

**MAPEAMENTO, IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS FATORES RELACIONADOS
AOS PROCESSOS EROSIVOS NO DISTRITO FEDERAL (DF)
- ÊNFASE NAS VOÇOROCAS**

BRUNO EDUARDO NÓBREGA DE OLIVEIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**BRASÍLIA
2011**

BRUNO EDUARDO NÓBREGA DE OLIVEIRA

MAPEAMENTO, IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS
FATORES RELACIONADOS AOS PROCESSOS EROSIVOS
NO DISTRITO FEDERAL (DF) - ÊNFASE NAS VOÇOROCAS

Dissertação de mestrado submetida ao departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre.

Linha de pesquisa: “Recuperação de áreas degradadas”

Orientador: Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi

Brasília

2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MAPEAMENTO, IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS
FATORES RELACIONADOS AOS PROCESSOS EROSIVOS
NO DISTRITO FEDERAL (DF) - ÊNFASE NAS VOÇOROCAS

BRUNO EDUARDO NÓBREGA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi

APROVADA POR:

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi(Orientador)

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Florestal

Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves(Examinador interno)

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Florestal

Prof. Dr. Edilson de Souza Bias (Examinador externo)

Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

Dissertação aprovada em 05 de Agosto de 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MAPEAMENTO, IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS
FATORES RELACIONADOS AOS PROCESSOS
EROSIVOS NO DISTRITO FEDERAL (DF) - ÊNFASE NAS
VOÇOROCAS

BRUNO EDUARDO NÓBREGA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL. DM – 169/2011
BRASÍLIA - DF, SETEMBRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, BRUNO EDUARDO NÓBREGA

Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas, 180f., 210 x 297 mm (EFL – FT-UnB, Mestrado, Engenharia Florestal, 2011)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Mapeamento

2. Geoprocessamento

3. Fotografias Aéreas

4. Voçorocas

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, B. E. N. (2011). Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal), Publicação PPGEFL.DM-169/2011 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2011, 180 f.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Bruno Eduardo Nóbrega de Oliveira

TÍTULO: Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas

GRAU: Mestre

ANO: 2011

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

Bruno Eduardo Nóbrega de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu pai, minha mãe e meu irmão pelo apoio ao longo desta caminhada, ao professor Dr. Eraldo A.T. Matricardi por ter me orientado e auxiliado no desenvolvimento deste projeto, aos professores doutores Henrique M. L. Chaves e Edilson de Souza Bias pelas contribuições e pela participação na banca examinadora. Aos membros da empresa GREENTEC Tecnologia Ambiental: Eduardo Felizola, Rogério Azevedo e Javier Fawaz pelo apoio técnico e pela cessão de dados do Zoneamento Econômico e Ecológico do Distrito Federal, que foram fundamentais para a elaboração deste estudo. Também gostaria de agradecer ao estagiário da empresa GREENTEC Tecnologia Ambiental, Caio Riebold, pelo auxílio em algumas checagens de campo.

RESUMO

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Nóbrega de. Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas. Brasília, 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília.

Os processos erosivos podem ocorrer de forma natural e pelas ações antrópicas, sendo que nos últimos anos devido ao aumento da conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e urbanas, esses processos também vêm se acelerando cada vez mais. Neste estudo foram mapeadas com base em interpretação de fotografias aéreas obtidas em 2009 e geoprocessamento as ravinas e voçorocas no Distrito Federal. A avaliação de acurácia do mapeamento com base em trabalho de campo indicou uma acurácia total de 89 % e índice de *Kappa* 86,9%. A análise do tamanho e forma das ravinas e voçorocas mapeadas indica que existe uma maior concentração nas menores classes de tamanho, e um padrão predominante de forma intermediária entre uma linha e um círculo, com leve tendência a forma de um círculo (dimensão fractal entre 1,6 e 1,8). Os resultados deste estudo mostraram também que os polígonos de voçorocas têm 99% de probabilidade de ocorrerem em forma agrupada na área de estudo, indicando que existem fatores locais que influenciam a sua ocorrência e, portanto, precisam ser mais bem entendidos. Para entender por que os processos erosivos estavam ocorrendo naqueles locais foram feitos cruzamentos entre dados temáticos que representam variáveis com algum efeito teórico em relação à ocorrência de voçorocas, dentre eles: Acúmulo de fluxo, Curvatura, Curvatura em perfil, Curvatura Plana, Declividade, Distância Euclidiana da hidrografia, Distância Euclidiana das nascentes, Distância Euclidiana das rodovias, Geologia, Geomorfologia, Isoietas, Orientação, Solos e Vegetação e Uso. Com base na análise dos dados, observou-se que as Isoietas e a Orientação das encostas não parecem afetar os processos erosivos. Com base nestes resultados, foi elaborada uma matriz de pesos para três variáveis (solos, declividade e uso do solo). Esta matriz foi utilizada para preparar um mapa de risco à ocorrência de processos erosivos na área de estudo. Este mapa apresentou bastante consistência com o mapa de voçorocas e ravinas preparado neste estudo.

Palavras-chaves: Mapeamento; Geoprocessamento; Fotografias aéreas; Voçorocas; Distrito Federal; Processos erosivos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Eduardo Bruno Nobrega de. Mapping, Identification and Analysis of Factors Related to the Erosive Processes in Distrito Federal (DF) - Emphasis in Gullies. Brasília, 2011.180 f. Dissertation (MSc in Forestry) – Universidade de Brasília.

The erosion processes can occur as a result of natural and anthropogenic activities. In past years it has been substantially increased by the conversion of natural areas into agricultural and urban lands. This study conducted an eye-examination to detect gullies using aerial photographs acquired in 2009 and Geoprocessing techniques in the District Capital of Brazil. The accuracy assessment was conducted based on field work data and indicated an overall accuracy was 89% and the *Kappa* Index was 86.9% for the Map of Gullies. The analysis size and shape of gullies spatial distribution indicates that they are spatially clustered at 99% probability in the study area, predominantly characterized by small size classes and intermediate shape between a line and a circle (fractal dimension between 1.6 to 1.8). This clustered pattern indicates that local factors might be affecting its spatial distribution that yet should be better understood. To understand why the erosion processes were occurring in those places were made crosses between thematic data that represent variables with a theoretical effect for the occurrence of gullies, including: Flow accumulation, *Curvature*, Profile *curvature*, *Curvature* Flat, Slope, Hydrography Euclidean *distance*, Euclidean *distance* of the springs, the Euclidean *distance* highways, Geology, Geomorphology, Isohyet, Orientation, Soils and Vegetation and Use. Based on data analysis, it was observed that the Isohyet and orientation of the slopes do not seem to affect the erosion. Based on these results, we prepared an array of weights for three variables (soil, slope and vegetation and land use). This array was used as input to make a Risk map of potential erosive process in the study area. This map showed very consistent with the gully map used in this study.

Keywords: Mapping; GIS; Aerial photographs; Gullies, District Capital, Erosion

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 - OBJETIVOS GERAIS	3
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 - PROCESSOS EROSIVOS	3
3.1.1 - CONCEITOS E TIPOS DE EROSÃO	3
3.1.2 - HISTÓRICO DA EROSÃO	5
3.1.3 - FATORES QUE INTERFEREM NA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	6
3.1.4 – PRÁTICAS DE CONTROLE A EROSÃO	11
3.1.5 - CONCEITUAÇÃO DE RAVINA E VOÇOROCA	12
3.2 – SIG, SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM	13
3.2.1 – SIG	13
3.2.2 – SENSORIAMENTO REMOTO	16
3.2.3 – MODELAGEM DE DADOS	17
3.2.4 – MATRIZ DE PESOS	18
3.3 – DETECÇÃO DE EROSÕES	19
3.4 – ESTUDOS SOBRE EROSÃO NO DISTRITO FEDERAL	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
4.1.1 – ASPECTOS GERAIS	21
4.1.2 – CLIMA E PRECIPITAÇÃO	22
4.1.3 – GEOLOGIA	26
4.1.4 – GEOMORFOLOGIA	28
4.1.5 – SOLOS	32
4.1.6 – VEGETAÇÃO	44
4.1.7 – USO DO SOLO	56
4.1.8 - RECURSOS HÍDRICOS	61
4.1.9 – ESTRADAS	65

4.2 – BASE DE DADOS.....	67
4.2.1 – SISTEMA DE PROJEÇÃO ADOTADO.....	75
4.3 – PROPOSTA METODOLÓGICA.....	76
4.3.1 – GEORREFERENCIAMENTO	77
4.3.2 – CHECAGEM DE CAMPO INICIAL	77
4.3.3 – MAPEAMENTO DOS POLÍGONOS DE VOÇOROCAS E RAVINAS.....	83
4.3.4 – ANÁLISE DA FORMA DO TAMANHO E DO AGRUPAMENTO DOS POLÍGONOS DE RAVINAS E VOÇOROCAS.....	87
4.3.5 – VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO	88
4.3.6 – MODELO ESTATÍSTICO UTILIZADO PARA A VALIDAÇÃO..	90
4.3.7 – PROCESSAMENTO DOS TEMAS.....	91
4.3.8 – CRUZAMENTO DE DADOS.....	105
4.3.9 – MODELAGEM DE DADOS E GERAÇÃO DE MAPA DE RISCO	105
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	110
5.1 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DE CAMPO.....	110
5.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TAMANHO, FORMA E AGRUPAMENTO DAS VOÇOROCAS E RAVINAS.....	121
5.3 – RESULTADOS DO CRUZAMENTO DOS TEMAS.....	124
5.3.1 – ACÚMULO DE FLUXO	124
5.3.2 – CURVATURA	126
5.3.3– CURVATURA EM PERFIL	128
5.3.4 – CURVATURA PLANA	130
5.3.5 – DECLIVIDADE	132
5.3.6 – DISTÂNCIA EUCLIDIANA DA HIDROGRAFIA	134
5.3.7 - DISTÂNCIA EUCLIDIANA DAS NASCENTES	136
5.3.8 - DISTÂNCIA EUCLIDIANA DAS RODOVIAS.....	137
5.3.9 – GEOLOGIA.....	139
5.3.10 – GEOMORFOLOGIA	142
5.3.11 – ISOIETAS.....	143
5.3.12 – ORIENTAÇÃO	145
5.3.13 – SOLOS	147
5.3.14 - VEGETAÇÃO E USO.....	149
5.4 – RESULTADOS DA MATRIZ DE PESOS	151
6- CONCLUSÃO.....	154

6.1 – AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA E MAPEAMENTO	154
6.2 - ANÁLISES DE TAMANHO, FORMA E AGRUPAMENTODAS VOÇOROCAS E RAVINAS.....	155
6.3 - CRUZAMENTOS DE DADOS.	155
6.4 - MAPA DE RISCO E A MATRIZ DE PESOS.....	156
6.5 – RECOMENDAÇÕES	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de um SIG.....	15
Figura 2- Localização geográfica do Distrito Federal no território Nacional	22
Figura 3 - Classificação climática segundo os critérios de Köppen para o Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN (1984).....	24
Figura 4 - Variação média mensal da precipitação em mm para a Estação Brasília (1961 a 1990).	25
Figura 5 - Mapa de isoietas do Distrito Federal.	26
Figura 6 - Distribuição dos empurrões e cavalgamentos regionais associados à geologia regional em que o Distrito Federal está inserido	27
Figura 7 - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal	28
Figura 8 - Proposta de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal	29
Figura 9 - Proposta de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal	32
Figura 10 - Mapa pedológico do Distrito Federal	33
Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1978), com atualização da nomenclatura das classes conforme EMBRAPA (2006).	33
Figura 11 - Tolerância à erosão das principais classes de solo do DF (LV - latossolo vermelho, N - nitossolo, Cb - Cambissolo, LVa - latossolo vermelho-amarelo, NQ - neossoloquartzarênico).....	42
Figura 12 – Distribuição dos Biomas Brasileiros.	45
Figura 13 – Representação das principais fitofisionomias do bioma Cerrado.	46
Figura 14 – Mapa de uso do solo e vegetação, com base na interpretação de imagens do satélite ALOS do ano 2009.	58
Fonte ZEE-DF (2011).	58
Figura 15 – Bacias Hidrográficas que compõe o Distrito Federal	64
Fonte: ZEE-DF (2011)	64
Figura 16 – SubBacias Hidrográficas que compõem o Distrito Federal.....	64
Fonte: PGIRH (2005).....	64
Figura 17 - Localização das rodovias construídas e planejadas do Distrito Federal....	66
Fonte: ZEE-DF (2011)	66
Figura 18 - Limite do Distrito Federal	69
Figura 19 – Mapa hidrográfico do Distrito Federal	69
Figura 20 –MDT do Distrito Federal	70
Figura 21 – Mapa das isoietas do Distrito Federal.....	70
Figura 22 – Mapa das nascentes do Distrito Federal	71
Figura 23 – Mapa rodoviário do Distrito Federal	71
Figura 24 – Mapa geológico do Distrito Federal	72
Figura 25 – Mapa geomorfológico do Distrito Federal	72
Figura 26 – Mapa dos solos do Distrito Federal	73
Figura 27 – Mapa de Vegetação e Uso do Distrito Federal	73
Figura 28 – Mosaico de fotografias Aéreas 2009 do Distrito Federal	75
Figura 29 – Fluxograma da metodologia utilizada	77
Figura 30 - Mapa com os pontos checados inicialmente	78
Figura 31 - Verificação de campo pontos de 1 a 4.....	79
Figura 32 - Verificação de campo pontos de 5 a 8.....	80

