



Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO  
AMBIENTAL**

**Utilização de SIG na avaliação da perda de solo da bacia  
hidrográfica do rio Paranoá: Região central do Distrito Federal**

**TALITA OLIVEIRA TARLEI DE FREITAS**

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências para conclusão do IV Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental.

**ORIENTADOR: Dr. Edson Eyji Sano**

Brasília - DF

2015



Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO  
AMBIENTAL**

**Utilização de SIG na avaliação da perda de solo da bacia  
hidrográfica do rio Paranoá: Região central do Distrito Federal**

**TALITA OLIVEIRA TARLEI DE FREITAS**

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências para conclusão do IV Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental.

**ORIENTADOR: Dr. Edson Eyji Sano**

Brasília - DF

2015



Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO  
AMBIENTAL**

**Utilização de SIG na avaliação da perda de solo da bacia  
hidrográfica do rio Paranoá: Região central do Distrito Federal**

**TALITA OLIVEIRA TARLEI DE FREITAS**

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências para conclusão do IV Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental.

**ORIENTADOR: Dr. Edson Eyji Sano (Embrapa/Ibama)**

**COMISSÃO JULGADORA**

**Prof. Dr. Edilson Souza Bias (IG/UnB)**

---

**Profª Drª Tatiana Diniz Gonçalves (IG/UnB)**

---

Brasília - DF

2015

## **AGRADECIMENTOS**

*Ao Universo, pela oportunidade.*

*Aos meus pais, por tudo e mais um pouco.*

*Ao companheiro dos diversos momentos vividos nesse ano: de Abacateiro a Severino*

*Ao tão esperado e amado Tupã.*

*A todos os coordenadores, professores, colaboradores e colegas do curso.*

*A ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10.x por intermédio do contrato No 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG e a ESRI e pelo suporte aos softwares.*

Utilização de SIG na avaliação da perda de solo da bacia hidrográfica do rio  
Paranoá: Região central do Distrito Federal

Applied SIG for soil loss estimation in the Paranoá watershed: Central area of Distrito Federal

**Talita Oliveira Tarlei de Freitas<sup>1\*</sup>, Edson Eyji Sano<sup>2</sup>**

**RESUMO:** A perda de solo por erosão é um problema ambiental sério da atualidade, causando a degradação de vários recursos, principalmente do solo e da água. Objetivou-se com este trabalho estimar a perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Paranoá, efetuada pela combinação de ferramentas de Sistemas Informações Geográficas (SIG) com modelo de perdas de solo através da Equação Universal de Perdas de Solos, USLE. Verificou-se que a bacia hidrográfica do rio Paranoá apresenta baixa susceptibilidade à erosão laminar, com pequenas áreas bem delimitadas de maior vulnerabilidade. As informações de topografia e pedologia foram mais determinantes nos critérios utilizados para predição dos riscos de erosão do que as informações de clima e cobertura vegetal.

**PALAVRAS-CHAVE:** USLE; Cerrado; Erosão do solo; Geoprocessamento

**ABSTRACT:** *The loss of soil by erosion is a severe environmental problem, which causes degradation of many resources, especially soil and water. The objective of this work was to predict the loss of soils by laminar erosion in the watershed of river Paranoá, combining tools of Geographical Information Systems (GIS) with estimative of soil loss by Universal Soil Loss Equation, USLE. It was found that the watershed of river Paranoá has low susceptibility to laminar erosion, with small well defined areas of higher vulnerability. The information about topography and pedology were more determinant in the criteria used for prediction of erosion risk than the climate and vegetation cover information.*

**KEYWORDS:** *USLE; Brazilian savanna; Soil erosion; Geoprocessing*

---

<sup>1</sup> Programa de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, Instituto de Geociências - IG, Universidade de Brasília – UnB, Brasília (DF), Brasil. E-mail: talitatarlei@gmail.com

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Brasília (DF), Brasil. E-mail: edson.sano@gmail.com

\* Autor correspondente

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	9
Figura 2: Classificação climática segundo os critérios de Köppen para o Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN, 1984.....	10
Figura 3: Mapa pedológico do Distrito Federal.....	11
Figura 4: Fluxograma da elaboração do mapa temático do Fator R.....	18
Figura 5: Fluxograma de elaboração do mapa temático do fator K. ....	19
Figura 6: Fluxograma das etapas da elaboração do fator LS.....	20
Figura 7: Fluxograma da elaboração do PNE.....	21
Figura 8: Mapa da cobertura do solos da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	22
Figura 9: Fluxograma das etapas de elaboração do fator C.....	23
Figura 10: Fluxograma de obtenção do produto A.....	23
Figura 11: Mapa de erosividade da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	25
Figura 12: Mapa de erodibilidade da bacia hidrográfica do rio Paranoá.....	27
Figura 13: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	29
Figura 14: Mapa de comprimento de rampa da bacia hidrográfica do rio Paranoá.....	30
Figura 15: Mapa do fator topográfico da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	31
Figura 16: Mapa do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	33
Figura 17: Mapa do fator de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	34
Figura 18: Mapa de perda de solos na bacia hidrográfica do rio Paranoá.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série histórica dos 14 postos pluviométricos, com sistema de coordenadas em SIRGAS 2000 UTM Zona 23S.....	17
Tabela 2: Classes de solos presentes na bacia hidrográfica.....	18
Tabela 3: Classificação da cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Paranoá .....	22
Tabela 4: Valores de erosividade em $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ de cada posto pluviométrico .....	24
Tabela 5: Valores do fator K para as classes de solo presentes na bacia .....	26
Tabela 6: Classificação do relevo de acordo com a porcentagem de declividade.....	28
Tabela 7: Classificação do Potencial Natural de Erosão .....	32
Tabela 8: Valores de C para as classes de uso do solo presentes na bacia .....	32
Tabela 9: Susceptibilidade do solo à erosão .....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	8
1.1	Apresentação	8
1.2	Objetivos	8
1.3	Localização da Área	8
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	10
2.1	Características da área de estudo	10
2.2	Estimativa de perdas de solo - USLE	13
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE TRABALHO</b>	16
3.1	Processamento de Dados Espaciais	16
3.3.1.	Fator R	16
3.3.2.	Fator K	18
3.3.3.	Fator LS	19
3.3.4.	Potencial Natural de Erosão - PNE	21
3.3.5.	Fator C	21
3.3.6.	Perdas de Solo por Erosão Laminar	23
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	24
4.1	Estimativa de perdas de solo	24
4.1.1	Fator R	24
4.1.2	Fator K	26
4.1.3	Fator LS	28
4.1.4	PNE	32
4.1.5	Fator C	32
4.1.6	Perdas de Solo por Erosão Laminar	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	37
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	38

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Apresentação**

A erosão é um processo que ocorre em toda a superfície terrestre e, em conjunto com outros processos naturais, é responsável pela modelagem das formas de relevo. Entretanto, com o incremento da ação antrópica no meio ambiente, através da supressão da cobertura vegetal para a introdução de práticas agrícolas, exploração de bens minerais e implantação de núcleos urbanos, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais terrestres, o solo e a água superficial (Carvalho et al., 2010).

O estudo da erosão dos solos, portanto, se torna importante, uma vez que o conhecimento antecipado do potencial de erosão de um solo em área pré-estabelecida pode direcionar a atividade humana no sentido de um uso e manejo sustentável dos recursos naturais ali contidos (Aquino et al., 2007).

A bacia hidrográfica do rio Paranoá foi escolhida para o estudo por se tratar da bacia com a maior ocupação humana do Distrito Federal e, conseqüentemente, uma das mais comprometidas do ponto da qualidade das águas. Os principais problemas são relacionados à disposição dos esgotos domésticos e à impermeabilização das superfícies de infiltração (ZEE, 2012). Nesse sentido, é importante avaliar a conformidade do uso atual do solo com o seu risco de erosão, determinado a partir da estimativa de perdas de solo, com a finalidade de se planejar e adaptar a ocupação de acordo com a capacidade e aptidão da bacia hidrográfica.

## **1.2 Objetivos**

Objetivou-se com o estudo aplicar a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para análise do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio Paranoá, localizada no Distrito Federal (DF), Brasil, com o uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

## **1.3 Localização da Área**

A área objeto desse estudo localiza-se na porção central do Distrito Federal (Figura 1) e apresenta, aproximadamente, 1.056, 28 Km<sup>2</sup> de área. As coordenadas de extremo norte, sul, leste e oeste são, respectivamente, 176.779,366E e 8.275.982,293N, 178.966,540E e 8.230.583,398N, 210.575,731E e 8.251.062,28N, 167.130,649E e 8.257.947,077N.

O acesso à bacia hidrográfica do rio Paranoá se dá pelas principais vias do Distrito Federal, uma vez que os terminais rodoviários de Brasília e do Plano Piloto estão contidos na bacia. É a única bacia hidrográfica que está totalmente inserida no Distrito Federal e representa a maior densidade demográfica do DF, já que contempla as Regiões Administrativas de Brasília, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Riacho Fundo, Candangolândia, Cruzeiro, Guará, Taguatinga.

A delimitação das bacias hidrográficas foi obtida pela base de dados do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF) da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa), enquanto que a delimitação dos limites estaduais do Brasil foi obtida através da base de dados disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

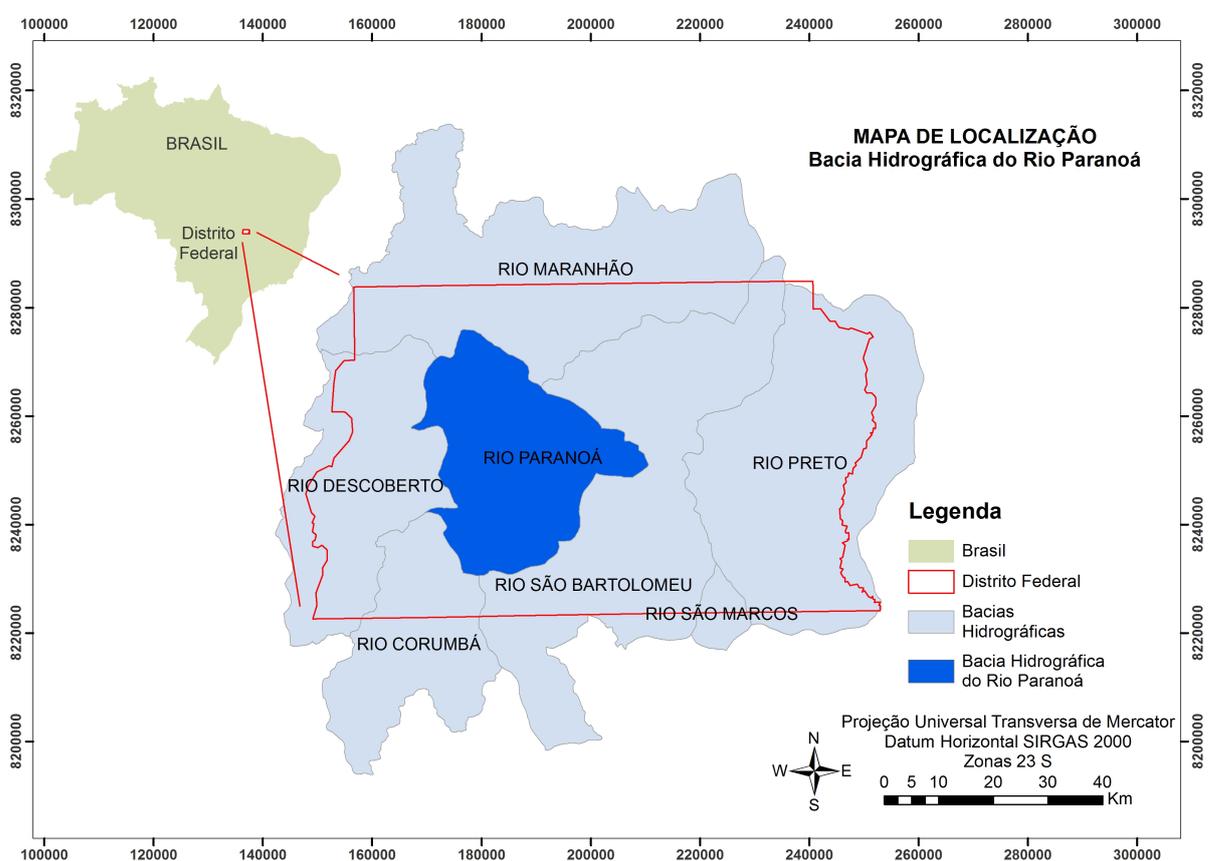
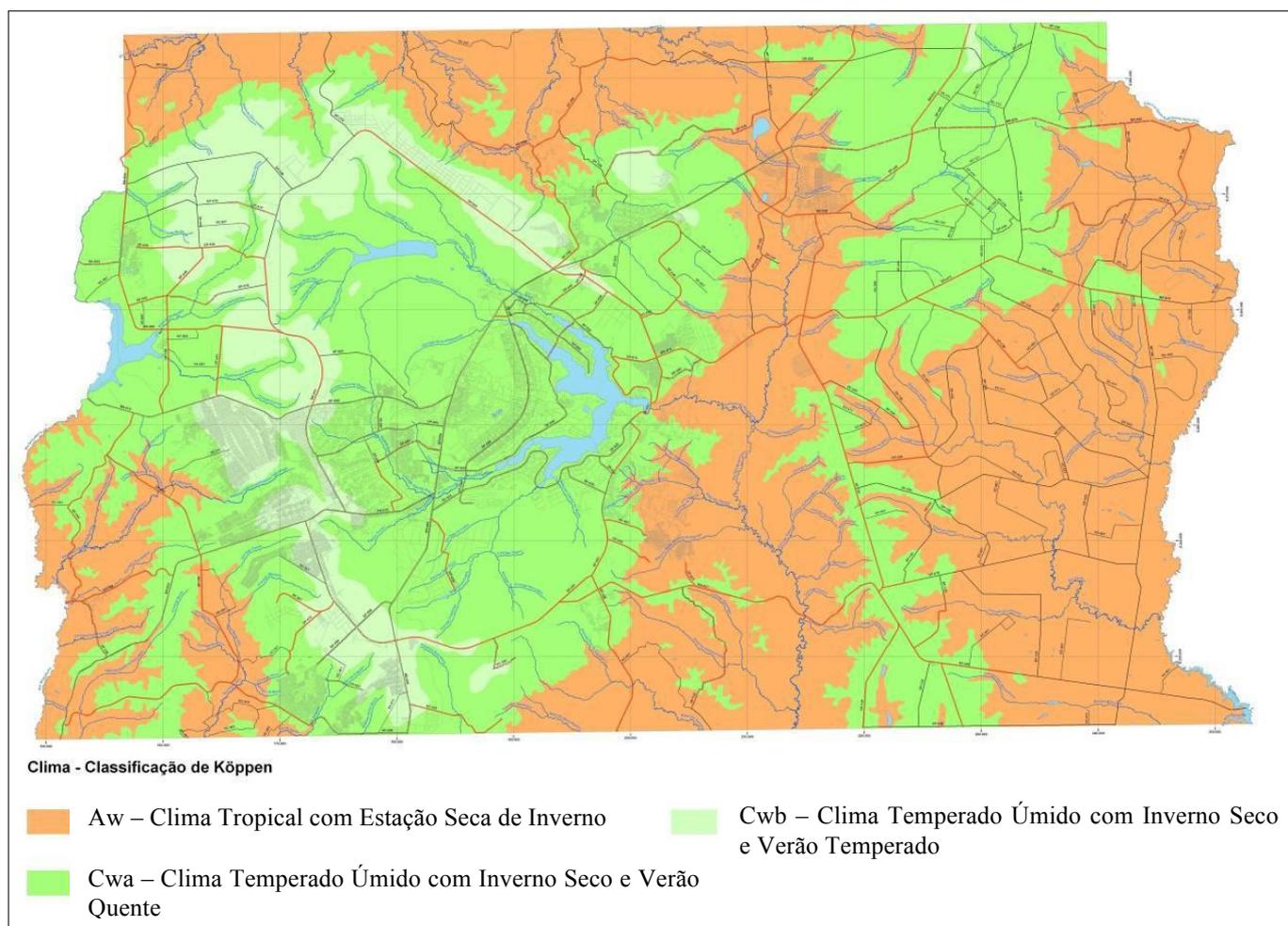


