

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PERDA LAMINAR DE SOLOS, NO DISTRITO
FEDERAL, POR MEIO DO GEOPROCESSAMENTO**

GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

ORIENTADOR: NABIL JOSEPH EID

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: MTARH.DM - 001A/97

BRASÍLIA / DF
FEVEREIRO DE 1997

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PERDA LAMINAR DE SOLOS, NO DISTRITO
FEDERAL, POR MEIO DO GEOPROCESSAMENTO**

GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADO POR:

NABIL JOSEPH EID, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)

NÉSTOR ALDO CAMPANA, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

ROBERTO ROSA, DSc (UFU)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA / DF, 05 FEVEREIRO de 1997

FICHA CATALOGRÁFICA

BAPTISTA, GUSTAVO MACEDO DE MELLO

Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento. [Distrito Federal] 1997

xvii, 112p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos hídricos, 1997)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil.

1. Perda de solo

2. Geoprocessamento

3. USLE

4. SIG

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BAPTISTA, G.M.M. (1997). **Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento.** Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-001A/97, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo Macedo de Mello Baptista

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento.

GRAU: Mestre em Ciências

ANO: 1997

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gustavo Macedo de Mello Baptista
SQS 302 bloco J Aptº 401 - Asa Sul
CEP - 70338-100 Brasília/DF - Brasil

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à memória de meus avós *Raimundo* e *Eponina*, cujas atitudes e ideais foram sempre exemplos de vida para mim. Aos meus pais *Edmundo* e *Marilia*, sem os quais não teria sido possível a concretização desse projeto. À minha esposa *Luciene*, aos meus filhos *Alberto* e *Rafaela* (*que está por vir*), a minha avó *Creusa*, e minha irmã *Adriana*, por todo carinho, apoio e compreensão durante a elaboração desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Nabil Joseph Eid pela orientação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Marco Antônio Almeida de Souza, Néstor Aldo Campana, Ricardo Silveira Bernardes, Oscar de Moraes Cordeiro Netto, Sérgio Koide e Cristina Célia Silveira Brandão pela transmissão de conhecimentos e convivência acadêmica.

Aos demais Professores do Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pelo incentivo e eventuais auxílios.

Aos amigos Éder de Souza Martins, Fabrício Bueno da Fonseca Cardoso, Ana Paula Ferreira de Carvalho, Renato Fontes Guimarães, Albano Henrique de Araújo, pelas discussões fundamentais para a realização deste estudo.

Aos amigos da turma de 1995, Ercília, Carine, Paulo Celso, Mauro, Maurício, Elton, Regina, Harada e Rodrigo pela amizade e companheirismo durante esta jornada.

Aos amigos dos Laboratórios do MTARH, Boy, André, Afonso e Antônio Carlos pelo apoio e pelas conversas descontraídas sempre importantes.

Ao Professor Augusto César Bittencourt Pires, do Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais da UnB, pela utilização do *software* SURFER for windows, versão 5.0.

Ao Departamento de Geografia da UnB, nas pessoas dos Professores Mário Diniz de Araújo Neto e Renato Fontes Guimarães, pela utilização do *software* IDRISI for DOS, versão 4.1.

Ao amigo e professor José Flávio S. Saraiva, pelo auxílio e revisão do abstract.

À CAESB, pela cessão dos dados pluviométricos e principalmente aos Engenheiros Augusto César Maia e Gilberto Gomes dos Santos da Divisão de Disponibilidade Hídrica (DVDH).

À CODEVASF, nas figuras de Alexandre, Ari, Rose e Alberto Calderon, pelo auxílio na base cartográfica do uso e ocupação do solo.

Aos amigos do IEMA / DF, Ricardo Nixon A. Santos, Flávio Montiel da Rocha, Frederico Flávio Magalhães, Eduardo Kunze Bastos, Marlos J. Souza, Rodrigo Studart Correia, José Aquiles T. Leal pelas discussões, pelo aprendizado, pela amizade e pela cessão da base cartográfica de solos, e pela cessão do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal - 1994.

Um agradecimento em especial aos amigos Abner Lima de Oliveira e Osmar Abílio de Carvalho Júnior, pela amizade e imprescindível ajuda na confecção e editoração deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo zonestar e diagnosticar qualitativamente a severidade dos impactos ambientais ocasionados pela perda de solo por erosão laminar no Distrito Federal, por meio de técnicas de Geoprocessamento.

A espacialização desses impactos só foi possível a partir das características de tolerância às perdas laminares para cada tipo de solo, entendida nesta dissertação como o limite aceitável de perdas que não compromete a possibilidade do solo produzir agricolamente, além da profundidades dos solos, por entender que as perdas são mais significativas em solos rasos e pouco profundos do que em solos profundos e muito profundos.

Além disso, o trabalho mostrou ser possível a adoção da Equação Universal de Perda de Solo - USLE, de Wischmeier e Smith (1978), através de uma metodologia empregada em um Sistema de Informações Geográficas além de apresentar suas limitações conceituais e quais os ajustes devem ser adotados para a melhoria do modelo, visando estimativas de perda de solo por erosão laminar para grandes áreas.

A análise dos resultados, tornou possível identificar que cerca de 19% do território do DF sofre impactos ambientais por perda laminar de solos, além de localizá-los espacialmente, o que possibilita que as ações emergenciais sejam direcionadas.

ABSTRACT

The aim of this dissertation is to define zones and to diagnose the environmental impact, in qualitative way, on soil loss provoked by laminar erosion in Distrito Federal. Geoprocessing technics are used in this study to demonstrate our results.

The spacial identification of these impacts was only possible by the features of laminar loss tolerance for each type of soil and by soil deepness. Tolerance is understood in this dissertation as an acceptable limit of loss which did not interfere in the agricultural capability of soil production. Losses are more significant in shallow and less deep soils rather than in deep and deeper soils.

This dissertation has shown how useful is Universal Soil Loss Equation - USLE (Wischmeier e Smith, 1978), in a Geographic Information System's methodology and, at the same time, we tried to demonstrate the conceptual limits of the model and adjustments which should be adapted in order to improve it for the case of soil loss provoked by laminar erosion in large areas.

The analysis of results firstly made possible to identify that 19% of the DF territory suffers environmental impacts by soil laminar losses. Secondly, it is provided here the location of them in order to suggest possible emergency actions which could be conducted.

SUMÁRIO

CAPÍTULO	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
1.2 - Objetivos	4
1.2.1 - Objetivo Principal	4
1.2.2 - Objetivo Secundário	4
1.3 - Justificativa e Importância do Tema	4
2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	6
2.1 - Introdução	6
2.2 - Geologia	7
2.3 - Geomorfologia	8
2.4 - Solos	10
2.5 - Clima	13
2.6 - Vegetação	14
2.7 - Hidrografia	15
2.8 - Aspectos Populacionais	16
2.9 - Aspectos Econômicos	17
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 - Erosão	18
3.1.1 - Erosão Laminar	18
3.1.2 - Métodos para avaliação de perdas de solo	19
3.1.3 - Modelos para estimativa de perdas de solo	20
3.1.3.1 - <i>Equação de Zingg</i>	20
3.1.3.2 - <i>Equação de Musgrave</i>	21
3.1.3.3 - <i>Equação de Smith e Whitt</i>	21
3.1.3.4 - <i>Equação de Hudson</i>	22
3.1.3.5 - <i>Equação de Stocking e Elwell</i>	23
3.1.3.6 - <i>Water Erosion Prediction Project - WEPP</i>	23
3.1.4 - Equação Universal de Perda de Solo - USLE	24
3.1.4.1 - <i>Fator R - Erosividade da chuva</i>	25
3.1.4.2 - <i>Fator K - Erodibilidade do solo</i>	27
3.1.4.3 - <i>Fator L - Comprimento de rampa</i>	31
3.1.4.4 - <i>Fator S - Fator Declividade</i>	32
3.1.4.5 - <i>Fator LS - Fator Topográfico</i>	32
3.1.4.6 - <i>Fator CP - Fator Uso e Manejo do solo e Práticas Conservacionistas</i>	33
3.1.5 - Tolerância de perdas de solo por erosão laminar	36
3.2 - Geoprocessamento	37
3.2.1 - Sistema de Informações Geográficas	38
3.2.2 - <i>Software IDRISI</i>	38

4 - MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 - Material utilizado	40
4.2 - Métodos	42
4.2.1 - Erosividade da chuva	42
4.2.2 - Erodibilidade dos solos	45
4.2.3 - Declividade e comprimento de rampa	47
4.2.4 - Uso e manejo, e práticas conservacionistas	47
4.2.5 - Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos	48
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 - Erosividade da chuva	50
5.2 - Erodibilidade dos solos	54
5.3 - Comprimento de rampa	58
5.4 - Declividade	64
5.5 - Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas	67
5.6 - Perda de solo	70
5.7 - Limite de Tolerância	70
5.8 - Profundidade dos solos	74
5.9 - Zoneamento determinado por Perdas de Solo do Distrito Federal	74
5.10 - Impactos ambientais por perda de solo no Distrito Federal	80
6 - CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	89
Anexo A - Média dos Totais Mensais e Anuais de Precipitação das Estações Pluviométricas da CAESB (1979-1995)	90
Anexo B - Erosividade das chuvas MJ.mm/(ha.h.ano) (Eq.3.9 e Eq.3.11) a partir das Estações Pluviométricas da CAESB (1979 - 1995)	91
Anexo C - Erodibilidade dos solos t.h/(MJ.mm) a partir do Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978)	93
Anexo D - Planilhas de cálculo dos limites de tolerância para os grandes grupos de solo (somente perfis não complementares)	109

ÍNDICE DE TABELAS

TABELAS	Página
2.1 - Macrounidades geomorfológicas	9
3.1 - Relações de erodibilidade dos horizontes superficiais e subsuperficiais para dois grupamentos de solos paulistas em t.h/(MJ.mm)	30
3.2 - Fator C para duas culturas em função do estágio de desenvolvimento	34
3.3 - Fator P em função das práticas adotadas	35
3.4 - Integração de CP em função das classes de uso e ocupação do solo	36
4.1 - Estações Pluviométricas da CAESB	41
4.2 - Relação entre estrutura e os códigos de estrutura do nomograma de Wischmeier <i>et al.</i> (op. Cit.)	46
4.3 - Relação entre permeabilidade e os códigos de permeabilidade do nomograma de Wischmeier <i>et al.</i> (op. Cit.)	46
4.4 - Atribuição da profundidade aos grandes grupos de solos do DF	48
4.5 - Classes do zoneamento ambiental por perda de solo no DF	49
5.1 - Erosividade da chuva para as Estações Pluviométricas da CAESB	50
5.2 - Erodibilidade dos solos e matriz de correlação entre os quatro métodos indiretos de determinação de K	55
5.3 - Comprimento médio das rampas (l) por bacia hidrográfica do DF	58
5.4 - Comprimento médio das rampas (l) com aumento de densidade de drenagem	59
5.5 - Valores de CP para os diversas classes de uso e ocupação do solo	67
5.6 - Valores de tolerância de perdas para cada grande grupo de solo do DF	71
5.7 - Classes de profundidade dos grandes grupos de solo	74
5.8 - Classes obtidas por classificação por tabulação cruzada entre tolerância e profundidade	75
5.9 - Critérios de reclassificação do mapa resultado da classificação por tabulação cruzada	76
5.10 - Critérios para a reclassificação do cartograma 5.15	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1.1 - Localização da área de estudos	7
2.1 - Perfil de solo	10
3.1 - Nomograma de Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	28

ÍNDICE DE CARTOGRAMAS

CARTOGRAMAS	Página
5.1 - Erosividade do Distrito Federal - MJ.mm/(ha.h.ano)	52
5.2 - Modelo Numérico do Terreno do Distrito Federal - metros acima do nível do mar	53
5.3 - Erodibilidade do Distrito Federal - t.h/(MJ.mm)	57
5.4 - Hidrografia do Distrito Federal	61
5.5 - Comprimento de Rampa das Bacias Hidrográficas do Distrito Federal - metros	62
5.6 - Aspecto do Distrito Federal - sentido horário	63
5.7 - Declividade do Distrito Federal - %	65
5.8 - Fator LS do Distrito Federal - adimensional	66
5.9 - Uso e Ocupação do Solo do DF, 1994	68
5.10 - Fator CP do Distrito Federal - adimensional	69
5.11 - Perda de Solo do Distrito Federal - t/(ha.ano)	72
5.12 - Perda de Solo do DF, Reclassificada por Tolerância	73
5.13 - Solos do DF, Reclassificados por Profundidade	77
5.14 - Resultado da Classificação por Tabulação Cruzada entre Perdas Reclassificadas por Tolerância e Solos Reclassificados por Profundidade	78
5.17 - Zoneamento Ambiental do DF, Determinado pelas Perdas de Solo	79
5.18 - Impactos Ambientais do DF, por Perda de Solo	81

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

b_i	peso
° C	Graus Centígrados
A	aluviais
A	área da bacia (eq.3.15)
A	perda de solo
Al₂O₃	óxido de alumínio
AQ	areia quartzosa
AR	porcentagem de areia (2 e 0,5 mm de diâmetro)
ARS	Agricultural Research Service
Aw	clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é superior a 18°C
BV	brunizem avermelhado
C	camada de solo possível de ser removida do horizonte (eq.3.19)
C	combinação da chuva, do solo, da cobertura vegetal e manejo adotado (eq.3.1)
C	fator uso e manejo da USLE
C	intercepção de energia pela cobertura vegetal (eq.3.5)
C	rotação de culturas (eq.3.3)
CAD	Computer Aided Design
CAESB	Companhia de Água e Esgoto de Brasília
Cd	cambissolo
cm	centímetro
CO	porcentagem de carbono orgânico
CODEPLAN	Companhia de Desenvolvimento e Planejamento do DF
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco com a intensidade máxima em 30 minutos
CPATSA	Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido
Cwa	clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C.
Cwb	clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e do mês mais quente inferior a 22°C.
DF	Distrito Federal
DLFA/IEMA	Diretoria de Licenciamento e Fiscalização do IEMA
DSG/MEX	Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército
DXF	Digital Exchange Format
E	perda de solo (eq.3.4)
Ec	energia cinética

EC_T	energia cinética total
EI₃₀	índice de erosividade determinado pela integração da energia cinética da chuva
EI_n	energia cinética da chuva com intensidades máximas em “n” durações
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
Fe₂O₃	óxido de ferro
GRN/IEMA	Gerência de Monitoramento, Avaliação e Uso dos Recursos Naturais do IEMA
GX	gradiente de inclinação do terreno na direção x
GY	gradiente de inclinação do terreno na direção y
h	espessura dos horizontes A e B (eq.3.19)
h	Hora
H₂SO₄	ácido sulfúrico
ha	Hectare
hab.	Habitantes
Hi	hidromórficos indiscriminados
I	erodibilidade inerente ao solo (eq.3.2)
I	intensidade do evento pluviométrico
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDRISI	software de geoprocessamento
IEMA	Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do DF
I_n	intensidades máximas com “n” durações
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
J/m²	Joule por metro quadrado
K	fator erodibilidade dos solos da USLE
K	grupo de solos (eq.3.3)
K	integração dos fatores energia das chuvas e erodibilidade e manejo (eq.3.5)
kg/m	quilograma por metro
kg/m²	quilograma por metro quadrado
km²	quilômetro quadrado
Kriging	método geoestatístico de interpolação
L	comprimento da rampa
l	comprimento de rampa
L	fator comprimento de rampa da USLE
L	fator comprimento de rampa e/ou extensão média do escoamento sobre os terrenos
l	somatório dos comprimentos de todos os cursos d’água da bacia
LE	latossolo vermelho-escuro
LS	fator topográfico
LV	latossolo vermelho-amarelo

m	Metro
m	metro
M	proteção mecânica (eq.3.4)
m, n	expoentes de S e L, respectivamente (eq.3.1)
MJ	Mega Joule
Mm	% silte x (% silte + % areia muito fina)
mm	Milímetro
MNT	Modelo Numérico do Terreno
OAL	porcentagem de óxido de alumínio
OFE	porcentagem de óxido de ferro
OM	porcentagem de matéria orgânica
OSI	porcentagem de óxido de silício
P	fator práticas conservacionistas da USLE
P	média do total anual de precipitação (eq.3.9 e 3.11)
P	práticas agronômicas ou agrícolas (eq.3.4)
P	práticas conservacionistas (eq.3.3)
P	precipitação
P₃₀	precipitação máxima em 30 minutos
PAD-DF	Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal
PE	podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico
PEA	População Economicamente Ativa
PERM	permeabilidade codificada por Wischmeier <i>et al.</i> (1971)
PIAG	Programa Integrado da Colônia Alexandre de Gusmão
PI_n	produto da precipitação pelas intensidades máximas em “n” durações
PROIN	Programa de Desenvolvimento Industrial do DF
PV	podzólico vermelho-amarelo
R	fator chuva (eq.3.4)
R	fator cobertura vegetal (eq.3.2)
R	fator erosividade da chuva da USLE
r	fator que expressa o efeito da relação textural (eq.3.19)
r	média do total mensal de precipitação (eq.3.9 e 3.11)
radial basis functions	método exato de interpolação
raster	dados em formato matricial
s	declividade
S	declividade da rampa (eq.3.1, 3.2, 3.3 e 3.4)
S	fator declividade da USLE
SEMATEC	Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do DF
SGIRH	Sistema de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do DF

SICAD	Sistema Cartográfico do DF
SIL	porcentagem de silte
SIO₂	óxido de silício
SNLCS	Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos
SURFER	software de interpolação
T	tipo de solo (eq.3.4)
t	Tonelada
TRe	terra roxa estruturada similar
UnB	Universidade de Brasília
USDA	United States Department of Agricultural
USLE	Universal Soil Loss Equation
WEPP	Water Erosion Prediction Project
X	topografia da área (eq.3.5)
X₁	permeabilidade codificada por Wischmeier <i>et al.</i> (1971)
Z	perda de solo (eq.3.5)
z	valor interpolado
z_i	vizinho mais próximo

1 - INTRODUÇÃO

O homem é o acontecimento mais recente da história da Terra. Desde de seu surgimento no período Quaternário da era Cenozóica, o mesmo relaciona-se com o meio físico dentro de diversos processos produtivos.

As práticas agrícolas surgiram há aproximadamente 8.000 anos atrás, quando o planeta possuía um população de 5 milhões de habitantes. Uma população que hoje assume um ritmo de crescimento elevado: cerca de 2% ao ano. Em função desses dados percebe-se que a população deverá dobrar em 35 anos. Segundo as estimativas levantadas na Conferência do Cairo de 1994, sobre o Crescimento Demográfico, a população mundial que hoje é composta por quase 6 bilhões de habitantes deverá, em 2035, atingir o número de 12 bilhões.

O planeta é composto por 500.000.000 km², sendo que apenas 30% é área emersa e somente 3/5 são considerados áreas ecúmenas (áreas onde os fatores naturais permitem a instalação antrópica), pois os outros 2/5 são formados por desertos e geleiras. As práticas agrícolas tradicionais, feitas sem acompanhamento técnico, têm levado a uma significativa redução da área disponível para esta finalidade, o que gera preocupação, pois tem-se que alimentar muito mais gente, em um futuro próximo.

Faz-se necessário, portanto, analisar uma das conseqüências do desenvolvimento econômico: a degradação dos solos, a partir de processos como compactação, lixiviação, laterização, desertificação, salinização e erosão.

O processo de compactação de solos começa com a retirada da cobertura vegetal para uma nova ocupação. A presença de biomassa vegetal garante a manutenção da zona de aeração do solo, ou seja, a porção onde os poros estão preenchidos por ar e água. É um processo antrópico ou humano e consiste na redução do volume por compressão, rearranjando de forma mais densa as partículas, diminuindo a porosidade do solo. Como conseqüência imediata, temos a redução da penetrabilidade das raízes e da infiltração da água no solo.

A laterização é um processo de formação de concreções ferruginosas muito comum na faixa intertropical. Os solos tropicais apresentam-se com elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, no horizonte B. A laterita, ou concreção ferruginosa, surge em regiões onde o lençol freático é flutuante e forma-se no ponto mais alto onde chega a capa freática. Seus principais

problemas estão relacionados com a penetrabilidade de raízes, porém não é um processo antrópico, mas natural.

A desertificação é um processo resultante do clima e das atividades humanas e pode-se entendê-la como um processo de degradação progressiva da cobertura vegetal, do solo e do regime hídrico resultante das condições climáticas e edáficas, ou da ação do homem, ou de ambas as coisas conjugadamente, conduzindo à destruição dos ecossistemas primitivos e à perda da produtividade dos mesmos e da capacidade de se recuperarem. Este processo torna improdutivo milhares de hectares de solo agrícola resultando a médio e longo prazo, no empobrecimento, na redução da fertilidade do solo e degradação das terras montanhosas, as cultivadas extensivamente e as irrigadas.

Em regiões áridas e semi-áridas os solos podem apresentar-se praticamente estéreis ou com diminuição da produtividade, em função do processo de salinização. Os sais solúveis que ocorrem em solos são normalmente compostos de cátions de sódio, cálcio e magnésio e por ânions de carbonato e nitrato. Esses sais são originados a partir dos minerais primários que encontram-se tanto nas camadas de solos, como nas rochas expostas e subsuperficiais da crosta. O processo de intemperismo químico ocorre normalmente em presença de água, envolvendo hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação e outras reações químicas, nas quais os sais são liberados e tornam-se gradualmente solúveis. Os vetores desse processo são normalmente a água advinda de manchas salinas e dos lençóis freáticos. As manchas salinas e sódicas surgem geralmente em perímetros irrigados, porém não é de se estranhar sua presença em áreas preservadas.

Erosão é um processo de perda de volume de solos, caracterizado pelo desprendimento e transporte dos sedimentos constituintes, causado pela ação geológica, pela ação física do vento e pela ação físico-química da água. Aparentemente o processo de erosão não é percebido pela população, porém, o processo erosivo gera um declínio de produtividade, além de causar a perda da qualidade dos produtos em função da retirada de nutrientes juntamente com os sedimentos minerais. A perda de solo por erosão laminar é considerada com um dos principais problemas ambientais percebidos nas bacias hidrográficas antropizadas e de uso predominantemente agrícola.

Dentro dos diversos tipos de erosão, encontra-se a hídrica que, por sua vez, subdivide-se em laminar, em sulcos ou ravinas, e em voçorocas. A erosão laminar pode ser entendida como a remoção de uma camada fina, teoricamente homogênea (para isso seria necessário solos e declividade uniformes em toda a vertente). É a forma de erosão hídrica menos percebida, porém, em dias chuvosos nota-se que a água de escoamento sobre os terrenos é normalmente barrenta, o

que dá idéia de que parte dos sedimentos superficiais estão sendo transportados. É portanto a mais perigosa forma de erosão hídrica e mais difícil de ser controlada, pois quando se percebe, a perda foi significativa.

A erosão em sulcos ocorre principalmente pelo escoamento superficial concentrado em função das irregularidades da vertente. Pode ser entendida como um processo de incisão vertical mais ou menos profunda, no terreno e que podem ser tratadas com técnicas apropriadas de conservação de solo, no início do processo. Caso os sulcos não sejam rapidamente revertidos, o processo intensifica-se gerando as voçorocas, que podem ser entendidas como grandes cavidades, em profundidade e em extensão, dependendo da macizez e coesão dos materiais constituintes do perfil do solo, que já atingiram o nível do lençol freático.

O Distrito Federal caracteriza-se por um predomínio de população urbana em relação à rural, porém as atividades agrícolas possuem espaços consolidados na maioria de suas bacias hidrográficas. Desde a agricultura tecnicista da soja, implementada na bacia do Rio Preto, até as pequenas propriedades da bacia do Rio Descoberto, as técnicas de uso do solo adotadas permitem perdas da camada superficial do solo, por erosão laminar, que quase não são sentidas em um evento pluviométrico, porém, significativas em longo prazo.

O aumento da demanda por alimentos, em função do crescimento da população distrital e o uso incorreto do solo, estão gerando os processos que resultam em degradação. A solução desses problemas exige uma abordagem integrada do uso dos recursos, tanto em relação aos solos, quanto aos recursos hídricos, ao ar, entre outros recursos naturais, que leve em consideração todos os usos e necessidades para que se obtenha o desenvolvimento sustentável e socialmente mais justo, onde sejam garantidos não só o desenvolvimento, mas também, estoques suficiente para gerações futuras.

Entendido como um conjunto de ciências e técnicas que se mesclam e se concatenam, o geoprocessamento é um suporte tecnológico que visa melhorar a gestão do espaço. Subdivide-se em ciências e técnicas, sendo as primeiras, a Cartografia, Topografia e Geodésia, enquanto que no grupo de técnicas destacam-se a aquisição de informações e o processamento digital de imagens orbitais de Sensoriamento Remoto e a manipulação de informações no âmbito dos Sistemas de Informação Geográfica. O geoprocessamento permite obter uma gama de informações com precisão, rapidez e baixo custo, além da possibilidade de gerenciar grandes extensões de terras, o que seria pouco viável na forma tradicional de levantamentos *in loco*, além de facilitar a compreensão do espaço e de suas particularidades e complexidades.

Os estudos de erosão hídrica laminar contam hoje com modelos de predição, distribuídos ou não, que permitem um melhor planejamento do uso e ocupação do solo. Associados às técnicas de geoprocessamento, esses modelos permitem o diagnóstico especializado das degradações ambientais ocasionadas por processos erosivos, possibilitando estender as metodologias às diversas áreas do país, além de facilitar a adoção de medidas pontuais de contenção e prevenção à perda de solo.

Dentro desta ótica, a presente proposta de dissertação visa utilizar o geoprocessamento para efetuar o diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento.

1.2 - Objetivos

1.2.1 - Objetivo Principal

O objetivo principal desta dissertação é efetuar o diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento, o que inclui identificar e mapear o potencial erosivo dessas terras determinado pela integração dos fatores climatológicos, pedológicos, topográficos e antrópicos, obtidos através da Equação Universal de Perda de Solo, a USLE, além de relativizá-lo por meio da tolerância à perda de solos e da profundidade dos solos. A adoção do modelo USLE baseia-se no fato do modelo ser bem difundido e do trabalho de determinação de suas variáveis para grandes áreas na faixa intertropical, realizado por diversos autores consultados.

1.2.2 - Objetivo Secundário

Desenvolver metodologia para diagnosticar os impactos ambientais ocasionados pelas perdas de solo, por meio do geoprocessamento e que possa ser extrapolada para outras Unidades da Federação.

1.3 - Justificativa e Importância da Dissertação

A importância desta dissertação reside no fato de não existirem informações sobre a análise quantitativa e qualitativa das áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão para o Distrito Federal. Uma das diretrizes da Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal - Lei nº 512 de 28/07/93 - aponta para o combate e “a prevenção da erosão do solo, nas áreas urbanas e rurais, com vistas à proteção contra a poluição física e o assoreamento dos corpos d’água” (SEMATEC, 1994), e para que tal ação se consolide é necessário a geração de informações sistematizadas sobre esse tipo de impacto ambiental.

2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

2.1 - Introdução

O Distrito Federal está situado na região Centro - Oeste do Brasil, segundo a divisão regional clássica do IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ou no complexo regional do Centro - Sul, de acordo com a divisão do país em complexos regionais. Está praticamente todo inserido dentro do estado de Goiás, porém, um pequeno trecho, próximo ao vértice sudeste, limita-se com o estado de Minas Gerais.

Ocupando uma área de 5.814 km², o DF apresenta, inserido em seu território, a capital do país e sede do governo local, Brasília, cidade político - administrativa que pode ser considerada única dentro do panorama urbano brasileiro, pois sua idealização data de duzentos anos antes e o sítio de sua implantação determinado e estudado aproximadamente um século antes de sua consolidação.

O DF localiza-se entre os paralelos de 15° 00' e 16° 30' de latitude Sul e entre os meridianos de 47° 25' e 48° 12' de longitude Oeste, conforme a Lei nº 2.874, de 19 de setembro de 1956, Art. 1º, tendo como limites naturais os rios Descoberto e Preto, a oeste e leste respectivamente (Figura 1.1).

De acordo com a Lei Orgânica do DF, o mesmo organiza-se em Regiões Administrativas, atualmente 19, visando a descentralização administrativa.

Inserido no domínio morfoclimático dos cerrados, seu território possui clima tropical semi-úmido, ou seja, caracterizado pelos verões quentes e chuvosos e pelos invernos frios e secos. Sua geomorfologia apresenta-se com vastas superfícies aplainadas, a disponibilidade de recursos hídricos de superfície é bastante restrita e os solos são predominantemente ácidos.

De acordo com o Censo Demográfico de 1991, a população absoluta do DF é de 1.601.094 habitantes, enquanto que a relativa é da ordem de 275 hab./km², o que representa um dos maiores adensamentos populacionais do país (CODEPLAN, 1993).

Sob o aspecto econômico, apresenta-se com um elevado percentual de população economicamente ativa atuando na prestação de serviços, o que ocasiona uma pequena área de influência econômica se comparada com a política.

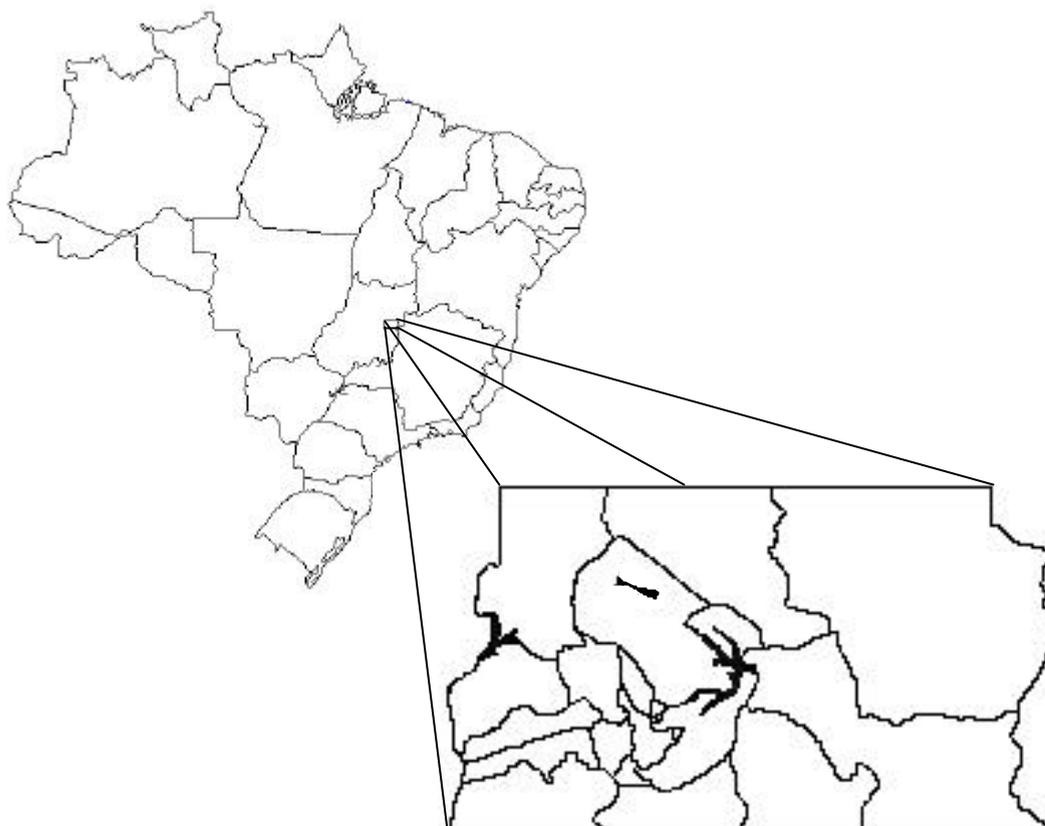


Figura 1.1 - Localização da área de estudos

(Fonte: Lucci e Labrada Ed. - Atlas Geográfico Brasileiro, 1994)

2.2 - Geologia

O Distrito Federal apresenta uma série litológica bastante antiga, o Grupo Paranoá datado do Proterozóico Médio (1350 a 950 milhões de anos) (Faria, 1995). Esse Grupo é uma formação detrítica deposicional de origem marinha rasa, apresentando uma espessura média de 1.600 m, limitando-se com o Grupo Bambuí no topo e com o Grupo Araí na base (Faria, op. Cit.). O Grupo Paranoá é subdividido em sete unidades, A, B, C, D, E, F e G, de acordo com a idade, da mais antiga para a mais recente, caracterizadas por litologias compostas por: ardósias rosadas com bandas brancas, lentes de quartzitos (A); metarritmitos inferiores (B); quartzitos finos a médios (C); metarritmitos superiores (D); ardósias/metarritmitos com calcários (E); metassiltitos (F); e quartzitos microconglomeráticos (G). Também encontram-se na área de estudos terrenos recentes, pertencentes à Era Cenozóica, Período Terciário, compostos principalmente por lateritas concrecionais limoníticas (canga), solos lateríticos, latossolos vermelho-amarelos, em suma, coberturas detrítico-lateríticas, encontradas nos topos de chapadas. Mais recentes ainda são os

aluviões fluviais e lacustres, datados do Período Quaternário, depositados nas margens dos cursos d'água, formados por argilas, lateritos, areias siltsosas, etc. (CODEPLAN, 1975, 1984). Faria (op. Cit.) apresenta a Estratigrafia do Distrito Federal assim distribuída:

- Quaternário:
 - ⇒ depósitos aluvionares.
- Terciário / Quaternário:
 - ⇒ latossolos e lateritas.
- Proterozóico Médio / Superior:
 - ⇒ fácies argilo - carbonatada;
 - ⇒ fácies metarritmito argiloso;
 - ⇒ fácies quartzito médio;
 - ⇒ fácies metarritmito arenoso;
 - ⇒ fácies ardósia;
 - ⇒ fácies metassiltitos;
 - ⇒ fácies quartzito microconglomerático.
- Proterozóico Médio:
 - ⇒ filitos a sericita e clorita;
 - ⇒ fácies calcixisto;
 - ⇒ fácies micaxisto - biotita - muscovita.