Figura 33 - Verificação de campo pontos de 9 a 12.....	81
Figura 34 - Verificação de campo pontos 13 e 14	82
Figura 35 – Subdivisão do distrito federal em quadrantes	84
Figura 36 – Tamanho do quadrante	84
Figura 37 – Voçoroca vista na ortofoto.....	85
Figura 38 – Fotografia da voçoroca	86
Figura 39 - Mapa de localização dos polígonos de ravinas e voçorocas sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal.....	87
Figura 40 – Amostra de 100 pontos para a validação	89
Figura 41 – Pontos de checagem de campo para validação sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal.....	90
Figura 42 – Mapa do acumulo de fluxo dividido em 5 classes	92
Figura 43 – Demonstração da curvatura	93
Figura 44 – Curvatura 3 classes	94
Figura 45 – Curvatura 3 classes detalhe.....	95
Figura 46 – ilustração dos tipos de curvatura plana	95
Figura 47 – Curvatura plana 3 classes.....	96
Figura 48 – Curvatura plana 3 classes detalhe	96
Figura 49 – Ilustração dos tipos de curvatura em perfil.....	97
Figura 50 – Curvatura em perfil 3 classes.....	97
Figura 51– Curvatura em perfil 3 classes detalhe	98
Figura 52 – Mapa de declividade do distrito federal.....	99
Figura 53 – Mapa de orientação (<i>aspect</i>) do distrito federal	100
Figura 54 – Distância Euclidiana da hidrografia.....	101
Figura 55 – Distância Euclidiana da hidrografia em detalhe	101
Figura 56 – Distância Euclidiana das nascentes	102
Figura 57 – Distância Euclidiana das nascentes em detalhe	103
Figura 58 – Distância Euclidiana das rodovias	104
Figura 59 – Distância Euclidiana das rodovias em detalhe.....	104
Figura 60 – Pontos checados na validação de campo sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal.....	111
Figura 61 – Checagem de campo pontos 15 a 18.....	112
Figura 62 – Checagem de campo pontos 19 e 22.....	113
Figura 63 – Checagem de campo pontos 23 e 26.....	114
Figura 64 – Checagem de campo pontos 27 a 30.....	115
Figura 65 – Checagem de campo pontos 31 e 34.....	116
Figura 66 – Checagem de campo pontos 35 e 36.....	117
Figura 67 – Gráfico de distribuição das classes de tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas.....	122
Figura 68 – Gráfico da distribuição das classes da dimensão fractal.....	123
Figura 69 – Resultado do agrupamento dos polígonos de voçorocas e ravinas.....	123
Figura 70 – Gráfico do Acúmulo de fluxo - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	126
Figura 71 – Gráfico do Acúmulo de fluxo – Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	126
Figura 72 – Gráfico da Curvatura - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	127

Figura 73 – Gráfico da Curvatura - Número de Polígonos /Área percentual do DF .	128
Figura 74 – Gráfico da Curvatura em perfil- Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	129
Figura 75 – Gráfico da Curvatura em perfil- Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	130
Figura 76 – Gráfico da Curvatura plana - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	131
Figura 77 – Gráfico da Curvatura plana - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	131
Figura 78 – Gráfico da Declividade - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	133
Figura 79 – Gráfico da Declividade - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	133
Figura 80 – Gráfico da Distância Euclidiana - Hidrografia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	135
Figura 81 – Gráfico da Distância Euclidiana - Hidrografia - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	135
Figura 82 – Gráfico da Distância Euclidiana - Nascentes - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	137
Figura 83 - Gráfico da Distância Euclidiana - Nascentes - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	137
Figura 84 - Gráfico da Distância Euclidiana - Rodovias - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	138
Figura 85 – Gráfico da Distância Euclidiana - Rodovias - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	139
Figura 86 – Gráfico da Geologia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	141
Figura 87 – Gráfico da Geologia - Número de Polígonos /Área percentual do DF...	141
Figura 88 – Gráfico da Geomorfologia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	143
Figura 89 - Gráfico da Geomorfologia - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	143
Figura 90 - Gráfico da Precipitação - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	144
Figura 91- Gráfico da Precipitação - Número de Polígonos /Área percentual do DF	145
Figura 92 - Gráfico da Orientação - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	146
Figura 93- Gráfico da Orientação - Número de Polígonos /Área percentual do DF..	147
Figura 94 - Gráfico dos Solos - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	149
Figura 95 - Gráfico dos Solos - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	149
Figura 96 –Gráfico do Uso do solo - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	151
Figura 97 – Gráfico do Uso do solo - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	151
Figura 98 – Matriz de pesos.....	152

Figura 99 – Gráfico da Matriz de pesos - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF.....	153
Figura 100 - Matriz de pesos - Número de Polígonos /Área percentual do DF.....	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET em milímetros (1961 a 1990).	25
Quadro 2 - Domínios e unidades geomorfológicas do Distrito Federal NOVAES PINTO, (1994)	30
Quadro 3 - Classificação da sensibilidade natural dos solos a perdas por erosão.....	44
Quadro 4 – Agrupamento das classes de uso do solo e vegetação.....	57
Quadro 5 – Regiões hidrográficas, bacias e unidades hidrográficas do Distrito Federal	61
Quadro 6 – Comprimento dos diferentes tipos de rodovias no Distrito Federal.....	65
Quadro 7 – Base de dados utilizada	67
Quadro 8 – Descrição dos pontos da checagem inicial.....	82
Quadro 9 - A classificação do Índice <i>Kappa</i> de acordo com CONGALTON & GREEN (1998).....	91
Quadro 10 – Quadro de susceptibilidade à erosão dos solos.	106
Quadro 11 – Quadro da hierarquia de proteção da cobertura vegetal. Adaptado de ROSS, por BIAS (1998).....	106
Quadro 12 – Classificação de pesos para declividade, solos e uso dos solos sugerido por BIAS (1998).....	107
Quadro 13 – Divisão dos pesos por classes de susceptibilidade.....	108
Quadro 14 – Definição dos pesos das classes de declividade proposta neste trabalho	108
Quadro 15 – Definição dos pesos das classes de solos proposta neste trabalho	109
Quadro 16 – Definição dos pesos das classes uso do solo e vegetação proposta neste trabalho.....	109
Quadro 17 – Definição das classes de risco de acordo com os pesos	110
Quadro 18 - Descrição da checagem de campo para a validação do mapeamento	117
Quadro 19 – Resultado da checagem de campo resumida.....	119
Quadro 20 – Resultado da checagem de campo detalhada	120
Quadro 21 – Resultados da Matriz de confusão para o mapeamento de ravinas e voçorocas no Distrito Federal	120
Quadro 22 – Resultado da distribuição das classes de tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas	121
Quadro 23 – Resultado da distribuição das classes da dimensão fractal dos polígonos de voçorocas e ravinas	122
Quadro 24 – Temas utilizados no cruzamento de dados.....	124
Quadro 25– Resultado do Acúmulo de fluxo.....	125
Quadro 26 - Resultado da Curvatura.....	127
Quadro 27 – Resultado da Curvatura em perfil	129
Quadro 28 – Resultado da Curvatura Plana	130
Quadro 29 – Resultado da Declividade.....	132

Quadro 30 – Resultado da distância Euclidiana da hidrografia	134
Quadro 31 – Resultado da distância Euclidiana das nascentes	136
Quadro 32 – Resultado da Distância Euclidiana das rodovias.....	138
Quadro 33 - Resultado da Geologia	140
Quadro 34 – Resultado da Geomorfologia.....	142
Quadro 35 – Resultado das Isoietas	144
Quadro 36–Resultado da Orientação	146
Quadro 37 – Resultado dos Solos	148
Quadro 38 – Resultado da Vegetação e Uso.....	150
Quadro 39 – Resultado da matriz de pesos	153

1. INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são processos naturais causados principalmente pela chuva e pelo vento e podem causar grandes impactos ao meio ambiente. As ações antrópicas são responsáveis pelo aumento potencial destes impactos. Os efeitos destes fenômenos podem ser desde pequenas fendas no solo a grandes voçorocas. Para GUERRA (2005) os efeitos destes processos erosivos são o assoreamento de rios, lagos e barragens, perda de solos, queda na fertilidade dos solos, desbarrancamento de estradas e moradias. Mais especificamente, estes fenômenos têm sido observados nos últimos anos no Distrito Federal em função do aumento da urbanização e intensificação do uso da terra nas áreas rurais. Com isso, esta região tem sofrido muitos impactos ambientais causados pelos processos erosivos. Os processos erosivos são causados por vários fenômenos. Segundo PRUSKI (2009) os principais fatores naturais que influenciam a erosão são o vento e principalmente a chuva em países tropicais. As partículas de solo são desprendidas e arrastadas pelo vento ou pela água até os locais de deposição. As consequências destes fenômenos vão desde pequenas fendas no solo a crateras com dezenas de metros de altura e quilômetros de extensão. Esses processos erosivos podem prejudicar a mecanização da lavoura, causar danos as redes elétricas, de água e esgoto, interdição e derrubada de imóveis, destruição de estradas, assoreamento de corpos d'água entre outros impactos ambientais.

As atividades antrópicas são responsáveis pelo aumento da quantidade e da velocidade em que os processos erosivos vêm ocorrendo. A remoção e alteração da cobertura vegetal, juntamente com a falta de planejamento e estudo para a ocupação das áreas urbanas e rurais contribuem para o aumento dos processos erosivos (GUERRA, 2005). Em termos globais, a erosão do solo contabiliza, por ano, aproximadamente 190×10^9 t de sedimentos, sendo que 10% desse montante são transportados para os oceanos (LAL *et al.*, 1995). Estima-se que durante os últimos 40 anos cerca de 1/3 do total das terras aráveis do mundo foi permanentemente danificado pela erosão e continua sendo, embora a uma razão de 10×10^6 t ha ano⁻¹ (PIMENTAL *et al.*, 1995).

As consequências do uso inadequado do solo são desastrosas ao meio ambiente. Ao se retirar a cobertura vegetal, a água vai atingir o solo com um impacto muito maior, pois

não tem as folhas das plantas para amortecer o impacto das gotas da chuva. A falta de um manejo apropriado do solo como o plantio em curvas de nível, plantio direto, disciplinamento das águas da chuva, planejamento de estradas e cidades podem acarretar em sérios problemas ambientais (GUERRA, 2005; PRUSKI, 2009).

As ações antrópicas são as principais responsáveis pelo aumento dos processos erosivos na região do Cerrado brasileiro. Ao longo das últimas quatro décadas, a região central do Brasil assistiu a uma rápida e vigorosa ocupação do seu solo, por meio da urbanização e do acelerado incremento na atividade agropecuária, provocando o rápido aparecimento de problemas ambientais, como a degradação do solo e processos erosivos. Esses problemas refletem em sérias implicações para as áreas urbanas, para o assoreamento de reservatórios e cursos de água, e para a perda de solos férteis utilizados pela atividade agrícola (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006).

Similarmente, o Distrito Federal, integrante da região do Bioma Cerrado, também tem sofrido com o aumento das atividades antrópicas. De acordo com STUDART & MACEDO (2004), a partir dos anos 60, devido à criação de Brasília toda a região do Distrito Federal vem sofrendo os efeitos da mudança no uso e cobertura do solo.

A população do Distrito Federal no ano de 1960 era de cerca 140.000 habitantes passou para 537.492 em 1970, um aumento de 283,47 %, no ano de 1980 a população já passava de um milhão de habitantes com crescimento de 118,96 % em relação a 1970. No ano de 1990 a população era de 1.601,094 com crescimento populacional de 36,03 % na década. No ano 2000 a população já ultrapassava os 2 milhões de habitantes com crescimento de 12,57 % na década (SENADO FEDERAL, 2011). Atualmente de acordo com o IBGE (2011) a população está em cerca de 2.600.000 com um crescimento de 6,14% em relação a última década. Este grande aumento populacional nos últimos anos, juntamente com a demanda por moradia e alimentação, tem gerado muitos impactos ambientais na região. Atualmente, retirando-se as unidades de conservação do Distrito Federal, a maior parte da vegetação original já foi removida ou alterada.

O presente estudo envolveu o mapeamento dos processos erosivos mais intensos ocorridos no Distrito Federal, caracterizados pelas voçorocas e ravinas, detectados no ano

de 2009. A partir dos resultados deste mapeamento, buscou-se entender as características (tamanho, forma e distribuição espacial) das voçorocas e ravinas e alguns fatores que influenciam as suas ocorrências na área de estudo. Complementarmente, foi desenvolvido um modelo para determinar classes de susceptibilidade à erosão dos solos com base numa matriz de pesos. Os resultados deste modelo foram comparados com as áreas de ravinas e voçorocas mapeadas na região de estudo, verificando a consistência do mapeamento em relação às classes de erosão. Tais resultados podem ser úteis para subsidiar o planejamento e controle da erosão dos solos, bem como podem ser utilizados para prevenção de acidentes pelas instituições responsáveis de defesa civil que atuam no Distrito Federal.

2. OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVOS GERAIS

Mapeamento e análise da ocorrência e distribuição espacial das áreas de voçorocas e ravinas com o apoio do geoprocessamento e aerofotogramas verticais no Distrito Federal.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear as áreas de voçorocas e ravinas no Distrito Federal a partir de interpretação visual de um mosaico de aerofotogramas verticais obtido no ano de 2009;
- Validar o mapeamento das áreas de voçorocas e ravinas com métodos estatísticos de avaliação da acurácia;
- Entender a distribuição espacial e os fatores que provocam tais processos erosivos no Distrito Federal.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - PROCESSOS EROSIVOS

3.1.1 - CONCEITOS E TIPOS DE EROSÃO

O termo erosão, de modo geral, significa desgaste. Há, todavia, um tipo de erosão que é útil; trata-se da ação dos agentes externos, como sol (calor), água, animais, vegetais, etc. que agindo sobre a rocha, provocam a formação do solo. Essa erosão que favorece a

criação do solo é chamada de geológica ou natural. A ação do homem está sobre o solo formado. (CORRÊA, 1959).

O termo erosão provém do latim (*erodere*) e significa “corroer”. Nos estudos ligados à ciência da terra, o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, de queimadas, do gelo e de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006).

A erosão do solo agrícola é definida pelo arrastamento das partículas de solo produzido pela ação da água das chuvas e do vento, colocando este solo, em lugar onde, raramente pode ser utilizado; esse carregamento verifica-se em ritmo maior que o alcançado pelos processos naturais para efetuar a reposição de novo solo (CORRÊA, 1959).

Erosão é o processo do desprendimento e conseqüentemente do arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento, causando o depauperamento acelerado das terras (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1991). Mais especificamente, a erosão do solo agrícola é entendida como o arrastamento das camadas superficiais das áreas cultivadas para outros locais através das águas da chuva ou do vento (NOLLA, 1982).

Quanto ao tipo de agente causador da erosão, esta pode ser classificada em eólica ou hídrica. Na erosão eólica o principal agente responsável pelo processo erosivo é o vento, enquanto na erosão hídrica é a água. A erosão eólica tem maior importância nas regiões planas com baixa precipitação, alta incidência de ventos e pouca vegetação para proteger o solo. No Brasil, definitivamente a erosão hídrica é a mais importante. (PRUSKI, 2009).