Figura 1: Localização da área de estudo

## 2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Características da área de estudo

De acordo com a classificação de Köppen (Figura 2), o tipo climático predominante na bacia hidrográfica do rio Paranoá é o Cwa (Clima Temperado Úmido com Inverno Seco e Verão Quente), com temperatura do mês mais frio (julho) inferior a 18°C e dos meses mais quentes (setembro e outubro) com média superior a 22°C, abrangendo altitudes entre 1.000 e 1.200m. Há também uma pequena presença do tipo climático Cwb (Clima Temperado com Inverno Seco e Verão Temperado), com temperatura do mês mais frio (julho) inferior a 18°C e dos meses mais quentes (setembro e outubro) com média inferior a 22°C, abrangendo altitudes acima de 1.200m (Codeplan, 1984).



Considerando o mapeamento de solos do Serviço Nacional de Levantamento

Figura 2: Classificação climática segundo os critérios de Köppen para o Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN, 1984.

de Solo (Embrapa, 1978), na escala 1:100.000, a bacia hidrográfica do rio Paranoá pode ser analisada em dois blocos (Figura 3). O primeiro é caracterizado pelos tipos pedológicos mais abundantes, com representatividade espacial em torno de 70,57% e é constituído pelas seguintes classes de solos: Latossolo e Cambissolo. Já o segundo grupo, que abrange aproximadamente 29,43%, refere-se aos demais tipos de solos identificados dentro dos limites da bacia hidrográfica, com classes de Gleissolo, Espodossolo, Plintossolo, Argissolo e Neossolo. Vale ressaltar que os solos aqui considerados como gleissolos foram originalmente definidos com solos hidromórficos no mapeamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

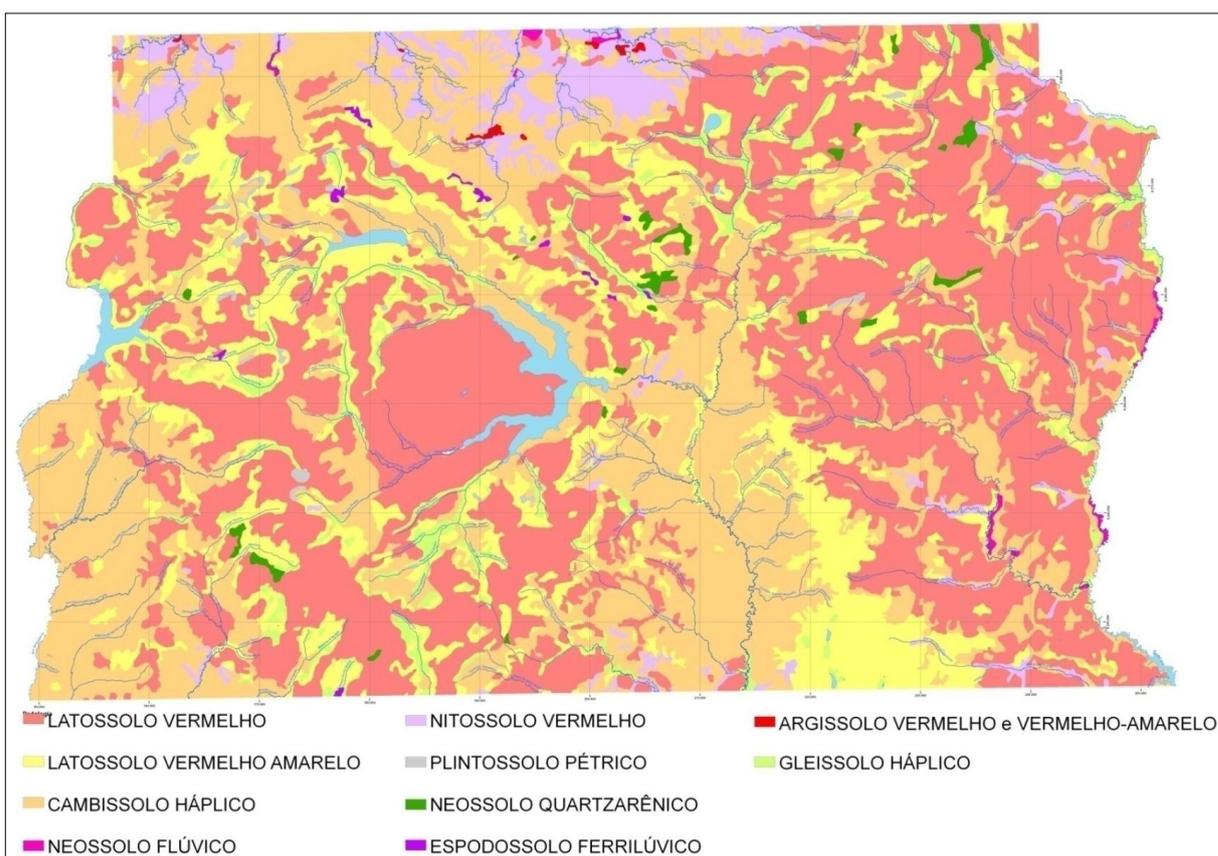


Figura 3: Mapa pedológico do Distrito Federal

O Zoneamento Econômico-Ecológico do Distrito Federal apresenta algumas características de cada solo, exceto para o espodossolo, com suas recomendações de uso e ocupação e também suas respectivas restrições (ZEE, 2012):

- Latossolos: O grupo dos latossolos permite qualquer tipo de uso urbano ou rural, com edificações de pequeno e médio porte, obras com pavimento em subsolo, instalação de sistemas de saneamento in situ, instalação de sistemas de recarga

artificial dos aquíferos, caixas de dissipação de energia de águas pluviais, bacias de infiltração (de águas pluviais), agricultura irrigada, convencional ou em plantio direto. A grande espessura da zona não saturada dos aquíferos faz com que esses solos comportem a instalação de equipamentos potencialmente poluentes, como estação de tratamento de efluentes e usina de triagem e reciclagem de resíduos sólidos. Com relação à sensibilidade a perda de solos, os latossolos apresentam a maior tolerância e maior resistência à erosão, todavia quando submetidos ao fluxo de escoamento concentrado podem gerar erosões. Também apresentam produção hídrica específica elevada, com rede de drenagem perene. A principal restrição desses solos é sua fertilidade natural baixa, já que são solos exclusivamente distróficos. O relevo em que ocorrem, a facilidade de drenagem e a consistência macia favorecem a mecanização, o que os torna muito atrativos para o desenvolvimento de produção agrícola mecanizada.

- Cambissolos: Apresentam limitações para usos urbanos, relacionadas à baixa permeabilidade e à resistência destes solos, o que dificulta a instalação de sistemas de saneamento in situ, instalação de redes de drenagem pluvial ou de adução de água e instalação de obras com pavimentos em subsolo. O ZEE (2012) recomenda que essas terras sejam destinadas para preservação ambiental ou para projetos de ocupação na forma de grandes áreas (como chácaras e mansões), em que as áreas verdes predominem sobre as áreas impermeabilizadas. Com relação à sensibilidade a perda de solos, os cambissolos demonstram comportamento distinto em função da presença ou não de pedregosidade nos horizontes superficiais e apresentam uma menor tolerância à erosão em relação aos latossolos. Por ser um solo de profundidade rasa, seus cursos d'água são intermitentes.

- Gleissolos: As limitações e a sensibilidade ambiental são muito grandes, tanto que em sua totalidade são considerados como área de preservação ambiental. As limitações para uso urbano são devidas à sua elevada plasticidade, presença comum de matéria orgânica e baixa permeabilidade. Para o uso agrícola a limitação é vinculada à saturação que impede o desenvolvimento praticamente de qualquer tipo de cultura.

- Espodossolos: As principais limitações desta classe de solo estão relacionadas à sua textura arenosa, presença de horizonte de impedimento e baixa fertilidade. A presença de horizonte fragipã, duripã ou “ortstein” pode causar impedimento à penetração das raízes e à infiltração de água. Não apresentam

normalmente aptidão agrícola, sendo indicados para áreas de conservação ambiental (Ageitec, 2015).

- **Plintossolos:** Estes solos são muito procurados como fonte de material para aterros, pois sua natureza cascalhenta com matriz argilosa permite a formação de pavimentos estáveis e resistentes aos processos erosivos. De forma geral são limitados para agricultura, em função da presença de níveis endurecidos que dificultam a penetração das raízes e em muitos casos impedem a penetração dos implementos agrícolas. Os plintossolos são os tipos de coberturas que apresentam maior resistência natural às perdas, tanto que são comumente utilizados para revestimento de estradas, o que pode ser explicado pela pedregosidade comum desses solos e por sua capacidade de agregação por processos químicos.

- **Argissolos:** São geralmente ácidos com saturação por bases alta e por isso são recoberto por fases florestais com elevada densidade de espécies arbóreas de elevado porte. Os argissolos, embora sejam comumente eutróficos, não apresentam aptidão para o desenvolvimento de agricultura intensiva, uma vez que ocorrem em terrenos inclinados e podem apresentar limitações vinculadas à consistência dura a muito dura, à drenagem e à erosão.