2.3 - Geomorfologia

Sob o aspecto geomorfológico quatro unidades caracterizam a área, segundo o Atlas do Distrito Federal (CODEPLAN, 1984): o Pediplano Contagem / Rodeador; o Pediplano de Brasília; Depressão Interplanáltica Pediplanada; e, Planícies Aluviais e Alveolares. O Pediplano (superfície inclinada, aplainada sob climas quentes áridos e semi-áridos) Contagem / Rodeador - formas de relevo do tipo chapadão, chapada e interflúvios (elevação que separa os vales dissecados) tabuliformes (de topo plano), o que garante uma estrutura não movimentada bastante monótona. Essa unidade foi elaborada por processos erosivos de desagregação mecânica, bastante característica de paleoclimas secos. Situa-se em cotas superiores a 1200 m.

A transição do Contagem / Rodeador para o Pediplano de Brasília ocorre de forma brusca percebida pela ruptura topográfica, assemelhando-se a um degrau.

Com sua altimetria oscilando entre 950 a 1200 m, o Pediplano de Brasília apresenta formas de relevo semelhantes ao compartimento mais elevado. Sua formação caracterizou-se pelos processos erosivos de paleoclimas secos associados a processos deposicionais, ou seja, os sedimentos gerados no Contagem / Rodeador depositaram-se no pediplano logo abaixo (CODEPLAN, op. Cit.).

A Depressão Interplanáltica Pediplanada, com altitudes entre 800 a 950 m, caracteriza-se por apresentar vales dissecados formados essencialmente pela alternância de ciclos paleoclimáticos, ou seja, períodos de climas secos seguidos por períodos de clima úmido, e pela retomada de processos erosivos influenciados por soerguimentos tectônicos. Apresenta paisagem mais movimentada, com a presença de interflúvios tabulares e colinas, vertendo com declividades suaves em direção às calhas de drenagem (CODEPLAN, op. Cit.).

As Planícies Aluviais e Alveolares são as estruturas planas, mais baixas topograficamente e mais recentes, datadas provavelmente do Quaternário. Estão restritas ao longo dos cursos d'água, diferenciando-se apenas pela forma, sendo a alveolar mais larga a montante, e a aluvial longitudinal ao curso (CODEPLAN, op. Cit.).

Novaes Pinto (1994), propõe uma divisão para o Distrito Federal em três macrounidades de relevo, expostas na tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Macrounidades geomorfológicas

Macrounidades	Unidades	Área Total (km ²)	%
Região de Chapada 1.968 km ² 33,8%	Chapada da Contagem	1.028	17,7
	Chapada de Brasília	202	3,5
	Chapada do Pípiripau	445	7,7
	Chapada Divisora São Bartolomeu - Preto	188	3,2
	Chapada Divisora Descoberto - Alagado	105	1,8
Área de Dissecção Intermediária 1.793 km ² - 30,9%	Depressão do Paranoá	726	12,5
	Vale do rio Preto	1.067	18,4
Região Dissecada de Vale 2.053 km ² 35,5 %	Curso Superior do rio Maranhão	574	9,9
	Alto Curso do rio São Bartolomeu	270	4,6
	Curso Superior do rio São Bartolomeu	608	10,5
	Alto Curso do rio Descoberto	237	4,1
	Curso Superior do rio Descoberto	270	4,6
	Alto Curso do rio Alagado	94	1,6
TOTAL		5.814	100,0

Fonte: NOVAES PINTO, M. (1994).

2.4 - Solos

De acordo com o Mapa de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978), na escala 1:100.000, o DF possui diversas variações do latossolo vermelho - escuro, do latossolo vermelho - amarelo, do podzólico vermelho - amarelo, do podzólico vermelho - amarelo equivalente eutrófico, de terra roxa estruturada similar, do cambissolo, de solos aluviais, de solos hidromórficos indiscriminados, de laterita hidromórfica, de podzol hidromórfico, de areia quartzosa e de brunizem avermelhado.

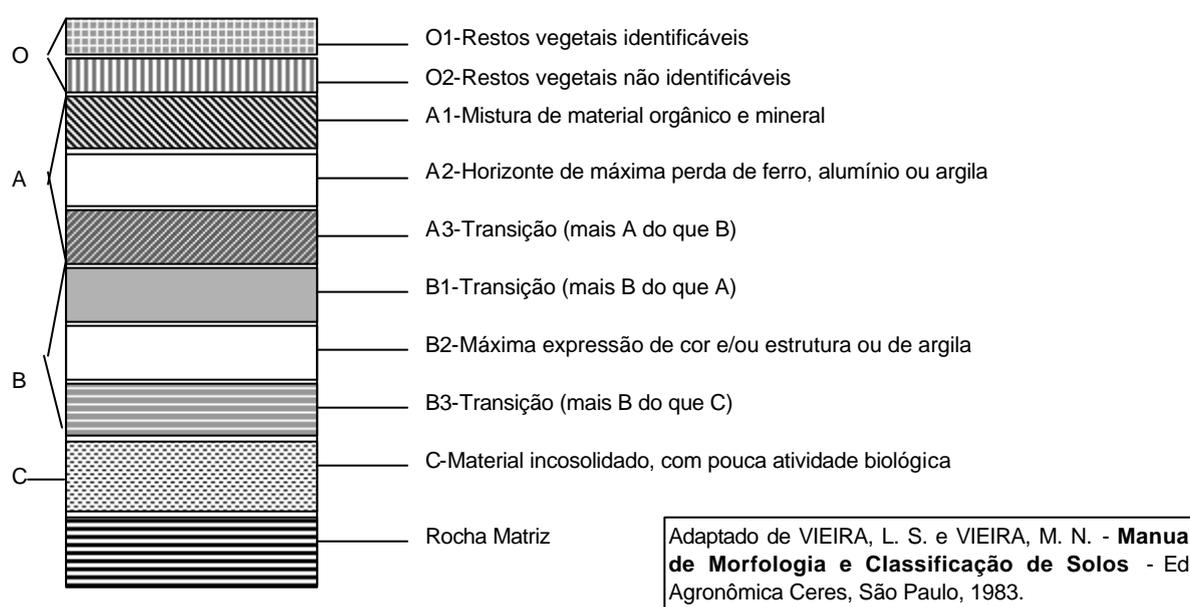


Figura 2 - Perfil de solo

Para melhor compreender o estudo de solos é necessário uma pequena exposição teórica sobre seu perfil. Denomina-se perfil de um solo à seção vertical que parte da superfície até a rocha matriz, que foi intemperizada e que deu origem ao solo analisado. A figura 2 explica melhor a idéia de um perfil clássico de solo na faixa intertropical.

Vieira e Vieira (1983) descrevem o latossolo vermelho - escuro (LE) como um solo mineral, muito profundo, com sua textura variando de média a argilosa, ricos em sesquióxidos, bastante porosos, muito permeáveis, sendo, portanto, bem acentuadamente drenados os de textura argilosa e, de acentuadamente a fortemente drenados, os de textura média (EMBRAPA, 1978). Haridasan (1994) enfatiza que os latossolos poderiam ser originados de qualquer rocha - matriz, desde que esteja submetida a condições climáticas tropicais que permitam a lixiviação intensa e acúmulo de óxidos de ferro e de alumínio, porém, na área do DF os solos de textura argilosa desenvolvem-se a

partir das coberturas detrito - lateríticas do Terciário, enquanto que os de textura média surgem em decorrência do intemperismo atuante sobre os quartzitos dos terrenos proterozóicos. Apresentam pequenas diferenciações entre os horizontes. Como características marcantes, pode-se citar os baixos teores de silte, ausência de minerais primários pouco resistentes, caracterizando-se a baixa fertilidade do mesmo (distrófico), e reduzida susceptibilidade à erosão, variando praticamente de nula a ligeira, ocorrendo às vezes sulcos e voçorocamento em pontos com concentração considerável de água de escoamento superficial ou próximos aos cursos d'água, onde a declividade tende a ser mais acentuada (EMBRAPA, op. Cit.). Desenvolvem-se em unidades geomorfológicas planas até às suave onduladas, associados normalmente a uma cobertura vegetal de floresta subcaducifólia, cerradão e cerrado subcaducifólios e campo - cerrado. Nas áreas de cobertura predominantemente arbórea são encontradas manchas de latossolos eutróficos (EMBRAPA, op. Cit.). Ocupam 2.246 km² da área de estudo.

Os latossolos vermelho - amarelos (LV) também são solos de perfis profundos e de baixa fertilidade natural. Ocorrem em relevos planos a suave ondulados, podendo também ocorrer com menos frequência, em áreas onduladas e fortemente onduladas (Vieira e Vieira, op. Cit.). Também são pouco susceptíveis a processos erosivos, tal como os latossolos vermelho - escuro. Sua formação está associada a um severo processo de intemperismo das rochas - matrizes, apresentam boa drenagem e baixo acúmulo de matéria orgânica nos horizontes superficiais. Sob o aspecto de vegetação, esse solo encontra-se associado com coberturas arbóreas, cerrado, campo cerrado e vegetação campestre (EMBRAPA, op. Cit.). Os latossolos vermelho - amarelos ocupam 921 km² do DF.

A diferenciação entre os latossolos é baseada na cor do horizonte B, considerado como horizonte - diagnóstico para efetuar essa distinção. Haridasan (op. Cit.) não acha eficaz a separação dos tipos de latossolos em função dos teores de óxidos de ferro, pois a coloração dos latossolos independe do teor, mais sim do tipo do óxido.

O Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, op. Cit.) defini os outros grandes grupos da seguinte forma:

Podzólico vermelho - amarelo (PV) são solos profundos, onde consegue-se separar nitidamente os perfis. Apresentam uma textura argilosa a média, sendo bem drenados e moderadamente porosos. Apresentam, na maioria dos casos, erosão moderada, à exceção das porções submetidas às fortes inclinações do terreno, sendo visível, nestes casos, as presenças de

ravinamentos em diversos estágios de desenvolvimento. Sua pedogênese está relacionada ao Grupo Bambuí, por meio das ardósias e dos calcários, dentre outros. Os podzólicos vermelho - amarelos estão associados a terrenos ondulados a fortemente ondulados, num nível topográfico oscilando entre 800 e 900 metros, e a uma cobertura vegetal de florestas subcaducifólias e cerradão subcaducifólio. Representam 48 km² do Distrito Federal.

Os solos do tipo podzólico vermelho - amarelo equivalente eutrófico (PE) são profundos e apresentam-se bem drenados, com textura da classe franco - argiloso - siltoso, sendo ligeiramente endurecidos quando secos e quando úmido apresentam-se plásticos e pegajosos a muito pegajosos. Ocorrem em terrenos com relevo de suave ondulado a fortemente ondulado ou montanhoso, em altitudes oscilando entre 900 e 1000 metros, sob uma vegetação do tipo floresta subcaducifólia. São originados do intemperismo de calcários com presença de outras rochas. Ocupam 120 km² da área do DF.

Terra roxa estruturada similar (TRe) é uma classe de solos profundos, cuja textura varia de argilosa a franco - argilosa. Bem drenados, esses solos aparecem em áreas de relevo suave ondulado a fortemente ondulado e montanhoso, de 900 metros de altitude e sob vegetação do tipo floresta subcaducifólia. Sua origem está relacionada com os calcários do Grupo Bambuí. Representam 70 km² do território do Distrito Federal.

Os cambissolos (Cd) são solos que apresentam-se rasos, sendo pouco desenvolvidos, moderados a bem drenados. Textura de média a argilosa, porém não há o acúmulo de argila em qualquer parte do perfil e, em alguns casos, o teor de silte é maior que o de argila no horizonte B, câmbico nesse tipo de solo. Muito susceptíveis à erosão, do tipo laminar moderada ou severa, bem como em sulcos e voçorocas. Sua formação está relacionada ao intemperismo de filitos, ardósias e metassiltitos da formação Paraopeba do Grupo Bambuí. A vegetação associada é floresta subcaducifólia, cerradão subcaducifólio, campo cerrado e vegetação campestre. 1804 km² da área de estudo são compostos por cambissolos.

Os solos aluviais (A) são caracterizados por serem minerais, rasos, pouco desenvolvidos, com uma seqüência de perfil do tipo A sobre C. Normalmente é um solo mal drenado, devido à presença de camadas gleizadas e mosqueadas. São desenvolvidos a partir de sedimentos fluviais recentes não consolidados, em relevos planos, sob vegetação de floresta subcaducifólia. Ocupam 11 km² da área de estudo.

Os solos hidromórficos indiscriminados (Hi) agrupam os solos do tipo glei húmico, glei pouco húmico e solos orgânicos, além da laterita hidromórfica e do podzol hidromórfico, e são mapeados sob a forma de uma classe por apresentarem características comuns determinadas pela influência do excesso de água, perene ou intermitente sazonalmente. Pouco desenvolvidos, apresentando os horizontes superficiais (A) orgânico - minerais, no qual a matéria orgânica apresenta-se parcial ou totalmente decomposta, e horizonte C gleizado, de cor cinzenta, o que representa processo de redução. Pouco profundos, apresentam uma textura predominantemente argilosa, o que resulta em uma drenagem lenta. Laterita hidromórfica são solos de textura argilosa, média ou arenosa, mal drenados e apresentam concreções ferruginosas a partir de 40 cm. São relacionados a áreas de surgência de água, com relevo plano a suave ondulado, sob vegetação de campos higrófilos. Os solos podzol hidromórfico são mal a imperfeitamente drenados, devido ao relevo plano a suave ondulado, e a uma camada impermeável formada pelo o acúmulo subsuperficial de matéria orgânica e óxidos. Encontra-se sob uma vegetação do tipo campo higrófilo. Representam 230 km² da área do Distrito Federal.

As areias quartzosas (AQ) são consideradas como solos tipicamente minerais, pouco desenvolvidos, porém profundos. Por apresentarem um textura arenosa e excelente drenagem, devido ao fato serem porosos, são muito susceptíveis à erosão. Ocupam uma área de 31 km² no DF.

Os brunizem avermelhados (BV) são solos pouco profundos, bem drenados, bem desenvolvidos, apresentando os horizontes A, B e C. O horizonte B possui uma coloração vermelho - escura e apresenta-se endurecido quando ressecado. Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a ondulado, associados a formações arbóreas. Representam 5 km² do DF.

O restante é ocupado por águas internas, 59 km² e pela mancha urbana, que representava, em 1978, 269 km², totalizando os 5814 km² do território do Distrito Federal.

2.5 - Clima

De acordo como a classificação de Köppen o clima do Distrito Federal é tropical com a concentração da precipitação pluviométrica no período de verão. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro e janeiro e a época seca ocorre nos meses de inverno, ou seja, de junho à agosto. Dentro da área de estudos e do DF não há variações significativas da precipitação pluviométrica. Entretanto, as diferenças altimétricas são responsáveis por variações na temperatura,

fato que permite a observação dos seguintes tipos climáticos conforme Köppen (CODEPLAN, 1984):

- ⇒ Tropical (Aw) - Clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é superior a 18°C. Este tipo situa-se aproximadamente nos locais com cotas altimétricas abaixo de 1.000 metros como, por exemplo, as bacias hidrográficas do São Bartolomeu, Preto, Descoberto e Maranhão.
- ⇒ Tropical de Altitude (Cwa) - O mês mais frio possui temperatura inferior a 18°C com uma média superior a 22°C no mês mais quente. Corresponde ao Pediplano de Brasília (altitudes entre 1.000 e 1.200 metros).
- ⇒ Tropical de Altitude (Cwb) - Caracterizado por uma temperatura inferior a 18°C no mês mais frio com média inferior a 22°C no mês mais quente. Abrange as áreas com cotas altimétricas acima de 1.200 metros (Pediplano Contagem / Rodeador).

2.6 - Vegetação

O Distrito Federal é caracterizado, no aspecto fitogeográfico, pelo domínio dos Cerrados, formação arbustiva - herbácea que apresenta-se subdividida em gradações em função do estrato e da densidade vegetal (IEMA/SEMATEC, 1995):

- ⇒ Cerradão - vegetação predominantemente arbórea, caracterizada por árvores baixas, tortuosas (devido a altas concentrações de ferro e de alumínio), e bem copadas, porém os raios de Sol atingem os estratos inferiores;
- ⇒ Cerrado típico - caracteriza-se por um maior espaçamento entre as espécies e não possui exemplares de mata ciliar;
- ⇒ Cerrado ralo ou campo cerrado - é considerada a gradação de transição entre o cerrado típico e o campo sujo, caracterizando-se como mais aberto que o cerrado típico, predominando os estratos herbáceo - arbustivos;
- ⇒ Campo sujo - a cobertura arbóreo - arbustiva é muito reduzida, cerca de 15%, onde o revestimento dos solos é feito, em sua grande parte, por gramíneas;
- ⇒ Campo limpo - normalmente encontrados em locais de solos arenosos, rasos e duros, onde a água é fator limitante no inverno seco. Predomínio de estrato herbáceo, praticamente inexistindo os outros.

Além das gradações, o DF possui outras formações vegetais que encontram-se associadas ao bioma de cerrado, porém com caracterizações diferenciadas:

- ⇒ Mata ciliar ou floresta de galeria - formações úmidas, densas, fechadas, predominantemente arbóreas, que acompanham os cursos d'água;
- ⇒ Veredas ou brejos - caracterizam-se pela presença de solos hidromórficos (solos saturados, mal drenados em função do predomínio da textura argilosa, que retêm água nos períodos chuvosos e racham-se nos períodos de seca dando origem a gretas de contração) e da palmeira de Buriti (*Mauritia flexurosa*);
- ⇒ Mata subcaducifólia - como a mata ciliar, nesta formação há um predomínio de estrato arbóreo, porém, nas florestas de galeria os vegetais são perenifólios, ou seja, não perdem suas folhas sazonalmente em função do *déficit* hídrico no solo, enquanto que as subcaducifólias perdem parcialmente sua folhagem em uma época do ano;
- ⇒ Campos rupestres - são formações xerofíticas, ou seja, vegetação adaptada à baixa umidade instaladas em solos rasos, rochosos e situadas em elevadas cotas altimétricas. Essa formação concentra-se em manchas isoladas nas bacias do Maranhão e do São Bartolomeu;
- ⇒ Campos de murundus - micro formas de relevo semi - circulares, arredondadas ou ovais, com dimensões oscilando entre 0,5 e 20 m de diâmetro e 0,3 e 2,5 m de altura, associadas ao afloramento do lençol freático e à vegetação hidrófila.

2.7 - Hidrografia

Com sua topografia oscilando entre as cotas altimétricas de 1200 m e 900 m, o Distrito Federal pode ser considerado um divisor de águas internacionais, pois os rios que nele nascem, deságuam, após confluírem com outros, fora do território nacional. Esses rios que vão compor as importantes bacias são, entre outros, o rio São Bartolomeu, Paranoá e o Descoberto, da bacia do Paraná, o rio Preto, da bacia do São Francisco e o Maranhão, da bacia do Tocantins (os mais representativos).

O DF possui, assim como o Brasil, um predomínio de rios em relação aos lagos. Além disso, na área do Distrito Federal ocorre um fenômeno curioso: a Estação Ecológica de Águas Emendadas, a qual pode ser entendida como a união, por erosão regressiva, das nascentes de cursos d'água que vão drenar áreas de duas das maiores bacias hidrográficas brasileiras, a do

Tocantins - Araguaia e a do Paraná. Em uma vereda de 6 km de extensão encontram-se as nascentes do córrego Vereda Grande, que deságua no rio Maranhão (Tocantins - Araguaia) e a do córrego Fumal, que lança suas águas no rio São Bartolomeu (Paraná).

Os rios da área de estudos, em sua grande maioria, são considerados perenes, ou seja, possuem escoamento superficial durante todo ano, isso graças às condições favoráveis dos solos e das chuvas. Além do regime perene dos rios eles podem ser considerados como de planalto, o que permite caracterizar como típica a existência de inúmeras corredeiras e quedas d'água. Se a análise for com relação à drenagem, estima-se que 62,5% da área contribui para a bacia do Paraná; 24,2%, para a do São Francisco e 13,3% para a do Tocantins - Araguaia.

Os lagos são em número reduzido no DF, sendo duas lagoas: Bonita e Joaquim Medeiros; e três lagos artificiais: Santa Maria, Descoberto e Paranoá.

A Lei Orgânica do Distrito Federal e as Leis nº 041 de 13/09/89 (dispõe sobre a Política Ambiental do DF), 353 de 18/11/92 (aprova o penúltimo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do DF, pois o atual foi aprovado em 13 de dezembro de 1996), e 512 de 28/07/93 (dispõe sobre a Política de Recursos Hídricos do DF) prevêm a adoção de um Sistema de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos (SGIRH) do DF (IEMA/SEMATEC,1994). Para tal fim, foi proposta uma metodologia para uma divisão dos recursos hídricos onde adota-se a bacia hidrográfica como a unidade central da ação das políticas de gerenciamento dos recursos hídricos (Araújo Neto e Baptista, 1995).

O Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento (IEMA\SEMATEC, 1994) do SGIRH subdivide o DF em três classes (de diferentes escalas) para o manejo e gerenciamento hídrico:

- ☒ Região Hidrográfica - consiste em uma divisão em função das grandes bacias hidrográficas. A área do DF é dividida em Paraná, São Francisco e Tocantins/Araguaia;

- ☒ Bacias Hidrográficas - essa classe baseia-se na divisão das áreas drenadas pelos principais rios da área. O mapa do SGIRH subdivide o DF em sete bacias: São Bartolomeu, Lago Paranoá, Descoberto, Maranhão, Preto, Corumbá e São Marcos;

- ☒ Unidades Hidrográficas de Gerenciamento - adotando-se o curso d'água principal, as bacias foram subdivididas em trinta e seis unidades hidrográficas de gerenciamento.

2.8 - Aspectos populacionais

Com uma população de 1.601.094 habitantes, o DF apresenta uma redução nas taxas de crescimento anual. Na década de 80 os índices oscilavam em torno de 8,15% ao ano, porém os dados do censo de 1991 apresentam uma taxa de 2,81% ao ano, ainda considerada alta, pois a política censitária normalmente é praticada de 10 em 10 anos, o que pode representar, numa década, um crescimento aproximado de 28% (Baptista, 1993).

Pelo plano de instalação da Nova Capital, era de se esperar uma população da ordem de 500.000 hab. para o ano 2.000, porém a população já extrapolou a casa de 1.500.000 habitantes e isso tem ocasionado sérios problemas urbanos para o Distrito Federal (Baptista, op. Cit.). Além disso, o inchaço da mancha urbana do DF já possui previsão para uma população superior a 6.600.000 hab. em 2015, caso se mantivesse índices elevados como os da década de 80 (CODEPLAN, 1993). É importante salientar que a relação entre migrantes e brasilienses natos, no crescimento populacional é de 60% para 40%, respectivamente (CODEPLAN, op. Cit.).

2.9 - Aspectos Econômicos

No aspecto de ocupação territorial rural, o DF apresenta cinco estruturas: as áreas isoladas, os núcleos rurais, as colônias agrícolas (a diferenciação entre essas três estruturas tem como padrão o tamanho dos lotes), o PAD - DF (Programa de Assentamento Dirigido do DF, na RA VII, com predomínio de cultivo de soja), e PIAG (Programa Integrado da Colônia Alexandre de Gusmão, sob jurisdição do INCRA, situado nas RAs III e IV). Os principais produtos agropecuários são: soja, milho, arroz, feijão, aves e bovinos.

É necessário salientar a dificuldade de se analisar o setor secundário do DF devido à fragilidade dos dados. Existem algumas propostas para implementação de polos industriais, baseados em incentivos fiscais, venda de áreas públicas a preços baixos, entre outros. Em dezembro de 1988, foi aprovada a criação do PROIN - Programa de Desenvolvimento Industrial do Distrito Federal, visando a redução da carência industrial e absorção da população ociosa.

No setor terciário encontra-se a maior parcela da PEA - população economicamente ativa - cerca de 85%. Na RA I - Brasília, predominam trabalhadores da administração pública, enquanto que nas outras RAs predominam atividades de prestação de serviços (Baptista, op. Cit.).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Erosão

Erosão pode ser entendida como o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas componentes do solo, determinado pela ação do vento e, mais especificamente, pela água (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

Quando ocorre de forma natural, a erosão é normalmente gradual e lenta, tendendo o terreno a uma condição relativamente estável. Porém, quando o homem é o agente degradador, o processo tende a ocorrer de forma acelerada. Visando o combate e a minimização da erosão utilizam-se diversas técnicas conservacionistas (Costa, 1991).

3.1.1 - Erosão Laminar

Um dos processos mais comuns de erosão hídrica é o laminar. Possui esse nome pois, o escoamento superficial, que é o responsável por esse tipo de erosão, ocorre de forma difusa, erodindo, teoricamente, uma lâmina homogênea de solo. A capa de água que escoar, ocorre normalmente associada a um evento pluviométrico prolongado ou a um intenso e de curta duração. É importante também salientar que a capacidade erosiva desse escoamento é diretamente proporcional à turbulência do mesmo (Guerra, 1994).

O Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Bellinazzi Jr. *et al.*, 1991) subdivide a erosão laminar em 5 estágios:

1. ligeira - já é perceptível, porém menos de 25% do horizonte superficial foi retirado, ou ainda, quando não é possível determinar a profundidade normal do horizonte A de um solo não erodido, com mais de 15 cm de camada superficial restante;
2. moderada - remoção do horizonte A oscilando entre 25 e 75%, ou então não é possível determinar a profundidade normal do horizonte A de um solo não erodido, com 5 a 15 cm de horizonte superficial restante;
3. severa - mais de 75% do horizonte superficial removido e com partes do horizonte subsequente (B) aflorando, ou quando não é possível determinar a profundidade normal do horizonte A de um solo não erodido, com menos de 5 cm de camada superficial restante;

4. muito severa - remoção total do horizonte A e com o horizonte B bastante alterado, oscilando entre 25 e 75% de perda;
5. extremamente severa - o horizonte B, nesse estágio, encontra-se praticamente todo removido e o C apresenta-se à mostra, estando danificado.

Rosa (1995), entende que os processos de erosão laminar são o resultado da integração de dois potenciais: o natural e o antrópico. O potencial natural à erosão laminar é composto por fatores climáticos (erosividade da chuva), fatores pedológicos (erodibilidade dos solos) e por fatores topográficos (comprimento de rampa e declividade). Já o potencial antrópico é o resultado da combinação de duas variáveis: uso e manejo, e as práticas conservacionistas adotadas.

A partir da integração desses dois potenciais de erosão laminar, chega-se à proposição de Wischmeier e Smith (1978), conhecida mundialmente como Equação Universal de Perda de Solo (USLE), apresentada com detalhes nos itens seguintes.

3.1.2 - Métodos para avaliação de perdas de solo

Os métodos diretos baseiam-se na coleta, na medição e na análise do material erodido, com auxílio de instalações coletoras e medidoras especiais (Bertoni *et al.*, 1975).

Segundo Bertoni *et al.* (op. Cit.) os métodos diretos de determinação de perdas de solo subdividem-se em:

1. por impacto;
2. por arrastamento superficial; e
3. por percolação.

A determinação por impacto visa avaliar a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva sobre o terreno. Os métodos de laboratório e as simulações no campo consistem nas formas mais usuais de determinação deste tipo de perda. No laboratório expõe-se uma amostra de solo à ação de uma chuva simulada, cujo tamanho da gota e intensidade são conhecidas e controladas, podendo-se assim inferir sobre os efeitos de desagregação e transporte das partículas. O procedimento de campo é bastante semelhante, porém trabalha-se com talhões e não com amostras de pequeno volume. Esse tipo de método é bastante eficiente para inferir as propriedades físicas que afetam a erodibilidade do solo e quais as práticas conservacionistas que melhor os mantém protegidos dos processos erosivos.

Os métodos de erosão por arrastamento superficial permitem estudar o efeito global das características pedológicas, de cobertura vegetal e conservacionistas que devem ser adotadas, pelo fato desse tipo de erosão ser o mais importante e decisivo na demanda de estudos de práticas conservacionistas.

A determinação das perdas por percolação não é tão comum como as outras duas, pois não é fruto de um processo erosivo, mas um fenômeno natural que ocorre em todos os solos, que apresentam processos de infiltração e posterior percolação, sejam lentos ou rápidos. As determinações são feitas a partir de lisímetros, que podem ser entendidos como recipientes especiais para a coleta e medição da água e dos componentes que deslocaram-se verticalmente numa ou mais camadas do perfil do solo.

Os métodos indiretos baseiam-se nos vestígios encontrados nos perfis de solo ou mesmo nas diferenças encontradas em relação ao solo não erodido. São geralmente mais imprecisos do que os fundamentados nos estudos do material erodido, além do que envolvem outras variáveis associadas aos processos erosivos. Basicamente são utilizados como métodos auxiliares do estudo erosivo.

Pode-se inferir sobre os processos erosivos a partir das alterações geomorfológicas, porém em longos períodos de tempo. Pode-se também perceber a presença ou não de erosão através de alterações na constituição física e/ou química do solo, tais como: textura, permeabilidade, fertilidade, etc. (Bertoni *et al.* op. Cit.)

3.1.3 - Modelos para estimativa de perdas de solo

Neste tópico será apresentada a evolução histórica dos modelos de estimativa de perda de solo, que subsidiaram o desenvolvimento da Equação Universal de Perda de Solo, USLE, o modelo adotado nesta dissertação como base do diagnóstico ambiental da perda laminar de solo, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento, por ser o mais difundido e mais utilizado atualmente.

3.1.3.1 - Equação de Zingg

Nos EUA os estudos de quantificação das perdas de solos iniciam-se no ano de 1915, desenvolvidos pelo Serviço Florestal (Mitchell e Bubenzer, 1980).

A partir daí, diversos cientistas buscaram o desenvolvimento de equações que visam modelar as perdas de solos e a primeira que engloba os parâmetros topográficos é a de Zingg, de 1940 (Mitchell e Bubenzer, op. Cit.). Esta equação é expressa por:

$$A = C S^m L^{n-1} \quad (3.1)$$

onde:

A = perda de solo (mm/ano);

C = combinação da chuva, do solo, da cobertura vegetal e do manejo adotado;

S = declividade da rampa (grau);

L = comprimento da rampa (m);

m (1,4), n (1,6) = expoentes de S e L , respectivamente.

Esta equação não explicita como é realizada a combinação das variáveis chuva, solo, cobertura vegetal e manejo adotado e além disso, possui expoentes fixos para os parâmetros declividade e comprimento da encosta, ou seja, esses expoentes são os mesmos em quaisquer condições topográficas.

3.1.3.2 - Equação de Musgrave

Em 1947, Musgrave propõe uma equação de perda de solo onde as características da chuva são introduzidas, além de apresentar, inserida nos cálculos, a cobertura vegetal como fator de redução da energia cinética das gotas precipitadas (Mitchell e Bubenzer, op. Cit.). A equação de Musgrave é apresentada sob a seguinte forma:

$$A = (0,00527) I R S^{1,35} L^{0,35} P_{30}^{1,75} \quad (3.2)$$

onde:

A = perda de solo (mm/ano);

I = erodibilidade inerente ao solo (mm/ano);

R = fator cobertura vegetal (adimensional);

S = declividade da rampa (%);

L = comprimento da rampa (m);

P_{30} = precipitação máxima em 30 minutos (mm).

Musgrave despreza as práticas conservacionistas em seu modelo, ou seja, não diferencia a perda decorrente de um preparo em curvas de nível de um no sentido da declividade, por exemplo.

3.1.3.3 - Equação de Smith e Whitt

A equação de Smith e Whitt, foi desenvolvida em 1948. Despreza os fatores climáticos, porém introduz as variáveis antrópicas no modelo, conforme pode-se notar na equação 3.3 (Mitchell e Bubenzer, op. Cit.):

$$A = C S L K P \quad (3.3)$$

onde:

A = perda de solo (mm/ano);

C = rotação de culturas (adimensional);

S = declividade (%);

L = comprimento de rampa (m);

K = grupo de solos (adimensional);

P = práticas conservacionistas (adimensional).

