa (D. Sc., Geologia) – UNIGRANRIO

Prof. Doracy Pessoa Ramos (D. Sc., Solos) – UENF

Prof. Paulo César Maia (D. Sc., Engenharia Civil) – UENF

Prof^ª. Maria da Gloria Alves (D. Sc., Ciências da Geologia) – UENF
Orientador

A Deus, pois nem um fio de cabelo cai de nossas cabeças se não for de Sua vontade.

Aos meus pais, Valdeci e Luzimar, pelos exemplos de honestidade e perseverança.

Aos meus irmãos Walcimar e Márcia, pelo incentivo mesmo que indireto e principalmente a Márcio, sem o apoio do qual eu não teria nem começado a sonhar.

Aos meus sobrinhos Davi e Enzo, por me mostrarem um desejo que desconhecia: o de ser mãe.

Ao meu marido, Marcelo, que se aplicou em me manter sempre com os olhos fixos em meus objetivos, me ensinando a querer sempre melhorar e a crescer como profissional, nunca esquecendo de misturar a tudo isso seu amor, carinho, paciência e amizade.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças contínuas que recaem sobre minha vida.

À Maria da Gloria Alves, minha orientadora no sentido mais abrangente da palavra. Pela garra com que se dispôs a enfrentar árduas etapas para que essa dissertação existisse. Pelo apoio, incentivo, criatividade no direcionamento do trabalho.

Ao Professor Doracy Pessoa Ramos, pelas críticas construtivas, de muita valia, que contribuíram para complementar a formação de meu senso crítico.

Aos Engenheiros Agrimensores Ângelo Marcos Oliveira, pelo suporte técnico na fase de geração do modelo digital de elevação e pelas sugestões esclarecedoras e Eliane Maria Vieira, pela generosidade no compartilhamento de seus conhecimentos de SIG e Geoprocessamento.

Aos colegas da Oficina de Geoprocessamento do LECIV (OFIGEO), principalmente à doutora Izabel de Souza Ramos, pela paciência.

Aos funcionários do LECIV: Milton, Eliezer, 'Dona' Olívia e Bianca.

Aos professores do LEVIC pelo ensino e dedicação à formação de pesquisadores críticos.

À FAPERJ, pela bolsa de estudos.

Às colegas de república: Derliane, Rejane, Josimar e Laerciana, pela convivência agradável e carinho.

E finalmente a agradeço à Ciência, que, de tão intrigante, faz-nos incansáveis e apaixonados pesquisadores, mesmo que as circunstâncias sejam contrárias.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 Principal.....	19
2.2 Específicos	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 Processo de erosão dos solos.....	20
3.1.1 Erosão hídrica.....	21
3.1.2 Suscetibilidade à erosão	26
3.2 Equação Universal de Perdas de Solo	35
3.2.1 Equações Derivadas.....	44
3.3 Geoprocessamento e modelagem de processos naturais.....	47
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	55
4.1. Localização da Área	55
4.2 Uso e Cobertura do Solo	55
4.3. Pedologia.....	59
4.4. Geomorfologia.....	61
4.5 Geologia	68

4.6 Hidrografia	73
4.7 Vegetação	74
4.8 Clima	75
5. MATERIAIS E MÉTODOS	78
5.1 Criação da Base de Dados.....	79
5.2 Edição dos Dados.....	80
5.2.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	81
5.3 Análise de Suscetibilidade à Erosão Laminar.....	82
5.4.3 Análise da Perda de Solo por Erosão	88
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	94
6.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	94
6.2 Análise de Suscetibilidade e Potencial dos Solos à Erosão Laminar	99
6.2.1 Carta de Declividades	99
6.2.2 Carta de Erodibilidade.....	101
6.2.3 Carta de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Laminar	103
6.2.4 Carta de Potencial à Erosão Laminar	107
6.3 Análise da Perda de Solo por Erosão.....	108
6.3.1 Cartas de Declividades e Aspecto	109
6.3.2 Fator Erosividade da Chuva (R).....	109
6.3.3 Fator Erodibilidade (K)	111
6.3.4 Fator Topográfico (LS).....	112
6.3.5 Fator Antrópico (CP)	114
6.3.6 Potencial Natural de Erosão (PNE).....	115
6.3.7 Influência Antrópica.....	120
6.3.8 Perda de Solo	122
6.3.9 Risco de Erosão.....	123
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXO 01.....	139
APÊNDICES	141
APÊNDICE A.....	142
APÊNDICE B.....	143

APÊNDICE C.....	144
APÊNDICE D.....	145
APÊNDICE E.....	146
APÊNDICE F.....	147
APÊNDICE G.....	148
APÊNDICE H.....	149
APÊNDICE I.....	150
APÊNDICE J.....	151
APÊNDICE K.....	152
APÊNDICE L.....	153
APÊNDICE M.....	154

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Ação de uma gota de água ao cair sobre o solo desprotegido.....	23
FIGURA 2 – Diagrama de relações entre a demolição de agregados, crostas de deposição e erosão. (Adaptado de Cerri, 1999).....	25
FIGURA 3 – Estimativa global de degradação do solo. Favis-Mortlock (2005).	27
FIGURA 4 – Variação global das temperaturas terrestre e marinha ao longo dos anos. Favis-Mortlock (2005).....	28
FIGURA 5 – Perfil de solo Neossolo Flúvico na Baixada Campista. (Ramos, 2006).....	31
FIGURA 6 – Detalhe de um corte com Cambissolo. A presença de fragmentos de rocha caracteriza este tipo de solo.(Corrêa, 2003)	32
FIGURA 7 – Espodossolo nos cordões litorâneos. Fonte: OFIGEO (2003).....	36
FIGURA 8 – Curvas para cálculo do fator LS. (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).	42
FIGURA 9 – Partes componentes de um SIG. (Ziller, 1999).....	50
FIGURA 10 – Formas de representação de um dado por um SIG. (Ziller, 1999).	51
FIGURA 11 – Representação matricial e vetorial e sua relação com o mundo real. (Ribeiro, 2003).....	52
FIGURA 12 – Nível de detalhes entre as escalas. FONTE: Ribeiro (2003).	53

FIGURA 13 – Localização da área de estudo.....	56
FIGURA 14 – Imagem Landsat de 14 de março de 2002.	57
FIGURA 15 – Uso da terra no município de Campos. Modificado de Costa (2005).	60
FIGURA 16 – Pedologia do município. Fonte: Costa (2005).....	62
FIGURA 17 – Domínio Serrano Escarpa da Serra do Imbé.....	63
FIGURA 18 – Serra da Pedra Lisa.....	63
FIGURA 19 – Colinas Isoladas - Serra do Imbé.....	64
FIGURA 20 – Domínio Suave Colinoso	64
FIGURA 21 – Maciço de Itaoca.....	66
FIGURA 22 – Lagoa de Cima.	66
FIGURA 23 – Planície Colúvio-Alúvio-Marinha com a cidade ao fundo. (OFIGEO-LEVIC, 2003).....	67
FIGURA 24 – Planície flúvio-lagunar: áreas freqüentemente inundáveis próximas a Lagoa Feia.	67
FIGURA 25 – Tabuleiro da Formação Barreiras. (OFIGEO, 2004).....	68
FIGURA 26 – Mapa geomorfológico de Campos.....	69
FIGURA 27 – Mapa geológico da área de estudo.....	73
FIGURA 28 – Hidrografia do município de Campos. (CIDE).....	75
FIGURA 29 – Precipitação Média Mensal, em Campos dos Goytacazes, do período de 1975 a 1999 (Azevedo et. al. 2000).....	77
FIGURA 30 – Variação da elevação ao longo da área do município de Campos.	95
FIGURA 31 (nº 1 no MDE, Apêndice A) – MDE x hidrografia da área na altura do Morro do Coco.	97
FIGURA 32 (nº 2 no MDE, Apêndice A) – Visualização 3D da transição entre serra, colina tabuleiro e baixada campista.....	98
FIGURA 33 (nº 3 no MDE, Apêndice A) – MDE x hidrografia da área na altura da Serra do Imbé.	99
FIGURA 34 – Neossolo flúvico em época de chuva.	102
FIGURA 35 – Depósitos de areia em um neossolo flúvico.	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Relação entre o diâmetro da gota e sua velocidade terminal.....	26
TABELA 2 – Unidades pedológicas para o estado de São Paulo e seus respectivos índices de erodibilidade. (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).....	29
TABELA 3 – Comprimento de rampa. (Bertoni & Lombardi Neto,1990).	41
TABELA 4 – Categorias de uso e respectivos valores de C.	43
TABELA 5 – Valor de P para algumas práticas conservacionistas. Bertoni & Lombardi Neto (1990)	44
TABELA 6 – Valores de P em função do declive. (Wischmeier & Smith, 1978)	44
TABELA 7 – Perda tolerável de solo (T). (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).....	47
TABELA 8 – Resumo da divisão geomorfológica do município. Corrêa (2003) modificado de CPRM (2001)	65
TABELA 9 – Classes de erodibilidade para a área de estudo. Bertoni & Lombardi Neto (1990).....	84
TABELA 10 – Relação entre as quatro classes de erodibilidade e as cinco de erodibilidade para definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.....	86
TABELA 11 – Classes de reclassificação do mapa de uso e cobertura.....	86
TABELA 12 – Relação uso x ocupação para definição do potencial erosivo.....	87

TABELA 13 – Classes de potencial à erosão laminar.....	87
TABELA 14 – Classes de solo e respectivos valores de K e T.....	90
TABELA 15 – Valores e C e P para este trabalho.....	92
TABELA 16 – Relação entre as classes de declividade e a área do município.	100
TABELA 17 – Área ocupada por classe de suscetibilidade.	103
TABELA 18 – Relação potencial de erosão laminar x área ocupada.....	108
TABELA 19 – Valores de R obtidos para o município de Campos.....	110
TABELA 20 - Erodibilidade dos solos e sua ocorrência em áreas relativas.....	112
TABELA 21 – Relação do fator LS com a superfície da área de estudo.....	114
TABELA 22 – Fator antrópico (valor CP).	115
TABELA 23 – Níveis e intensidade do PNE, classificação e área relativa de ocorrência.....	116
TABELA 24 – Valores de PNE encontrados na literatura e sua comparação com os determinados nesta pesquisa.	118
TABELA 25 – Tabulação cruzada entre PNE e fator K em número de pixels.	119
TABELA 26 – Tabulação cruzada entre PNE e fator R.....	119
TABELA 27 - Tabulação cruzada entre PNE e fator LS.....	120
TABELA 28 – Classes de influência antrópica em percentual de área ocupada e área real ocupada.	121
TABELA 29 – Perda anual de solo em Campos.	122
TABELA 30 – Valores comparativos de perda de solo.	123
TABELA 31 – Valores de perda de solo tolerável para a área de estudo.	124
TABELA 32 – Área relativa e ocupada pelas classes de risco de erosão.....	124

LISTA DE SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
CIDE – Centro de Informações e Dados do Estado do Rio de Janeiro
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEF – Departamento de Engenharia Florestal
DIREX – Diretoria de Exploração Mineral
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DRM – Departamento de Recursos Minerais
DSC Engenharia – Daniel Silva Costa Engenharia
DSC-UFLA – Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras
EI – Média mensal do índice de erosão
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS – Equação Universal de Perda de Solos
IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool –
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGEO-UERJ – Instituto de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
LEAG – Laboratório de Engenharia Agrícola
LECIV – Laboratório de Engenharia Civil
MDE – Modelo Digital de Elevação

NCE – Núcleo de Computação Eletrônica

OFIGEO – Oficina de Geoprocessamento do Laboratório de Engenharia Civil

PESAGRO – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro

PNE – Potencial Natural de Erosão

PROJIR – Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar do Norte Fluminense

SAD – South American Datum

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SR – Sensoriamento Remoto

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense ‘Darcy Ribeiro’

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UTM – Universal Transversa Mercator

RESUMO

RIBEIRO, Luziane Santos, *MSc.*, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, fevereiro de 2006, Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. Orientador: Maria da Gloria Alves.

Da necessidade de se comunicar, trabalhar, produzir e até mesmo sobreviver, o homem precisa do solo para atender necessidades pessoais que vão desde moradia até alimentação. O mau uso e ocupação do solo tem levado a perdas por erosão cada vez maiores. Em virtude disso, áreas antes agricultáveis têm se tornado desérticas pelo carreamento das camadas superficiais do solo. Este trabalho pretende estudar os solos do município de Campos quanto a sua suscetibilidade à erosão laminar e quantificar sua perda pela aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) através de técnicas de geoprocessamento. Os principais produtos cartográficos resultantes mostraram que a suscetibilidade à erosão foi baixa. O risco potencial de erosão foi predominantemente baixo. O potencial natural de erosão (PNE) teve dois níveis de maior abrangência: um com perda de 1.000 a 5.000 t. ha⁻¹ e outro com perda de 100 a 500 t. ha⁻¹. A perda anual de solo predominante ficou entre 10 e 500 t. ano⁻¹. O risco de erosão e a influência antrópica mapeados revelaram uma situação preocupante, pois indicaram que 55% das terras do município apresentaram risco de erosão maior que o tolerado pelo solo.

ABSTRACT

RIBEIRO, Luziane Santos, *MSc.*, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, February 2006, Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. Adviser: Maria da Gloria Alves.

Of the necessity of to communicate, to work, to produce and to survive the man needs of soil to take care of personal necessities. The bad use and occupation of the lands taken the losses for bigger erosion. In virtue of this, before agricultural areas if have become desert-like for the carry of the superficial layers of the ground. This work intends to study the soils units of the more susceptible to the laminar erosion in Campos city, as well as quantifying its loss through the application of the Universal Soil Loss Equation of (USLE) through geoprocessing techniques. The main resultant cartographic products had shown that the susceptibility to the erosion was low in reason of the types ground and the plain topography of the study area. The potential risk of erosion predominantly low had to the uses pasture and area. The natural potential of erosion (PNE) had two levels of bigger intervals: one with loss of 1.000 the 5,000 t. ha⁻¹ and another one with the 500 loss of 100 t. ha⁻¹. Predominant the annual soil loss was between 10 and 500 t. year⁻¹. The risk of erosion and the human influence mapped had disclosed a situation preoccupying, therefore they had indicated that 55% of lands of the city had presented risk of bigger erosion that the critical boundary.

1. INTRODUÇÃO

Da necessidade de se comunicar, trabalhar, produzir e até mesmo sobreviver, o homem precisa edificar moradias, unidades escolares, hospitais, delimitar áreas agricultáveis, abrir estradas, enfim, precisa modificar o meio ambiente que o circunda para dele extrair os recursos necessários a essas e muitas outras atividades das quais dependem sua sustentabilidade.

Entretanto a relação homem-ambiente nem sempre a é feita de forma harmônica. O mau uso do solo e da água, desmatamentos, erosão, poluição e contaminação de lençóis freáticos e outros corpos d'água, tantos em áreas urbanas quanto rurais, podem ser citados como conseqüências de atividades antrópicas impactantes comumente noticiadas.

No desenvolvimento de uma região faz-se necessário acompanhar e apontar aspectos que possam introduzir falhas no planejamento e gestão dos recursos oferecidos por ela. A racionalização da exploração dos bens disponíveis e o direcionamento da ocupação do solo devem ser feitos em função da sua capacidade de exploração como tentativas de se preservar a qualidade do ambiente.

No âmbito urbano, tem havido alterações significativas no ciclo hidrológico, principalmente em decorrência de desmatamentos, os quais alteram a cobertura do solo. Todo este processo faz diminuir a porcentagem de água infiltrada e aumentar o escoamento superficial. Conseqüentemente, há aumento na produção

de sedimentos, empobrecimento do solo (queda de sua fertilidade), perdas por erosão, assoreamento e/ou contaminação dos cursos d'água e da cadeia alimentar.

É dentro deste contexto que se encaixam os estudos que relacionam os efeitos dos processos erosivos e as atividades antrópicas.

A erosão tem degradado o solo devido à atuação dos fatores naturais e antrópicos. Devido a isso, ela cada vez mais tem merecido a atenção dos pesquisadores, tanto no que diz respeito à manutenção da produtividade agrícola como no que se refere à preservação de uma forma geral. A erosão laminar, segundo alguns autores, é a responsável pelas maiores perdas de solo, uma vez que a remoção homogênea de camadas de solos se dá de forma imperceptível. Quando ela é notada, a perda de solos já foi significativa.

Este trabalho pretende estudar qualitativa e quantitativamente a erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando-se de técnicas de geoprocessamento. O geoprocessamento permite análises espaciais do fenômeno, através das quais é possível planejar racionalmente o uso e ocupação do solo e ressaltar áreas que necessitam de adoção de práticas de controle da erosão.

Na análise quantitativa será usada a modelagem EUPS (Equação Universal de Perda de Solos), que permite uma análise da perda de solo por erosão laminar levando em conta a intensidade da chuva na região, a erodibilidade dos solos, o comprimento da encosta, o declive e as medidas de uso e conservação do solo. Esta parte da pesquisa é de caráter inédito no município. Em consequência disso, muitas dificuldades foram encontradas em sua elaboração, principalmente na criação do banco de dados.

A suscetibilidade à erosão laminar sob o ponto de vista qualitativo será analisado pelo cruzamento matricial de informações sobre o declive da área e a erodibilidade dos solos.

De posse de todas essas informações serão gerados mapas e cartas fundamentais ao estudo das potencialidades e restrições do meio físico, como as cartas de suscetibilidade à erosão laminar, potencial à erosão laminar, perda de

solo por erosão, risco de erosão, influência antrópica e potencial natural de erosão.

No próximo Capítulo, o 2, serão descritos os objetivos gerais e específicos desta pesquisa. No Capítulo 3 é apresentada a fundamentação teórica em que se baseou o trabalho e onde são abordados temas principais, como suscetibilidade à erosão, geoprocessamento e EUPS. Em seguida vem o Capítulo 4, no qual a área de estudo é caracterizada. O Capítulo 5 discorre sobre os materiais e métodos usados no desenvolvimento dos mapas, cartas e tabelas. No Capítulo 6 são discutidos e mostrados os resultados obtidos e finalmente no Capítulo 7 vêm às conclusões e recomendações fechando a análise realizada.

2. OBJETIVOS

2.1 Principal

O objetivo principal deste trabalho é analisar a suscetibilidade e o potencial dos solos à erosão laminar dos solos do no município de Campos dos Goytacazes e quantificar sua perda através de técnicas de geoprocessamento.

2.2 Específicos

Especificamente esta pesquisa objetiva gerar o modelo digital de elevação de Campos, o qual servirá de base para a criação dos mapas de suscetibilidade e potencial natural das terras à erosão laminar. A análise da perda de solo será obtida pela aplicação da Equação Universal de Perda de Solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão bibliográfica apresentará tópicos importantes para compreensão de como se dá o processo erosivo e sua modelagem: o processo de erosão dos solos, sua modelagem através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), utilização dos Sistemas de Informação Geográfica nesta modelagem e exemplos de aplicação.

3.1 Processo de erosão dos solos

Nenhum outro processo é tão destrutivo para o solo quanto o erosivo. Segundo o glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE (1985), a erosão pode ser definida como um conjunto de fatores físicos, químicos ou biológicos, naturais, responsáveis pelo modelamento do relevo terrestre, na maioria diretamente ligados ao clima (chuva, rios, água subterrânea, correntes marinhas, ondas, geleiras, ventos). Amorim (1999), por sua vez, disse que a erosão consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, constituindo-se na principal causa de sua degradação. Muitas e diversificadas são as definições para o fenômeno da erosão, mas em um ponto os autores concordam: a erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa de depauperamento acelerado das terras (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A erosão pode se dar pela ação do vento (erosão eólica). Ocorre mais comumente em regiões de clima árido e semi-árido.

A erosão natural ou geológica refere-se ao processo que ocorre naturalmente, em tempo geológico, sem influência do homem, como por exemplo, deltas de grandes rios, grande extensão de rochas sedimentares (formadas por deposição de sedimentos).

A erosão acelerada refere-se às taxas de perda de solo relacionadas às atividades do homem, devido à destruição do equilíbrio das condições naturais (Amorim, 1999).

A erosão em sulcos está relacionada ao desprendimento e transporte de solo devido à enxurrada (Weill, 1999). Resulta da concentração do escoamento superficial produzido por uma chuva, ocasionando a formação de pequenos canais que podem ser facilmente desfeitos pelas práticas de cultivo (Amorim, 1999).

A erosão em voçoroca (ou boçoroca, em tupi) é ocasionada por grandes concentrações de enxurradas que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo, e formando grandes cavidades, em extensão e profundidade (Fujihara, 2002). Pode ser formada rapidamente em função da profundidade, velocidade e volume da água, quando fluxo subsuperficial emerge em encostas de colinas (Soares, 2002).

Por se tratar do foco desta pesquisa, a erosão hídrica será abordada de forma mais aprofundada.

3.1.1 Erosão hídrica

A erosão hídrica tem sido uma das principais causas de redução da produtividade das terras. Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de acarretarem o empobrecimento gradativo dos solos, geram também o assoreamento e a poluição dos mananciais (Fragassi,

2001). É decorrente do mau uso do solo, o qual se torna susceptível à ação da água da chuva quando a cobertura vegetal, viva ou morta, é retirada da superfície.

Os danos causados pelas gotas de chuva que golpeiam o solo constituem o primeiro passo no processo da erosão, independentemente do grau de inclinação do terreno. As gotas podem ser consideradas bombas em miniatura (Figura 1), que golpeiam a superfície do solo, rompendo os grânulos e torrões, reduzindo-os a partículas menores, lançando-as para longe e, ainda, diminuindo a capacidade de infiltração de água no solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Num segundo momento, as partículas agora desprendidas pela ação hidráulica do escoamento superficial encontram-se sujeitas ao transporte. Nos dois mecanismos há um processo de transformação da partícula integrante da estrutura do solo em uma partícula solta, ou seja, sedimentar. A partir desse momento fica sujeita ao transporte e deposição pela ação do escoamento (Cerri, 1999).

Os sedimentos só são transportados quando a chuva ou enxurrada possui energia suficiente para movimentar as partículas de solo desagregadas. Logo, a intensidade e duração da precipitação inferem diretamente na taxa de desgaste do solo, bem como a ausência de cobertura vegetal e a topografia do terreno.

As chuvas desenvolvem maior desequilíbrio na paisagem das encostas. Sparovek (1998) explica que a variação espacial da intensidade da chuva associada com sua frequência (volume e concentração das chuvas em alguns meses do ano) determina fatores primordiais a serem analisados para entendimento do processo erosivo. Este processo pode ser acelerado se além das chuvas concentradas, a encosta apresentar ausência de vegetação. Weill (1999) afirma que dentre outros fatores considerados principais na deflagração dos processos erosivos estão o desmatamento e/ou a remoção da cobertura original. Combinados a estes, características da fisiografia da paisagem – declividade e comprimento da vertente - só tendem a aumentar e agravar a atividade erosiva.

Todas as formas em que se dá o processo erosivo são nocivas. Mas a resultante da erosão laminar apesar de menos visíveis, trazem grandes prejuízos ao solo e à produção agrícola. Ela será discutida com mais detalhes a seguir.

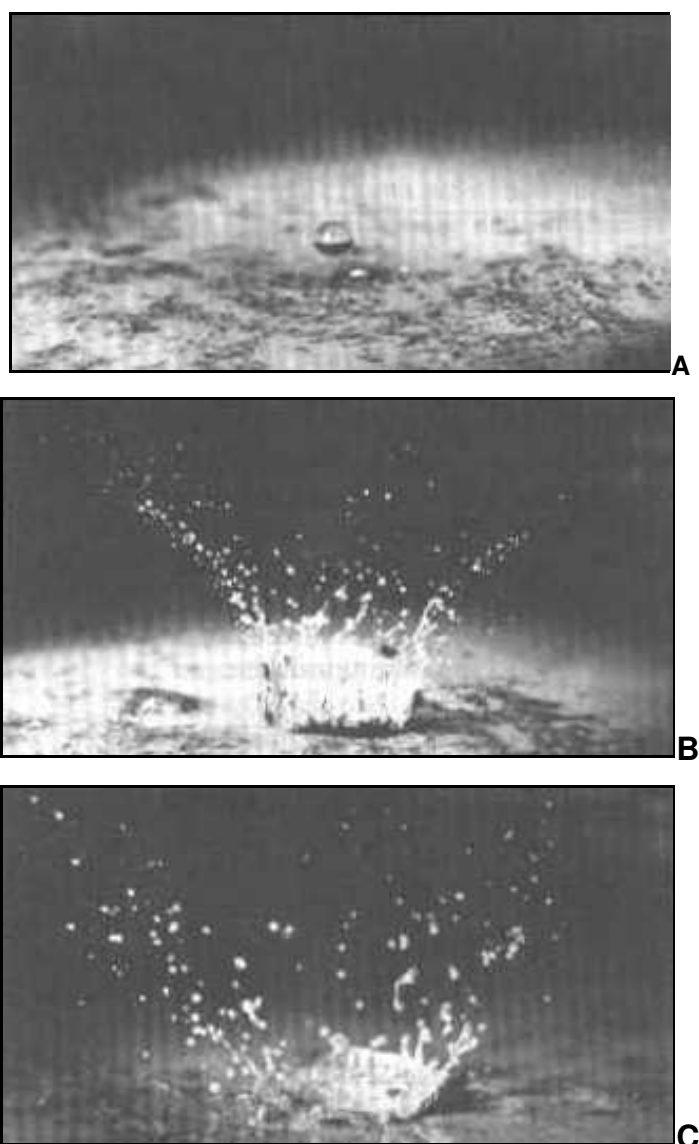


FIGURA 1 – Ação de uma gota de água ao cair sobre o solo desprotegido. Em A, a gota está prestes a tocar na superfície. Em B, os pingos de lama são expedidos radialmente após o impacto da gota, e em C, observa-se a "cratera" formada, enquanto os pingos de lama estão em vias de deposição.

Fragassi (2001) apud Leinz (1978).

3.1.1.1 Erosão laminar

A erosão laminar ocorre pela combinação da ação da energia da gota d'água da chuva com o movimento da água no declive. O processo é tal que finas camadas de solo são removidas da superfície do solo, uma após a outra, e a erosão não é claramente evidenciada por simples inspeção visual (Soares, 2002), podendo ser detectada pelo aumento da turbidez da água do corpo hídrico (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Segundos estes autores, a ação da erosão laminar também pode ser detectada pela coloração mais clara do solo, pela exposição das raízes e pela queda da produtividade agrícola.

O diagrama da Figura 2 sugere como se dá interação dos fenômenos naturais que culminam na erosão laminar do solo.

Pela figura é notório que todo o processo erosivo laminar depende, desde sua desagregação até sua deposição, das águas oriundas do escoamento superficial. Assim, o material em suspensão na água compõe-se de uma gama de elementos que podem ser nocivos ou não tanto a saúde humana quanto ao corpo receptor, que geralmente é hídrico. Este tipo de erosão traduz-se por pequenas modificações iniciais na coloração do solo devido à remoção da camada superficial, que é mais rica em matéria orgânica, nutrientes e húmus (Jacques, 1997). No meio rural tal desgaste denota queda da fertilidade do solo, tornando-o pobre e improdutivo. Como o material carregado reflete um pouco de cada local pelo qual passou, muitas vezes ele é mais rico em nutrientes do que o solo original.

A energia cinética de uma gota de chuva provoca grande impacto na superfície do solo. Devido a suas dimensões (da ordem de milímetros), não é de fácil compreensão o estrago que ela pode causar. Em um evento de chuva, logicamente, ocorre a combinação da energia cinética de um número incontável de gotas atuando juntas sobre a superfície do solo, causando compactação desta superfície, reduzindo sua capacidade de absorver água e aumentando a força da enxurrada.

A Tabela 1 apresenta uma correlação entre o diâmetro da gota de chuva e a velocidade com que atinge o solo, diretamente associada à energia transferida no processo de desagregação das partículas.

Na maioria das vezes a erosão laminar só é percebida após alguns anos, quando são observadas raízes de plantas e árvores expostas. Este é um indício da espessura da camada de solo que já foi perdida. Na prática, pode-se monitorar tal perda fincando um pino de material resistente com pelo menos 10 cm no solo (Jacques, 1997). Evidentemente esta área deve estar livre da presença de pessoas, máquinas e animais, uma vez que estes tendem a acelerar o processo erosivo.

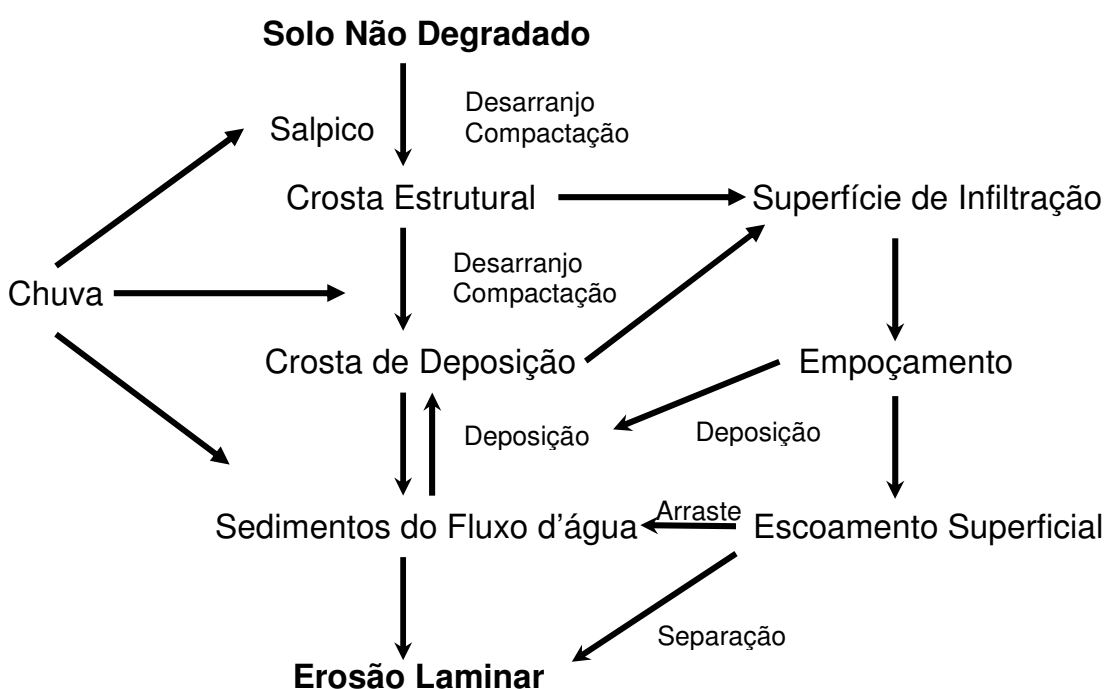


FIGURA 2 – Diagrama de relações entre a demolição de agregados, crostas de deposição e erosão. (Adaptado de Cerri, 1999).

TABELA 1 – Relação entre o diâmetro da gota e sua velocidade terminal.

Feres (2002) apud Linsley et al. (1982)

Diâmetro da gota (mm)	Velocidade terminal (m/s)
0,5	2,06
1,0	4,03
1,5	5,41
2,0	6,49
3,0	8,06
4,0	8,83
5,0	9,09
5,5	9,15
5,8	9,17

3.1.2 Suscetibilidade à erosão

O processo erosivo é sem dúvida um dos mais sérios problemas que o homem enfrenta há tempos, principalmente pela falta de medidas eficientes para seu controle. Além do que existe o aumento constante e progressivo das áreas atingidas, quer pela inexistência de um sistema de drenagem, conservação do solo ou pela condição de susceptibilidade dos solos.

A erosão em suas diversas modalidades tem abrangência em quase toda superfície terrestre. A erosão hídrica, obviamente, apresenta maior incidência nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados que em outras regiões do planeta (Guerra, 1999)

Segundo Favis-Mortlock (2005), apesar da natureza global dos problemas conseqüentes da erosão, ainda hoje não se tem informação precisa quanto a sua extensão. Cerca de 15% da superfície terrestre que é livre de gelo são atingidos por alguma forma de degradação. Deste montante, a erosão hídrica é responsável por aproximadamente 56% e a erosão eólica por 28%. Isto significa que a área afetada pela erosão hídrica é da ordem de 11 milhões km² e pela eólica da ordem de 5,5 milhões de km². A área atingida pela erosão acelerada decorrente de práticas agrícolas é desconhecida. Devido ao fato de que a formação do solo é lenta, ele é considerado um recurso essencialmente finito.

Sua degradação quanto estudada em escala mundial mostra como o homem não tem dado atenção a este fato. É o que ilustra a Figura 3.

No cartograma da Figura 3 as áreas com terrenos estáveis compreendem o norte gelado, que se apresenta quase todo inaproveitável, e algumas pequenas manchas de solos nas áreas subtropicais e intertropicais dos continentes habitáveis. Porém, quase todas as terras emersas do planeta estão afetadas pelos problemas de erosão (hídrica e eólica), deterioração (química e física), degradação severa e por desertos inúteis (Ribeiro, 2000).