A erosão eólica, ocasionada pelos ventos, ocorre em geral em regiões planas, com pouca chuva, onde a vegetação natural é escassa e sopram ventos fortes. Constitui problema sério quando a vegetação natural é removida ou reduzida; os animais, insetos, moléstias e o próprio homem contribuem para essa remoção ou redução. As terras ficam sujeitas a erosão pelo vento quando deveriam estar com a vegetação natural e são colocadas em cultivo com um manejo inadequado (BERTONI& LOMBARDI NETO, 1985).

Este tipo de erosão consiste no transporte aéreo, ou por rolamento, de partículas de solo pela ação do vento. A erosão eólica tem maior importância nessas regiões em que a vegetação é insuficiente para cobrir e proteger o solo, ou nas regiões áridas, nas margens arenosas de oceanos, lagos e rios, e em solos de origem arenítica. O teor de umidade do

solo é um fator limitante da intensidade com que a erosão eólica pode ocorrer (RIO GRANDE DO SUL, 1985).

Segundo BRADY (1989), as porções mais finas podem ser carregadas a grandes alturas e por centenas de quilômetros de distância. Em geral, a terra é, não só despojada do seu solo mais rico, como as culturas são impelidas para longe ou deixadas com as raízes expostas ou ainda poderão ser cobertas pelos detritos em movimento. Grande parte dos prejuízos ocorre em regiões de baixa precipitação, porém existe ocorrência em regiões úmidas. A movimentação das dunas de areia constitui um bom exemplo. O meio mais eficiente para o controle da erosão eólica é manter uma cobertura protetora na superfície do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

A erosão hídrica pode ser definida como o transporte, por arrastamento, de partículas do solo pela ação das águas. Existem muitas formas de erosão causadas pela água. Uma delas é a erosão pelas ondas, os efeitos das ondas se manifestam nas regiões litorâneas, lagos, bacias e nas margens dos rios. As ondas avançam sobre a terra, desagregando-a e suspendendo grande quantidade de material e ao retornarem carregam o material em suspensão, que será depositado, seletivamente, no fundo dos mares, represas, nos deltas e nos meandros dos rios (RIO GRANDE DO SUL, 1985).

O processo responsável pela desagregação do solo, após a retirada da camada vegetal em sua superfície, é o impacto das gotículas da água da chuva, com isso os sedimentos são transportados de um local para outro (GUERRA, 2005). Após um longo período de chuvas, esses impactos da água com o solo acabam ocasionando um fluxo de sedimentos que podem originar ravinas, e se o processo for contínuo poderá provocar um incessante aprofundamento do solo, podendo-se chegar ao nível de uma voçoroca.

3.1.2 - HISTÓRICO DA EROSÃO

A erosão é tão antiga quanto à própria terra, e ocorre e sempre ocorreu de forma natural, através de fenômenos que agem continuamente, no entanto a ação do homem quebra essa harmonia, por meio de inserção de práticas que destroem o equilíbrio das condições naturais dando origem à erosão acelerada (PRUSKI, 2009).

A erosão ligada às atividades antrópicas é um processo percebido desde a antiguidade. Os primeiros registros que datam a percepção desta associação são dos Sumérios (6.000 a.C.) e tacitamente revelam que a revolução neolítica que fixa o homem nômade cria uma relação permanente entre uso do solo e a percepção do seu desgaste (BENNETT, 1939).

Segundo GUERRA (2005) a degradação do solo afeta tanto as terras agrícolas como as áreas com vegetação natural e pode ser considerada como um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias. Cerca de 15% das terras sofrem com a degradação. Atualmente a erosão acelerada dos solos tanto pelas águas como pelo vento, é responsável por 56% e 28%, respectivamente, da degradação dos solos no mundo. Aqui No Brasil grandes áreas do seu território têm sido identificadas com solos bastante degradados. A degradação dos solos está intimamente ligada ao avanço da agricultura, infelizmente o ser humano não foi capaz de associar o desenvolvimento com a conservação do solo.

A erosão de terras agrícolas constitui fenômeno de grande importância, devido à rapidez com que se processa e do fato de acarretar grandes prejuízos não só para o setor agropecuário, mas para outras atividades econômicas e para o meio ambiente. Outro problema de relevância econômica, social e ambiental é a erosão associada a estradas não pavimentadas (PRUSKI, 2009).

3.1.3 - FATORES QUE INTERFEREM NA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

3.1.3.1 – CHUVA

A chuva constitui o agente responsável pela energia necessária para a ocorrência da erosão hídrica, não somente pelo impacto direto das gotas sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir o escoamento superficial. Os totais precipitados têm pouca relevância no processo de ocorrência da erosão hídrica, sendo muito importante neste a consideração da distribuição do tamanho, a velocidade de queda, o número, o momento e a energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva. O conjunto dessas características é comumente conhecido como erosividade das chuvas (PRUSKI, 2009).

Segundo CHOW & MAIDMENT (1988), o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre superfícies do solo, até encontrar uma calha definida. De acordo com TUCCI (2004) o escoamento superficial é regido por leis físicas e simbolizado, qualitativamente, por variáveis como vazão, profundidade e velocidade de escoamento e dependente de um grande número de fatores, como o relevo, a cobertura da bacia, modificações artificiais nos rios, a distribuição, duração e intensidade da precipitação e o tipo de solo. As características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência com que as chuvas ocorrem e a sua erosividade (SANTOS *et al.*, 2010).

Segundo BIGARELLA (2003) a água é o agente mais atuante nas mudanças morfológicas da paisagem, atuando na erosão, transporte e deposição dos sedimentos. A erosão pela água compreende fatores erosivos sob a forma laminar, de sulcos e voçorocas, causados pelo salpicamento das gotas de chuva e pelo escoamento superficial.

A ação do *splash*, também conhecido por erosão por salpicamento é o estágio mais inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial, isto ocorre tanto pela ruptura dos agregados como pela ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas do solo, provocando a selagem e a conseqüente diminuição da porosidade o que aumenta o escoamento das águas. O papel do *splash* varia não só com a resistência do solo ao impacto das gotas d'água, mas também com a própria energia cinética das gotas de chuva. A energia cinética determina a erosividade, que é a habilidade da chuva em causar erosão. Quanto maior a energia cinética da chuva, maior será a possibilidade em causar a ruptura dos agregados (GUERRA, 2005).

O escoamento superficial e o processo de desagregação da estrutura do solo, produzidos pelas gotas de chuva, constituem dois principais causadores da erosão pluvial. Como os dois processos são causa direta da precipitação pluviométrica que ocorre em determinado local, essa é considerada o elemento do clima mais importante no processo de erosão (EMBRAPA, 2004).

3.1.3.2 – SOLO

O uso inadequado, pelo homem, dos recursos naturais, modificando o solo, cria condições para que o processo erosivo se intensifique. As condições mais favoráveis estão presentes em solos desprovidos de cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados por cultivos intensivos, trazendo como efeitos o aumento na desagregação desses solos, diminuição na capacidade de infiltração de água e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial (AVANZINI, 2005).

As propriedades do solo podem influenciar o processo erosivo, para BERTONI & LOMBARDI NETO (1991), o conhecimento destas propriedades é de grande importância na orientação dos trabalhos de manejo de solo e controle dos processos erosivos.

O comportamento do solo diante do processo erosivo é comumente referido como erodibilidade do solo, que expressa, portanto, a sua susceptibilidade à erosão, constituindo uma propriedade intrínseca que depende da capacidade de infiltração e de armazenamento da água e das forças de resistência do solo à ação da chuva e do escoamento superficial (PRUSKI, 2009). Muitas pesquisas consideram que a textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e PH do solo são considerados fatores controladores dos processos erosivos (GUERRA, 2005).

A estabilidade dos agregados caracteriza a resistência do solo à ruptura causada por agentes externos. Baixos índices de estabilidade de agregados podem aumentar a tendência de dispersão do solo, aumentando o escoamento superficial e o risco de erosão. O uso intensivo do solo causa redução da estabilidade dos agregados, deixando-os mais suscetíveis aos processos erosivos. Para uma mesma classe de solo, diversas práticas de manejo podem afetar distintamente as propriedades, incluindo os processos de agregação. O cultivo intensivo, aliado à alta taxa de revolvimento, é responsável pela redução do conteúdo de matéria orgânica do solo, que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados. Quanto maior for o agregado, maior será o seu diâmetro médio ponderado (DMP) e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração de água no mesmo e diminuindo a erosão (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

De forma geral é possível efetuar algumas relações entre a cor do solo e processos atuantes no mesmo. Solos mais escuros (enriquecidos com matéria orgânica) tendem a ser menos susceptíveis à erosão, em função da maior presença de matéria orgânica, que confere maior estabilidade aos agregados do solo. A pouca umidade inibe o crescimento da

cobertura vegetal, diminuindo sua eficiência, aumentando então o risco à erosão e de movimentos de massa. As vertentes que recebem maior insolação apresentam menor umidade, solos mais claros, mais rasos, vegetação de menor porte, mais espaçada, e maior incidência de processos erosivos e movimentos de massa do que as vertentes mais protegidas da insolação (GUERRA, 2005).

O agregado segundo CURI *et al.* (2003) é um conjunto coerente de partículas primárias do solo com forma e tamanhos definidos. Comporta-se, mecanicamente, como uma unidade estrutural. Quanto à forma os agregados podem ser: granular, grumosa, poliédrica ou blocos subangulares, poliédrica ou blocos angulares e prismática. Os agregados angulosos são mais compactos e restringem a atividade biológica. Agregados laminares apresentam forte impedimento a circulação vertical de água (GUERRA, 2005).

CURI *et al.* (1993) definem a porosidade total do solo como a porcentagem do volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água, respectivamente, a macroporosidade e a microporosidade. A macroporosidade é definida como o número de poros maiores, no caso aqueles que não são capazes de transportar água por capilaridade, enquanto que a microporosidade se refere aos poros capazes de exercer esta função. Segundo este mesmo autor o tamanho dos poros influi na movimentação e na retenção de água no solo, quanto menor for a porosidade total de um solo maior será o escoamento superficial e a erosão. As práticas de manejo do solo exercem influência em sua estrutura e, portanto, em sua porosidade. Alguns autores verificaram uma diferença entre a porosidade total em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo, dentre eles citam-se CECONI *et al.* (2007) e MATIAS *et al.* (2009) que observaram uma menor porosidade em solos com uso mais intensivo.

A textura desempenha grande influência no volume de água que pode ser armazenado no solo, pois ela determina o tamanho, a quantidade e a continuidade dos poros. Geralmente solos com poros menores apresentam maior capacidade de armazenamento e retenção de água. Além disso, a textura influencia a movimentação de água no solo, para BRANDÃO *et al.* (2009), ela é de extrema importância na condutividade hidráulica do mesmo. Em solos de textura grossa, com maior quantidade de poros grandes, apresentam maiores valores de condutividade hidráulica e taxa de infiltração.

A estrutura, modo que as partículas se arranjam, influi na capacidade de infiltração e absorção da água da chuva e na capacidade de arraste das partículas do solo. Assim solos como os latossolos que apresentam uma estrutura microagregada ou granular com alta percentagem de poros, apresentam alta permeabilidade favorecendo a infiltração da chuva, apresentam também agregação entre partículas tornando esses solos mais resistentes ao arraste causado pelas enxurradas (GUERRA, 2005). Ainda segundo este mesmo autor a permeabilidade determina maior ou menor capacidade de infiltração das águas da chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo. Em geral solos arenosos são mais permeáveis que solos argilosos, por serem mais porosos.

3.1.3.3 - DECLIVIDADE DO TERRENO E TAMANHO DA ENCOSTA

Uma vez que a tensão cisalhante associada ao escoamento é diretamente dependente do peso específico do fluido que escoar, do raio hidráulico e da declividade da superfície livre da água, maior declividade acarretará aumento na tensão relacionada ao escoamento superficial (PRUSKI, 2009). Ainda segundo o mesmo autor a tensão cisalhante associada ao escoamento tende a crescer com o aumento da vazão de escoamento, da declividade do terreno e da rugosidade deste.

A influência da topografia do local na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento da rampa. Esses fatores influem diretamente nas velocidades da enxurrada (GUERRA, 2005).

BERTONI (1959) apud GUERRA (2005) determinou uma equação que permite calcular as perdas médias de solo para os vários graus de declive e comprimento de rampa:

$$LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,18}$$

Onde: LS: fator topográfico

L: comprimento da rampa, em metros

S: grau de declive

3.1.3.4 – USO E MANEJO DO SOLO

Quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, menor será nele a propensão de ocorrência de erosão. Além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortece a energia de impacto das gotas de chuva, reduzindo a destruição dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A cobertura da vegetação na superfície também reduz a velocidade do escoamento superficial, pelo aumento da rugosidade hidráulica do seu percurso (PRUSKI, 2009). Ainda de acordo com este mesmo autor a remoção da cobertura vegetal de um solo e a conseqüente incidência direta da radiação solar sobre uma superfície podem ser responsáveis pela destruição da matéria orgânica e dos microorganismos em uma camada de aproximadamente cinco centímetros.

Os processos erosivos em áreas de cultivo podem ser minimizados ou praticamente controlados com a aplicação de práticas conservacionistas, que têm por concepção fundamental garantir a máxima infiltração e menor escoamento superficial das águas pluviais (GUERRA, 2005).

3.1.4 – PRÁTICAS DE CONTROLE A EROSÃO

São várias as técnicas de conservação do solo adotadas, podendo ser agrupadas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As técnicas de caráter vegetativo e edáfico são de mais fácil aplicação, menos dispendiosas e mantêm os terrenos cultivados em condições próximas ao seu estado natural, devendo, portanto, ser privilegiadas. Recomenda-se a adoção das técnicas mecânicas em terrenos muito susceptíveis à erosão, em complementação às técnicas vegetativas e edáficas. (GUERRA *et al.*, 1999).

Nas técnicas de caráter vegetativo utiliza-se a cobertura vegetal como critério básico de contenção da erosão. A densidade da cobertura vegetal é o princípio fundamental de toda proteção que se oferece ao solo, preservando-lhe a integridade contra os efeitos danosos da erosão, que será menor quanto mais densa for a vegetação que recobre e protege. (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985). Podem-se citar o reflorestamento de encostas e áreas íngremes, com árvores ou culturas perenes e a cultura em faixas como exemplos de técnicas de caráter vegetativo.