Esse modelo não apresenta a variável erosividade da chuva e conforme foi explicitado no item 3.1.2 (métodos para avaliação de perdas de solo), tanto o impacto das gotas de chuva quanto o escoamento sobre os terrenos são agentes erosivos que atuam no desprendimento e no transporte dos sedimentos gerados. A não inclusão da variável climática no modelo, torna-o incompleto para a determinação da perda de solo por erosão hídrica laminar.

3.1.3.4 - Equação de Hudson

Proposta em 1961, a equação de Hudson incorpora alguns aspectos não analisados até então, como as práticas agronômicas ou agrícolas e, principalmente, a proteção mecânica. É expressa por (Mitchell e Bubenzer, op. Cit.):

$$E = T S L P M R \quad (3.4)$$

onde:

E = perda de solo (mm/ano);

T = tipo de solo (adimensional);

S = declividade (%);

L = comprimento de rampa (m);

P = práticas agronômicas ou agrícolas (adimensional);

M = proteção mecânica (adimensional);

R = fator chuva (mm).

Esse modelo é o que mais se aproxima da proposição de Wischmeier e Smith (1978), pois engloba quase todas as variáveis da USLE, porém com nomes e formas de determinação diferenciados. A vantagem da USLE em relação a esse modelo, reside no fato de que o fator R proposto por Wischmeier e Smith (op. Cit.) baseia-se na intensidade e na energia cinética da chuva,

quando o EI_{30} é adotado, pois dessa forma contempla-se o aspecto do impacto e da enxurrada, como agentes desagregadores e de transporte de sedimentos.

3.1.3.5 - Equação de Stocking e Elwell

Esse modelo foi desenvolvido em 1977, em Zimbabue. Apresenta um fator inédito em qualquer modelo que visa quantificar a interceptação de energia, que é função da porcentagem de terreno recoberto, da cultura, do estágio de crescimento e da densidade vegetal (Resende e Almeida, 1985). O modelo é expresso por:

$$Z = K X C \quad (3.5)$$

onde:

Z = perda de solo [t/(ha/ano)];

K = integração dos fatores energia das chuvas e erodibilidade e manejo (J/m^2);

X = topografia da área (determinado pela integração da declividade e comprimento de rampa - adimensional);

C = interceptação de energia pela cobertura vegetal (adimensional).

O modelo de Stocking e Elwell é de certa forma simplificado e repete a influência do uso e manejo em duas variáveis: K e C , enquanto que as práticas conservacionistas não são contempladas no modelo.

3.1.3.6 - Water Erosion Prediction Project (WEPP)

O modelo WEPP é o resultado de um workshop, ocorrido em Lafayette, Indiana, em 1985. Baseia-se em processos hidrológicos e erosivos (Lane et al., 1992), porém a quantidade de dados envolvidos nas simulações, que podem ser tanto para um evento pluviométrico isolado, como para uma sucessão de eventos, ainda dificulta a total adoção do mesmo. Para exemplificar a dificuldade de obtenção dos dados necessários para efetuar simulações, expõem-se algumas variáveis envolvidas: volume, intensidade, duração, frequência das precipitações; temperaturas mínimas e máximas diárias; radiação solar; velocidade e direção do vento; comprimento, largura e declividade da vertente; grau de saturação inicial, densidade aparente, condutividade hidráulica, capacidade de campo e ponto de murcha permanente; percentuais de argila, silte e areia; crescimento das culturas e decomposição da palhada, juntamente com a proteção mecânica oferecida pela cobertura vegetal, entre outros.

Conceitualmente, o modelo subdivide-se em seis componentes: gerador de clima; componente de hidrologia; componente de crescimento de plantas; componente de solos; componente de erosão/deposição; e componente de irrigação (Chaves, 1994).

Os resultados obtidos a partir da utilização do WEPP são a perda de água (ou seja a quantidade de água que deixa de infiltrar devido a enxurrada e que não estará disponível para as culturas - Reichardt, 1990), expressa em mm, e a perda de solo, em kg/m ou kg/m² (Chaves *et al.*, 1996).

3.1.4 - Equação Universal de Perda de Solo - USLE

Para quantificar as perdas de solo por erosão laminar, os diversos autores anteriormente citados no tópico 3.1.3, desenvolveram equações empíricas, partindo de talhões experimentais e extrapolando os resultados para bacias hidrográficas inteiras. O desenvolvimento dessas equações subsidiaram o trabalho de dois cientistas do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), W. H. Wischmeier e D. D. Smith (1978), chamada de Equação Universal de Perdas de Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*), sendo provavelmente uma das mais aceitas e utilizadas para o cálculo de perdas de solo. Projetada como um método para a predição da média anual de perda de solo causada por erosão laminar, não se adequa para a estimativa para um evento pluviométrico específico (USDA, 1996). É definida por:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \text{ onde:} \quad (3.6)$$

A = perda de solo, em t/(ha.ano);

R = fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

K = fator erodibilidade do solo, em t.h/(MJ.mm);

L = fator comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa (adimensional);

S = fator declividade, baseado nos valores, em porcentagem, da declividade (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional); e

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Para estimar cada uma das variáveis da USLE, de forma tradicional, é necessário uma quantidade considerável de experimentos de campo, o que representa quase a inviabilização do

estudo para grandes áreas. Por essa razão torna-se necessária a utilização das técnicas de geoprocessamento, como alternativa ferramental para esse tipo de análise em escala regional.

A USLE é empregada, com bons resultados, para pequenos talhões compatíveis com o uso agrícola, resultando na quantificação da perda de solos por erosão laminar nessas áreas. Porém, quando adotam-se áreas grandes, de escala regional, não se pode ignorar que ao longo de uma vertente ocorrem, simultaneamente, os processos de erosão e de deposição, além da erosão que se observa nos canais fluviais, o que, em conjunto, constituem uma limitação para utilização dessa equação para quantificar a erosão. Entretanto, como a mesma apresenta todos, ou praticamente todos, os fatores envolvidos no processo de erosão laminar, ela permite avaliar qualitativamente grandes áreas, determinando os diferentes graus de susceptibilidade à erosão das regiões homogêneas identificadas. Segundo Stein *et al.* (1987) a USLE, para grandes áreas, não deve ser empregada para a estimativa, ou mesmo para quantificação das perdas de solo por erosão laminar, e sim para uma avaliação qualitativa dessas perdas.

3.1.4.1 - Fator R - Erosividade da chuva

A erosividade da chuva pode ser entendida como uma avaliação numérica da capacidade de uma tormenta ou de uma precipitação erodir os solos de uma área desprotegida (Wischmeier, 1959).

Wischmeier (1959) analisa estatisticamente, através de regressões múltiplas entre os dados de escoamento sobre os terrenos, de perdas de solos, e as intensidades das precipitações associadas a essas perdas, de aproximadamente 8.000 lotes de projetos federais dos EUA, em 21 estados. Como resultado concluiu que o melhor estimador para o fator erosividade da USLE seria a energia cinética da chuva com intensidade máxima em 30 minutos, designada de EI_{30} .

Albuquerque *et al.* (1994) realizaram correlações lineares simples entre os dados de precipitação (P); energia cinética total (EC_T); intensidades máximas (I_n) com durações de 5, 10, 15, 30 e 60 min; energia cinética da chuva com intensidades máximas em (EI_n) 5, 10, 15, 30 e 60 min; e o produto da precipitação pelas intensidades máximas com essas durações (PI_n), visando determinar qual seria o melhor índice de erosividade para um regossolo eutrófico na região de Caruaru, PE. Concluíram que os índices EI_{30} e PI_{60} seriam os melhores indicadores da erosividade para aquelas condições específicas.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) efetuaram a análise das diversas variáveis da USLE e indicam o procedimento para a determinação de cada uma delas. Com relação ao fator R, também adotam o índice EI_{30} por considerarem que é o que melhor representa a erosividade da chuva na faixa intertropical.

Lopes e Brito (1993) determinaram o índice de erosividade das chuvas para a região do médio São Francisco, usando os gráficos dos pluviógrafos de postos meteorológicos da EMBRAPA - CPATSA (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi - Árido). O índice adotado foi o EI_{30} .

Conforme pode-se constatar, alguns autores testaram uma variada gama de índices de erosividade da chuva para sua adoção como parâmetro representativo deste fator na USLE para os solos brasileiros. A grande maioria, após análises diversas, apontaram o EI_{30} como o que mais se adequa à realidade intertropical. Esse índice, EI_{30} , segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993), é o resultado da combinação entre a energia cinética das gotas de chuvas, expressa por:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad \text{onde,} \quad (3.7)$$

E_c = energia cinética em MJ/ha.mm;

I = intensidade do evento pluviométrico em mm/h,

e a intensidade máxima em 30 minutos, originando a expressão:

$$R = \sum_{i=1}^n (E_c I_{30})_i \quad \text{onde,} \quad (3.8)$$

n = número de eventos de chuva no ano;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos.

Em razão da dificuldade de se obter os pluviogramas, Lombardi Neto e Moldenhauer (*apud* Bertoni e Lombardi Neto, op. Cit.) realizaram um estudo para uma série histórica de 22 anos de precipitação no município de Campinas - SP, encontrando altos coeficientes de correlação ($r = 0,991$) e propuseram a determinação do valor médio do índice de erosividade através da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação, conforme a equação 3.9:

$$E I_{30} = 67,355 \left(r^2 / P \right)^{0,85} \quad \text{onde,} \quad (3.9)$$

$E I_{30}$ = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm,

e para a determinação de R é necessário somar os 12 valores mensais do índice de erosividade, em cada estação pluviométrica:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (3.10)$$

Carvalho *et al.* (1991) realizaram um estudo buscando a correlação entre o EI_{30} médio mensal e as precipitações médias mensal e anual, para o município de Mococa - SP. Para tentar solucionar esse entrave, ou seja, a falta de dados pluviográficos, desenvolveram metodologia que consiste em primeiro determinar a erosividade para as áreas que possuam registros pluviográficos; e a seguir realizar correlações entre os índices de erosividade média mensal (EI_{30}) e a precipitação média mensal (r) dessas áreas. Posteriormente, utilizaram regressões entre EI_{30} e r para os locais que não possuíam registro de pluviógrafos, somente pluviômetros, mas apresentavam uma distribuição temporal de chuva semelhante. Como resultado obtiveram uma equação similar à 3.9 apresentando, também, um elevado coeficiente de correlação (0,991):

$$EI_{30} = 111,173 \left(r^2 / P \right)^{0,691} \quad \text{onde,} \quad (3.11)$$

EI_{30} = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm.

3.1.4.2 - Fator K - Erodibilidade do solo

Wischmeier e Mannering (1969) concluíram que a erodibilidade inerente ao solo, considerada a mais importante variável na predição da erosão e no planejamento do uso do solo, é uma complexa propriedade composta pela sua capacidade de infiltração e pela sua capacidade de resistir à fragmentação e transporte de sedimentos pela precipitação e pelo escoamento superficial. As relações entre essas capacidades e as propriedades físico-químicas dos solos foram investigadas em 5 anos de trabalho de campo, laboratório e estudos estatísticos sobre 55 amostras de solo do Corn Belt (cinturão do milho nos EUA). As propriedades que contribuíram mais significativamente para explicar a variância da perda de solo incluíram as porcentagens de areia, silte, argila e matéria

orgânica; pH, estrutura e densidade da camada superior e da subsuperfície; espaço poroso ocupado por ar; concavidade e convexidade da encosta escarpada; resíduos de culturas; entre outros, e as diversas interações entre essas variáveis. Wischmeier e Mannering (op. Cit.) desenvolveram ainda uma equação empírica para a determinação do fator K (erodibilidade) para solos específicos, composta por 24 variáveis.

O fator K busca quantificar a “intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais” (Carvalho, 1994). Pode ser entendido simplesmente como a susceptibilidade do solo a processos erosivos (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

A erodibilidade é função das “propriedades do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada” (Stein *et al.*, 1987).

O fator K é determinado experimentalmente, em condições específicas de declividade (9%) e comprimento de rampa (25 m), e requer, para sua determinação, a instalação de tanques coletores de enxurrada. Porém, através de um nomograma desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971) (Figura 3.1) pode-se estimar de forma indireta, o valor de K. É importante ressaltar que os valores de erodibilidade obtidos através do nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.) estão, devido que na sua confecção, a permeabilidade foi adotada no sistema inglês, e para ser utilizado no sistema internacional, devem ser multiplicados pelo fator de conversão 0,1317.

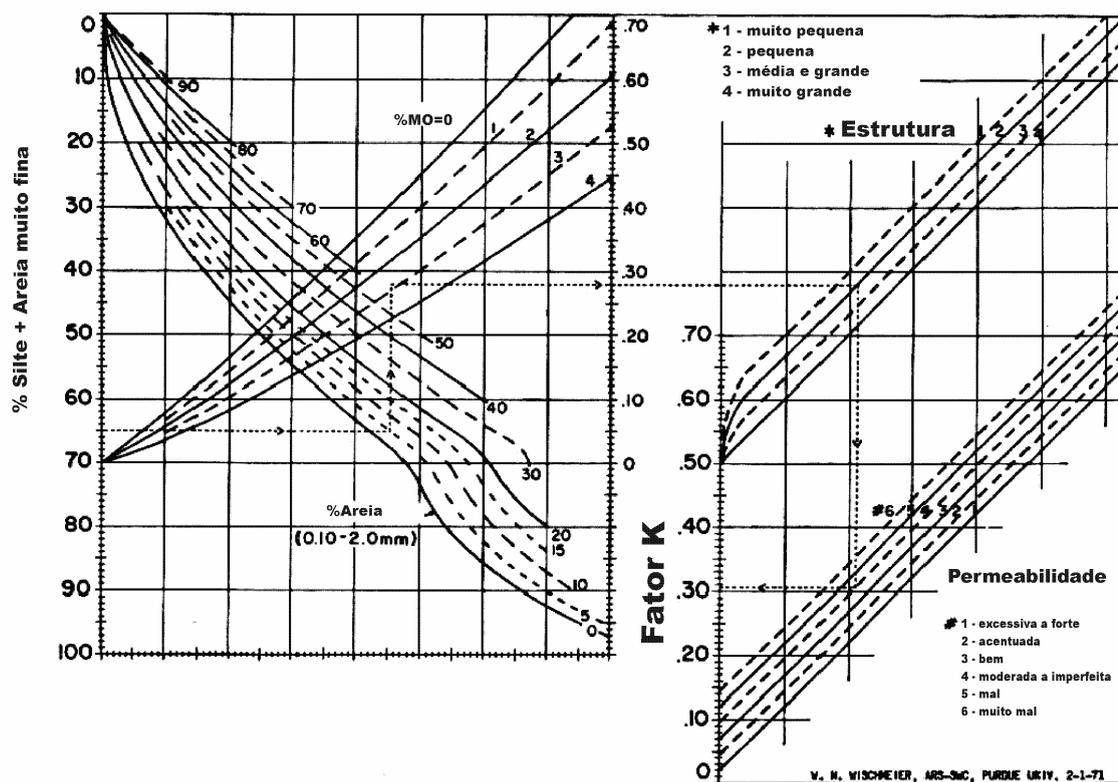


Figura 3.1 - Nomograma de Wischmeier *et al.*, 1971

Um outro método indireto de cálculo da erodibilidade dos solos é a equação desenvolvida por Roloff e Denardin (1994), baseada em parâmetros físicos, tais como as porcentagem de silte e areia fina, e a permeabilidade codificada por Wischmeier *et al.* (1971) e é definida por:

$$K = 0,004 X_1 + (M m^{0,5}), \text{ onde:} \quad (3.12)$$

$Mm = \% \text{ silte} \times (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina});$

$X_1 = \text{permeabilidade codificada por Wischmeier } et al. (1971).$

Os resultados obtidos pelo método de Roloff e Denardin (1994) assim como os do nomograma de Wischmeier *et al.*(op. Cit.), devem ser convertidos para o sistema internacional.

Denardin (1990) compilou os valores de erodibilidade medidos em mais de trinta diferentes localidades em vários estados brasileiros e utilizou o método de regressão *stepwise* múltipla em 31 tipos de solo, determinando a seguinte equação:

$$K = 6,08 \times 10^{-3} (PERM) + 8,34 \times 10^{-3} (OM) - 1,16 \times 10^{-3} (OAL) - 3,78 \times 10^4 (AR), \text{ onde:} \quad (3.13)$$

$PERM = \text{permeabilidade codificada por Wischmeier } et al. (1971);$

$OM = \text{porcentagem de matéria orgânica};$

$OAL = \text{porcentagem de óxido de alumínio, extraído por ácido sulfúrico};$

AR = porcentagem de areia (2 e 0,5 mm de diâmetro).

Os resultados obtidos por Denardin também devem ser convertidos para o sistema internacional.

Chaves (1994.a) determinou a erodibilidade para as diferentes unidades de solos da bacia hidrográfica do São Francisco, através de uma equação de regressão, entre propriedades básicas dos solos e a erodibilidade medida, de vários solos brasileiros, e é dada por:

$$K = 2,47 \times 10^{-3} SIL - 5,23 \times 10^{-3} OAL + 8,89 \times 10^{-3} (CO)^2 + 1,15 \times 10^{-2} (OFE)^{-1} + 1,42 \times 10^{-4} (OSI + OSI^2) - 1,89 \times 10^{-2} [OSI / (OFE + OAL)]^2, \text{ onde:} \quad (3.14)$$

SIL = porcentagem de silte no solo;

CO = porcentagem de carbono orgânico;

OAL = porcentagem de óxido de alumínio;

OFE = porcentagem de óxido de ferro; e

OSI = porcentagem de óxido de silício, sendo todos os óxidos extraíveis por H₂SO₄.

Lombardi Neto e Bertoni (1975.a) desenvolveram um estudo com 66 perfis de solo para os grupamentos B textural e B latossólico, no estado de São Paulo. Para tanto, utilizaram a proposição metodológica de Middleton, que baseia-se em três propriedades: argila natural, argila dispersa e umidade equivalente; e em três relações: dispersão, argila dispersa/umidade equivalente e erosão, essa obtida da relação entre dispersão e argila dispersa/umidade equivalente.

Como resultado, obtiveram a relação de erosão (erodibilidade) superficial (horizontes A_p, A₁, A₂ e A₃) e subsuperficial (B₁ e B₂) dos solos por eles analisados, conforme a tabela 3.1

Tabela 3.1 - Relações de erodibilidade dos horizontes superficiais e subsuperficiais para dois grupamentos de solos paulistas em t.h/(MJ.mm).

SOLO	Valores de K em t.h/(MJ.mm)	
	Horizonte	
	Superficial	Subsuperficial
COM B TEXTURAL		
Podzolizados com cascalho	0,055	0,027
Podzolizados Lins e Marília, v. Marília	0,049	0,023
Podzolizados vermelho - amarelo, v. Laras	0,043	0,046
Podzolizados Lins e Marília, v. Lins	0,035	0,023
Podzolizados vermelho - amarelo, orto	0,034	0,018
Podzolizados vermelho - amarelo, v. Piracicaba	0,028	0,019

Mediterrâneo vermelho - amarelo	0,023	0,021
Terra roxa estruturada	0,018	0,011
COM B LATOSSÓLICO		
Latossolo vermelho - amarelo, orto	0,022	0,009
Latossolo vermelho - escuro, f. arenosa	0,017	0,012
Latossolo vermelho - amarelo, f. rasa	0,017	0,012
Latossolo vermelho - escuro, orto	0,015	0,005
Solos de Campos de Jordão	0,015	0,013
Latossolo vermelho - amarelo, f. arenosa	0,013	0,007
Latossolo vermelho - amarelo, f. terraço	0,012	0,003
Latossolo roxo	0,012	0,004
Latossolo vermelho - amarelo húmico	0,011	0,004

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1993.

Concluíram que os solos com o horizonte B textural são mais suscetíveis à erosão que os com B latossólico e, portanto, devem possuir uso e manejo distintos.

3.1.4.3 - Fator L - Fator Comprimento de Rampa

O fator comprimento de rampa influi diretamente na perda de solo, partindo-se do princípio de que rampas muito extensas podem proporcionar escoamentos com velocidades elevadas. Experimentalmente utiliza-se um comprimento fixo de 25 m, porém, quando tenta-se espacializar a perda de solo para uma grande área, deve-se estudar o comprimento das vertentes.

Deve-se buscar compreender como se dá o escoamento na vertente e perceber que na mesma ocorrem simultaneamente os processos de erosão e sedimentação (Stein et al., 1987). A USLE utiliza o fator comprimento de rampa que é adimensional, adotando-se o valor do comprimento das rampas medido em metros, sem a unidade.

Alguns trabalhos que buscam a determinação, por geoprocessamento, das variáveis da USLE (Rosa, 1995; Chaves *et al.*, 1995; Chaves *et al.*, 1996; Scopel *et al.*, 1989; Risso, 1987), sempre relatam a obtenção dos comprimentos de rampa, a partir de trabalhos manuais sobre bases topográficas, porém não é discutido, nesses trabalho supracitados, se o método pode ser

reproduzido, ou seja, se qualquer indivíduo utilizar o método manual sobre os documentos cartográficos, obterá sempre o mesmo valor médio dos comprimentos de rampa.

Para o cálculo do comprimento de rampa, pode-se utilizar o índice de extensão média do escoamento sobre os terrenos por bacia hidrográfica, obtido pelo método do retângulo equivalente modificado por Villela e Mattos (1975), que pode ser compreendido como a distância média em que a água das chuvas deveriam percorrer até o ponto mais próximo do leito dos rios. Esse método considera a bacia de área A como um retângulo, onde, em seu centro, passa um rio de comprimento l , representado pelo somatório dos comprimentos de todos os cursos d'água componentes da rede de drenagem da bacia. O valor da extensão média do escoamento sobre os terrenos é determinada pela seguinte equação (3.15):

$$L = \frac{A}{4l} \quad \text{onde,} \quad (3.15)$$

L = fator comprimento de rampa e/ou extensão média do escoamento sobre os terrenos (m);

A = área da bacia (m^2); e,

l = somatório do comprimento de todos os cursos d'água da bacia (m).

É importante ressaltar a necessidade da definição da escala de trabalho, pois dependendo da adotada, maior ou menor será o grau de detalhamento das feições espaciais, o que acarretará na obtenção de valores diferenciados de comprimento de rampa, de acordo com a densidade de drenagem. Assim, caso seja adotada a escala de detalhe (1:10.000, por exemplo), a rede de drenagem será bem mais detalhada do que para uma escala menor (1:100.000, por exemplo), com um quantidade maior de cursos d'água, o que acarretará numa redução do valor de comprimento de rampa, pois aumentar-se-á o denominador da equação 3.15, que por sua vez, é inversamente proporcional ao comprimento de rampa. Nesta dissertação adotou-se a escala 1:100.000, tendo em vista que todos os planos de informação utilizados foram desenvolvidos na escala 1:100.000.

3.1.4.4 - Fator S - Fator Declividade

A declividade é entendida como o ângulo ou a porcentagem da inclinação do terreno, e sua importância na predição de perda de solo por erosão laminar está associada ao aumento da velocidade de escoamento superficial. A USLE utiliza o fator declividade como uma das variáveis topográficas, adimensional, baseada na declividade do terreno expressa em porcentagem.

O ângulo, ou a porcentagem de inclinação do terreno, pode ser determinado a partir de ábacos e trabalhos manuais sobre bases cartográficas, porém a maioria dos *softwares* de geoprocessamento possuem algoritmos de determinação da declividade, que se baseiam em filtros convolucionais, que percorrem todo o Modelo Numérico do Terreno, no qual aplicam a equação de determinação da declividade como, por exemplo a equação 3.16:

$$\sqrt{(GX \cdot GX + GY \cdot GY)}, \text{ onde} \quad (3.16)$$

GX = gradiente de inclinação do terreno na direção x (leste - oeste); e,

GY = gradiente de inclinação do terreno na direção y (norte - sul).

3.1.4.5 - Fator LS - Fator Topográfico

Declividades acentuadas geram escoamentos com velocidades elevadas. Vertentes muito longas, também (USDA, 1996).

É muito comum nos trabalhos de determinação das variáveis da USLE por meio de geoprocessamento, a integração da declividade com o comprimento de rampa, gerando uma única variável conhecida como LS, definida pela equação 3.17, que foi estabelecida para qualquer valor de l e s , e utilizada no sistema internacional (Foster *et al.*, 1981):

$$L S = \frac{\sqrt{l}}{100} (1,36 + 0,97 \cdot s + 0,1385 s^2) \text{ onde,} \quad (3.17)$$

l = comprimento de rampa, em metros; e

s = declividade em %.

Bertoni, citado por Bertoni e Lombardi Neto (1993), estabeleceu uma equação empírica (3.18) para a integração do fator topográfico na USLE, partindo da relação experimental da perda de solo com diversos graus de declividade (de 1 a 20%, variando a cada 2%) e de comprimentos de rampa (de 5 a 100 m, oscilando de 5 em 5 m). Convém ressaltar que a equação 3.18 foi desenvolvida para o município de Campinas, SP, melhor representando a integração do comprimento de rampa com as declividades para as condições brasileiras, sendo, portanto a adotada nesta dissertação.

$$L S = 0,00984 \cdot l^{0,63} \cdot s^{1,18} \text{ onde,} \quad (3.18)$$

l = comprimento de rampa (m);

s = declividade (%).

3.1.4.6 - Fator CP - Fator Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

Todas as variáveis da USLE apresentadas, R, K, L e S, são estritamente relacionadas a aspectos naturais, que agrupados descreveriam o potencial natural à erosão laminar, conforme Rosa (1995).

Somente nos fatores C e P é considerada a participação antrópica no processo. Sabe-se que um solo desprovido de cobertura vegetal é geralmente mais susceptível à erosão do que um outro recoberto. A proteção desse solo depende basicamente do estágio de crescimento e desenvolvimento da vegetação associada à seqüência de culturas e ao manejo (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

Wischmeier (1960) utilizando-se de dados de escoamento, de perdas de solos, e das precipitações associadas a essas perdas, em aproximadamente 8.000 lotes de projetos federais dos EUA, em 21 estados, conforme referido anteriormente, analisou a evolução da influência do crescimento vegetal, da seqüência de plantio, das práticas de lavoura, da fertilidade, e manejo dos resíduos, na erosão do solo provocada por chuva. Visando facilitar a determinação dessa variável (C), Wischmeier (op. Cit.) apresentou uma divisão fixa do ciclo de desenvolvimento de uma cultura em termos de proteção que a mesma proporciona e estabeleceu um procedimento de cálculo do valor de C, em função das operações culturais e dos estádios da cultura, entre outros:

- período F - preparo do solo: desde o preparo até o plantio;
- período 1 - plantio: do final do período F até um mês após o plantio;
- período 2 - estabelecimento: estende-se do fim primeiro mês até dois meses após o plantio;
- período 3 - crescimento e maturação: do final do período de estabelecimento até a colheita;
- período 4 - resíduos: do final da colheita até um novo preparo do solo, transição entre os ciclos vegetativos.

O valor de C adotado deverá ser o somatório de todos os valores calculados de C por períodos do ciclo de desenvolvimento da cultura. A variação de C oscila entre 0,00004, para as áreas recobertas por formações arbóreas intocadas, e 1 para as áreas de solos expostos desprovidos de cobertura vegetal.

Carvalho (1994) expõe, através da tabela 3.2 a variação dos valores dos períodos do ciclo de desenvolvimento, envolvidos na determinação do valor de C para as culturas de algodão e soja, para a região de Campinas.

Tabela 3.2 - Fator C para duas culturas em função dos estádios de desenvolvimento

No.	Estádio de desenvolvimento	algodão	soja
F	preparo do solo	0,0567	0,0032
1	plantio	0,1089	0,0432
2	estabelecimento	0,1056	0,0672
3	crescimento e maturação	0,3720	0,1037
4	resíduo	0,0414	0,0020
Fator C		0,6846	0,2193

Fonte: Carvalho, 1994.

Bengtson e Sabbagh (1990) definem P como a taxa de perda de solo entre a prática conservacionista utilizada e entre a perda ocorrida na lavoura instalada no sentido da declividade. Técnicas como a rotação de cultura, tratamentos de fertilidade, e uma grande quantidade de resíduos contribuem para a redução da erosão.

A tabela 3.3 ilustra as quatro possibilidades de práticas conservacionistas mais utilizadas para culturas anuais e ainda para a cultura morro abaixo.

Tabela 3.3 - Fator P em função das práticas adotadas

Prática Conservacionista	Fator P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em curvas de nível	0,5
Alternância de capinas com o plantio em curvas de nível	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraceamento	0,1

Fonte: Carvalho, 1994.

Quando o objetivo do trabalho é definir formas mais adequadas de produção agrícola, minimizando os impactos gerados sobre o meio físico, as variáveis antrópicas da USLE devem ser tratadas separadamente. Porém, quando busca-se a espacialização dos fenômenos, através do Geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados, não mais em função do

estádio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e ocupação do solo e são expostos na forma integrada CP (Stein *et al.*, 1987).

Buscando-se correlacionar as classes de uso e ocupação de solo com as variáveis CP integradas, Stein *et al.* (op. Cit.) propõem os valores da tabela 3.4. Nessa integração esses autores adotaram um valor constante de $P = 1$, por ser a pior situação quanto às perdas de solo em função das práticas conservacionistas, tendo em vista que não se conseguem valores confiáveis de P quando utiliza-se as técnicas de geoprocessamento, principalmente as classificações de imagens de sensoriamento remoto, para se obter o mapeamento do uso do solo, em escala regional.

Tabela 3.4 - Integração de CP em função das classes de uso e ocupação do solo

Grupo	Categoria	CP (adimensional)
1. Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno	1a. Floresta	0,00004
	1b. Vegetação secundária	0,00004
	1c. Cerradão	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,0001
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno	2a. Cobertura residual	0,01035
	2b. Cerrado	0,0007
	2c. Cultura permanente	0,02
	2d. Cana-de-açúcar	0,05
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno	3a. Cobertura residual	0,25
	3b. Cultura perene	0,25
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do		0,01

terreno	4a. Cobertura residual 4b. Pastagem 4c. Cultura temporária 4d. Campo cerrado 4e. Campo natural	0,01 0,01 0,20 0,01 0,01
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno	5a. Cobertura residual 5b. Pastagem 5c. Cultura temporária	0,10 0,10 0,20
6. Ocupações naturais diversas	6a. Várzea 6b. Espelho d'água	0,00 0,00
7. Ocupações antrópicas diversas	7a. Área urbana 7b. Estrada	0,00 0,00

Fonte: Stein *et al.* (1987)

3.1.5 - Tolerância de perdas de solo por erosão laminar

Os processos erosivos são considerados como a principal causa da redução da produtividade dos solos e com a necessidade de se produzir alimentos cada vez mais em terras que inevitavelmente sofreram perda de solo, é necessário determinar os limites de tolerância de perda de solo. O critério mais importante, do ponto de vista agrônômico, para a determinação dos limites de tolerância, é a espessura da camada de solo favorável ao enraizamento das culturas, ou seja, a profundidade dos horizontes A e B (Galindo e Margolis, 1989).

Além da espessura dos horizontes A e B, Lombardi Neto e Bertoni (1975.b) consideram a relação textural da argila entre A e B como um dos fatores importantes para a determinação da tolerância de perdas, pois ela afeta a infiltração e a permeabilidade dos solos. Uma relação alta determina uma menor capacidade de infiltração, aumentando a erosão. Lombardi Neto e Bertoni (op. Cit.) estabeleceram um critério para a relação textural no cálculo da tolerância:

- para uma relação inferior a 1,5, ou seja, se a porcentagem de argila do horizonte A dividida pela porcentagem de argila do horizonte B for inferior a 1,5, considera-se a espessura total dos horizontes A e B;
- para uma relação textural entre 1,5 e 2,5, considera-se 75% da espessura desses horizontes;
- para uma relação textural superior a 2,5, considera-se apenas 50% da espessura desses horizontes.

Lombardi Neto e Bertoni (op. Cit.) desenvolveram a seguinte equação (3.19) para expressar a tolerância de perdas de solo por erosão laminar:

$$C = h \cdot r, \text{ onde:} \quad (3.19)$$

C = camada de solo possível de ser removida do horizonte (mm/ano);

h = espessura dos horizontes A e B (m); e,

r = fator que expressa o efeito da relação textural (0,50 para 50%, 0,75 para 75% e 1,00 para 100%).

Galindo e Margolis (1989) efetuam a conversão dos valores de mm/ano para t/ha.ano, por meio da multiplicação dos primeiros valores por 26,75 (admitindo um peso específico de 2,675 t/m³), adotando esse valor médio para todos os solos descritos no Reconhecimento de Solos de Estado de Pernambuco - Boletim Técnico nº 26, da EMBRAPA.

3.2 - Geoprocessamento

Como os objetivos desta dissertação estão centrados na análise qualitativa das áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão no Distrito Federal, por meio do desenvolvimento de uma metodologia de geoprocessamento para determinar as variáveis da USLE, é de extrema importância que se analise o processo que será aplicado: o cruzamento de estratos georreferenciados dentro de um ambiente de Sistema de Informação Geográfica - SIG e *software* específico que será utilizado, o IDRISI (Eastman, 1992).

Rosa e Brito (1996) definem geoprocessamento como um conjunto de tecnologias que visam coletar e tratar as informações espaciais, bem como desenvolver sistemas e aplicações, com graus diferenciados de sofisticação.

