
**METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS AMBIENTAIS
DE PERDA LAMINAR DE SOLOS, POR MEIO DO GEOPROCESSAMENTO.
ESTUDO DE CASO: DISTRITO FEDERAL¹**

Gustavo Macedo de Mello Baptista
Geógrafo - UnB

Nabil Joseph Eid
Professor Dr. do Dep. de Engenharia Civil - UnB

RESUMO: *Este trabalho teve por objetivo desenvolver uma metodologia para 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 das 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. 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.*

Palavras Chaves: *perda de solo, geoprocessamento, USLE, SIG.*

ABSTRACT: *The aim of this work is to define a discriminate zone methodology 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. 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.*

Key Words: *soil loss, geoprocessing, USLE, GIS.*

1 – Introdução

Erosão é um processo de perda de volume de solos caracterizado pelo desprendimento, transporte e deposição das partículas 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

¹ Síntese da Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (MTARH) da Universidade de Brasília, do primeiro autor, intitulada "Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento".

retirada de nutrientes juntamente com os sedimentos minerais. A perda de solo por erosão laminar é considerada como 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 isto seriam necessários 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 a 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 que pode ser tratado com técnicas apropriadas de conservação de solo, no início. 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 maciez 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 se tornam significativas a 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 espacializado 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 trabalho visou desenvolver uma metodologia apoiada no geoprocessamento para efetuar o diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal.

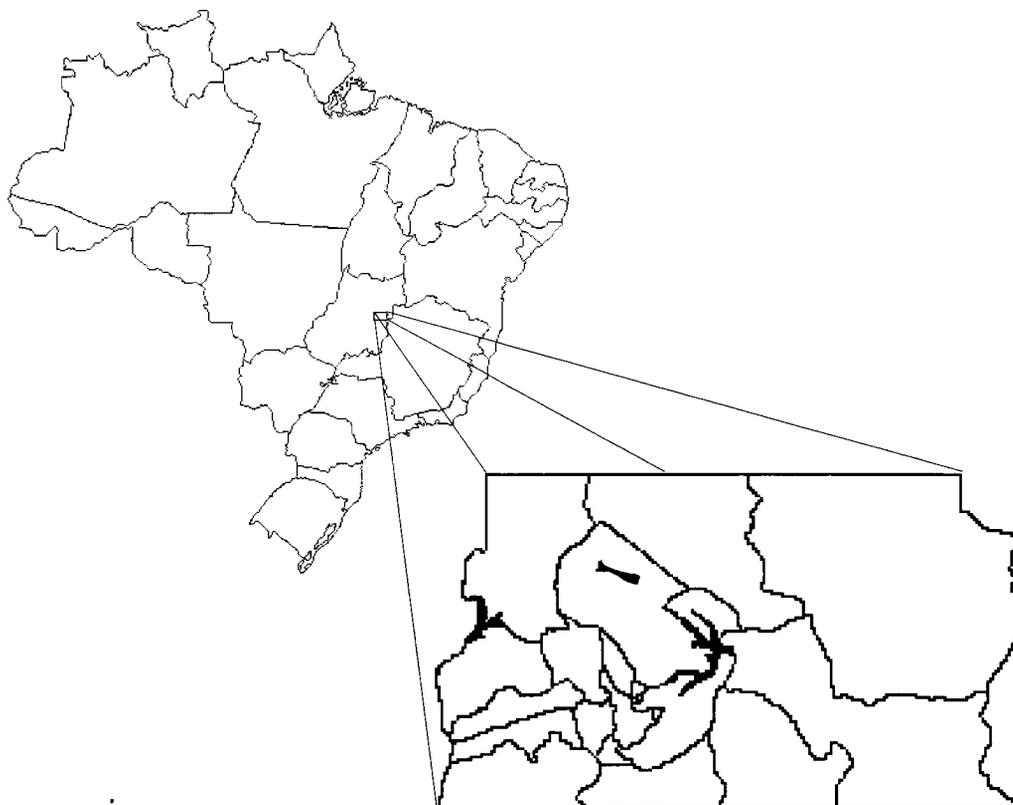
2 - Descrição da área de estudos

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 foi 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).



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.

3 - Solos do Distrito Federal

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.