As práticas de caráter edáfico São aquelas que mantêm ou melhoram as condições de fertilidade do solo e, indiretamente, controlam a erosão (GUERRA *et al.*, 1999). Destacam-se o controle do fogo, o plantio direto, a adubação química e orgânica, a calagem e a rotação de culturas.

As práticas de caráter mecânico são práticas artificialmente desenvolvidas nas áreas de cultivo pela execução de estruturas em canais e aterros, com a finalidade de controlar o escoamento superficial das águas e facilitar a sua infiltração (GUERRA *et al.*, 1999). Destacam-se a construção de terraços, canais e bacias de contenção e estabilização das águas pluviais.

3.1.5 - CONCEITUAÇÃO DE RAVINA E VOÇOROCA

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta, de modo a atingir um novo estado de equilíbrio (GUERRA, 2005).

Ravinas seriam incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade. Acima desses valores, as incisões seriam chamadas de voçorocas. Segundo o Instituto Paulista de Tecnologia, ravinas seriam canais criados pelo escoamento superficial e voçorocas canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático (GUERRA, 2005).

As ravinas ocorrem a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m/s (ELLISON, 1947), quando este adquire um regime turbulento e origina-se uma incisão ao longo da linha de fluxo. O aumento do gradiente hidráulico pode ser devido ao aumento da intensidade da chuva, ao aumento do gradiente de encosta e ainda porque a capacidade de armazenamento foi excedida. O canal formado não é funcional e seu talvegue é intermitentemente aprofundado, atingindo inicialmente os horizontes inferiores do solo e, em seguida, a rocha mãe (FOURNIER, 1960).

Segundo PRUSKI (2009) voçorocas são sulcos com profundidade superior a 30 cm e largura superior a 1 m, consiste no deslocamento de grande quantidade de solo, de modo a formar canais de consideráveis dimensões, que impedem o trânsito de máquinas agrícolas e

reduzem a área do plantio. Essa forma de erosão consiste em fase mais avançada do processo erosivo, sendo que no seu processo de ocorrência estão envolvidas forças que regem a estabilidade de taludes e os processos de movimentos de massa.

De acordo com GUERRA (2005) as voçorocas são características erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, normalmente, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Em alguns casos, podem atingir o lençol freático. Podem se originar da intensificação do processo de ravinamento, tanto no sentido vertical como horizontal, concentrando grandes volumes de fluxo das águas do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial. A água é transportada em dutos que, com remoção de grandes quantidades de sedimentos, provocada pelo aumento do fluxo subsuperficial, aumenta o diâmetro desses dutos e provoca o colapso do material situado acima. Pode ainda ser a partir de antigos deslizamentos de terra, que deixam cicatrizes nas paredes laterais do mesmo e com a ação posterior do escoamento concentrado, se origina o voçorocamento. Embora a origem da formação da voçoroca possa variar o processo, de forma geral, é uma conjugação da ação do escoamento superficial das águas pluviais e do escoamento subsuperficial.

Erosões do tipo voçorocas podem chegar a vários metros de comprimento e de profundidade, devido ao fluxo de água que é possibilitado em seu interior, ocasionando uma grande movimentação de partículas. Algumas voçorocas podem chegar até mesmo ao nível do lençol freático do local onde ocorrem. Sobre isso, FERREIRA *et al.* (2007), reitera que, as voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em áreas de rochas cristalinas nas regiões tropicais de montanha onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões.

A erosão por ravinas e voçorocas é causada por vários mecanismos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Todos derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer na superfície ou em subsuperfície (COELHO NETO, 1998).

3.2 – SIG, SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM

3.2.1 – SIG

De acordo com BARROSO & ABREU (2003) a automação dos processos de informação teve seu início na década de 50. O primeiro SIG foi criado nos anos 60 no Canadá, com a finalidade de detecção baseada em mapas e a classificação dos enormes recursos naturais, bem como servir como base para o planejamento estratégico, designava uma ferramenta de apoio baseada em computador para o manuseio de um grande volume de dados, a partir do grande número de conceitos, métodos e campos de aplicação. Um SIG designa um sistema composto de *hardware*, *software* e dados. A partir do final da década de 80 se formou, de modo crescente, uma estrutura metodológica com relação a utilização de SIG (LANG & BLASCHKE, 2009) ainda segundo este mesmo autor, SIGs podem fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos. O *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), fundado em 1969, na Califórnia (EUA), contribuiu fortemente no desenvolvimento de *softwares* para SIG baseados em PCs e de fácil manuseio para o usuário (GREGORY & ELL, 2007).

O termo sistema de informações Geográficas (SIG) refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados e numa projeção cartográfica qualquer (ASSAD, 1998). Conceitualmente, SIG tende a tratar os elementos gráficos como as unidades básicas para a coleta de dados e Os atributos como as informações que caracterizam estas entidades. Assim o SIG junta a cartografia digital que cria os elementos gráficos com os sistemas gerenciadores dos bancos de dados que permitem a construção e comparação destes elementos. (BARROSO & ABREU, 2003). Segundo GREGORY & ELL (2007) SIG é um pacote computacional que foi criado para representar as informações geográficas e permitir que possamos controlar essas informações através da integração entre os dados espaciais e um sistema de banco de dados.

SIGs são usados para a documentação e visualização, assim como para a análise de fenômenos areolares. Informações genéricas podem ser transformadas em informações úteis e politicamente relevantes. Com o auxílio de um SIG, podemos explicar e visualizar relações espaciais, podemos representá-las e apresentá-las através de mapas (LANG & BLASCHKE, 2009).

Os SIG (Sistemas de informações geográficas) permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (ASSAD, 1998). A Figura 1 ilustra o modelo de um SIG.

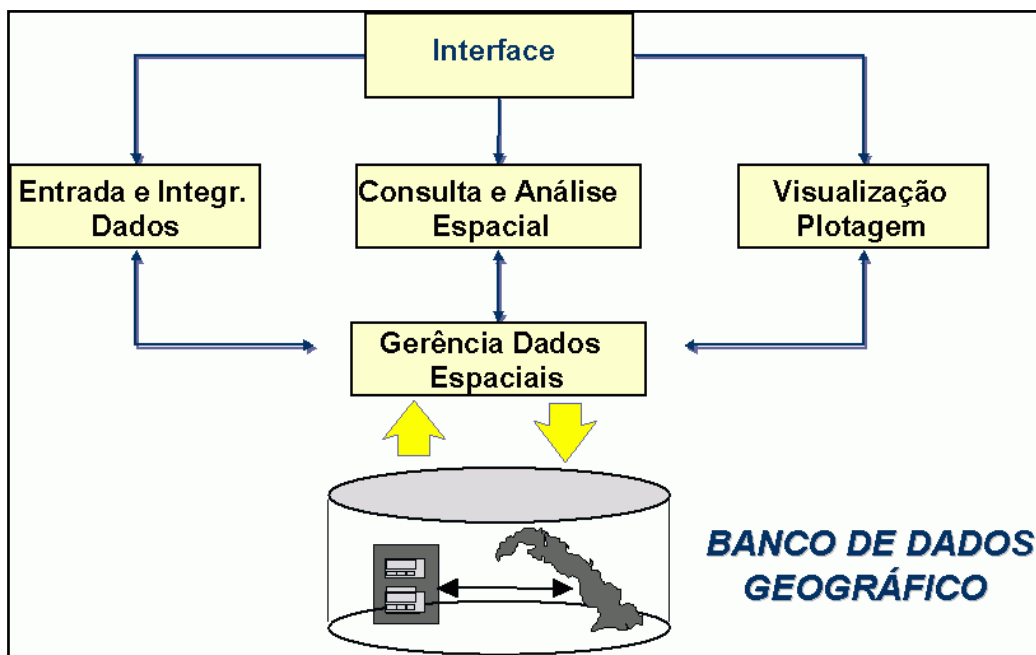


Figura 1 – Modelo de um SIG

Na análise espacial existem dois modelos fundamentais, o modelo vetorial e o modelo matricial. O modelo vetorial caracteriza-se pela separação precisa entre dados temáticos (atributos) e dados de geometria. Cada camada de dados temática possui um quadro associada com os dados de atributos. Na camada de dados, a cada objeto acessado espacialmente e a cada entidade é associada uma linha deste quadro. Os atributos estão organizados e armazenados nas colunas das quadros. O modelo *raster* é utilizado pra fenômenos geográficos contínuos que ocorrem em áreas na superfície terrestre, esses dados são arquivados numa célula *raster* ou *pixel* (LANG & BLASCHKE, 2009).

Investigar fatos geográficos no mundo que nos circunda exige mais do que uma simples descrição da realidade aparente. Significa buscar conhecer o modo pelo qual a sociedade produz o espaço geográfico, uma vez que, a todo o momento, esse espaço está sofrendo modificações e reduções geradas pela evolução e crescimento da população e das atividades humanas (BARROSO & ABREU, 2003).

3.2.2 – SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com FLORENZANO (2007) a origem do sensoriamento remoto está associada ao surgimento da fotografia aérea, podendo ser dividido em dois períodos, um de 1860 até 1960 e outro de 1960 até os dias de hoje. O sensoriamento remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que integra os avanços da matemática, física, química, biologia, ciências da terra e da computação. A sua história está muito vinculada ao uso militar. As primeiras fotografias aéreas foram tiradas de balão por militares em 1856. Em 1909, surgem as primeiras fotografias tiradas de aviões e na primeira guerra mundial o seu uso foi intensificado. Durante a segunda guerra mundial foi desenvolvido o filtro infravermelho para detectar camuflagem, além dos sistemas de radar. Na década de 60 foram tiradas as primeiras imagens orbitais da superfície da terra por satélites tripulados. Em 1972 foi lançado o primeiro satélite da série Landsat o ERTS-1 (MORAIN, 1998). Hoje em dia existem vários satélites em órbita, com diferentes sensores e diversas altitudes, inclusive o satélite CBERS, produto de um programa de cooperação entre Brasil e China (FLORENZANO, 2007).

De acordo com MENESES & LONGHI (2005) sensoriamento remoto é a tecnologia que possibilita obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. Segundo NOVO (2010) sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas diversas manifestações. O sensoriamento remoto lida com o acesso mais imediato dos dados primários em uma escala mais contínua coletada muitas vezes em áreas extensas e em rápidas frequências temporais. O sensor registra os dados da magnitude da energia passiva e ativa em múltiplos comprimentos de onda e a sua interação com a superfície terrestre e a atmosfera (MESEV, 2007).

No sensoriamento remoto a energia emanada da superfície terrestre é medida utilizando um sensor remoto como um avião ou um satélite. Essa medida é utilizada para construir a imagem da superfície captada (RICHARDS & XIUPING, 2006). Essa energia é transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na terra. Estes sinais enviados são transformados em dados na forma de gráficos, Quadros e imagens. Essa energia utilizada em sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz (MENESES & LONGHI, 2005).

Objetos da superfície da terra refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam de acordo com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físicas-químicas. As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representadas por curvas espectrais que auxiliam na diferenciação dos diferentes objetos (RICHARDS & XIUPING, 2006).

A resolução refere-se à capacidade de um sensor distinguir objetos da superfície terrestre, ou o menor elemento identificável por um sensor. Esse elemento é denominado *pixel* (MENESES & LONGHI, 2005).

As imagens de satélites, ao recobrirem sucessivas vezes a superfície terrestre, possibilitam o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente e antrópicos (FLORENZANO, 2007). Ainda segundo este mesmo autor por meio do uso de imagens de satélites é possível identificar, calcular e monitorar o crescimento de áreas submetidas a processos de erosão.

3.2.3 – MODELAGEM DE DADOS

Um modelo é uma representação simplificada da realidade (CHRISTOFOLETTI, 1999), que supostamente apresenta de forma generalizada, características ou informações importantes. Segundo o mesmo autor modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.

A modelagem deve considerar que os processos da natureza resultam de interações espaço-temporais complexas entre os diversos elementos que os compõem, ou seja, as propriedades ambientais. No modelo matemático de um processo, as propriedades ambientais são tratadas como variáveis do modelo enquanto que suas inter-relações são representadas por operações aritméticas ou lógicas. (FELGUEIRAS, 1999).

Um dado espacial, para ser trabalhado dentro de um SIG, deve ser representado por um modelo computacional. Um modelo é uma abstração de fatos ou de entidades do mundo real. A modelagem de dados geográficos é o processo de discretização que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros ou objetos (GOODCHILD, 1993a).

Os modelos ambientais são usados para aumentar o conhecimento sobre um processo, prever valores ou comportamentos em áreas não observadas e comprovar, ou não, hipóteses feitas sobre processos. Estes modelos variam de equações empíricas simples, tais como, equações de regressão linear, até conjuntos de equações diferenciais complexas derivadas dos fundamentos da física (MOORE *et al.*, 1993).

Os modelos podem ser classificados em três categorias: empírico ou estático; conceitual; e baseado em processos físicos. Os modelos podem ser considerados híbridos (PRUSKI, 2009). Os modelos empíricos são os mais simples, sendo baseados primeiramente nas análises de observações, na tentativa de representar respostas para os dados observados. As exigências computacionais e de dados são menores para este modelo. As principais características dele são o seu elevado nível de agregação espacial e temporal e o pequeno número de variáveis (FELGUEIRAS, 1999). Enquanto que os modelos conceituais tendem a incluir uma descrição geral dos processos, sem exibir detalhes específicos da interação dos dados. Os modelos de base física baseiam-se na solução de equações físicas fundamentais que descrevem a geração de escoamento e sedimentos. Os modelos empíricos são muitas vezes criticados por adotarem suposições irreais sobre a física do sistema, ignorando a heterogeneidade das contribuições e das características de determinada área. Cada tipo de modelo serve a um propósito, sendo assim não existe um modelo para todas as situações. (PRUSKI, 2009).

3.2.4 – MATRIZ DE PESOS

Considerando uma pequena quantidade de trabalhos que utilizaram matriz de ponderação de pesos, contrariamente à utilização da Usle (*universal soil loss equation*), referente aos modelos preditivos de estudo sobre perda de solos, procura-se, nesse modelo da matriz de pesos, encontrar formas que possam justificar a metodologia de pesos, diante de alguns erros nas estimativas de perda de solo da Usle (BIAS, 1998).