3.2.1 - Sistema de Informações Geográficas

O Sistema de Informações Geográficas têm seu desenvolvimento associado ao advento dos computadores, e mais especificamente a partir das décadas de 40 e 50, quando se definiram rotinas visando a análise espacial (Teixeira *et al.*, 1992).

O SIG é definido pelo *Federal Interagency Coordinating Committee* com “um Sistema composto por Computador, Software e Procedimentos projetados para suportar a captura, gerenciamento, manipulação, análise e saída de dados espaciais referenciados geograficamente para resolver questões complexas em planejamento e gerenciamento” (Siebert, 1994).

Burrough (1986) entende que os SIGs atendem, através de uma ou outra operação, a diversas ciências e técnicas de análise espacial, tais como: Cartografia, CADs (*Computer Aided Design*), Aerofotogrametria, análises espaciais usando dados matriciais (raster) derivados de mapas temáticos, interpolação de dados pontuais, e tecnologia de Sensoriamento Remoto.

3.2.2 - Software IDRISI

O software IDRISI é um sistema híbrido de processamento digital de imagens e sistema de informações geográficas, desenvolvido pelo Departamento de Geografia da Clark University, Worcester, MA, Estados Unidos. Dentro da concepção de softwares desta natureza, o IDRISI destaca-se por sua facilidade de instalação (não requer nenhum componente especial de hardware), executável em ambiente DOS ou windows, e de fácil operação. O IDRISI requer uma configuração bastante simples, formada por um microcomputador do tipo IBM - PC ou compatível, com processador do tipo INTEL 8086 ou posterior, sistema operacional MS-DOS 2.11 ou mais recente, 512 Kbytes de memória e um monitor padrão EGA ou superior (Eastman, 1992).

Segundo Eastman (op. Cit.), o Idrisi é composto, mais especificamente em sua versão 4.1 (última versão para DOS) e 1.0 para windows, por mais de 100 programas modulares agrupados em três grandes blocos:

- módulo central;
- módulo analítico, e
- módulo periférico.

Módulo central é um grupo de utilitários para a entrada, armazenamento, gerenciamento e visualização de imagens raster e de conversão vetor - raster e vice-versa. O módulo analítico subdivide-se em três partes relacionadas às análises geográfica e estatística e ao processamento de imagens. E o módulo periférico permite ao usuário a interação entre os dados do Idrisi com outros softwares.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (equação 3.6) é determinada a partir da integração de fatores naturais e antrópicos que atuam na perda por erosão laminar. Esses fatores, por sua vez, podem ser estimados e espacializados a partir das técnicas de geoprocessamento.

Esse item visa descrever os materiais utilizados e os passos metodológicos adotados para chegar ao diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, por meio do geoprocessamento.

4.1 - Material utilizado

- Mapa topográfico na escala 1:100.000 do SICAD (Sistema Cartográfico do Distrito Federal), no formato digital DXF.
- Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento do DF - IEMA/SEMATEC, escala 1:100.000 (1994);
- Mapa de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal - EMBRAPA, escala 1:100.000 (1978);
- Mapa de Uso e Ocupação do Solo do DF, 94 - IEMA/CODEVASF, escala 1:100.000 (no prelo);
- Dados de chuva das Estações Pluviométricas da CAESB, de acordo com a tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Estações Pluviométricas da CAESB.

Código	Nome da Estação	Operação	Localização (Lat. e Long.)	Bacia Hidrográfica
01547008	ETEB Sul	jan/71 até hoje	15°49'00" S 47°55'00" W	Paranoá
01547009	ETEB Norte	dez/72 até hoje	15°45'00" S 47°53'00" W	Paranoá
01547010	Contagem	jan/71 até hoje	15°39'00" S 47°55'00" W	Paranoá
01547011	Planaltina - Colégio Agrícola	jan/71 até hoje	15°40'00" S 47°43'00" W	São Bartolomeu
01547012	Papuda	jan/71 até hoje	15°58'00" S 47°40'00" W	São Bartolomeu
01547013	Taquara	jan/71 até hoje	15°37'00" S 47°31'00" W	São Bartolomeu
01547014	Área Alfa	out/72 até hoje	15°49'00" S 47°58'00" W	São Bartolomeu
01547018	Jockey Club	out/78 até hoje	15°48'00" S 47°59'00" W	São Bartolomeu
01547019	Cabeça de Veado	out/78 até hoje	15°53'00" S 47°51'00" W	Paranoá
01547020	Paranoá - Barragem	nov/78 até hoje	15°47'00" S 47°43'00" W	Paranoá
01547021	Barreiro DF-15	out/78 até hoje	15°51'00" S 47°38'00" W	São Bartolomeu
01547022	Rio Preto	out/78 até hoje	15°48'00" S 47°27'00" W	Rio Preto
01548005	Gama	ago/70 até hoje	15°59'00" S 48°03'00" W	Paranoá
01548006	Taguatinga	jan/71 até hoje	15°47'00" S 48°08'00" W	Descoberto
01548007	Brazlândia	jan/71 até hoje	15°41'00" S 48°13'00" W	Descoberto
01548008	Descoberto	out/78 até hoje	15°47'00" S 48°14'00" W	Descoberto
01548009	Jatobazinho	out/78 até hoje	15°43'00" S 48°06'00" W	Descoberto
01548010	Riacho Fundo GM3	out/78 até hoje	15°53'00" S 48°03'00" W	Paranoá

- Softwares:
 1. Idrisi versão 4.1 para DOS (licença adquirida pelo Deptº de Geografia da UnB) e versão 1.0 para Windows (adquirido pelo Deptº de Engenharia Civil da UnB);
 2. Surfer versão 5.0 para Windows (licença adquirida pelo Professor Augusto César Bittencourt Pires, do Deptº de Geoquímica e Recursos Minerais da Universidade de Brasília)

4.2 - Métodos

4.2.1 - Erosividade da chuva

Para a determinação do fator R - erosividade da chuva - buscou-se, primeiramente, calcular a média aritmética simples (histórica) para todas as Estações Pluviométricas da CAESB (tabela 4.1), de 1979 (primeiro ano no qual todas as estações da tabela 4.1 estavam coletando os dados pluviométricos) a 1995 (último ano completo até o presente momento), para os totais mensais e para os totais anuais. Os dados utilizados foram pré - processados na Divisão de Hidrologia da CAESB, onde foram preenchidas as falhas através do método de médias ponderadas entre a estação com falhas e as limítrofes. Após o cálculo daquela média histórica, passou-se para a obtenção de R através da equação 3.10, com EI_{30} calculados pelas equações 3.9 e 3.11 que, apesar de terem sido obtidas para municípios do estado de São Paulo, e dos dois artigos (Lombardi Neto e Moldenhauer, apud Bertoni e Lombardi Neto, 1993 e Carvalho *et al.*, 1991) mostrarem que os coeficientes e expoentes variam em função da localização geográfica, foi a opção adotada, devido ao fato de que diversos autores utilizam a equação 3.9, para diversas localidades do país, tais como: Rosa (1995) em Uberlândia; Ferreira e Santos (1995) no extremo oeste paulista; Cavaliere *et al.* (1996) no município de Espírito Santo do Pinhal, região centro - leste do estado de São Paulo; Valério Filho (1994), no município de Botucatu (SP); Carvalho *et al.* (1992), na bacia do rio Aracoiaba no Ceará; Stein *et al.* (1987), para a bacia do Peixe - Paranapanema, estado de São Paulo. Por ser mais difundida do que a equação 3.11 e devido ao fato dos resultados apresentarem alto coeficiente de correlação, adotou-se como valores de R os obtidos pela equação 3.10 com EI_{30} calculados pela equação 3.9. Concluído o cálculo de R para cada estação, realizou-se a espacialização da erosividade para o Distrito Federal, através da locação (x e y) das estações no mapa topográfico na escala 1:100.000 do SICAD, e a atribuição dos valores obtidos como identificadores (z) e procedeu-se a geração de isolinhas de R, a partir do método de interpolação

Kriging, do *software* Surfer, que é um método geoestatístico e considerado um dos mais flexíveis métodos para quaisquer dados que apresentem uma estrutura de correlação espacial. *Kriging* estima um valor desconhecido z_0 por uma combinação linear de n valores conhecidos z_α , $\alpha = 1, \dots, n$. Fornece uma estimativa que obedece a um critério de minimização da variância do erro e funciona como um filtro de “passa baixa”, pois tende a suavizar os detalhes e valores extremos (Almeida e Bettini, 1994), e baseia-se em três fatores:

- variograma - é usado para determinar a vizinhança das observações a serem usadas para a interpolação de cada ponto, e quais os pesos que devem ser atribuídos durante os cálculos. O variograma linear é mais comumente adotado quando não se possui uma compartimentação prévia dos dados a serem interpolados, ou seja, no caso de um modelo numérico do terreno, no qual o resultado é uma superfície topográfica interpolada, pode-se, em função da compartimentação geomorfológica da área de estudos, comparar os resultados. Nesse caso, não existia uma superfície de erosividade previamente interpolada, para a área de estudos, que pudesse balizar a escolha do variograma, sendo, portanto, adotado o sugerido por Cressie (1990) que analisa a adoção dos variogramas em função do espaço amostral, e discute a utilização do variograma linear para espaços amostrais inferiores a 250 pontos com diferentes atributos e diferentes posicionamentos (x e y), como sendo o que apresenta melhor resultado;
- tipo de tendência (efeito direcional) - é um efeito utilizado quando os pontos disponíveis para a geração da superfície interpolada estão dispersos dentro da área de interesse, resolvendo o problema através da interpolação sobre grandes vazios na distribuição dos dados, extrapolando os limites da área em questão. Se a interpolação utilizar esse efeito, que pode ser linear ou quadrático, chamar-se-á de *kriging* universal. Caso contrário (sem efeito) esse processo tem o nome *kriging* ordinário, utilizado no trabalho, pois os pontos estavam com uma razoável distribuição dentro do quadrilátero do DF, além do fato de que a utilização desse efeito poderia mascarar a real tendência de erosividade.
- efeito “pepita” (Nugget effect) - Reflete a microestrutura e a variabilidade de pequena escala não captadas pela amostragem. Reflete também os erros de amostragem (Almeida e Bettini, 1994). É usado para suavizar (smooth) os erros do conjunto de valores obtidos pela interpolação.

A formulação desse interpolador (*ordinary kriging*) é expressa por:

$$z = \sum_{i=1}^n \mathbf{b}_i z_i, \text{ onde} \quad (4.1)$$

n = número de pontos do espaço amostral;

z = valor interpolado;

z_i = vizinho mais próximo; e,

\mathbf{b}_i = peso.

A escolha desse método, também baseou-se no tamanho do espaço amostral, que neste caso apresenta 18 pontos referentes às Estações da CAESB expressas na tabela 4.1. Cressie (1990) sugere uma subdivisão de amostras em quatro intervalos, utilizáveis na maioria dos casos:

⇒ de 1 a 10 pontos - os melhores resultados são obtidos pelos métodos *kriging* e *radial basis functions*. Para determinar a tendência dessa superfície utiliza-se o método de regressão polinomial;

⇒ de 10 a 250 pontos - os melhores interpoladores são *kriging* com variograma linear e *radial basis functions* (método de interpolação exato que busca preservar o conjunto de dados pontuais) com função multiquadrática (essa função pode ser entendida como o variograma do método de *kriging* que busca otimizar o *set* de pesos a serem aplicados utilizados para interpolação da superfície). A função multiquadrática é definida por:

$B(h) = \sqrt{h^2 + R^2}$, onde h leva em consideração o nível de anisotropia observado, na definição da distância entre o ponto conhecido e o nó da matriz utilizada na interpolação; e R^2 é o parâmetro de suavização especificada;

⇒ de 250 a 1000 pontos - os métodos de *kriging* e *radial basis functions* são lentos, mas ainda os que oferecem melhores resultados;

⇒ > de 1000 pontos - as melhores superfícies interpoladas são obtidas com os métodos de mínima curvatura e triangulação com interpolação linear (triângulos de Delaunay). *Kriging* e *radial basis functions*, funcionam bem, porém são lentos para esse espaço amostral.

É importante ressaltar que a escolha do método de *kriging* ao invés do método *radial basis functions* com função multiquadrática, baseou-se, também no fato de que este último, gera formas mais arredondadas através de contornos concêntricos (*bull's eye*) em torno dos dados utilizados, o que representa um dos problemas dos métodos de interpolação (Keckler, 1994).

4.2.2 - Erodibilidade dos solos

A erodibilidade do solos do DF foi determinada a partir do Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978), agrupando-se 94 perfis de solos do mesmo, em grandes grupos, conforme o proposto pelo mapa de reconhecimento dos solos, (anexo do referido Boletim): latossolo vermelho - escuro, latossolo vermelho - amarelo, podzólico vermelho - amarelo, podzólico vermelho - amarelo equivalente eutrófico, terra roxa estruturada similar, cambissolo, solos aluviais, solos hidromórficos indiscriminados, areia quartzosa e brunizem avermelhado. Para cada um dos grandes grupos foram analisados os perfis descritivos daquele Boletim e, no caso do brunizem avermelhado, como não constavam perfis, adotou-se dois perfis significativos do livro de Vieira e Vieira (1983), visando a obtenção dos parâmetros físico-químicos utilizados pelo nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.) (Figura 3.1), pela equação de Roloff e Denardin (1994) (equação 3.12), pela equação de Denardin (1990) (equação 3.13), e pela equação de Chaves (1994) (equação 3.14), a fim de determinar os valores de K para os solos da área de estudos. Para a utilização do nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.) é necessário levantar os seguintes parâmetros para cada uma das amostra:

- porcentagem de silte
- porcentagem de areia muito fina (0,002 a 0,10 mm);
- porcentagem de areia;
- porcentagem de matéria orgânica;
- estrutura; e
- permeabilidade.

Além do cálculo de K por meio do método nomográfico, utilizou-se os valores de erodibilidade disponíveis na literatura, como uma primeira aproximação, e para comparação. Os valores de silte, areia e areia muito fina foram obtidos diretamente da descrição das variáveis físico - químicas dos perfis. Adotou-se apenas o horizonte superficial, pois a USLE trabalha basicamente com erosão laminar que atinge inicialmente o horizonte superficial. Para a determinação da porcentagem de matéria orgânica utilizou-se o valor percentual de carbono orgânico total multiplicando-o pelo fator 1,724. Esse multiplicador resulta da admissão da matéria orgânica possuir, segundo Costa (1991), 58% de carbono. Como o nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.) utiliza códigos, tanto para a estrutura, como para a permeabilidade, adotou-se as relações descritas nas tabelas 4.2 e 4.3, e os agrupamentos que ocorreram na estrutura média e grande e nas

permeabilidades excessivamente e fortemente e ainda, moderadamente e imperfeitamente drenados, foram realizadas de acordo com as orientações do próprio nomograma, conforme é explicitada nos códigos.

Tabela 4.2 - Relação entre estrutura e os códigos de estrutura do nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.)

Estrutura	Código do nomograma
muito pequena	granular muito fina - 1
pequena	granular fina - 2
média e grande	granular média ou grande - 3
muito grande	bloco ou maciça - 4

Tabela 4.3 - Relação entre permeabilidade e os códigos de permeabilidade do nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.)

Permeabilidade	Código do nomograma
excessiva a forte	rápida - 1
acentuada	moderada a rápida - 2
bem	moderada - 3
moderada a imperfeita	lenta à moderada - 4
mal	lenta - 5
muito mal	muito lenta - 6

Para a equação de Roloff e Denardin (1994), são necessários os parâmetros texturais dados pela multiplicação da porcentagem de silte pela de silte mais areia muito fina, e do parâmetro de permeabilidade, utilizando-se a codificação de Wischmeier *et al.* (1971). Para a equação de Denardin (1990), utilizou-se a permeabilidade do perfil, codificada pela tabela 4.3, a matéria orgânica, além do teor de óxido de alumínio e da porcentagem de areia com diâmetro entre 2 e 0,5 mm. Para utilizar a equação de Chaves (1994), foram utilizados os valores das porcentagens de Al_2O_3 (óxido de alumínio), Fe_2O_3 (óxido de ferro) e SiO_2 (óxido de silício), extraíveis por H_2SO_4 (ácido sulfúrico), além das porcentagens de silte e carbono orgânico, necessários para a

determinação através do nomograma. Após a obtenção dos dados de K a partir dos quatro métodos indiretos, comparou-se os mesmos com os valores obtidos nos artigos consultados (Freire e Pessotti, 1974; Bertoni e Lombardi Neto, 1993; Chaves, 1994) para definir quais valores seriam admitidos para representar a erodibilidade dos solos da área de estudos.

4.2.3 - Declividade e comprimento de rampa

O fator topográfico (LS) foi determinado a partir do modelo numérico do terreno (MNT) gerado a partir do mapa topográfico na escala 1:100.000 do SICAD. Para determinar o MNT foi necessário corrigir as isolinhas seccionadas, pois o arquivo digital as apresenta como segmentos de reta e não como uma linha contínua; atribuir os valores das cotas altimétricas às mesmas, pois elas possuem, em seu formato original, apenas as coordenadas x e y e não apresentam os valores de z; exportá-las sob a forma de vetores; interpolá-las através do módulo INTERCON, do IDRISI, interpolação linear, pois o outro método (inverso do quadrado da distância - INTERPOL) apresenta a limitação de gerar um MNT com até 16.000 pontos, enquanto que o mapa topográfico do DF no formato SICAD possui, nas duas primeiras linhas, 16.000 pontos, e o mesmo é composto por mais de 900 linhas. A partir da interpolação do modelo numérico, o cálculo da declividade foi determinado pelo módulo SURFACE, opção SLOPE, do software IDRISI. O comprimento de rampa foi calculado adotando-se o método do retângulo equivalente modificado por Vilela e Mattos (1975), utilizado para calcular o índice extensão média do escoamento superficial (equação 3.15), em que as áreas das bacias hidrográficas foram determinadas a partir do módulo AREA, e o comprimento total dos rios das bacias foi calculado a partir do perímetro da classe rios, dividido por dois (módulo PERIM). Aplicou-se, portanto, a equação 3.15, obtendo-se o comprimento médio das rampas, bacia a bacia. Após esses procedimentos, foi utilizada a equação 3.18 para determinação de LS, pois a mesma é um ajuste para o município de Campinas, SP, adequando-se melhor, portanto, para as condições brasileiras.

4.2.4 - Uso e manejo, e práticas conservacionistas

Para a obtenção de C P - fatores uso e manejo e práticas conservacionistas - as homogeneizações propostas por Stein et al. (1987), apresentadas na tabela 3.4, visando agrupar em classes os usos e ocupações do solo para a estimativa da perda de solo por erosão laminar, foram obtidas a partir do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do DF (IEMA / CODEVASF, no prelo) que

foi gerado a partir das cartas topográficas do IGBE na escala de 1:25.000, cartas topográficas do DSG/MEX na escala de 1:100.000, mapa de localização dos condomínios irregulares do DF (executado pelo IEMA - DF), mapa de áreas degradadas existentes no DF (GRN/IEMA), ambos na escala de 1:100.000, mapa das indústrias / abatedouros licenciados no IEMA (DLFA/IEMA) e mapa dos reflorestamentos do DF (PROFLORA S/A), além da classificação da imagem Landsat - TM 5, órbita 221, ponto 71, bandas 3, 4 e 5 da passagem de 06 de junho de 1994, e um ano de trabalho de campo para dirimir as dúvidas do processo de classificação (IEMA / CODEVASF, op. Cit.).

4.2.5 - Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos

Para a análise qualitativa das áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão no Distrito Federal adotou-se o procedimento matemático da USLE, realizando-se, para tal fim, a integração, via o módulo OVERLAY, na opção MULTIPLY, de todos os planos ou estratos de informação obtidos (R, K, LS e CP).

Após a geração do plano de informação perda de solo, realizou-se a reclassificação do mesmo adotando-se o limite de tolerância para cada classe de solo, calculado a partir da equação 3.19 proposta por Lombardi Neto e Bertoni (1975.b). A primeira classe engloba os valores nulos ou incipientes, a segunda representa a perda de solo até o limite de tolerância, e a terceira, a perda de solo acima dos limites de tolerância. Após esse procedimento, foi realizada uma tabulação cruzada do mesmo com o mapa de solos reclassificado em função da profundidade dos solos, de acordo com a tabela 4.4, visando zonear e espacializar os impactos no Distrito Federal em função das perdas de solo, conforme exposto na tabela 4.5.

Tabela 4.4 - Atribuição da profundidade aos grandes grupos de solos do DF

Grande grupo de solos	Classe de profundidade
Latossolo vermelho - escuro	muito profundo
Latossolo vermelho - amarelo	profundo
Podzólico vermelho - amarelo	profundo
Podzólico verm. - ama. Equivalente eutrófico	profundo
Terra roxa estruturada similar	profundo
Cambissolo	rasos
Solos aluviais	rasos
Solos hidromórficos	pouco profundo
Areias quartzosas	profundo

Brunizem avermelhado	pouco profundo
----------------------	----------------

Tabela 4.5 - Classes do zoneamento ambiental por perda de solo no DF

Classes	Identificador no mapa
perdas nulas ou incipientes	0
perdas dentro do limite de tolerância em solos muito profundos	1
perdas dentro do limite de tolerância em solos profundos	2
perdas dentro do limite de tolerância em solos pouco profundos	3
perdas dentro do limite de tolerância em solos rasos	4
perdas acima do limite de tolerância em solos muito profundos	5
perdas acima do limite de tolerância em solos profundos	6
perdas acima do limite de tolerância em solos pouco profundos	7
perdas acima do limite de tolerância em solos rasos	8

Após a determinação do mapa de zoneamento determinado pelas perdas de solo foi realizada a reclassificação do mesmo, expondo somente as classes acima do limite de tolerância cruzadas com a profundidade dos solos, gerando o produto final desta dissertação, o mapa de impactos ambientais por perda de solo do Distrito Federal.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Erosividade da chuva

Utilizando-se os dados médios dos totais mensais e médios dos totais anuais, das Estações Pluviométricas da CAESB (tabela 4.1) do período de 1979 até 1995, e calculando-se o índice de erosividade EI_{30} , de acordo com as equações 3.9 e 3.11, obteve-se os seguintes valores do fator R da USLE (tabela 5.1):

Tabela 5.1 - Erosividade da chuva para as Estações Pluviométricas da CAESB

Estação	Erosividade em MJ.mm/(ha.h.ano)	
	Eq. 3.9	Eq. 3.11
ETEB Sul	7683.6	7631.1
ETEB Norte	7800.6	7694.7
Contagem	8609.5	8326.4
Planaltina - Colégio Agrícola	7523	7443.7
Papuda	7793.6	7632.1
Taquara	7743.8	7596.3
Área Alfa	7799.4	7697.6
Jockey Club	7885.6	7785.7
Cabeça de Veado	8129.1	7912.9
Paranoá - Barragem	7125.5	7120.5
Barreiro DF-15	7878.4	7716.4
Rio Preto	6932.3	6938.4
Gama	8770.6	8439.3
Taguatinga	8373	8140
Brazlândia	8699.6	8370.1
Descoberto	7869.2	7746.2
Jatobazinho	8574.4	8277.5
Riacho Fundo GM3	8286.1	8082.8
Média	7970.96	7808.43
Desvio Padrão	512.94	413.50
Coef.Variação	0.0643506	0.0529562
Coef.Correlação entre 3.9 e 3.11	0.9978805	

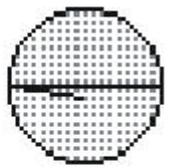
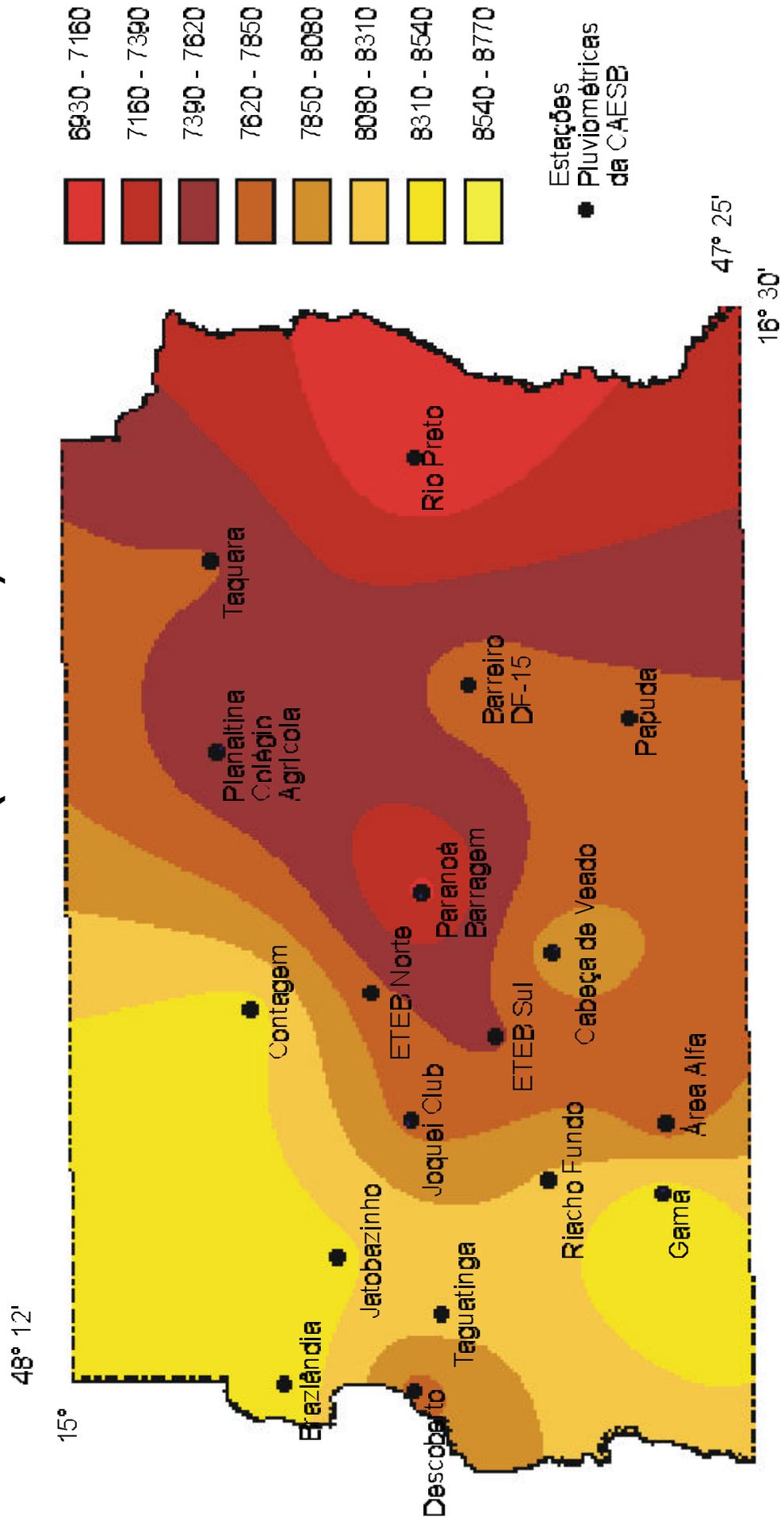
Os valores de erosividade adotados para o Distrito Federal foram os obtidos a partir da equação 3.9, pois conforme já foi citado, os trabalhos consultados a utilizam por ser mais difundida do que a 3.11. Destaca-se que os resultados obtidos pelas duas equações possuem elevado

coeficiente de correlação (0,9978805). Os valores de R obtidos pela equação 3.9 oscilaram entre 6932.3 a 8770.6 MJ.mm/ha.h.ano.

Após a determinação dos valores de R para cada Estação, espacializou-se a informação através de um procedimento de interpolação utilizando-se o método geoestatístico *Kriging*. Como resultado, gerou-se um estrato de informação de erosividade para o Distrito Federal, conforme apresentado no cartograma 5.1. É importante ressaltar que não foram utilizados dados do entorno do Distrito Federal, apenas os dados existentes dentro do território do DF, o que pode representar imprecisão nos valores de erosividade nos limites da área de estudos.

Pode-se inferir que os maiores valores de erosividade estão relacionados às estações situadas nas áreas de chapadas, e percebe-se também que os menores índices ocorrem em áreas de relevo dissecado dos vales fluviais. Esta relação está associada às barreiras geomorfológicas que podem impedir, nas calhas, uma precipitação mais intensa do que nos topos de chapadas, o que pode ser percebido quando analisa-se o cartograma 5.1 com o Modelo Numérico do Terreno do DF (cartograma 5.2).

Cartograma 5.1 - Erosividade do Distrito Federal MJ.mm/(ha.h.ano)

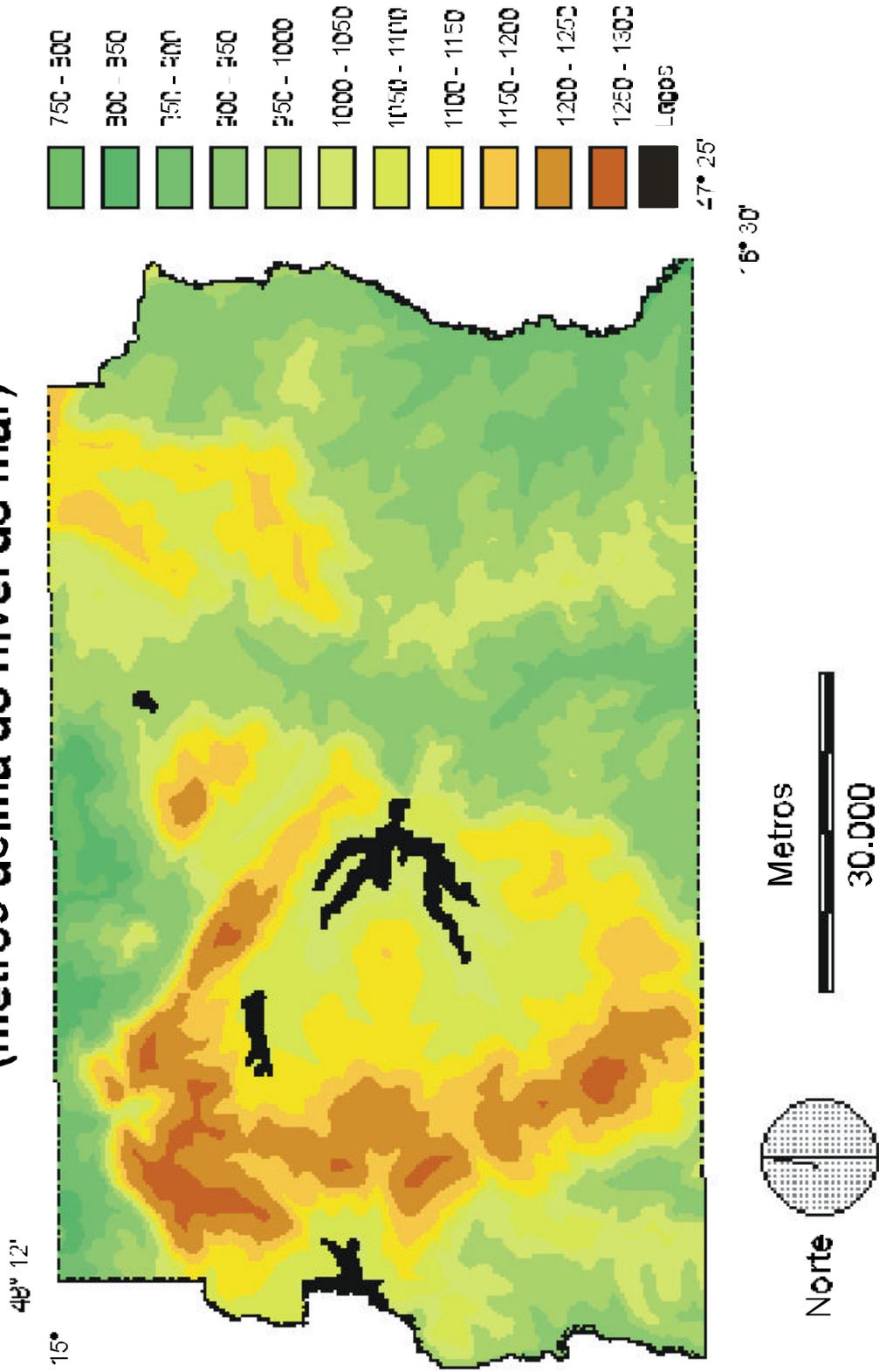


Norte

Metros

30.000

Cartograma 5.2 - Modelo Numérico do Terreno do Distrito Federal (metros acima do nível do mar)



5.2 - Erodibilidade dos solos

A espacialização de K está diretamente relacionada ao mapeamento dos solos do DF, tendo em vista que a erodibilidade é uma propriedade inerente a cada classe de solo. O que o mapa de solos difere do mapa de erodibilidade é o valor médio de K que cada classe passa a assumir. Esse valor foi determinado a partir do Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) (Figura 3.1), da equação de Roloff e Denardin (1994) (equação 3.12), da equação de Denardin (1990) (equação 3.13), da equação de Chaves (1994) (equação 3.14), baseando-se nas características e propriedades dos solos do DF, obtidos do Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978) e em Vieira e Viera (1983) apenas para o solo brunizem avermelhado. Comparou-se os resultados dos quatro procedimentos metodológicos com os valores de K obtidos para diversos solos no país, por diversos autores (tabela 5.2), para poder escolher qual método indireto adotar. O método de Roloff e Denardin (op. Cit.) baseia-se em aspectos texturais e permeabilidade, o método de Denardin (op. Cit.), baseia-se em fatores físicos e químicos, e o método de Chaves (op. Cit.), em fatores químicos e texturais. Os valores de Denardin (op. Cit.) apresentaram-se muito baixos e os de Roloff e Denardin (op. Cit.) muito elevados, quando confrontados com os valores obtidos pelos outros métodos e pelos autores utilizados para análise comparativa. Além disso, o valor de Denardin para a areia quartzosa e os valores médios de Chaves para o latossolo vermelho - amarelo apresentaram-se negativos, o que representa uma incoerência para um valor de erodibilidade. Para o DF adotou-se a erodibilidade estimada pelo nomograma de Wischmeier *et al.* (op. Cit.), baseado nos diversos perfis que compõem cada grande grupo de solo, por ser, dentre os métodos indiretos apresentados, o mais completo, pois contempla os aspectos texturais, estruturais e orgânicos, além da permeabilidade.