- **Neossolos:** Esta classe de solo apresenta forte limitação à agricultura, pois a ausência de argila dificulta a instalação e fixação das raízes. Seu caráter álico também limita o uso agrícola. Do ponto de vista urbano há limitação para instalação de sistema de saneamento *in situ*, de escavações gerais e de implantação de obras com pavimento em subsolo. Por ser um solo de profundidade rasa, seus cursos d'água são intermitentes.

## **2.2 Estimativa de perdas de solo - USLE**

Atualmente os processos de degradação do solo constituem grave problema em escala mundial, com conseqüências ambientais, sociais e econômicas significativas. Para tanto são de fundamental importância estudos que avaliem a susceptibilidade dos diferentes tipos de solo aos processos erosivos, as taxas com que esses processos ocorrem, suas conseqüências na paisagem, além do conhecimento dos prováveis fatores desencadeadores, possibilitando uma melhor gestão das práticas desenvolvidas no território da bacia hidrográfica (Carvalho et al., 2010).

A erosão é a forma mais importante de degradação do solo e a principal causa de esgotamento de nutrientes no sítio com implicações diretas sobre a produtividade agrícola ou florestal (Hashim et al., 1998). Segundo Bahia et al. (1992) existem dois tipos de erosão: normal ou geológica, que é causada por fenômenos naturais tais como a chuva e o vento, que provocam contínuas mudanças na superfície terrestre e, a erosão acelerada ou antrópica, que é causada pela interferência do homem nesse processo de modificação da crosta terrestre. Portanto, a erosão antrópica é resultante da ocupação inadequada dos solos por atividades agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos devido às condições induzidas ou modificadas pelo homem ao solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2012).

A erosão causada pela ação do vento denomina-se eólica e é muito comum em áreas áridas e semi-áridas, particularmente em solos com textura grosseira e cobertura vegetal limitada (Hashim et al., 1998). Os sinais iniciais de erosão eólica incluem a deposição das partículas de areia ao redor de plantas formando pequenas rugas na superfície das áreas expostas, sendo que o extremo final são as clássicas estruturas dunares dos desertos de areia (Antonangelo, 2004).

O processo de erosão hídrica começa quando as gotas de chuva atingem a superfície do solo e destroem os agregados sendo constituído de três etapas: 1) desagregação das partículas de solo; 2) transporte das partículas desagregadas; 3) deposição deste material (Bahia et al., 1992). Neste processo, fatores como o volume e a intensidade da chuva, cobertura do solo, tipo de solo, relevo, comprimento do declive, e as práticas de cultivo, determinam se o risco de erosão é baixo, moderado ou severo (Kelly & Gomez, 1998). Além de diminuir o potencial de produção agrícola ou florestal do solo, os sedimentos gerados no processo erosivo causam a poluição de rios e riachos. Nos rios, o assoreamento dificulta a navegação fluvial e ainda provoca o acúmulo de resíduos e defensivos químicos. A presença de resíduos dificulta a captação e tratamento da água destinada ao abastecimento, além de prejudicar a flora e a fauna aquática e inviabilizar até mesmo a atividade pesqueira (Bahia et al., 1992).

As pesquisas sobre erosão têm como finalidade medir a influência dos diferentes fatores determinantes desse processo, possibilitando estimar as perdas de solo e selecionar práticas que reduzam estas perdas ao máximo. No entanto, a determinação das perdas de solo por erosão através de métodos diretos é cara e muito

demorada. Estas são as principais causas do crescente interesse dos pesquisadores pelos métodos de predição da erosão (Foster et al., 1985).

Dentre esses modelos, a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1978), quando espacializada por meio do SIG, permite a análise da perda de solo, além da contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras. Dentro desse contexto, o estudo da erosão dos solos se torna fundamental, pois o conhecimento antecipado do potencial de erosão pode direcionar a atividade humana no sentido de um uso sustentável. (Lopes et al, 2011).

O modelo USLE se presta à análise conjunta dos fatores condicionantes da erosão para estimativa de perda de solo pela ação do escoamento das águas pluviais em superfície, com ênfase nos processos de erosão laminar (Pinto & Garcia, 2005).

Modificações têm sido propostas em alguns termos da USLE para melhor aproximar as estimativas aos dados obtidos em parcelas experimentais. A Revised USLE ou RUSLE (Moore & Wilson, 1992) considera o manejo nas parcelas agrícolas, conforme os estágios dos cultivos, bem como os usos anteriores. Williams (1975) propôs a MUSLE (Modified USLE) incorporando o fator runoff no lugar do fator erosividade. Para trabalhar com a USLE modificada, os fatores hidrológicos necessários à estimativa do aporte de sedimentos nem sempre são de simples obtenção (Carvalho et al., 2010). Portanto, visando contornar essa dificuldade, optou-se pela utilização da USLE nesse trabalho.

### 3 METODOLOGIA DE TRABALHO

#### 3.1 Processamento de Dados Espaciais

A estimativa das perdas de solo (Equação 1) foi determinada através da Equação Universal de Perdas de Solo, proposta por Wischmeier & Smith (1978):

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

Na Equação 1, 'A' corresponde a perda de solos por erosão laminar em unidades de  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ , 'R' é o fator de erosividade das chuvas em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ , 'K' é o fator de erodibilidade do solo em  $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ , 'LS' é o fator topográfico (adimensional), 'C' é o fator uso e manejo do solo (adimensional) e 'P' o fator práticas conservacionistas (adimensional).

O Potencial Natural de Erosão (PNE) é obtido através do cálculo parcial da USLE, considerando apenas os fatores naturais do meio físico, intervenientes no processo de erosão, não sendo computados os fatores que dependem das ações antrópicas sobre o meio físico (Potencial Antrópico). Para tal, o PNE pode ser calculado de acordo com a Equação 2:

$$PNE = R.K.LS \quad (2)$$

Os valores dos parâmetros 'R', 'K', 'LS', e 'C' foram espacializados, elaborando-se mapas temáticos com ferramentas de Sistema de Informações Geográficas. O software utilizado foi o ArcGIS, e os dados foram processados no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade de Brasília.

##### 3.3.1. Fator R

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de provocar erosão em um solo sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 2012). Para calcular o fator 'R' foi necessário determinar a média mensal do índice de erosão (EI). Os dados desta média foram determinados através da Equação 3, encontrada por Lombardi Neto & Moldenhauer, citados por Bertoni e Lombardi Neto (2012):

$$EI = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (3)$$

'EI' corresponde à média mensal do índice de erosão em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ , 'r' é a precipitação média mensal em mm e 'P' é a precipitação média anual em mm, calculada através da soma dos valores de 'r'. Para o cálculo da erosividade (R) utilizou-se a Equação 4:

$$R = \sum_{i=jan}^{dez} EI_i \quad (4)$$

Os dados de 'r' foram obtidos a partir da planilha de dados pluviométricos de 14 postos selecionados na bacia hidrográfica do Rio Paranoá (Tabela 1). Os dados dos postos pluviométricos utilizados nesse trabalho foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Cada posto apresenta os valores diários de precipitação em mm para sua respectiva série histórica. Os dados foram importados no software Excel 2007, procedendo-se a soma dos valores de precipitação diária para a obtenção da precipitação mensal. Fez-se, então, a média aritmética para cada mês dos valores de precipitação mensal de todos os anos da série histórica, obtendo-se os 12 valores de 'r' para a série histórica. Os valores de 'P' foram obtidos através da soma dos 12 valores de 'r'. Por meio da Equação 3, aplicando-se os valores de 'r' e 'P', calculou-se os 12 valores mensais de EI da série de cada posto. A soma dos 12 valores de EI forneceu a erosividade (R) de cada posto pluviométrico.

Tabela 1: Série histórica dos 14 postos pluviométricos, com sistema de coordenadas em SIRGAS 2000 UTM Zona 23S

POSTO	SÉRIE HISTÓRICA	E	N
1547004	1961-2015	186.846,384	8.252.118,618
1547009	1971-2007	191.660,296	8.257.353,434
1547010	1970-2007	191.345,537	8.267.347,584
1547011	1971-2007	210.930,634	8.267.143,494
1547014	1972-2010	181.544,871	8.231.091,625
1547015	1972-2007	198.569,497	8.266.552,342
1547018	1978-2007	178.799,701	8.250.251,608
1547019	1978-2007	195.277,566	8.241.066,877
1547020	1978-2007	201.777,131	8.251.582,813
1547050	2009-2015	205.859,511	8.281.382,116
1548005	1970-2010	168.466,823	8.225.854,153
1548006	1971-2007	166.472,196	8.251.857,106
1548009	1978-2007	168.519,053	8.260.595,385
1548013	1988-2007	173.641,450	8.273.346,538

Com os dados de erosividade (R) dos postos pluviométricos, utilizou-se o software ArcGIS para a interpolação destas informações. A planilha com os dados do fator R e as coordenadas de cada posto pluviométrico foi importada no ArcGIS. O resultado foi exportado como um arquivo vetorial de pontos, no qual se definiu o sistema de coordenadas (SIRGAS 2000 UTM Zonas 23 S). Em seguida utilizou-se do interpolador do Inverso do Quadrado da Distancia (IDW - Inverse Distance

Weighting) com 12 vizinhos mais próximos. Ele utiliza uma função de ponderação por inverso do quadrado da distância, onde o valor de um elemento da matriz é calculado como a média entre os valores conhecidos de entrada, tal que os elementos mais próximos recebem maiores pesos. Esse interpolador foi utilizado por ter a melhor representatividade da área. (Benda et al., 2007). A Figura 4 apresenta o fluxograma das etapas de preparo de material e processamento de dados.

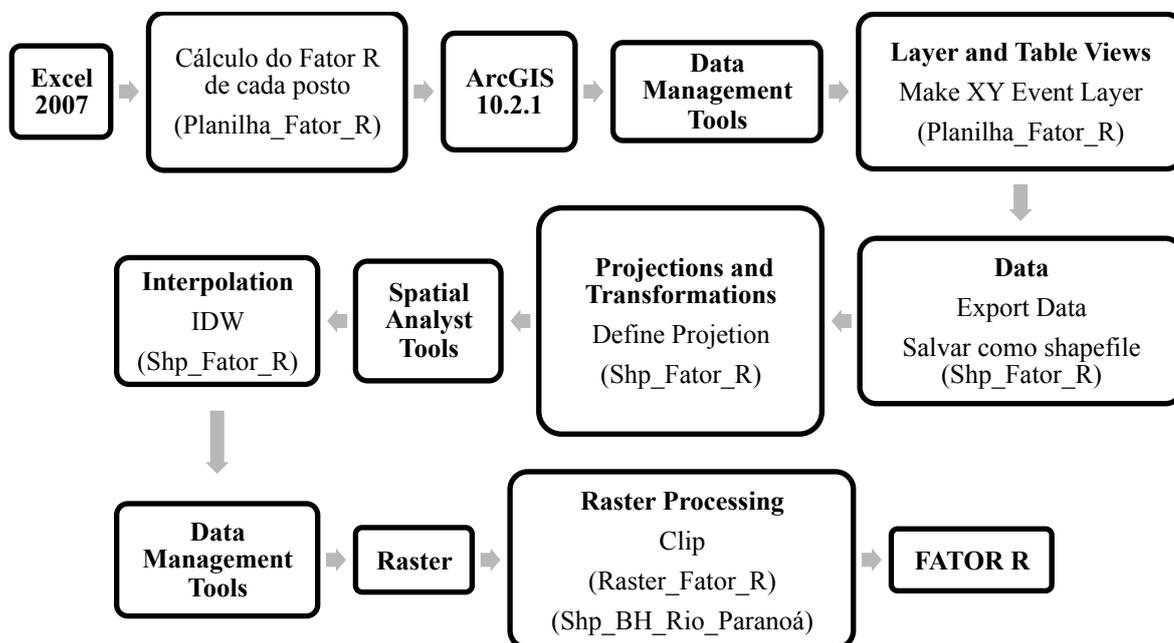


Figura 4: Fluxograma da elaboração do mapa temático do Fator R.

### 3.3.2. Fator K

A erodibilidade (fator K) representa a facilidade com que partículas de solo são destacadas e transportadas (Lima et al., 2007). Utilizou-se o mapa de solos (Embrapa, 1978), para determinar as classes de solo presentes na bacia hidrográfica. Atribuiu-se a cada classe de solo um valor para o fator K, já estimado por outros autores.

Assim, para a confecção do mapa de erodibilidade bastou reclassificar as classes de solo para valores do fator K. Para tanto, inseriu-se os valores de K na tabela de atributos do arquivo vetorial de solos da Embrapa. Prosseguiu-se com a conversão do arquivo vetorial de polígono para um arquivo matricial de resolução espacial 10 x 10 m (Figura 5).