O método consiste em determinar pesos para as diferentes classes dentro de cada um dos temas que serão utilizados na modelagem, baseados em atributos particulares para cada classe com base em estudos científicos. Todos esses dados são convertidos para o formato *raster* onde se define o tamanho do *pixel* de trabalho. Em seguida é realizado o somatório dos pesos para cada um dos temas, o resultado é um dado no formato *raster* ou matricial contendo vários *pixels* contendo o somatório dos pesos de cada tema para determinado local do espaço geográfico. Depois os valores são distribuídos em classes normalmente distribuídas na ordem crescente que podem determinar por exemplo os graus de maior ou menor risco à erosão (BIAS, 1998; GONÇALVES & NOGUEIRA, 2007; RIBEIRO & CAMPOS, 2007).

3.3 – DETECÇÃO DE EROSÕES

Ao longo dos últimos 30 anos muitos estudos foram publicados em que utilizaram imagens de satélites de várias maneiras diferentes na detecção de processos erosivos. dados de satélite podem ser utilizados para detectar erosões ou as consequências delas, a detecção direta é realizada por meio da identificação individual de grandes erosões, discriminação de áreas erodidas e avaliação da intensidade baseada em relações empíricas. Os efeitos de detecção incluem o dano ocorrido durante os maiores eventos erosivos e os depósitos de sedimentos (VRIELING, 2007).

Imagens de satélite com resolução média, como o LANDSAT e o SPOT, podem ser no máximo utilizadas para o mapeamento de grandes voçorocas (LANGRAN, 1983). A maior contribuição do sensoriamento remoto nas erosões do tipo voçoroca é a interpretação visual de fotografias aéreas. Os limites das voçorocas são delineados a partir de fotografias aéreas e as taxas de crescimento são calculadas a partir de estudos multitemporais.

(VANDEKERCKHOVE *et al.*, 2003). No entanto o tamanho das regiões estudadas normalmente é pequeno, para regiões maiores podem ser utilizados métodos de classificação dos dados (VRIELING, 2007).

3.4 – ESTUDOS SOBRE EROSIÃO NO DISTRITO FEDERAL

Na região do Distrito Federal, o problema se apresenta em destaque principalmente sob a forma de voçorocas, que são o estágio mais evoluído do processo erosivo iniciado pela formação de ravinas. Este fenômeno quando ocorre em área urbana constitui-se em um desconforto ou isco a comunidade, podendo ir do simples trincamento das construções até o seu colapso total. Ocorrências mais significativas no Distrito Federal sucederam em Planaltina em 1980, Gama em 1984, Ceilândia em 1986 e Plano Piloto no ano de 1987 (FÁCIO, 1991).

FÁCIO (1991) estudou erosões em Ceilândia, Taguatinga, Samambaia, Gama, Sobradinho I e Sobradinho II, concluiu através de estudos sobre erodibilidade dos solos utilizando um equipamento baseado na proposta de INDERBITZEN (1961) apud FÁCIO (1991) que dentre os locais mais propícios ao surgimento de voçorocas pode-se citar a interface dos pediplanos Rodeador e Brasília, que se situa próximo as cidades satélites Gama, Ceilândia e Samambaia. Os resultados das análises das amostras coletadas mostraram que a perda de solo aumenta quando a grau de saturação diminui; Que a perda de solo aumenta com o aumento da vazão e que a perda de solo aumenta com o incremento da declividade da rampa.

BLOISE *et al.* (2001) realizou estudos na micro bacia do Córrego Olaria, tributário do Rio Descoberto diagnosticou que o emprego do mapa de acumulação de fluxo permite melhor representação do fator comprimento de rampa, os solos com maiores valores de erodibilidade foram os cambissolos e os gleissolos e que no mapa de potencial de erosão as vertentes próximas às drenagens são áreas de maior susceptibilidade por convergirem altos valores do fator topográfico e erodibilidade e sinalizou sobre a importância da conservação da bacia.

No ano de 2001, JUNIOR *et al.*(2001) utilizando a USLE dentro da bacia do ribeirão do Gama – DF, concluiu que a USLE necessita de validações experimentais para

certas regiões brasileiras, o que compromete o seu uso para fins quantitativos. Todavia, esse método mostra-se satisfatório na localização geográfica, dentro de uma bacia hidrográfica, das áreas de maior desgaste do solo como áreas com maior risco natural a erosão laminar. A informação, mesmo sendo qualitativa, já fornece subsídios relevantes ao planejamento agrícola e ambiental em grandes e pequenas bacias hidrográficas. Ainda segundo o mesmo autor a imagem de potencial de erosão mostra que as áreas mais susceptíveis ao processo erosivo estão nas áreas de borda de chapada, onde se encontram as mais altas declividades e solos com maiores valores de K (cambissolos). Nesses locais as rochas pelíticas pobres em nutrientes (ardósia, folhelhos micaxistos e filitos) geram solos rasos distróficos, ricos em alumínio e com vegetação rala, representando áreas de instabilidade natural. Como essa instabilidade tende a se intensificar com o uso, essas áreas são de relevância para o controle da erosão e, conseqüentemente, a conservação da APA.

Outro ponto que ressaltado por JUNIOR *et al.* (2001) é que as áreas próximas às linhas de drenagem também revelaram-se altamente propensas à erosão, o que reforça a necessidade de preservação dos solos hidromórficos.

CHAVES (1994) apresentou um método estocástico que incluiu os processos hidráulicos de degradação do canal de instabilidade dos taludes e um modelo probabilístico de capacidade/demanda. O método considera a variabilidade espacial e a correlação entre os parâmetros do solo, o que permite estimar a quantidade de solo removido pela erosão hidráulica e por desmoronamento de taludes durante um evento erosivo. Ainda de acordo com mesmo autor, as vantagens do método são a separação dos processos de erosão hidráulica e por movimento de massa, e o emprego de uma rotina probabilística para a estimativa da probabilidade de falha das paredes laterais do sulco. O método proposto por CHAVES (1994) apresenta um potencial de precisão superior ao de modelos onde a erosão hidráulica e os movimentos de massa não são tratados individualmente e por possuir um estruturamentodeterminística e modular, o método pode ser acoplado a modelos existentes de erosão, com ou sem rotinas de transporte ou deposição de sedimentos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 – ASPECTOS GERAIS

O Distrito Federal está situado no planalto central, na região centro – oeste do Brasil, cobrindo 5.814 km², localizado entre os rios Descoberto e Preto, com as coordenadas 48°15' WG 47°20'WG, respectivamente, e entre os paralelos 15°30'S e 16°03'S(lei no 2.871, 1956, Artigo 1º. CODEPLAN, 1971).

A Vegetação predominante na área de estudo é o Cerrado, contendo todas as suas fitofisionomias dentro das formações campestres, savânicas e Florestais. A Figura 2 ilustra a localização do Distrito Federal no território nacional (ZEE-DF, 2011).

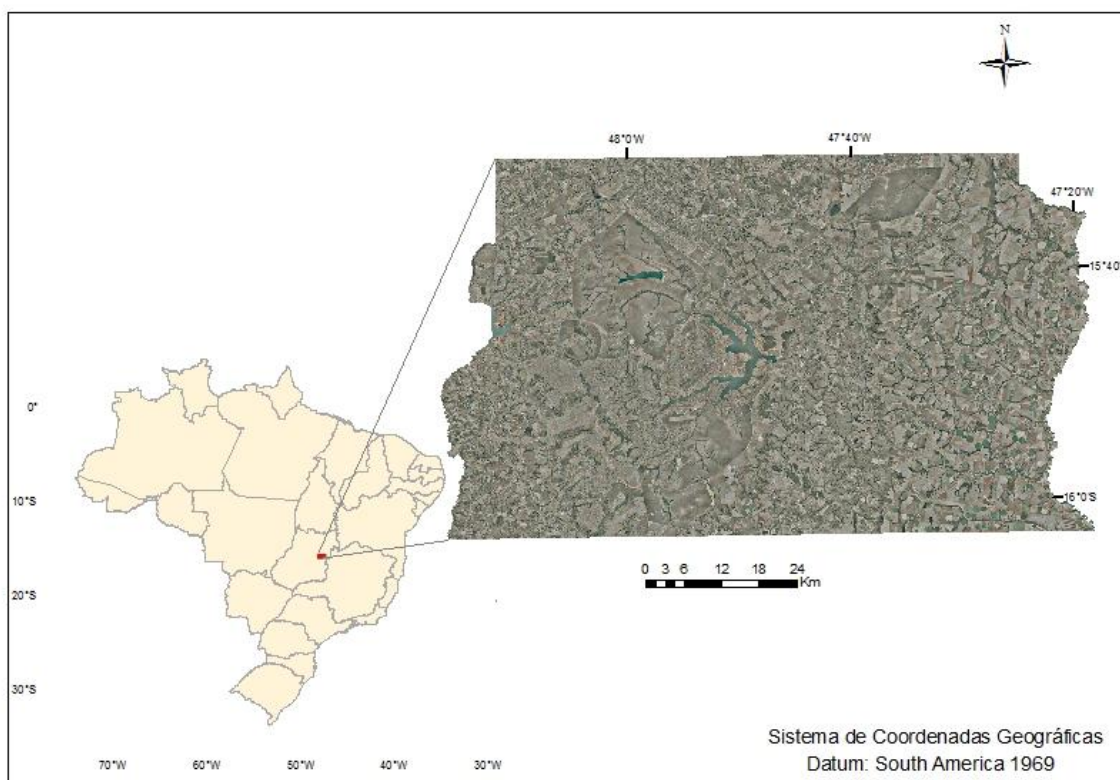


Figura 2- Localização geográfica do Distrito Federal no território Nacional

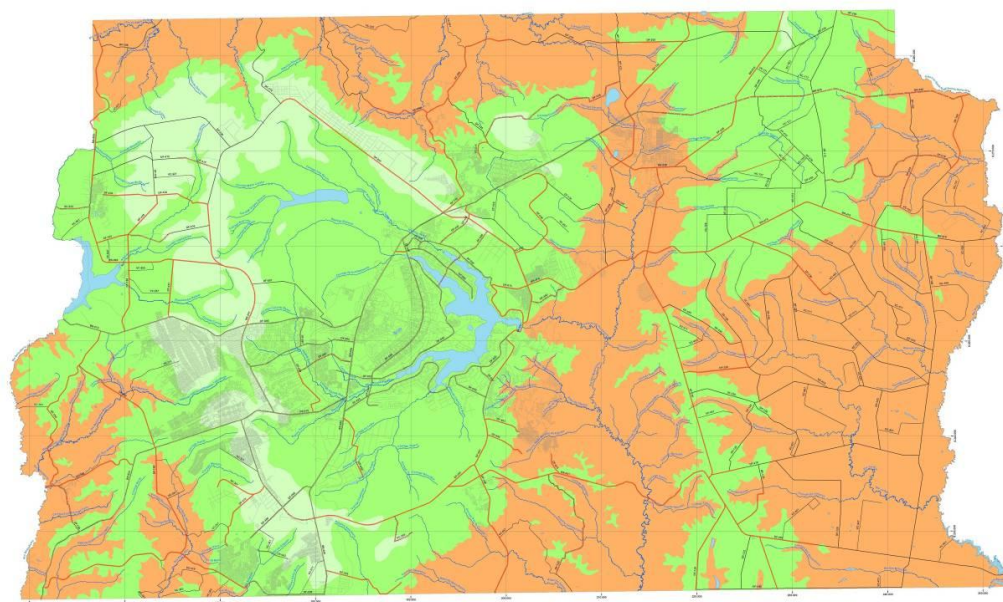
4.1.2 – CLIMA E PRECIPITAÇÃO

De acordo com as descrições e análises climatológicas realizadas por MARTINS &BAPTISTA (1998), o Centro-Oeste sofre influência tanto de sistemas tropicais das latitudes baixas, como de climas do tipo temperado das latitudes médias. Possui uma estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão (chuvas convectivas). Quanto às temperaturas, o sul da região no período de inverno é afetado pela penetração de massas de ar frio de altas latitudes sul, contribuindo para a predominância de baixas

temperaturas nessa estação, provocando condições de tempo frias, principalmente no sul do estado de Goiás.

Na Região Centro-Oeste, atua um sistema semiestacionário gerado a partir do forte aquecimento convectivo da atmosfera durante os meses de verão, que pode influir diretamente na precipitação e temperatura da região. A zona de Convergência do Atlântico Sul, caracterizada por uma banda de nebulosidade e chuva semiestacionárias, é um dos principais fenômenos que influenciam o regime de chuvas durante os meses de maior atividade convectiva (ZEE-DF, 2011).

As condições climáticas do estado de Goiás são bastante similares às do resto da região Centro-Oeste do Brasil. Com base na classificação de Köppen, o tipo climático predominante na região é o tropical úmido – AW – que abrange a maior parte do estado e é caracterizado por uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, com média de precipitação maior que 1100 mm de chuva por ano. O Mapa com a representação das classes climáticas existentes no Distrito Federal classificação de Köppen (CODEPLAN, 1984) encontra-se apresentado na Figura 3.



Clima - Classificação de Köppen

- Aw - Clima Tropical com Estação Seca de Inverno - Temperatura do mês mais frio (julho) superior a 18° C, todos os meses restantes possuem temperaturas médias acima dos 18° C. Ocorrente nos locais com cotas altimétricas abaixo de 1.000m
- Cwb - Clima Temperado Húmido com Inverno Seco e Verão Temperado - 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
- Cwa - Clima Temperado Húmido com Inverno Seco e Verão Quente - 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

Figura 3 - Classificação climática segundo os critérios de Köppen para o Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN (1984).

A chuva e a evaporação são os principais parâmetros que constituem o balanço hídrico de uma região, através dos quais se podem obter algumas informações climatológicas importantes. A evaporação é um processo contínuo de perda de água das superfícies e da vegetação (evapotranspiração) para a atmosfera. A precipitação possui um regime irregular e pode ser decorrente de diversos fenômenos meteorológicos, os quais irão determinar sua intensidade e duração (ZEE-DF, 2011).

O período chuvoso na região do Distrito Federal concentra-se no verão do hemisfério sul, tendo como controle principal o transporte de umidade da região norte do país, que associado à passagem de frentes frias a partir da região sul/sudeste do país ou associados a processos convectivos favorecem a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas (ZEE-DF, 2011).

Os processos convectivos acontecem devido ao intenso aquecimento da superfície terrestre, tornando a atmosfera mais instável, favorecendo os fluxos ascendentes e consequentemente a precipitação, quando há umidade disponível (ZEE-DF, 2011). Para a região, de acordo com os dados climatológicos do INMET, como pode ser observado na Figura 4 e no Quadro 1, as médias pluviométricas mensais atingem mais de 200 mm nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro e ficam abaixo de 50 mm de maio a setembro, quando a evaporação supera a precipitação, caracterizando um período muito seco.