A tabela 5.2 expõe o valor médio de cada grande grupo, determinado pelos quatro métodos indiretos, e de outros autores, além da matriz de correlação entre os quatro métodos indiretos de determinação de K utilizados nesta dissertação.

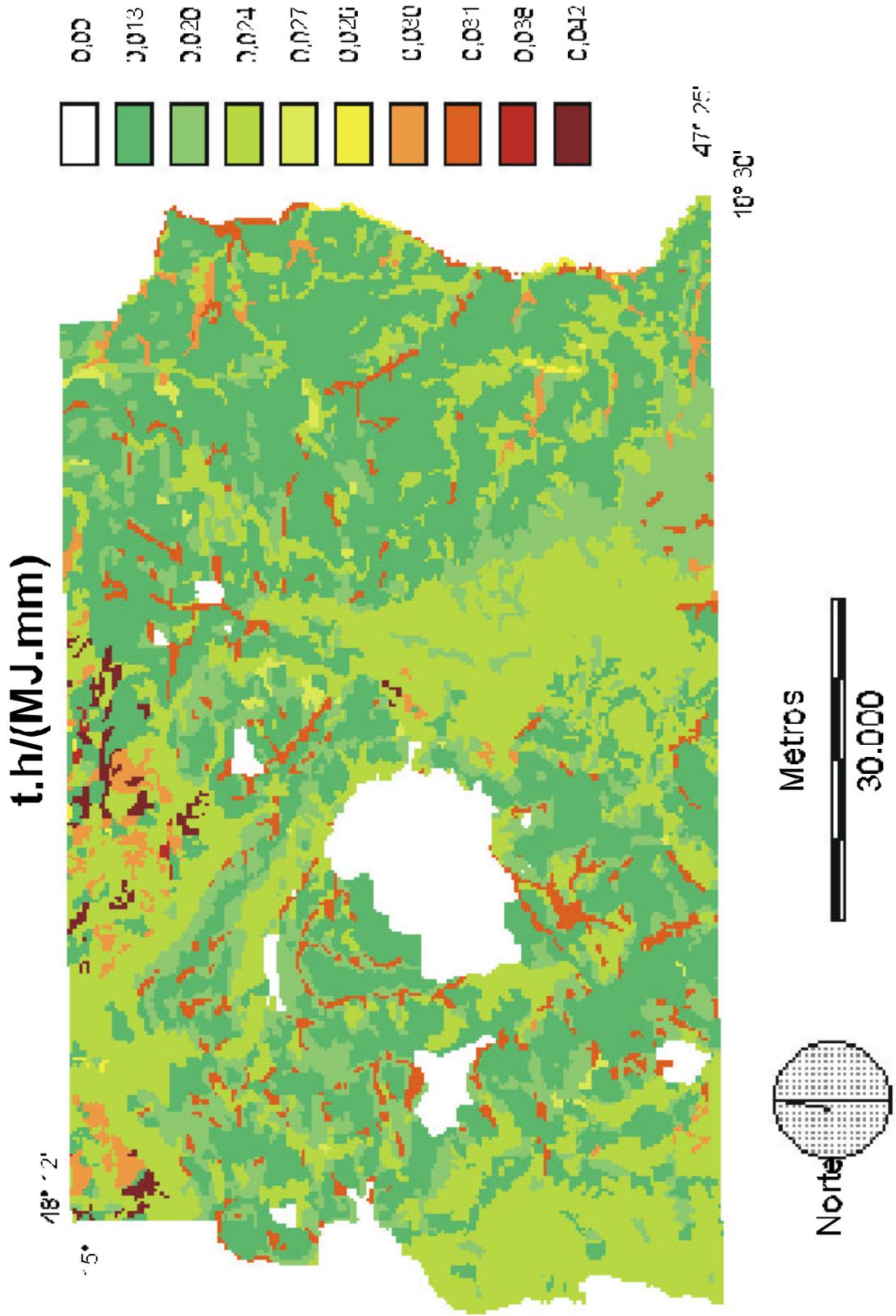
Tabela 5.2 - Erodibilidade dos solos e matriz de correlação entre os quatro métodos indiretos de determinação de K.

Grandes grupos de solos	Erodibilidade em t.h/(MJ.mm)						
	nomograma Wischmeier et al. (1971)	Roloff e Denardin (1994)	Denardin (1990)	Chaves (1994)	Freire e Pessotti (1974)	Bertoni e Lombardi Neto (1993)	Chaves (para o vale do São Francisco) (1994)
Latossolo vermelho-escuro	0,013	0,099	0,002	0,045	0,218	0,016	0,013
Latossolo vermelho-amarelo	0,020	0,084	0,002	-0,016	0,100	0,015	0,020
Podzólico vermelho-amarelo	0,042	0,175	0,005	0,097	0,386	0,032	0,029
Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico	0,030	0,222	0,006	0,163	0,155	0,055	-----
Terra roxa estruturada similar	0,013	0,170	0,006	0,113	0,030	0,018	-----
Cambissolo	0,024	0,189	0,008	0,099	-----	-----	0,060
Aluviais	0,029	0,205	0,004	0,108	-----	-----	0,047
Hidromórficos indiscriminados	0,031	0,125	0,006	0,312	0,170	-----	0,008
Areia quartzosa	0,027	0,060	-0,0002	0,028	-----	-----	0,078
Brunizem avermelhado	0,038	0,208	0,004	0,070	-----	-----	-----
Matriz de Correlação entre os quatro métodos indiretos para K			nomograma Wischmeier et al. (1971)	Roloff e Denardin (1994)	Denardin (1990)	Chaves (1994)	
nomograma Wischmeier et al. (1971)			1				
Roloff e Denardin (1994)			0,41	1			
Denardin (1990)			0,151	0,725	1		
Chaves (1994)			0,271	0,324	0,615	1	

Pode-se notar, a partir da análise da tabela 5.2, que os valores do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), são os que mais se aproximam dos valores obtidos por Bertoni e Lombardi Neto (1993), que foram determinados em laboratório, e aos que Chaves (1994) calculou para o vale do rio São Francisco. No caso dos latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, os valores obtidos por meio do nomograma e os obtidos por Chaves (*op. Cit.*) para o vale do São Francisco, são os mesmos. Por esse motivo, pelos baixos coeficientes de correlação entre os quatro métodos e por ser o mais completo dos métodos indiretos utilizados para os perfis do DF, descritos no Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978), os valores obtidos pelo método nomogrâmico foram os utilizados nesta dissertação. É importante salientar que recomenda-se a utilização do nomograma, exceto quando experimentos locais indicarem os valores de K.

Após a etapa de determinação do valor médio de K, atribuiu-se valores aos grandes grupos de solos, gerando-se o parâmetro erodibilidade, para ser cruzado com os outros componentes da USLE (cartograma 5.3).

Cartograma 5.3 - Erodibilidade do Distrito Federal



- Comprimento de rampa

O comprimento de rampa foi calculado a partir do método do retângulo equivalente utilizado para calcular o índice extensão média do escoamento sobre os terrenos (equação 3.15), entendido como o comprimento médio das rampas para cada bacia. Utilizou-se um plano de informações contendo a hidrografia (cartograma 5.4) subdividido em duas classes: bacias e rios, na escala 1:100.000, baseado no Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento do DF (IEMA/SEMATEC, 1994). Calculou-se a área das bacias hidrográficas através do módulo AREA, do IDRISI, e o comprimento total dos cursos d'água, através da divisão do perímetro da classe rios (módulo PERIM) por dois pois, como os rios são formas alongadas, a metade do perímetro representa o comprimento. O passo seguinte foi a utilização dos valores de área das bacias e do comprimento total dos cursos, na equação 3.15, e os resultados podem ser observados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Comprimento médio das rampas (L) por bacia hidrográfica do DF

Bacia	Área (km ²)	Comprimento total dos rios (km)	Comprimento médio das rampas - L (km)
Corumbá	285,1425	111,0000	0,642
Descoberto	789,5025	369,7498	0,534
Maranhão	776,1375	301,0483	0,645
Paranoá	1007,505	418,3503	0,602
Preto	1329,615	489,6012	0,679
São Bartolomeu	1572,885	566,1048	0,695
São Marcos	53,2125	12,4499	1,069

Após a realização dos cálculos apresentados na tabela 5.3, representou-se espacialmente os valores de comprimento médio das rampas, em km, através do módulo ASSIGN, do IDRISI, para que cada uma das bacias do SGIRH/DF tivesse como identificador o valor do comprimento médio das rampas correspondente, conforme pode ser visto no cartograma 5.5.

É importante ressaltar que o valor médio dos comprimentos de rampa, por bacia hidrográfica, oscila de acordo com a escala adotada. Para comprovar esta afirmação, foram realizados novos cálculos em três bacias (Paranoá, Preto e São Marcos), utilizando-se para este fim

a rede de drenagem na escala 1:10.000. Como resultado, percebe-se o aumento do comprimento total dos rios, tendo como conseqüência a redução do comprimento médio das rampas, conforme pode ser visualizado na tabela 5.4. Porém, esse adensamento, no formato matricial (raster), para algumas bacias com áreas de dissecação bastante trabalhadas, torna inviável o cálculo do comprimento total dos cursos de água, pois os mesmos perdem suas formas, e a metade do perímetro não mais representará o comprimento, pois as formas deixam de ser alongadas, sendo uma restrição do *software* IDRISI, cujas operações ocorrem apenas nos planos no formato raster. Esse cálculo somente foi possível nas bacias descritas na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Comprimento médio das rampas (L) com aumento da densidade de drenagem

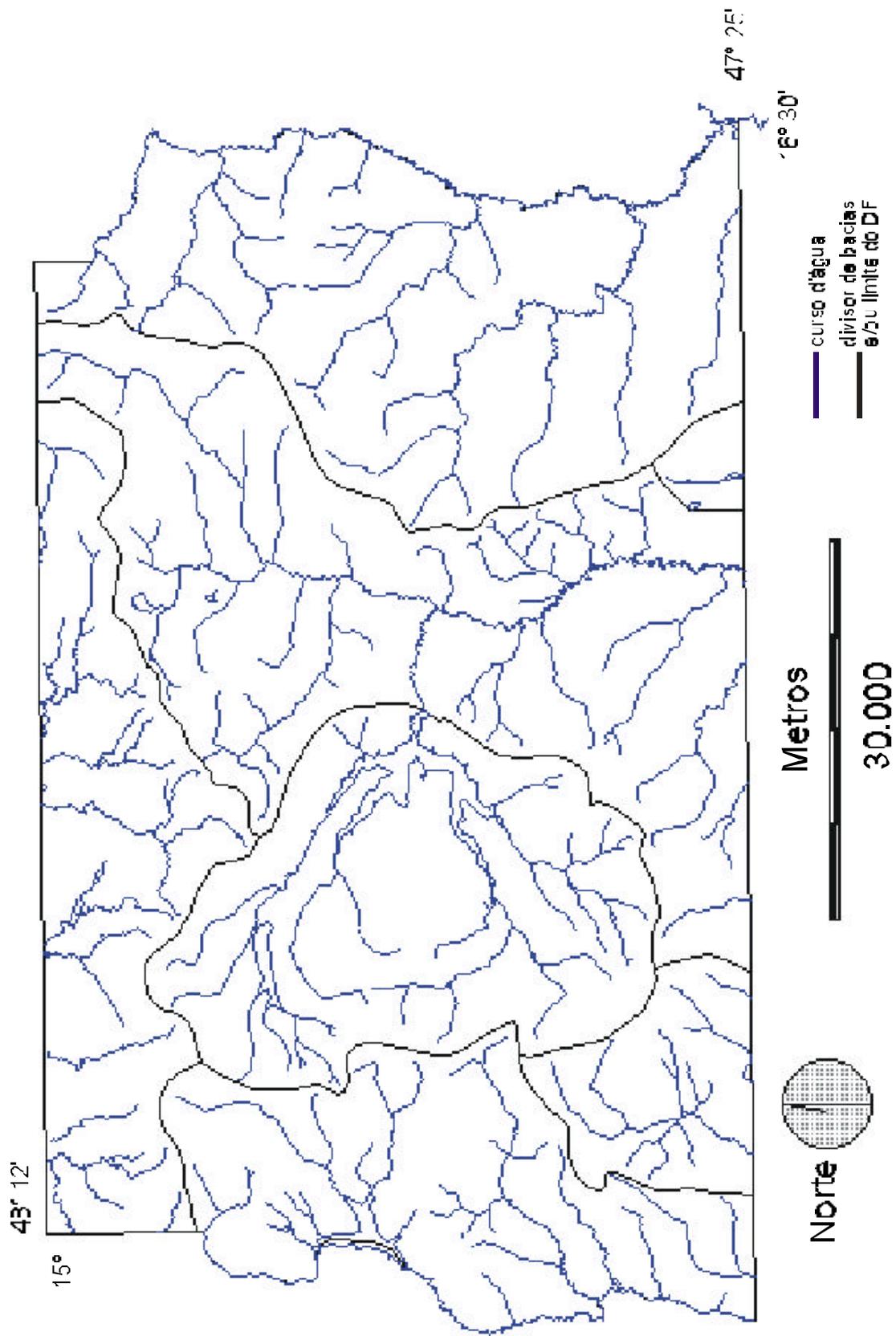
Bacia	Área (km ²)	Comprimento total dos rios (km)	Comprimento médio das rampas - L (km)
Paranoá	1004,805	711,7723	0,353
Preto	1326,915	1074,8030	0,309
São Marcos	50,5125	23,7000	0,533

Esse aumento de densidade de drenagem visa simular o que ocorre quando se aumenta a escala de trabalho. Como conseqüência direta, o grau de detalhamento é ampliado, e as feições da rede de drenagem são realçadas. Como essa dissertação baseia-se em documentos cartográficos na escala 1:100.000, adotou-se os resultados da tabela 5.3, pois a mesma apresenta os valores obtidos no grau de detalhamento 1:100.000, enquanto que a escala adotada nos cálculos da tabela 5.4 é 1:10.000.

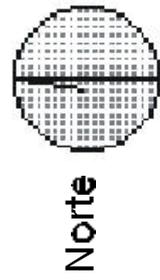
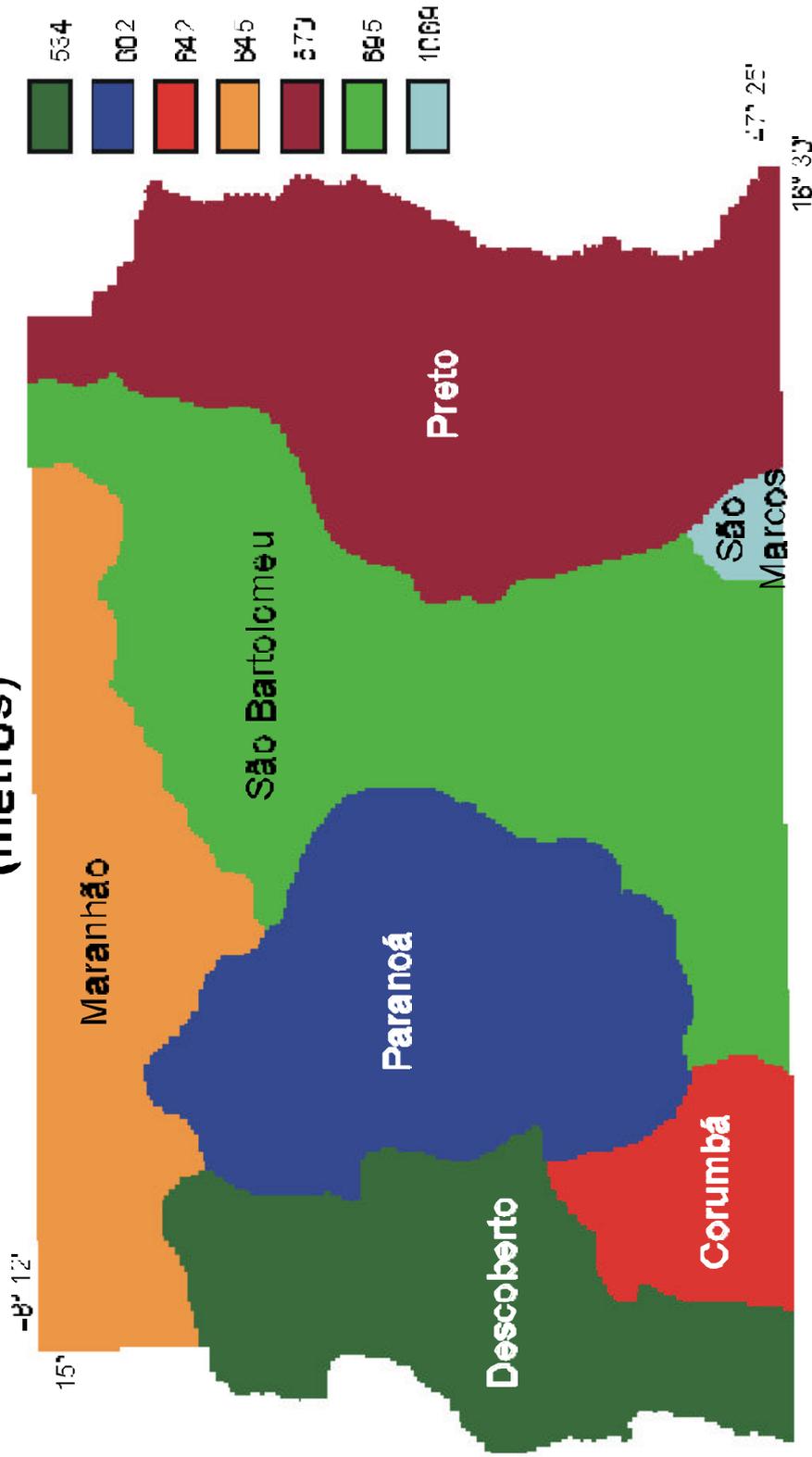
Cabe salientar que o comprimento de rampa é o único dos fatores componentes da USLE que não foi discretizado, ou seja, assumiu-se um valor médio para toda a bacia, o que não representa a realidade, pois dentro de uma área de drenagem existem diversos comprimentos de rampa. Entende-se que em uma mesma vertente, dependendo da direção preferencial de fluxo (aspecto - cartograma 5.6), ocorrem simultaneamente os processos de erosão e deposição (Stein *et al.*, 1987), ou seja, para que a perda de solo por erosão laminar seja realmente estimada através da USLE, é necessário que seja calculado o comprimento de rampa para cada uma das direções de fluxo de escoamento superficial (apresentadas no cartograma 5.6), pois assim ter-se-á esse fator distribuído. A dificuldade encontrada para obter o comprimento de rampa através do mapa de

aspecto, foi o desenvolvimento de um algoritmo que analise as formas irregulares das classes de aspecto.

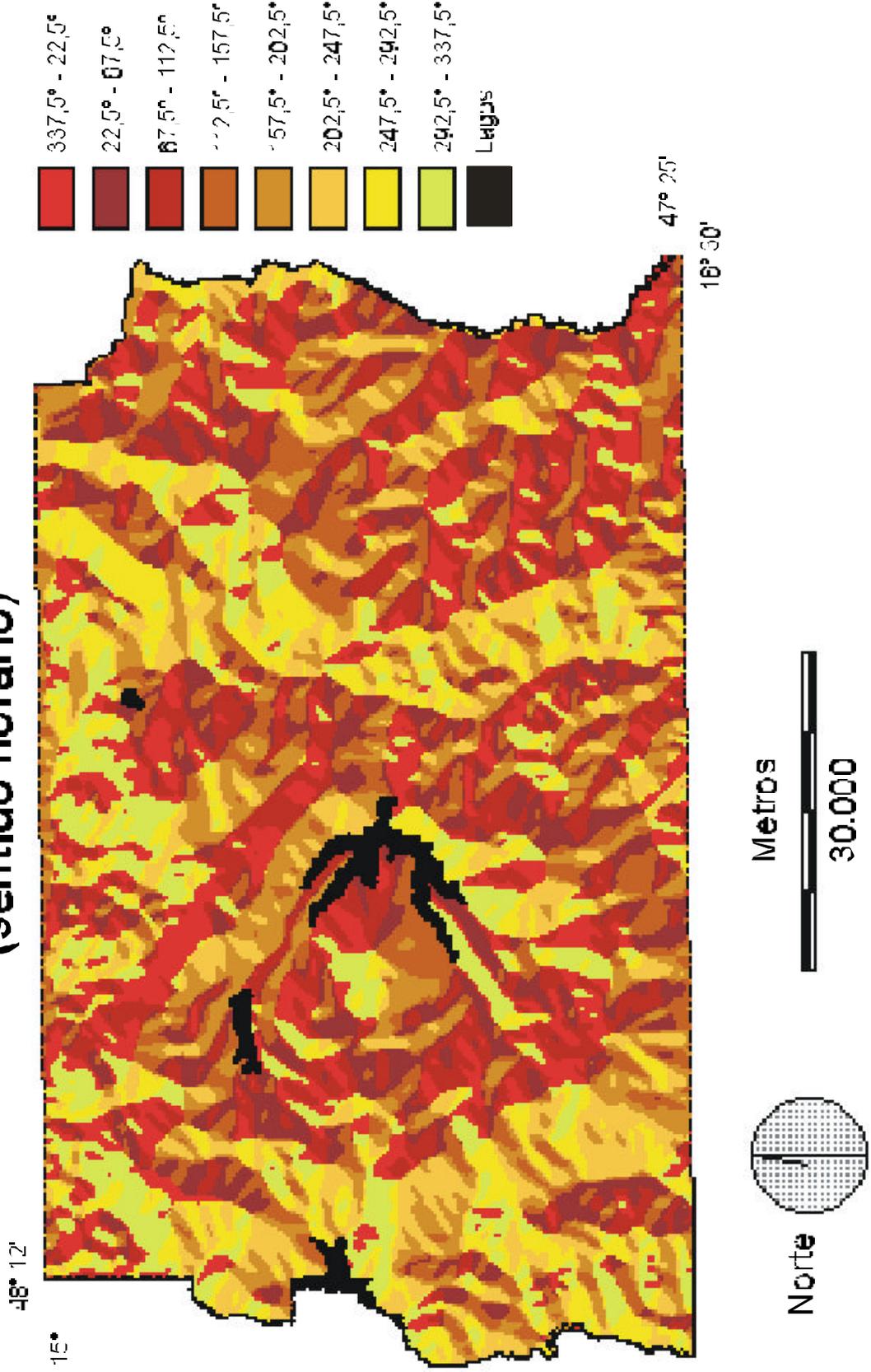
Cartograma 5.4 - Hidrografia do Distrito Federal



Cartograma 5.5 - Comprimento de Rampa das Bacias Hidrográficas do Distrito Federal (metros)



Cartograma 5.6 - Aspecto do Distrito Federal (sentido horário)



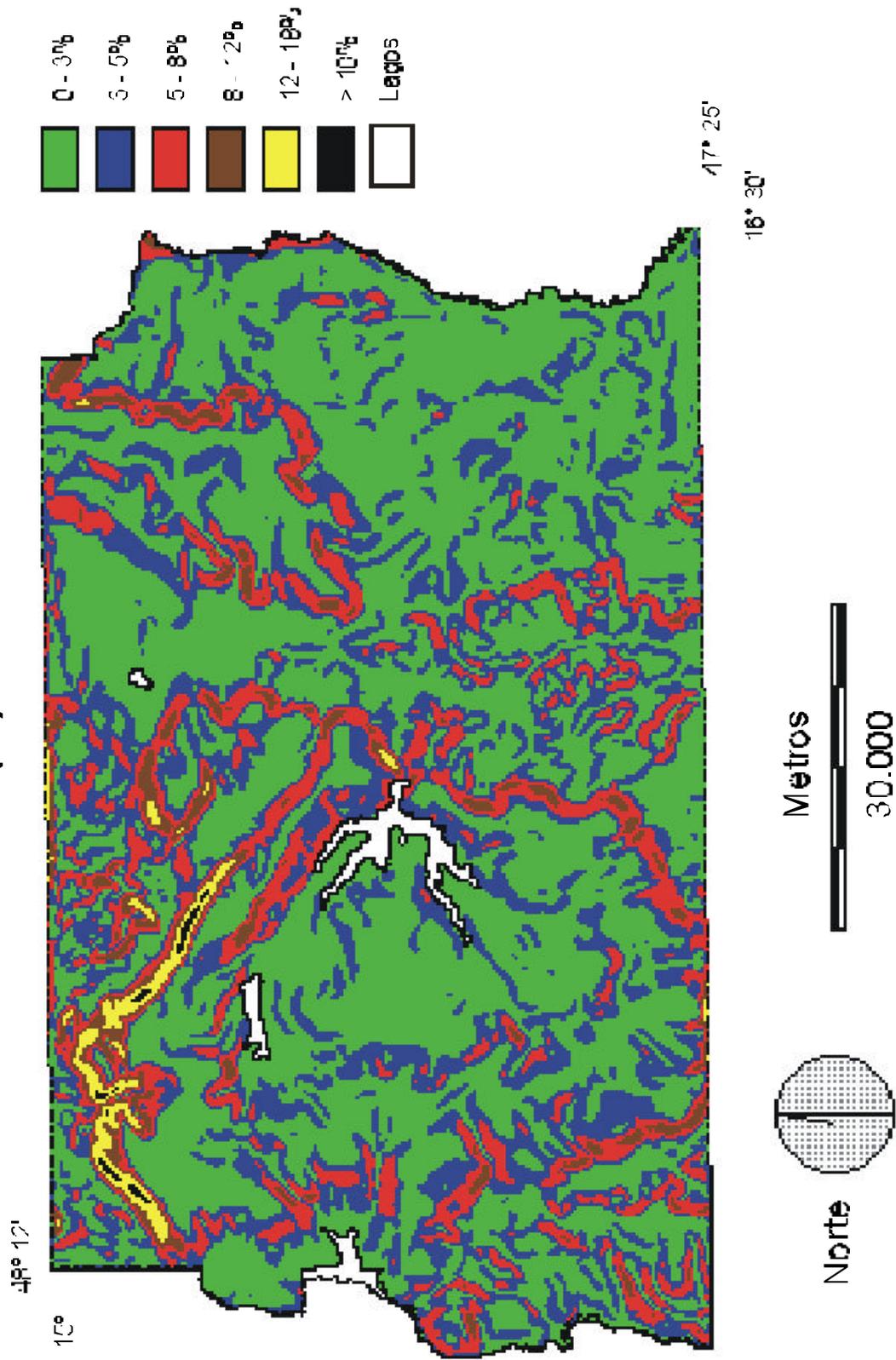
5.4 - Declividade

O plano de informação de declividade foi obtido a partir do MNT, interpolado com o método *kriging*. O IDRISI, possui um módulo chamado SURFACE, e uma opção SLOPE, que, em função do modelo numérico do terreno, calcula as diversas classes de declividade, em graus ou em porcentagem. Utilizou-se a opção de porcentagem, gerando um mapa que foi reclassificado de acordo com o critério adotado por Sano *et al.* (1993) que consiste em agrupar as porcentagens de declividade em classes de 0 a 3%, 3 a 5%, 5 a 8%, 8 a 12%, 12 a 18% e maiores que 18%, tendo como resultado o cartograma 5.7.

A partir da elaboração do mapa de declividade pode-se inferir a respeito de sua coerência, pois analisado-se o MNT (cartograma 5.2) com o plano aspecto (cartograma 5.6), pode-se perceber que os maiores valores de declividade ocorrem justamente no contato da chapada da Contagem com a região de vale dissecada da bacia do rio Maranhão, onde a ruptura de relevo mostra-se bastante acentuada, como uma típica região de rebordo de dissecção. Há um predomínio de baixas declividades, porém nos contatos das estruturas tabulares, com os vales dissecados, essa porcentagem de declividade acentua-se, conforme pode-se perceber no contato das bordas das chapadas do Pipiripau com o vale do São Bartolomeu, da Contagem, no semi-domo do Paranoá em direção ao lago, atingindo, em alguns pontos valores situados entre 8 e 18%.

Após do cálculo dos comprimentos médios de rampas para cada uma das bacias hidrográficas e da declividade, em %, para todo o Distrito Federal, realizou-se a integração desses dois planos de informação, obtendo-se o mapa do fator topográfico da USLE, LS, através da equação 3.18. O mapa resultado possui o mesmo formato, a mesma distribuição espacial da declividade, pois a mesma é distribuída espacialmente, enquanto que o comprimento de rampa é somente um valor médio, por bacia. O produto LS é apresentado no cartograma 5.8.