De acordo com o autor op. cit., o conhecimento sobre a situação atual das terras quanto a erosão o modo como ela se deu no passado pode ser de grande ajuda, uma vez que ele sugere como e onde provavelmente ocorrerá maiores perdas de solo no futuro. No entanto, é possível que haja algumas variações. Por exemplo, a taxa de erosão hídrica poderá sofrer alterações em função de mudanças climáticas ou relativas ao uso da terra. Essas alterações provavelmente responderão a um incremento na precipitação sob padrão não-linear, com desproporcionalidades ainda maiores em anos mais chuvosos.

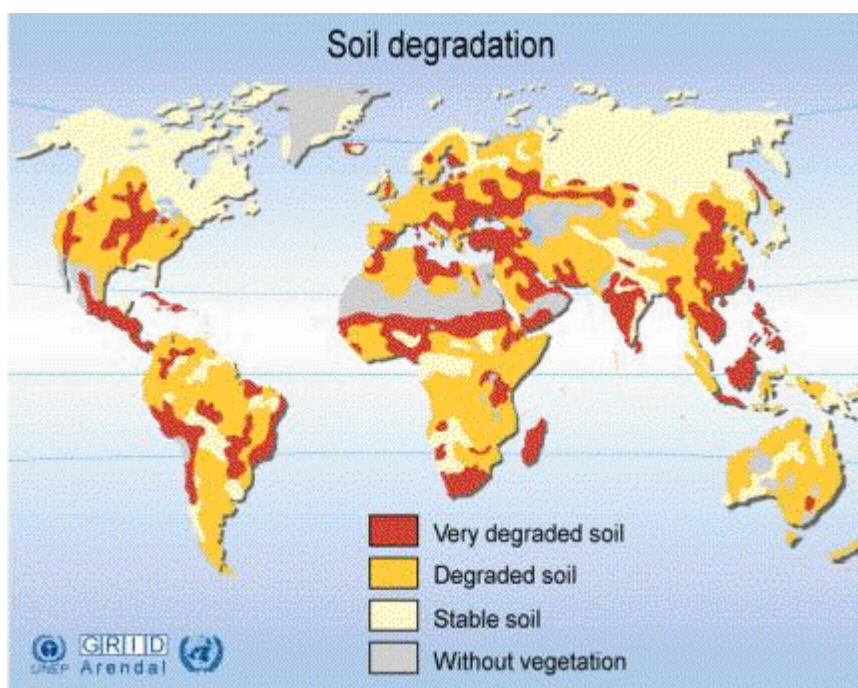


FIGURA 3 – Estimativa global de degradação do solo. Favis-Mortlock (2005).

A Figura 4 mostra a variação global da temperatura das superfícies terrestres e marinhas registradas entre 1856 e 2003. O ano de 2003 classificou-se como o segundo mais quente - 0,47°C de – e 2004 o quarto.

Conceitualmente, a característica do solo que relaciona sua capacidade ou suscetibilidade à erosão chama-se erodibilidade. Segundo Fujihara (2002), é sua vulnerabilidade à erosão, que é a recíproca da sua resistência à erosão. Cada tipo de solo tem seu fator de erodibilidade próprio.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) ao estudar as unidades pedológicas do estado de São Paulo determinaram seus respectivos índices de erodibilidade, conforme a Tabela 2. Esses índices variam de 0 a 0,54, mas foram levados à escala de 0 a 10 para então serem definidas as cinco classes de erodibilidade consideradas. A partir desta Corrêa (2003) relacionou os solos do município de Campos e sua erodibilidade.

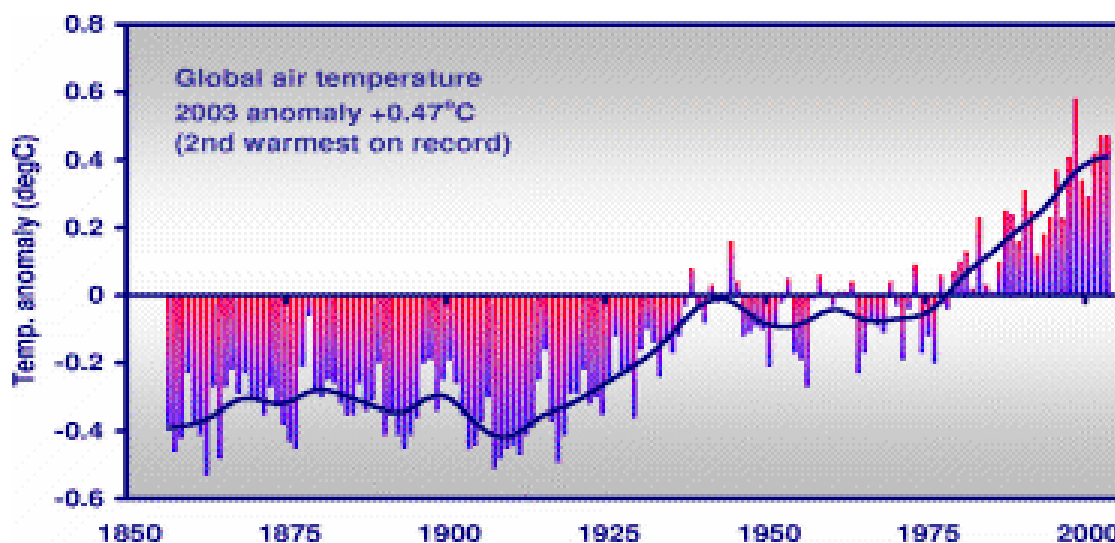


FIGURA 4 – Variação global das temperaturas terrestre e marinha ao longo dos anos. Favis-Mortlock (2005).

Os fatores intrínsecos ao solo (textura, estrutura, permeabilidade, densidade e espessura) têm grande peso na deflagração do processo erosivo,

assim como o declive, o clima e a cobertura vegetal. Quando são definidas classes de solos e suas mais relevantes características, deve-se levar em conta a grande diferenciação da cobertura pedológica brasileira, suas áreas de ocorrência e o ambiente em que ele foi formado, amarrando todas essas informações a levantamentos de solos em todo o país. A partir disso é possível analisar as diferenças na suscetibilidade desses solos à erosão, em função da maior ou menor erodibilidade de seus materiais componentes e seu comportamento frente à ação de fatores erosivos.

Veniziani Junior (2003) sobre textura, estrutura, permeabilidade, densidade e espessura dos solos discorre que: a textura influencia na infiltração e no escoamento. Bertoni & Lombardi Neto (1990), afirmam que em um solo arenoso e com alta porosidade, uma chuva de pouca intensidade é rapidamente absorvida pelo solo impedindo o escoamento superficial, porém como possui baixo teor de argila, que atua unindo partículas maiores, um escoamento de pequena intensidade é capaz de remover grandes quantidades de solo.

TABELA 2 – Unidades pedológicas para o estado de São Paulo e seus respectivos índices de erodibilidade. (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Classe	Erodibilidade	Unidades pedológicas
I	10,0 a 8,1	- Cambissolos, solos litólicos - - podzólicos abruptos, textura arenosa/ médica - - areias quartzozas
II	8,0 a 6,1	- podzólicos não abruptos, textura média/ argilosa e textura média
III	6,0 a 4,1	- podzólicos de textura argilosa
IV	4,0 a 2,1	- latossolos de textura média - latossolos de textura argilosa - terra roxa estruturada
V	2,0 a 0	- solos hidromórficos em relevo plano

Na análise da estrutura de um solo são considerados fatores físico-químicos e biológicos fundamentais à agregação e estabilidade do mesmo:

- as propriedades físico-químicas da argila proporcionam estabilidade dos agregados na presença de água;
- as propriedades biológicas; relacionadas à presença de matéria orgânica, proporciona uma maior estabilidade dos agregados, em solos arenosos e nos solos argilosos melhorando as condições de arejamento e retenção de água.

Em geral os solos arenosos são mais permeáveis que os solos argilosos. A permeabilidade determina a maior ou menor capacidade de infiltração da água no solo e está relacionada com a porosidade.

A massa específica é inversamente proporcional à permeabilidade e à porosidade do solo e expressa a relação entre massa e volume do corpo. A compactação pode aumentar sua densidade, diminuindo a porosidade e aumentando o risco de erosão.

Um outro aspecto importante a ser evidenciado é a espessura do solo. Os solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superiores favorecendo o escoamento superficial. Uma outra característica influenciada pela espessura do solo trata-se da variação de teores de argila e areia ao longo dos horizontes. No caso de um tipo de solo com horizonte B com altos teores de argila e horizonte A com altos teores de areia, podemos observar uma certa barreira à infiltração formada pela argila no horizonte B, intensificando o escoamento superficial e facilitando a remoção da camada superficial que por ser arenosa apresenta maior facilidade de ser erodida.

Dentro deste contexto vale descrever algumas características dos solos da área de estudo.

- Neossolos

Solos constituídos por material mineral ou orgânico. Em condições de topografia acidentada, há a formação de um solo raso, perfil do tipo A-R, isto é, horizonte A sobre a rocha, ou tipo A-C-R, sendo o horizonte C pouco espesso.

Onde há muitos afloramentos de rocha, muitas vezes esses solos estão presentes.

- Neossolo Litólico: solo com horizonte A com menos de 40 cm de espessura, assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr. Admite um horizonte B, em início de formação. Ocorre nas altitudes mais elevadas, ao noroeste de Campos, em combinação com Cambissolos.

- Neossolo Flúvico (Figura 5): solo derivado de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre C constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si. Ocorre na região de baixada do de Campos.

- Cambissolos

Solos caracterizados pelo horizonte B incipiente, cujas características gerais são: presença de minerais primários facilmente intemperizáveis, argila ativa, elevados teores de silte e resquícios da rocha mãe. Estes solos ocupam as partes mais jovens da paisagem. Na área de estudo diferencia-se o Cambissolo Hipotrófico e o Cambissolo Álico.



FIGURA 5 – Perfil de solo Neossolo Flúvico na Baixada Campista. (Ramos, 2006)

- Cambissolo Álico: solo dominante na região serrana. Em geral, ocorre associado aos Latossolos Vermelho-Amarelos, do qual se diferencia basicamente pela pouca espessura do horizonte B dos Cambissolos, em relevo montanhoso e forte ondulado; ou ainda associados a Neossolos Litólicos nas áreas de relevo mais acidentado das escarpas serranas.
- Cambissolo Eutrófico: Algumas baixadas fluviais, de relevo aplainado, são também ocupadas por Cambissolos. Destaca-se dentre essas a do baixo curso do rio Paraíba do Sul. Em sua porção central nas proximidades da cidade de Campos dos Goytacazes, onde os sedimentos argilosos depositados pelo rio são mais espessos, propiciando o desenvolvimento dos Cambissolos Eutróficos. Esses solos são constituídos por elevadas quantidades de argila e silte. Encontram-se hoje quase destituídos de sua vegetação original, sendo utilizados principalmente com plantios de cana-de-açúcar. Na Figura 6 um cambissolo típico da área de estudo.



FIGURA 6 – Detalhe de um corte com Cambissolo. A presença de fragmentos de rocha caracteriza este tipo de solo.(Corrêa, 2003)

- Latossolos

Compreende os solos minerais, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. São solos em avançado estágio de intemperização; muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. São normalmente muito profundos; de elevada permeabilidade e comumente bem acentuadamente drenados. Na área estudada são encontrados Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo.

- Latossolo Amarelo: solo com um ou mais horizontes com espessura mínima de 30cm, compreendendo o horizonte AB e/ou BA, e/ou parte do Bw, os quais quando seco são muito resistentes à penetração do martelo pedológico ou trado e que não apresentam uma organização estrutural visível (são maciços) e que se desfaz em agregados com consistência a seco, no mínimo, dura, sendo normalmente muito dura, e, às vezes, extremamente dura. Ocorre na região norte de Campos, na altura do tabuleiro da Formação Barreiras.

- Latossolo Vermelho-Amarelo: comumente na região, encontra-se o Latossolo Vermelho-Amarelo, de grande expressão geográfica, numa região entre os Cambissolos da parte serrana e os Argissolos da região ondulada. Devido ao relevo, geralmente movimentado e à baixa fertilidade, a pastagem é o uso dominante nesses solos.

- Argissolos

Solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, com coloração que varia de vermelha a amarela. São solos em geral profundos e bem drenados. Diferenciam-se dos Latossolos por apresentarem alto gradiente textural, tendo portanto, o horizonte A bem mais arenoso que o horizonte B, subjacente. Na área de estudo encontra-se o Argissolo Vermelho-Escuro, o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Argissolo Amarelo.

- Argissolo Vermelho-Escuro: compreende solos com horizonte B textural de coloração avermelhada. Estão presentes nas áreas de relevo montanhoso e forte ondulado correspondentes às serras e bordas de superfícies elevadas. Encontram-se em geral associados a Argissolos Vermelho-Amarelos. Apesar da

boa fertilidade natural que apresentam, são muito pouco utilizados com agricultura, sendo o uso com pastagem generalizado.

- Argissolo Vermelho-Amarelo: distinguem-se dos Argissolos Vermelho-Escuros pela coloração mais amarelada do horizonte Bt. Apresentam grande expressão espacial na área, em relevo que varia de suave ondulado a montanhoso. É comum a presença de solos com características intermediárias com Latossolos, com os quais se encontram freqüentemente associados. São solos geralmente bem drenados, de textura média/argilosa ou média/muito argilosa.

- Argissolo Amarelo: caracteriza-se por ser um solos com horizonte B textural de coloração amarelada. É geralmente profundo e bem drenado. Relaciona-se com os sedimentos do Grupo Barreiras e congêneres. Ocorrem em relevo suave, com rampas longas e são por isso bastante utilizados com cana-de-açúcar e pastagens.

- Gleissolos

Compreendem os solos minerais, hidromórficos, relativamente recentes, pouco evoluídos, originados de sedimentos de idade quaternária e de grande variabilidade espacial. São solos mal ou muito mal drenados, com altura do lençol freático flutuante na maior parte do ano. Ocorrem em áreas de várzea. Originalmente, esses solos encontravam-se recobertos por vegetação de campo ou floresta de várzea, sendo hoje preservados apenas em poucos locais. Atualmente, são utilizados principalmente com pastagens e alguma olericultura em áreas menores.

- Organossolos

Correspondem a solos hidromórficos formados em ambientes palustres que apresentam camadas de constituição orgânica pelo menos nos primeiros 40cm superficiais. Ocorrem em locais deprimidos da planície, em geral nos baixos cursos dos rios, originados de acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviais ou fluviomarinhas, de idade quaternária. São solos muito mal drenados, com lençol freático aflorante, desde que não drenados artificialmente.

- Espodossolos

Solos minerais hidromórficos, em geral de textura arenosa ao longo de todo o perfil. São solos com nítida diferenciação de horizontes. Estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos dispostos em faixas sub-paralelas ao longo da costa, cuja ocorrência na área de estudo acontece numa pequena gleba nas proximidades da Lagoa Feia. Em sua maior parte, são recobertos por vegetação de restinga. São utilizados, em geral, com pastagem natural de baixa qualidade, além de pequenos plantios de coco. Um exemplo é mostrado na Figura 7.

3.2 Equação Universal de Perdas de Solo

A equação Universal de Perda de Solo – EUPS – foi desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978) é uma das muitas equações que buscam exprimir a ação dos principais fatores que influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica de modo dinâmico por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter aplicação generalizada. Os primeiros moldes talhados a fim de formular modelos e técnicas de conservação dos solos ocorreu nos Estados Unidos, na década de 50, por pesquisadores de Indiana. Baseia-se em dados derivados de um grande número de experimentos de campo e aborda aqueles que são considerados os quatro maiores fatores responsáveis pela deflagração do processo erosivo linear ou laminar, a saber, o clima, a topografia, o solo e o uso e manejo do solo.

Em poucas palavras, a EUPS prevê a médio e longo prazo como se comporta a erosão do solo e, a partir de então, promove-se o planejamento de práticas conservacionistas para reduzir as perdas de solo a níveis aceitáveis (Silva, Schulz e Camargo, 2004).

A EUPS exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão do solo pela chuva. Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais

do clima e do solo e os fatores C e P das ações antrópicas, ou seja, das diferentes formas de ocupação e uso das terras (Sparovek, 1998).

Ranieri (1996) indica a EUPS para as seguintes finalidades:

- (a) previsão de perdas médias anuais de terra para áreas com determinadas práticas de utilização;
 - (b) orientações para o planejamento de práticas de cultivo, de manejo e conservação;
 - (c) previsão de alterações nas perdas de solo ocasionadas por mudanças nas práticas de cultivo e conservação;
 - (d) determinação de modos de aplicação ou alteração das práticas agrícolas;
 - (e) estimativa de perdas de solo por usos distintos na agricultura;
- estimativa de perdas de solos visando a determinação de práticas conservacionistas.



FIGURA 7 – Espodossolo nos cordões litorâneos. Fonte: OFIGEO (2003)

Ainda segundo esta autora, o fato da EUPS se tratar de um modelo empírico e ter sido desenvolvida em parcelas unitárias e uniformes confere a ela algumas limitações, como por exemplo, a adoção de condições uniformes para aspectos morfológicos da encosta. A equação também não contempla o fenômeno de deposição nas encostas (Ranieri, 1996).

Ranieri (2000) cita como limitações da EUPS: necessidade de se trabalhar com áreas relativamente homogêneas com relação ao solo, uso da terra e declividade; o fato de a equação deixar implícitos diversos parâmetros e seus efeitos; o fato de os cálculos para o fator C serem válidos para condições específicas de cada região; a não consideração de áreas de deposição e a não consideração da erosão linear.

Como potencialidades da EUPS, a autora (op. cit.) afirma que a equação é considerada um bom instrumento para previsão de perdas de solo por erosão laminar por exigir um número de informações relativamente pequeno quando comparado ao exigido por modelos mais complexos, e por ser uma equação bastante conhecida e estudada. Ela afirma ainda que, em condições como a brasileira, cuja base cartográfica é escassa, aplicação de outros modelos para estimativa de perda de solo para fins de planejamento agrícola e ambiental é muito limitada.

A expressão matemática que define a EUPS compreende os seguintes parâmetros (Equação 1):

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

onde:

A é a perda de solo acumulada por unidade de área ($t \text{ ha}^{-1}$);

R é o fator de erosividade da chuva e representa o índice de erosão pela chuva ($\text{MJ.mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K corresponde ao fator erodibilidade do solo e indica a intensidade da erosão por unidade de índice de erosão da chuva ($t.h \text{ MJ}^{-1} .\text{mm}^{-1}$);

L é o fator comprimento de rampa (declive) (m);

- S** é o fator inclinação da encosta (porcentagem);
C é o fator uso e manejo do solo (adimensional);
P é o fator prática conservacionista (adimensional).

A seguir serão apresentados e discutidos os fatores da EUPS.

- Fator erosividade da chuva (R)

É um índice numérico que indica a capacidade da chuva esperada em uma dada localidade de causar erosão em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Dados de perdas de solo em terrenos cultivados associados com as características da chuva, quando todos os outros fatores relacionados são mantidos constantes, indicam que as perdas de solo são diretamente proporcionais ao valor do produto da energia cinética total da chuva por sua intensidade em 30 minutos (Wischmeier & Smith, 1978). Por Bertoni & Lombardi Neto (1993) apud Sparovek (1998) este produto é chamado de "índice de erosão" (EI) e é abreviação do termo energy-times-intensity, o qual indica como a desagregação da partícula combina com a capacidade de transporte (Wischmeier & Smith, 1978). A relação para obtenção do EI é dada pela Equação 2:

$$\mathbf{EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}} \quad \mathbf{(2)}$$

onde:

EI = média mensal do índice de erosão ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

r = precipitação média mensal (mm)

P = precipitação média anual (mm)

A soma dos valores de EI de cada chuva, isoladamente, em determinado período, representa a erosividade da chuva (R) dentro daquele período. A soma de todos os valores de EI das chuvas caídas em um ano em um dado local dará o valor anual de EI (Wischmeier & Smith, 1978).

- Fator erodibilidade do solo (K)

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas.

O fator K na EUPS representa quantitativamente a taxa de perda de solo por unidade de índice de erosão medida em uma parcela unitária (Lane et al. 1992 apud Ranieri, 2000) com 25 m de comprimento, 9% de declive, mantida permanentemente descoberta e com preparo de solo no sentido do declive (Wischmeier & Smith, 1965). Sob estas condições, os fatores LS, C e P são iguais a 1,0 e o fator K iguala-se a $A R^{-1}$, sendo desta maneira, a perda de solo (A) expressa por unidade de índice de erosão da chuva (EI) (Sparovek, 1998).

Os valores de K são obtidos, geralmente, por institutos de pesquisa na área de solos (Gameiro, 1997). No entanto, as medidas experimentais deste parâmetro são dispendiosas e demandam tempo. Elas levam em conta a estrutura, textura, porosidade, permeabilidade, capacidade de infiltração, teor de matéria orgânica e composição química do complexo argila (César, 1952). O método mais usado para estimação do fator K é o nomograma de Wischmeier e Smith (1965). Para os solos brasileiros, porém, o método do nomograma apresenta limitações uma vez que ele foi desenvolvido e calibrado para os solos norte americanos. Há diferenças texturais, entre os solos usados para sua confecção e os solos brasileiros, principalmente no que se refere a solos com baixa porcentagem de silte e areia muito fina, afirma Ranieri (2000) citando Freire & Pessoti (1978), Henklai & Freire (1983) e Angulo et al. (1985).

- Fator topográfico (LS)

Segundo Wischmeier & Smith (1978), tanto o comprimento do declive como seu gradiente afetam a intensidade de ação das águas. São representados na EUPS pelas letras L e S, respectivamente. Apesar de serem pesquisados separadamente, a aplicação destes fatores é conjunta, constituindo o fator topográfico (LS).

De acordo com Jacques (1997), o fator topográfico quantifica a energia cinética de escoamento na superfície. A declividade (S) influencia diretamente na velocidade de escoamento das águas e o comprimento de rampa (L) indica o caminho preferencial das águas.

O sub-fator L considera a distância desde o ponto de origem do fluxo d'água, em geral um divisor de águas dentro ou no limite da bacia hidrográfica, até o ponto no qual a declividade diminui de forma tal que começa a deposição do material que se encontrava em suspensão na água ou que a vazão entre em um canal (Kuntischik, 1996). É assinalado na literatura que o comprimento de encosta não tem muito peso na determinação da taxa de perdas de solo por erosão hídrica. No entanto essa aumenta substancialmente com o aumento da declividade (Wischmeier & Smith, 1978; Pinto, 1991).

Matematicamente, o fator LS expressa a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perda correspondente a uma parcela unitária de 25 m de comprimento e 9% de declive. A equação (Equação 3) que o exprime, foi proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1983):

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (3)$$

onde:

LS = fator topográfico (adimensional);

L = comprimento do declive em metros;

S = declividade em porcentagem.

Existem tabelas prontas que fornecem o valor do fator topográfico para condições específicas de comprimento de encosta e declividade. A Tabela 3 e a Figura 5 são exemplos.

Outra maneira de obtê-lo é através da série de curvas construídas (Figura 8) a partir de dados obtidos pela Equação 3 por Bertoni e Lombardi Neto (1983), as quais permitem estimar o valor deste fator.

- Fator antrópico (CP) - uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P)

Assim como o fator topográfico, o fator antrópico engloba dois parâmetros da EUPS e têm sido estudados juntamente.

TABELA 3 – Comprimento de rampa. (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Decl %	Comprimento de rampa (metros)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	80	100
1	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,16	0,18
2	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,35	0,41
4	0,14	0,22	0,28	0,33	0,38	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,80	0,92
6	0,23	0,33	0,45	0,54	0,62	0,69	0,77	0,83	0,90	0,96	1,02	1,07	1,29	1,48
8	0,32	0,49	0,63	0,76	0,87	0,98	1,08	1,17	1,26	1,34	1,43	1,51	1,81	2,08
10	0,41	0,64	0,82	0,98	1,13	1,27	1,40	1,52	1,64	1,75	1,86	1,96	2,36	2,71
12	0,51	0,79	1,02	1,22	1,40	1,57	1,73	1,89	2,03	2,17	2,30	2,43	2,92	3,36
14	0,61	0,95	1,22	1,48	1,68	1,89	2,08	2,26	2,43	2,60	2,76	2,92	3,51	4,03
16	0,71	1,11	1,43	1,71	1,97	2,21	2,44	2,65	2,85	3,05	3,23	3,42	4,10	4,72
18	0,82	1,27	1,64	1,97	2,27	2,54	2,80	3,04	3,27	3,50	3,72	3,93	4,71	5,47
20	0,93	1,44	1,86	2,23	2,57	2,88	3,17	3,44	3,71	3,96	4,21	4,45	5,34	6,14

As perdas de solo que ocorrem em uma área mantida continuamente sem vegetação podem ser estimadas pelo produto dos parâmetros R, K e LS da EUPS. No caso da área apresentar algum tipo de cobertura vegetal, tanto natural quanto implantada, a perda real será bem menor à calculada para as condições anteriores devido à proteção fornecida pelo dossel vegetal ao solo (Kuntischik, 1996). O grau de proteção fornecido pela cobertura depende do tipo de vegetação, seqüência de culturas e práticas de manejo. Também influem os estágios de crescimento e desenvolvimento da vegetação durante o período de maior ocorrência de chuvas, continua o autor op. cit.

O fator C mede exatamente isso: "a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas deste mesmo terreno descoberto, preparado para o cultivo (Wischmeier & Smith, 1978)". É

adimensional e varia entre 0 e 1, representando, respectivamente, a superfície com cobertura vegetal máxima e o solo exposto.

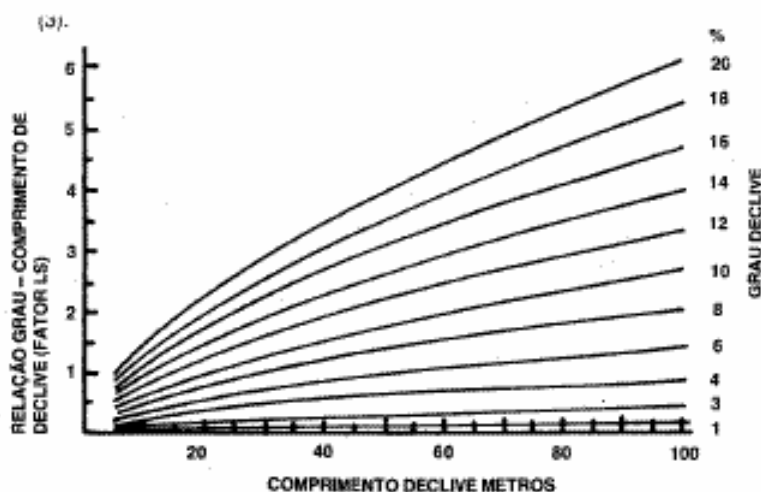


FIGURA 8 – Curvas para cálculo do fator LS. (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Gameiro (1997) discorre que os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados independentemente devido às diversas interações entre eles. Por exemplo, uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou então em rotação de culturas. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície, incorporados próximo à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. Quando deixados na superfície, podem ser cortados ou mantidos como foram colhidos. O preparo do solo pode deixar a superfície do terreno bastante irregular ou lisa. Considerando as diferentes combinações possíveis dessas variáveis, o efeito será diferenciado nas perdas de solo. O fator C mede justamente o efeito de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo que incluem: tipo de vegetação, stande (população), desenvolvimento (estádio da cultura), época do ano e manejo cultural. Seu cálculo se dá a partir das relações de perda de solo e da fração da erosividade para cada estágio das culturas.

Kuntischik (1996) cita que autores como Bertoni (1949), Holý (1980) e Wischmeier e Smith (1978) mencionam a mata como a cobertura vegetal que

fornece maior grau de proteção ao solo. As pastagens também contribuem de modo muito significativo para o controle da erosão hídrica. Alguns valores de C são mostrados na Tabela 4 como exemplos.

TABELA 4 – Categorias de uso e respectivos valores de C.

Classe de Cobertura	Fator C
Solo exposto ¹	1,0000
Mata ²	0,0001
Pastagem ³	0,4000
Cana-de-açúcar ⁴	0,3066

¹ Kuntischik (1996); ² Ranieri (1996); ³ Jacques (1997) e ⁴ Weill (1999)

O fator P representa o efeito das práticas conservacionistas. As práticas mais comuns são o plantio em nível, terraceamento e o plantio em faixa.

O fator denota a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquela quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (Ranieri, 2000), com o solo descoberto (Jacques, 1997). Varia entre 0 e 1, sendo dado o valor máximo para o plantio morro abaixo.

A atribuição do fator P pode ser feita considerando-se os parâmetros declividade e presença de qualquer prática de conservação, além da ponderação dos valores encontrados na literatura. A Tabela 5 propõe valores de P determinados por Bertoni e Lombardi Neto (1990).

Wischmeier & Smith (1978) classificaram as práticas de conservação de acordo com classes de declividade (Tabela 6). Com o aumento do declive o valor de P também aumenta. As declividades entre 21 e 25% englobam valores de P próximo ao manejo morro abaixo.

TABELA 5 – Valor de P para algumas práticas conservacionistas. Bertoni & Lombardi Neto (1990)

Práticas conservacionistas	valor de P
Plantio morro abaixo	1.0
Plantio em contorno	0.5
Alternância de capinas com plantio em contorno	0.4
Cordões de vegetação permanente	0.2

TABELA 6 – Valores de P em função do declive. (Wischmeier & Smith, 1978)

Declividade (%)	Fator P
1 a 2	0,50
3 a 5	0,50
6 a 8	0,50
9 a 12	0,60
13 a 16	0,70
17 a 20	0,80
21 a 25	0,90

Por fim, a aplicação de P devido à presença de práticas conservacionistas é feita adotando-se P igual a 0,5 para as áreas onde elas existem e P igual a 1,0 onde não há qualquer técnica aplicada, levando em conta o fato de que quando P vale 1,0 ocorre a pior situação de plantio. Este método pode ser encontrado em Cerri (1999), Weill (1999), Raneiri (2000), entre outros.

3.2.1 Equações Derivadas

Combinando-se alguns parâmetros da EUPS é possível fazer cálculos para estimativa da perda de solo em função das condições naturais de ocorrência do

fenômeno separadamente da ação antrópica, pela combinação de parâmetros da equação.

- Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) desconsidera os fatores uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P) da equação original da EUPS, pois assim avaliam-se as taxas máximas de erosão devidas unicamente a aspectos morfoedafoclimáticos, ou seja, o PNE avalia as perdas de solo considerando apenas os parâmetros do meio físico de uma área destituída de cobertura vegetal e ausente de presença antrópica.

Segundo Jacques (1997), o PNE é dado em toneladas por hectare ao ano ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e obedece a Equação 4.

$$PNE = R \cdot K \cdot (LS) \quad (4)$$

onde:

PNE = potencial natural de erosão ($t \cdot ha^{-1}$)

R = fator erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$)

K = fator erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

LS = fator topográfico (adimensional)

- Influência Antrópica Atual (CP_{atual}) e Permissível ($CP_{permissível}$)

As interferências das ações antrópicas no meio ambiente, principalmente aquelas relacionadas com a retirada da cobertura vegetal nativa para produção agrícola, tem um importante papel no comportamento dos solos ante ao processo erosivo.

O uso do solo é uma das principais condicionantes do processo erosional, sendo fato que há aumento nas taxas de perda de solo quando há desmatamento. Ações relacionadas com a interceptação e proteção do solo da incidência direta da chuva, retenção substancial do volume de água e eliminação de volume de água por transpiração regulam as forças do agente hídrico quanto ao desencadeamento do processo erosivo (Sparovek, 1998).

Os elementos físicos decorrentes do uso do solo, tais como cerca, caminhos, carreadores, ruas, estradas, canais, entre outros, também induzem de forma direta os processo erosivo (Sparovek, 1998). As áreas submetidas a movimentos de terraplanagem com cortes, aterros e bota-fora destacam-se como fonte muito produtivas de sedimentos (op. cit.).

A influência antrópica atual (CP_{atual}) considera os fatores uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P).

A $CP_{permissível}$ expressa a perda de solo máxima tolerada em uma dada área. É obtida relacionado-a com a variável perda tolerável de solo (T), pela Equação 5.

$$CP_{permissível} = T.(PNE)^{-1} \quad (5)$$

A perda de solo tolerável é definida como a perda de solo por erosão compensada pela taxa de formação do solo na tentativa de manter o equilíbrio entre perdas e ganhos de massa de solo. Para Wischmeier & Smith (1978) o termo "tolerância de perda de solo" (T) indica o máximo nível de erosão de solo aceitável que mantenha, indefinidamente, um elevado nível de produtividade economicamente viável.

Bertoni & Lombardi Neto (1985) apud Jacques (1997) calcularam perdas de solo toleráveis médias para o estado de São Paulo que variam de 4,5 a 15 t.ha⁻¹ ano⁻¹. A taxa de formação de solo para os Estados Unidos é de aproximadamente 8 mm por século (Jacques 1997). Tais colocações sugerem que a taxa com que o solo se recupera da ação degradante do processo erosivo é

infinitamente inferior à taxa com que ele é desgastado. Num ambiente tropical como o do Brasil, os solos levariam ainda mais tempo para se recuperar, tendo em vista a intensidade da erosividade da chuva. Segundo Sparovek (1998) ainda não existe uma tolerância de solo definida para regiões tropicais. Segundo estes autores, os valores de T devem ser maiores em solos tropicais do que aqueles determinados para solos de regiões temperadas.