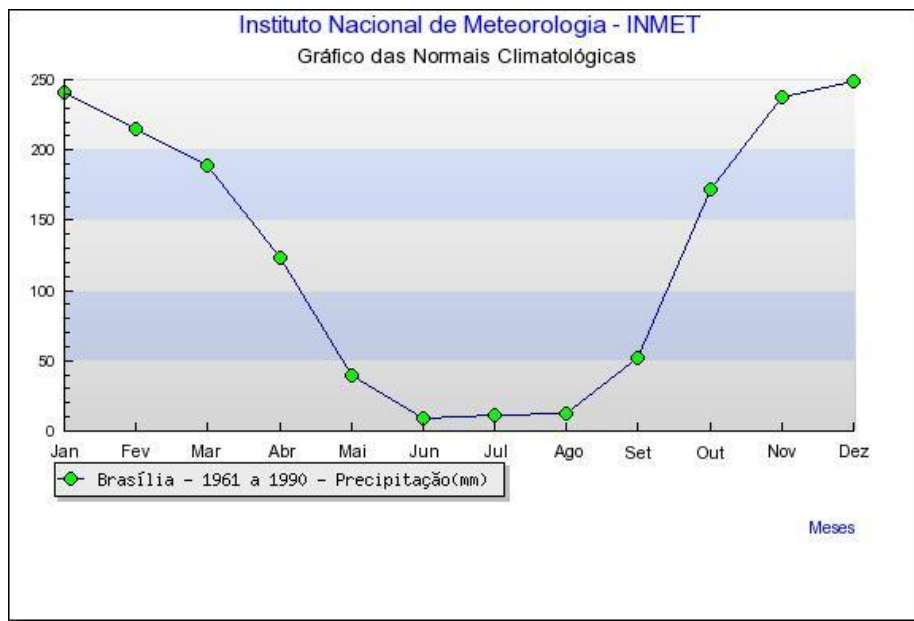


Figura 4 - Variação média mensal da precipitação em mm para a Estação Brasília (1961 a 1990).

Quadro 1 - Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET em milímetros (1961 a 1990).

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Total	241	215	189	124	39	9	12	13	52	172	238	249

Os eventos de precipitação anômalos, que podem superar 100 mm por dia são particularmente importantes na avaliação de aspectos ambientais quanto ao risco erosivo, pois este tipo de chuva torrencial é responsável pelo desenvolvimento e ampliação de processos erosivos lineares (ZEE-DF, 2011).

O Mapa com a representação da distribuição espacial das chuvas no Distrito Federal é apresentado na Figura 5.

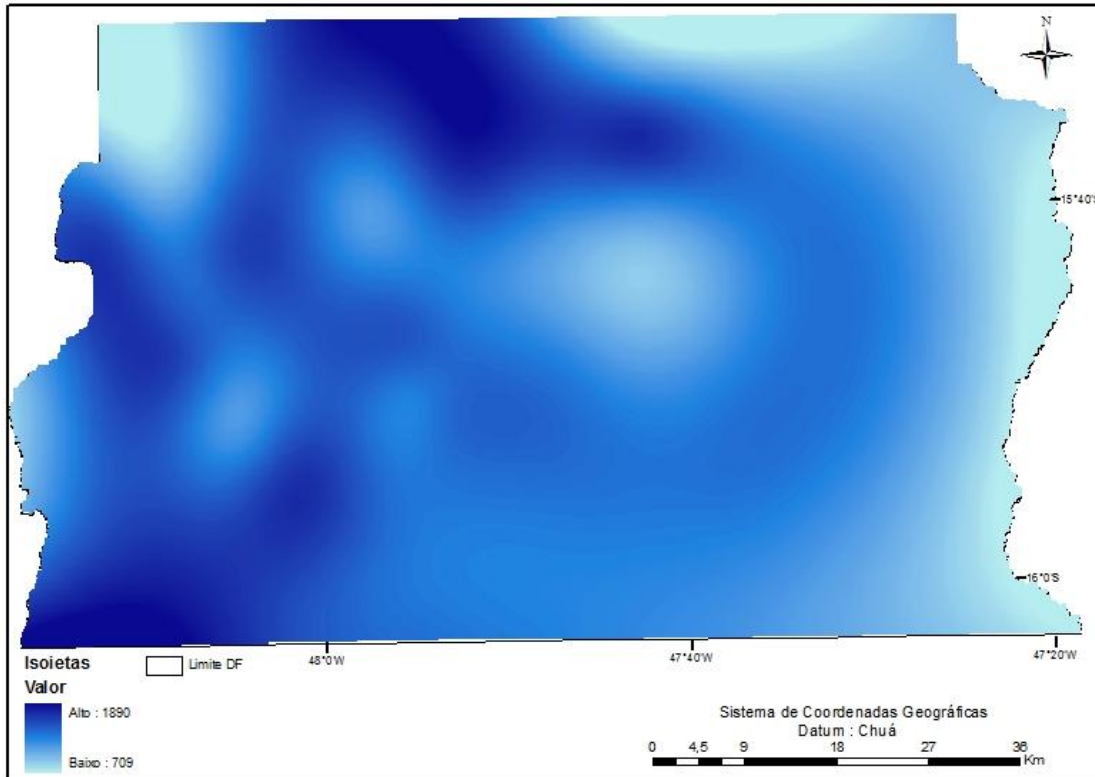


Figura 5 - Mapa de isoietas do Distrito Federal.
 Fonte: GONÇALVES (2007).

4.1.3 – GEOLOGIA

O Distrito Federal está situado na região central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, e na sua transição entre as porções externa e interna, sua região apresenta uma complexa estratigrafia, em virtude da estruturação geral e de sua posição dentro da Faixa Brasília, que inclui importantes falhas de empurrão, sucessivos cavalgamentos, interferência de fases ortogonais de dobramentos e variações de espessuras de conjuntos litológicos, que dificultam o estabelecimento do empilhamento original (ZEE-DF, 2011). Abaixo é mostrada a caracterização dos conjuntos litológicos que compõem sua geologia local (Figura 6).

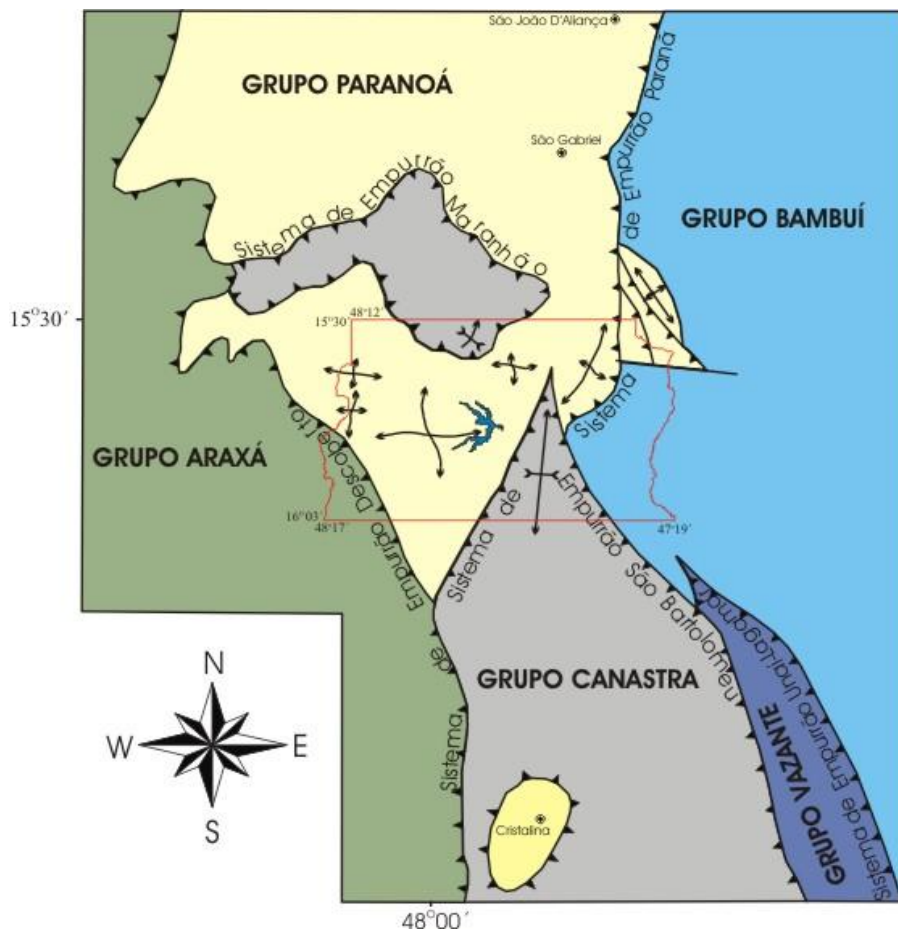


Figura 6 - Distribuição dos empurrões e cavalgamentos regionais associados à geologia regional em que o Distrito Federal está inserido
 Fonte: FARIA (1995).

No âmbito do Distrito Federal são reconhecidos quatro conjuntos litológicos no contexto regional da Faixa Brasília, incluindo parte dos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí (ZEE-DF, 2011).

grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, respectivamente contribuindo com cerca de 65; 15; 5 e 15% de sua área total (ZEE-DF, 2011). A Figura 7 ilustra a geologia do Distrito Federal.

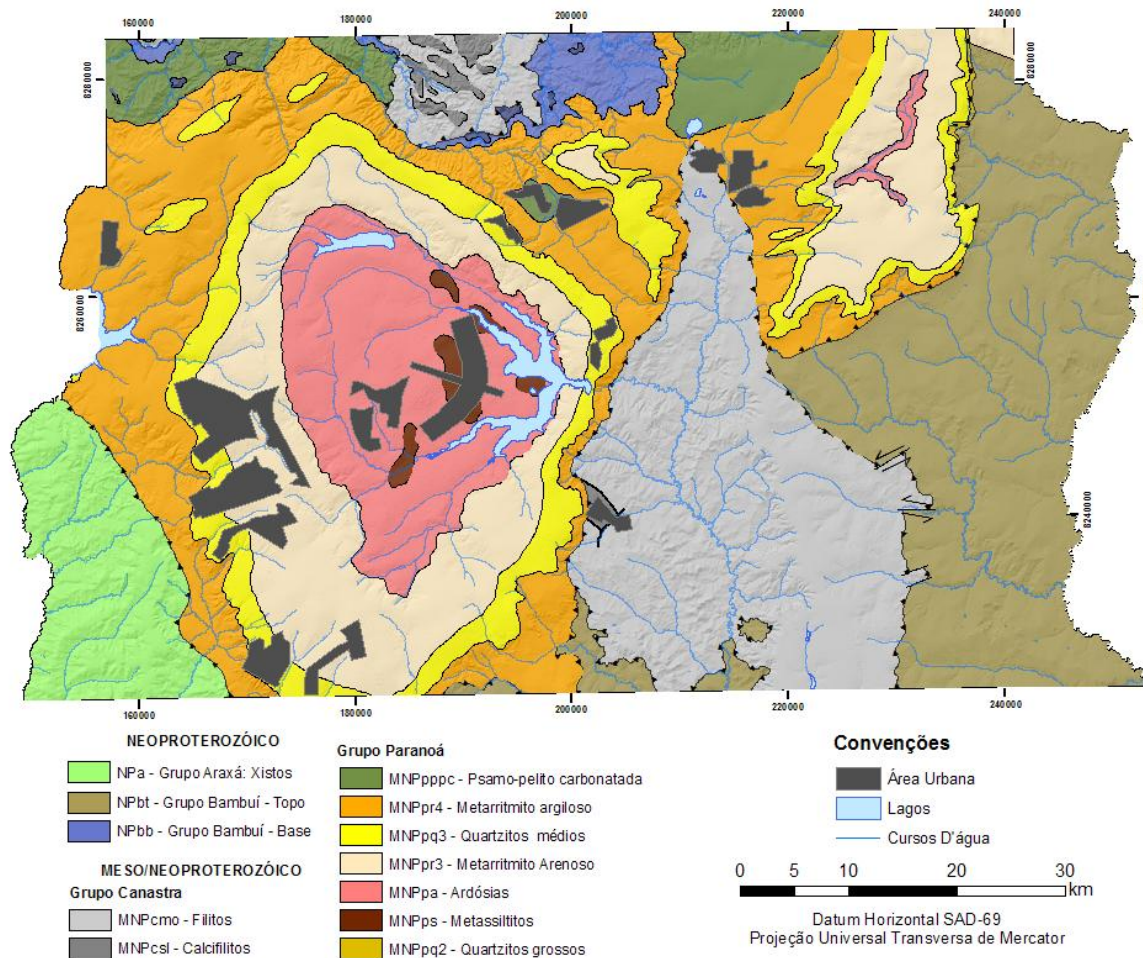


Figura 7 - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal
Fonte: Atualizado de FREITAS-SILVA & CAMPOS(1998).

4.1.4 – GEOMORFOLOGIA

O Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil, onde se localizam as cabeceiras dos três maiores rios brasileiros: Maranhão, afluente do Rio Tocantins; o Rio Preto, afluente do Rio São Francisco; os rios São Bartolomeu e Descoberto, tributários do Rio Paraná. De acordo com AB'SABER (1977), no contexto regional, o Distrito Federal está inserido no Domínio Morfoclimático do Cerrado cujas características geomorfológicas teriam resultado de uma prolongada interação de regimes climáticos tropical semiúmido com fatores litológicos, edáficos e bióticos.

MAURO *et al.* (1982) inseriam a região do Distrito Federal no “Domínio dos Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes”, na subunidade denominada

“Chapadas do Distrito Federal”, caracterizadas por um modelado contínuo constituído principalmente por uma superfície de aplainamento do Terciário Inferior; degradada e retocada por processos erosivos, predominantemente mecânicos, durante o Quaternário que provocou a dissecação incipiente do modelado antigo. Acredita-se que ocorreram diferentes gerações de crostas lateríticas, entre o Terciário e o Quaternário, além da atuação na região de uma tectônica recente a qual responderia pelo embutimento de depressões com cerca de 900 a 950 metros no interior dos topos tabulares das chapadas, que em certas regiões situam-se em altitudes de 1.250 metros.