Cartograma 5.7 - Declividade do Distrito Federal (%)



5.5 - Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas

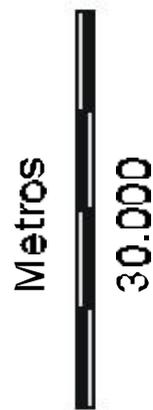
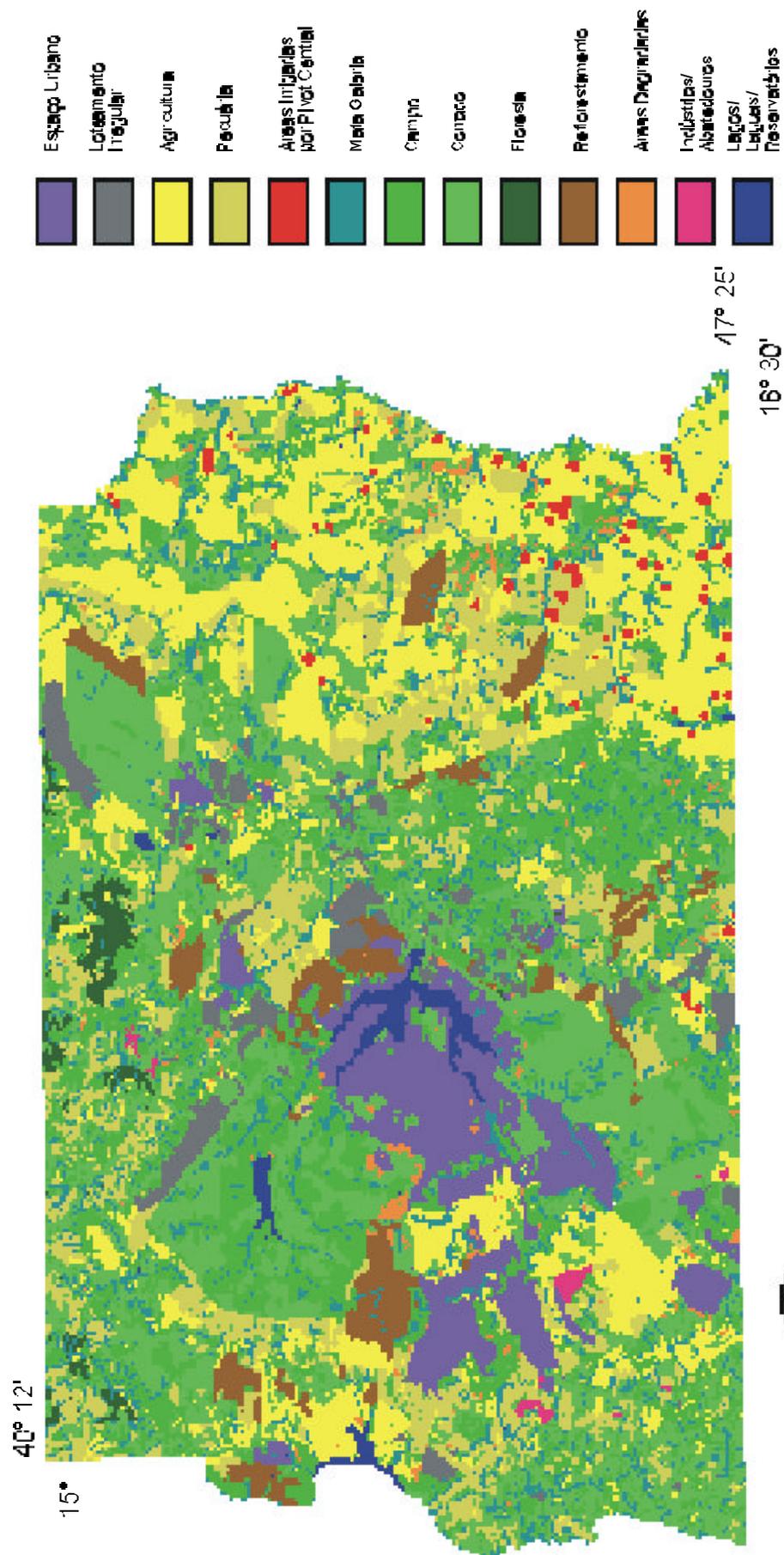
A adoção da integração dos fatores antrópicos da USLE, uso e manejo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P) foi proposta por Stein *et al.* (1987), visando a obtenção dos mesmos a partir o uso e ocupação do solo. Partindo-se dessa proposta adotou-se um valor médio dos diversos valores de CP para agricultura e para pecuária, um valor unitário para as áreas degradadas, além da adoção dos valores da tabela 3.4, conforme pode ser observado na tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Valores de CP para as diversas classes de uso e ocupação do solo

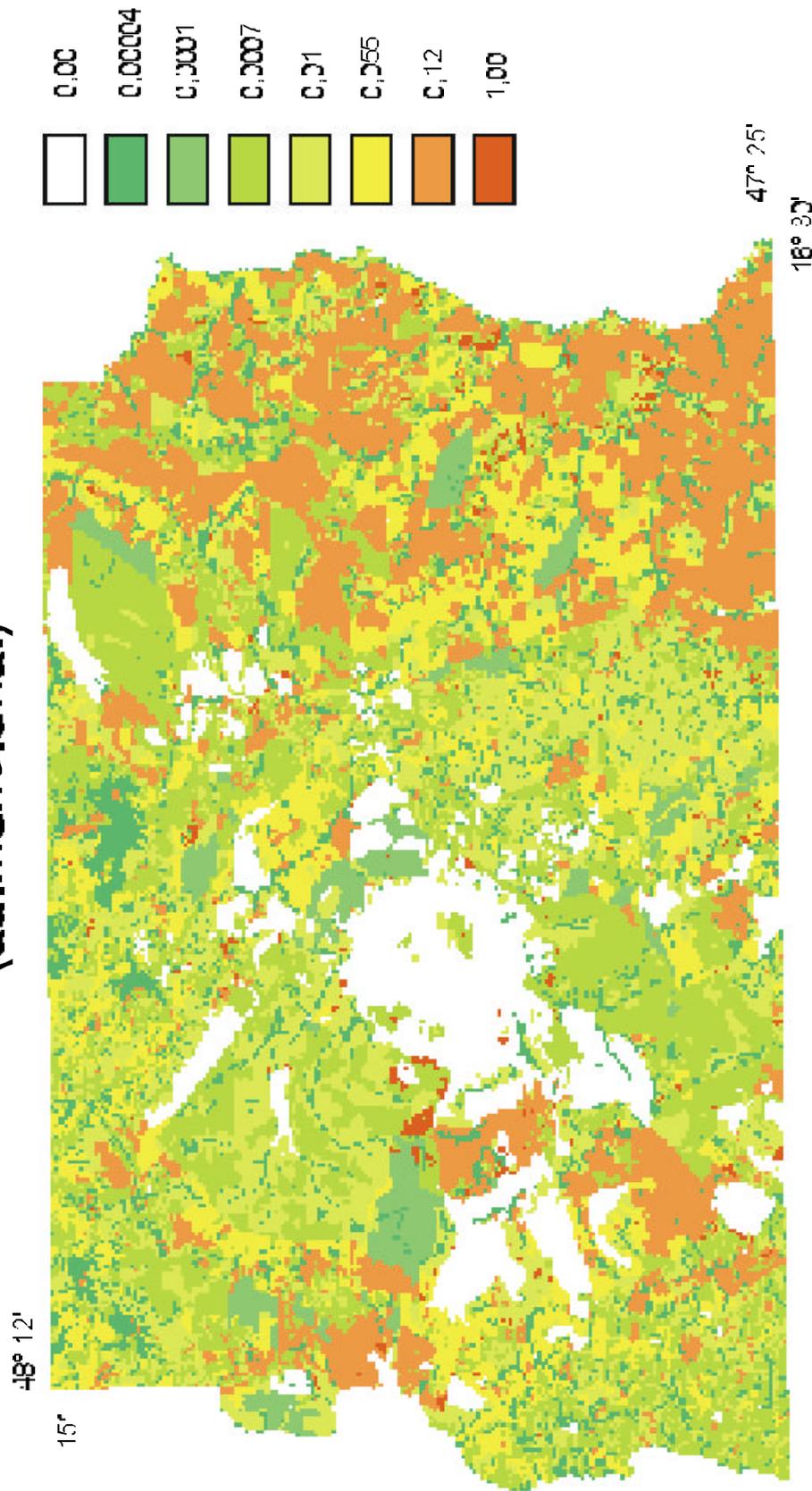
Uso e ocupação do solo	CP
Espaço urbano consolidado	0,00000
Loteamento irregular	0,00000
Agricultura	0,12000
Pecuária	0,05500
Áreas irrigadas por pivot central	0,12000
Mata galeria	0,00004
Campo (limpo/sujo/úmido)	0,01000
Cerrado (sentido restrito)	0,00070
Floresta (cerradão/mata mesofítica)	0,00004
Reflorestamento	0,00010
Áreas degradadas (cascalheira/areal/aterro/áreas de empréstimo)	1,00000
Indústrias/abatedouros	0,00000
Lagos/lagoas/reservatórios	0,00000

A partir da determinação dos valores de CP para cada uso e ocupação do solo, foi realizada a atribuição dos mesmos às classes do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal (IEMA/CODEVASF, 1994) (cartograma 5.9), através do módulo ASSIGN, do IDRISI, obtendo-se um mapa de CP, entendido como um plano de uso e ocupação do espaço, que influencia na perda de solo por erosão laminar, conforme o cartograma 5.10.

Cartograma 5.9 - Uso e Ocupação do Solo do Solo do DF, 1994



Cartograma 5.10 - Fator CP do Distrito Federal (adimensional)



5.6 - Perda de solo

Essa análise qualitativa, baseada em valores calculados, acaba sendo uma forma de interpretar os dados obtidos através da integração dos fatores da USLE, pois, o resultado é uma espacialização da perda de solo, porém o modelo não é totalmente discretizado. Por exemplo: multiplicando-se os limites superiores de todas as variáveis da USLE para o DF, obtêm-se um valor de 7.725,74 t/ha.ano, porém para que essa perda ocorra na área de estudos é necessário que pelo menos um ponto do terreno possua as características mais críticas de perda de solo, além de ser um valor super estimado. Isto não aconteceu no DF, ou seja, em nenhum pixel encontrou-se os limites superiores das variáveis da USLE, porém, um pixel situado no rebordo da chapada da Contagem em direção ao vale dissecado do Maranhão apresentou o valor de 3.454 t/ha.ano, sendo este o maior valor encontrado. Como os valores absolutos calculados não foram calibrados por experimentos de campo, não podem ser confrontados com a realidade. O resultado da multiplicação das variáveis da USLE, foi reclassificado nos intervalos de 0 - 1, de 1 - 5, de 5 - 10, de 10 - 15, de 15 - 20, de 20 - 25, de 25 - 30 e maior que 30 t/(ha.ano) conforme apresentado no cartograma 5.11.

5.7 - Limite de Tolerância

A metodologia adotada nesta dissertação visa discretizar espacialmente as áreas com impactos por perda de solo, e a USLE permite que se tenha uma noção de onde estão estas áreas. Para que a análise fosse quantitativa, seria necessário a adoção de experimentos que pudessem calibrar os resultados obtidos.

Para a determinação do zoneamento determinado por perdas de solo do Distrito Federal, é necessário a reclassificação do cartograma 5.11, e para tal é importante que haja critérios definidos. Lombardi Neto e Bertoni (1975.b) analisam a tolerância de perda de solo, como sendo a “intensidade máxima de erosão de solo que permitirá a um elevado nível de produtividade, manter-se econômica e indefinidamente”. Essa tolerância é função dos fatores profundidade dos horizontes A e B, e da relação textural da argila entre os horizontes superficiais e os subsuperficiais. Através da descrição dos perfis do DF, apresentada no Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978), pôde-se calcular a tolerância de cada solo do DF, através da equação 3.19, conforme pode ser observado na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Valores de tolerância de perdas para cada grande grupo de solo do DF

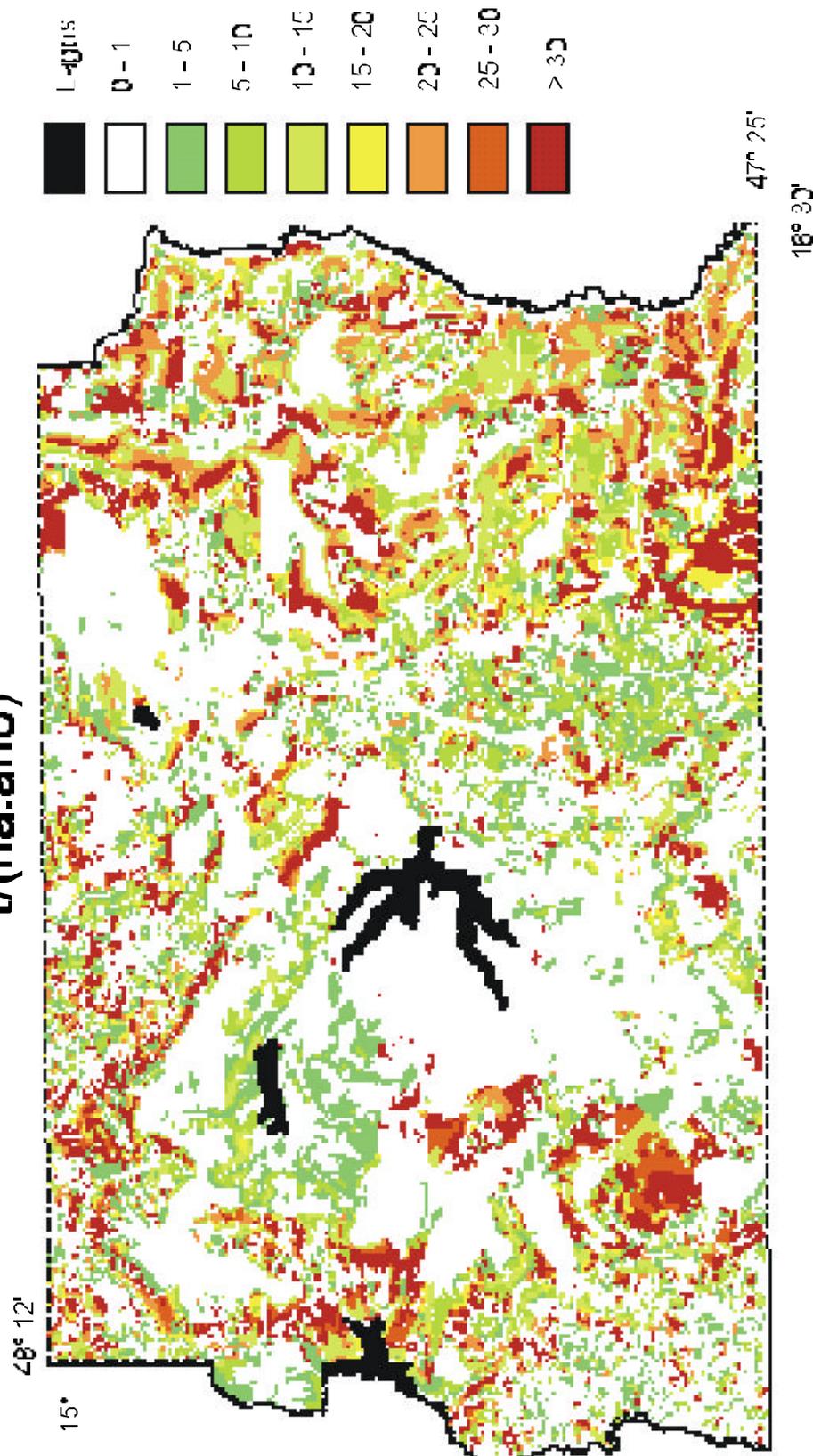
Grande grupo	Tolerância (t/ha.ano)
Latossolo vermelho-escuro	22,90
Latossolo vermelho-amarelo	13,38
Podzólico vermelho-amarelo	14,45
Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico	10,97
Terra roxa estruturada similar	10,83
Cambissolo	10,85
Aluviais	20,06
Hidromórficos indiscriminados	16,96
Areia quartzosa	17,39
Brunizem avermelhado	13,38

Cada um dos grandes grupos de solo foi isolado, através do módulo ASSIGN e serviu como máscara (o valor da classe igual a 1, e o restante dos solos iguais a zero) para, quando multiplicado pelo mapa de perda de solo (cartograma 5.11), apresentar somente as perdas ocorridas em um tipo de solo. Foram gerados portanto dez mapas com as perdas, por grande grupo de solo, e os mesmos foram reclassificados de acordo com os limites de tolerância calculados para cada tipo de solo (tabela 5.6), obtendo-se um mapa com três classes distintas: perdas nulas ou incipientes, perdas dentro do limite de tolerância e perdas acima do limite de tolerância, conforme pode ser visto no cartograma 5.12.

A adoção da tolerância de perda de solo, como parâmetro de reclassificação do mapa de perda de solo, é fundamental para a proposição de um diagnóstico agrônomo quando a tolerância é vista como o limite aceitável de perdas que não compromete a possibilidade do solo produzir agricolamente. Para um diagnóstico ambiental num sentido mais amplo, seria necessário identificar a resiliência ou limite máximo de impactos que o ecossistema pode sofrer sem que os danos se tornem irreversíveis. Portanto, o diagnóstico ambiental produzido nesta dissertação está intimamente vinculado à questão agrônoma permitindo, outrossim, a discretização espacial das perdas laminares de solo, e o direcionamento de ações com vistas a um planejamento conservacionista.

Cartograma 5.11 - Perda de Solo do Distrito Federal

t/(ha.ano)



5.8 - Profundidade dos solos

Para propor um diagnóstico ambiental por perdas de solo, é necessário cruzar o mapa de perda reclassificado pela tolerância com o mapa de solos reclassificado por profundidade, pois a perda em solos profundos é bem menos crítica do que em um solo raso.

Pensando nisso, os grandes grupos de solo foram reagrupados de acordo com suas profundidades, descritas no Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978), conforme pode ser visto na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Classes de profundidade dos grandes grupos de solo

Grande grupo de solo	Classe de Profundidade
Latossolo vermelho-escuro	muito profundo
Latossolo vermelho-amarelo	profundo
Podzólico vermelho-amarelo	profundo
Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico	profundo
Terra roxa estruturada similar	profundo
Cambissolo	raso
Aluviais	raso
Hidromórficos indiscriminados	pouco profundo
Areia quartzosa	profundo
Brunizem avermelhado	pouco profundo

Como resultado obteve-se um mapa de solos reclassificado por profundidade apresentado no cartograma 5.13.

5.9 - Zoneamento determinado por Perdas de Solo do Distrito Federal

O zoneamento ambiental proposto nesta dissertação é fruto da análise, através do método de classificação por tabulação cruzada, que pode ser entendida como a superposição de dois planos de informação, através de todas as combinações booleanas “E” possíveis. Esse tipo de classificação é na verdade um procedimento de multiplicação de dois planos, porém a diferença está na legenda apresentada, que discretiza qual é a combinação entre as classes dos dois mapas. Foi realizada a classificação por tabulação cruzada entre os planos perdas reclassificadas por tolerância

(cartograma 5.12) e solos reclassificados por profundidade (cartograma 5.13), gerando o resultado apresentado no cartograma 5.14.

A tabela 5.8 apresenta a explicação das classes não nulas geradas na classificação por tabulação cruzada entre tolerância e profundidade.

Tabela 5.8 - Classes obtidas por classificação por tabulação cruzada entre tolerância e profundidade

Classe	tolerância profundidade
1: 0 0	—————
2: 0 1	—————
3: 1 1	perda dentro do limite de tolerância e solos rasos
4: 2 1	perda acima do limite de tolerância e solos rasos
5: 0 2	—————
6: 1 2	perda dentro do limite de tolerância e solos pouco profundos
7: 2 2	perda acima do limite de tolerância e solos pouco profundos
8: 0 3	—————
9: 1 3	perda dentro do limite de tolerância e solos profundos
10: 2 3	perda acima do limite de tolerância e solos profundos
11: 0 4	—————
12: 1 4	perda dentro do limite de tolerância e solos muito profundos
13: 2 4	perda acima do limite de tolerância e solos muito profundos

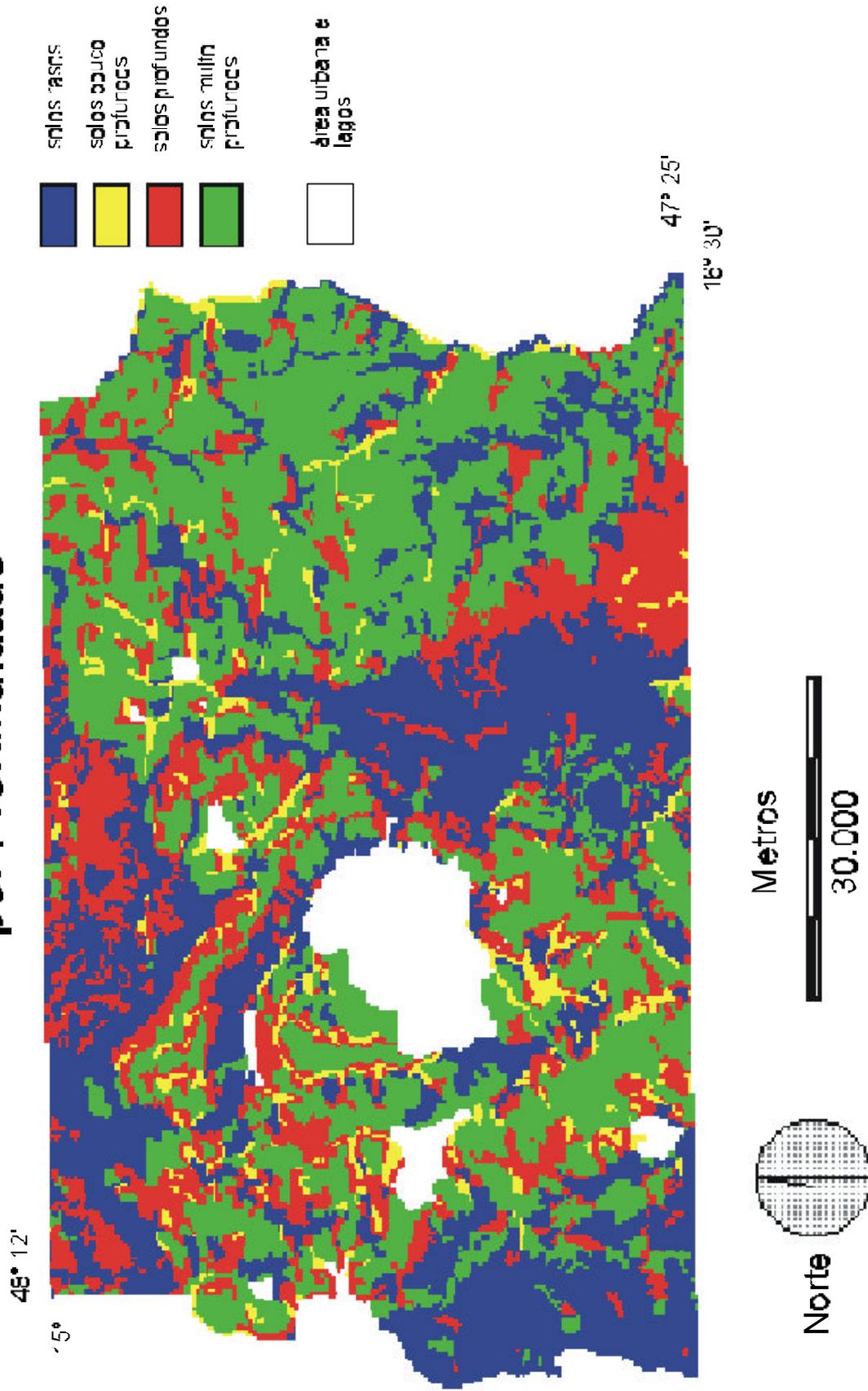
Para melhor apresentação dos resultados, o cartograma da classificação por tabulação cruzada foi reclassificado, baseando-se nos critérios definidos na tabela 5.9

Tabela 5.9 - Critérios de reclassificação do cartograma resultado da classificação por tabulação cruzada

Classe	Classes da tabulação
0 - Perda nula ou incipiente	0
1 - Perdas dentro do limite de tolerância em solos muito profundos	12
2 - Perdas dentro do limite de tolerância em solos profundos	9
3 - Perdas dentro do limite de tolerância em solos pouco profundos	6
4 - Perdas dentro do limite de tolerância em solos rasos	3
5 - Perdas acima do limite de tolerância em solos muito profundos	13
6 - Perdas acima do limite de tolerância em solos profundos	10
7 - Perdas acima do limite de tolerância em solos pouco profundos	7
8 - Perdas acima do limite de tolerância em solos rasos	4

Após a reclassificação apresentada na tabela 5.8, obtêm-se o cartograma 5.15, como resultado, que expressa o zoneamento determinado pela perda de solo do Distrito Federal.

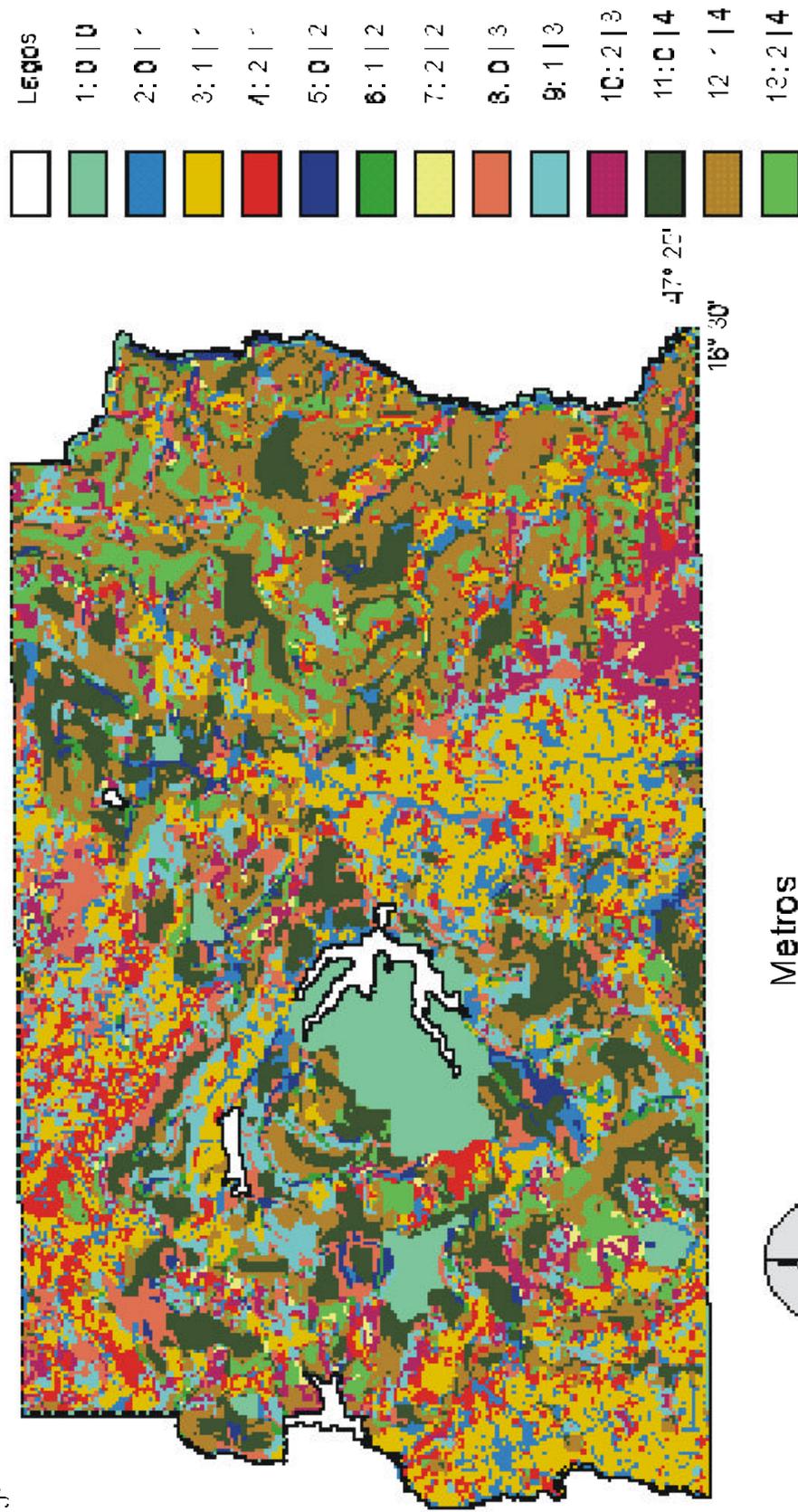
Cartograma 5.13 - Solos do DF, Reclassificados por Profundidade



Cartograma 5.14 - Resultado da Classificação por Tabulação Cruzada entre Perdas Reclássificadas por Tolerância e Solos Reclássificados por Profundidade

18° 12'

15°



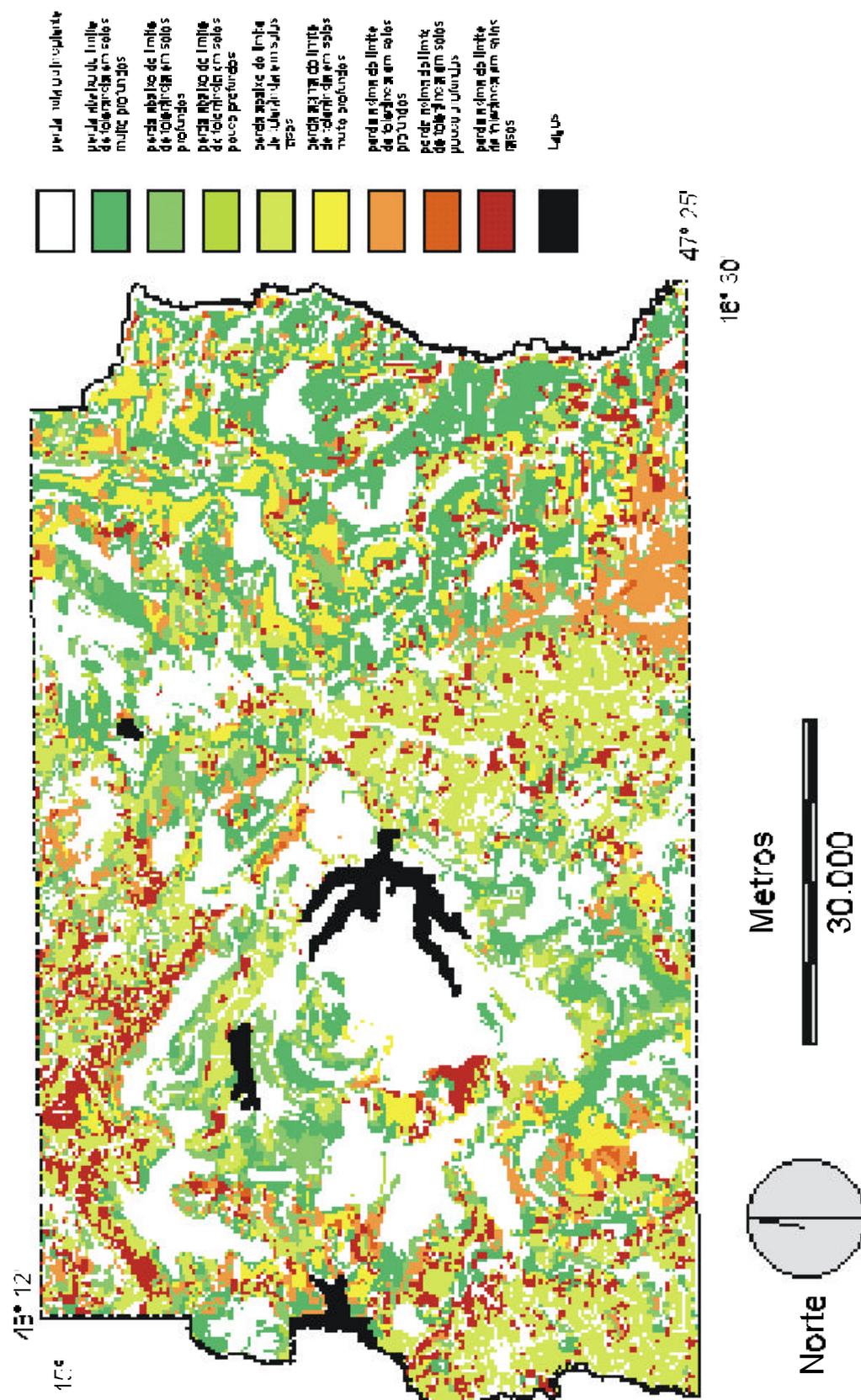
47° 25'

16° 30'



Metros
30.000

Cartograma 5.15 - Zoneamento Ambiental do DF, Determinado pelas Perdas de Solo



5.10 - Impactos ambientais por perda de solo no Distrito Federal

As quatro últimas classes do mapa do zoneamento determinado pela perda de solo do Distrito Federal (cartograma 5.15) são as que realmente interessam na análise de impactos ambientais por perda de solo, pois estão acima do limite de tolerância, ou seja, ultrapassaram a resiliência agronômica, o que representa preocupação sob o ponto de vista conservacionista, tendo em vista que a taxa de remoção de solo é superior ao tolerável e, teoricamente os processos de pedogênese não conseguiriam repô-la naturalmente. Serão necessárias medidas de recuperação para que essa perda deixe de ser impactante. Esse diagnóstico ambiental é viável, pois tem como base a Equação Universal de Perda de Solo, difundida mundialmente e que alguns autores (Rosa, 1995; Chaves *et al.*, 1995; Chaves *et al.*, 1996; Scopel *et al.*, 1989; Risso, 1987; Stein *et al.*, 1987) utilizaram-na por meio de geoprocessamento para pequenas escalas. Além de sua larga utilização, a USLE possui em sua estrutura praticamente todas as variáveis que realmente influenciam na erosão laminar (Stein *et al.*, 1987). Reclassificando seu resultado a partir da tolerância à perda e cruzando com a profundidade dos solos é possível zonestar o território, de acordo com os diferentes graus de susceptibilidade e ainda perceber quais são as áreas que extrapolam suas capacidades de sofrer perdas, caracterizando-se assim os impactos ambientais ocasionados pela erosão laminar.