A Tabela 7 traz valores de T algumas classes de solos.

TABELA 7 – Perda tolerável de solo (T). (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Classe de solo	T (t. ha ⁻¹ . ano ⁻¹)
Argissolos	4,5
Latossolos	15,0
Gleissolos e Hidromórficos	0,0

A medida da influência antrópica é feita comparando-se a (CP_{atual}) com a $CP_{permissível}$. A partir desta comparação é possível determinar as áreas mais afetadas pela ação humana, bem como as que estão se equilibrando a sua ação e as que ainda não apresentam seus efeitos.

3.3 Geoprocessamento e modelagem de processos naturais

O registro de eventos sobre a superfície terrestre com variação temporal e espacial tem sido feitos atualmente através da aplicação de geotecnologias. Os resultados são mapas, cartas e modelos digitais georeferenciados que traduzem informações sobre a localização geográfica exata da ocorrência do fenômeno, bem como sua magnitude, direção, extensão, etc.

Com o advento da tecnologia, densos bancos de dados podem ser montados e manipulados de acordo com o objetivo a que se destina a análise do

meio, sendo possível também irrestritas combinações de informações tanto do meio físico quanto do meio biótico.

A captação e transformação dos dados em informação se dão através de técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas. Por meio delas, pode-se hoje monitorar e inferir sobre questões relativas ao meio ambiente com grande acuracidade e clareza, e assim disponibilizar à sociedade material cartográfico de qualidade que sirva de base aos processos de planejamento e gestão ambiental. A partir dessas fontes, são apuradas informações sobre o uso, ocupação e parcelamento do solo, desmatamentos, atividades agrícolas, assoreamento e poluição de corpos d'água, perdas de solo por erosão, etc.

- Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) é definido como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato entre o objeto e o equipamento sensor (Corrêa, 2003).

Segundo Alves (2000), o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto de base orbital propiciou uma visão sinóptica dos problemas ambientais. De acordo com a autora (op. cit), a aplicação de técnicas de processamento digital de dados, o desenvolvimento da microcomputação e do processamento gráfico tornaram possíveis investigações sistemáticas da superfície da terrestre.

O SR evoluiu à medida que a qualidade dos sensores foi aumentando. Em conseqüência disso, imagens com resoluções sub-métricas são captadas. Manipuladas com técnicas de extração de informações do processamento digital de imagens, os produtos do SR tiveram sua aplicabilidade ampliada a diversas áreas do conhecimento, tais como levantamento e análise de recursos ambientais, geologia, agricultura, engenharia, biologia, meteorologia, etc.

A grande aplicação do sensoriamento remoto em diferentes ramos da ciência deve-se à sua capacidade de coletar dados multiespectrais em diferentes

escalas, diferentes épocas e oferecer uma grande gama de estudos e análises de fenômenos da natureza ao longo do tempo (Marques, 2003).

A superfície terrestre contém inúmeros elementos e fatores que a tornam extremamente complexa. As imagens orbitais para o sensoriamento remoto produzidas pelos sensores dos satélites têm informações geográficas no formato “raster”. Cada pixel contido nestas imagens carrega consigo a representação da radiância média de um local por meio dos valores de brilho Marques (2003). A tecnologia de sensoriamento remoto orbital que tem como principal característica a repetitividade, tornando-se uma importante ferramenta para o mapeamento das características da superfície terrestre em curtos intervalos de tempo.

- Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas

O geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias destinado à coleta e tratamento de informações espaciais, bem como ao desenvolvimento de sistemas e suas aplicações (Ortiz, 2003).

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (Câmara & Davis, 1998).

O geoprocessamento destina-se a tratar problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações dos fenômenos analisados, visando contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento da sua evolução passada e futura (Jacques, 1997).

Lado a lado com o geoprocessamento, caminham os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), “os quais constituem tecnologia para a investigação de fenômenos diversos, relacionados com engenharia urbana, geologia, pedologia, vegetação, bacias hidrográficas, problemas ambientais, etc” (Calijuri e Röhm, 1994).

Quando os dados acerca dos recursos naturais estão disponíveis apenas na forma de mapas impressos, o planejador vê limitado o número de questões que podem ser respondidas rápida e efetivamente (Weill, 1999). Como os SIG's são resultado do desenvolvimento de várias ciências relacionadas, tais como computação gráfica e cartografia digital, a manipulação destes dados para posterior extração de informação só pode ser realizada através deles.

A estrutura de um SIG constitui-se de cinco partes (Figura 9).



FIGURA 9 – Partes componentes de um SIG. (Ziller, 1999).

Um sistema de informação geográfica é a combinação de pessoal especializado, dados espaciais caracterizados, métodos analíticos, hardware e software. Todo esse conjunto organizado para automatizar, administrar e entregar a informação georeferenciada.

Um objeto geográfico qualquer (como uma cidade, um rio, uma montanha) somente poderá ser localizado se puder ser descrito em relação a outros objetos cujas posições sejam previamente conhecidas, ou se tiver sua localização determinada em uma rede coerente de coordenadas. Quando se dispõe de um sistema de coordenadas fixas, pode-se definir a localização de qualquer ponto na superfície terrestre (Corrêa, 2003). Numa formulação geral, um SIG visualiza o

espaço como estando ele coberto por um sistema de coordenadas cartesianas (grid). Cada atributo do espaço é descrito por um plano de informação. Para cada ponto da superfície há uma definição dos valores de das propriedades ou características da terra naquela exata posição (Weill, 1999).

A representação de uma feição dentro de uma SIG pode ser feita de três maneiras (Figura 10): (a) vetorial, (b) raster ou matricial e (c) por rede triangular irregular (TIN).

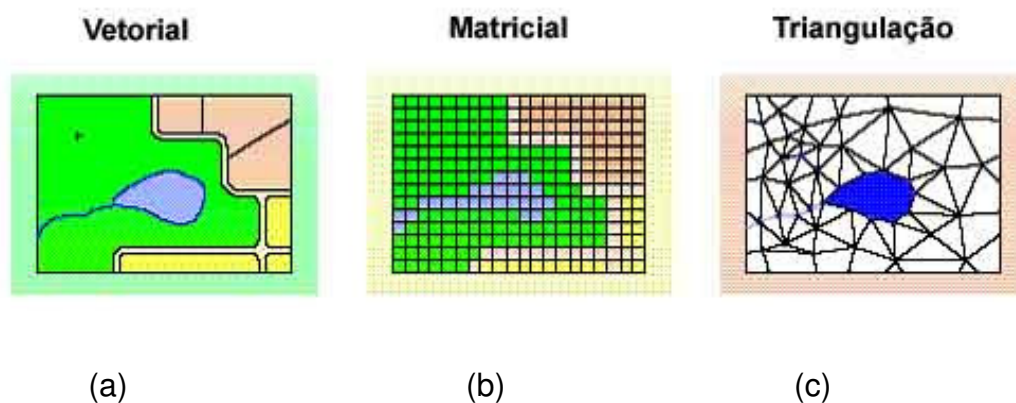


FIGURA 10 – Formas de representação de um dado por um SIG. (Ziller, 1999).

Quando as feições são representadas em formato vetorial, pontos são armazenados por coordenadas (x, y) , linhas como segmentos interconectados pelas coordenadas de suas extremidades e polígonos como segmentos fechados. Quando o formato escolhido é o matricial ou raster, o dado é alocado em uma malha de células cujos valores são dados pela posição da linha/ coluna em que a célula se encontra. Na modelagem TIN, cada nó do triângulo tem uma coordenada (x, y) .

Na Figura 11 está um exemplo de como diferentes feições do mundo real são habitualmente abstraídas para um SIG. Cada tipo distinto de atribuição é separado em camadas. Estas, por sua vez, subdividem-se em feições abstraídas

sob a forma de linha, ponto ou polígonos. Rios são representados por linhas, postes por pontos e unidades de solo por polígonos.

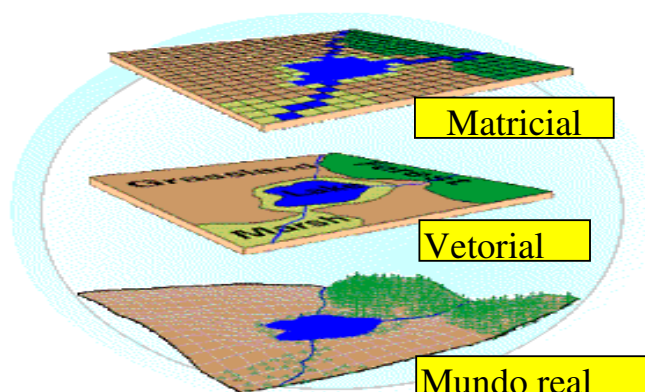


FIGURA 11 – Representação matricial e vetorial e sua relação com o mundo real. (Ribeiro, 2003).

A escala é um fator de registro obrigatório em qualquer produto de SIG. Por ela é possível entender qual a relação do desenho, em centímetros, para o mundo real. Extensas áreas podem ser definidas em mapas e cartas de formatos não superiores à unidade métrica. Segundo Gripp & Simões (1994) apud Corrêa (2003), escala é a relação entre o comprimento gráfico e o comprimento medido sobre a superfície da terra. Na Figura 12 pode ser visto o nível de detalhes de uma escala pequena (1:500.000) e uma grande (1:2.500).

- Modelos Digitais de Elevação (MDE's)

O processo de modelagem de um MDE pode ser definido em três etapas: amostragem, modelagem e utilização do modelo ou aplicações (Felgueiras, 2005). Cada etapa é decisiva para a qualidade do MDE gerado, sendo também interdependentes, ou seja, uma pode influenciar diretamente na outra. Entretanto, existe uma ordem lógica de estruturação para construção de um MDE, devendo-

se inicialmente saber a utilização do MDE, ou seja, o seu objetivo e a sua aplicação. A partir dessa definição já se pode ter noção da área de trabalho, do tipo de terreno que se quer modelar, da disponibilidade de dados de entrada (amostragem) e do tipo de grade e método de interpolação (modelagem) que venha a ter maior eficiência para o modelo gerado (Fernandes e Menezes, 2005).

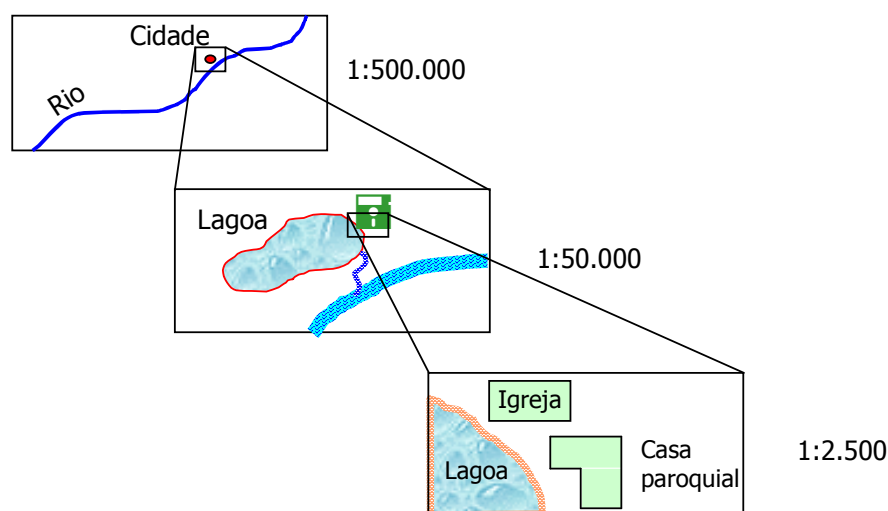


FIGURA 12 – Nível de detalhes entre as escalas. FONTE: Ribeiro (2003).

Os autores op. cit. argumentam que a bibliografia mostra alguns trabalhos que testam diferentes modelos de grade para a confecção de MDE, entre eles pode-se citar, que assume a grade regular retangular (GRID) como melhor modelo que defende a utilização de TIN. Quando a superfície de análise possui descontinuidades ou grandes variações, o modelo *grid* apresenta deficiências, o que não ocorre com a utilização de grades irregulares triangulares).

A eficiência dos métodos de interpolação está relacionada com a qualidade de representação. Toda interpolação traduz uma incerteza no ponto estimado. Segundo Burrough & McDonnell (1998) apud Fernandes e Menezes (2005), quando os dados são abundantes, a maioria dos métodos de interpolação produz resultados semelhantes, entretanto, no caso de dados esparsos tais métodos podem apresentar limitações na representação da variabilidade espacial porque

desconsideram a anisotropia, ou seja, a descontinuidade do fenômeno que se quer observar.

O Sensoriamento Remoto ainda é hoje a maior fonte de dados para os SIG's e para o Geoprocessamento, sobretudo em países carentes de informações cartográficas atualizadas, como é o caso do Brasil (Corrêa, 2003). Através da interpretação de seus produtos são obtidos mapas de regiões remotas a um menor custo, são detectados objetos e fenômenos não perceptíveis à visão humana através da utilização de outras faixas de radiação eletromagnética além do visível, como o infravermelho, e é possível ter visão global sobre uma região ou fenômeno estudado.

Em relação ao estudo de erosão através de técnicas de Geoprocessamento, Silva, Schulz e Camargo (2004) citam Chaves (1995), que afirma que a EUPS pode ser combinada com SIG's para estimar a erosão laminar e em sulcos com bom resultados, já que o desenvolvimento de sistemas computacionais para aplicações gráficas e de imagem permite a automatização de tarefas anteriormente realizadas manualmente e ainda facilita a realização de análises complexas.

A principal vantagem do uso do SIG para modelar a perda de solos é a habilidade para analisar a variabilidade espacial do potencial de erosão com base na influência de fatores como a declividade, tipo de solo, uso da terra, precipitação, entre outros. Entretanto, é importante considerar algumas das limitações na representação e interpretação dos resultados (Machado, 2002).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1. Localização da Área

O município de Campos dos Goytacazes localiza-se na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro, distando aproximadamente 279 km da capital estadual, Rio de Janeiro (Figura 13). Abrange uma área de 4.037 km², sendo o maior município do Estado. Possui uma população de 406.989 (quatrocentos e seis mil novecentos e oitenta e nove) habitantes, segundo o censo do IBGE (2002). A rodovia federal BR-101 atravessa o município longitudinalmente e é responsável por boa parte do escoamento da produção agrícola, dos produtos cerâmicos e de petróleo, etc.

Na Figura 14 estão dispostos o limite do município e as localidades vizinhas a ele, além dos distritos, lagoas e rios importantes na área de estudo. A imagem é Landsat, de 14/03/02.

4.2 Uso e Cobertura do Solo

Segundo Corrêa (2003) discorreu, a ocupação do solo fluminense, na forma em que ocorreu, resultou de um processo histórico onde as queimadas e o desmatamento sucederam a uma exploração sem maior planejamento no que diz respeito à aptidão de terras e ao seu uso. Neste contexto, a vegetação original na

área de estudo encontra-se profundamente modificada pela ação antrópica, através da exploração agrícola e pecuária, atividades de longa data na região. A vegetação nativa remanescente compreende manchas de Mata Atlântica e campos de altitude nas serras, amostras de vegetação de restinga nas áreas mais próximas ao litoral e raros manguezais no Canal das Flexas.

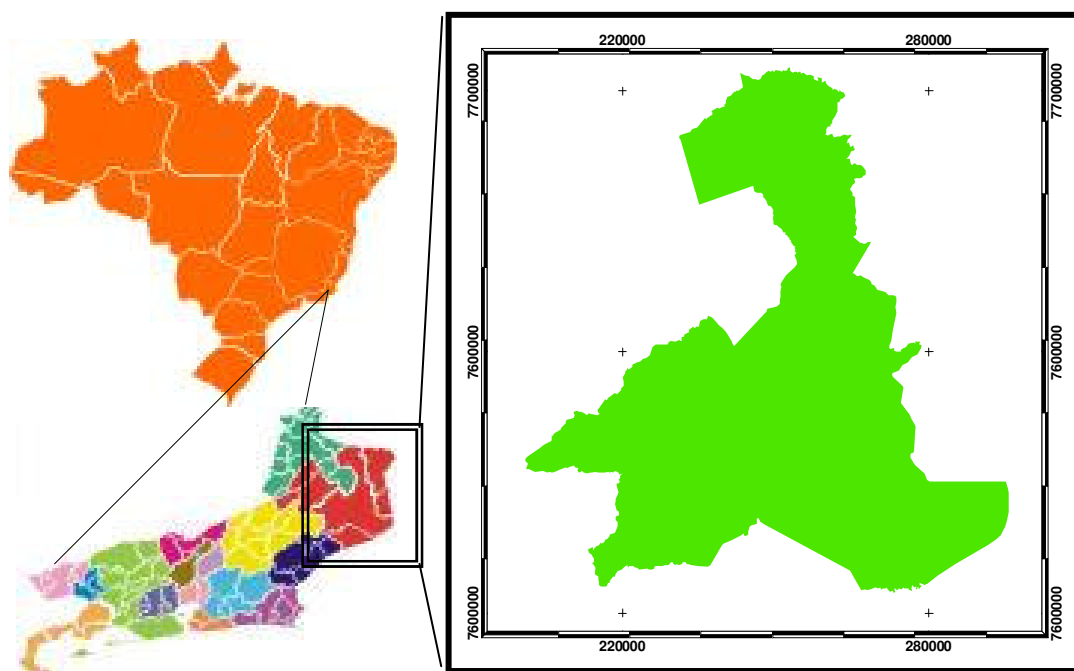


FIGURA 13 – Localização da área de estudo.

O Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2001), confeccionou mapas de uso e cobertura do solo para o Estado do Rio de Janeiro (1: 500.000) com as seguintes classes: Pastagem, Mata, Áreas Urbanas, Solo Exposto, Áreas Agrícolas, Corpos d'Água, Afloramentos de Rocha, Vegetação de Restinga, Campo Inundável, Manguezal, Coberturas Arenosas, Salinas e Extração de Areia.

No município de Campos são encontradas as seguintes classes: Pastagem; Mata; Áreas Urbanas; Áreas Agrícolas; Corpos d'Água; Afloramentos de Rocha; Campo Inundável, Vegetação de Restinga e Coberturas Arenosas e Solo Exposto.



FIGURA 14 – Imagem Landsat de 14 de março de 2002.

- Pastagem

A classe refere-se à cobertura vegetal que abrange o “pasto sujo”, onde houve intervenção humana para uso da terra, descaracterizando a vegetação primária.

- Mata

Essa classe agrega remanescentes florestais primários, as matas secundárias (aquelas formadas através de um processo de regeneração natural) e os reflorestamentos. Na área compreendida pela bacia da Lagoa Feia, a classe mata compreende o domínio da Mata Atlântica.

- Área Urbana

Compreende áreas ocupadas pelo sistema urbano da cidade de Campos dos Goytacazes e as localidades de Ururá e Tocos.

- Áreas Agrícolas

Áreas onde se produz a cana-de-açúcar.

- Corpos d'Água

Classe referente à área física coberta pela lâmina d'água dos rios, córregos e lagoas do município.

- Afloramentos de Rocha

Área representativa das cadeias rochosas aflorantes nas regiões de domínio serrano.

- Área Inundável

Compreende as áreas planas, baixas e sazonalmente alagadas que aparecem nas cabeceiras, em zonas de transbordamento de rio ou próximas a lagos e lagoas em processo de colmatação. Em geral, apresenta-se coberta por vegetação hidrófila de várzea.

- Vegetação de Restinga

Classe que se apresenta na área de baixada do município, onde predominam os solos orgânicos.

- Coberturas Arenosas

Classe ocorrente na região da baixada campista, onde ocorrem junto à vegetação de restinga.

- Solo exposto

Esta classe foi acrescida ao mapa de Costa (2005), através de digitalização a partir da imagem Landsat-7 de 14/03/02. Ela corresponde principalmente às cavas de extração de barro pela indústria cerâmica de Campos.

A Figura 15 corresponde ao mapa de uso e cobertura do município.

4.3. Pedologia

O conhecimento sobre os solos é indispensável à avaliação das potencialidades e limitações ambientais de uma dada região e de fundamental importância para a compreensão das inter-relações entre os diversos componentes do meio (Corrêa, 2003).

Todos os solos existentes na paisagem refletem sua história. Desde o primeiro instante de sua gênese até o presente, fenômenos físicos e químicos diferenciados ocorreram no material que lhes deu origem, motivando progressivas transformações que se refletem na sua morfologia e nos seus atributos físicos, químicos e mineralógicos, identificando-os (Oliveira et al., 1992).

O Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2001), utilizando o levantamento de solos realizado pela EMBRAPA Solos, obteve o Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro. A partir deste foi gerado o mapa pedológico da área de estudo por Costa (2005), o qual é constituído por Neossolo Litólico, presente nos locais de relevo mais elevado. Logo em seguida são encontrados os Argissolos Vermelho-Escuros e Cambissolos Álicos, que constituem em sua maioria os solos de encostas. Nas regiões onduladas, de domínio colinoso, foram identificados: Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo. Nas regiões planas e faixa litorânea,

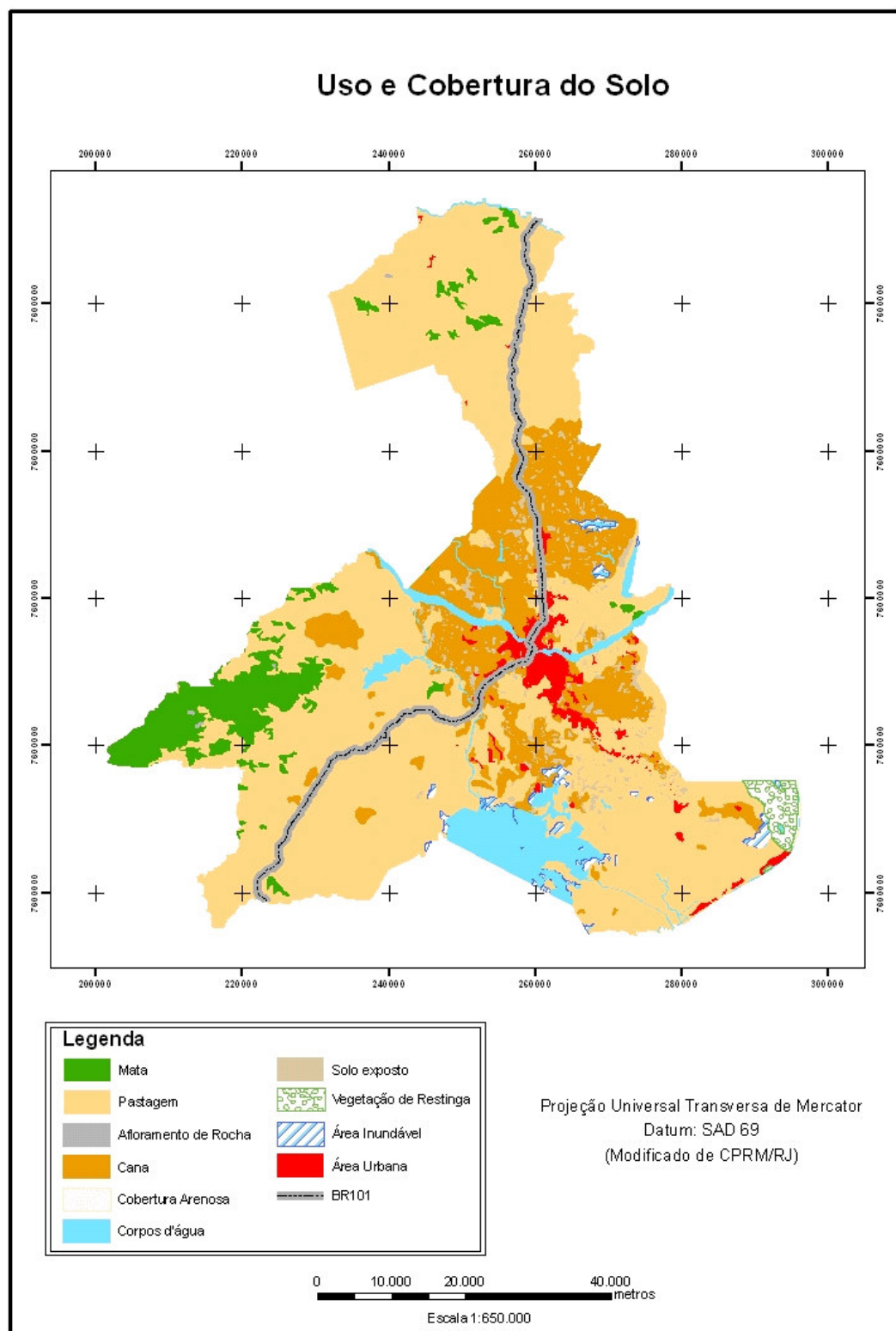


FIGURA 15 – Uso da terra no município de Campos. Modificado de Costa (2005).

foram identificadas áreas de Gleissolo, Espodossolo, Organossolo, Neossolo Flúvico e Cambissolo Eutrófico. Por fim, na área de tabuleiros da Formação Barreiras, foram identificadas áreas de Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo.

A cobertura pedológica do município é mostrada na Figura 16.

4.4. Geomorfologia

Conhecer a geomorfologia de uma área de estudo é imprescindível quando se deseja avaliar sua capacidade de suporte aos impactos decorrentes de intervenções antrópicas e/ou intempéricas. Desta forma é possível um diagnóstico ambiental preciso e gestão ordenada no planejamento territorial.

De acordo com CPRM (2001), a notável diversificação do cenário geomorfológico do estado do Rio de Janeiro deve ser compreendida através de uma singular interação entre aspectos tectônicos e climáticos, que delinearam sua atual morfologia.

O Projeto Rio avaliou cada sistema de relevo quanto às suas propriedades morfológicas e morfométricas, conferindo um caráter quantitativo ao mapeamento, permitindo avaliar as principais diferenciações entre os sistemas de relevos espacializados pelas unidades morfoesculturais. As informações obtidas em trabalhos de campo, ou extraídas da análise de cartas topográficas e fotografias aéreas, resumiram-se em: amplitude topográfica; gradiente das vertentes; geometria das vertentes; geometria dos topos; coberturas inconsolidadas; densidade de drenagem e padrão de drenagem.

Sucintamente serão descritas a seguir características das unidades geomorfológicas presentes no Município de acordo com CPRM (2001) e a Tabela 8 mostra as diferentes unidades geomorfológicas do Município.

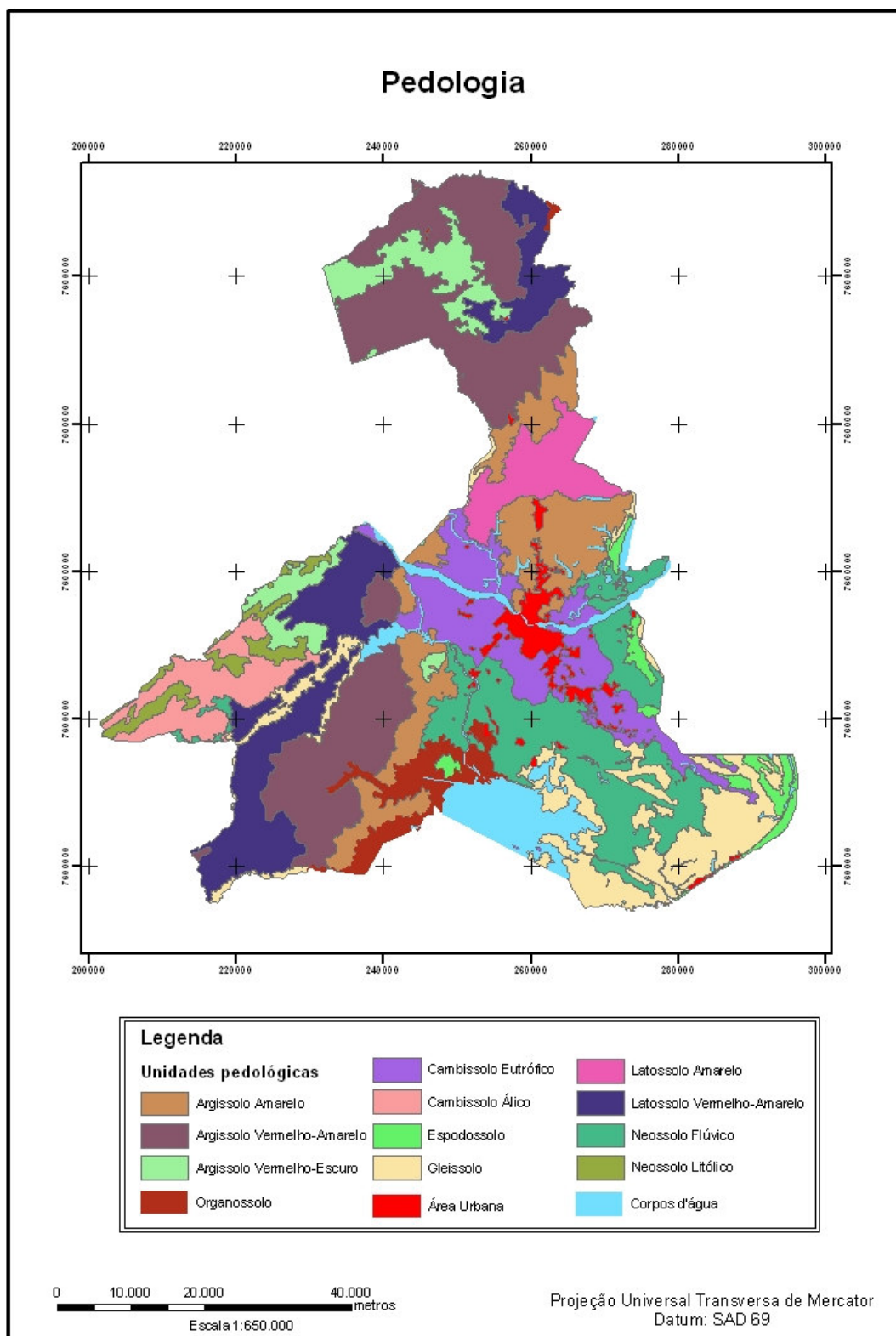


FIGURA 16 – Pedologia do município. Fonte: Costa (2005)

- Domínio Serrano

Compreende os alinhamentos serranos e degraus estruturais, maciços costeiros e interiores, escarpas serranas e domínio montanhoso. Apresenta relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da Serra do Mar. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvio e depósito de tálus, solos rasos e afloramento de rocha.

Como exemplos, no município ocorrem a escarpa da Serra do Imbé (Figura 17) e a Serra da Pedra Lisa (Figura 18).



FIGURA 17 – Domínio Serrano
Escarpa da Serra do Imbé.



FIGURA 18 – Serra da Pedra Lisa.

(Fotos: OFIGEO, 2004)

- Colinas Isoladas

Formas de relevo residuais, com vertentes convexas e topo arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100 m e gradientes suaves. Exemplo: Serra do Imbé (Figura 19).

- Domínio Suave Colinoso

Relevo de colinas muito pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência de morrotes alinhados. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves. Esse relevo suave é esparsamente pontilhado por morrotes e morros baixos. No contato entre as colinas e a Baixada Campista, registram-se alguns remanescentes de tabuleiros do Grupo Barreiras (Figura 20).

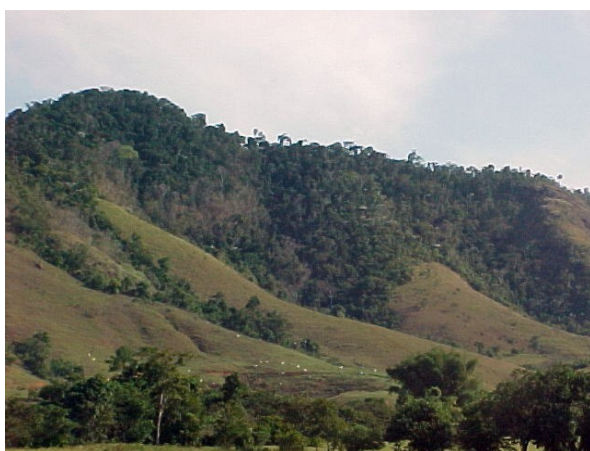


FIGURA 19 – Colinas Isoladas - Serra do Imbé.



FIGURA 20 – Domínio Suave Colinoso

(Fotos: OFIGEO, 2004)

- Serras Isoladas

Relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado em meio ao domínio das baixadas e planícies, ou em meio ao domínio colinoso. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 200m e gradientes muito elevados.

Na região temos o Maciço do Itaoca que é resistente à erosão diferencial, atinge 414m de altitude, sendo circundado por colinas suaves da superfície de aplainamento do litoral leste fluminense e junto à Baixada Campista (Figura 21).