Tabela 2: Classes de solos presentes na bacia hidrográfica.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO
Áreas Urbanas	-
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA

Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	PVAe
Cambissolo	C
Espodossolo + Plintossolo	E+F
Lago, Lagoa, Represa	-
Latossolo Vermelho	LV
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA
Neossolo Quartzarênico	RQ
Gleissolos	G

Os valores de K utilizados para os solos PVA e PVAe foram os próprios valores apresentados pelos autores Bertoni & Lombardi Neto (2012) e Miqueloni & Bueno (2011), respectivamente. Já para os solos C, E+F, LV e LVA procedeu-se a média aritmética dos valores apresentados pelos autores Lima et al. (2007) para cada classe de solo. A erodibilidade dos RQ foi determinada por Correchel (2003). Os solos hidromórficos do mapeamento original foram aqui classificados como gleissolos para obtenção do valor de K. A erodibilidade dos solos da área urbana, que representam 18,58% da área total da bacia, foi calculada pela média aritmética dos valores de K dos solos vizinhos C, LV, LVA e G. O valor de K para as superfícies de água foi considerado nulo.

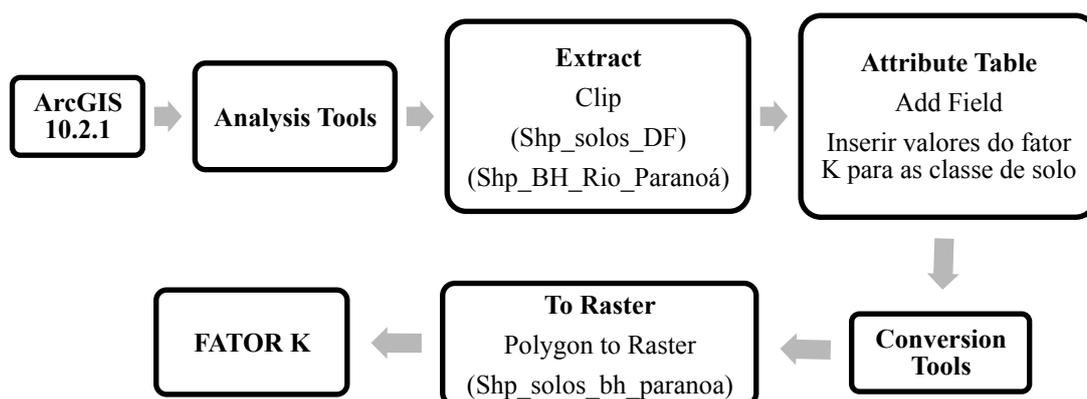


Figura 5: Fluxograma de elaboração do mapa temático do fator K.

### 3.3.3. Fator LS

Para o cálculo do fator LS seguiu-se a metodologia utilizada por Coutinho et al. (2014). Inicialmente fez-se a representação matricial do relevo da bacia através do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado pelo interpolador Topo to Raster (TR), a partir das linhas de altimetria (Contour) com suporte da hidrografia (Stream), obtidas

da base de dados de 2009 da Companhia Imobiliária de Brasília (Terracap). A resolução espacial dos pixels foi de 10 x 10 m. O interpolador TR adota os valores de atributos dos vetores por varredura (diferenças finitas), a qual combina a eficiência de interpolação local (a exemplo do inverso do quadrado da distância) com interpolação global, que utiliza superfície de continuidade (a exemplo da Krigagem). Esta combinação garante uma estrutura matricial contínua a partir da organização dos dados de origem, representando topos de morros e fundos de vales.

O pós-processamento consistiu na eliminação de espúrias (Fill), obtendo-se um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e o mapa de declividade (Slope) a partir do MDEHC.

Foi necessário obter individualmente o fator comprimento de rampa ( $\lambda$ ) de cada pixel do MDEHC, através da Equação 5 adaptada ao ambiente de SIG.

$$\lambda = \sqrt{Px^2 + [(D/100) * Px]} \quad (5)$$

Em que ' $\lambda$ ' é comprimento de rampa (metros) e ' $D$ ' é declividade do terreno (%). O fator LS da área da bacia foi gerado a partir da Equação 6, de acordo com a metodologia proposta por Bertoni & Lombardi Neto (2012).

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (6)$$

'LS' é o fator topográfico (adimensional), ' $\lambda$ ' é o comprimento de rampa (metros) e ' $D$ ' a declividade do terreno (%). O mapa que foi gerado representa pixel a pixel o resultado final, com base no cruzamento entre o comprimento de rampa e a declividade. As etapas de preparo de material e processamento de dados são representadas por fluxograma na Figura 6.

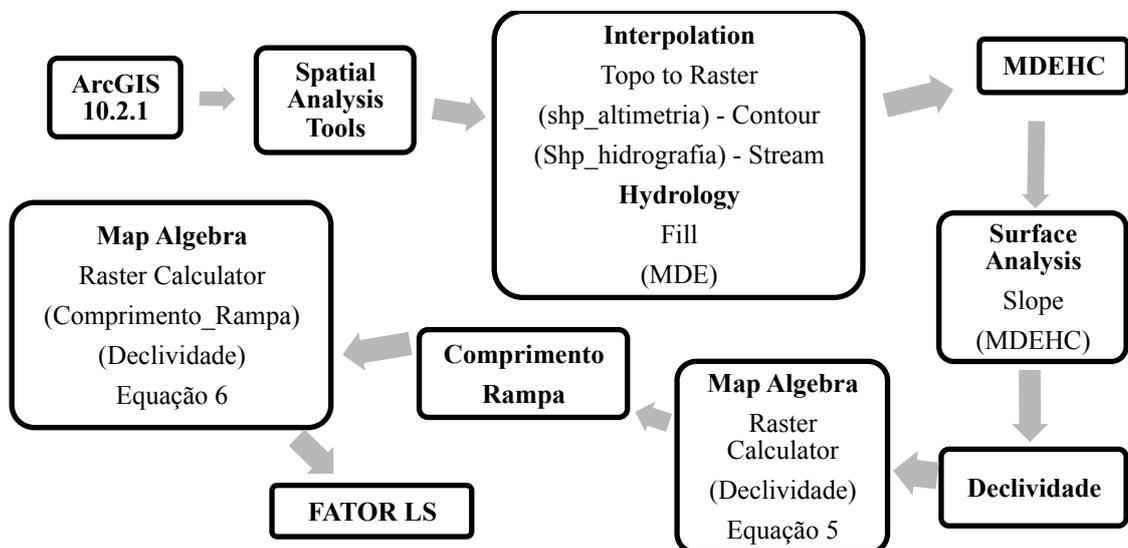


Figura 6: Fluxograma das etapas da elaboração do fator LS

### 3.3.4. Potencial Natural de Erosão - PNE

O mapa de Potencial Natural de Erosão (PNE) foi gerado a partir da aplicação da Equação 2 ( $PNE = R.K.LS$ ), utilizando-se os dados matriciais de erodibilidade, erosividade e fator topográfico. Utilizou-se a ferramenta Raster Calculator para a obtenção do PNE (Figura 7).

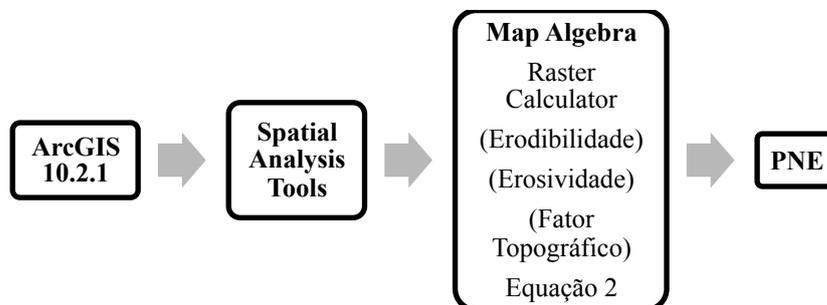


Figura 7: Fluxograma da elaboração do PNE

### 3.3.5. Fator C

O fator C ou fator de cobertura vegetal, também definido como uso do solo para áreas agrícolas ou de conservação, é a relação entre a erosão em solo nu e a erosão observada nas condições de cultivo ou com cobertura. O fator C combina tipos de cobertura, níveis de produção e técnicas associadas de cultivo (FAO, 1991 apud Gómez, 2012).

A cobertura vegetal é uma das medidas de prevenção da erosão de maior importância, porque interfere na energia cinética das gotas de chuva (fator R) e reduz o efeito do relevo (fator LS) no escoamento superficial e subsuperficial (Wischmeier & Smith, 1978).

Utilizou-se o trabalho de mapeamento de cobertura do solo do Distrito Federal coordenado pelo Dr. Edson Sano, ainda não publicado (Figura 8). Procedeu-se a reclassificação das classes de cobertura do solo para os valores de C já estimado por outros autores, de acordo com a Tabela 3.

Para tanto, inseriu-se os valores de C na tabela de atributos do arquivo vetorial do mapeamento da cobertura do solo. Prosseguiu-se com a conversão do arquivo vetorial de polígono para um arquivo matricial de resolução espacial 10 x 10 m (Figura 9).

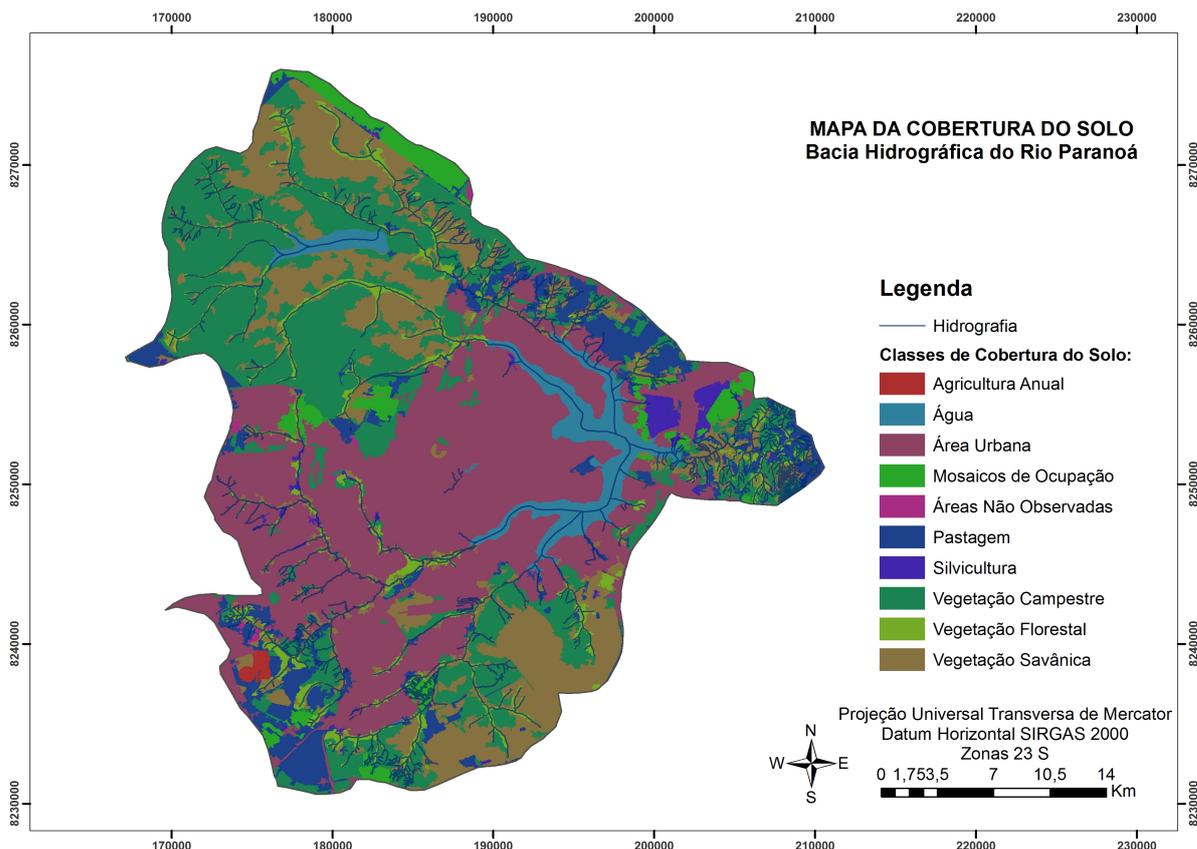


Figura 8: Mapa da cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Paranoá

Tabela 3: Classificação da cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Paranoá

COBERTURA DO SOLO	FONTE	CLASSIFICAÇÃO DA FONTE
Agricultura Anual	Sivertun & Prange (2003)	Culturas Anuais
Água	Sivertun & Prange (2003)	Água
Área Urbana	Sivertun & Prange (2003)	Áreas Urbanas
Mosaicos de Ocupação	Sivertun & Prange (2003)	Áreas Urbanas
Áreas Não Observadas	Sivertun & Prange (2003)	Áreas Urbanas
Pastagem	Sivertun & Prange (2003)	Gramíneas
Silvicultura	Sivertun & Prange (2003)	Floresta Manejada
Vegetação Campestre	Shi et al. (2002)	Floresta Primária
Vegetação Florestal	Sivertun & Prange (2003)	Florestas
Vegetação Savânica	Sivertun & Prange (2003)	Florestas

As coberturas de áreas urbanas, mosaicos de ocupação e áreas não observadas foram consideradas como uma mesma classe de área urbana para atribuição do valor C. As vegetações florestais e savânicas foram consideradas como áreas de florestas, enquanto que as vegetações campestres foram consideradas como floresta primária. Já as áreas de silvicultura analisadas como áreas de floresta manejada para obtenção do fator C. Utilizou-se o valor adaptado de Shi et al. (2002) para os valores de C da vegetação campestre.