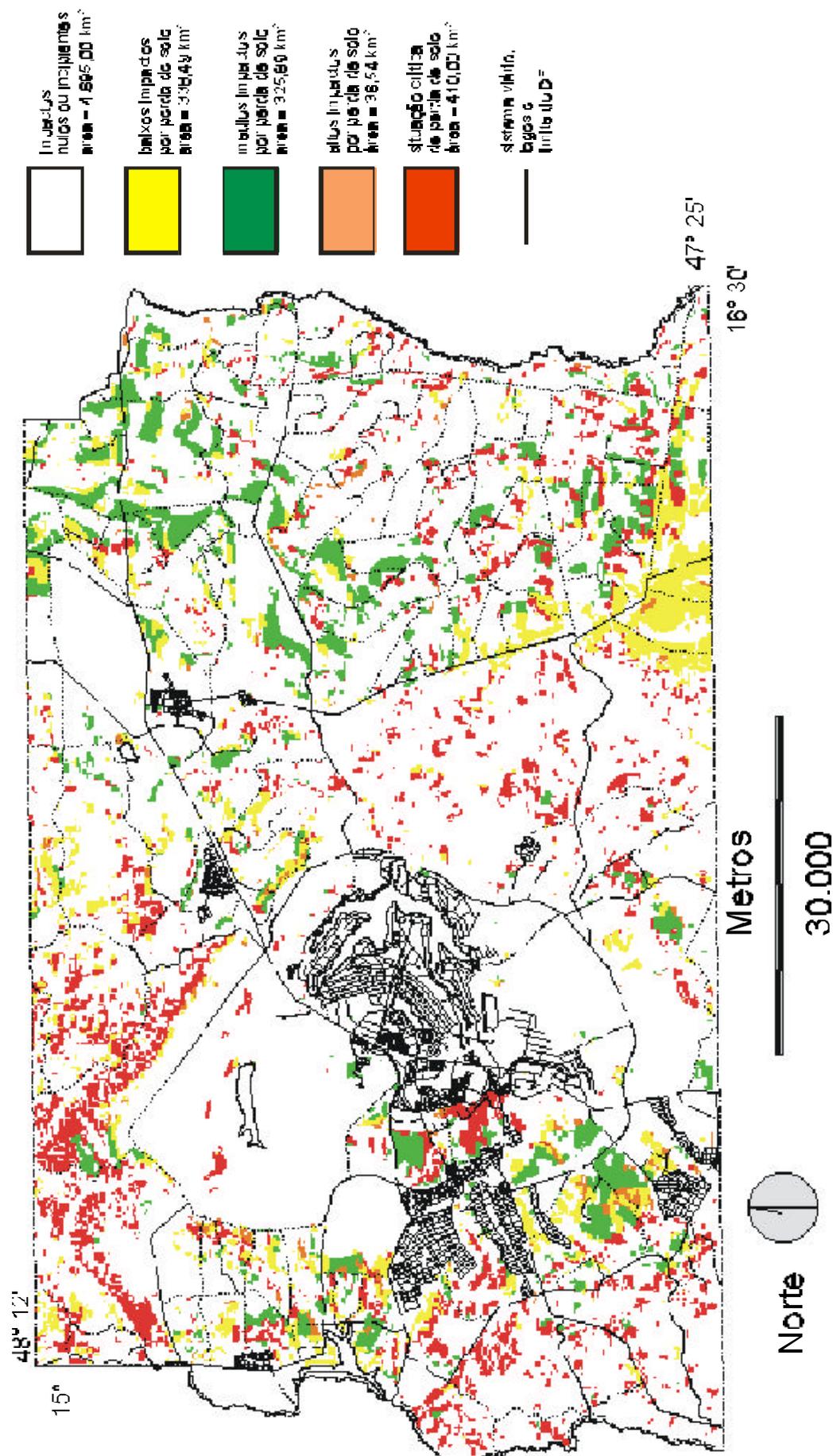
O plano impactos ambientais por perda de solo no Distrito Federal foi obtido a partir da reclassificação do mapa de zoneamento determinado pela perda de solo, adotando-se quatro classes, que extrapolam o limite de tolerância à perda de solo, expressa na tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Critérios para a reclassificação do cartograma 5.15

Classes	Classes do cartograma 5.15
0 - sem impactos por perda de solo	0, 1, 2, 3, 4
1 - baixos impactos por perda de solo	5
2 - médios impactos por perda de solo	6
3 - altos impactos por perda de solo	7
4 - situação crítica de perda de solo	8

O resultado pode ser visto no cartograma 5.16.

Cartograma 5.16 - Impactos Ambientais do DF, por Perda de Solo



6 - CONCLUSÕES

A presente dissertação mostra a viabilidade de se determinar os diversos fatores da Equação Universal de Perda de Solo - USLE, de Wischmeier e Smith (1978), por meio de um Sistema de Informação Geográfica, como forma de se zonear e diagnosticar qualitativamente a severidade dos impactos ambientais ocasionados pela perda de solo por erosão laminar. Esses impactos, representados pelas perdas, foram relativizados às características da profundidade dos horizontes A e B e da relação textural da porcentagem de argila no horizonte A, sobre a porcentagem de argila do horizonte B, o que permitiu definir o limite de tolerância de perda de solo para cada um de seus tipos. Relacionou-se ainda, o resultado obtido, se acima ou abaixo dessa tolerância, com a profundidade do tipo de solo em consideração.

Apesar de suas limitações no aspecto quantitativo, quando utilizada para grandes áreas, a aplicação da USLE permite identificar as perdas de solo oriundas da atual ocupação, como também possibilita simulações a partir da geração de cenários futuros. Seus parâmetros devem, ainda, passar por diversos refinamentos para melhorar a acurácia na estimativa, isto é, para a quantificação dessas perdas, como por exemplo, o desenvolvimento de algoritmos para o cálculo do comprimento de rampas, baseado no mapa de aspecto, além do desenvolvimento de métodos mais abrangentes de determinação da erodibilidade dos solos, utilizando outros parâmetros, tais como, compactação, compressibilidade, plasticidade, entre outros.

A necessidade de um estudo de campo, no caso do Distrito Federal, para calibrar o modelo, permitirá um melhor ajuste de cada parâmetro da USLE, o que aperfeiçoará o modelo para os solos tropicais e para grandes áreas, permitindo efetuar a determinação quantitativa da perda de solo. Essa etapa não foi desenvolvida no âmbito desta dissertação, portanto os resultados obtidos ainda não podem ser confrontados com a realidade.

O Distrito Federal apresenta uma realidade de impactos por perda de solos por erosão laminar. O mapa 5.14, apresentou de forma espacializada esses impactos, que, na situação mais crítica, ou seja, nas áreas com perdas acima do limite de tolerância, associadas a solos rasos, apresentaram uma área de 418,08 km². As áreas de alto impacto, que encontram-se acima do limite de tolerância, em solos pouco profundos, representaram 36,54 km² da unidade da federação,

enquanto que as de médio impacto representaram 325,89 km². Por último, as de baixos impactos ocuparam 338,49 km².

Pode-se inferir que as áreas de impacto ambiental por perda de solo no Distrito Federal ocuparam uma área de 1119,00 km², o que representa aproximadamente 19% de seu território. Esses impactos são devidos ao uso e ocupação constatados em junho de 1994 e na escala de 1:100.000.

Em função do exposto, é necessário que medidas emergenciais sejam adotadas nas áreas de situação crítica de perda laminar de solo e nas áreas de alto impacto, prioritariamente, baseadas em técnicas conservacionistas que minimizem esses impactos, além da adoção de instrumentos de gestão ambiental, tais como planos de controle ambiental e planos de recuperação de áreas degradadas. Também é necessário a adoção de políticas de manejo e conservação dos solos, que visem a disseminação de uma cultura conservacionista e planejadora dos solos, água, enfim, de todos os recursos naturais. Como as áreas degradadas e as ocupadas por agricultura são, segundo Stein *et al.*(1987) , as mais críticas para propiciar a perda laminar de solos, devem ser atendidas prioritariamente com técnicas tais como o preparo e plantio em curva de nível, manejo dos restos de cultura e principalmente o ajuste da gleba à sua capacidade de uso, de acordo com sua classe de aptidão agrícola.

Os órgãos gestores do recurso solo devem recorrer à legislações existentes e incentivos econômicos para estimular o uso e a administração sustentável dos solos, em especial da terra agricultável. Para tal, projetos - piloto devem experimentar novos métodos de uso correto dos solos, evitando ou pelo menos minimizando os impactos.

Devem ser incentivadas as pesquisas científicas, pois as mesmas são necessárias para avaliar o impacto, os riscos, os custos e os benefícios associados aos diversos usos, visando determinar a capacidade do solo, as funções dos ecossistemas e as interações entre uso e sistemas ambientais. Essas interações podem ser percebidas com maior agilidade atualmente, devido ao avanço da tecnologia e o advento da informática e dos satélites, possibilitando aos agentes decisores a obtenção de informações referenciadas geograficamente e a manipulação das mesmas, através do geoprocessamento, fornecendo subsídios para uma visão mais acessível das áreas de estudo, o que facilita a compreensão do espaço e de suas particularidades e complexidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, A.W., Chaves, I.B. e Vasques Filho, J. (1994). Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regolito eutrófico de Caruaru (PE). *Rev. Bras. Ciên. Solo*. 18, 279-283.
- Almeida, A.S. e Bettini, C. (1994). *Curso de Geoestatística Aplicada*. 1ª edição, UFRJ. Rio de Janeiro (mimeo).
- Araújo Neto, M.D. e Baptista, G.M.M. (1995). *Recursos Hídricos e Ambiente*. 1ª edição, Ed. do Autor / Colégio Objetivo de Brasília. Brasília.
- Baptista, G.M.M. (1993). Distrito Federal. *Módulo de complementação para pré - vestibulares*. 1ª edição, Colégio Objetivo de Brasília. Brasília.
- Bellinazzi Jr., R., Bertolini, D., Espindola, C.R., e Lepsch, I.F. (1991). *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso*. 2ª edição, Soc. Bras. Ciên. Solo, Campinas.
- Bengtson, R.L. e Sabbagh, G. (1990). USLE P factors for subsurface drainage on low slopes in a hot, humid climate. *Journal of Soil and Water Conservation*. July - August, 480-482.
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. (1993). *Conservação do Solo*. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F. e Benatti Jr., R. (1975). Metodologia para a determinação de perdas por erosão. *Circular nº 44*. 1ª edição, Instituto Agrônômico, Campinas.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*. 1ª edição, Clarendon Press, Oxford.
- Carvalho, G.M.B.S., Valério Filho, M. e Medeiros, J.S. (1992). Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na identificação da erosão dos solos na bacia do rio Aracoiaba - CE. *FUNCEME*. 11p.
- Carvalho, M.P., Lombardi Neto, F., Vasques Filho, J. e Catâneo, A. (1991). Correlação entre o índice de erosividade EI₃₀ médio mensal e o coeficiente de chuva do Município de Mococa - SP. *Científica*. 19:1, 1-7.
- Carvalho, N.O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. 1ª edição, CPRM - ELETROBRAS, Rio de Janeiro.

- Chaves, H.M.L. (1994.a). Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco. *Relatório final de consultoria*. CODEVASF / FAO, Brasília, 67p.
- Chaves, H.M.L. (1994.b). Novidades sobre o Water Erosion Prediction Project - WEPP. *In: Pereira, V.P., Ferreira, M. A. e Cruz, M.C.P. (Editores). Solos altamente suscetíveis à erosão*. 1ª edição, FCAV - UNESP / SBCS, Jaboticabal.
- Chaves, H.M.L., Rosa, J.W.C., Santos, M.V., Sampaio, C.M., e Mota, I.S.A. (1996). Evolução da erosão do solo no Distrito Federal no período de 1953 a 1991. *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Salvador, 5p. Anais em CD-ROM.
- Chaves, H.M.L., Silva, P.A. e Carlos, R.J. (1995). Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do vale do S. Francisco. *XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Anais*. Viçosa, 1961-1963.
- Chaves, H.M.L., Souza, M.L.P., Roloff, G. e Ihlenfeld, R.G.K. (1996). Obtenção dos valores básicos dos parâmetros de erodibilidade do modelo WEPP, de latossolo vermelho-escuro argiloso em Ponta Grossa, PR, através de técnicas de otimização. *XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo*. Águas de Lindóia, 4 p. Anais em CD-ROM.
- CODEPLAN (1975). *Diagnóstico do Espaço Natural do Distrito Federal*. 1ª edição, GDF, Brasília.
- CODEPLAN (1984). *Atlas do Distrito Federal*. 1ª edição, GDF, Brasília.
- CODEPLAN (1993). *Anuário Estatístico do Distrito Federal*. 1ª edição, GDF, Brasília.
- CODEPLAN (1995). *Estimativa da População do DF para 1996*. 1ª edição, GDF, Brasília.
- CODEPLAN (1996). *Mapa topográfico do Distrito Federal, escala 1:100.000, formato digital DXF*.
- Costa, J.B. (1991). *Caracterização e Constituição do Solo*. 4ª edição, Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa.
- Cressie, N.A.C. (1990). The origins of kriging. *Mathematical Geology*. 22, 239-252p.
- DAEE/IPT (1989). *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. 18ª ed, DAEE / IPT, São Paulo.
- Denardin, J.E. (1990). *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de Doutorado, ESALQ - USP, Piracicaba.
- Eastman, R. (1992). *Idrisi for DOS, user's guide*. 1ª edição, Clark University. Worcester.

- EMBRAPA (1978). *Boletim técnico nº 53. Anexo: Mapa do Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal*. 1ª edição, SNLCS, Brasília.
- Faria, A. (1995). *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília. Anexo: Mapa Geológico do Distrito Federal.
- Ferreira, C.T.F. e Santos, V.L. (1995). A erosividade das chuvas no extremo oeste paulista. *VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Anais*. Goiânia. Vol.2, 51-55.
- Foster, G.R., McCool, D.K., Renard, K.G. e Moldenhauer, W.C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Jour. Soil Wat. Conserv.*, v.36, 355-359.
- Galindo, I.C.L. e Margolis, E. (1989). Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. *Rev. Bras. Ciên. Solo*. 13, 95-100.
- Guerra, A.J.T. (1994). Processos erosivos nas encostas. In: *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (ed.), 1ª edição, Editora Bertrand Brasil S.A., Rio de Janeiro, 149-210.
- Guimarães, R.F., Carvalho Jr., O.A. e Baptista, G.M.M. (1995). IDRISI: uma solução acessível. *Fator GIS*, 9, 26-28.
- Haridasan, M. (1994). Solos. In: Novaes Pinto, M. (org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2ª edição, Edunb / SEMATEC, Brasília.
- Henklain, J.C. e Freire, O. (1983). Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do estado do Paraná. *Rev. Bras. Ciên. Solo*. 7, 191-195.
- IEMA/CODEVASF (no prelo). *Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal - 1994*, 1ª edição, GDF, Brasília.
- IEMA/SEMATEC (1994). *Mapa de Unidades Hidrográficas de Gerenciamento do Distrito Federal*, 1ª edição, GDF, Brasília.
- IEMA/SEMATEC (1995). *Mapa Ambiental do Distrito Federal*, 1ª edição, GDF, Brasília.
- Keckler, D. (1994). *Surfer for windows, user's guide*. 1ª edição, Golden Software, Inc. Golden.
- Lane, L.J., Renard, K.G., Foster, G.R. e Laflen, J.M. (1992). Development and application of modern soil erosion prediction technology. *Aust. Jour. Soil Res.* 30, 893-912.
- Lima, J.M., Curi, N., Resende, M. e Santana, D.P. (1990). Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. *Rev. Bras. Ciên. Solo*. 14(1), 85-90.

- Lombardi Neto, F. e Bertoni, J. (1975.a). Erodibilidade de solos paulistas. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas*, 27, 12p.
- Lombardi Neto, F. e Bertoni, J. (1975.b). Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas*, 28, 12p.
- Lopes, P.R.C. e Brito, L.T.L. (1993). Erosividade da chuva no médio São Francisco. *Rev. Bras. Ciên. Solo*. 17(1), 129-133.
- Lucci e Labrada Ed. (1994). *Atlas geográfico brasileiro*. CD-Rom de base cartográfica. 1ª ed. Lucci e Labrada Editora, São Paulo.
- Mitchell, J.K. e Bubenzer, G.D. (1980). Soil loss estimation. In: *Soil erosion*. Kirkby, M.J. e Morgan, R.P.C. (ed.), 1ª edição, John Wiley and Sons Ltda., New York.
- Novaes Pinto, M. (1994). Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: *Cerrado*. Novaes Pinto (ed.), 2ª edição, Edunb / SEMATEC, Brasília.
- Reichardt, K. (1990). *A Água em Sistemas Agrícolas*. 1ª edição, Editora Manole Ltda., São Paulo.
- Resende, M. (1985). Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*. 128, 3-18.
- Resende, M. e Almeida, J.R. (1985). Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. *Informe Agropecuário*. 128, 38-54.
- Risso, A. (1987). Obtenção de parâmetros para função produção de sedimentos, utilizando sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas. Plano de Dissertação. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.
- Roloff, G. e Denardin, J.E. (1994). Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. *X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Resumos*. Florianópolis. 146-147.
- Rosa, R. (1995). O uso de sistemas de informação geográfica para estimativa de perdas de solo por erosão laminar. *VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Anais*. Goiânia. Vol.2, 266-271.
- Rosa, R. e Brito, J.L.S. (1996). *Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica*. 1ª edição, Edufu, Uberlândia.
- Sano, E.E., Assad, E.D., Moreira, L. e Macedo, J. (1993). Estruturação de dados geoambientais no contexto de fazenda experimental. In: *Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. (Assad, E.D. e Sano, E.E., ed.). 1ª edição, EMBRAPA/CPAC, Brasília.

- Scopel, I., Rocha, H.O. e Moraes, M.E.S. (1989). Mudanças no uso da terra, no período de 1953 a 1985, em relação a índices de perdas de solo por erosão. *Rev. Setor de Ciên. Agrárias*. 11 (1-2), 65-78.
- SEMATEC (1994). *Coletânea Básica da Legislação Ambiental do Distrito Federal*. 1ª edição, GDF, Brasília.
- Siebert, U. (1994). Introdução ao GIS. In: Granemann, E.Z. e Laskowski, S.B. *Introdução ao Geoprocessamento*. 1ª edição, Sagres Editora, Curitiba.
- Stein, D.P., Donzelli, P.L., Gimenez, A.F., Ponçano, W.L. e Lombardi Neto, F. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe - Paranapanema. *4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Anais*. Marília. Vol.1, 105-135.
- Teixeira, A.L.A., Moretti, E. e Christofolletti, A. (1992). *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*, 1ª edição, Edição do Autor, Rio Claro.
- USDA (1996). *WEPP project. Internet*, Purdue University, 3p.
- Valério Filho, M. (1994). Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: Pereira, V.P., Ferreira, M. A. e Cruz, M.C.P. (Editores). *Solos altamente suscetíveis à erosão*. 1ª edição, FCAV - UNESP / SBCS, Jaboticabal.
- Vieira, L.S. e Vieira, M.N. (1983). *Manual de Morfologia e Classificação de Solos*. 2ª edição, Editora Agrônômica Ceres Ltda., São Paulo.
- Villela, S.M. e Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. 1ª edição, Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo.
- Wischmeier, W.H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, v.23, n.23, 246-249.
- Wischmeier, W.H. (1960). Cropping-management factor evaluations for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, v.24, n.4, 322-326.
- Wischmeier, W.H. e Mannering, J.V. (1969). Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, v.33, 131-137.
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. *Agr. Handbook*, n.537, 58p.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C. B. e Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Jour. Soil Wat. Conserv.*, v.26, 189-193.

ANEXOS

Anexo A - Média dos Totais Mensais e Anuais de Precipitação das Estações Pluviométricas da CAESB (1979 - 1995)

Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
ETEB Sul	233.4	172.5	192.4	130.9	33.8	11.3	3.4	14.4	54.2	153.2	231.8	226.2	1457.5
ETEB Norte	260.9	176.4	204.0	109.4	32.0	8.1	8.8	17.0	52.3	156.5	208.9	232.9	1467.1
Contagem	269.6	217.9	246.8	118.7	42.1	9.0	11.8	17.3	44.5	165.8	223.9	271.6	1639.1
Planaltina	246.3	188.2	203.6	87.9	27.7	8.7	9.2	22.4	41.4	139.0	189.7	225.7	1389.7
Papuda	244.7	191.3	175.8	94.9	32.7	7.9	8.3	18.3	37.5	135.6	222.2	258.4	1427.8
Taquara	252.0	200.4	204.4	98.7	34.5	7.2	7.0	12.0	35.5	128.0	202.6	230.3	1412.4
Área Alfa	237.7	203.6	190.6	119.2	33.8	7.9	6.7	16.7	56.1	127.0	232.5	236.5	1468.2
Jockey Club	242.1	203.4	183.6	120.4	35.4	8.7	8.6	23.9	49.6	154.3	225.1	249.2	1504.2
Cabeça de Veado	237.2	176.8	205.8	121.5	36.1	8.1	11.0	17.7	43.1	127.9	245.6	282.0	1512.9
Paranoá - Barragem	218.0	163.1	192.4	94.3	29.6	12.5	9.0	13.6	30.3	123.2	204.1	211.0	1301.1
Barreiro DF-15	259.0	185.3	218.7	100.0	32.2	10.1	9.2	15.3	48.3	124.3	219.2	237.0	1458.6
Rio Preto	202.8	171.4	184.0	100.2	24.3	4.8	5.7	16.1	25.6	103.2	182.2	215.1	1235.5
Gama	262.4	224.8	231.8	113.3	36.9	15.2	9.7	24.4	53.9	144.6	265.0	291.6	1673.7
Taguatinga	251.0	226.0	206.5	129.4	35.8	9.4	10.4	20.7	47.7	137.5	240.6	273.2	1587.9
Brazlândia	260.5	214.4	237.4	135.3	33.7	6.9	10.4	20.0	52.4	140.5	218.1	311.2	1640.8
Descoberto	227.1	201.0	207.5	128.6	24.7	13.1	13.3	17.5	50.1	124.0	214.2	263.0	1484.3
Jatobazinho	275.3	195.2	226.9	151.1	30.0	7.9	8.9	13.1	45.7	161.5	201.1	292.3	1609.0
Riacho Fundo	231.6	210.7	216.9	122.3	31.1	11.3	11.0	20.7	56.2	144.7	246.8	276.2	1579.6

Média	245.1	195.7	207.2	115.3	32.6	9.3	9.0	17.8	45.8	138.4	220.8	254.6	1491.6
Desvio Padrão	18.58	18.957	19.596	16.848	4.3427	2.5217	2.3143	3.5981	8.8472	16.088	21.109	29.468	117.49
Coef. de Variação	0.0758	0.0969	0.0946	0.1461	0.1333	0.27	0.2565	0.2017	0.1932	0.1163	0.0956	0.1157	0.0788

Anexo B - Erosividade das chuvas (Eq. 3.9 e 3.11) (MJ.mm/ha.h.ano) a partir das Estações Pluviométricas da CAESB (1979 - 1995)

Eq. 3.9

Estação	R Jan.	R Fev.	R Mar.	R Abr.	R Mai.	R Jun.	R Jul.	R Ago.	R Set.	R Out.	R Nov.	R Dez.	Total
ETEB Sul	1462.4	874.7	1053.1	547.1	54.8	8.5	1.1	12.8	122.2	714.9	1445.4	1386.6	7683.6
ETEB Norte	1757.5	903.5	1156.8	401.1	49.6	4.8	5.5	16.9	114.4	737.1	1204.4	1449.0	7800.6
Contagem	1691.1	1177.6	1455.3	419.3	72.0	5.2	8.3	15.9	79.1	740.0	1233.2	1712.5	8609.5
Planaltina - Col. Agrícola	1668.7	1056.2	1207.3	289.5	40.7	5.7	6.2	28.3	80.5	631.0	1070.5	1438.4	7523.0
Papuda	1612.8	1061.3	919.3	322.3	52.7	4.7	5.1	19.6	66.5	591.2	1368.9	1769.3	7793.6
Taquara	1711.1	1159.1	1198.7	347.7	58.2	4.1	3.9	9.7	61.1	541.0	1180.8	1468.3	7743.8
Área Alfa	1499.2	1152.2	1029.9	463.7	54.4	4.6	3.5	16.4	128.8	516.5	1443.8	1486.3	7799.4
Jockey Club	1515.1	1126.8	946.8	462.1	57.7	5.3	5.2	29.6	102.3	704.5	1338.7	1591.4	7885.6
Cabeça de Veado	1456.2	883.6	1143.9	467.0	59.3	4.7	7.9	17.7	80.2	509.6	1545.0	1954.1	8129.1
Paranoá - Barragem	1434.1	875.7	1159.7	345.0	48.1	11.1	6.4	12.8	50.1	543.6	1282.2	1356.7	7125.5
Barreiro DF-15	1744.4	987.2	1308.5	346.0	50.4	7.0	6.0	14.2	100.4	500.8	1313.6	1500.0	7878.4
Rio Preto	1325.3	995.7	1123.3	399.7	36.0	2.3	3.1	17.9	39.3	420.3	1104.7	1464.8	6932.3
Gama	1586.7	1219.8	1285.1	380.6	56.5	12.5	5.8	28.0	107.6	576.1	1613.5	1898.4	8770.6
Taguatinga	1538.6	1287.2	1104.2	498.8	56.1	5.8	6.9	22.1	91.4	553.1	1431.8	1777.0	8373.0
Brazlândia	1593.8	1144.6	1361.1	523.3	49.3	3.3	6.7	20.3	104.3	558.0	1178.4	2156.5	8699.6
Descoberto	1374.5	1116.9	1179.0	522.7	31.6	10.8	11.0	17.6	105.3	491.4	1244.4	1764.0	7869.2
Jatobazinho	1780.2	992.2	1281.5	642.0	41.1	4.3	5.2	10.0	84.1	718.9	1043.8	1971.1	8574.4
Riacho Fundo GM3	1347.9	1147.7	1205.7	455.2	44.4	7.9	7.6	22.2	121.4	605.9	1501.7	1818.4	8286.1

Média	1561.09	1064.5	1173.28	435.19	50.72	6.25	5.85	18.45	91.06	591.88	1308.0	1664.60	7970.97
		6									5		
Desvio padrão	140.38	122.35	133.25	88.54	9.29	2.76	2.15	5.72	24.72	93.35	160.88	229.27	498.48
Coef. De Variação	0.09	0.11	0.11	0.20	0.18	0.44	0.37	0.31	0.27	0.16	0.12	0.14	0.06

Eq. 3.11

Estação	R Jan.	R Fev.	R Mar.	R Abr.	R Mai.	R Jun.	R Jul.	R Ago.	R Set.	R Out.	R Nov.	R Dez.	R total
ETEB Sul	1357.3	893.7	1039.2	610.3	94.0	20.7	3.9	28.9	180.4	758.5	1344.4	1299.7	7631.1
ETEB Norte	1576.0	917.6	1121.7	474.1	86.7	13.0	14.6	36.2	171.0	777.7	1159.1	1347.1	7694.7
Contagem	1527.4	1138.1	1351.8	491.6	117.3	13.9	20.2	34.3	126.7	780.1	1181.6	1543.1	8326.4
Planaltina	1510.9	1041.8	1161.4	363.8	73.7	14.9	16.1	55.0	128.5	685.3	1053.2	1339.1	7443.7
Papuda	1469.7	1045.8	930.6	396.9	91.0	12.8	13.7	40.8	110.0	650.0	1286.2	1584.6	7632.1
Taquara	1542.1	1123.6	1154.7	422.2	98.8	11.3	10.9	23.0	102.8	604.7	1140.7	1361.7	7596.3
Área Alfa	1384.9	1118.1	1020.7	533.5	93.5	12.5	10.0	35.3	188.3	582.4	1343.2	1375.3	7697.6
Jockey Club	1396.9	1098.1	953.1	532.0	98.0	14.1	13.9	56.9	156.2	749.6	1263.2	1453.8	7785.7
Cabeça de Veado	1352.6	901.1	1111.6	536.6	100.3	12.7	19.4	37.4	128.1	576.0	1419.2	1717.9	7912.9
Paranoá - Barragem	1335.8	894.6	1124.0	419.6	84.6	25.7	16.3	28.9	87.4	607.1	1219.6	1276.9	7120.5
Barreiro DF-15	1566.4	986.1	1239.9	420.5	87.8	17.7	15.5	31.4	153.8	567.9	1243.8	1385.5	7716.4
Rio Preto	1252.9	993.0	1095.3	472.9	66.7	7.1	9.0	37.8	71.7	492.5	1080.5	1359.1	6938.4
Gama	1450.3	1171.2	1221.9	454.3	96.4	28.3	15.2	54.4	162.7	636.5	1470.2	1677.9	8439.3
Taguatinga	1414.4	1223.5	1080.1	566.1	95.9	15.1	17.4	45.0	142.5	615.7	1334.1	1590.2	8140.0
Brazlândia	1455.6	1112.1	1280.3	588.6	86.2	9.6	17.0	41.9	158.7	620.1	1138.7	1861.1	8370.1
Descoberto	1290.5	1090.2	1139.2	588.1	60.1	25.0	25.6	37.4	159.8	559.2	1190.3	1580.7	7746.2
Jatobazinho	1592.5	990.2	1219.1	695.0	74.4	11.8	13.9	23.7	133.1	762.0	1031.8	1730.0	8277.5
Riacho Fundo	1270.2	1114.6	1160.1	525.6	79.2	19.6	18.8	45.1	179.4	663.1	1386.8	1620.2	8082.8

Média	1430.35	1047.40	1133.59	505.10	88.04	15.88	15.08	38.52	141.18	649.36	1238.15	1505.7	7808.4
Desvio Padrão	107.77	101.09	107.93	85.91	13.60	5.82	4.79	10.00	32.89	85.70	127.49	173.01	413.49
Coef. Variação	0.08	0.10	0.10	0.17	0.15	0.37	0.32	0.26	0.23	0.13	0.10	0.11	0.05

Anexo C - Erodibilidade dos solos (t.h/MJ.mm) a partir do Boletim Técnico nº 53 (EMBRAPA, 1978)

Latossolo vermelho-escuro

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - Nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)
DF 24	17	7	24	8	4.58	7.90	3	2	0.055	0.678	0.159	0.007	0.089
DF 28 c	27	7	34	5	2.21	3.81	3	2	0.090	1.013	0.052	0.012	0.133
DF 42 c	19	7	26	9	4.91	8.46	2	2	0.050	0.745	0.185	0.007	0.098
DF 46 c	34	11	45	9	3.50	6.03	2	2	0.070	1.305	0.133	0.009	0.172
DF 47 c	29	12	41	9	2.82	4.86	3	2	0.120	1.151	0.077	0.016	0.152
DF 31	19	21	40	15	1.76	3.03	3	3	0.150	0.927	0.047	0.020	0.122
DF 04 c	10	5	15	9	1.87	3.22	3	2	0.055	0.415	0.048	0.007	0.055
DF 11 c	8	6	14	4	2.92	5.03	3	2	0.040	0.360	0.009	0.005	0.047
DF 13 c	16	13	29	8	1.39	2.40	3	2	0.070	0.723	0.017	0.009	0.095
DF 24 c	10	16	26	11	1.85	3.19	2	2	0.050	0.544	-0.023	0.007	0.072
DF 32 c	28	4	32	3	2.39	4.12	2	3	0.072	1.005	0.047	0.009	0.132
DF 33 c	16	3	19	6	2.86	4.93	3	2	0.045	0.587	0.036	0.006	0.077
DF 44 c	22	7	29	3	2.32	4.00	2	2	0.040	0.846	0.027	0.005	0.111
DF 32	13	24	37	23	2.12	3.65	3	2	0.150	0.736	0.089	0.020	0.097
DF 42	9	5	14	8	3.36	5.79	3	2	0.040	0.381	0.055	0.005	0.050
DF 3 c	11	2	13	2	2.30	3.97	1	2	0.040	0.406	-0.027	0.005	0.053
DF 6 c	13	6	19	6	2.38	4.10	3	2	0.050	0.530	-0.010	0.007	0.070
DF 7 c	11	2	13	2	2.96	5.10	3	2	0.050	0.406	-0.102	0.007	0.053
DF 8 c	23	5	28	2	2.60	4.48	3	2	0.052	0.850	0.078	0.007	0.112
DF 9 c	10	5	15	4	2.88	4.97	3	2	0.045	0.415	0.035	0.006	0.055

DF 21 c	14	15	29	7	1.95	3.36	2	2	0.050	0.677	0.022	0.007	0.089	
DF 26 c	20	7	27	8	2.38	4.10	2	2	0.050	0.779	0.019	0.007	0.103	
DF 31 c	26	4	30	2	1.85	3.19	1	2	0.045	0.934	-0.004	0.006	0.123	
DF 49 c	26	4	30	7	1.79	3.09	1	2	0.050	0.934	0.045	0.007	0.123	
DF 52 c	21	3	24	2	2.58	4.45	1	3	0.070	0.758	0.027	0.009	0.100	
DF 10 c	12	43	55	6	1.91	3.29	3	3	0.210	0.865	0.063	0.028	0.114	
DF 12 c	18	7	25	4	3.26	5.62	3	3	0.075	0.717	0.088	0.010	0.094	
DF 14 c	16	6	22	10	3.04	5.24	3	3	0.080	0.636	0.079	0.011	0.084	
DF 15 c	23	5	28	3	2.38	4.10	3	3	0.081	0.855	0.023	0.011	0.113	
DF 23 c	15	6	21	3	2.42	4.17	2	3	0.070	0.602	-0.025	0.009	0.079	
DF 30 c	25	7	32	4	1.99	3.43	1	3	0.070	0.951	0.091	0.009	0.125	
DF 50 c	30	4	34	4	2.30	3.97	3	1	0.025	1.062	0.054	0.003	0.140	
DF 19	9	56	65	16	1.19	2.05	3	1	0.350	0.805	0.046	0.046	0.106	
DF 20 c	8	23	31	51	0.97	1.67	1	1	0.081	0.526	0.021	0.011	0.069	
DF 22 c	7	56	63	21	1.16	2.00	2	1	0.330	0.700	0.047	0.043	0.092	
DF 37 c	11	51	62	21	0.91	1.57	2	1	0.335	0.869	0.031	0.044	0.114	
DF 38 c	14	24	38	31	1.68	2.90	2	1	0.082	0.768	0.019	0.011	0.101	
DF 45 c	11	54	65	12	1.33	2.29	2	3	0.335	0.900	0.040	0.044	0.119	
DF 55 c	10	38	48	32	0.97	1.67	3	1	0.260	0.730	0.018	0.034	0.096	
DF 34 c	26	12	38	9	4.06	7.00	3	2	0.071	1.050	0.158	0.009	0.138	
									k médio	0.101	0.754	0.045	0.013	0.099
									desvio	0.091	0.223	0.053	0.012	0.029
									c. variação	0.896	0.295	1.180	0.896	0.295

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 24	17	23.30	4.58	6.60	12.50	0.0420	0.1219	0.1865	0.0759	0.0240	0.00026	0.159