TABELA 8 – Resumo da divisão geomorfológica do município. Corrêa (2003)
modificado de CPRM (2001)

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Sistemas de Relevo
Cinturão Orogênico do Atlântico	Escarpas Serranas	Domínio Serrano
	Maçiços Costeiros e Interiores	Serras Isoladas
	Planaltos Residuais	Domínio Colinoso Suave
	Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas	Colinas Isoladas
Domínio Suave Colinoso		
Bacias Sedimentares Cenozóicas	Tabuleiros de Bacias Sedimentares	Tabuleiros
	Planícies Fluvio-marinhas	Planícies Aluviais
		Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas
		Planícies Flúvio-Lagunares
Planícies Costeiras	Planícies Costeiras	

- Planícies Aluviais

Planícies de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais que compreendem os extensos fundos de vales dos rios Imbé e Urubu, preenchidos de sedimentos de origem fluvial e flúvio-lagunar, os quais desembocam na Lagoa de Cima e correm paralelamente à escarpa da Serra do Imbé. Os sedimentos flúvio-lagunares encontram-se apenas no rebordo da Lagoa de Cima (Figura 22). A configuração atual da baixada foi originada a partir da formação da Lagoa de Cima, que consiste numa lagoa confinada entre colinas e tamponada pela

sedimentação aluvial da Baixada Campista após o máximo transgressivo holocênico.

- Planícies Costeiras

Terrenos arenosos de terraços marinhos, cordões arenosos e campos de dunas delineados em superfícies subhorizontais, com microrrelevo ondulado de amplitude topográfica inferior a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. A planície costeira estende-se entre a localidade de Farol de São Tomé e o limite do Município de Campos, sendo que junto a Farol de São Tomé, consiste em um único cordão litorâneo, que isola do oceano uma extensa planície flúvio-lagunar alagada.



FIGURA 21 – Maciço de Itaoca.
(OFIGEO, 2004)



FIGURA 22 – Lagoa de Cima.
(Corrêa, 2003)

- Planícies Colúvio-Alúvio-Marinha

Engloba terrenos argilo-arenosos das baixadas (Figura 23), dispostas em superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à

linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhos.

Esta planície abrange uma expressiva área do município. É resultante de uma seqüência de eventos transgressivos e regressivos. Essas variações do nível do mar marcaram períodos cíclicos de erosão e sedimentação dos depósitos continentais e marinhos, que modelaram a atual morfologia da região.

- Planícies Flúvio-Lagunares

Ocorre em terrenos argilosos orgânicos de paleolagunas colmatadas (Figura 24) na forma de superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e lagunares. Apresentam terrenos muito mal drenados com lençol freático subaflorante. Esta planície caracteriza-se por extensos terrenos alagados, que consistem em sedimentos de origem lagunar resultantes do ressecamento moderno da Lagoa Feia.

As obras de saneamento, efetivadas com a abertura do Canal das Flexas, promoveram a drenagem da baixada e o rebaixamento do lençol freático subaflorante.



FIGURA 23 – Planície Colúvio-Alúvio-Marinha com a cidade ao fundo.
(OFIGEO-LEVIC, 2003)



FIGURA 24 – Planície flúvio-lagunar: áreas freqüentemente inundáveis próximas a Lagoa Feia.
(Corrêa, 2003)

- Tabuleiros

Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suave ou colinas tabulares (Figura 25). Apresentam topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes da dissecção fluvial recente. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves, com sedimentação de colúvios e alúvios.



FIGURA 25 – Tabuleiro da Formação Barreiras. (OFIGEO, 2004)

A Figura 26 exibe o mapa geomorfológico da área de estudo.

4.5 Geologia

Apesar dos extensos estudos realizados no Estado do Rio de Janeiro pode-se constatar que os mapas geológicos são predominantemente a nível regional. Os trabalhos realizados na área deste estudo são basicamente do Projeto Carta Geológica do DRM-RJ (Bloco Campos) e do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro do DNPM (DRM, 2005).

Através do “Projeto Carta Geológica” o Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ) em conjunto com diversas entidades públicas e privadas

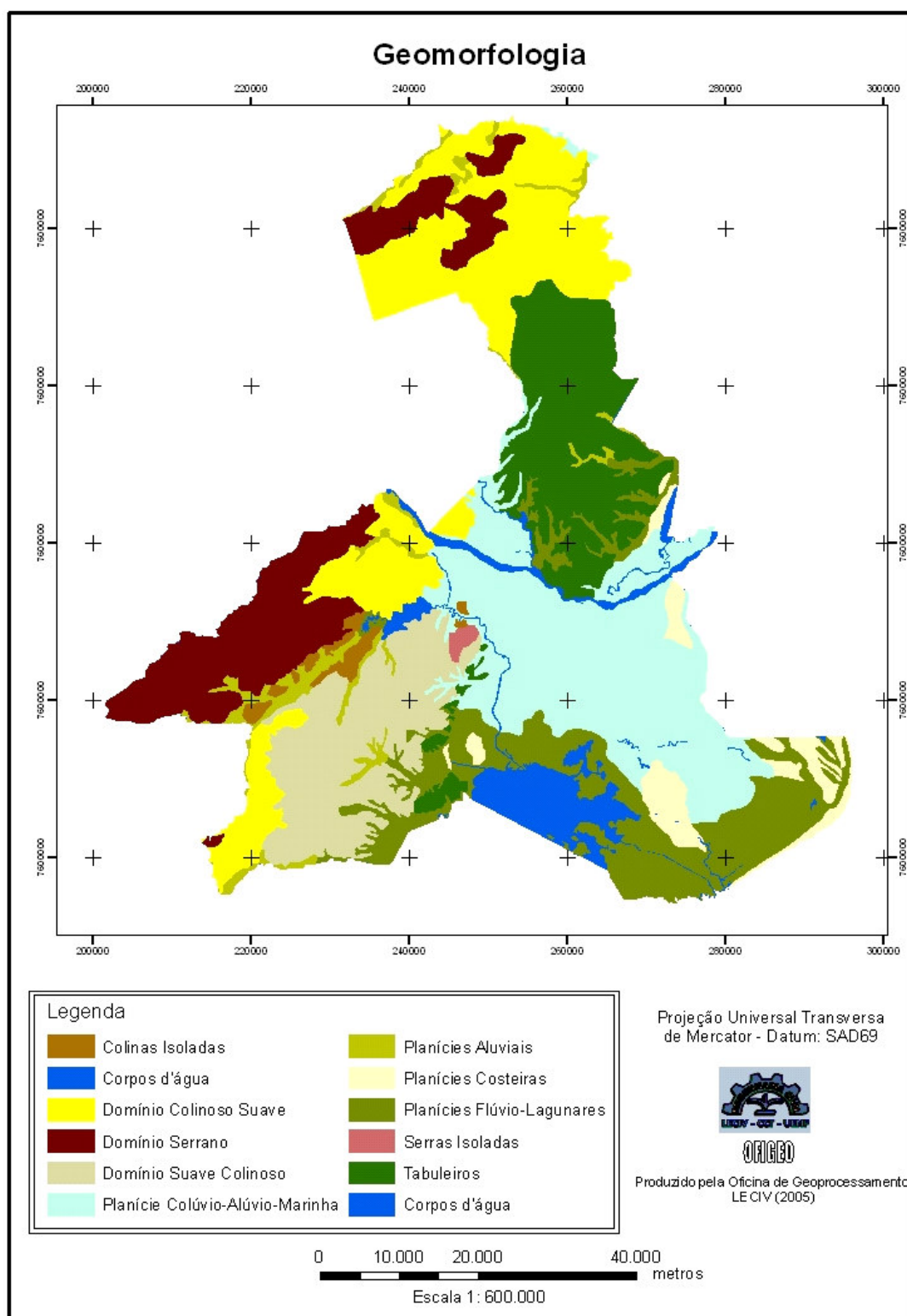


FIGURA 26 – Mapa geomorfológico de Campos.
 (COSTA, 2005, modificado de CPRM, 2001)

como Triservice, Geosol, Geomitec, CPRM, UFRJ, UFRRJ desenvolveu cartas geológicas em todo o Estado do Rio de Janeiro na escala de 1:50.000.

Em continuidade à publicação do Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geológica da Diretoria de Exploração Mineral (DIREX), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), torna público em 1998 o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro na escala de 1:400.000.

A história geológica de Campos pode ser dividida resumidamente em duas partes: Formação das Rochas do Embasamento Cristalino (Pré-Cambrianas) e Formação da Bacia Sedimentar (Fanerozóico).

Serão descritas abaixo as unidades geológicas Pré-Cambrianas e Fanerozóicas encontradas na área de pesquisa, baseando-se em alguns autores, no Projeto Carta Geológica – Bloco Campos (DRM-RJ) e no Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DNPM).

- Geologia do Pré-Cambriano

Unidade São Fidélis (P ϵ III ϵ sf)

Esta unidade encontra-se presente ao norte e a sudoeste do rio Paraíba do Sul, no Município de Campos. As rochas gnáissicas e os migmatitos dessa unidade tem a maior distribuição e extensão entre todas as outras unidades pré-cambrianas de Campos, abrangendo localidades como: Serra do Baú, Panorama e Câmara.

Unidade Bela Joana (P ϵ Ibj):

Assim como a unidade de São Fidélis, esta unidade também encontra-se presente ao norte e ao sudoeste do rio Paraíba do Sul em Campos, mais

especificamente na área do rio Bela Joana. Suas rochas são charnockitos que perlonga a parte nordeste do estado do Rio de Janeiro.

Unidade de Santo Eduardo (P ϵ II ϵ se)

Ocorre apenas na região norte do Município de Campos e é constituída em sua maioria por migmatitos.

Unidade Angelim (Pεllag)

Assim como a unidade de Santo Eduardo, esta unidade também se encontra presente somente ao norte do Município de Campos e é formada por gnaisses.

Unidade Catalunha (Pεllcl)

Esta unidade se encontra presente apenas restritamente à noroeste do rio Paraíba do Sul, como uma cunha de aproximadamente 1,5 km². É constituída por gnaisses.

Corpo Magmático Intrusivo

Na região são expressivos os Granitos da serra de Itaóca e de Morro do Coco.

- Geologia do Fanerozóico

As variações do nível do mar chamadas transgressão e regressão marinha associadas a variação climática originaram depósitos sedimentares Terciários (Formação Barreiras) e Quaternários (planície de inundação do Rio Paraíba do Sul e Cordões Litorâneos).

Unidade Terciária (Tb)

Os sedimentos terciários ocorrem alongados segundo uma faixa diagonal que atravessa a área de estudo na direção NE-SW, interpondo-se, a grosso modo, entre o domínio das rochas pré-cambrianas e os sedimentos quaternários. Suas melhores exposições e maiores extensões encontram-se desde a margem norte do rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Campos, até às proximidades do limite com o Estado do Espírito Santo.

Unidade Quaternária

Sedimentos Paludiais (Ql)

Os corpos sedimentares pertencentes a esta unidade ocorrem às margens das lagoas, nas lagunas, em vales encaixados nas rochas do Pré-Cambriano e nos sedimentos terciários da Formação Barreiras, nas proximidades das desembocaduras dos rios Paraíba do Sul e Itabapoana, em lagoas sobre a planície de inundação e em vales intercordões litorâneos.

Sedimentos Litorâneos (Qc)

Os cordões litorâneos são corpos sedimentares individualmente estreitos e alongados, alturas individuais entre 1 a 3 metros, paralelos entre si. Os sedimentos que pertencem a esta unidade ocorrem nas regiões leste e sul do município, tendo como limites: o Oceano Atlântico, os sedimentos terciários da Formação Barreiras e os sedimentos quaternários da planície de inundação. Estes sedimentos são constituídos de areias quartzosas litorâneas.

Sedimentos Fluviais (Qp)

Os sedimentos fluviais que compõem esta unidade, ocupam principalmente a planície costeira de Campos, também denominada Baixada Campista, com cota máxima da ordem de 13 m e acompanham principalmente os baixos cursos dos rios Paraíba do Sul, Ururaí, Muriaé e Macabu. Essa seqüência é composta por argilas, argilas-sílticas e siltes de planície de inundação. Engloba também as areias quartzosas.

Na Figura 27 o mapa geológico de Campos.

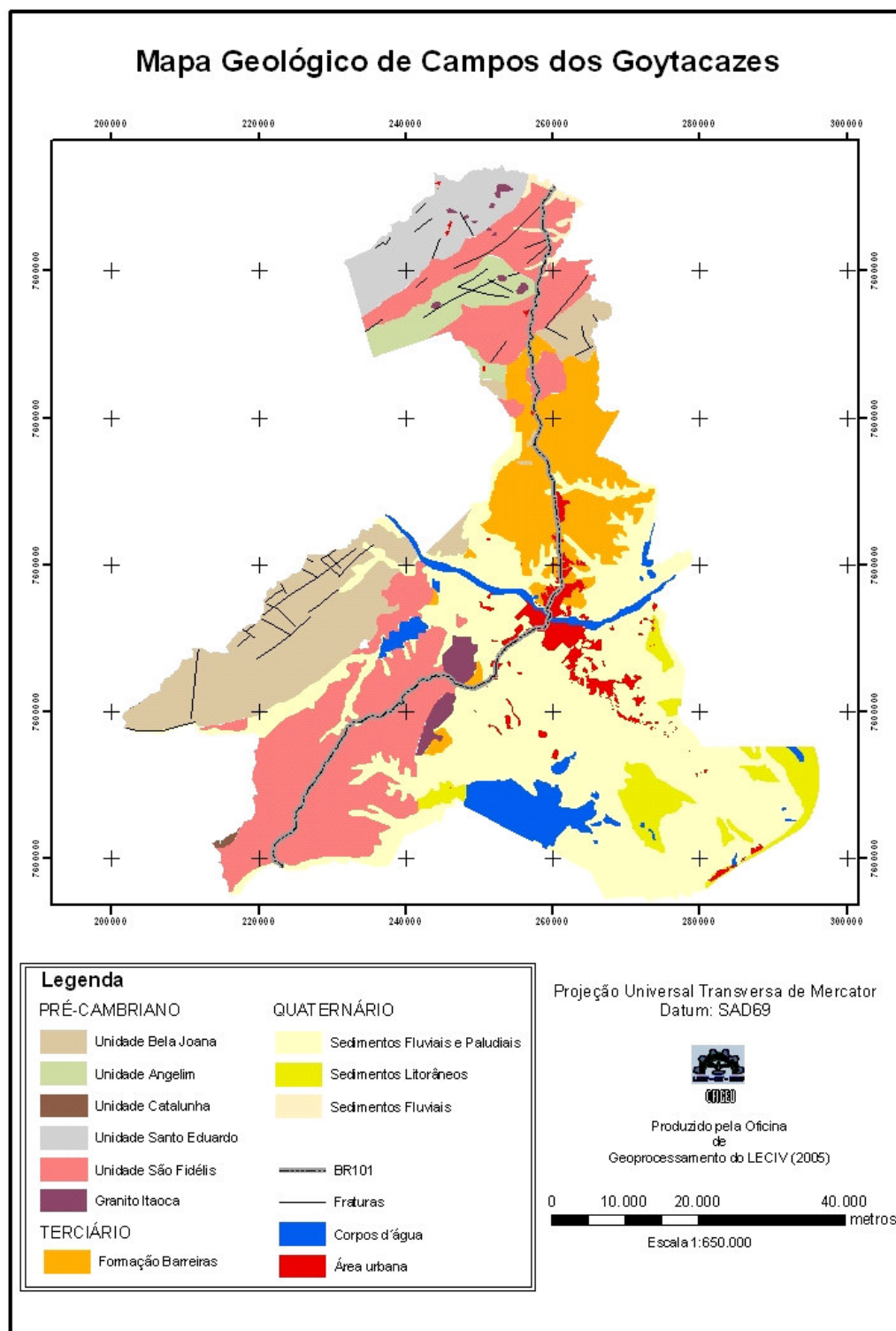


FIGURA 27 – Mapa geológico da área de estudo.

(OFIGEO-LECIV 2005, Compilado do DRM)

4.6 Hidrografia

A área de estudo é dividida quase que ao meio pelo rio Paraíba do Sul. Sua hidrografia é densa, apresentando rios e córregos em toda sua extensão, além de canais de drenagem.

As características naturais do meio físico em relação à hidrografia da área de estudo configuram uma condição de significativa suscetibilidade erosional, principalmente erosão hídrica, devido ao regime e à intensidade de chuvas existentes. O controle dos processos erosivos é determinado fundamentalmente pela cobertura florestal. Quando esta cobertura é retirada há maior probabilidade de ocorrer erosão acelerada, com processos de grande intensidade como ravinas e voçorocas.

Na Figura 28, a hidrografia do município de Campos.

4.7 Vegetação

A vegetação original da bacia hidrográfica encontra-se profundamente modificada pela ação antrópica de exploração agrícola e pecuária, atividades de longa data na região. De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 15), a vegetação que ainda se apresenta no município de Campos é do tipo mata e restinga.

A vegetação nativa remanescente compreende manchas de Mata Atlântica nas Serras de Campos dos Goytacazes, Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes; campos de altitude no Parque Estadual do Desengano.

As restingas ocorrem no limite leste, nas áreas mais próximas ao litoral, ocorrendo também em pequenos setores interiores, a noroeste da Lagoa Feia, entre o Valão do Guriri e o Rio da Prata. A floresta de restinga é uma formação relativamente pouco densa, com espécies de porte médio ou baixo, de copa irregular e tronco fino ou tortuoso.

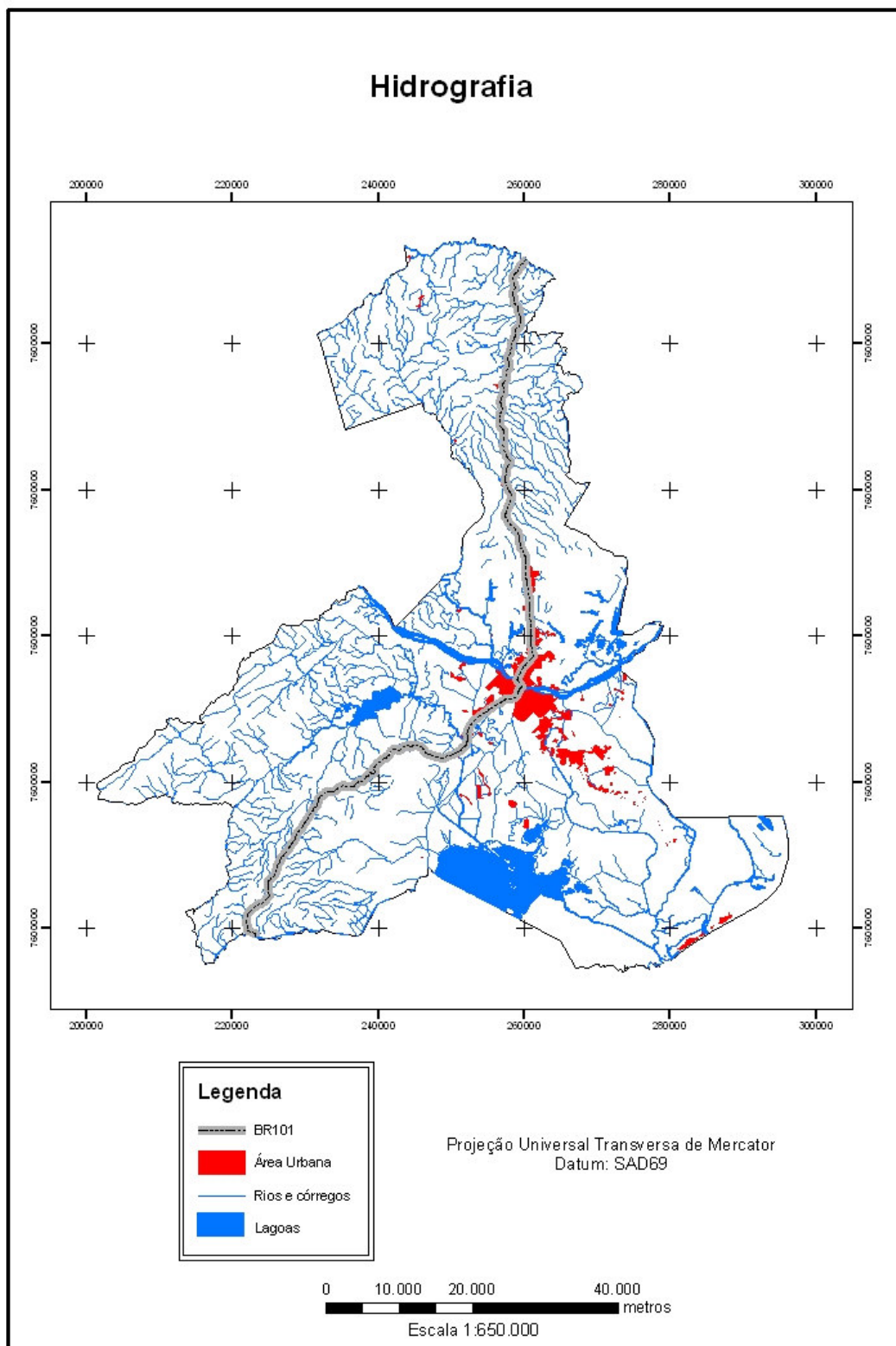


FIGURA 28 – Hidrografia do município de Campos. (CIDE)

4.8 Clima

A descrição feita a seguir dos dados climatológicos da região Norte Fluminense e mais especificamente do município de Campos dos Goytacazes de interesse a essa pesquisa é baseada em diversos estudos de instituições localizadas no Norte Fluminense, como boletins da UENF (UENF-LEAG, 2005, comunicação pessoal¹), da UFRRJ - Campus Dr. Leonel Miranda por Azevedo *et.al.* (2000) e do PROJIR (IAA/SONDOTÉCNICA, 1983).

- Classificação Climática

De acordo com a classificação de Köppen, a área de estudo se enquadra no tipo climático AW, quente e úmido, com estação chuvosa no verão. Nas encostas das serras vizinhas, o clima é quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada. Do ponto de vista do regime térmico dos solos, a totalidade da área se enquadra no conceito de regime “hyperthermic”, ou seja, com temperatura média maior que 22°C e diferença entre as médias de verão e inverno maior que 5°C até a profundidade de 50 cm de solo (IAA/SONDOTÉCNICA, 1983).

- Precipitação

A intensidade das chuvas no município de Campos é verificada pelos aguaceiros que desabam principalmente no mês de dezembro; seguido pelos meses de novembro, janeiro, outubro março e abril. A área de menor intensidade corresponde à zona da Lagoa Feia (110 mm/24 h) (IAA/SONDOTÉCNICA, 1983). Conforme se pode verificar, na Figura 29 são apresentados os valores médios da precipitação mensal para a região de Campos dos Goytacazes, do período de 1975 a 1999 (Azevedo *et. al.*, 2000), que demonstram a ocorrência do período chuvoso e do período seco, e ainda a diferença de magnitude entre os meses.

¹ Laboratório de Engenharia Agrícola da UENF

A distribuição anual da precipitação é determinada pela predominância das perturbações geradas durante o verão devido à instável massa equatorial continental. Portanto, é válido afirmar que a época chuvosa é presidida pelo “verão amplo”, que se estende de outubro a abril, sendo quase sistematicamente o mês de dezembro o de maior pluviosidade. O inverno define a estação mais seca que detém, em geral, cerca de 10% do total anual, sendo as maiores estiagens verificadas no mês de agosto.

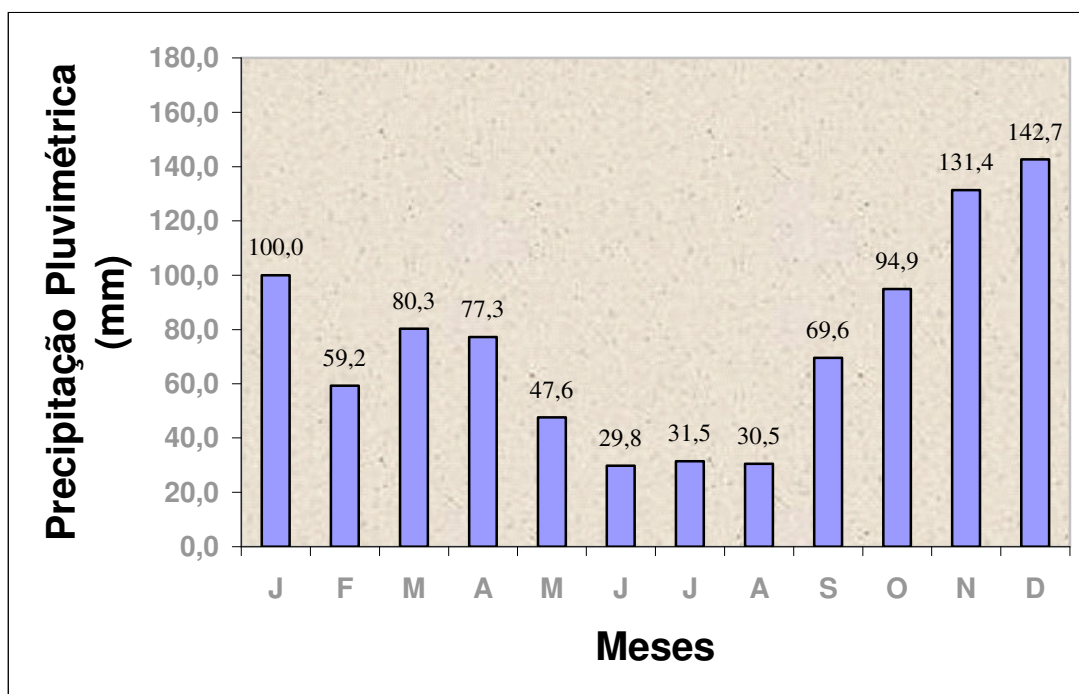


FIGURA 29 – Precipitação Média Mensal, em Campos dos Goytacazes, do período de 1975 a 1999 (Azevedo et. al. 2000).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos e materiais estabelecidos para determinação da suscetibilidade à erosão laminar e quantificação da perda de solo que ela provoca foi baseada nos tópicos teóricos apresentados no Capítulo 3.

As dificuldades para desenvolver a metodologia aqui proposta foram muitas e variaram desde a incompatibilidade dos *hardwares* e *softwares* disponíveis no Laboratório de Engenharia Civil (LECIV) da UENF até falta de dados para gerar os planos de informação básicos. Ante a esse problema, a solução foi realizar o trabalho em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Mas isso era previsto, uma vez que o trabalho a que esta pesquisa se destinou foi o primeiro e até então único para o município de Campos.

Foi tomado cuidado extremo com a precisão dos mapas básicos tanto quanto com seus conteúdos. A cada etapa concluída foi feita uma revista em cada item que levou àquele produto final.

A metodologia empregada para desenvolvimento desta pesquisa pode ser descrita em quatro tópicos: criação da base de dados, edição dos dados, geração dos mapas referentes à análise de suscetibilidade à erosão laminar e dos mapas referentes à quantificação de perda de solo por erosão – aplicação da EUPS.

5.1 Criação da Base de Dados

Inicialmente realizou-se um apanhado dos mapas e cartas considerados básicos a este trabalho. Alguns deles foram produzidos pela Oficina de Geoprocessamento do LECIV a partir de compilações, outros vieram de instituições públicas e privadas, como IBGE, CPRM e DRM.

→ Dados temáticos

- Pedologia: base de dados na escala 1:250.000, utilizada no Projeto Rio de Janeiro em 2001, pelo CPRM e DRM para a confecção do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro;
- Uso e Cobertura do Solo: base de dados na escala 1:250.000, utilizada no Projeto Rio de Janeiro em 2001, pelo CPRM e DRM para a confecção do Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Estado do Rio de Janeiro;
- Pluviometria: dados de chuva de uma série histórica de 10 anos oriundos do trabalho de Coridola (*no prelo*).

→ Dados cadastrais

- Hipsometria: base de dados na escala 1:50.000 obtida junto ao Núcleo de Computação Eletrônica – NCE – UFRJ e IBGE;
- Pontos Cotados da Área de Baixada: base de dados na escala 1:25.000 do PROJIR plotados por Ramos (2001);
- Limite Municipal: base de dados na escala 1:50.000 do IBGE;

→ Redes

- Hidrografia: base de dados na escala 1:100.000 do CIDE;
- Rodovia (BR101): base de dados na escala 1:100.000 do CIDE;

→ Imagem

- Imagem Landsat - ETM 7: cena de 13 de março de 2002 (órbita 216, ponto 75) obtida junto a DSC (Daniel Silva Costa) Engenharia.

5.2 Edição dos Dados

Essa é a fase mais trabalhosa de todo o processo metodológico. Porém, ela deve ser bem feita e consiste em analisar cada item da base de dados com respeito a sua qualidade e conteúdo. A próxima fase consistiu em levar os dados para a um mesmo sistema de referência, uma vez que os eles vieram de diferentes instituições em diferentes formatos (shp, dxf e dwg) e projeções (geográfica e plana).

Basicamente foi usado o programa ArcInfo 9.0 devido a sua interface ser compatível com os outros programas usados, como o AutoCAD e ArcView 3.2.

Todas as operações de georeferenciamento, atualização do sistema de projeção e conversão de formatos foram feitas no ArcMap, que é o módulo do ArcInfo onde é possível manipular representações gráficas de informações geográficas. Nesta etapa foi dada atenção especial aos temas a fim de que eles não sofressem distorções.

Do trabalho de Corrêa (2003) vieram já georeferenciados e no sistema UTM datum SAD 69 zona 24S os temas correspondentes ao limite do município de Campos dos Goytacazes , pedologia e uso e cobertura do solo. O tema hidrografia foi recortado para a área do município.

As curvas de nível e os pontos cotados receberam tratamento à parte e serão discutidos no tópico Modelo Digital de Elevação.

Toda a base de dados tornou-se disponível nos formatos exigidos por cada programa em que foi explorado. Os mapas temáticos, cadastrais, redes ficaram armazenados sob a forma de feições, podendo ser completamente trabalhadas

dentro de SIG's para sobreposições, cruzamentos, visualizações, análises espaciais e reclassificações.

5.2.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para confecção do MDE, foram empregados a base hipsométrica, os pontos cotados da baixada e o limite do município.

Dentro do software ArcInfo 9.0, módulo Arc, as cartas hipsométricas foram primeiramente transformadas do formato shape para o arc (*Command Tools, Conversion, To Arc, Shape to Arc*). Isso foi necessário por que das 10 cartas utilizadas para recobrir o município de Campos (Mimoso do Sul, Italva, Morro do Coco, São Fidélis, Travessão, Renascença, Dores de Macabu, Campos, Conceição de Macabu e Carapebus), a carta de Morro do Coco era a única que não se encontrava cotada. Quando as cartas hipsométricas são adquiridas do IBGE elas vêm cotadas, mas este atributo não se mantém ao serem elas manipuladas em outro programa. Por isso, estas cartas tiveram de ser cotada. Para tanto, utilizou-se o ambiente de edição do módulo Arc, o Edit Tools, comando Labeling Contour Lines, intervalo de 20 m e valor de referência específico. Esse comando gera uma linha através da qual todas as curvas de nível tocadas por ela têm seu valor de cota alterado de zero para aquele definido pelo valor de referência subtraído crescente ou decrescentemente do valor definido como intervalo entre as curvas.

Depois de cotada esta carta, ela teve de ser editada. Não só ela como todas as outras, pois elas não se encontravam unidas. Esta fase do trabalho mostrou-se morosa e importante, pois a conexão entre curvas de cotas diferentes poderia acarretar em inconsistência que travaria o interpolador. Em alguns pontos do mosaico formado pelas curvas, elas precisaram ser redesenhadas a fim de que se conectassem com a curva de mesma cota que se encontrava noutra carta. Uma a uma, as curvas foram ligadas, chegando-se a um único bloco de curvas

perfeitamente conectadas sob a forma de mosaico, aumentando a acuracidade do modelo final, além de converter todas as curvas para um só arquivo.

O arquivo de pontos cotados não sofreu qualquer modificação.

O bloco de curvas e os pontos cotados foram cruzados no ArcMap, modo 3D Analyst, opção Create TIN from Features.

O tamanho da célula é de grande relevância no processo de modelagem. Nesta pesquisa foi adotada uma célula de 30 m, valor este, bem próximo à equidistância vertical das curvas de nível empregadas na confecção do modelo (20 m). Uma superfície com célula menor que 30 m no caso desta pesquisa requereria maior esforço computacional. Este esforço seria tanto maior quanto fosse a área estudada. Obviamente que um modelo digital com célula de 20 m ou menor exibiria mais detalhes da área, mas como o município tem aproximadamente 400.000 ha de área, ao tentar-se executar um MDE com célula de 20 m, o hardware não conseguiu "rodá-lo", travando completamente.

O tamanho de célula escolhido foi de 30 m, pois menor que este valor o esforço computacional requerido seria muito maior. Segundo a literatura, a célula deve ter tamanho bem próximo à equidistância vertical das curvas, que foi de 20 m.

Depois de gerado o MDE, ele foi reclassificado em 12 intervalos de elevação. Para melhor distinção da variação de elevação entres as classes, foi utilizado a classificação Natural Break Jenks do ArcMap.