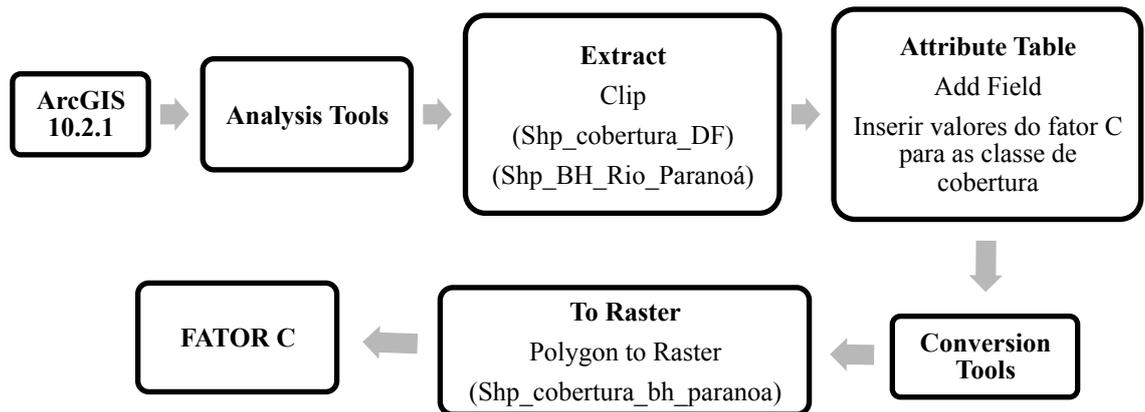


Figura 9: Fluxograma das etapas de elaboração do fator C.

Optou-se pela não utilização do fator P ou fator de práticas de conservação, já que a predominância do uso de solo na bacia é de áreas urbanas e vegetações nativas.

### 3.3.6. Perdas de Solo por Erosão Laminar

O mapa de Perdas de Solo por Erosão Laminar foi gerado a partir da aplicação da Equação 1 ( $A = R.K.LS.C.P$ ), utilizando-se os dados matriciais de erodibilidade, erosividade, fator topográfico e fator cobertura do solo. O fator práticas conservacionistas foi desprezado da equação. Utilizou-se a ferramenta Raster Calculator para a obtenção do produto A (Figura 10).

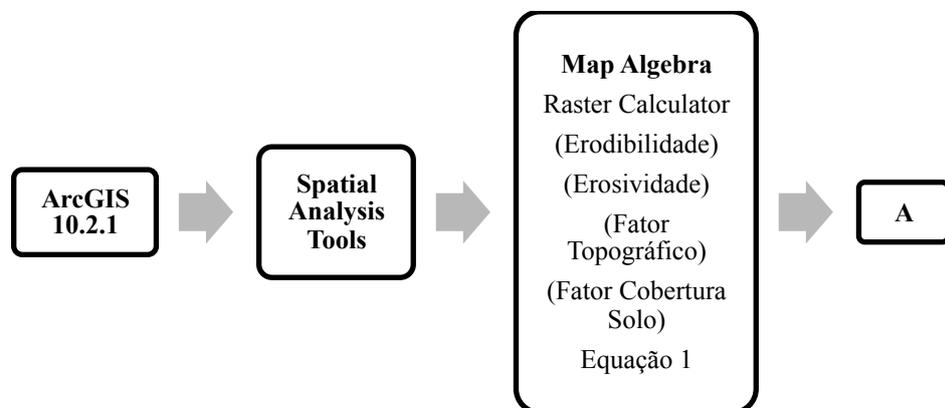


Figura 10: Fluxograma de obtenção do produto A

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estimativa de perdas de solo

#### 4.1.1 Fator R

Os valores de erosividade variaram de 7.330,92 a 8.405,91 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, conforme expresso na Tabela 4. A espacialização desse fator e a localização dos postos pluviométricos se apresentam na Figura 11.

Tabela 4: Valores de erosividade em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de cada posto pluviométrico

POSTO	FATOR R (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
1547004	8.006,15
1547009	7.330,92
1547010	8.263,16
1547011	7.400,18
1547014	8.177,56
1547015	7.934,20
1547018	7.865,06
1547019	7.716,06
1547020	7.365,43
1547050	7.751,02
1548005	8.337,44
1548006	8.165,25
1548009	8.082,93
1548013	8.405,91

O posto 1547050 se localiza fora dos limites da bacia e apresenta uma série histórica pouco representativa em relação aos demais postos. Entretanto, optou-se por utilizá-lo para permitir que a interpolação dos valores de R pudesse abranger toda a área da bacia hidrográfica. Observou-se que a maioria dos postos pluviométricos apresentava algum tipo de falha em seus dados, com carência de informações de precipitação diária de determinadas datas e períodos, o que pode ter ocasionado incerteza e imprecisão no resultado final de erosividade.

Os valores intermediários, que variam de 7.564 a 8.027 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, são os mais abundantes na bacia e se concentram na região central. Os valores extremos de máximo (8.028 a 8.375 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) se distribuem nas porções noroeste e sudoeste. Já os valores extremos de mínimo (7.331 a 7.563 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) se encontram na parte centro-leste. A distribuição do volume de precipitação na bacia hidrográfica indica, portanto, que as regiões noroeste/sudoeste, centro e centro-leste se configuram com maior, média e menor susceptibilidade à erosividade das chuvas, respectivamente.

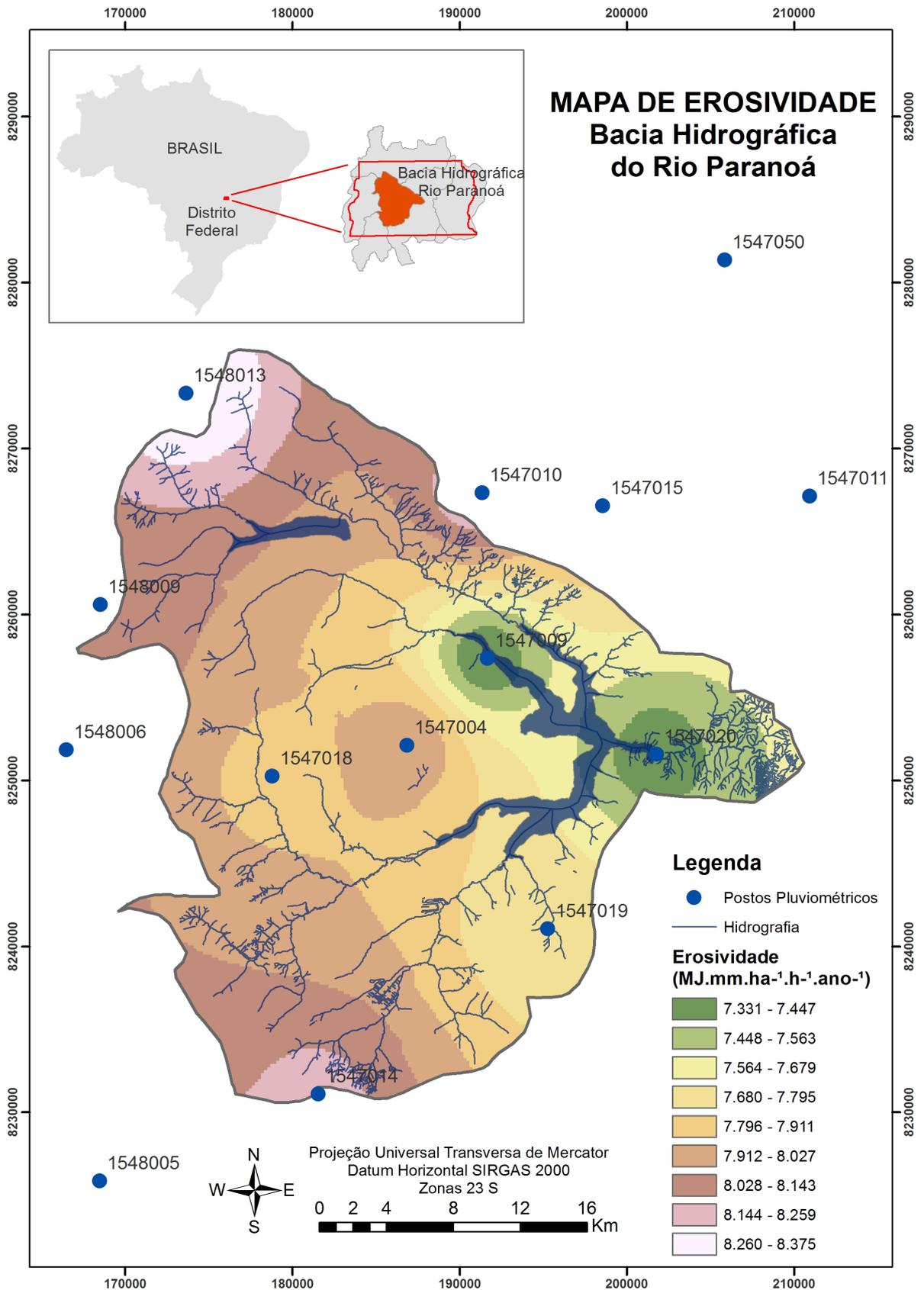


Figura 11: Mapa de erosividade da bacia hidrográfica do rio Paranoá

#### 4.1.2 Fator K

Os valores de erodibilidade variaram de 0 a 0,036 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, conforme expresso na Tabela 5. Os autores consultados para determinação dos valores de K utilizaram a metodologia descrita por Denardin (1990). A espacialização desse fator se apresenta na Figura 12.

Tabela 5: Valores do fator K para as classes de solo presentes na bacia

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	FONTE
Áreas Urbanas	-	0,019	-
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	0,034	Bertoni & Lombardi Neto (2012)
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	PVAe	0,036	Miqueloni & Bueno (2011)
Cambissolo	C	0,029	Lima et al. (2007)
Espodossolo + Plintossolo	E+F	0,022	Lima et al. (2007)
Gleissolos	G	0,013	Lima et al. (2007)
Lago, Lagoa, Represa	-	0	-
Latossolo Vermelho	LV	0,017	Lima et al. (2007)
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA	0,018	Lima et al. (2007)
Neossolo Quartzarênico	RQ	0,008	Correchel (2003)

Observa-se na literatura uma grande variabilidade dos valores de erodibilidade em uma mesma unidade de mapeamento de solos, o que gera uma dificuldade de utilização de valores de K generalizados e/ou regionalizados. Torna-se evidente o grande risco de erro que ocorre quando utilizado um único valor de K por classe de solo. A USLE, por se tratar de um produtório de diferentes fatores, em que o K é um deles, uma diferença em seu valor representa, de forma direta, uma diferença de mesma proporção na estimativa da taxa de erosão da área analisada. (Lima et al., 2007).

Outra fonte de erro desse fator é o agrupamento dos espodossolos e plintossolos numa mesma classificação no mapa pedológico da Embrapa (1978). Os dois solos apresentam características distintas em relação à susceptibilidade à erosão, já que os plintossolos tendem a ser mais resistentes à erosão do que os espodossolos em função de sua composição e estrutura. Optou-se, então, por utilizar o valor de K dos plintossolos, definido em estudo realizado em uma região próxima à área da bacia.

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, os neossolos, latossolos e gleissolos apresentaram a maior resistência à erosão. Já os argissolos, cambissolos e espodossolos+plintossolos apresentam as maiores susceptibilidades à erosão.