DF 28 c	27	18.90	2.21	9.70	21.90	0.0667	0.0988	0.0434	0.1116	0.0712	0.00051	0.052
DF 42 c	19	30.00	4.91	10.60	16.50	0.0469	0.1569	0.2143	0.1219	0.0410	0.00019	0.185
DF 46 c	34	17.30	3.50	6.10	16.20	0.0840	0.0905	0.1089	0.0702	0.0396	0.00056	0.133
DF 47 c	29	19.30	2.82	7.60	18.60	0.0716	0.1009	0.0707	0.0874	0.0518	0.00049	0.077
DF 31	19	15.70	1.76	7.40	14.20	0.0469	0.0821	0.0275	0.0851	0.0306	0.00050	0.047
DF 04 c	10	22.60	1.87	13.70	17.70	0.0247	0.1182	0.0311	0.1576	0.0470	0.00025	0.048
DF 11 c	8	34.70	2.92	13.00	19.10	0.0198	0.1815	0.0758	0.1495	0.0545	0.00016	0.009
DF 13 c	16	23.00	1.39	11.40	18.30	0.0395	0.1203	0.0172	0.1311	0.0502	0.00029	0.017
DF 24 c	10	29.60	1.85	9.80	15.50	0.0247	0.1548	0.0304	0.1127	0.0363	0.00019	-0.023
DF 32 c	28	29.30	2.39	10.40	16.20	0.0692	0.1532	0.0508	0.1196	0.0396	0.00019	0.047
DF 33 c	16	28.70	2.86	8.90	13.70	0.0395	0.1501	0.0727	0.1024	0.0286	0.00018	0.036
DF 44 c	22	28.20	2.32	9.90	16.70	0.0543	0.1475	0.0478	0.1139	0.0420	0.00022	0.027
DF 32	13	16.90	2.12	11.50	13.20	0.0321	0.0884	0.0400	0.1323	0.0266	0.00031	0.089
DF 42	9	32.60	3.36	13.10	17.80	0.0222	0.1705	0.1004	0.1507	0.0475	0.00016	0.055
DF 3 c	11	40.20	2.30	13.40	17.40	0.0272	0.2102	0.0470	0.1541	0.0455	0.00011	-0.027
DF 6 c	13	38.60	2.38	12.50	15.10	0.0321	0.2019	0.0504	0.1438	0.0345	0.00011	-0.010
DF 7 c	11	37.10	2.96	8.10	26.90	0.0272	0.1940	0.0779	0.0932	0.1066	0.00025	-0.102
DF 8 c	23	29.70	2.60	13.50	16.00	0.0568	0.1553	0.0601	0.1553	0.0386	0.00016	0.078
DF 9 c	10	38.30	2.88	14.30	13.40	0.0247	0.2003	0.0737	0.1645	0.0274	0.00009	0.035
DF 21 c	14	29.60	1.95	12.30	14.70	0.0346	0.1548	0.0338	0.1415	0.0328	0.00016	0.022
DF 26 c	20	32.20	2.38	11.30	16.70	0.0494	0.1684	0.0504	0.1300	0.0420	0.00017	0.019
DF 31 c	26	28.00	1.85	10.00	21.20	0.0642	0.1464	0.0304	0.1150	0.0668	0.00028	-0.004
DF 49 c	26	35.00	1.79	14.50	14.30	0.0642	0.1831	0.0285	0.1668	0.0311	0.00011	0.045
DF 52 c	21	31.20	2.58	11.20	18.30	0.0519	0.1632	0.0592	0.1288	0.0502	0.00019	0.027
DF 10 c	12	17.40	1.91	8.50	6.00	0.0296	0.0910	0.0324	0.0978	0.0060	0.00017	0.063
DF 12 c	18	34.80	3.26	12.80	10.20	0.0445	0.1820	0.0945	0.1472	0.0162	0.00009	0.088
DF 14 c	16	40.90	3.04	15.60	6.90	0.0395	0.2139	0.0822	0.1794	0.0077	0.00004	0.079

DF 15 c	23	35.40	2.38	11.50	14.40	0.0568	0.1851	0.0504	0.1323	0.0315	0.00012	0.023
DF 23 c	15	38.10	2.42	11.30	17.30	0.0371	0.1993	0.0521	0.1300	0.0450	0.00013	-0.025
DF 30 c	25	18.80	1.99	12.40	18.30	0.0618	0.0983	0.0352	0.1426	0.0502	0.00036	0.091
DF 50 c	30	28.20	2.30	10.90	17.30	0.0741	0.1475	0.0470	0.1254	0.0450	0.00021	0.054
DF 19	9	8.60	1.19	5.20	4.80	0.0222	0.0450	0.0126	0.0598	0.0040	0.00048	0.046
DF 20 c	8	9.70	0.97	4.30	5.80	0.0198	0.0507	0.0084	0.0495	0.0056	0.00056	0.021
DF 22 c	7	8.20	1.16	5.50	4.20	0.0173	0.0429	0.0120	0.0633	0.0031	0.00042	0.047
DF 37 c	11	7.30	0.91	3.50	6.00	0.0272	0.0382	0.0074	0.0403	0.0060	0.00097	0.031
DF 38 c	14	12.70	1.68	3.80	10.90	0.0346	0.0664	0.0251	0.0437	0.0184	0.00076	0.019
DF 45 c	11	11.50	1.33	5.40	5.20	0.0272	0.0601	0.0157	0.0621	0.0046	0.00034	0.040
DF 55 c	10	8.70	0.97	3.10	5.80	0.0247	0.0455	0.0084	0.0357	0.0056	0.00079	0.018
DF 34 c	26	26.60	4.06	10.10	14.00	0.0642	0.1391	0.1465	0.1162	0.0298	0.00020	0.158
											média	0.045
											desvio	0.053
											corf	1.180
											.variação	

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 24	2	7.90	23.30	8	0.048	0.006
DF 28 c	2	3.81	18.90	5	0.020	0.003
DF 42 c	2	8.46	30.00	9	0.045	0.006
DF 46 c	2	6.03	17.30	9	0.039	0.005
DF 47 c	2	4.86	19.30	9	0.027	0.004
DF 31	3	3.03	15.70	15	0.020	0.003
DF 04 c	2	3.22	22.60	9	0.009	0.001
DF 11 c	2	5.03	34.70	4	0.012	0.002
DF 13 c	2	2.40	23.00	8	0.002	0.000
DF 24 c	2	3.19	29.60	11	0.000	0.000
DF 32 c	3	4.12	29.30	3	0.017	0.002

DF 33 c	2	4.93	28.70	6	0.018	0.002
DF 44 c	2	4.00	28.20	3	0.012	0.002
DF 32	2	3.65	16.90	23	0.014	0.002
DF 42	2	5.79	32.60	8	0.020	0.003
DF 3 c	2	3.97	40.20	2	-0.002	0.000
DF 6 c	2	4.10	38.60	6	-0.001	0.000
DF 7 c	2	5.10	37.10	2	0.011	0.001
DF 8 c	2	4.48	29.70	2	0.014	0.002
DF 9 c	2	4.97	38.30	4	0.008	0.001
DF 21 c	2	3.36	29.60	7	0.003	0.000
DF 26 c	2	4.10	32.20	8	0.006	0.001
DF 31 c	2	3.19	28.00	2	0.006	0.001
DF 49 c	2	3.09	35.00	7	-0.005	-0.001
DF 52 c	3	4.45	31.20	2	0.018	0.002
DF 10 c	3	3.29	17.40	6	0.023	0.003
DF 12 c	3	5.62	34.80	4	0.023	0.003
DF 14 c	3	5.24	40.90	10	0.011	0.001
DF 15 c	3	4.10	35.40	3	0.010	0.001
DF 23 c	3	4.17	38.10	3	0.008	0.001
DF 30 c	3	3.43	18.80	4	0.024	0.003
DF 50 c	1	3.97	28.20	4	0.005	0.001
DF 19	1	2.05	8.60	16	0.007	0.001
DF 20 c	1	1.67	9.70	51	-0.011	-0.001
DF 22 c	1	2.00	8.20	21	0.005	0.001
DF 37 c	1	1.57	7.30	21	0.003	0.000
DF 38 c	1	2.90	12.70	31	0.004	0.000
DF 45 c	3	2.29	11.50	12	0.019	0.003
DF 55 c	1	1.67	8.70	32	-0.002	0.000
DF 34 c	2	7.00	26.60	9	0.036	0.005
k médio						0.002
desvio padrão						0.002
coef. variação						0.978

Latossolo vermelho-amarelo

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomogram a (SI)	k (Roloff e Denardin) (SI)	
DF 23	15	3	18	5	4.98	8.59	3	3	0.071	0.559	0.048	0.009	0.074	
DF41	10	1	11	1	2.53	4.36	3	2	0.045	0.357	-0.135	0.006	0.047	
DF 2 c	17	4	21	9	4.05	6.98	3	4	0.100	0.645	0.119	0.013	0.085	
DF 5 c	12	3	15	2	2.06	3.55	2	4	0.098	0.464	-0.111	0.013	0.061	
DF 16 c	14	2	16	3	2.21	3.81	2	3	0.070	0.510	-0.126	0.009	0.067	
DF 29 c	14	1	15	1	2.53	4.36	3	2	0.055	0.489	-0.120	0.007	0.064	
DF 1	13	10	23	7	2.19	3.78	3	4	0.100	0.592	-0.078	0.013	0.078	
DF 25	17	5	22	7	1.86	3.21	3	3	0.080	0.655	-0.077	0.011	0.086	
DF 16	18	12	30	15	3.20	5.52	3	4	0.110	0.789	0.090	0.014	0.104	
DF 17 c	16	6	22	4	2.73	4.71	3	4	0.100	0.641	-0.018	0.013	0.084	
DF 18 c	14	32	46	25	1.49	2.57	3	2	0.200	0.850	0.001	0.026	0.112	
DF 19 c	9	45	54	29	0.93	1.60	3	2	0.330	0.740	0.023	0.043	0.097	
DF 36 c	8	46	54	26	1.66	2.86	2	2	0.240	0.698	0.028	0.032	0.092	
DF 39 c	10	44	54	14	0.97	1.67	2	2	0.140	0.779	0.012	0.018	0.103	
DF 33	12	38	50	31	0.92	1.59	3	3	0.320	0.825	0.027	0.042	0.109	
DF 40 c	6	51	57	12	1.56	2.69	2	3	0.240	0.627	0.016	0.032	0.083	
DF 43	5	61	66	11	1.34	2.31	3	4	0.395	0.621	0.020	0.052	0.082	
DF 26	12	5	17	4	2.76	4.76	2	4	0.095	0.492	-0.068	0.013	0.065	
DF 17	20	6	26	8	3.88	6.69	3	4	0.110	0.774	0.044	0.014	0.102	
									k médio	0.153	0.637	-0.016	0.020	0.084
									desvio	0.101	0.132	0.073	0.013	0.017
									c variação	0.662	0.208	-4.520	0.662	0.208

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1° termo	2° termo	3° termo	4° termo	5° termo	6° termo	k (Chaves)
DF 23	15	40.70	4.98	5.50	20.10	0.0371	0.2129	0.2205	0.0633	0.0602	0.00018	0.048
DF41	10	40.50	2.53	6.10	22.50	0.0247	0.2118	0.0569	0.0702	0.0751	0.00020	-0.135
DF 2 c	17	42.30	4.05	13.70	5.50	0.0420	0.2212	0.1458	0.1576	0.0051	0.00003	0.119
DF 5 c	12	42.20	2.06	8.00	18.20	0.0296	0.2207	0.0377	0.0920	0.0496	0.00014	-0.111
DF 16 c	14	42.20	2.21	7.10	20.90	0.0346	0.2207	0.0434	0.0817	0.0650	0.00016	-0.126
DF 29 c	14	41.80	2.53	6.90	22.10	0.0346	0.2186	0.0569	0.0794	0.0725	0.00018	-0.120
DF 1	13	35.20	2.19	8.90	21.80	0.0321	0.1841	0.0426	0.1024	0.0706	0.00021	-0.078
DF 25	17	43.20	1.86	9.50	14.80	0.0420	0.2259	0.0308	0.1093	0.0332	0.00010	-0.077
DF 16	18	36.00	3.20	12.80	5.40	0.0445	0.1883	0.0910	0.1472	0.0049	0.00004	0.090
DF 17 c	16	40.00	2.73	9.70	13.20	0.0395	0.2092	0.0663	0.1116	0.0266	0.00010	-0.018
DF 18 c	14	6.00	1.49	0.27	12.90	0.0346	0.0314	0.0197	0.0031	0.0255	0.00620	0.001
DF 19 c	9	8.30	0.93	3.50	4.80	0.0222	0.0434	0.0077	0.0403	0.0040	0.00065	0.023
DF 36 c	8	11.00	1.66	3.70	2.20	0.0198	0.0575	0.0245	0.0426	0.0010	0.00019	0.028
DF 39 c	10	13.50	0.97	5.20	8.20	0.0247	0.0706	0.0084	0.0598	0.0107	0.00044	0.012
DF 33	12	9.60	0.92	3.70	3.90	0.0296	0.0502	0.0075	0.0426	0.0027	0.00042	0.027
DF 40 c	6	15.50	1.56	5.40	3.00	0.0148	0.0811	0.0216	0.0621	0.0017	0.00013	0.016
DF 43	5	10.40	1.34	4.20	3.90	0.0124	0.0544	0.0160	0.0483	0.0027	0.00035	0.020
DF 26	12	41.60	2.76	6.30	11.40	0.0296	0.2176	0.0677	0.0725	0.0201	0.00009	-0.068
DF 17	20	45.50	3.88	9.00	5.40	0.0494	0.2380	0.1338	0.1035	0.0049	0.00003	0.044
											média	-0.016
											desvio	0.073
											c. variação	-4.520

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 23	3	8.59	40.70	5	0.041	0.005

DF41	2	4.36	40.50	1	0.001	0.000
DF 2 c	4	6.98	42.30	9	0.030	0.004
DF 5 c	4	3.55	42.20	2	0.004	0.001
DF 16 c	3	3.81	42.20	3	0.000	0.000
DF 29 c	2	4.36	41.80	1	0.000	0.000
DF 1	4	3.78	35.20	7	0.012	0.002
DF 25	3	3.21	43.20	7	-0.008	-0.001
DF 16	4	5.52	36.00	15	0.023	0.003
DF 17 c	4	4.71	40.00	4	0.016	0.002
DF 18 c	2	2.57	6.00	25	0.017	0.002
DF 19 c	2	1.60	8.30	29	0.005	0.001
DF 36 c	2	2.86	11.00	26	0.013	0.002
DF 39 c	2	1.67	13.50	14	0.005	0.001
DF 33	3	1.59	9.60	31	0.009	0.001
DF 40 c	3	2.69	15.50	12	0.018	0.002
DF 43	4	2.31	10.40	11	0.027	0.004
DF 26	4	4.76	41.60	4	0.014	0.002
DF 17	4	6.69	45.50	8	0.024	0.003
	k médio					0.002
	desvio padrão					0.002
	coef. variação					0.896

Podzólico vermelho-amarelo

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k nomograma	k - Roloff e Denardin	k (Chaves)	k Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)
DF 8	45	9	54	14	3.34	5.76	3	3	0.200	1.646	0.177	0.026	0.217
DF 3	36	25	61	11	1.39	2.40	2	3	0.285	1.566	0.094	0.038	0.206
DF 22	7	62	69	17	1.16	2.00	2	4	0.440	0.747	0.019	0.058	0.098

DF 4	14	42	56	29	2.38	4.10	3	3	0.260	0.942	0.081	0.034	0.124	
DF 15	33	48	81	11	3.58	6.17	3	4	0.400	1.731	0.115	0.053	0.228	
									k médio	0.317	1.326	0.097	0.042	0.175
									desvio	0.089	0.402	0.051	0.012	0.053
									c. variação	0.282	0.303	0.528	0.282	0.303

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1° termo	2° termo	3° termo	4° termo	5° termo	6° termo	k (Chaves)	
DF 8	45	9.30	3.34	4.20	14.80	0.1112	0.0486	0.0992	0.0483	0.0332	0.00153	0.177	
DF 3	36	9.90	1.39	5.30	11.80	0.0889	0.0518	0.0172	0.0610	0.0214	0.00097	0.094	
DF 22	7	5.20	1.16	1.60	3.10	0.0173	0.0272	0.0120	0.0184	0.0018	0.00127	0.019	
DF 4	14	4.00	2.38	1.80	4.90	0.0346	0.0209	0.0504	0.0207	0.0041	0.00275	0.081	
DF 15	33	15.60	3.58	5.50	20.50	0.0815	0.0816	0.1139	0.0633	0.0626	0.00087	0.115	
												média	0.097
												desvio	0.051
												c. variação	0.528

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)	
DF 8	3	5.76	9.30	14	0.050	0.007	
DF 3	3	2.40	9.90	11	0.023	0.003	
DF 22	4	2.00	5.20	17	0.029	0.004	
DF 4	3	4.10	4.00	29	0.037	0.005	
DF 15	4	6.17	15.60	11	0.054	0.007	
						k médio	0.005
						desvio padrão	0.002
						coef. variação	0.312

Podzólico vermelho - amarelo equivalente eutrófico

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomogram a (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)	
DF 11	54	6	60	4	3.37	5.81	3	3	0.225	1.899	0.215	0.030	0.250	
DF 21	33	26	59	11	2.36	4.07	3	3	0.230	1.475	0.111	0.030	0.194	
									k médio	0.228	1.687	0.163	0.030	0.222
									desvio	0.003	0.212	0.052	0.000	0.028
									c. variação	0.011	0.126	0.318	0.011	0.126

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	% SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 11	54	7.50	3.37	3.90	12.70	0.1334	0.0392	0.1010	0.0449	0.0247	0.00185	0.215
DF 21	33	8.60	2.36	3.80	10.90	0.0815	0.0450	0.0495	0.0437	0.0184	0.00134	0.111
											média	0.163
											desvio	0.052
											c. variação	0.318

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 11	3	5.81	7.50	4	0.056	0.007
DF 21	3	4.07	8.60	11	0.038	0.005
					k médio	0.006
					desvio padrão	0.001
					coef. variação	0.195

Terra roxa estruturada similar

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)
DF 2	34	4	38	4	2.72	4.69	3	3	0.095	1.204	0.098	0.013	0.159
DF 6	37	9	46	8	3.33	5.74	2	3	0.110	1.380	0.129	0.014	0.182
								k médio	0.103	1.292	0.113	0.013	0.170
								desvio	0.008	0.088	0.016	0.001	0.012
								c. variação	0.073	0.068	0.137	0.073	0.068

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	% SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 2	34	16.20	2.72	9.50	22.70	0.0840	0.0847	0.0658	0.1093	0.0764	0.00065	0.098
DF 6	37	13.00	3.33	6.20	20.80	0.0914	0.0680	0.0986	0.0713	0.0644	0.00107	0.129
											média	0.113
											desvio	0.016
											c. variação	0.137

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 2	3	4.69	16.20	4	0.037	0.005
DF 6	3	5.74	13.00	8	0.048	0.006
	k médio					0.006
	desvio padrão					0.001
	coef. variação					0.129

Cambissolo

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)	
DF 48 c	43	11	54	3	1.97	3.40	3	3	0.188	1.610	0.079	0.025	0.212	
DF 54 c	37	16	53	5	3.01	5.19	2	3	0.130	1.480	0.146	0.017	0.195	
DF 20	55	8	63	1	1.50	2.59	2	3	0.250	1.963	0.126	0.033	0.259	
DF 1 c	22	13	35	20	1.49	2.57	3	3	0.140	0.933	-0.034	0.018	0.123	
DF 53 c	31	9	40	8	1.81	3.12	3	4	0.145	1.185	0.083	0.019	0.156	
DF 35 c	34	2	36	3	2.60	4.48	2	3	0.075	1.173	0.058	0.010	0.154	
DF 34	34	6	40	20	2.12	3.65	2	4	0.140	1.240	0.076	0.018	0.163	
DF 28	34	3	37	8	2.60	4.48	2	3	0.080	1.189	0.099	0.011	0.157	
DF 29	36	7	43	17	2.94	5.07	2	3	0.115	1.317	0.172	0.015	0.173	
DF 5	45	17	62	11	2.59	4.47	3	3	0.260	1.763	0.167	0.034	0.232	
DF 10	39	22	61	9	2.05	3.53	2	3	0.220	1.629	0.134	0.029	0.215	
DF 13	33	48	81	11	1.41	2.43	4	1	0.440	1.716	0.086	0.058	0.226	
									k médio	0.182	1.433	0.099	0.024	0.189
									desvio	0.097	0.293	0.054	0.013	0.039
									c. variação	0.533	0.205	0.543	0.533	0.205

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 48 c	43	13.00	1.97	4.80	18.10	0.1062	0.0680	0.0345	0.0552	0.0491	0.00108	0.079

DF 54 c	37	13.20	3.01	6.90	15.50	0.0914	0.0690	0.0805	0.0794	0.0363	0.00073	0.146
DF 20	55	11.00	1.50	4.90	13.60	0.1359	0.0575	0.0200	0.0564	0.0282	0.00102	0.126
DF 1 c	22	16.90	1.49	6.70	25.60	0.0543	0.0884	0.0197	0.0771	0.0967	0.00087	-0.034
DF 53 c	31	17.30	1.81	10.10	18.00	0.0766	0.0905	0.0291	0.1162	0.0486	0.00045	0.083
DF 35 c	34	18.90	2.60	8.20	23.50	0.0840	0.0988	0.0601	0.0943	0.0818	0.00060	0.058
DF 34	34	13.60	2.12	5.50	16.30	0.0840	0.0711	0.0400	0.0633	0.0400	0.00084	0.076
DF 28	34	19.80	2.60	11.20	21.70	0.0840	0.1036	0.0601	0.1288	0.0699	0.00043	0.099
DF 29	36	14.80	2.94	11.40	17.80	0.0889	0.0774	0.0768	0.1311	0.0475	0.00049	0.172
DF 5	45	8.40	2.59	5.50	12.30	0.1112	0.0439	0.0596	0.0633	0.0232	0.00120	0.167
DF 10	39	12.20	2.05	8.10	13.90	0.0963	0.0638	0.0374	0.0932	0.0294	0.00064	0.134
DF 13	33	2.80	1.41	0.40	4.30	0.0815	0.0146	0.0177	0.0046	0.0032	0.00794	0.086
											média	0.099
											desvio	0.054
											c. variação	0.543

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al ₂ O ₃	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 48 c	3	3.40	13.00	3	0.030	0.004
DF 54 c	3	5.19	13.20	5	0.044	0.006
DF 20	3	2.59	11.00	1	0.027	0.004
DF 1 c	3	2.57	16.90	20	0.012	0.002
DF 53 c	4	3.12	17.30	8	0.027	0.004
DF 35 c	3	4.48	18.90	3	0.033	0.004
DF 34	4	3.65	13.60	20	0.031	0.004
DF 28	3	4.48	19.80	8	0.030	0.004
DF 29	3	5.07	14.80	17	0.037	0.005
DF 5	3	4.47	8.40	11	0.042	0.005
DF 10	3	3.53	12.20	9	0.030	0.004
DF 13	1	2.43	2.80	11	0.019	0.002
k médio						0.004

desvio padrão
coef. variação

0.001
0.277

Solos Aluviais

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)
DF 27	49	21	70	1	1.82	3.14	4	4	0.330	1.958	0.123	0.043	0.258
DF 36	28	7	35	7	2.89	4.98	3	4	0.120	1.056	0.047	0.016	0.139
DF 51 c	45	10	55	2	3.53	6.09	3	4	0.210	1.666	0.154	0.028	0.219
								k médio	0.220	1.560	0.108	0.029	0.205
								desvio	0.086	0.376	0.045	0.011	0.050
								c. variação	0.391	0.241	0.414	0.391	0.241

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 27	49	10.60	1.82	4.60	12.70	0.1210	0.0554	0.0294	0.0529	0.0247	0.00104	0.123
DF 36	28	20.10	2.89	4.70	17.30	0.0692	0.1051	0.0743	0.0541	0.0450	0.00053	0.047

DF 51 c	45	15.70	3.53	5.00	17.00	0.1112	0.0821	0.1108	0.0575	0.0435	0.00075	0.154
											média	0.108
											desvio	0.045
											c. variação	0.414

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al ₂ O ₃	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 27	4	3.14	10.60	1	0.038	0.005
DF 36	4	4.98	20.10	7	0.040	0.005
DF 51 c	4	6.09	15.70	2	0.056	0.007
k médio						0.006
desvio padrão						0.001
coef. variação						0.183

Solos hidromórficos indiscriminados

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomogr ama (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)
DF 43	56	2	58	1	3.00	5.17	1	4	0.145	1.906	0.133	0.019	0.251
DF 37	23	17	40	9	0.22	0.38	1	6	0.190	1.033	-0.127	0.025	0.136
DF 38	25	36	61	25	9.91	17.08	1	5	0.280	1.317	0.931	0.037	0.173
DF 39	22	20	42	14	1.49	2.57	3	4	0.200	1.026	-0.032	0.026	0.135
DF 40	25	16	41	12	1.35	2.33	3	5	0.210	1.084	-0.072	0.028	0.143
DF 41 c	27	25	52	15	10.86	18.72	1	6	0.205	1.270	1.039	0.027	0.167
DF 18	23	13	36	13	4.13	7.12	3	5	0.140	0.977	0.032	0.018	0.129
DF 9	6	45	51	44	1.48	2.55	3	4	0.370	0.599	0.026	0.049	0.079
k médio									0.218	1.151	0.241	0.029	0.152

desvio	0.070	0.350	0.436	0.009	0.046
c.	0.324	0.304	1.807	0.324	0.304
variação					

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1° termo	2° termo	3° termo	4° termo	5° termo	6° termo	k (Chaves)
DF 43	56	13.60	3.00	4.40	20.80	0.1383	0.0711	0.0800	0.0506	0.0644	0.00121	0.133
DF 37	23	20.70	0.22	0.60	23.60	0.0568	0.1083	0.0004	0.0069	0.0824	0.00098	-0.127
DF 38	25	2.70	9.91	1.70	7.40	0.0618	0.0141	0.8731	0.0196	0.0088	0.00722	0.931
DF 39	22	17.70	1.49	2.10	15.80	0.0543	0.0926	0.0197	0.0242	0.0377	0.00076	-0.032
DF 40	25	18.50	1.35	0.80	20.50	0.0618	0.0968	0.0162	0.0092	0.0626	0.00104	-0.072
DF 41 c	27	14.90	10.86	1.40	9.50	0.0667	0.0779	1.0485	0.0161	0.0142	0.00068	1.039
DF 18	23	38.90	4.13	2.80	5.40	0.0568	0.2034	0.1516	0.0322	0.0049	0.00006	0.032
DF 9	6	2.00	1.48	0.20	1.20	0.0148	0.0105	0.0195	0.0023	0.0004	0.00469	0.026
											média	0.241
											desvio	0.436
											c. variação	1.807

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 43	4	5.17	13.60	1	0.051	0.007
DF 37	6	0.38	20.70	9	0.012	0.002
DF 38	5	17.08	2.70	25	0.160	0.021
DF 39	4	2.57	17.70	14	0.020	0.003
DF 40	5	2.33	18.50	12	0.024	0.003
DF 41 c	6	18.72	14.90	15	0.170	0.022
DF 18	5	7.12	38.90	13	0.040	0.005
DF 9	4	2.55	2.00	44	0.027	0.004
	k médio					0.008
	desvio padrão					0.008

coef. variação

0.953

Areia Quartzosa

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k - nomograma	k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)	
DF 35	5	32	37	55	1.20	2.07	3	1	0.205	0.455	0.028	0.027	0.060	
									k médio	0.205	0.205	0.028	0.027	0.060
									desvio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
									c. variação	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	% SiO2	1º termo	2º termo	3º termo	4º termo	5º termo	6º termo	k (Chaves)
DF 35	5	3.70	1.20	2.00	1.20	0.0124	0.0194	0.0128	0.0230	0.0004	0.00070	0.028
											média	0.028
											desvio	0.000
											c. variação	0.000

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
DF 35	1	2.07	3.70	55	-0.002	-0.0002
					k médio	-0.0002
					desvio padrão	0
					coef. variação	-0

Brunizem Avermelhado

Perfil	% silte	% a.m.f	% silte + % a.m.f	% areia	% C	% m.o.	cód. estr.	cód. perm.	k nomograma	- k (Roloff e Denardin)	k (Chaves)	k - Nomograma (SI)	k - Roloff e Denardin (SI)	
PE 47	37	21	58	27	1.94	3.34	3	4	0.330	1.553	0.025	0.043	0.205	
AC 67	39	20	59	8	2.39	4.12	3	4	0.240	1.607	0.115	0.032	0.212	
									k médio	0.285	1.580	0.070	0.038	0.208
									desvio	0.045	0.027	0.045	0.006	0.004
									c. variação	0.158	0.017	0.639	0.158	0.017

Perfil	% silte	% Al2O3	% C	% Fe2O3	%SiO2	1° termo	2° termo	3° termo	4° termo	5° termo	6° termo	k (Chaves)
PE 47	37	22.60	1.94	10.70	26.60	0.0914	0.1182	0.0335	0.1231	0.1043	0.00045	0.025
AC 67	39	7.90	2.39	3.80	15.00	0.0963	0.0413	0.0508	0.0437	0.0341	0.00207	0.115
											média	0.070
											desvio	0.045
											c. variação	0.639

Perfil	cód. perm.	% m.o.	% Al2O3	% areia	k (Denardin, 1990)	k (Denardin, 1990 - SI)
PE 47	4	3.34	22.60	27	0.016	0.002
AC 67	4	4.12	7.90	8	0.046	0.006
					k médio	0.004
					desvio padrão	0.002
					coef. variação	0.493

Anexo D - Planilhas de cálculo dos limites de tolerância para os grandes grupos de solo (somente perfis não complementares)

Latossolo vermelho-escuro							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 24	68	74	0.92	1	1.8	1.8	48.15

DF 31	45	47	0.96	1	0.7	0.7	18.73
DF 32	40	46	0.87	1	0.65	0.65	17.39
DF 42	78	83	0.94	1	0.65	0.65	17.39
DF 19	19	20	0.95	1	0.48	0.48	12.84
Média			0.93			0.86	22.90

Latosolo vermelho-amarelo							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 23	77	88	0.88	1	0.38	0.38	10.17
DF41	88	88	1.00	1	0.5	0.5	13.38
DF 1	70	79	0.89	1	0.45	0.45	12.04
DF 25	71	81	0.88	1	0.47	0.47	12.57
DF 16	55	68	0.81	1	0.4	0.4	10.70
DF 33	19	23	0.83	1	1.05	1.05	28.09
DF 43	23	28	0.82	1	0.45	0.45	12.04
DF 26	79	76	1.04	1	0.45	0.45	12.04
DF 17	66	79	0.84	1	0.35	0.35	9.36
Média			0.89			0.50	13.38

Podzólico vermelho-amarelo							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 8	32	40	0.80	1	0.35	0.35	9.36
DF 3	28	41	0.68	1	0.42	0.42	11.24
DF 22	14	15	0.93	1	0.5	0.5	13.38
DF 4	15	17	0.88	1	0.98	0.98	26.22
DF 15	8	52	0.15	1	0.45	0.45	12.04
Média			0.69			0.54	14.45

Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 11	36	35	1.03	1	0.32	0.32	8.56
DF 21	30	39	0.77	1	0.5	0.5	13.38
Média			0.90			0.41	10.97

Terra roxa estruturada similar							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 2	58	67	0.87	1	0.34	0.34	9.10
DF 6	46	49	0.94	1	0.47	0.47	12.57
Média			0.90			0.41	10.83

Cambissolo							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 20	36	41	0.88	1	0.4	0.4	10.70
DF 34	40	44	0.91	1	0.55	0.55	14.71
DF 28	55	54	1.02	1	0.45	0.45	12.04
DF 29	40	29	1.38	1	0.32	0.32	8.56
DF 5	27	27	1.00	1	0.52	0.52	13.91
DF 10	30	27	1.11	1	0.27	0.27	7.22
DF 13	8	6	1.33	1	0.33	0.33	8.83
Média			1.09			0.41	10.85

Aluviais							
Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano

DF 27	29	0	0.00	1	0.6	0.6	16.05
DF 36	58	0	0.00	1	0.9	0.9	24.08
Média			0.00			0.75	20.06

Hidromórficos indiscriminados							
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 38	14	0	0.00	1	0.5	0.5	13.38
DF 39	44	0	0.00	1	0.5	0.5	13.38
DF 40	47	0	0.00	1	0.75	0.75	20.06
DF 18	51	62	0.82	1	0.3	0.3	8.03
DF 9	5	9	0.56	1	1.12	1.12	29.96
Média			0.28			0.63	16.96

Areia quartzosa							
-----------------	--	--	--	--	--	--	--

Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
DF 35	8	0	0.00	1	0.65	0.65	17.39
Média			0.00			0.65	17.39

Brunizem avermelhado							
----------------------	--	--	--	--	--	--	--

Perfil	argila A	argila B	relação textural	cód. rel.	profundidade A e B (m)	tolerância mm/ano	tolerância t/ha.ano
PE 47	15	53	0.28	1	0.5	0.5	13.38
AC 67	33	42	0.79	1	0.5	0.5	13.38
Média			0.53			0.50	13.38