NOVAES PINTO (1994) reconheceu no Distrito Federal três macrounidades (domínios geomorfológicos) que englobam 13 unidades. As macrounidades foram denominadas de A = Região de Chapadas, B = Área de Dissecação Intermediária e C = Região Dissecada de Vale, as unidades e os percentuais em área de cada uma delas são apresentados na Figura 8 e no Quadro 2.

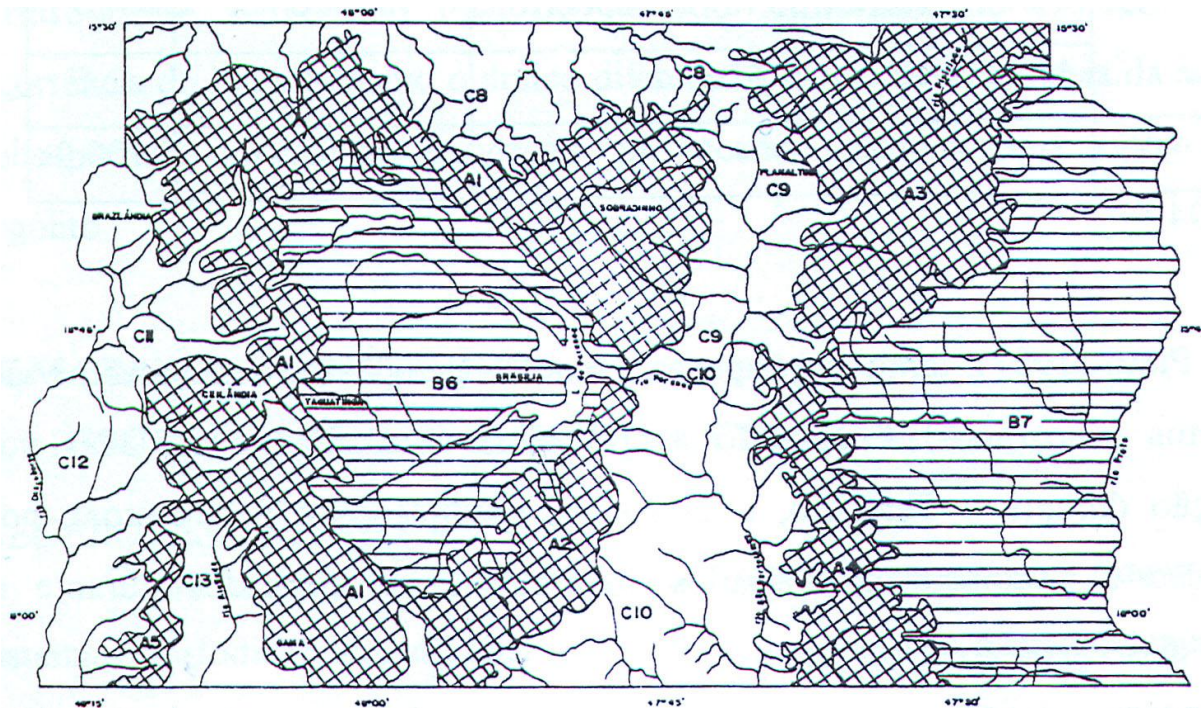


Figura 8 - Proposta de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal por NOVAES PINTO (1994). Porção com hachura quadriculada - Região de Chapada; porção em branco - Região Dissecada de Vale; porção com hachura horizontal - Área de Dissecação Intermediária.

Quadro 2 - Domínios e unidades geomorfológicas do Distrito Federal NOVAES PINTO, (1994)

Macrounidades	Unidades	Área(Km2)	%
Região de Chapada (A)	Chapada da Contagem (A1)	1.028	17,7
1.968 Km2	Chapada de Brasília (A2)	202	3,5
33,8%	Chapada do Pípiripau (A3)	445	7,7
	Chapada do divisor São Bartolomeu-Preto (A4)	188	3,2
	Chapada do divisor Descoberto-Alagado (A5)	105	1,8
Área de Dissecção Intermediária (B)	Depressão do Paranoá (B6)	726	12,5
1.793 Km2 - 30,9%	Vale do Rio Preto (B7)	1.067	18,4
	Do Curso Superior do Rio Maranhão (C8)	574	9,9
	Do Alto Curso do Rio São Bartolomeu (C9)	270	4,6
Região Dissecada de Vale (C)	Do Curso do Rio São Bartolomeu (C10)	608	10,5
2.053 Km2	Do Alto Curso do Rio Descoberto (C11)	237	4,1
35,5%	Do Curso Superior do Rio Descoberto (C12)	270	4,6
	Do Alto Curso do Rio Alagado (C13)	94	1,6
TOTAL		5.814	100,0

Região de Chapada - A macrounidade Região de Chapada ocupa 34% da área do Distrito Federal, sendo caracterizada por topografia plana a plana ondulada acima da cota 1000 metros, as coberturas são formadas principalmente por couraças

vesiculares/pisolíticas e latossolos. Área de Dissecação Intermediária - Ocupa 31% do Distrito Federal, corresponde às áreas fracamente dissecadas, apresentado em seu interflúvios lateritos, latossolos e colúvios/eluvios delgados com predominância de fragmentos de quartzo.

Região Dissecada de Vale - Compreende 35% do Distrito Federal, é representada pelas depressões ocupadas pelos rios da região.

MARTINS & BAPTISTA (1998) demonstrou que os processos de geração e degradação das couraças presentes nos rebordos das chapadas do Distrito Federal, são processos ativos ainda hoje, e estão associados com uma intensa latossolização da região, e cuja morfogênese resulta na denudação lenta e constante dos planaltos, provocando o rebaixamento progressivo de toda a região. Dessa forma, caracterizou a região do Distrito Federal como um planalto dissecado.

A melhor compartimentação geomorfológica para o Distrito Federal é a integração e adaptação das propostas de NOVAES PINTO (1994) e MARTINS & BAPTISTA (1998). Na proposta utilizada no ZEE-DF (2011) se considera os seguintes compartimentos: Plano Elevado, Plano Intermediário, Vale Dissecado, Rebordo e Rampa Íngreme.

As principais características de cada compartimento são:

- Plano Elevado, com padrão de relevo plano a suave ondulado, baixa densidade de drenagens, predominância de Latossolos, declividades inferiores a 10% e cotas superiores a 1.100m. A pedogênese supera a erosão e transporte no balanço morfodinâmico.

- Plano Intermediário exibe padrão de relevo plano a suave ondulado, baixa densidade de drenagem, ampla predominância de Latossolos, declividades inferiores 12% e cotas entre 950 e 1.050m. A pedogênese supera a erosão e transporte no balanço morfodinâmico.

- Vale Dissecado apresenta padrão de relevo ondulado a forte ondulado, elevada densidade de drenagem, ampla predominância de Cambissolos, declividades superiores a 20% e cotas inferiores a 800. A erosão supera a pedogênese na morfogênese.

- Rebordo mostra padrão de relevo ondulado, moderada densidade de drenagem, predominância de Cambissolos, declividades entre 10 e 20% e cotas entre 950 e 1.100m. A erosão supera a pedogênese no balanço morfodinâmico.

- Rampa Íngreme tem padrão de relevo forte ondulado a escarpado, alta densidade de drenagem, ampla predominância de Latossolos, declividades superiores a 25% e cotas entre 800 e 1.100m. A erosão e transporte superam fortemente a pedogênese no balanço morfodinâmico. A Figura 9 ilustra a geomorfologia do Distrito Federal

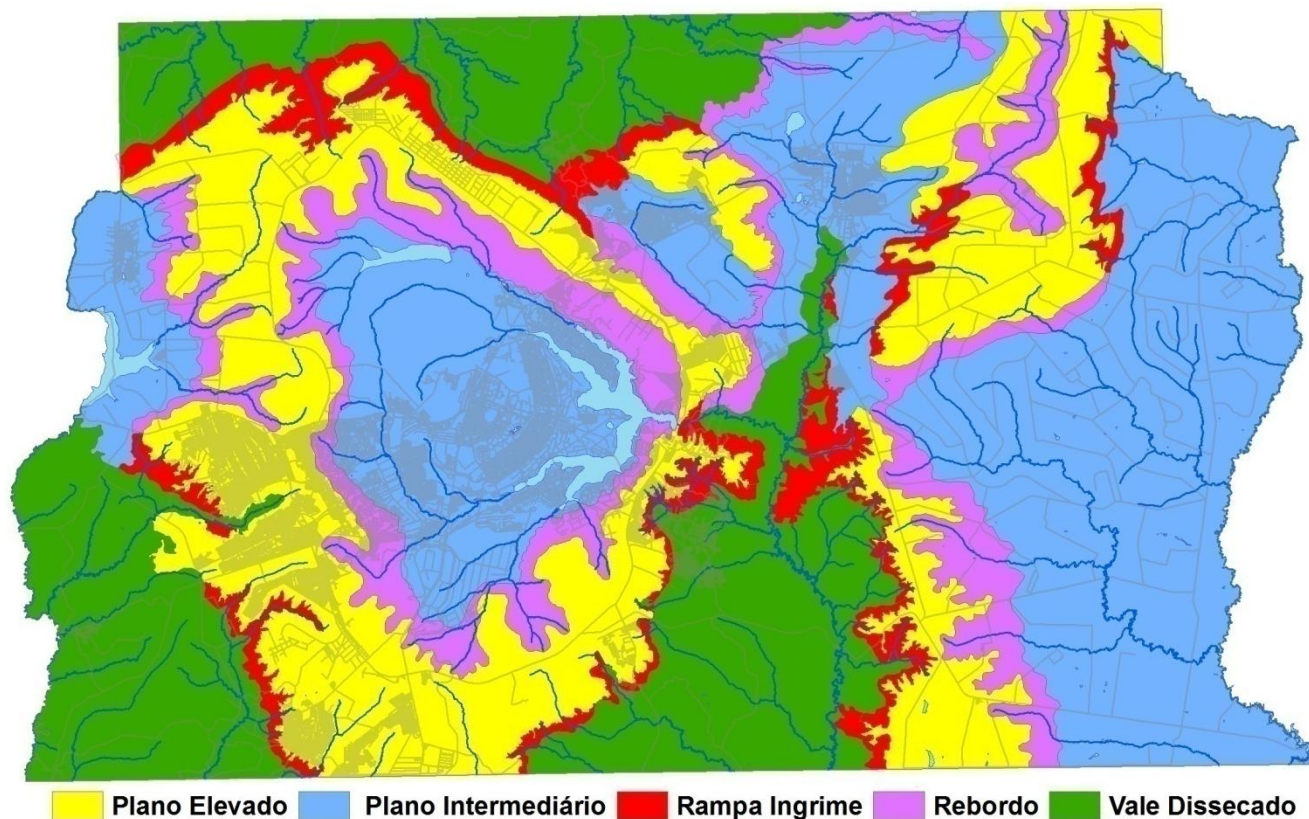


Figura 9 - Proposta de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal
Fonte: Adaptado de NOVAES PINTO (1994) e MARTINS & BAPTISTA (1998).

4.1.5 – SOLOS

Analisando o mapeamento de solos executado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solo (EMBRAPA, 1978), na escala 1:100.000, o Distrito Federal pode ter sua superfície territorial distinguida em dois núcleos em função dos tipos de coberturas. O primeiro é caracterizado pelo conjunto de tipos pedológicos mais abundantes, no qual a representatividade espacial se expressa em torno de 85% e é constituído pelas seguintes

classes de solos: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo HÁPLICO. Já o segundo grupo, o qual abrange aproximadamente 15%, refere-se aos demais tipos de solos identificados dentro dos limites do DF como classes de: Nitossolo, Chernossolo, Gleissolo, Organossolo, NeossoloQuartzarênico, NeossoloFlúvico e NeossoloLitólico, além de Plintossolo.

A Figura 10 mostra a cartografia das classes de solos existentes no Distrito Federal (Embrapa 1978) a partir do reagrupamento e atualização da nomenclatura conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). No reagrupamento foram enquadrados em uma única classe todos os latossolos vermelhos, os latossolos vermelho-amarelos e os cambissolos, independentemente de texturas, presença de pedregosidade ou fase vegetacional que os recobrem.

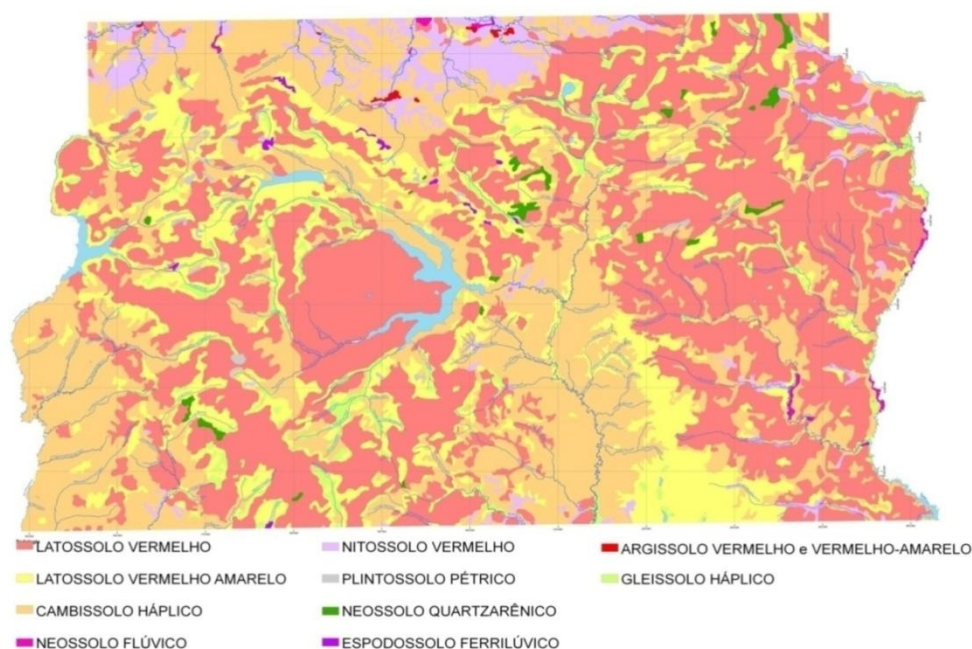


Figura 10 - Mapa pedológico do Distrito Federal

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1978), com atualização da nomenclatura das classes conforme EMBRAPA (2006).

A seguir é apresentada a descrição de cada tipo de solo de acordo com o mapeamento de solos da EMBRAPA (1978) adaptado para a nova nomenclatura da EMBRAPA (2006).