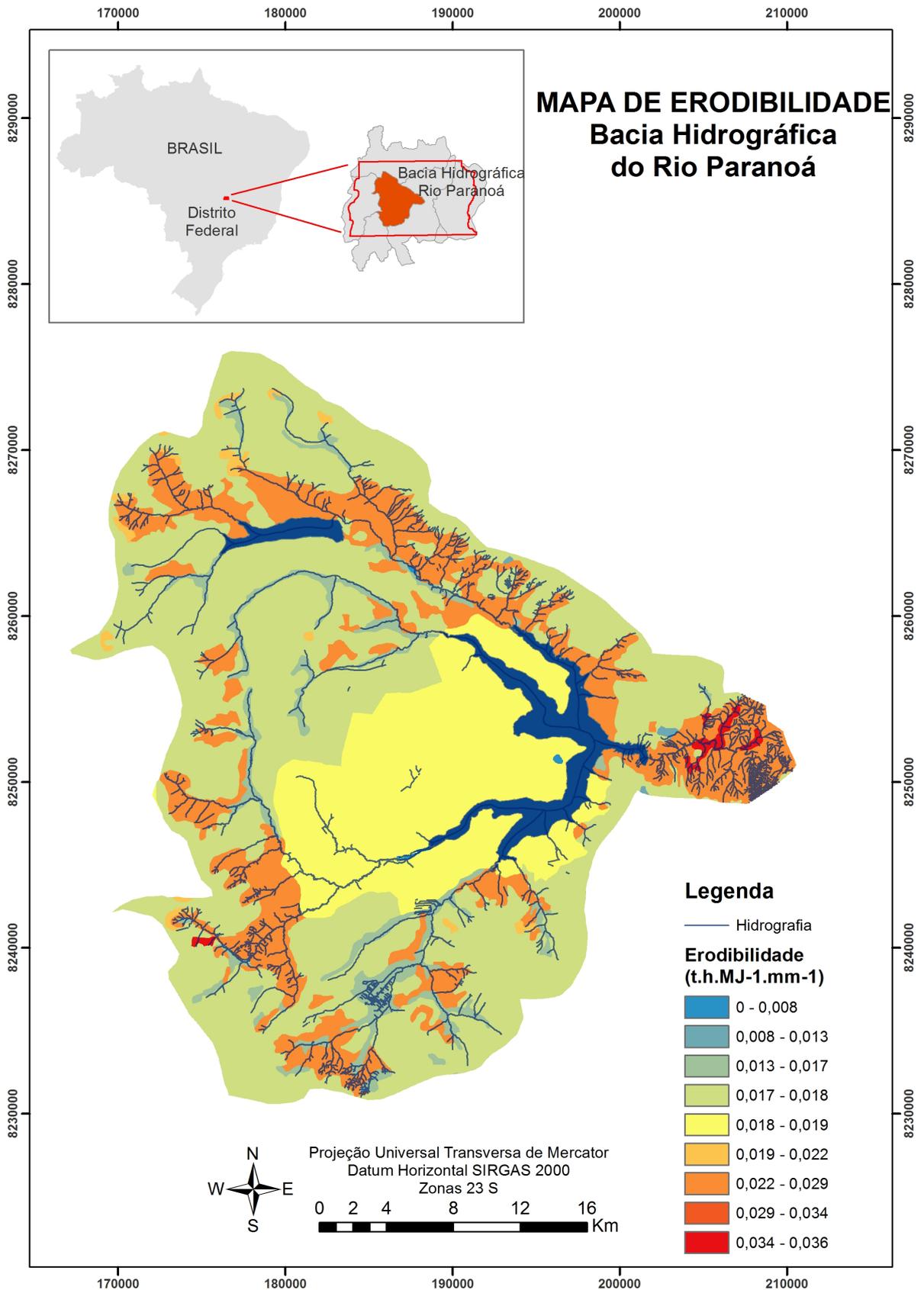


Figura 12: Mapa de erodibilidade da bacia hidrográfica do rio Paranoá

### 4.1.3 Fator LS

Os valores do fator topográfico foram determinados pela Equação 6 a partir dos dados de declividade (Figura 13) e comprimento de rampa (Figura 14). A espacialização do LS se apresenta na Figura 15.

Observa-se que as classes de declividade mais abundantes na bacia hidrográfica são as de 0-3%, classificadas como planas, conforme a Tabela 6. As classes de 3-8% e 8-20% tem representatividade média, sendo que a representatividade da classe suave é aproximadamente o triplo da classe ondulada. As classes menos expressivas são as classes montanhosas e escarpadas, apresentando-se nas regiões limítrofes da bacia.

Tabela 6: Classificação do relevo de acordo com a porcentagem de declividade

CLASSIFICAÇÃO	CLASSE (%)	CLASSIFICAÇÃO	CLASSE (%)
Plano	0-3	Forte Ondulado	20-45
Suave	3-8	Montanhoso	45-75
Ondulado	8-20	Escarpado	> 75

O comprimento de rampa expressa a relação direta entre a projeção horizontal e a declividade. Sua ocorrência sugere a distribuição das encostas a partir de seu comprimento, o que por sua vez se reflete no tempo e trajeto de escoamento superficial (Coutinho et al., 2014). Os valores entre 3-3,5 m são os de maior ocorrência na bacia, seguidos pelos valores de 3,5-4 m. O maior valor de comprimento de rampa encontrado na bacia foi de 21,63 m, e o menor 2,83 m.

Para classificação dos valores do fator topográfico adotou-se o ordenamento unificado das classes de maior declividade (>5%), ao passo que as de menor declividade foram diluídas, permitindo assim maior detalhamento de sua ocorrência. As classes mais abundantes são as de 0-0,5 e 0,5-2. As classes de menor ocorrência do fator LS são as maiores que 5.

A partir da interpretação visual dos mapas (Figuras 13, 14 e 15), pode-se verificar estreita relação entre a declividade e o fator LS, sendo os menores valores de LS proporcionais às menores declividades. Os maiores valores de gradientes topográficos são verificados nas regiões limítrofes da bacia. Nota-se relação entre os maiores valores de LS com o comprimento de rampa, e não apenas com declividade pontual, onde o modelo gerado representa áreas de encostas acentuadas. As perdas de solos podem ser mais sensíveis com mudanças de declividade, e não tanto com o comprimento de rampa (Oliveira et al., 2010).