Esta parte da pesquisa foi realizada com apoio dos técnicos e professores do Laboratório de Geoprocessamento do DEF (Departamento de Engenharia Florestal) da UFV (Universidade Federal de Viçosa).

5.3 Análise de Suscetibilidade à Erosão Laminar

→ Carta de Declividades

As classes de declividade normalmente são subdivididas segundo critérios de declividade, forma de terreno, altura relativa das elevações e tipo e comprimento das vertentes com o objetivo principal de fornecer subsídios ao estabelecimento dos graus de limitação com relação ao emprego de implementos agrícolas e à suscetibilidade à erosão (Brasil, 2005). O critério para adoção das quatro classes de declive (0 – 8, 8 – 30, 30 – 60 e maior que 60%) para esta pesquisa considerou os tipos de relevo e as associações com os diferentes tipos de solos ocorrentes na área de estudo, como descrito e aplicado por Corrêa (2003).

A carta de declividades foi derivada do MDE. Dentro do programa ArcInfo 9.0, no módulo 3D Analyst, Surface Analysis, foi escolhida a opção Slope. A declividade é dada, por default, em graus. A carta resultante, varia de 0 a 90°. Como 45° corresponde a 100% de declividade, a carta foi reclassificada (comando Reclassify, Spatial Analyst) nos quatro intervalos citados no parágrafo anterior.

A relação entre relevo, tipo de solos e as quatro classes de declividade da área de estudo relacionaram-se da seguinte forma:

- 0 – 8%: domínio plano ou suave ondulado, ou seja, superfície de topografia horizontal ou pouco movimentada, onde os desnivelamentos são muito pequenos ou apresentando declives suaves;
- 8 – 30%: domínio ondulado, ou seja, superfície de topografia pouco movimentada constituída por conjunto de colinas apresentando declives moderados, ou formada por morros;
- 30 – 60%: domínio montanhoso, ou seja, superfície de topografia vigorosa com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes;
- 60%: domínio escarpado, ou seja, superfície de topografia muito íngreme com vertentes de declives muito fortes.

→ Carta de Erodibilidade

Este mapa foi produzido agrupando-se classes de solo de acordo com sua erodibilidade, como descrito por Bertoni & Lombardi Neto (1990), que classificou os solos do estado de São Paulo, segundo sua erodibilidade, em cinco classes.

O mapa pedológico da área foi reclassificado aplicando-se os comandos já descritos, de acordo com as classes descritas pela Tabela 9. A classe I agrega os solos mais erodíveis e a V os menos.

→ Carta de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Laminar

Esta carta foi produzida pelo cruzamento da carta de erodibilidade do município com a de declividades a Raster Calculator (Spatial Analyst). O resultado gerou um mapa com cinco classes de suscetibilidade, cujo sentido é crescente da classe I para a classe V, como descrito na Tabela 9.

TABELA 9 – Classes de erodibilidade para a área de estudo. Bertoni & Lombardi Neto (1990)

Classes de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
I	Neossolo Litólico Cambissolo Álico Argissolo Vermelho-Escuro
II	Argissolo Vermelho-Amarelo
III	Argissolo Amarelo
IV	Cambissolo Eutrófico Latossolo Vermelho-Amarelo Latossolo Amarelo
V	Neossolo Flúvico Gleissolo Organossolo Espodossolo

As cartas de erodibilidade e declividades foram integradas tendo como base critério de definição de classes de suscetibilidade à erosão laminar e sua compatibilização com as classes de capacidade de uso das terras (Anexo 01) são assim relacionadas:

- MA = Muito Alta Suscetibilidade: corresponde às classes VII e VIII de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou reflorestamento;
- A = Alta Suscetibilidade: corresponde à classe VI de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento;
- M = Média Suscetibilidade: corresponde à classe IV de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes;
- B = Baixa Suscetibilidade: corresponde à classe III de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle de erosão;
- NS = Baixa a Não Suscetível: corresponde às classes I, II e V de capacidade de uso das terras. A classe I de capacidade de uso corresponde a terrenos sem problemas especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura; a classe II corresponde a terrenos com problemas simples de conservação, podendo também ser utilizados com qualquer tipo de cultura, porém exigindo práticas não mecanizadas de controle da erosão; a classe V corresponde a terrenos sem problemas de conservação, mas exigindo técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos encharcados.

Foram relacionadas quatro classes de declividade com cinco classes de erodibilidade. A carta de suscetibilidade foi então reclassificada segundo a Tabela 10. O critério de determinação da Tabela 10 foi descrito por Corrêa (2003).

TABELA 10 – Relação entre as quatro classes de erodibilidade e as cinco de erodibilidade para definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.

Erodibilidade	Declividade (%)			
	0 – 8	8 – 30	30 – 60	>60
I	M	A	MA	MA
II	M	M	A	MA
III	B	M	A	A
IV	B	B	B	M
V	NS	NS	NS	NS

→ Carta de Potencial à Erosão Laminar

O cruzamento matricial na Raster Calculator (Spatial Analyst) da carta de suscetibilidade à erosão laminar com o mapa de uso e cobertura do solo deu origem à carta de potencial à erosão laminar.

Reclassificou-se o mapa de uso e cobertura considerando-se o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo do solo, como descrito por Corrêa (2003), de acordo com as classes da Tabela 11.

TABELA 11 – Classes de reclassificação do mapa de uso e cobertura.

Classe	Uso
1	Áreas agrícolas
2	Pastagens
3	Mata
4	AF e AI

*AF = afloramento rochoso e AI = área inundável.

As classes resultantes do cruzamento foram reclassificadas seguindo as quatro classes de potencial descritas por Salomão (1999), mostradas na Tabela 12, dando origem ao mapa de potencial à erosão laminar.

É importante esclarecer como foi obtida a Tabela 11. Para sua elaboração foi considerada a Tabela 10. Para tanto foi analisada cada classe de uso e ocupação da Tabela 12, relacionando-as com a intensidade da presença antrópica e as classes de suscetibilidade (Tabela 13) previamente determinadas. Correlacionando estas informações chegou-se à Tabela 11 e à carta de potencial à erosão laminar.

TABELA 12 – Relação uso x ocupação para definição do potencial erosivo.

Classe	Porte da Cobertura Vegetal	Atividade Antrópica
Áreas agrícolas	Baixo a médio	Intensa
Pastagens	Baixo a médio	Moderada a reduzida
Matas	Alto a médio	Muito reduzida
AR e AI*	Sem potencial	Sem potencial

*AR = afloramento de rocha e AI = área inundável

TABELA 13 – Classes de potencial à erosão laminar.

Classe de Suscetibilidade	Classes de Uso			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
	Áreas agrícolas	Pastagem	Mata	AR/ AI
MA	AP	AP	AP	SP
A	AP	MP	MP	SP
M	MP	MP	BP	SP
B	BP	BP	BP	SP
NS	BP	BP	BP	SP

onde:

- AP = alto potencial: uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar;

- MP = médio potencial: uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas;
- BP = baixo potencial: uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar;
- SP = sem potencial: uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

5.4.3 Análise da Perda de Solo por Erosão

→ Cartas de Declividades e Aspecto

A carta de declividades para esta etapa da pesquisa foi derivada do MDE seguindo os mesmos procedimentos e comandos usados para obtenção da carta de declividades para a análise da suscetibilidade à erosão laminar. Porém, para consideração de fatores antrópicos de manejo e uso do solo, foram tomados outros intervalos de declividade.

Segundo Ramos² (2005, comunicação pessoal), as classes de declividade para aplicação da EUPS devem estar nos seguintes intervalos: 0–3%, 3–8%, 8–15%, 15–30%, 30–60% e maior que 60%.

A carta de aspecto foi derivada também do MDE. Do ArcInfo 9.0, módulo 3D Analyst, Surface Analysis, foi escolhida a opção Aspect. Em seguida, a carta foi reclassificada em oito intervalos: 1 – 45°, 45 – 90°, 90 – 135°, 135 – 180°, 180 – 225°, 225 – 270°, 270 – 315° e 315 – 360°.

→ Fator Erosividade da Chuva (R)

A análise da distribuição do fator erosividade da chuva (R) ao longo do ano foi determinada através da Equação 2. O fator R é a somatória das médias

² Doracy Pessoa Ramos – Professor colaborador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UENF

mensais do índice de erosão (EI) calculados para uma série histórica de 10 anos. Foram utilizados dados de 13 estações localizadas dentro e fora do município de Campos.

Depois de convertido do formato geográfico de coordenadas para o sistema UTM, o arquivo foi reeditado em uma planilha do programa Excel, sendo que o valor da erosividade foi obtido através da formulação de uma equação, salvo no formato *.dbf* e então levado para o ArcMap. O arquivo continha informações de localização (E e N), precipitação média anual e erosividade da chuva.

No ArcMap a espacialização da erosividade da chuva no município de Campos foi resultante de interpolação desenvolvida no módulo Geostatistical Analyst, interpolador Radial Basin Function sobre o campo da tabela de atributos que continha os valores de R.

→ Fator Erodibilidade (K) e Perda de Solo Tolerável (T)

O mapa correspondente ao fator K foi gerado adicionando-se valores de erodibilidade compilados da literatura por reclassificação de cada classe de solo presente no mapa pedológico do município.

Na Tabela 14 mostrados os valores de K e T para as respectivas classes de solo da área de estudo.

→ Fator Topográfico (LS)

Este fator engloba dois subfatores da EUPS: comprimento de rampa (L) e declividade (S). O subfator S é de fácil obtenção, como descrito no início deste item. Já o subfator L não é de obtenção direta, requerendo comandos e etapas específicas em sua determinação.

Pela aplicação da Equação 3 foi obtido o fator LS. No entanto, antes de aplicá-la, foi necessária a determinação do mapa de comprimento de rampa (L) através da Equação 6.

$$L = DH. \text{sen}^{-1}(\alpha) \quad (6)$$

onde:

L = mapa de comprimento de rampa (m);

DH = diferença de altitude (m);

α = ângulo de declive da rampa (graus).

TABELA 14 – Classes de solo e respectivos valores de K e T.

Classes de Solo	K(t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	T(t. ha ⁻¹ . ano ⁻¹)
Neossolo Litólico	0,0400	7,00
Cambissolo Álico	0,0254	10,85
Argissolo Vermelho-Escuro	0,0400	4,50
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,0466	9,06
Argissolo Amarelo	0,4278	3,30
Cambissolo Eutrófico	0,0441	10,85
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,0200	11,53
Latossolo Amarelo	0,0150	12,45
Neossolo Flúvico	0,0420	8,00
Gleissolo	0,0044	5,82
Organossolo	0,0310	16,96
Espodossolo	0,3267	7,79

O método utilizado para determinação do mapa L foi o descrito por Rocha et al. (1995), porém com implementação no software ArcGis 9.0.

Para obtenção do fator DH cruzaram-se os mapas de declividade e aspecto através da rotina *Combine*. O cruzamento entre estes dois mapas gerou um terceiro mapa (mapa de rampas) em que cada polígono representa uma rampa, com inclinação e direção conhecidas. Em seguida, através da rotina *zonalrange*, extraíram-se os dados de diferença de altura do MDE. Utilizou-se o mapa de rampas como referência. O mesmo procedimento foi utilizado para obtenção do ângulo de declive das rampas (α), utilizando-se a carta de declividades como referência.

O ângulo α é dado em graus. Para ser aplicado à Equação 6 ele teve de ser transformado em radianos, extraindo-se o arco tangente do mesmo e dividindo-o pelo resultado do quociente $180/\Pi$. Com este valor então foi extraído o seno de α . De posse dos fatores DH e α e com ajuda da Raster Calculator, foi aplicada a Equação 6, obtendo-se o mapa L.

→ Fator Antrópico (CP)

Este mapa resultou do produto entre os valores de C e P definidos de acordo com o uso, manejo e presença ou não de práticas conservacionistas. Em seguida o mapa de uso e cobertura da área foi reclassificado (Reclassify, Spatial Analyst) para os valores do produto CP para cada classe de uso e cobertura.

O fator P foi reclassificado considerando-se que áreas com algum tipo de prática conservacionista tivessem valor de $P = 0,5$ e áreas sem medidas conservacionistas valor de $P = 1,0$. Os valores de C adotados estão mostrados na Tabela 15.

Vale lembrar que foram suprimidos desta análise os corpos d'água e a área urbana uma vez que a superfície de cada um deles não contribui diretamente na perda de solo.

Estes valores de C e P foram compilados da literatura.

→ Potencial Natural de Erosão (PNE)

O PNE foi definido pelo rearranjo de termos da EUPS, segundo a Equação 4, considerando apenas as propriedades físicas intrínsecas ao solo. O cruzamento foi realizado na Raster Calculator (Spatial Analyst).

A reclassificação do mapa final foi definida para dados encontrados nesta pesquisa. Como referência, foi utilizado o trabalho de Jacques (1997).

→ Mapa de Influência Antrópica

Este mapa resultou do cruzamento entre os mapas de influência antrópica atual (CP_{atual}) e o de influência antrópica permissível ($CP_{permissível}$), determinando zonas de valores positivos, negativos e iguais a zero. Este cruzamento foi denominado ΔCP , sendo realizado na Raster Calculator (Spatial Analyst). Para obtenção da $CP_{permissível}$ foi aplicada a Equação 5, sendo que os valores de T (Tabela 14) foram adicionados ao mapa pedológico por reclassificação. O mapa de CP_{atual} foi o mesmo empregado no desenvolvimento da EUPS – o fator antrópico.

TABELA 15 – Valores e C e P para este trabalho.

Uso	C	P*
Afloramento de rocha ²	0,0001	1,0
Cana ¹	0,3066	0,5
Cobertura arenosa ²	0,0001	1,0
Mata ¹	0,0120	1,0
Pastagem ¹	0,0250	1,0
Solo exposto ²	1,0000	1,0
Vegetação de restinga ²	0,0004	1,0
Área inundável ²	0,0001	1,0

¹Weill (1999) e ²Kuntschik (1996)

O mapa de Influência Antrópica foi reclassificado segundo Jacques (1997), em três classes: $\Delta CP < 0$, que indica regiões em que a influência antrópica é menor do que a tolerada pelo solo; $\Delta CP = 0$ se as áreas onde a influência antrópica se equivale à suportada e $\Delta CP > 0$ onde ela causa erosão acelerada.

→ Mapa de Perda de Solo por Erosão (A)

Uma vez modelados os fatores da EUPS para as características físicas e antrópicas da área de estudo, eles foram integrados segundo a Equação 1 na Raster Calculator. Assim, definiu-se o mapa de perda de solo por erosão (A).

→ Mapa de Risco de Erosão

Resultou do cruzamento entre os mapas de perda de solo (A) e perda tolerável de solo (T). Posteriormente, foi reclassificado, segundo Cavalieri (1998) apud Fujihara (2002).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrados e discutidos os materiais e produtos gerados por esta dissertação, os quais são: base de dados, modelo digital de elevação, cartas de declividade, aspecto, erodibilidade, suscetibilidade à erosão laminar e potencial à erosão laminar; mapas relativos aos fatores da EUPS: erosividade, erodibilidade, fator topográfico e antrópico, potencial natural de erosão (PNE), influência antrópica, perda de solo e risco de erosão.

6.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O modelo concebido neste trabalho foi obtido pela modelagem TIN.

O município de Campos apresenta variações geomorfológicas que vão desde escarpas (1800 m) a planícies (de 0 a 5 m de altitude), passando por colinas e tabuleiros (Apêndice A).

Esta complexidade morfológica trouxe grande dificuldade à confecção do MDE, principalmente nas áreas onde a elevação é menor que 20 m. Esta dificuldade adveio do fato de as curvas de nível que foram utilizadas para gerar o MDE ter equidistância vertical de 20 m. Para que houvesse maior detalhamento do relevo nestas áreas, seria necessário que a equidistância vertical fosse de aproximadamente 1 (um) m ou menos. A maneira de reproduzir a área da baixada

foi relacionar as curvas com a massa de pontos cotados da baixada na elaboração do modelo.

A altitude máxima da extraída do MDE foi de 1800 m, a média de aproximadamente 856 m e a mínima de 1 m. A classes de elevação que abrange maior área é a classe de elevação entre 0 e 5 m - 27,11. Mas valores que vão até 20 m de altitude ainda estão divididos nas duas classes seguintes.

Como foi dito, esta complexidade morfológica trouxe dificuldade na elaboração do modelo. O município apresenta 53,16% de suas terras com altitudes de até 20 m. Ou seja, mais da metade das terras do município encontram-se no domínio das planícies. Acima de 1.000 m de altitude enquadram-se as terras de escarpa, num total de 0,9% apenas. Na forma de tabuleiros e colinas, com altitudes intermediárias entre 100 e 800 m, estão 8,48% da área de estudo.

A Figura 30 mostra graficamente a distribuição da elevação na área de estudo.

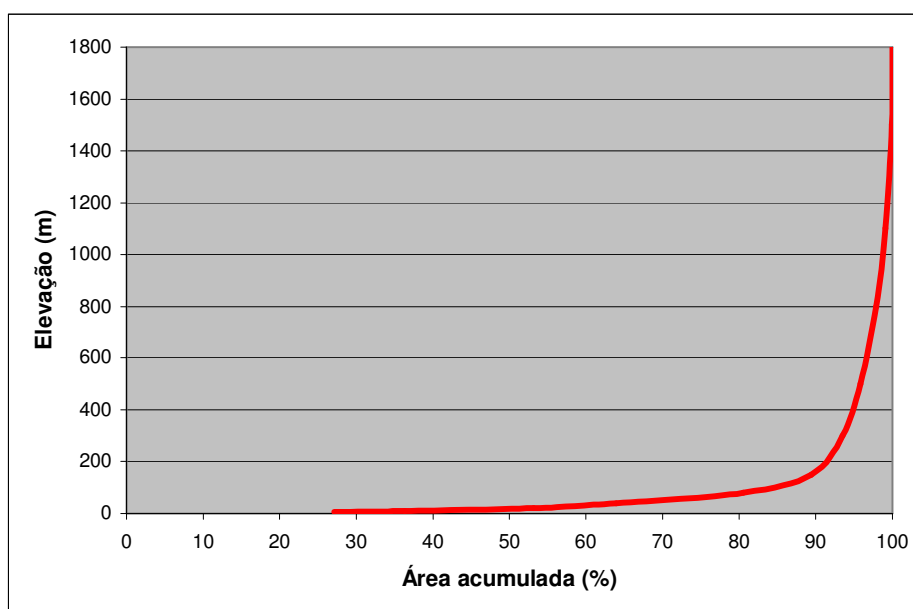


FIGURA 30 – Variação da elevação ao longo da área do município de Campos.

Na Figura 30, o eixo vertical traz os valores de elevação e o horizontal a área acumulada. Por sua análise pode-se constatar que mais de 90% da área encontra-se com elevação de até 200 m, isto é, o município, na maior parte de sua área, apresenta relevo no domínio das planícies.

É importante observar que esse processo de transição do modelo lógico para o físico, além de envolver decisões quanto à relevância de dados para o modelo, implica a tarefa subjetiva de discretização do mundo real - altamente complexo. Um dado de entrada errôneo ou mal compartimentado no banco de dados gera uma cadeia de erros que modifica consideravelmente os produtos finais (Corrêa, 2003). A área de estudo mostrou-se bastante complexa durante o processo de modelagem devido a sua imensa área de baixada. Porém, de acordo com o objetivo proposto inicialmente na pesquisa, a metodologia e base de dados empregada mostraram-se eficientes.

O tamanho da célula é de grande relevância no processo de modelagem. Nesta pesquisa foi adotada uma célula de 30 m, valor este, bem próximo à equidistância vertical das curvas de nível empregadas na confecção do modelo (20 m). É recomendado pela literatura que este valor seja menor ou igual a menor distância. Uma superfície com célula menor que 30 m no caso desta pesquisa requereria maior esforço computacional.

Uma maneira eficiente de verificar a acuracidade do modelo gerado é rebatendo-se a hidrografia ao mesmo. Quando o interpolador está em execução, ele procura pelos caminhos preferenciais da água, definindo assim onde estão as calhas dos rios presentes na área. Há interpoladores, como o TOPOGRID, por exemplo, que delineiam até mesmo os rios intermitentes.

Para visualização tridimensional do MDE foi utilizado o módulo ArcScene do ArcGis 9.0. Nas Figuras 31 e 32 pode-se visualizar o MDE da área com a hidrografia rebatida com exagero vertical igual a 2.

A vista da Figura 31 é à noroeste do município. Fica nítida a transição entre serras (tons de cinza) e morrotes (marrons). Nesta região, a altitude mais elevada é de 730 m, sendo que a partir de 250 m já começam a se distinguir as serras dos morrotes.

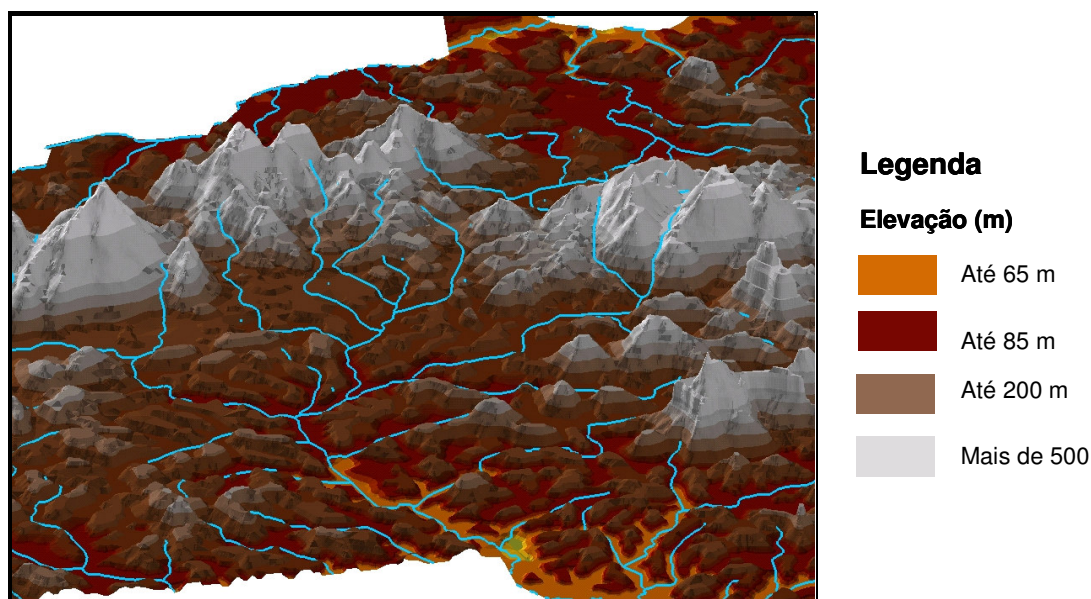


FIGURA 31 (nº 1 no MDE, Apêndice A) – MDE x hidrografia da área na altura do Morro do Coco.

O ponto de vista da Figura 32 é de um observador indo do centro urbano de Campos para o extremo norte da área, próximo à divisa com o estado do Espírito Santo. As graduações das cores alaranjadas para as esverdeadas indicam a transição entre o tabuleiro e a baixada campista. A elevação média do tabuleiro está na faixa entre 50 e 65 m. O MDE conseguiu abstrair a morfologia do mesmo tão apuradamente que é visível a pouca variação nas elevações.

Na Figura 32 nota-se uma transição mais abrupta entre as serras, os morrotes e as calhas dos rios. Há maior ocorrência de elevações abaixo dos 30 m em virtude da hidrografia. Esta porção do município faz divisa com o município de São Francisco do Itabapoana.

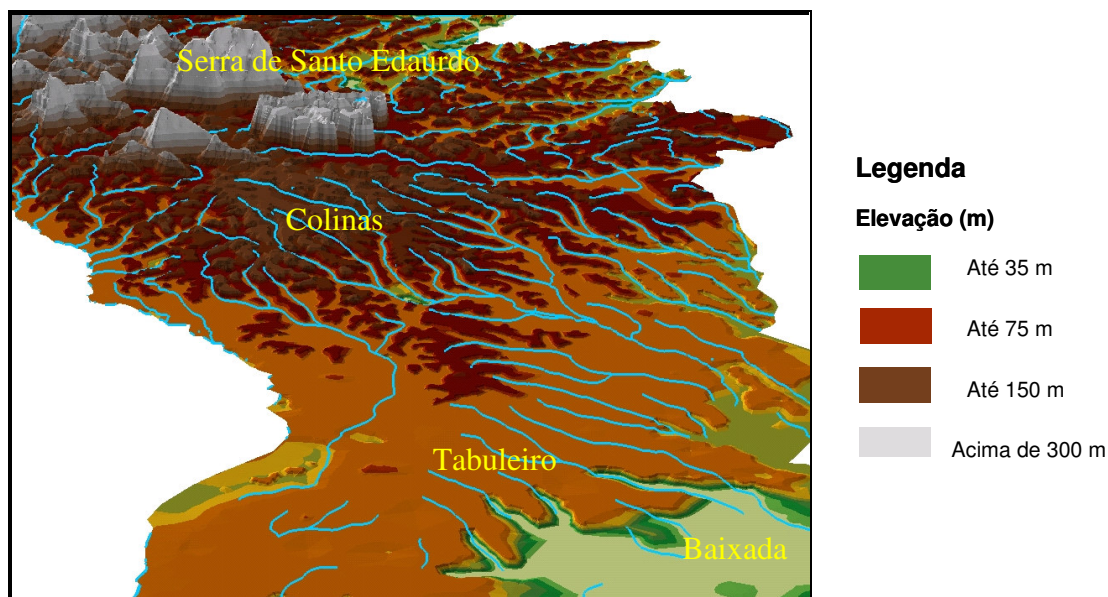


FIGURA 32 (nº 2 no MDE, Apêndice A) – Visualização 3D da transição entre serra, colina tabuleiro e baixada campista.

A Figura 33 mostra a Serra do Imbé, onde se localizam as maiores altitudes do município. No detalhe estão indicados além da Serra do Imbé, a Lagoa de Cima e trechos do rio Paraíba do Sul, do rio Ururaí e Imbé. Foi adotado um fatiamento com intervalos menores nas menores elevações nesta figura com o objetivo de se tentar mostrar mais detalhes da baixada. Porém, como já discutido, detalhes menores que 20 m de elevação não puderam ser bem modelados devido à equidistância vertical das curvas de nível usadas serem de 20 m. os detalhes que são notados devem-se à classificação Natural Break Jenks do ArcMap, a qual reclassifica superfícies estatisticamente segundo o número de discontinuidades que encontrar.

A visualização em terceira dimensão, entre suas muitas propriedades, facilita a compreensão da necessidade de se estudar a erosão hídrica e sob quais aspectos. Observa-se que é direta a relação entre o declive e os processos erosivos, ainda mais se o solo da encosta for de alta erodibilidade. Observa-se também que na baixada há deposição dos sedimentos erodidos nas rampas mais

elevadas. Enfim, a abordagem tridimensional é de aplicabilidade irrestrita e fundamental ao planejamento ambiental.

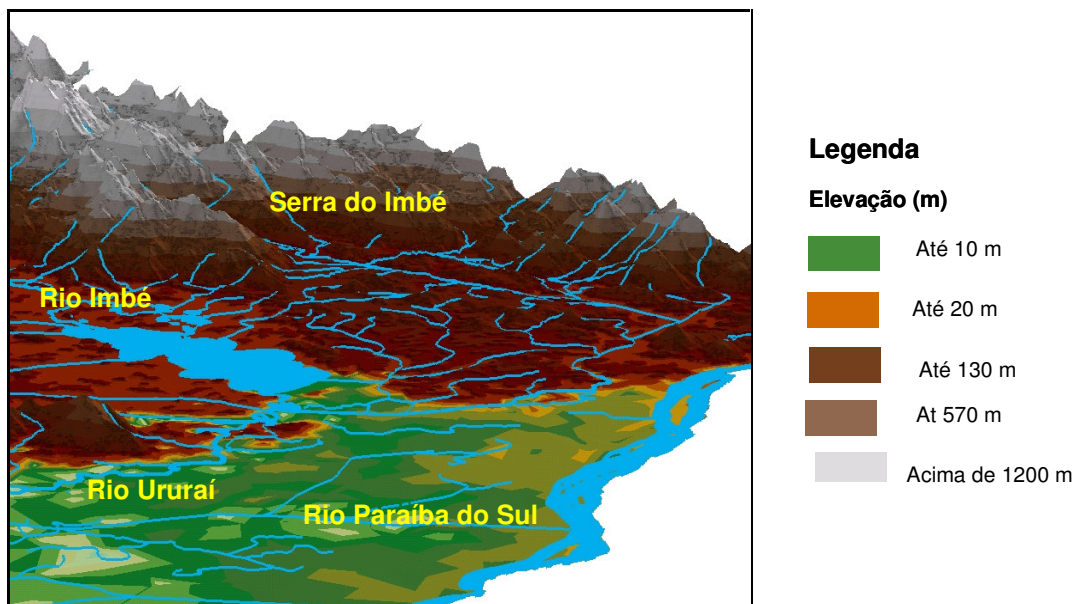


FIGURA 33 (nº 3 no MDE, Apêndice A) – MDE x hidrografia da área na altura da Serra do Imbé.

6.2 Análise de Suscetibilidade e Potencial dos Solos à Erosão Laminar

A carta de suscetibilidade à erosão laminar foi obtida pelo cruzamento da carta de declividades com a de erodibilidade. Já a de potencial à erosão laminar veio do cruzamento desta com o mapa de uso e cobertura do solo. A seguir serão discutidos os resultados encontrados em seu desenvolvimento.

6.2.1 Carta de Declividades

A declividade é informação básica de topografia utilizada nas metodologias de identificação de áreas potenciais aos processos de erosão e nos sistemas de avaliação do planejamento de uso da terra (Fujihara, 2002).

A perda de solo inicia-se no momento em que a formação do solo se dá, isto é, quando o intemperismo age sobre a rocha-mãe liberando as primeiras partículas de solo, o transporte e a sedimentação destas são otimizados pelo declive.

O processo erosivo antrópico também se maximiza em função do declive. Arrolado a ele, estão as práticas de conservação, uso e manejo do solo. Devido a isso, as classes de declividade normalmente são subdivididas segundo critérios de declividade, forma de terreno, altura relativa das elevações, tipo e comprimento das pendentes com o objetivo principal de fornecer subsídios ao estabelecimento dos graus de limitação com relação ao emprego de implementos agrícolas e à suscetibilidade à erosão. É fato que a declividade é diretamente proporcional à intensidade da enxurrada. Mas na área de estudo ocorre o contrário, ou seja, predominam as baixas declividades. Isso não minimiza a perda de solo, principalmente a laminar, uma vez a deflagração do processo não se deve exclusivamente ao declive.

No caso em estudo, a carta de declividades resultou em quatro classes (Apêndice B), cujos intervalos foram definidos no item 5. A Tabela 16 mostra a área do município ocupada por cada classe de declividade.

TABELA 16 – Relação entre as classes de declividade e a área do município.

Declividade (%)	Área (%)
0 - 8	75,00
8 – 30	9,26
30 – 60	11,18
> 60	4,56

A classe de maior abrangência foi a de 0 a 8% de declive, equivalendo a 75% do total, o que está completamente de acordo com a morfologia da área. Isso a caracterizou como de domínio plano a suave ondulado.

A classe de 8 a 30% ocorreu na região dos tabuleiros e nas imediações da Lagoa de Cima, indo até o início da Serra do Imbé, correspondendo a 9,26% das terras.

A classe de declives entre 30 e 60% foi a de segunda maior ocorrência (11,18%). Nela está inserido o domínio montanhoso, caracterizados na região pelas áreas circundantes das escarpas, as quais estão agrupadas na classe de intervalos de declividade maior que 60% (equivalentes a apenas 4,56% das terras do município).

6.2.2 Carta de Erodibilidade

Esta carta foi gerada em caráter intermediário, sendo ela usada na obtenção da carta de suscetibilidade à erosão laminar. Através dela puderam ser visualizadas as unidades pedológicas da área de estudo. As Classes I, II e III - as mais erodíveis – englobam os argissolos presentes na área. Os latossolos estão dispostos na Classe IV de erodibilidade, pois são menos erodíveis que os solos hidromórficos, presentes na Classe V.

Considerando-se a carta de declividades, a classe I ficou alocada nas classes de declive de 30-60% e maior que 60%. Nestas áreas, determinam-se os afloramentos rochosos e, portanto, os solos rasos. As demais classes de erodibilidade distribuíram-se nas classes de declive restantes.

Na classe I encontram-se os solos cujos valores de erodibilidade são os mais altos (8,1 a 10,0). O oposto ocorre com a classe V, onde se enquadraram os solos da baixada campista – relevo plano, com os valores mais baixos de erodibilidade (0 a 2,0). Em geral estes solos encontram-se na maior parte do ano encharcados devido ao lençol freático aflorante agindo em conjugado ao relevo plano. A Figura 34 mostra a situação do neossolo flúvico em época chuvosa.



FIGURA 34 – Neossolo flúvico em época de chuva.