4 - Erosão Laminar

Erosão pode ser entendida como o processo de desagregação, transporte e

deposição de partículas componentes do solo, determinada pela ação do vento e, mais especificamente, pela água (Bertoni & 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).

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 cinco 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.

5 - Equação Universal de Perda de Solo – USLE

Para quantificar as perdas de solo por erosão laminar, os diversos autores 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 & 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:

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

onde:

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 se adotam 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, constitui 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.

6 - Parâmetros do Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos

a) 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} .

A grande maioria dos autores, 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:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (2)$$

onde

Ec = energia cinética em MJ/ha.mm;

I = intensidade do evento pluviométrico em mm/h,

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

$$R = \sum_{i=1}^n (E_c I_{30})_i \quad (3)$$

onde

n = número de eventos de chuva no ano;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos.

Em razão da dificuldade de se obterem 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 4:

$$EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad (4)$$

onde

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,

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

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (5)$$

b) Fator K - Erodibilidade do solo

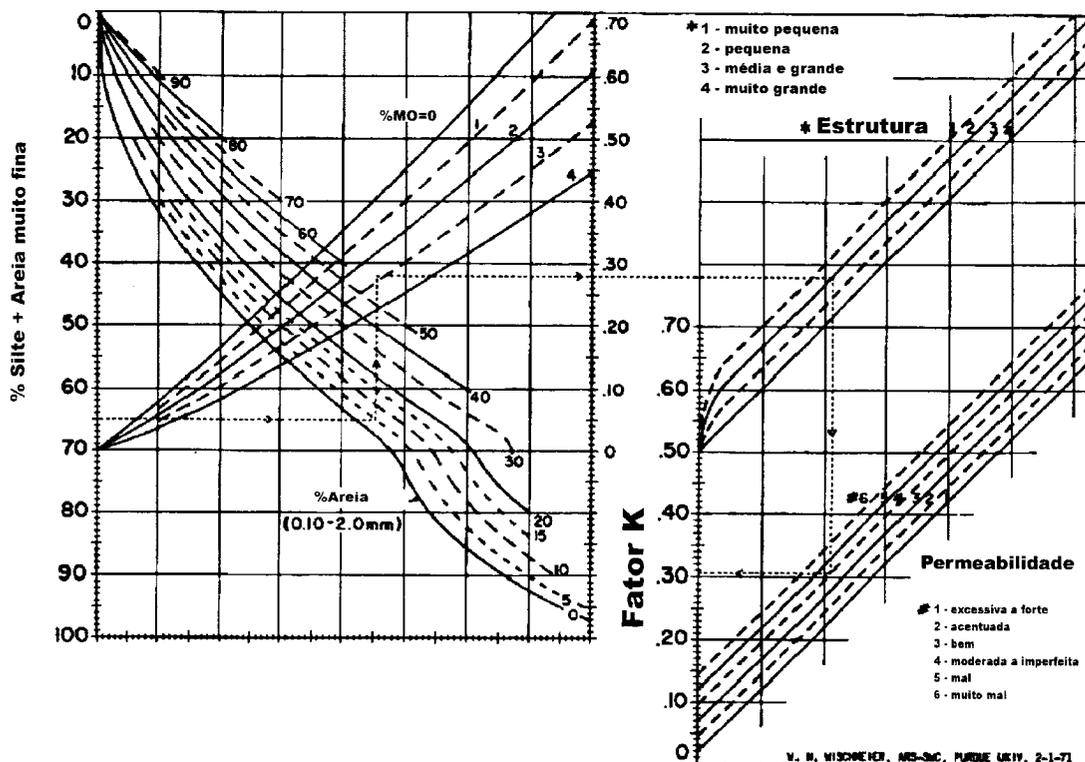
O fator K busca quantificar a "intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais" (Carvalho, 1994). Pode ser entendido simplesmente como sinônimo de susceptibilidade do solo a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

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.