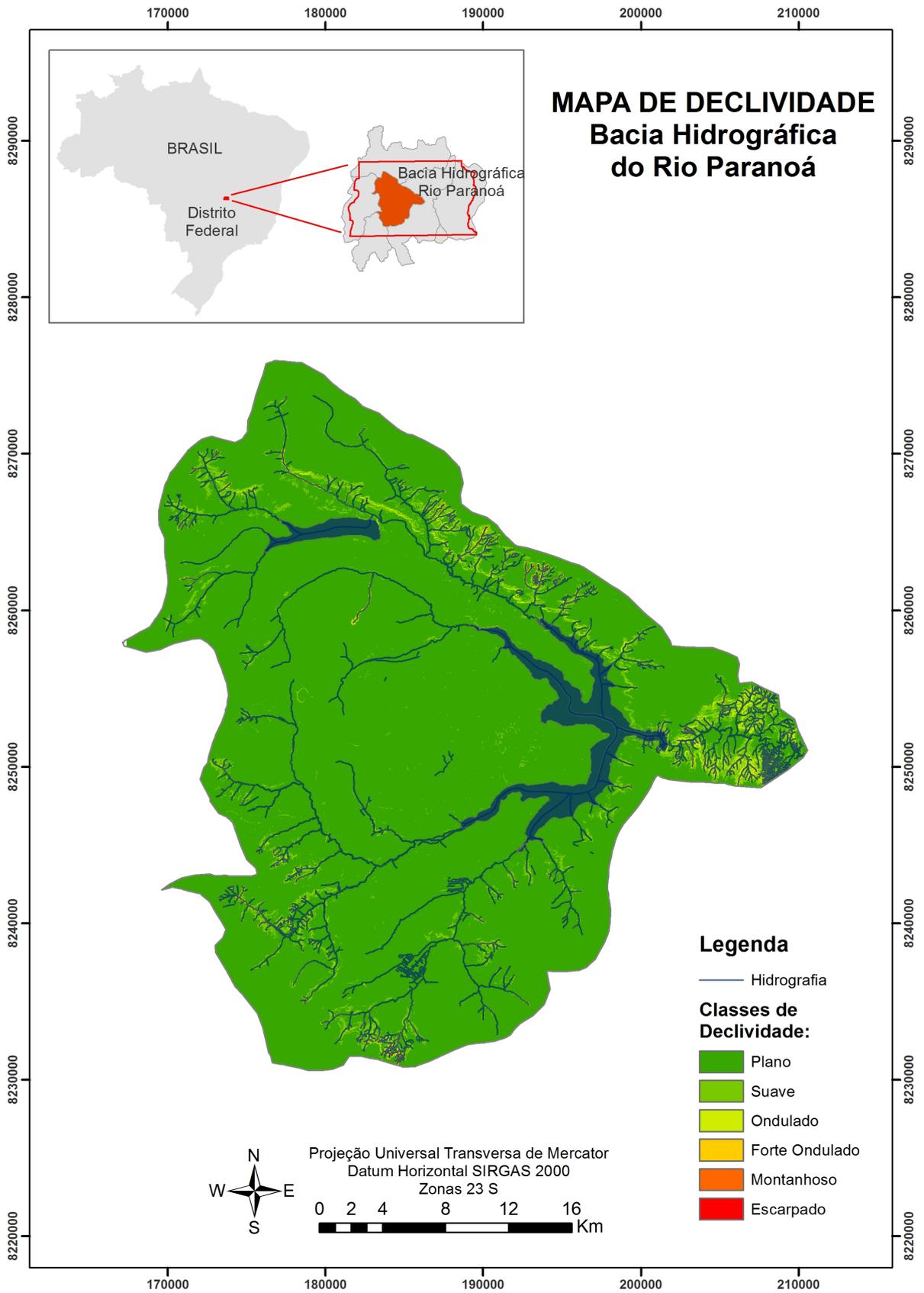


Figura 13: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Paranoá

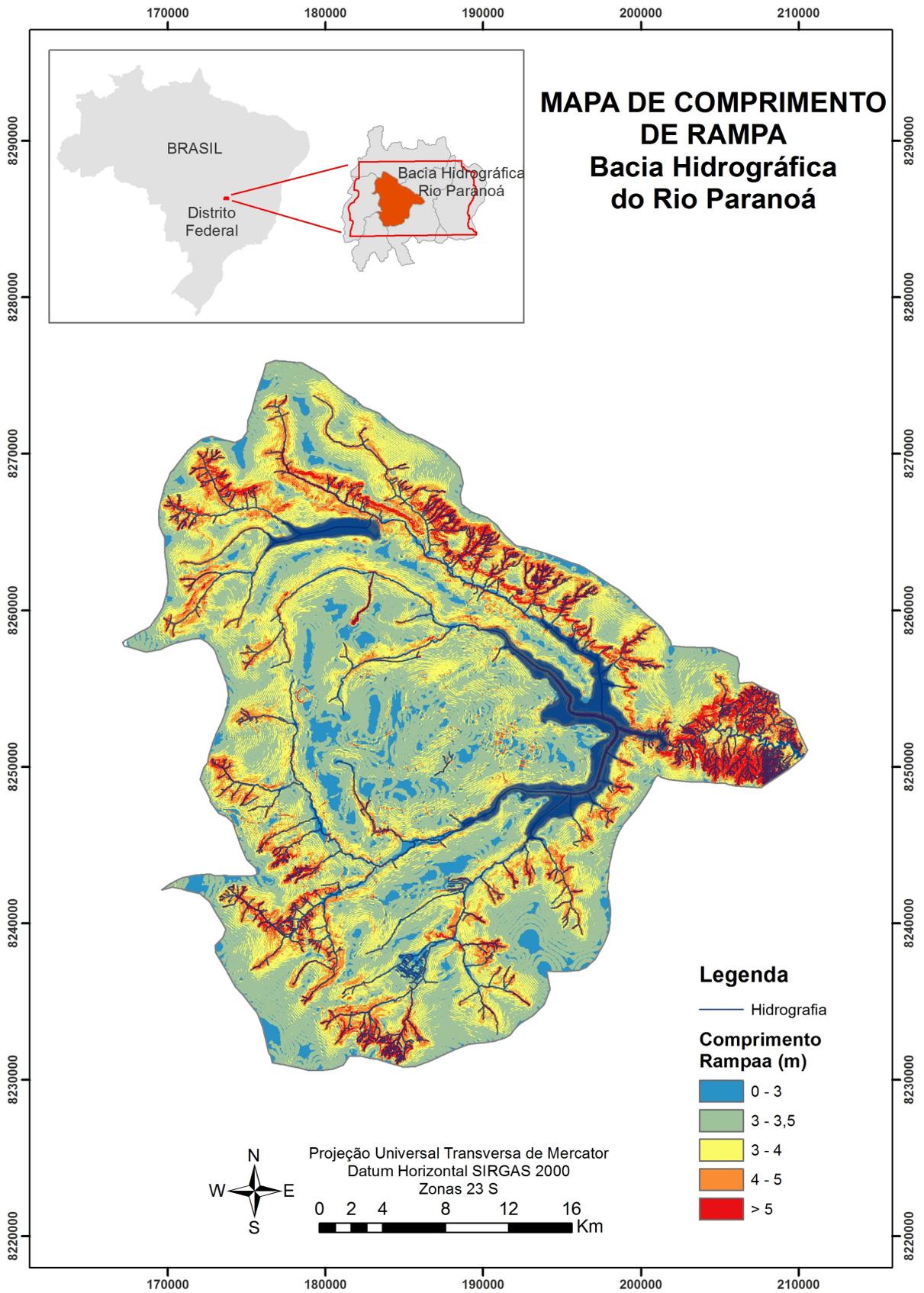


Figura 14: Mapa de comprimento de rampa da bacia hidrográfica do rio Paranoá

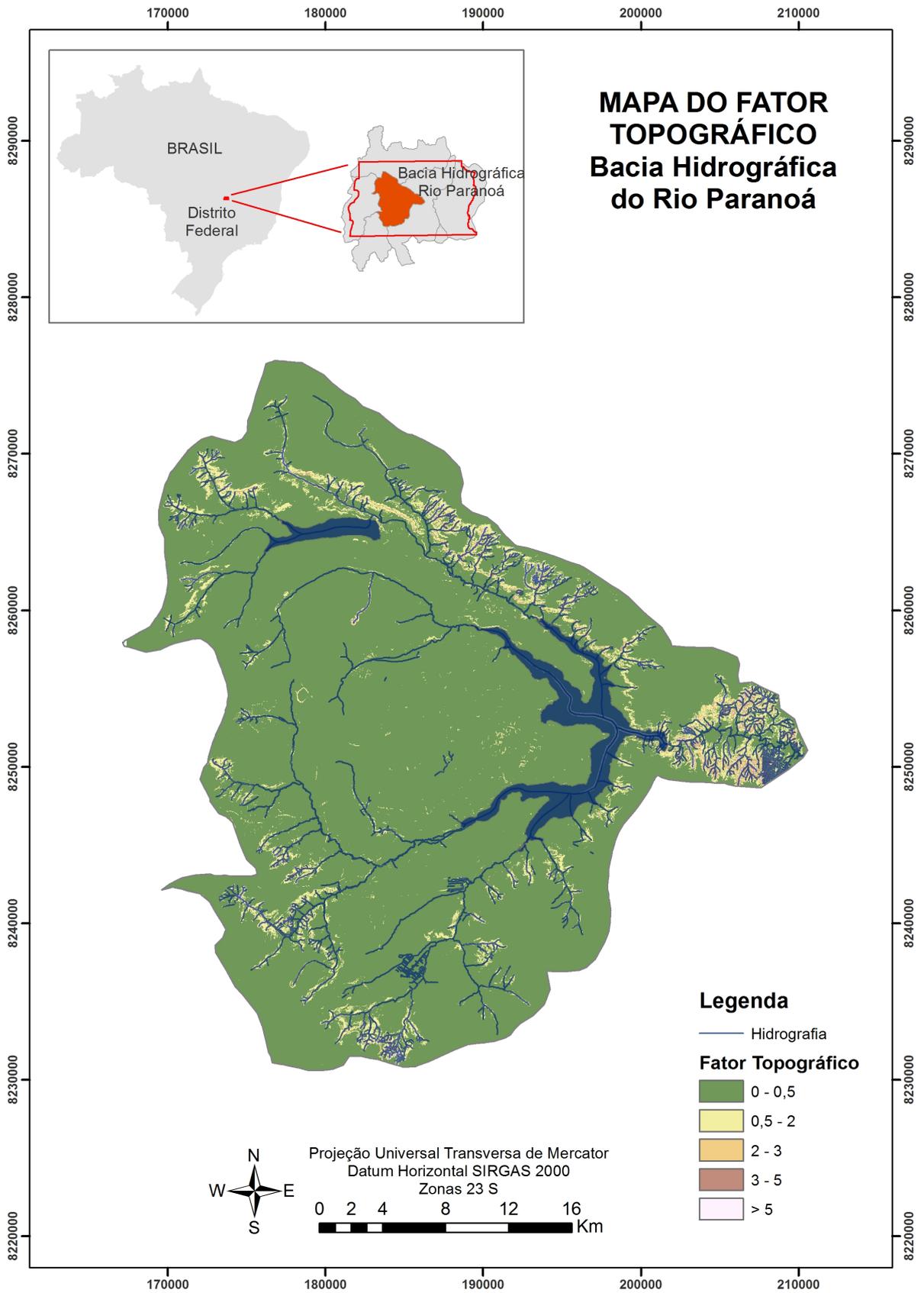


Figura 15: Mapa do fator topográfico da bacia hidrográfica do rio Paranoá

#### 4.1.4 PNE

O Potencial Natural de Erosão foi determinado pela Equação 2 a partir dos valores de R, K e LS. A espacialização do PNE se apresenta na Figura 16. A Tabela 7 oferece a classificação do PNE. Na bacia predominam áreas com PNE baixo, com resultados variando de 0 a 22.334, 33 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Tabela 7: Classificação do Potencial Natural de Erosão

CLASSES	PNE (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Baixo	0 - 500
Médio	500 – 1.500
Alto	1.500 – 5.000
Muito Alto	> 5.000

Considerando que a distribuição espacial do PNE se encontra intrinsecamente relacionada com os fatores de clima, solo e relevo, os maiores valores de PNE (alto e muito alto - maiores de 1.500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) coincidem com as áreas de ocorrência dos solos mais suscetíveis a erosão, em especial dos argissolos e cambissolos, associados a altas declividades. Os valores médios de PNE também coincidem com os solos mais suscetíveis à erosão, com a diferença de se associarem a declividades médias (suave e ondulado).

Já os valores baixos de PNE (0 - 500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) se localizam em área de ocorrência de latossolos e gleissolos, que possuem médios valores de erodibilidade, em baixas declividades (suave e plano). Fica clara a vinculação entre o PNE, a suscetibilidade à erosão e a declividade do terreno. A relação entre a erosividade e o PNE foi a mais fraca observada na comparação dos resultados, com pouca influência na composição do valor do PNE.

#### 4.1.5 Fator C

Os valores de C variaram de 0 a 0,1, conforme expresso na Tabela 8. A espacialização desse fator se apresenta na Figura 17.

Tabela 8: Valores de C para as classes de uso do solo presentes na bacia

USO DO SOLO	C (ADIMENSIONAL)	FONTE
Agricultura Anual	0,1	Sivertun & Prange (2003)
Água	0	Sivertun & Prange (2003)
Área Urbana	0,03	Sivertun & Prange (2003)
Pastagem	0,01	Sivertun & Prange (2003)
Silvicultura	0,04	Sivertun & Prange (2003)
Vegetação Campestre	0,002	Shi et al. (2002)
Vegetação Florestal	0,005	Sivertun & Prange (2003)
Vegetação Savânica	0,005	Sivertun & Prange (2003)

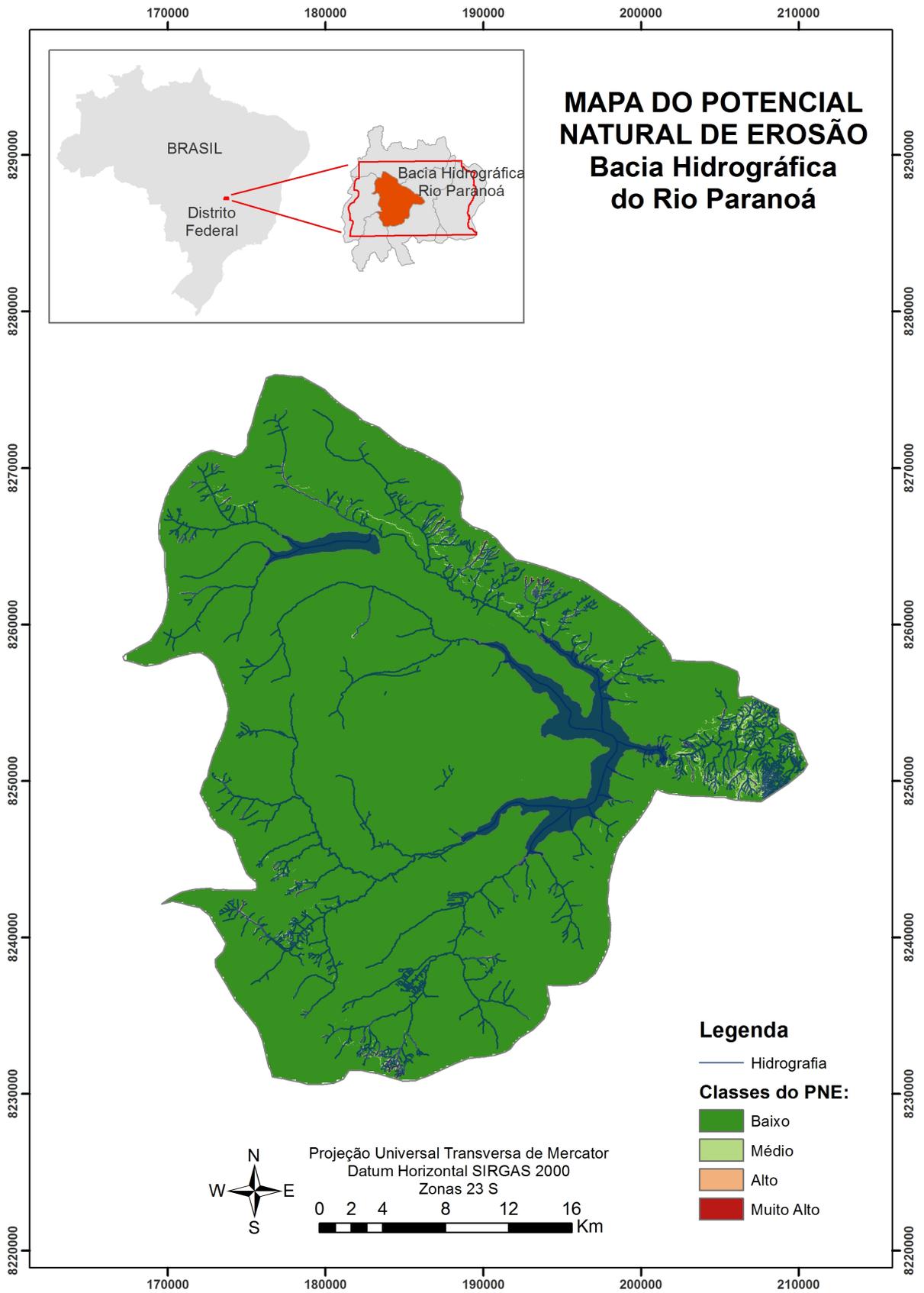


Figura 16: Mapa do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do rio Paranoá

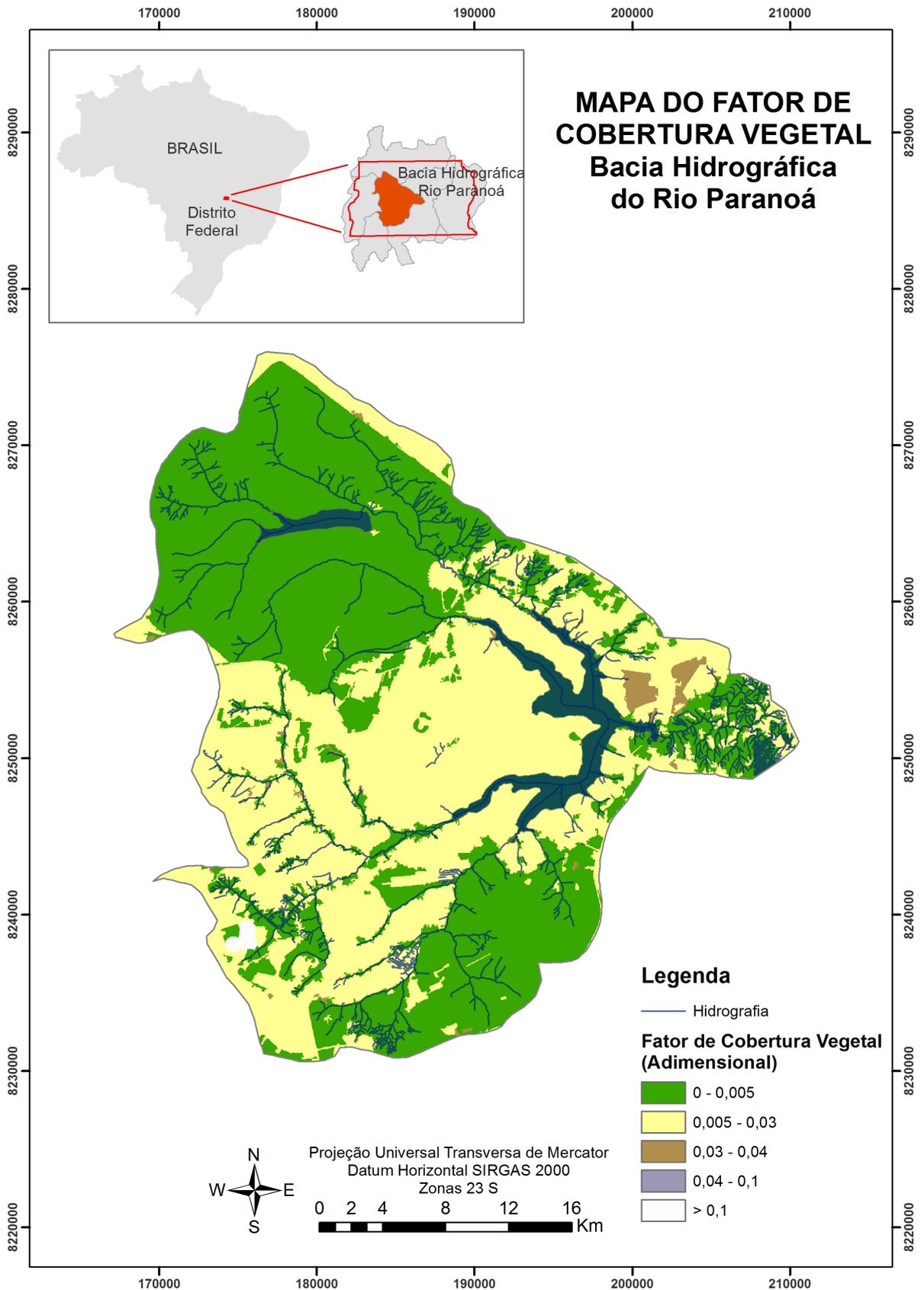


Figura 17: Mapa do fator de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Paranoá

Observa-se que a bacia do Paranoá apresenta uma predominância de valores baixos do fator C que variam de 0 a 0,005, correspondentes a superfícies d'água, vegetação nativa e áreas urbanas. As áreas de pastagem, silvicultura e culturas anuais, que apresentam os valores mais elevados de C, tem pouca expressividade na bacia.