Somente o argissolo vermelho-amarelo apresentou características texturais que o enquadrasse na classe II de erodibilidade - entre 6,1 a 8,0. A classe III já mostrou certa transição entre os valores de erodibilidade (4,1 e 6,0), sendo que a unidade pedológica encontrada no município com textura argilosa e caracterizasse um argissolo foi o argissolo amarelo.

A classificação dos argissolos nas três primeiras classes de erodibilidade – as mais altas – está relacionada ao fato de que, em geral, os argissolos são mais facilmente erodíveis que os latossolos por apresentarem logo abaixo do horizonte A um horizonte com maior concentração de argilas, o que representa uma barreira à infiltração das águas. Como consequência, o fluxo de água logo abaixo da superfície, paralela à encosta, e a saturação do horizonte superior favorecem ao desenvolvimento de enxurradas, tendendo a propiciar maior erosão nos argissolos.

A alocação do cambissolo eutrófico se deu juntamente com o latossolo na classe IV por encontrarem-se, na área de estudo, na região de baixada. Ambos

apresentam altas quantidades de silte e argila e são solos espessos. Por comparação, eles são menos erodíveis que os solos das classes I, II e III.

O Apêndice C mostra como ficaram dispostas as classes de solo do município segundo sua erodibilidade no mapa de erodibilidade de Campos.

6.2.3 Carta de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Laminar

Conhecer as propriedades e o comportamento do solo é de suma importância para se entender sua reação quando o processo erosivo se desencadeia. Fatores citados e discutidos no Capítulo 3, tais como textura, estrutura, permeabilidade, densidade, espessura, declive, clima e cobertura vegetal têm grande peso quando se analisa a suscetibilidade dos solos à erosão.

A carta de suscetibilidade à erosão laminar do município mostrou que as terras apresentam suscetibilidade variando predominantemente entre baixa e baixa a não suscetível. Pela Tabela 17 isso pode ser melhor compreendido.

TABELA 17 – Área ocupada por classe de suscetibilidade.

Classes de Suscetibilidade	Percentual de área ocupada
Muito alta	8,20
Alta	3,81
Média	13,17
Baixa	38,23
Baixa a não suscetível	36,60

Apenas 8,20 % do total da área apresentaram muito alta suscetibilidade à erosão laminar. Segundo a definição das classes de capacidade de uso, essas terras têm problemas complexos de conservação, sendo indicadas para preservação ou reflorestamento. Em situação similar encontraram-se 3,81% das terras, as quais foram classificadas como de alta suscetibilidade. São terrenos também com problemas de conservação, mas parcialmente favoráveis à

ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento. Ambas as classes estão situadas nas altitudes mais elevadas do município. Os solos presentes nelas são cambissolo álico, neossolo litólico e argissolo vermelho-escuro. Tais solos enquadram-se no nível I de erodibilidade (o mais alto). Quando combinada com a declividade elevada (entre 30 e 60% e maior que 60%), estas terras tornam-se facilmente erodíveis.

Analisando-se o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 15), observa-se que nestas aparecem as classes mata e pastagem. A presença de cobertura vegetal tende a proteger a superfície do solo da ação direta da água da chuva. No entanto, o uso pastagem indica presença de animais.

Do ponto de vista das propriedades do solo, deve levar em conta que o neossolo litólico é um solo raso, com horizonte A depositado diretamente sobre a rocha. O cambissolo álico se caracteriza pela pouca espessura do horizonte B e o argissolo vermelho-escuro é um solo profundo e com alto gradiente textural, porém com horizonte A arenoso.

Nos horizontes superiores, uma das características pedológicas mais importantes do solo em relação ao processo erosional é o gradiente textural, pois se trata da relação entre teores de areia e argila. Solos rasos são facilmente transportados pela ação do fluxo das águas do escoamento superficial. Ainda mais se o horizonte A for arenoso, como é o caso do argissolo, e pouco espesso como o neossolo. A erosão causada pelo escoamento superficial não é a mesma em todos os solos. Farias (2005) afirma que os solos arenosos apresentam baixa capacidade de retenção de água e alta suscetibilidade à erosão. Neles, onde predominam macroporos, durante uma chuva de baixa intensidade, a água pode ser toda absorvida, não havendo, portanto, grandes problemas relacionados com a erosão. Diante de uma chuva de alta intensidade, certamente a camada mais superficial do solo seria totalmente levada pela enxurrada (Silva et al., 1999).

Em relação a pouca espessura do solo, há que se considerar que as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água. Um solo arenoso superficialmente, com subsolo de textura média, deverá absorver mais água que esse mesmo solo com um subsolo mais compacto e

pouco permeável (op. cit). É fato que a pouca espessura dos solos permite rápida saturação dos horizontes superiores, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas.

Apenas 13,17% da área apresentaram média suscetibilidade. Essas terras encontram-se em duas classes de declividade – 8 a 30% e 30 a 60% e na classe II de erodibilidade. A unidade pedológica presente ali é o argissolo vermelho-amarelo profundo, relacionado ao embasamento cristalino, o qual apresenta horizonte B textural formado pela movimentação de argila dos horizontes superiores para os inferiores, resultando em horizontes superiores ao B com baixos teores de argila e altos de areia (DSC-UFLA, 2005). Tais características lhe conferem média resistência à erosão laminar, pois possuem baixa infiltração de água no horizonte A, mais arenoso, e lenta infiltração hídrica no horizonte B, bem mais argiloso. Como consequência, o excesso de água que não infiltrou ao longo do perfil escorre na forma de enxurrada (Prado,2006).

Segundo o trabalho de IGEO-UERJ (2005), argissolos com estas características apresentam moderada susceptibilidade à erosão.

A esta região é destinada ao uso de pastagem. Como anteriormente comentado, este uso implica na presença de animais, favorecendo o processo erosivo.

Quase 75% da área de estudo apresentou suscetibilidade entre baixa (38,23%) e baixa a não suscetível (36,60%). Isso se deve aos tipos de solos e à topografia predominantemente plana. A erodibilidade classificou-se nos dois níveis mais baixos – classes IV e V. Os solos por elas abrangidos são cambissolo eutrófico, latossolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo, neossolo flúvico, gleissolo, organossolo e espodossolo.

O cambissolo eutrófico, como descrito no Capítulo 4, ocupa a baixada fluvial cujo relevo é aplainado, no baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde sedimentos argilosos espessos foram ali depositados pelo rio. Frente ao processo erosional, em geral os cambissolos são muito erodíveis se o relevo é movimentado. Porém, neste caso em que a topografia é aplainada, mostraram-se pouco erodíveis. A espessura da camada argilosa, como discorrido no Capítulo 3,

tem grande participação no incremento do volume de solo levado pelo escoamento superficial, pois funciona como barreira à infiltração de água, facilitando a remoção da camada superficial.

Os latossolos normalmente são muito profundos; de elevada permeabilidade e comumente bem acentuadamente drenados. A elevada permeabilidade deste solo pode ser vista como indicador de sua erodibilidade por estar relacionada com a taxa de infiltração básica e ao escoamento superficial e este, por sua vez, ao processo erosivo (Ottoni, 2005). Ou seja: sua alta permeabilidade lhe permite absorver maior quantidade de água do fluxo superficial, minimizando o arraste de solo pela enxurrada. O conceito de drenagem também se relaciona, nestes termos, com o de permeabilidade.

Esses solos são constituídos por elevadas quantidades de argila e silte. Encontram-se hoje quase destituídos de sua vegetação original, sendo utilizados principalmente com plantios de cana-de-açúcar.

O neossolo presente neste domínio é oriundo de sedimentos aluviais. Em função do relevo, apresenta profundidade efetiva variada. Em média, porém, pode-se dizer que é um solo profundo, sendo o fator limitante a presença de lençol freático, o qual, está sempre bem mais profundo que nos Gleissolos, com os quais se associam na paisagem. É mostrado na Figura 35 um trecho do neossolo flúvico. Podem-se observar depósitos de areia. Na Figura 34 o solo apresenta-se encharcado devido à elevação do lençol freático. Já na Figura 35, a areia redefine a paisagem como sinal de um solo mais arenoso.

Por fim, o gleissolo e o organossolo, que são solos hidromórficos, muito mal drenados, com lençol freático aflorante na maior parte do ano. O gleissolo ocorre em área de várzea. Já o organossolo ocorre nas depressões da planície, ao longo dos cursos dos rios, resultando em acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviais. O espodossolo dispõe-se em faixas ao longo da costa, formando os cordões litorâneos; apresentam textura arenosa de origem marinha.



FIGURA 35 – Depósitos de areia em um neossolo flúvico.

No Apêndice D está a carta de suscetibilidade à erosão laminar de Campos.

6.2.4 Carta de Potencial à Erosão Laminar

A razão de produção desta carta foi analisar as principais classes de uso do solo em relação à suscetibilidade à erosão laminar. Assim, foi possível verificar quais usos têm provocado maior desgaste ao solo.

A Tabela 18 traduz em dados percentuais de área, o risco potencial de erosão do solo.

Para a classe AR e AI, o potencial erosivo foi dado como nulo por se tratarem de afloramentos rochosos e áreas de inundação.

Há predominância de baixo risco de erosão devido ao uso pastagem – 73,71% das terras.

Em seguida vêm 23,43% das terras com médio potencial. Parte deste percentual ocorre em áreas de mata, porém em declividade entre 30 e 60% e maior que 60%, onde localizam-se os solos rasos e a suscetibilidade enquadra-se

nas classes muito alta, alta e média. Outra parte, no entanto, recai em área de pastagem, com declive entre 8 e 30% e média suscetibilidade.

TABELA 18 – Relação potencial de erosão laminar x área ocupada.

Potencial	Área (%)
Alto	1,55
Médio	23,43
Baixo	73,71
Sem potencial	1,31

De pouca significância foi a percentagem das classes de alto potencial (1,55%) e sem potencial (1,31%).

Em comparação com a carta de suscetibilidade à erosão laminar, onde 12,01% das terras classificam-se como de alta e muito alta suscetibilidade, somente 1,55 % está classificada como de alto potencial. Isto ocorre por que as áreas consideradas de alta e muito alta suscetibilidade abrangem vestígios florestais. As áreas de alto potencial, segundo a carta do Apêndice E, localizam-se na região perimetral da classe mata, onde tem início a ação antrópica de desmatamento. De acordo com Corrêa (2003), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. Entre seus principais efeitos, destacam-se os seguintes: proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial, aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

6.3 Análise da Perda de Solo por Erosão

Esta parte da pesquisa resultou em mapas e tabelas dos números relativos à perda de solo por erosão laminar no município. Foram analisadas as taxas de

perda de solo, a tolerância das terras à ação antrópica e o potencial natural do solo em sofrer erosão sem se considerar os fatores uso e manejo.

6.3.1 Cartas de Declividades e Aspecto

A carta de declividades para aplicação da EUPS produziu o ângulo de inclinação das faces de declividade. O que a diferiu da gerada para análise da suscetibilidade à erosão laminar foi basicamente o número de classes e a abrangência dos intervalos, que foram do total de quatro (0-8%, 8-30%, 30-60% e maior que 60%) para seis (0-3%, 3-8%, 8-15%, 15-30%, 30-60% e maior que 60%). O conteúdo da tabela de atributos foi o quesito mais importante entre ambas. É nela que estão alocados os valores das declividades que foram usados no cruzamento dos mapas. Portanto, o fato de ter havido pouca diferenciação entre os intervalos de classes nada tem a ver com a qualidade do produto final.

O mapa de aspecto mostrou a direção de inclinação das faces de declividade. Nas regiões de maior elevação, as rampas ficaram caracterizadas por pequenos triângulos gerados pelo interpolador. Na região de baixada, os triângulos ficaram mais espaçados devido à pequena ou nenhuma variação no declive.

Ambas as cartas assumiram caráter intermediário no desenvolvimento do trabalho, pois atuaram indiretamente na geração dos produtos finais.

6.3.2 Fator Erosividade da Chuva (R)

O mapa produzido para espacialização do Fator R pode ser visto no Apêndice F. Na Tabela 19 são mostrados os valores de precipitação média anual e erosividade para cada estação considerada em sua elaboração.

Devido à dimensão da área de estudo, o fator R teve de ser medido a partir de dados pluviométricos de estações situadas fora de seus limites. Dentro de

Campos existiam registros apenas da estação do campo experimental da PESAGRO, ou seja, 12 estações do total de 13 situam-se fora da área de estudo.

Pela Tabela 19 a localidade de Leitão da Cunha apresentou o maior índice pluviométrico da região (1.476,75 mm/ano), com uma erosividade de 7307,98 MJ.mm.h⁻¹.há⁻¹.ano⁻¹, sendo São Francisco de Paula a menos chuvosa (748,83 mm/ano), com erosividade de 4249,28 MJ.mm.h⁻¹.há⁻¹.ano⁻¹.

Pelo mapa, chove mais a norte, noroeste e sudeste do município, com valor médio de erosividade igual a 6410 MJ.mm.h⁻¹.há⁻¹.ano⁻¹. Porém, a maior parte do município apresentou erosividade média de 5757 MJ.mm.h⁻¹.há⁻¹.ano⁻¹.

TABELA 19 – Valores de R obtidos para o município de Campos.

Estação	Precipitação Média (mm/ano)	El ₃₀ (MJ.mm/h.ha.ano)
Itaocara	1030,60	5996,07
Itaperuna	894,40	4290,95
Leitão da Cunha	1476,75	7307,98
Mimoso do Sul	1371,95	7222,18
Macabuzinho	1192,01	5856,27
Ponte do Itabapoana	1159,27	6375,3
Campus UFRRJ	873,25	4406,14
Usina de Quissamã	902,24	4445,17
Rio Novo_Guanadi	1374,97	7166,84
São Fidélis - PCD	955,83	5542,9
São Francisco de Paula	748,83	4249,28
Cardoso Moreira	1378,40	7191,8
Fazenda das Flecheiras	1170,98	6438,03

O núcleo de menor precipitação partiu da região central da área de estudo, com 894 mm, atingindo a Lagoa Feia com os valores mais elevados, cerca de 1.400 mm. A partir do centro do município, os totais anuais aumentaram tanto para o norte como para o noroeste e ao longo da faixa costeira. O incremento na direção sul é rápido em razão da influência do relevo. A região litorânea apresentou totais anuais na faixa dos 1.200 mm, crescendo até o valor máximo de 1430 mm.

6.3.3 Fator Erodibilidade (K)

Os solos da área de estudo distribuem-se uniformemente. O mapa do fator K (Apêndice G) mostrou o argissolo amarelo como o mais erodível, com fator K igual a $0,4278 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e o gleissolo, com fator K equivalente a $0,0044 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, como o que menos erode.

Os valores K foram compilados da literatura e aplicados aos solos de Campos. Em sua totalidade, os valores foram definidos para os solos do estado de São Paulo. Avaliações experimentais do valor do fator K, conforme as normas estabelecidas pela Equação Universal de Perda de Solo, além de demandarem excessivos gastos também exigem muito tempo em suas determinações, uma vez que trabalham com o processo direto da causa e efeito, que é o fenômeno da erosão do solo (Mannigel et al., 2002).

Tal premissa justifica o método adotado nesta pesquisa para definição de K e simultaneamente incentiva sua determinação para os solos de Campos, uma vez que as condições de clima, temperatura, etc, são distintas.

A distribuição do solo segundo sua erodibilidade diz muito sobre a área de estudo. Sparovek (1998) ao diagnosticar o uso e aptidão das terras agrícolas do município de Piracicaba estudando 47 microbacias, concluíram que a alta ocorrência do podzólico vermelho-amarelo, cerca de 41,6% do total da área, tornaram a área estudada altamente suscetível à erosão. Na Tabela 20 encontram-se os valores de erodibilidade dos solos de Campos e sua ocorrência em área relativa. Do total dos solos, 21,66% são de argissolo vermelho amarelo, com fator K igual a $0,04660 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$. A segunda maior ocorrência é de neossolo flúvico, cujo fator K é $0,0420 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$. No entanto, o argissolo amarelo foi o que apresentou o maior valor de erodibilidade ($0,4278 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$).

Os quatro solos menos erodíveis são espodossolo, gleissolo, organossolo e neossolo flúvico, correspondendo a 29,06% da área total. Nos outro extremo, estão os argissolos, o neossolo litólico e o cambissolo álico com os maiores valores de erodibilidade equivalendo a 44,86% das terras. Correspondendo a

26,08% da área e com erodibilidade intermediária estão os latossolos e o cambissolo eutrófico. Por este prisma, a área apresentou-se altamente erodível.

TABELA 20 - Erodibilidade dos solos e sua ocorrência em áreas relativas.

Solo	K (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Área (ha)	Área Relativa(%)
Argissolo Amarelo	0,4278	40.197	10,99
Argissolo Vermelho Amarelo	0,0466	79.445	21,66
Argissolo Vermelho Escuro	0,0400	20.034	5,50
Cambissolo Álico	0,0254	16.534	4,55
Cambissolo Eutrófico	0,0441	34.425	9,42
Espodossolo	0,3267	7.750	2,16
Gleissolo	0,0044	37.536	10,26
Latossolo Amarelo	0,0150	15.294	4,21
Latossolo Vermelho Amarelo	0,0200	45.586	12,45
Neossolo Flúvico	0,0420	48.657	13,29
Neossolo Litólico	0,0368	7.765	2,16
Organossolo	0,0310	12.125	3,35

6.3.4 Fator Topográfico (LS)

Este é o fator da EUPS de mais difícil definição. Sua obtenção não é direta. Depende de dois mapas intermediários: o de rampas e o de declividades.

A distribuição do comprimento de rampa não ocorreu de forma gradual apesar da grande amplitude de variação, entre 0 e 1.600 m.

Na baixada campista a predominância se deu no intervalo entre 150 e 250 m, o equivalente a 100.051 ha, que em área relativa dá 27,39%. Já no tabuleiro e ao pé da serra do Imbé as rampas foram iguais ou maiores que 1600 m, cerca de 147.550 há (40,39% da área), o maior percentual relativo.

Na baixada, a superfície do terreno é predominantemente plana, não havendo quase nenhuma caracterização de rampas. Nas serras e no tabuleiro, as curvaturas da superfície côncava em alguns pontos e convexa em outros fez aumentar o comprimento da encosta. Por isso, mesmo sendo a área predominantemente plana, as maiores rampas estão nas encostas e não na baixada.

Na serra do Imbé e nas elevações da região de Morro do Coko definiram-se rampas de 1.500 a 1.600 m, num total de 28.841 ha (7,89%), como mostrado na Tabela 21.

O mapa do fator LS (Apêndice H) revelou que grandes comprimentos de rampa em declividades elevadas resultaram em altos valores de LS. Isso indica que ela é mais sensível à variação da declividade do que a variação do comprimento de rampa (Fujihara, 2002). Considerando que na equação os valores da variável comprimento de rampa diminuem ao serem elevados a um expoente menor que a unidade enquanto os valores da variável declividade aumentam porque seu expoente é 18% maior que a unidade, a forma da declividade é mais preservada que a do comprimento de rampa (Jacques, 1997). Logo, as rampas situadas nos maiores declives apresentaram fator LS maior.

Na região de Campos é comum encontrarmos extensas áreas com relevo de colinas amplas, cuja declividade é baixa, mas com comprimentos de rampa longos. Era de se esperar este comportamento do mapa LS: rampas com valores mínimos no relevo de planície, valores intermediários no tabuleiro e no sentido da Lagoa Feia até o pé da Serra do Imbé e valores máximos nas escarpas e morrotes.

O comprimento de rampa provoca alta sensibilidade no modelo EUPS. Como exemplo disso pode ser citada a interessante experiência realizada por Weill (1999) para 'quantificar' a influência do fator LS na perda de solo da bacia do Ceveiro-SP. A autora fixou os outros valores da EUPS e determinou a perda de solo para valores de LS que ela classificou como $LS_{\text{mínimo}}$ e $LS_{\text{máximo}}$. A perda calculada considerando o $LS_{\text{mínimo}}$ foi de $0,64 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e com $LS_{\text{máximo}}$ de

163,71 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, o que deu uma relação entre perdas mínima e máxima de 1:254, isto é, as perdas de até 254 vezes maiores que o valor mínimo.

TABELA 21 – Relação do fator LS com a superfície da área de estudo.

Rampas	Área (ha)	Área (%)
0 -150	17.476	4,78
150 – 250	100.051	27,39
250 – 1.000	26.382	7,22
1.000 – 1.300	4.310	1,18
1.300 – 1.360	34.822	9,53
1.360 – 1.400	3.484	0,95
1.400 – 1.500	2.433	0,67
1.500 – 1.550	16.810	4,60
1.550 – 1.600	12.031	3,29
> 1600	147.550	40,39

O efeito da variação do fator LS sobre as taxas de perda de solo são mais acentuados que a variação dos outros fatores, até mesmo o fator K, pois se o solo é muito erodível mas situa-se na paisagem em declive suave, a perda por erosão será menor do que se ele estivesse em declive acentuado.

6.3.5 Fator Antrópico (CP)

Este mapa teve a finalidade de mostrar as áreas do município mais sujeitas à ação antrópica. Os dois fatores foram considerados juntos, pois são tratados individualmente somente quando se buscam formas mais adequadas de produção agrícola conservacionista (Paranhos Filho et. al. 2003).

Na Tabela 15 podem ser vistos os valores de C e P individualizados compilados da literatura. Já na Tabela 22 são mostrados os valores de CP empregados na elaboração do mapa do fator CP (Apêndice I).

Em termos percentuais, a o maior valor de CP (0,1533) ocorreu em 18,51% da área, cujo uso é destinado ao cultivo de cana. Nesta área, foi aplicado fator P igual a 0,5 considerando que há alguma medida conservacionista no cultivo da cana. Os menores valores de CP foram 0,0001, adotados para afloramentos rochosos, área inundável e cobertura arenosa, correspondendo a 1,14% das terras. No entanto, 69,92% da área (255.457 ha) apresentaram CP iguala a 0,0250 correspondente ao uso pastagem.

TABELA 22 – Fator antrópico (valor CP).

Uso	Fator CP	Área (ha)	Área relativa (%)
AF, AI e CA*	0,0001	4.167	1,14
Cana	0,1533	67.639	18,51
Mata	0,0120	25.445	6,96
Pastagem	0,0250	255.457	69,92
Solo exposto	1,0000	8.920	2,44
Vegetação de restinga	0,0004	3.720	1,02

*AF = afloramento rochoso, AI = área inundável e CA = cobertura arenosa.

A falta de práticas conservacionistas em toda a área exceto no uso cana, tendem a aumentar a intensificar a erosão uma vez que deixa a superfície do solo exposta à ação erosiva natural e/ou antrópica. Nestas classes, a única proteção que o solo terá será por conta do porte da cobertura. Na classe cana, o emprego de práticas conservacionista minimizou o impacto da erosão em 50% e nas outras classes, como não houve nenhuma prática aplicada, a erosão teve ação máxima.

6.3.6 Potencial Natural de Erosão (PNE)

O PNE (Apêndice J) resultou da modelagem do processo erosivo, não considerando a ação antrópica, e da combinação dos fatores erosividade, erodibilidade, comprimento de rampa e declividade.

A Tabela 23 mostra que a distribuição do PNE no município de Campos se deu em sete níveis crescentes de intensidade. O nível mais fraco foi o de número um, com potencial erosivo natural menor que 100 t. ha^{-1} , relativo a 9,79% (35.770 ha) do total da área e ocorrência em torno da Lagoa Feia, do rio Paraíba do Sul, ao sopé da Serra do Imbé e em parcelas de gleissolo e espodossolo, os quais estão associados às declividades do intervalo entre 0 e 3%.

TABELA 23 – Níveis e intensidade do PNE, classificação e área relativa de ocorrência.

Nível	PNE (t. ha^{-1})	Classificação	Área relativa (%)	Área (ha)
1	< 100	Muito fraco	9,79	35.770
2	100 – 500	Fraco	32,35	118.186
3	500 – 1.000	Moderado	11,52	42.080
4	1.000 – 5.000	Moderado a forte	24,68	90.177
5	5.000 – 10.000	Forte	12,94	47.272
6	10.000 – 20.000	Muito forte	4,35	15.908
7	> 20.000	Extremamente forte	4,37	15.955

A erodibilidade destes solos foi de $0,0044 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e $0,3267 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e a erosividade foi de $5.757 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ nas proximidades da Serra do Imbé, aumentando no sentido da Lagoa Feia para o litoral para $7.190 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

O nível sete, o máximo, correspondeu a apenas 4,37% da área (15.955 ha) e foi classificado como extremo. Com potencial maior que $20.000 \text{ t. ha}^{-1}$, essas áreas apareceram principalmente nas declividades entre 30 e 60% e maior que 60%, onde predominam o neossolo litólico e o argissolo vermelho escuro, com erodibilidade de $0,0368 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $0,0400 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente e erosividade média de $5.757 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

O nível de maior frequência na área de estudo é o dois, classificado como fraco. Com PNE médio de 200 t. ha^{-1} , correspondeu a 32,35% das terras ou 118.186 ha. Ocorreu na área central do município, onde estão presentes o

latossolo amarelo, o cambissolo eutrófico, o neossolo flúvico, o organossolo e o latossolo vermelho amarelo. A erodibilidade ficou no intervalo entre $0,0150 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e $0,0441 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, a erosividade entre 4.480 e $5.757 \text{ MJ.mm.h}^{-1}1.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e o declive na faixa de 3% a 8%.

É importante observar que a análise do potencial erosivo sob as vistas do PNE simula qual seria a perda de solo em condições extremas, isto é, a superfície do solo totalmente nua, sem qualquer tipo de cobertura e com ausência de práticas de conservação. De acordo com a definição dos fatores da EUPS, estas condições determinam perdas máximas de solo. Desse modo, a área de estudo em relação à maior incidência de PNE, a classe dois, está em situação estável, pois o índice de perda é fraco e seu domínio é na planície aluvial que, por premissa, é área de deposição e não de erosão.

Para comparar os resultados encontrados de PNE para o município de Campos, estão agrupados na Tabela 24 valores de PNE e suas respectivas classificações encontradas a literatura.

Analisando os resultados encontrados para o PNE sob outro ponto de vista, foi feita análise da tabulação cruzada dos níveis de PNE contra os fatores da EUPS que lhe deram origem. Colocando os solos em ordem decrescente de erodibilidade (Tabela 25), observou-se que somente sofreram perdas máximas os argissolos amarelo (AA), vermelho amarelo (AVA) e vermelho escuro (AVE), cambissolo álico (CA) e eutrófico (CE), latossolo vermelho amarelo (LVA) e os neossolos flúvico (NF) litólico (NL), sendo que dentre estes o argissolo amarelo foi o que teve a maior perda máxima. O cambissolo eutrófico e neossolo litólico não tiveram perdas máximas significativas. O gleissolo (G) sofreu a maior perda no nível mínimo de PNE. No entanto o argissolo vermelho amarelo (AVA) não sofreu perda mínima, sofrendo em todos os níveis a partir do nível 2 e representando a classe de erodibilidade com maior influência sobre o PNE. O nível 2 foi o que contribuiu com as maiores perdas, enquanto o argissolo vermelho amarelo (AVA), como descrito, mostrou-se mais sensível na determinação do PNE.

TABELA 24 – Valores de PNE encontrados na literatura e sua comparação com os determinados nesta pesquisa.

Nº de classes	PNE (t. ha ⁻¹)	Classificação	Referência
1	<1	Muito baixo	
2	1 ≤ PNE < 100	Baixo	
3	100 ≤ PNE < 1.000	Médio	Jacques (1997)
4	1.000 ≤ PNE < 3.000	Alto	
5	3.000 ≤ PNE < 4.600	Muito alto	
1	0 ≤ PNE < 100	Fraco	
2	100 ≤ PNE < 300	Moderado	Pinto (1991)
3	300 ≤ PNE < 900	Moderado-forte	
4	900 ≤ PNE < 10.500	Forte	
1	0 ≤ PNE < 450	Baixo	
2	450 ≤ PNE < 900	Médio	Bacellar (1994)
3	PNE > 900	Alto	
1	100 < PNE	Muito fraco	
2	100 ≤ PNE < 500	Fraco	
3	500 ≤ PNE < 1.000	Fraco-moderado	
4	1.000 ≤ PNE < 5.000	Moderado	Esta pesquisa
5	5.000 ≤ PNE < 10.000	Forte	
6	10.000 ≤ PNE < 20.000	Muito forte	
7	PNE > 20.000	Extremo	

A análise do PNE contra a erosividade (Tabela 26) revelou que perda máxima ocorreu em função do fator R na faixa 3. No entanto, este intervalo sofreu perda em todos os níveis de PNE. Vale lembrar que o R médio adotado para a maior parte do município foi de 5.757 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. O nível 2 do PNE mais foi o que mais contribuiu para o total de perdas.

TABELA 25 – Tabulação cruzada entre PNE e fator K em número de pixels.

Solo	Níveis de PNE (t. ha ⁻¹)							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
AA				939	1726	62	363	3.090
E				316	53			369
AVA		213	1432	3193	720	329	88	5.975
CE		2157	283	154	2	2	1	2.599
NF		2830	650	186	6	3	1	3.676
AVE		1	185	268	383	431	243	1.511
NL			29	58	64	178	270	599
O		606	300	14		1		921
CA	2	28	112	563	324	186	41	1.256
LVA	37	1926	61	1059	272	64	16	3.435
LA	228	822	93	18	1			1.162
G	2420	295	16	6				2.737
	2.687	8.878	3.161	6.774	3.551	1.256	1.023	

TABELA 26 – Tabulação cruzada entre PNE e fator R.

Faixa	R (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)	Níveis de PNE (t. ha ⁻¹)							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
1	4.480 – 4.760		118	11	57				186
2	4.760 – 5.720		1551	279	288	399	21	64	2.602
3	5.720 – 6.240	1840	6681	2861	5621	2918	1036	908	21.865
4	6.240 – 6.760	579	451	10	797	234	138	51	2.260
5	6.760 – 7.040	180	70		11				261
6	7.040 – 7.190	88	7						95
		2.687	8.878	3.161	6.774	3.551	1.195	1.023	

Finalmente analisando o PNE contra fator LS (Tabela 27) foi possível constatar que rampas da classe 2 sofreram perdas de solo em todos os níveis de PNE. Já o fator LS da classe 4 sofreu perdas intermediárias, isto é, nos níveis 3, 4 e 5 de PNE. Em contrapartida, as classes 7, 8, 9 e 10 só perderam nos dois níveis mais altos, o 6 e o 7.

TABELA 27 - Tabulação cruzada entre PNE e fator LS

Classe	LS	Nível de PNE (t. ha ⁻¹)							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
1	0,72 – 0,87	2277	5814		1255				9.346
2	0,88 – 3,8	410	3062	3145	4306	1779	1	307	13.010
3	3,9 – 11		2		209	68		4	283
4	12 – 17			16	992	1089		42	2.139
5	18 – 24				7	202	287	2	498
6	25 – 49				4	412	657	6	1.079
7	50 – 58				1		73	120	194
8	59 – 110					1	177	366	544
9	120 - 130							159	159
10	140 - 210							18	18
		2.687	8.878	3.161	6.774	3.551	1.195	1.024	

6.3.7 Influência Antrópica

Este mapa (Apêndice K) revelou que, em termos de perda de solo, os valores relativos às três classes de influência antrópica (Tabela 28) são: 67,69% das terras do município sofreram influência antrópica maior do que o solo pode suportar. Isso correspondeu a 273.248 ha da superfície do solo perdidos em função somente da ação humana, ou seja, sem se considerar as propriedades intrínsecas ao solo no processo erosivo. Menos da metade deste valor (30,62%) encontrou-se em situação de perda menor que a tolerada pelo solo e um valor infinitamente pequeno se comparado às outras duas classes classificou-se em situação de equilíbrio entre perdas e ganhos de solo. Este valor não aparece no mapa devido a sua dimensão em relação ao todo.

Por esta análise exploratória definiu-se que, em função do fator LS, os níveis de PNE predominantes foram fraco e moderado.

A Tabela 28 permite ainda inferir sobre o uso atual dado ao solo em função do uso permissível, isto é, 67,69% das terras precisam ter seu uso alterado enquanto 30,62% delas podem continuar mantendo seu uso e manejo. Mas o uso das terras equivalente aos 1,69% que se equilibram entre perdas e ganhos de

massa de solo devem ser monitorados para que não se somem à classe de perdas irreversíveis.

TABELA 28 – Classes de influência antrópica em percentual de área ocupada e área real ocupada.

Classe	Influência Antrópica	Área (ha)	Área relativa (%)
1	Menor que a tolerada	123.618	30,62
2	Igual a tolerada	6.834	1,69
3	Maior que a tolerada	273.248	67,69

A classe 1 tem sua maior ocorrência na planície aluvial, indo até ao sopé da Serra do Imbé. Nestas áreas, o uso atual é predominantemente de pastagens. Para a classe 3 há duas considerações importantes. O primeiro é a respeito do uso mata, o qual ocorre em maior proporção na Serra do Imbé e trata-se de um vestígio florestal. Como ela vem sofrendo erosão acelerada, sua destruição acarretará em altos índices de erosão devido ao declive em que se encontra além de expor os corpos hídricos e principalmente nascentes ao assoreamento. A segunda consideração é quanto ao uso cana, que é predominante no tabuleiro e no entorno da área urbana. O problema consiste em que todo o sedimento produzido pela ocupação agrícola tende a escoar para a planície. Ainda há a questão da expansão urbana, que sempre movimentava grandes massas de solo.