O fator K é determinado experimentalmente, em condições específicas de declivida-

de (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 2), 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 no sistema inglês, devido a

que, na sua confecção, a permeabilidade foi adotada nesse sistema, e para ser utilizado no sistema internacional, devem ser multiplicados pelo fator de conversão 0,1317. Segundo Baptista (1997) e Baptista & Eid (1997) os resultados obtidos pelo nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) foram os que mais se adequam aos solos do DF.



c) 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 se tenta 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; Rizzo, 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 deveria percorrer até o ponto mais próximo do leito dos rios. Esse método considera a bacia de área A como um retângulo em cujo 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 (6):

$$L = \frac{A}{4l} \quad (6)$$

onde

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

A = área da bacia (m²); 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 a 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 uma quantidade maior de cursos d'água, o que acarretará uma redução do valor de comprimento de rampa, pois aumentar-se-á o denominador da equação 11, 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.

d) 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 7:

$$\sqrt{(GX \cdot GX + GY \cdot GY)} \quad (7)$$

onde

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

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

e) 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 8, que foi estabelecida por Bertoni (1993), 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 8 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 neste trabalho.

$$L S = 0,00984 \cdot l^{0,63} \cdot s^{1,18} \quad (8)$$

onde

l = comprimento de rampa (m);

s = declividade (%).

f) Fator CP - Fator Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

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).

Visando facilitar a determinação dessa variável (C), Wischmeier (1960) 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.

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.

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 se busca a espacialização dos fenômenos, através do Geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados, não mais em função do estágio 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 do Quadro 1. 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 se utilizam as técnicas de geoprocessamento, principalmente as classificações de imagens de sensoriamento remoto, para se obter o mapeamento do uso do solo, em escala regional.

g) 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 agrônomo, para a determinação dos limites de tolerância,

Quadro 1 - 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 terreno	4a. Cobertura residual	0,01
	4b. Pastagem	0,01
	4c. Cultura temporária	0,20
	4d. Campo cerrado	0,01
	4e. Campo natural	0,01
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno	5a. Cobertura residual	0,10
	5b. Pastagem	0,10
	5c. Cultura temporária	0,20
6. Ocupações naturais diversas	6a. Várzea	0,00
	6b. Espelho d'água	0,00
7. Ocupações antrópicas diversas	7a. Área urbana	0,00
	7b. Estrada	0,00

Fonte: Stein *et al.* (1987)

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 (9) para expressar a tolerância de perdas de solo por erosão laminar:

$$C = h \cdot r \quad (9)$$

onde

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.

h) 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 no Quadro 2.

7 - Geoprocessamento

Como os objetivos deste trabalho estão centrados na análise qualitativa das áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão no Distrito Federal, por meio 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

Quadro 2 - 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

software específico que será utilizado, o IDRISI (Eastman, 1992).

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

a) Sistema de Informações Geográficas

O Sistema de Informações Geográficas tem 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.

b) 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.

8 - Metodologia do Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, por meio do Geoprocessamento.

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

a) Material utilizado

b)

- 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 da Estações Pluviométricas da CAESB, de acordo com o Quadro 3.
- 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);

Quadro 3 - 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

Quadro 4 - 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

2? Surfer versão 5.0 para Windows (licença adquirida pelo Professor Augusto César Bittencourt Pires, do Dept^o de Geoquímica e Recursos Minerais da Universidade de Brasília)

c) Métodos

- 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 (Quadro 3), de 1979 (primeiro ano no qual todas as estações do Quadro 3 estavam coletando os dados pluviométricos) a 1995 (último ano completo disponível até então), 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 5, com EI_{30} calculados pela equação 4 que, apesar de ter sido obtida para o município de Campinas e Lombardi Neto e Moldenhauer (apud Bertoni e Lombardi Neto, 1993) 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 4 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 - Parapanema, estado de São Paulo. 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_a , $a = 1, \dots, n$. 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). A formulação desse interpolador (*ordinary kriging*) é expressa por:

$$z = \sum_{i=1}^n \beta_i z_i \quad (10)$$

onde

n = número de pontos do espaço amostral;
 z = valor interpolado;
 z_i = vizinho mais próximo; e,
 β_i = peso.

A escolha desse método também se baseou no tamanho do espaço amostral, que neste caso apresenta 18 pontos referentes às Estações da CAESB.

- 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, adotaram-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 2), 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, utilizaram-se os valores de erodibilidade disponíveis na literatura, como uma primeira aproximação e para comparação. Após a obtenção dos dados de K a partir do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), compararam-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.