#### 4.1.6 Perdas de Solo por Erosão Laminar

A perda de solo (A) estimada para a bacia em estudo é apresentada na Figura 17. Verifica-se que a maior parte da bacia apresenta um baixo grau de erosão, conforme a classificação da Tabela 9. Destacam-se os valores de perda de solo que variam de 0 a 4 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, por serem os mais abundantes.

Tabela 9: Susceptibilidade do solo à erosão

Grau de erosão	Perda de solo (t.h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Baixo	< 10
Moderado	10 – 50
Alto	50 – 200
Muito Alto	> 200

As perdas que variam de 4 a 10 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ainda consideradas baixas, estão associadas aos valores médios do potencial natural de erosão. Os graus de erosão moderado a muito alto estão relacionados aos altos e muito altos valores de PNE.

O fator cobertura do solo teve pouca influência no cálculo de perda de solo, uma vez que os altos valores de A estão associados aos baixos valores de C, que variam de 0,002 a 0,005 e representam as formações de vegetação nativa. Outro fator de pouca interferência é o fator R, visto que os altos valores de A relacionam-se com regiões de baixa a média erosividade.

Inferre-se, portanto, que os fatores topográficos, seguidos pela erodibilidade, são os mais atuantes na perda de solo, já que foram os fatores que mais coincidiram com os resultados das perdas de solo na bacia do Paranoá.

Entretanto, é necessário cautela na análise espacial do risco de erosão em áreas tropicais sem estudos prévios de validação com dados de campo. A USLE é uma equação empírica, desenvolvida para condições específicas e, portanto, precisa ser calibrada antes da aplicação de seus resultados em diferentes regiões. Isso faz com que os resultados de aplicações da USLE, muitas vezes, tenham um caráter mais qualitativo do que quantitativo, mas podem ser empregados como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento do uso e ocupação do solo (Cohen et al., 2005).

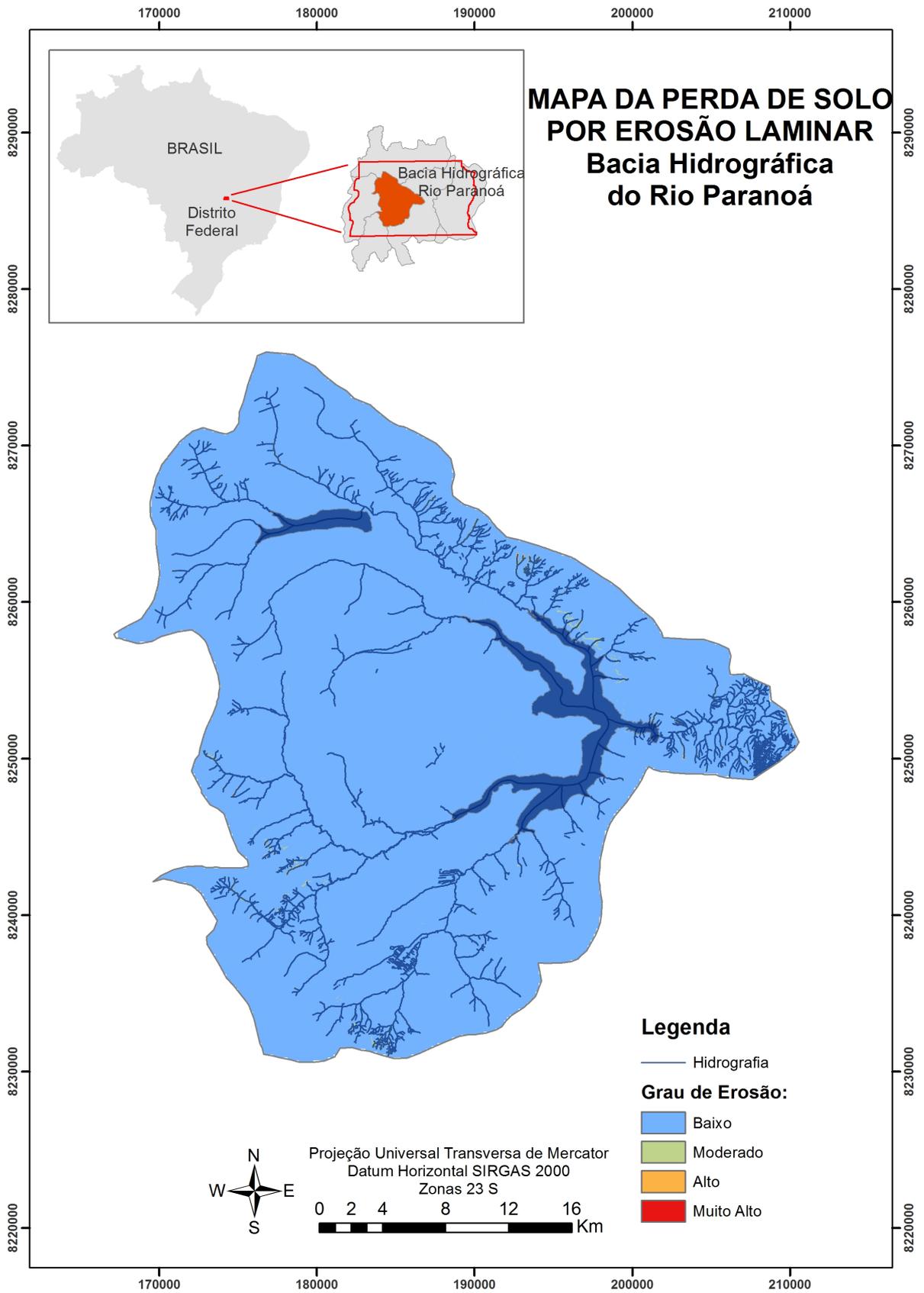


Figura 18: Mapa de perda de solos na bacia hidrográfica do rio Paranoá

## **5 CONCLUSÕES**

A bacia hidrográfica do rio Paranoá apresenta baixa susceptibilidade à erosão laminar, com pequenas áreas bem delimitadas de maior vulnerabilidade. As informações de topografia e pedologia foram mais determinantes nos critérios utilizados para predição dos riscos de erosão do que as informações de clima e cobertura vegetal.

A utilização integrada de SIG e USLE permitiu a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo, além de apontar as áreas de maior vulnerabilidade ao processo de perda de solo dentro da Bacia.

A identificação do potencial natural de erosão e das perdas de solo tem um papel significativo, pois ao identificar as áreas mais susceptíveis à erosão permite a possibilidade de melhor ordenamento do uso do solo. Também se destaca a importância da utilização das geotecnologias nos estudos ambientais, em especial, nos que se referem a políticas de planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2015. *Árvore do Conhecimento: Solos tropicais – Espodossolos*. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_9\\_2\\_212200611539.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_9_2_212200611539.html). Acessado em 10 dez. 2015.
- ANTONANGELO, A. 2004. *Identificação dos riscos de erosão em estradas florestais através de sistema de informações geográficas*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 100p.
- AQUINO, D. N. et al. 2007. A aplicação da USLE e SIG na estimativa da perda de solos em uma microbacia hidrográfica do semi-árido do estado do ceará. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. *Anais*, **36**.
- Bahia, V.G.; Curi, N.; Carmo, D.N; Marques, J.J.G.S. 1992. Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle). Informe Agropecuário, **16**(176): 25-31.
- Benda, F. Alves, M.G., Corrêa, F.P. 2007. Estudo do risco de degradação por assoreamento dos corpos d'água superficiais utilizando SIG. *Informatica Publica*, **9**(2):55-69.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F. 2012. *Conservação do Solo*. Ed. Ícone, São Paulo. 355p.
- Carvalho, E.M., Pinto, S.A.F., Sepe, P.M., Rossetti, L.A.F.G. 2010. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: Estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. *Anais*, p. 002-008.
- CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto. 1984. *Atlas do Distrito Federal*. GDF, Brasília. 78p.
- Cohen, M.J., Shepherd, K.D., Walsh, M.G. 2005. Empirical reformulation of the soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma*, **124**: 235-252.
- Correchel, V. 2003. *Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "Fallout" do <sup>137</sup>Cs*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 79p.

- Coutinho, L. C., Cecílio, R.A., Garcia, G.O., Xavier, A.C., Zanetti, S. S., Moreira, M.C. 2014. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Revista Agroambiente*, **8**(1): 01-09.
- Denardin, J.E. 1990. *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 81p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1978. *Mapa de solos do Distrito Federal (1:100.000)*. Serviço de Produção de Informação, Brasília.
- Foster, G.R., Moldenhauer, W.C., Wischmeier W.H. 1982. Transferability of US technology for prediction and control of erosion in the tropics. In: *Soil Erosion and Conservation in the Tropics*, Special Publication 43. Amer. Soc. of Agronomy. p. 135-149.
- Gómez, J.D.P. 2012. Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território brasileiro. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 89p.
- Hashim, G.M., Coughlan, K.J., Syers, J.K. 1998. On-site nutrient depletion: an effect and a cause of soil erosion. In: Penning de Vries, F.W.T., Agus, F., Kerr, J. *Soil Erosion at Multiple Scales – Principle and Methods for Assessing Causes and Impacts*, **14**: 207-221.
- Kelly, D.E.S.; Gomez, A.A. 1998. Measuring erosion as a component of sustainability. In: Penning de Vries, F.W.T., Agus, F., Kerr, J. *Soil Erosion at Multiple Scales – Principle and Methods for Assessing Causes and Impacts*, **9**: 133-147.
- Lima, J.E.F.W., Silva, E.M., Eid, N.J., Martins, E.S., Koide, S., Reatto, A. 2007. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio Jardim – DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **8**(2):23-36.
- Lopes, F.B., Andrade, E.M., Teixeira, A.S., Caitano, R.F., Chaves, L.C.G. 2011. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista AgroAmbiente*, **5**(2):88-96.

- Miqueloni, D.P., Bueno, C.R.P. 2011. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**: 2175-2182.
- Moore, J.D., Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, **47**(5):423-428.
- Oliveira, P. T. S. de, Rodrigues, D. B. B., Alves Sobrinho, T.; Panachuki, E. 2010. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. *Ambi-Água*, **5**(2):217-225.
- Pinto, S.A.F., Garcia, G.J. 2005. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. *Revista do Departamento de Geografia*, **17**:30-37.
- Shi, Z.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Li, Z.X., Wang, T.W., Sun, Z.C. 2002. Assessment of erosion risk with the RUSLE and GIS in the middle and lower reaches of Hanjiang river. In: 12th ISCO Conference, Beijing.
- Sivertun, A., Prange, L. 2003. Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS. *Environmental Modelling & Software*, **18**:887-898.
- Williams, J.R. 1975. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources. USDA-ARS Handbook S-40, 244-252.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 58p. (Agriculture handbook, 537).
- ZEE-DF - Zoneamento Ecológico-Econômico do DF. 2012. *Subproduto 3.1 – Relatório do Meio Físico e Biótico*. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/produtos.html>. Acessado em 13 dez. 2012.