É importante ainda lembrar o tipo de solo em que cada classe está alocada. Na classe 1 estão o neossolo flúvico, gleissolo, espodossolo, organossolo e latossolo vermelho amarelo. Na 3 apresentam-se solos mais erodíveis como argissolo vermelho escuro, amarelo e vermelho amarelo, latossolo amarelo, cambissolo álico e neossolo litólico.

Quanto ao fator topográfico, a classe 1 possui as menores rampas, as quais vão desde 0,72 até 3,8 e na classe 3 as rampas começam em 3,8, saltam para 24 e vão até o valor máximo, que é 210.

6.3.8 Perda de Solo

A quantificação da perda anual de solo no município de Campos segue o padrão mostrado no Apêndice L. Ela traduz o resultado da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (Equação 1).

Observou-se que 37,59% da área apresentaram perdas de solo entre 10 e 50 t.ano⁻¹, o que caracterizou a perda de solo no município como predominantemente baixa a moderada e equivaleu a 137.321 ha. É possível visualizar no Apêndice L que a distribuição espacial desta classe foi bastante contínua. Notou-se também que as classes de perdas moderada a forte (100 a 500 t.ano⁻¹) e baixa (1 a 10 t.ano⁻¹) mostram-se espacialmente representativas, com 18,28% e 16,50% de área relativa cada uma, correspondendo a 66.779 ha e 60.265 ha.

As perdas de solo classificadas como forte, muito forte e extrema embora pouco representativas, somaram apenas 6,20% do total da área relativa (22.635 ha), e, pela Tabela 29, apresentaram perdas entre 500 t.ano⁻¹ até maiores que 5.000 t.ano⁻¹.

TABELA 29 – Perda anual de solo em Campos.

Classes	Perda de Solo (t.ano ⁻¹)	Área (%)	Área (ha)
Muito baixa	< 1	10,12	36.977
Baixa	1 – 10	16,50	60.265
Baixa a moderada	10 – 50	37,59	137.321
Moderada	50 – 100	11,32	41.370
Moderada a forte	100 – 500	18,28	66.779
Forte	500 – 1.000	2,27	8.285
Muito forte	1.000 – 5.000	3,65	13.343
Extrema	> 5.000	0,28	1.007

O mapa de perda de solo foi reclassificado em 8 intervalos de valores definidos para esta pesquisa e vistos na Tabela 30. Como base, foram tomados os trabalhos de Jacques (1997), Brito et al. (1998) e Alves (2005).

TABELA 30 – Valores comparativos de perda de solo.

Nº de classes	A (t. ano ⁻¹)	Classificação	Referência
1	$1 \leq A < 5$	Muito baixa	
2	$5 \leq A < 100$	Baixa	
3	$100 \leq A < 1.000$	Média	Jacques (1997)
4	$1.000 \leq A < 3.000$	Alta	
5	$3.000 \leq A < 4.600$	Muito alta	
1	$A < 2$	Fraco	
2	$2 < A < 12$	Moderado	Brito et al. (1998)
3	$A > 12$	Moderado-forte	
1	$0 < A < 1$	-	
2	$1 < A < 5$	-	
3	$5 < A < 10$	-	Alves (2000)
4	$10 < A < 20$	-	
5	$A > 20$	-	
1	$1 < A$	Muito baixa	
2	$1 \leq A < 10$	Baixa	
3	$10 \leq A < 50$	Baixa a moderada	
4	$50 \leq A < 100$	Moderada	
5	$100 \leq A < 500$	Moderada a forte	Esta pesquisa
6	$500 \leq A < 1.000$	Forte	
7	$1.000 \leq A < 5.000$	Muito forte	
8	$A > 5.000$	Extrema	

6.3.9 Risco de Erosão

O risco de erosão aqui determinado considerou a relação entre a perda de solo atual para o município e o perda máxima tolerada.

Conforme a Apêndice M e as Tabelas 31 e 32, a perda de solo em Campos encontra-se dentro do limite tolerável pelo solo, pois 33,84% das terras ocupadas, o equivalente a 123.618 ha estão classificadas na classe 1. No entanto 28,89% (105.540 ha) do município está perdendo solo a uma taxa entre 2 a 5 vezes maior que a capacidade de renovação do solo, seguido de 25,95% em situação ainda pior, isto é, uma área de 94.797 ha apresentou perda de solo maior que 10 vezes acima do limite tolerável.

TABELA 31 – Valores de perda de solo tolerável para a área de estudo.

Classe	Classe de risco de erosão	Valor de risco de erosão
1	Perda de solo tolerável	0,0 a 1,0
2	Perda de 1 a 2 vezes acima do limite tolerável	1,0 a 2,0
3	Perda de 2 a 5 vezes acima do limite tolerável	2,0 a 5,0
4	Perda de 5 a 10 vezes acima do limite tolerável	5,0 a 10,0
5	Perda > que 10 vezes acima do limite tolerável	> 10,0

TABELA 32 – Área relativa e ocupada pelas classes de risco de erosão.

Classe	Área (ha)	Área (%)
1	123.618	33,84
2	10.216	2,80
3	105.540	28,89
4	31.177	8,53
5	94.797	25,95

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho gerou um banco de dados digital, para o Município de Campos, de grande importância, pois os resultados aqui obtidos podem ser usados, para uma melhor gestão do município, em especial no seu plano diretor.

O primeiro produto gerado foi o modelo digital de elevação o qual representou com fidelidade o relevo da região, que apresenta variações geomorfológicas que vão desde escarpas a planícies, passando por colinas e tabuleiros. A precisão do modelo foi extremamente importante por que a partir dele foram elaboradas as de cartas de declividade e aspecto sem as quais não seria possível alcançar os objetivos propostos.

O modelo digital ainda permite muitas outras aplicações que não foram exploradas neste trabalho. No entanto ele pode ser melhorado com a inserção de mais pontos cotados na região da baixada.

Com relação à suscetibilidade à erosão laminar, observou-se o predomínio das classes de suscetibilidade baixa e baixa a não suscetível, o que foi determinado principalmente pelos tipos de solos (cambissolo eutrófico, latossolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo, neossolo flúvico, gleissolo, organossolo e espodossolo) e pela topografia predominantemente plana da região. Recomenda-se que nos 25% de terras classificadas como de média, alta e muito alta suscetibilidade sejam observados seus usos, principalmente com relação à ação

antrópica, e preservadas a suas coberturas, uma vez que elas se encontram em declives mais elevados e sobre solos mais erodíveis.

Quanto ao risco potencial de erosão, o município apresentou predominantemente baixo potencial à erosão laminar onde ocorrem usos pastagem e área agrícola, devido à combinação da erodibilidade e da declividade, que geram uma baixa suscetibilidade. Na região da Serra do Imbé, a suscetibilidade varia de alta a muito alta, porém o risco potencial foi predominantemente médio devido à presença da classe mata. Esta é uma área de preservação ambiental, o Parque do Desengano onde ocorre a Serra do Imbé.

A presença de mata e a ação antrópica muito reduzida propiciaram a queda do potencial erosivo nesta região da Serra do Imbé, confirmando a hipótese de que a cobertura retém o fluxo d'água, aumenta e infiltração e diminui o escoamento superficial.

Através da análise de perda de solo por erosão aplicando-se a EUPS foi determinado que o potencial natural de erosão (PNE) do município teve dois níveis de maior abrangência: um com maior potencial, que apresentou uma perda de 1.000 a 5.000 t. ha⁻¹, classificado como forte a moderado e um de menor potencial, que apresentou perda de 100 a 500 t. ha⁻¹, sendo classificado como fraco. O potencial mais fraco ocorreu nas áreas de menor declividade, em rampas menores, onde os solos foram menos erodíveis e o regime de chuvas foi mais brando que na área de ocorrência do potencial mais acentuado, o qual se apresentou nas regiões serranas e colinosas. Nestas áreas recomenda-se maior critério na escolha do uso, pois a análise do potencial erosivo sob as vistas do PNE simula qual seria a perda de solo em condições extremas, isto é, a superfície do solo totalmente nua, sem qualquer tipo de cobertura e com ausência de práticas de conservação. De acordo com a definição dos fatores da EUSP, estas condições determinam perdas máximas de solo.

O risco de erosão e a influência antrópica mapeados revelaram uma situação preocupante. Quase 34% do município apresentaram risco de erosão dentro do limite de perda de solo tolerável. Porém, quase 26% das terras apresentaram risco 10 vezes acima do tolerável e aproximadamente 29% apresentaram risco de erosão entre 2 a 5 vezes acima do limite tolerado. O agrupamento das duas classes de risco mais significativo indicou que 55% das terras do município apresentaram risco de erosão maior que o tolerado pelo solo, que foi o resultado obtido pela análise da influência antrópica.

O homem e suas ações são responsáveis pelo equilíbrio entre perdas de solo por erosão e sua compensação pela taxa de formação do solo. Recomenda-se que o manuseio do solo na área de estudo quanto aos usos cana e pastagem seja remodelado afim de que se mantenha um elevado nível de produtividade economicamente viável.

E finalmente a perda de solo no município de Campos, que variou entre baixa à moderada-forte, correspondendo ao intervalo de perdas de 10 t. ano^{-1} até 500 t. ano^{-1} . Estes valores ocorreram na área do tabuleiro onde há cultivo de cana, a região da Serra do Imbé e nas áreas de colina, em áreas de pastagem.

Como o trabalho de quantificação de perda de solo por aplicação da EUPS teve caráter inédito na área de estudo, as dificuldades na obtenção dos planos de informação básicos foram muitas. Em todo o município só existe uma estação meteorológica de medição das chuvas incidentes, que é a do Campus da UFRRJ. Devido a isso o fator R teve de ser determinado considerando as estações além dos limites do município como base. O fator K foi compilado da literatura por que a área de estudos, mesmo com toda sua extensão e diversidade de solos, não possui um banco de dados sobre a erodibilidade de seus solos. Recomenda-se que sejam feitos ensaios de campo e laboratório para sua determinação.

O presente trabalho analisou a erosão laminar dos solos do município de Campos dos Goytacazes sob duas óticas: a qualitativa e a quantitativa. Os resultados encontrados nem sempre se correlacionaram tendo em vista a diferença na abordagem metodológica de ambas as linhas. Entretanto, ao estudar seus resultados, ainda que independentemente, foi possível inferir a cerca dos processos antrópicos e naturais que vêm causando erosão na região estudada.

Pouca atenção tem sido dada ao uso do solo na produção de cana no sentido da ausência de práticas conservacionistas. As perdas de solo e a suscetibilidade das terras na área de produção de cana não foram mais acentuadas devido ao declive suave.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. G. **Análise ambiental da região oceânica de Niterói e Distrito de Inoã-Maricá(RJ): uma visão por geoprocessamento e mapeamento geológicogeotécnico com ênfase nos impactos do uso e ocupação.** 2000. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ALVES, M. **Estimativa da Perda de Solo por Erosão Laminar na Bacia do Rio São Bartolomeu-DF Usando Técnicas de Geoprocessamento.** 2000. SER-300 - Introdução ao Geoprocessamento (disciplina). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Trabalhos de alunos. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/trabalhos/mariza.pdf>>. Acessado em 27 dez. 2005.

AMORIM, R. S. S. **Desprendimento e arraste de partículas de solo decorrente de chuvas simuladas.** 1999. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE. **Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia.** 139p., 1985.

- AZEVEDO, H. J.; SOUZA, D.; RABELO, P. R., 2000, **Boletim climático do Campus Leonel Miranda**, Boletim Técnico Nº 16, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 38p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1983) **Conservação do Solo**. Piracicaba, Livroceres. 392p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1990) **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2ª ed, 355p.
- Brasil (1997) Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal / Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal. Brasília. Acessado em nov. 2005.*
- BRITO, J. L. S., LIMA, S. do C., SHIKI, S., MOREIRA, M. R. Uso do geoprocessamento na estimativa da perda de solos por Erosão laminar em Iraí de Minas – MG. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1998, Santos. Anais...INPE: p. 501-512.
- CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. Sistemas de informações geográficas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. **Apostila...** 1994. 34p.
- CÂMARA, G. & DAVIS, C. (1998) Introdução. **Introdução ao SIG**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, p. 1-5.
- CERRI, C. E. P. **Mapeamento de áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. 1999. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

- CÉSAR, C. M. **Contribuição para o estudo da erosão e de seus principais determinantes**. 1952. (Tese) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Minas. **Projeto Rio de Janeiro**, CD-ROM. Brasília, 2001.
- CORIDOLA, R. **Análise da vulnerabilidade de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes/RJ utilizando a metodologia GOD e DRASTIC através de técnicas de Geoprocessamento**. (*no prelo*). Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.
- COSTA, A N. **O uso do mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento para o planejamento da expansão urbana no município de Campos dos Goytacazes/RJ**. 2005. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.
- CORRÊA, F.de P. **O uso do geoprocessamento na elaboração de documentos cartográficos como subsídio ao processo de zoneamento ambiental na bacia hidrográfica da lagoa Feia no município de Campos dos Goytacazes/RJ**. 2003. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (DSC-UFLA). Solos do Cerrado – Argissolo. Revista eletrônica. Disponível em <<http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CArgissolo.htm>> Acessado em 14 de jan. 2005.

Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro. **Sinopse Geológica do Estado do Rio de Janeiro na Escala 1:400.000**. Disponível em <<http://www.drm.rj.gov.br/item.asp?chave=7>>. Acessado em 25 de abril de 2005.

FARIAS, J. R. Reunião de Pesquisa de Soja discute interferência da seca na produtividade da soja. Revista eletrônica AGRONLINE. Disponível em <<http://www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=1594>>. Acessado em 30 dez. 2005.

FAVIS-MORTLOCK, D. Soil Erosion Site, 2005. Disponível em <<http://soilerosion.net>>. Acessado em 03 dez. 2005.

FELGUEIRAS, C.A. Modelagem Numérica do Terreno. **Introdução ao Geoprocessamento**, cap. 6. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Acessado em 22 set. 2005.

FERES, R. **Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do rio Bonito (Descalvado, SP)**. 2002. (Tese de doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FERNANDES, M. do C., MENEZES, P. L. de,. **Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca-RJ**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, Anais...INPE, p. 2985-2992.

FRAGASSI, P.F.M. **Estudo da erodibilidade dos solos da região de Viçosa (MG) e suas correlações com parâmetros geotécnicos**. 2001. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FUJIHARA, A. K., **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

GAMEIRO, M G. **Avaliação de métodos para obtenção dos fatores "L" e "S" da EUPS numa microbacia, via geoprocessamento e banco de dados**. 1997. (Dissertação de Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GRIPP Jr., J. & SIMÕES, A. (1994). *Representações Cartográficas*. Notas de aula, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

GUERRA, A.J.T. Início do Processo Erosivo. *In: Erosão e Conservação dos Solos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA e SONDOTÉCNICA Engenharia e Sondagem, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acessado em 14 de agost. 2005.

Instituto de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (IGEO-UERJ). O LEVANTAMENTO DE SOLOS COMO SUBSÍDIO AO DIAGNÓSTICO SÓCIO-AMBIENTAL: A BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS, CAMPINAS (SP). Revista eletrônica. Disponível em <http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/e2_textosnu4.htm> Acessado em 14 de jan. 2005.

JACQUES, P. D., **Geoprocessamento na identificação de áreas susceptíveis à erosão laminar na bacia do rio Ubatiba, Maricá – RJ**. 1997. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

- KUNTSCHIK, G. **"Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo na microbacia do Ribeirão das Araras, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento"**. 1996. (Dissertação de Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- MANNIGEL, A R., CARVALHO, M. DE P. MORETI, D., MEDEIROS, L. DA R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo**. In: Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MARQUES, H. S. **Uso de geotecnologias no estudo das relações entre solos, orientação de vertentes e o comportamento espectral de áreas cafeeiras em Machado, Minas Gerais**. 2003. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.
- Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/ UFRJ. <www.nce.ufrj.br/>. Acessado em 13 ago. 2004.
- Oliveira, J.B., Jacomine, P. K. & Camargo, M. N. (1992) **Classes Gerais de Solos do Brasil**. Jaboticabal – SP: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia – FUNEP, 201p.
- ORTIZ, J. L., **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos de solo e de relevo**. 2003. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Revista eletrônica. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200001> Acessado em 15 de jan. 2005.

PARANHOS FILHO, A C., FIORI, A P., DISPERATI, L., LUCCHESI, C., CIALI, A, LASTORIA, G. **Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho-MS**. In: Boletim Paraense de Geociências, nº 52, p. 49-59, 2003. Editora UFPR.

PINTO, S. A F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão de solos**: uma contribuição metodológica. 1991. (Tese de Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PRADO, H. do. Pedologia Fácil. Revista eletrônica. Disponível em <<http://www.pedologiafacil.com/enquete.php>> Acessado em 14 de jan. 2006.

PROJETO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO NORTE-FLUMINENSE (PROJIR). Ministério da Indústria e do Comércio, Instituto do Açúcar e do Alcool, Sondotécnica - Engenharia de Solos S.A. **Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte-Fluminense: Relatórios Técnicos Setoriais; Estudos e Levantamentos Pedológicos. Campos dos Goytacazes, 1984.**

RAMOS, I.S. **Delimitação, caracterização e cubagem da região de exploração de argila no Município de Campos dos Goytacazes**. 2000. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

- RANIERI, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG)**. 1996. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- RANIERI, S. B. L., **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP**. 2000. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- RIBEIRO, S. L. **Aplicação de Sistema de Informação Geográfica Nacional ao Estudo de Erosão dos Solos por meio de Modelo EUPS: Microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá – SP**. 2000. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro
- RIBEIRO, C. A. A. S. **Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. **Apostila...** 2003. 59p.
- ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELAR, A. A. A. **Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a equação universal de perda de solo**. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS DE IDRISI, 1995, Campinas. Anais... Campinas: UNICAMP/FAMCG, 1995. p. 3-6
- Salomão, F.X.T. (1999). **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos**. In: Erosão e Conservação dos Solos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.229-267.
- SILVA, A. B., RESENDE, M., SOUSA, A. R. MARGOLIS, E. **Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho E feijão em um regossolo no agreste pernambucano**. In: Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, fev. 1999.

SILVA, A. M., SCHULZ; H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentação em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003, 2004, 140p. ISBN – 85-86552-52-6.

SOARES, V., **Erosão e Sedimentação e sua relação com florestas**. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/dsr/viane/CursoHF/Capitulo8c.htm>>., publicado em 29/10/2002. Acessado em 10 de nov. 2004.

SPAROVEK, R. B. M. **Estimativa da erosão em sulcos e entre sulcos na microbacia hidrográfica do córrego do Ceveiro Piracicaba (SP)**. 1998. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

VENIZIANI JUNIOR, J. C. T. **Utilização de Índices de Vegetação para estimativa da Proteção do Solo pela Cobertura Vegetal: uma contribuição para o uso da Equação Universal das Perdas de Solo**. 2003. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

WEILL, M. de A. M., **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do índice de tempo de vida**. 1999. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountain**: Guide for selections of practices for soil and water conservation. Whashington: Department of Agriculture, 1965. 47p. (USDA. Agriculture handbook, 282).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses:** a guide to conservation planing. Whashington: Department of Agriculture, 1978. 47p. (USDA. Agriculture handbook, 537).

ZILLER, M. **Modeling Our World:** The ESRI Guide to Geodatabase Design. Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999. 202p.

ANEXO 01

CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DO SOLO

(Fonte: Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

A classificação convencional aceita universalmente, abrange oito classes de capacidade de uso do solo, sendo quatro de terras de cultura, três de terras de pastagens e reflorestamento, e uma de terras impróprias para a vegetação produtiva.

A – Terras cultiváveis

I – terras cultiváveis aparentemente sem problemas especiais de conservação;

II – terras cultiváveis com problemas simples de conservação;

III – terras cultiváveis com problemas complexos de conservação;

IV – terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada com sérios problemas de conservação;

B – **Terras cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes e adaptadas em geral para pastagens ou reflorestamento.**

V – terras cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes e adaptadas em geral para pastagens e reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação;

VI – terras cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes e adaptadas em geral para pastagens e reflorestamento, com problemas simples de conservação;

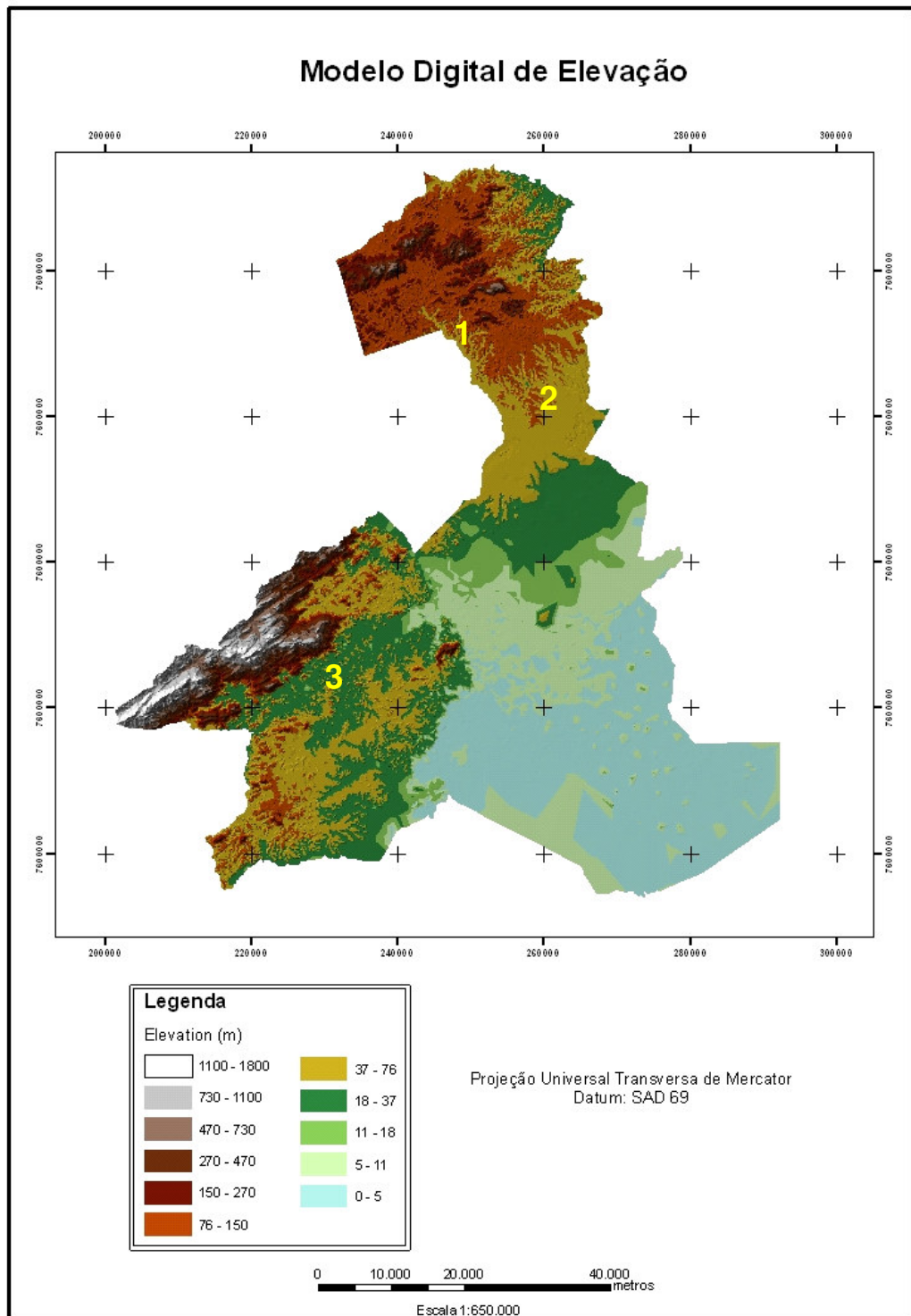
VII – terras cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes e adaptadas em geral para pastagens e reflorestamento, com problemas complexos de conservação;

C – Terras impróprias para vegetação produtiva e próprias para proteção da fauna silvestre, para recreação ou para armazenamento de água.

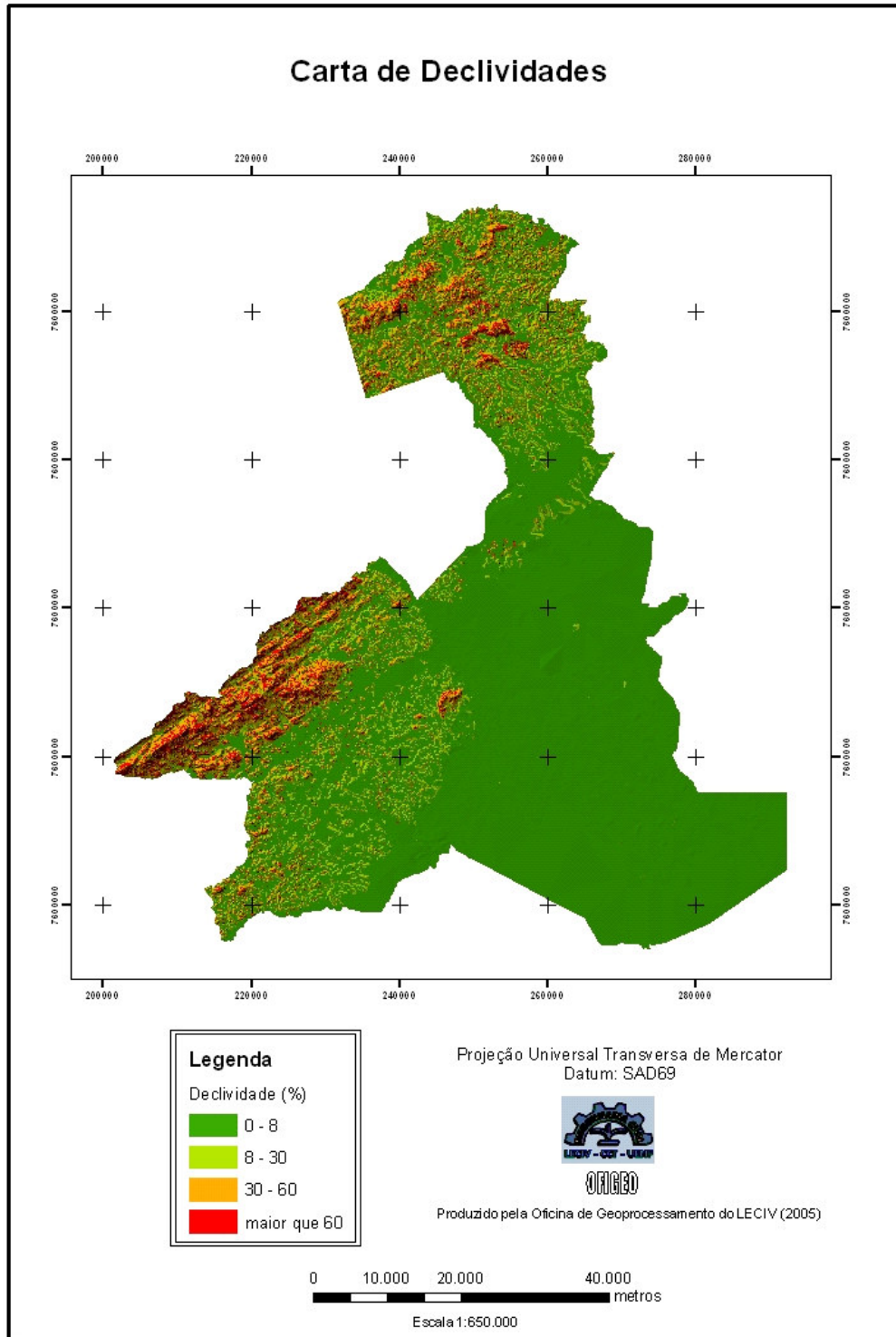
VIII – terras impróprias para cultura, pastagem ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo da fauna silvestre, como ambiente para recreação ou para fins de armazenamento de água.