- 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. 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 Villela e Mattos (1975), utilizado para calcular o índice extensão média do escoamento superficial, 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 6, obtendo-se o comprimento médio das rampas, bacia a bacia. Após esses procedimentos, foi utilizada a equação 8 para determinação de LS, pois a mesma é um ajuste para o município de Campinas, SP, adequando-se melhor, portanto, para as condições brasileiras.

- 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 no Quadro 1, 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.).

- 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 9 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 o Quadro 2, visando zonestar e espacializar os impactos no Distrito Federal em função das perdas de solo.

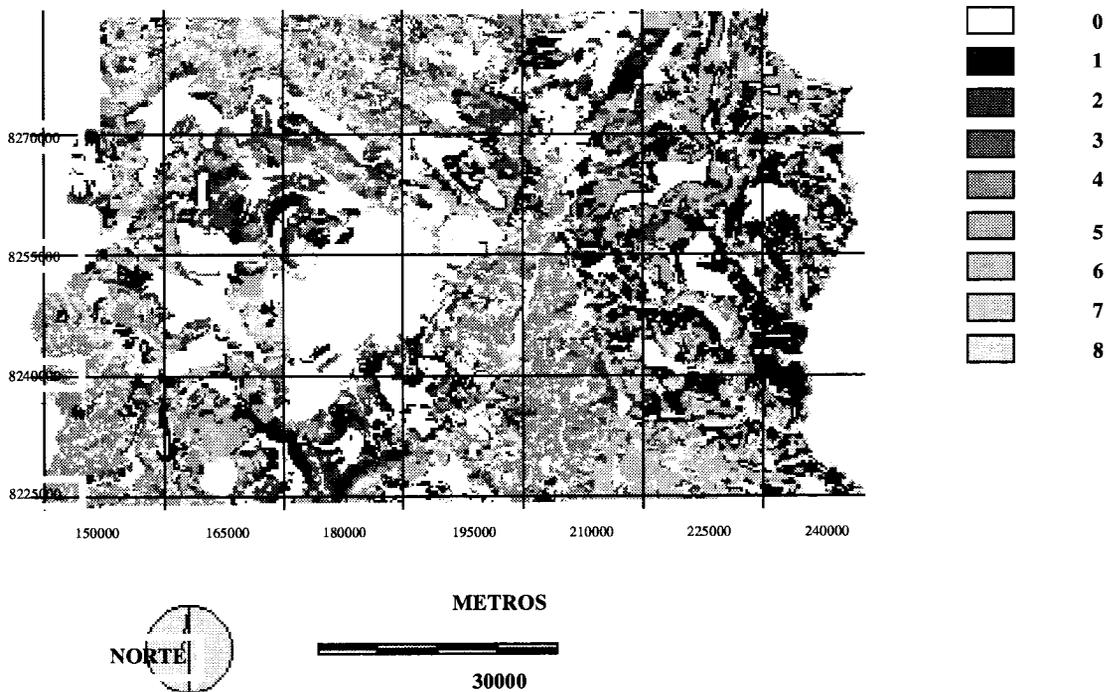
Como produto final obteve-se o Mapa "Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, do Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento, cuja legenda é apresentada no Quadro 4.

9 – Conclusões

O presente Trabalho mostrou 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 zonestar 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

MAPA 1 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PERDA LAMINAR DE SOLOS, DO DISTRITO FEDERAL, POR MEIO DO GEOPROCESSAMENTO



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 deste trabalho; portanto, os resultados obtidos ainda não podem ser confrontados com a realidade. Esse diagnóstico é devido ao uso e ocupação constatados em junho de 1994 e na escala de 1:100.000.

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 Aracoia - CE. *FUNCEME*.11p.
- CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J. E CATÂNEO, A. (1991). Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} 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'Alíança - 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.
- 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.
- IMA/CODEVASF (no prelo). *Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal - 1994*, 1ª edição, GDF, Brasília.
- IMA/SEMATEC (1994). *Mapa de Unidades Hidrográficas de Gerenciamento do Distrito Federal*, 1ª edição, GDF, Brasília.
- IMA/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 Agrônomo 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 Agrônomo 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 CHRISTOFOLETTI, 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 Agronômica 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.