APÊNDICES

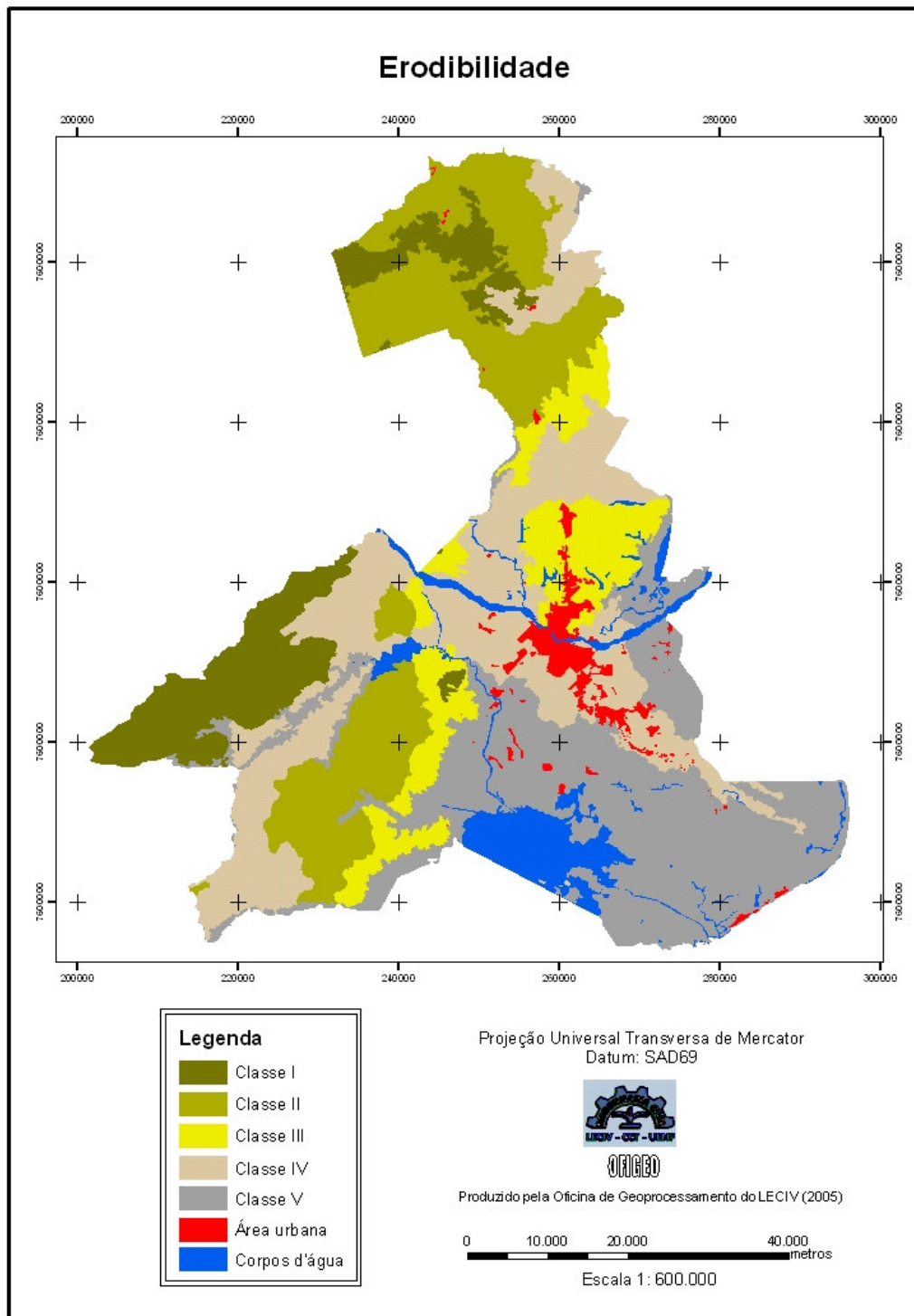
APÊNDICE A



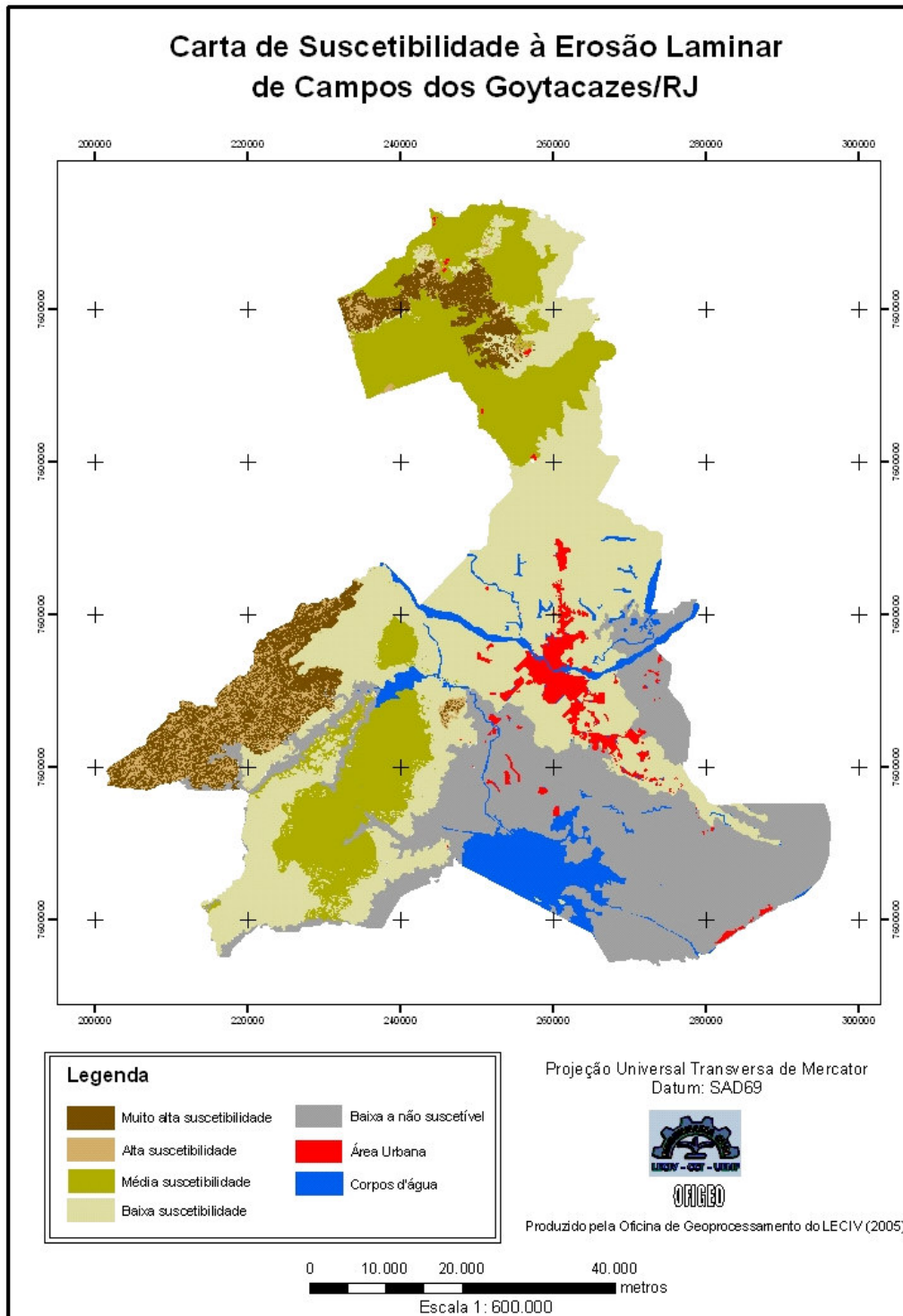
APÊNDICE B



APÊNDICE C

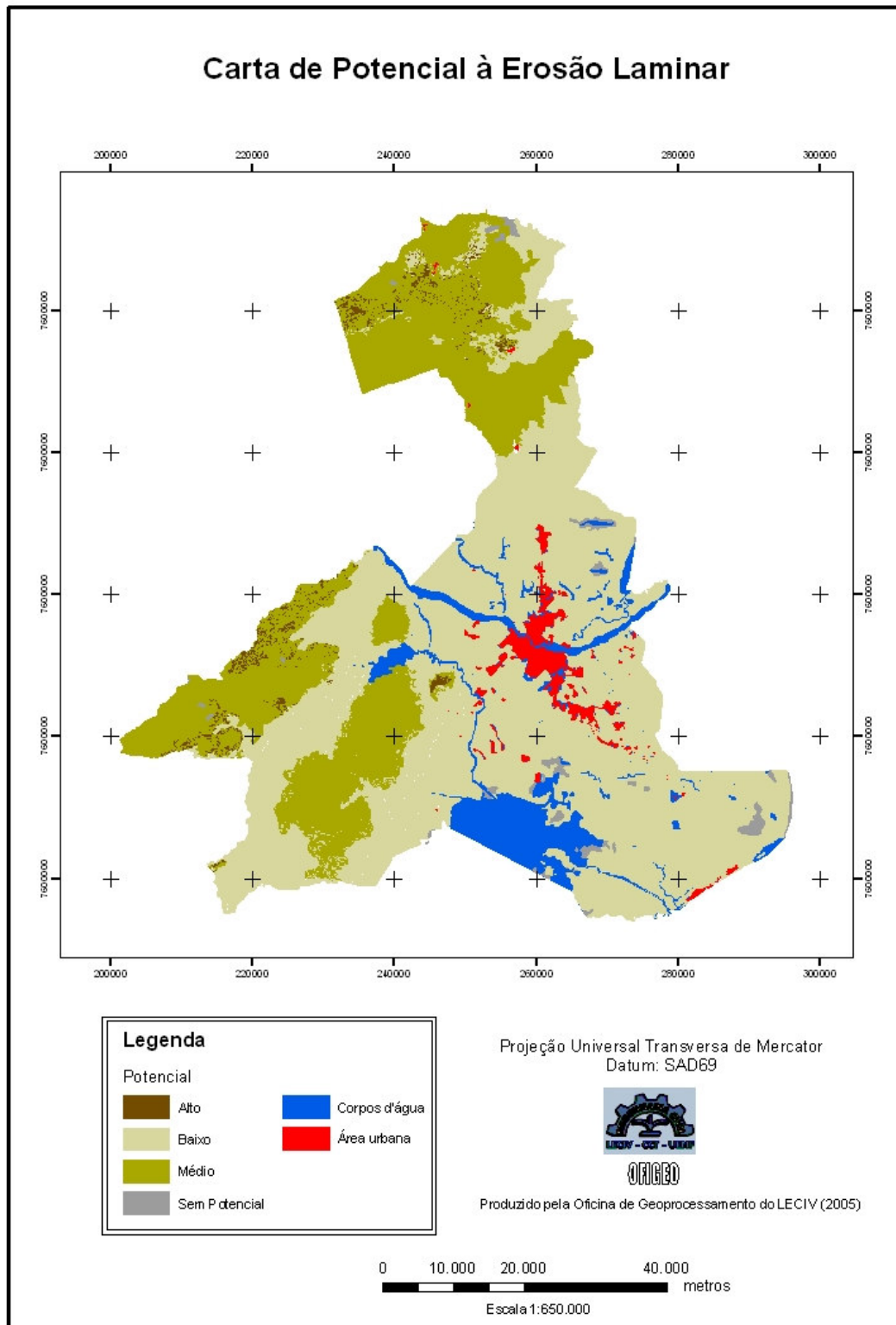


APÊNDICE D

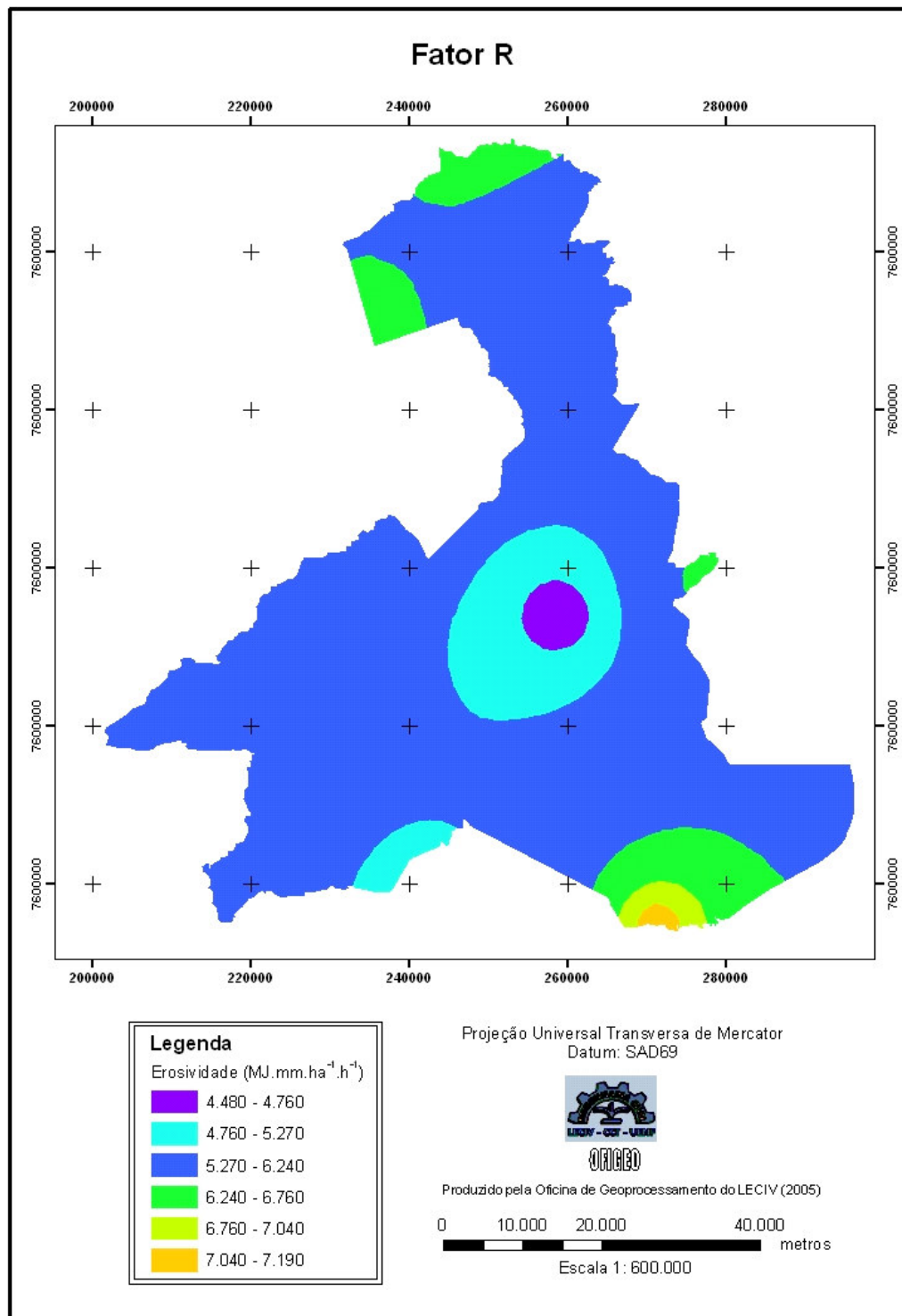


APÊNDICE E

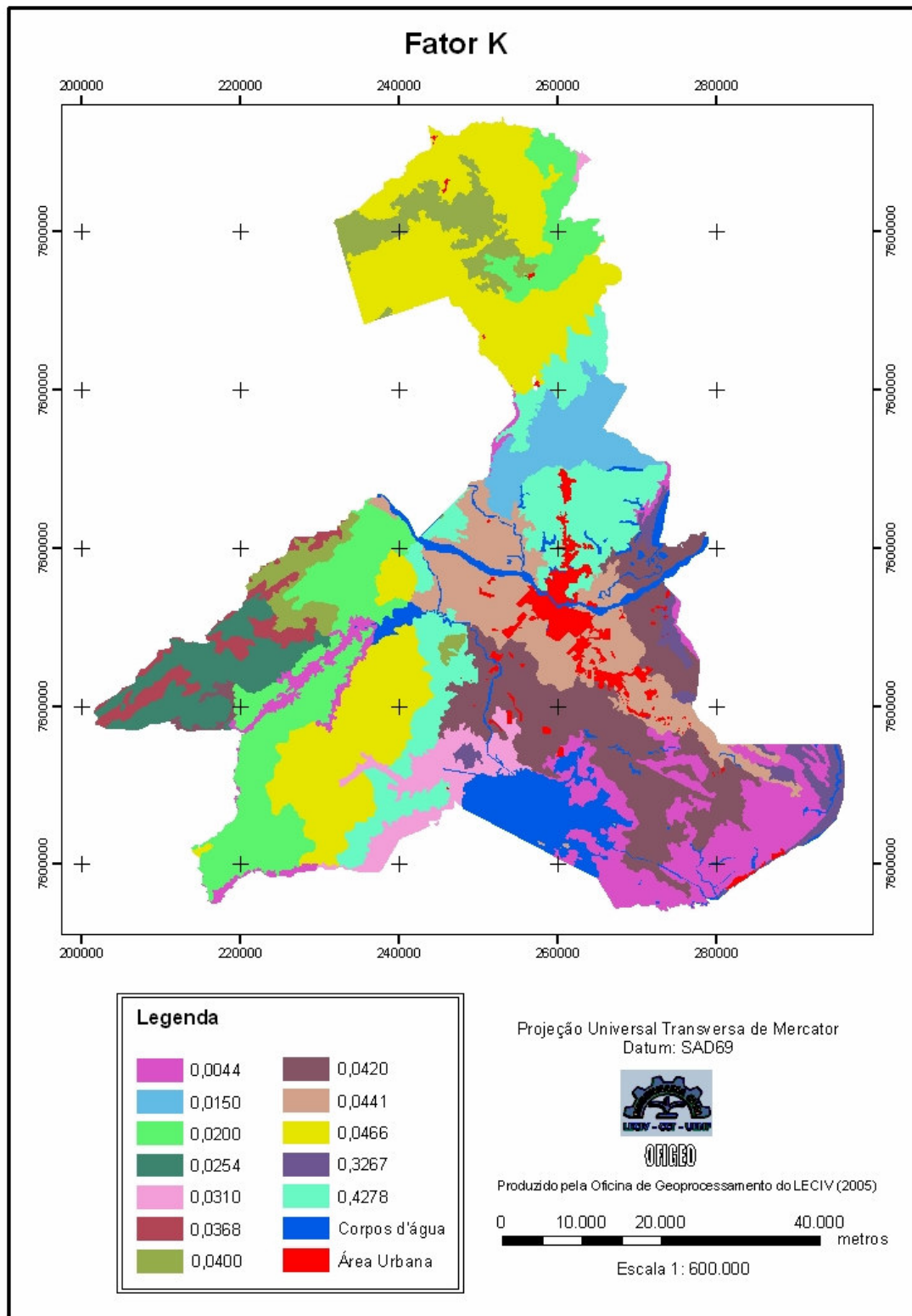
Carta de Potencial à Erosão Laminar



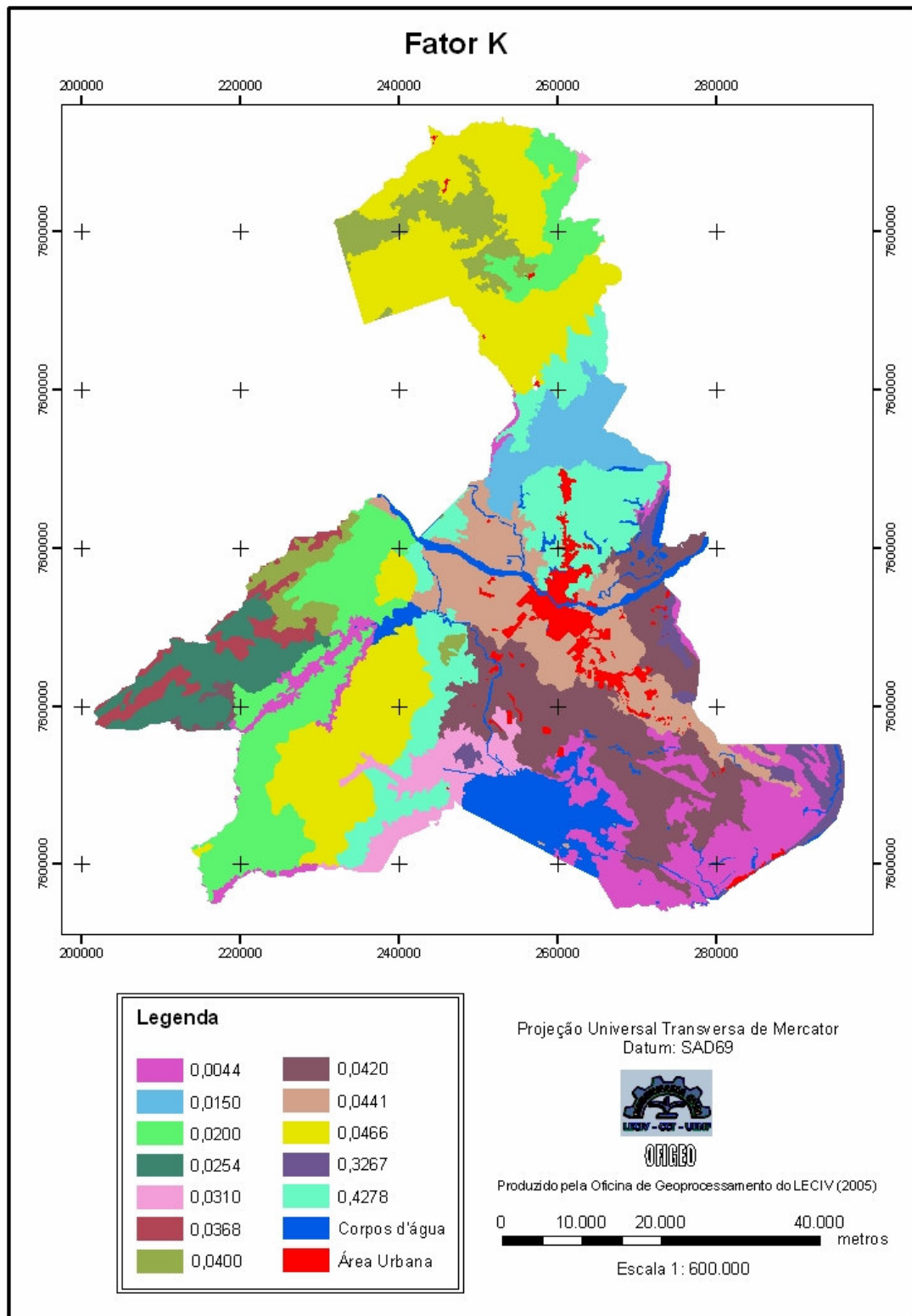
APÊNDICE F



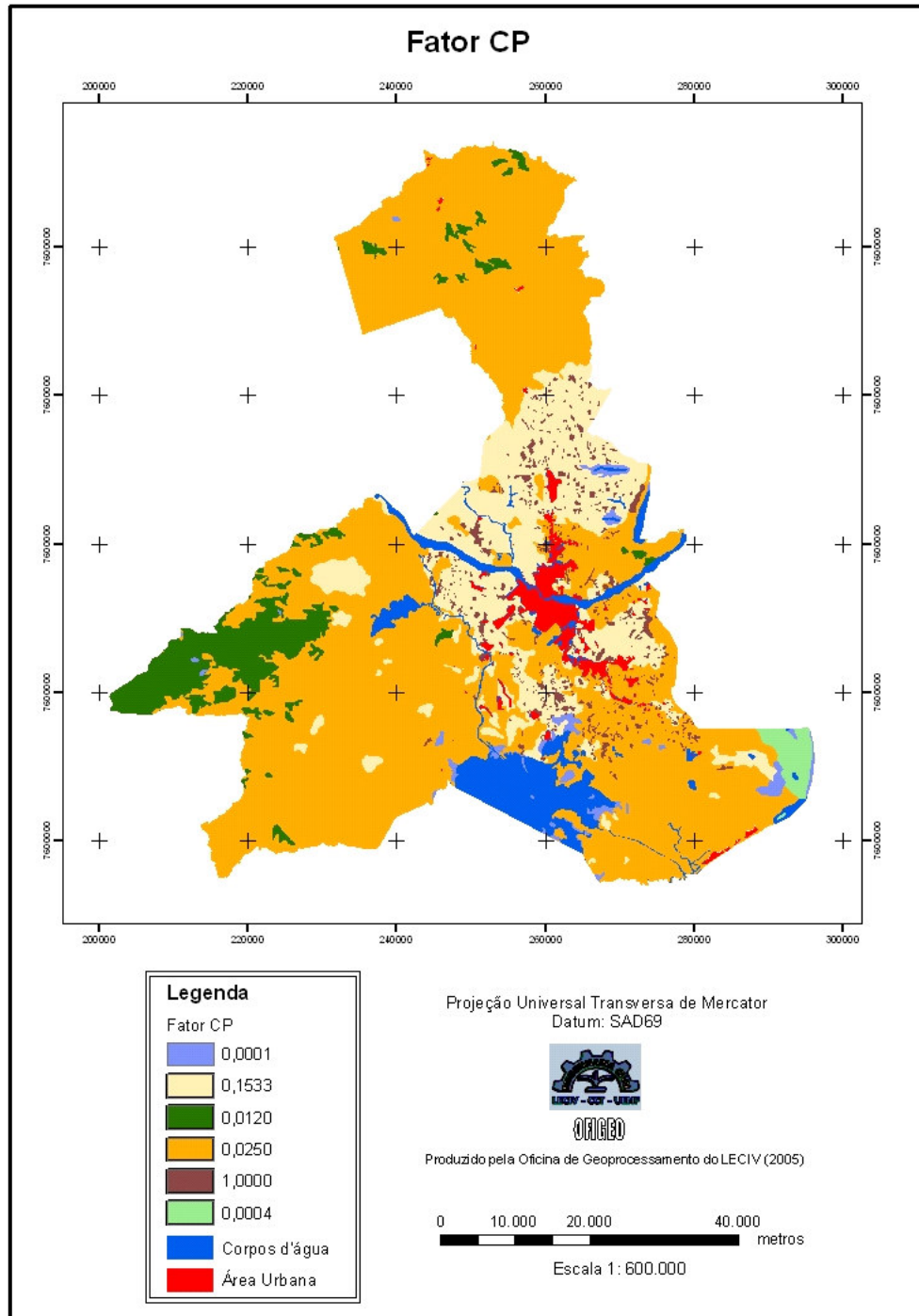
APÊNDICE G



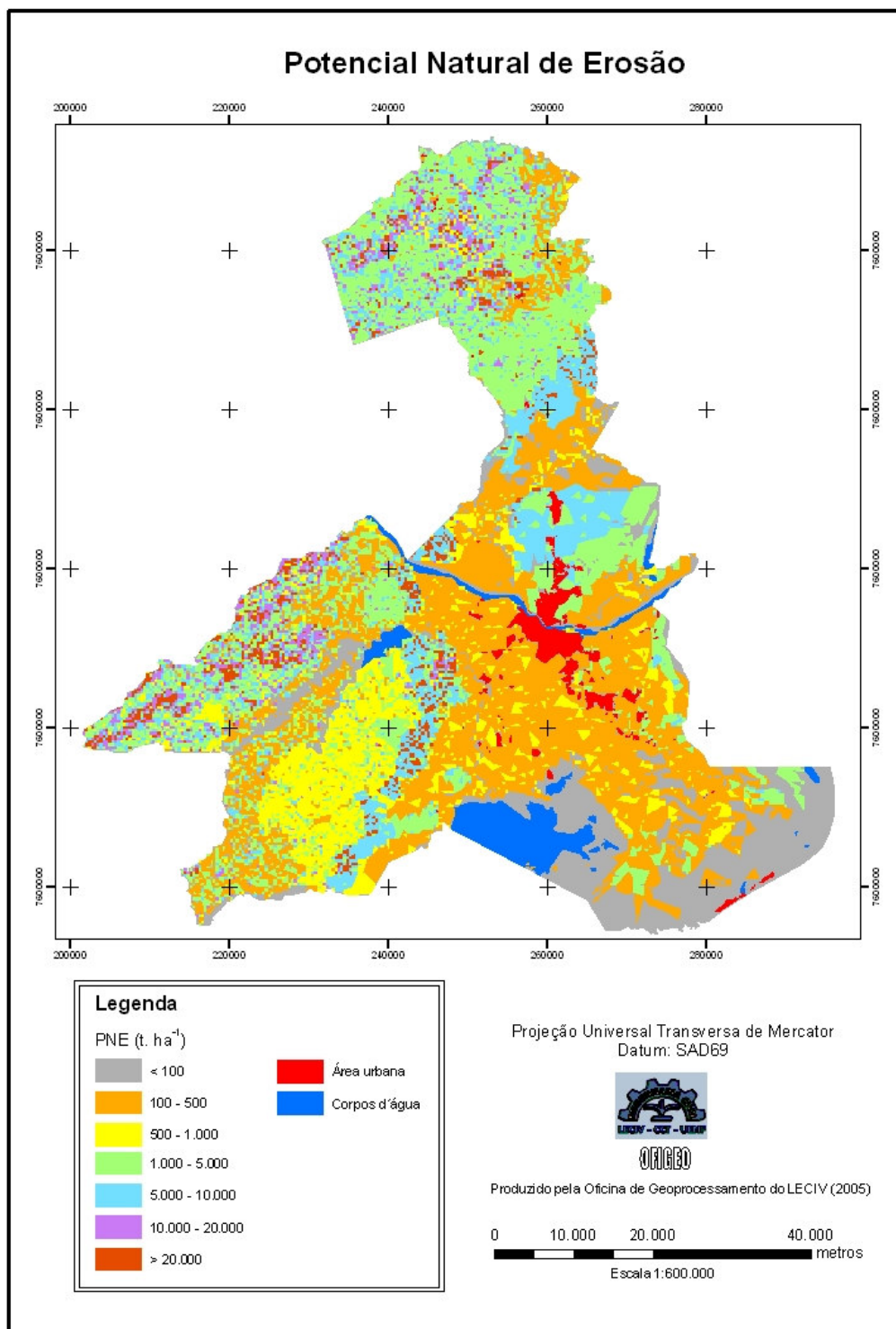
APÊNDICE H



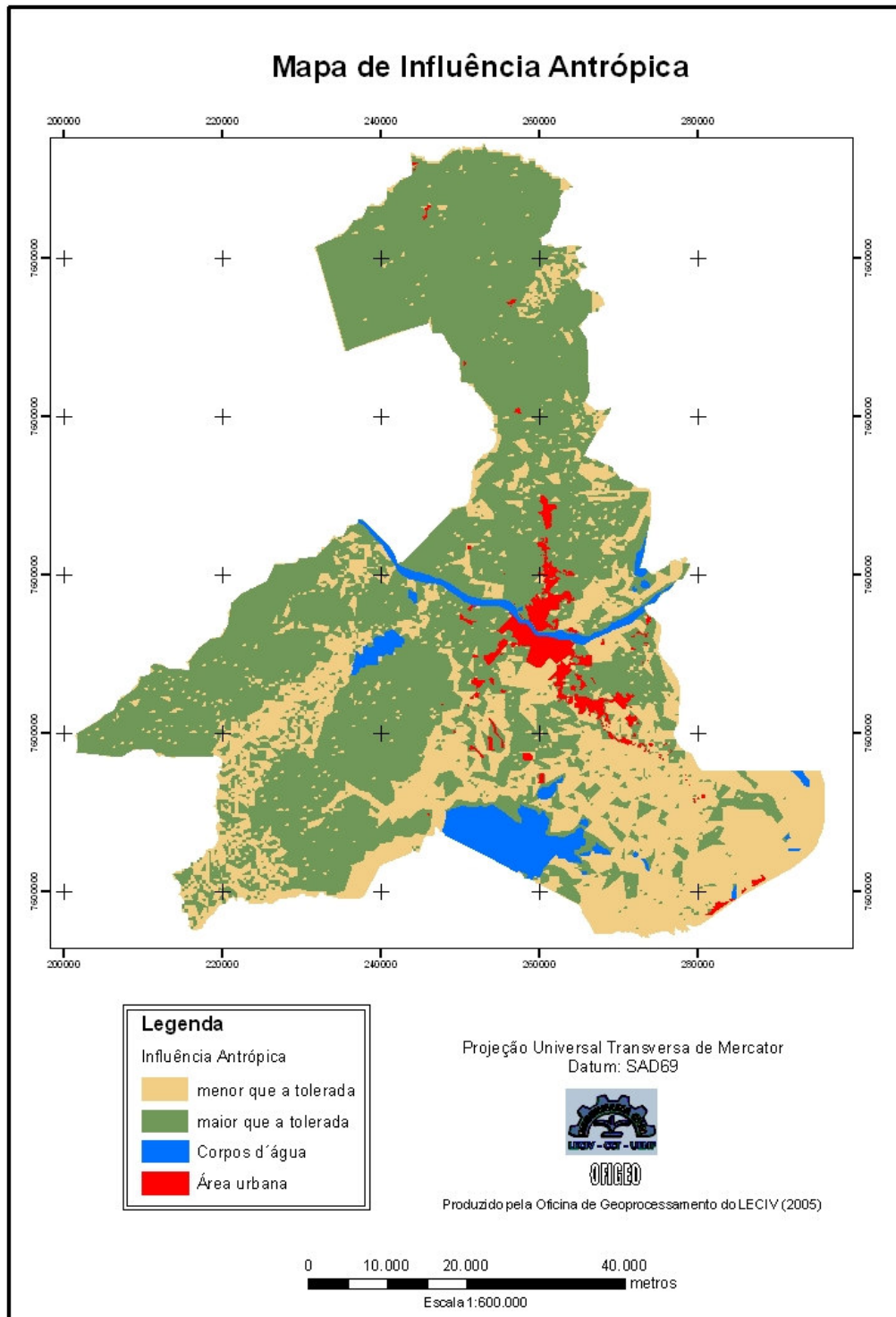
APÊNDICE I



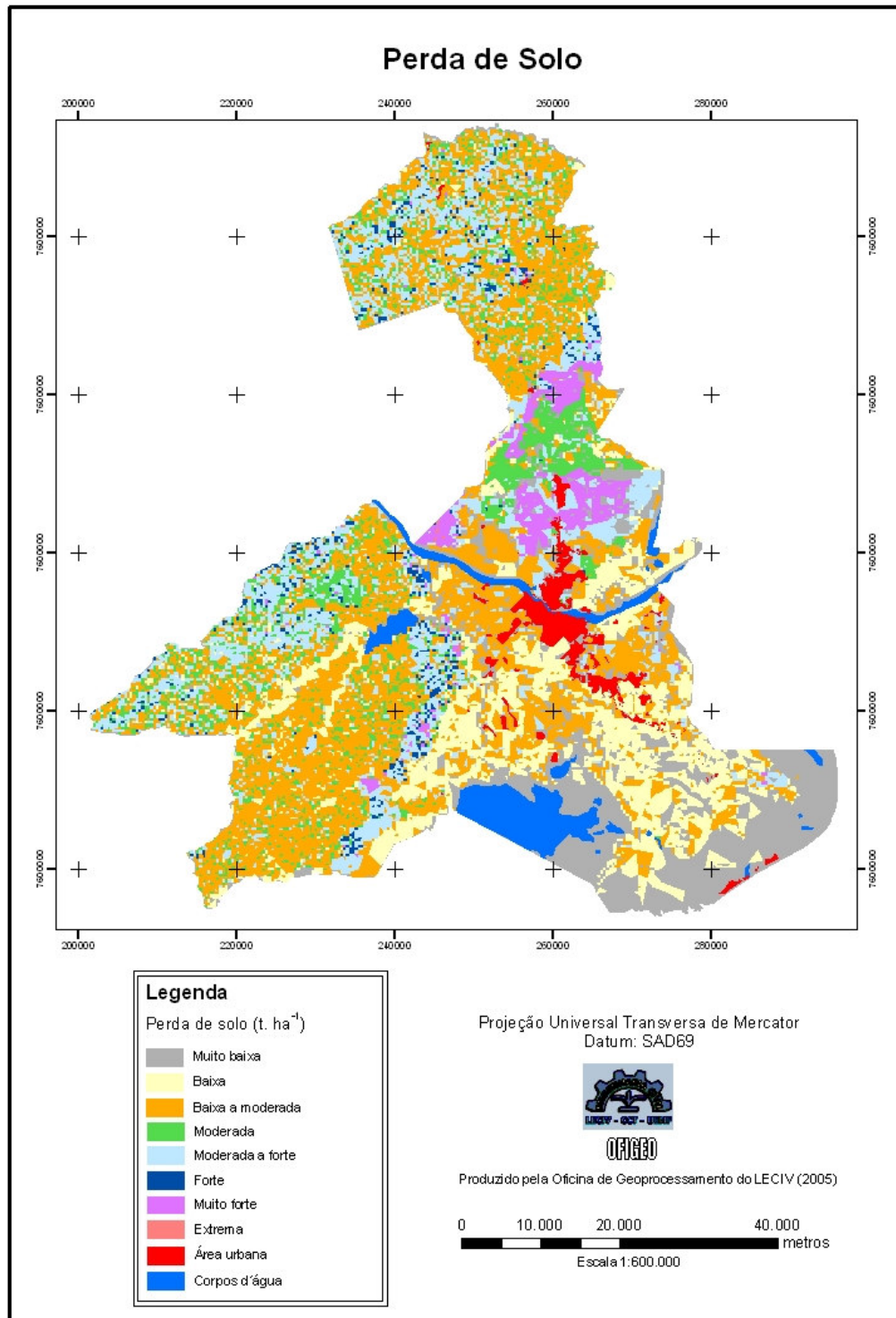
APÊNDICE J



APÊNDICE K



APÊNDICE L



APÊNDICE M