Latossolos:

Esses são solos submetidos a consideráveis processos de lixiviação de bases ao longo do seu perfil, resultando em um perfil pedológico no qual o material encontra-se altamente intemperizado, com alteração intensa dos silicatos e concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. No perfil de um latossolo, a transição entre os horizontes é gradual ou difusa e a textura exhibe-se de maneira uniforme, não havendo acúmulo de argila. Nessa classe, os solos apresentam elevada acidez, onde os ácidos orgânicos ocorrem como fração mais expressiva da porção húmica visto que esta é rapidamente decomposta e lixiviada o que impossibilita uma acumulação representativa. Quando a vegetação associada apresenta maior densidade foliar o latossolo exhibe-se menos distrófico ou com menor saturação de bases.

O horizonte B diagnóstico, latossólico, constitui-se com uma espessura mínima de 50 cm que apresenta, em geral, textura franco arenosa a argilosa, cerosidade pouca e fraca, baixa capacidade de troca de bases, grande estabilidade dos agregados, microestrutura ou blocos subangulares fracos a moderados e poucos minerais resistentes ao intemperismo.

No setor investigado são encontrados latossolos classificados nas seguintes subordens:

- Latossolo Vermelho
- Latossolo Vermelho-Amarelo

Latossolo Vermelho - De maneira geral, esses solos possuem grande ocorrência associada à vegetação de cerrado e/ou cerradão e topos das chapadas; relevos com superfícies planálticas, suave onduladas, em geral áreas de topografia favorável à mecanização e à urbanização. O material de origem desses solos é bastante variado, com arenitos até rochas pelíticas, desde que possuam teores razoáveis de ferro.

A remoção da maior parte da sílica que constitui o material originário torna o solo mais friável, menos plástico e significativamente permeável. Essa permeabilidade favorece a uma maior resistência natural aos processos erosivos, mas também ao avanço no estágio de intemperização. Normalmente, os Latossolos vermelhos exibem-se com perfis profundos, muito porosos e bastante permeáveis.

Quanto à condição natural, já são conhecidas as limitações agrícolas que exigem

correção de acidez, fertilização e controle da erosão; sendo esta última uma questão a requerer maior atenção na conservação em outros usos além do agropecuário. Essa baixa fertilidade e elevada acidez derivam da fraca capacidade de troca e da ação de bactérias que decompõem a matéria orgânica transformando-a em ácidos inertes. Também, apesar desse tipo de solo ser bastante permeável e encontrar-se situado em áreas morfodinamicamente mais estáveis, é necessário um manejo adequado à prevenção do risco erosivo.

Os solos com horizonte Bw mais comuns são Latossolos Vermelhos Distróficos, textura argilosa, fase cerrado, relevo plano a suave ondulado. Como pode ser caracterizado em campo o perfil tipo é constituído por uma sequência morfológica de horizontes com A moderado, B latossólico e C. Caracteriza-se por estar situado em relevo tipo plano a suave ondulado de região de chapada, em geral, com declividade menor que 5%, com associação vegetal de campo cerrado e condição erosiva praticamente nula.

Latossolo Vermelho-Amarelo - Essa classe de solo apresenta-se comumente nos divisores de água e em áreas de transição para rebordos de chapada, integrada com vegetação de cerrado sensu stricto, campo limpo e campo sujo; em superfícies planas e em vertentes com declividades entre 5 e 20%.

Na maior parte dos casos, situa-se adjacente à classe dos Latossolos Vermelhos. Alguns perfis do Latossolo Vermelho-Amarelo podem ocorrer mosqueados e plintitas a partir de 180 cm do perfil. Como são solos com características semelhantes as dos Latossolos Vermelhos, são diferenciados por apresentarem suprimento de óxidos de ferros menor do que o deste, acarretando colorações mais amareladas, drenagem moderada e boas condições de aeração.

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.

Cambissolo Háptico:

Essa é uma classe formada por solos pouco desenvolvidos, cuja pedogênese já alterou o material de origem, mas ainda encontram-se fragmentos de minerais primários e

materiais pedregosos e rochosos. Esses solos ocorrem principalmente nas vertentes e encostas com pendentes mais elevadas, sendo abundantes na unidade de Rebordo, em relevos que variam entre os compartimentos Escarpados e Planos Intermediários com altitudes entre 800 e 1.150 metros, além do compartimento de Vales Dissecados (NOVAES PINTO, 1994; MARTINS & BAPTISTA, 1998).

Também é comum a existência de grandes quantidades de cascalho e uma vegetação caracteristicamente associada de campo limpo. O alto teor de silte do horizonte A e a restrita profundidade do perfil fazem com que essa classe de solos tenha sua permeabilidade dificultada. A junção dessas características com as taxas elevadas de declividade nos locais onde esses solos ocorrem significam um sério empecilho à mecanização e os tornam mais susceptíveis à erosão. A migração de argila ao longo do perfil é inibida e o horizonte A passa a permanecer com os seus mais elevados teores. Já o horizonte B câmbico ou incipiente, apresenta-se com muitos fragmentos do material de origem, constituindo-se, em geral, de metarritmito e quartzito caracterizando-se comumente em distróficos e muito ácidos.

Nesses solos, o problema erosivo revela-se acentuado, pois a baixa permeabilidade agregada à ocorrência de chuvas torrenciais produz as enxurradas que favorecem a formação de sulcos. Devido a esse processo, a grande maioria dos pedólogos sugere que as áreas cobertas por cambissolos e neossoloslitólicos no cerrado devem ter como destinação prioritária a preservação natural.

Os cambissolos apresentam limitações para usos urbanos. Neste caso, essas terras devem ser destinadas preferencialmente para a 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.

As limitações são vinculadas à baixa permeabilidade e à resistência destas coberturas 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.

Neossolos:

Esses são discriminados por possuir um perfil pouco desenvolvido

pedogenicamente. Assim, quando o horizonte “B” ocorre, não coincide com nenhum diagnóstico, predominando as características do material de origem.

Os neossolos são classificados em Quartzarênicos, Flúvicos, Litólicos e Regolíticos, estando presentes no Distrito Federal os seguintes:

- Neossolo Quartzarênico
- Neossolo Flúvico

Neossolo Quartzarênico - Conhecidos como Areias Quartzosas, segundo a antiga classificação, no Distrito Federal os Neossolos Quartzarênicos possuem ocorrência intimamente relacionada ao ambiente de Rebordo de Chapada no Domínio do Cerrado, onde se exibem particularmente sobre os quartzitos do Grupo Paranoá e junto a encostas íngremes onde ocorrem afloramentos desta geologia.

Diferindo dos Neossolos Litólicos, Flúvicos e Regolíticos, os Neossolos Quartzarênicos são rotineiramente mais profundos, chegando a exibir perfis com profundidades superiores a dois metros. Por sua origem quatzítica, o mineral quartzo predomina na fração areia desses solos, ficando a concentração dos seus poucos nutrientes restrita à porção orgânica. Além da expressiva profundidade, normalmente esses solos apresentam-se com grãos simples, estrutura fraca; grande permeabilidade, condutividade hidráulica e suscetibilidade à erosão; acarretando sua caracterização como solos minerais, pouco desenvolvidos, profundos, excessivamente drenados e porosos.

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.

Neossolo Flúvico - Em geral, essa classe envolve os solos aluviais que ocorrem principalmente em regiões de relevo plano, associada à vegetação de matas galeria; ou ainda, a calhas de drenagem em áreas de topografia movimentada. Esses solos são pouco desenvolvidos e originados de sedimentos provenientes dos rios nos períodos das altas vazões, ou do arraste da bacia; estando geralmente associados às planícies das principais bacias hidrográficas da região.

Em seu perfil não há relação de pedogênese entre os horizontes ou camadas estratificadas. Em geral exibem um horizonte A assentado diretamente sobre o horizonte C, com diminuição do material orgânico em profundidade, suas propriedades gerais são textura entre areia e argila, estrutura fraca, fertilidade variada e horizonte C composto por estratos de deposição. Quando ocorrem nas cabeceiras tendem a apresentar textura mais grossa e maior quantidade de minerais primários em relação ao curso inferior dos rios. No Distrito Federal, o Neossolo Flúvico encontra-se associado à cobertura que ocorre distribuída ao longo das calhas da macrodrenagem.

A maior limitação destes solos é vinculada ao risco de inundações periódicas, uma vez que em grande parte estão situados nas planícies de inundação dos maiores cursos d'água. Localmente estes solos podem apresentar elevado conteúdo de argilas o que os torna muito plástico com risco a edificações eventualmente implantadas em seus domínios.

Gleissolo Háptico:

De forma geral, no Distrito Federal, apresentam-se como solos pouco desenvolvidos, variando de imperfeitamente a muito mal drenados. Podem ser encontrados em frações do terreno mais rebaixadas, constituindo pequenas depressões, adjacentes aos cursos d'água e nos rebordos de chapadas junto às nascentes.

Essa classe de solo apresenta elevados teores de material orgânico e desenvolve-se sobre sedimentos nos quais ocorrem encharcamentos prolongados, normalmente por elevação do nível freático de maneira que este se encontra próximo à superfície do terreno a maior parte do ano. Um bom indicador da possibilidade de ocorrência dessa ordem de solos consiste na presença de termiteiros com coloração acinzentada, pois, como são submetidos à saturação hídrica prolongada na presença de matéria orgânica, há considerável redução dos óxidos de ferro o que provoca o surgimento da tonalidade cinzenta e mosqueamento no horizonte.

No Distrito Federal a classe do Gleissolo Háptico (antigo Gley Pouco Húmico) predomina amplamente.

As limitações e a sensibilidade ambiental destes solos 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.

Plintossolo:

Esses solos ocorrem em localidades onde a oscilação do lençol freático associada à dificuldade de movimentação gravitativa da água propiciam a formação da plintita e o aparecimento de mosqueados. Constitui-se em um tipo de solo bastante desgastado, pouco profundo e pouco permeável.

A plintita é um material com altas concentrações de óxidos de ferro, provavelmente por mobilização ou transporte desses compostos, que foi submetido a ciclos de umedecimento e secagem.

Essa classe pedológica apresenta um horizonte plíntico com as seguintes possibilidades de ocorrência: nos primeiros 40 cm do perfil ou dentro dos 200 cm caso esteja sotoposto ao horizonte A ou E, podendo exibir um horizonte no qual houve a litificação da plintita denominado petroplíntico. De maneira geral, os plintossolos podem aparecer associados a relevo plano a suave ondulado, campos limpos e áreas com drenagem deficiente.

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.

Solos podzolizados:

Solos podzolizados são denominados no presente texto aqueles que apresentam algum gradiente textural em que argilas do horizonte superficial são translocadas para o horizonte B.

Na porção norte do Distrito Federal, no vale do rio Maranhão, ocorrem solos com gradiente textural onde parte da argila total presente no Horizonte A migra por translocação vertical para o horizonte B. Nesse contexto ocorrem manchas de nitossolos, argissolos e chernossolos.

Nitossolo Vermelho: são profundos e bem desenvolvidos. Apresentam horizonte B nítico e argila de baixa atividade. São, em geral, moderadamente ácidos, com saturação por bases variável, podendo inclusive ser eutróficos.

Argissolo Vermelho: são de profundidade variável, apresentam horizonte B textural e argila de atividade baixa. 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.

Chernossolo: são solos com alta saturação por bases, argila de atividade alta e horizonte A chernozêmico, no caso do Distrito Federal horizonte B textural.

Solos Não Cartografados:

Além das classes de solos anteriormente descritas, são apresentadas outras classes que ocorrem no Distrito Federal, contudo em pequenas áreas ou em associações que não permitem sua cartografia.

Organossolos:

Essa classe pedológica representa coberturas com perfis que possuem horizontes fundamentalmente orgânicos e espessos, sendo escuros, friáveis e frequentemente encharcados. Desenvolve-se a partir de matéria orgânica, que é depositada na superfície a uma taxa de acréscimo superior a da decomposição, são comumente, pouco evoluídos, ácidos e mal drenados; aparecendo em locais de relevo plano a deprimido, com vegetação de porte herbáceo e arbustivo.

Segundo a nova classificação e atendo-se ao setor de interesse, essa ordem pedológica passa a exibir localmente os atributos dos Organossolos Fólicos Hêmicos, pois revelam um material denominado orgânico-hêmico que se caracteriza por apresentar uma fase intermediária no processo de decomposição, não possuindo os requisitos para material fíbrico ou sáprico.

Neossolo Litólico:

Inclui os solos com seqüência de horizontes A-C ou A-R, isto é contato direto de um horizonte A (em geral fraco ou no máximo moderado) com a rocha ou seu saprolito. Nestes casos é comum a presença de pedregosidade e de rochosidade. Esta classe de solo ocorre em estreita relação com os cambissolos háplicos.

Ocorrem em relevo forte ondulado a escarpado e como a espessura do pedum é muito delgada apresenta limitação para os diversos tipos de usos, como agricultura e ocupação urbana.

Os solos apresentam naturalmente diferentes resistências aos processos erosivos e, portanto, suportam maior ou menor volume de perdas pelo carreamento e arraste durante os eventos de precipitação. Dentre os fatores que determinam a resistência dos solos aos processos erosivos destacam-se:

Textura - solos mais arenosos são mais sensíveis às perdas, pois não apresentam possibilidade de agregação;

Estrutura - quanto mais estruturado em agregados, maior a resistência natural dos solos. A estruturação granular é a que permite maior capacidade de infiltração, portanto maior resistência às perdas por laminares;

Presença de fase pedregosa - a pedregosidade e rochosidade funcionam como uma camada de proteção dos solos às perdas erosivas;

Espessura - quanto maior o desenvolvimento do pedum, maior sua disponibilidade para perdas nos casos de erosão do tipo 1 ou laminar;

Declividade do terreno - quanto maior a inclinação das superfícies maior o potencial de perdas e mais sensíveis se tornam os solos. Como é possível ocorrer mesma classe de solos em diferentes faixas de declividade, por exemplo, latossolos entre 1 e 10% de declividade e cambissolos entre 20 e 40% de declive, fica claro que solos de mesma classe podem apresentar diferentes sensibilidades em função de sua área de ocorrência;

Permeabilidade - a facilidade de percolação da água no perfil de solo também determina sua resistência, à medida que se diminui o escoamento superficial. Dessa forma a energia de arraste das partículas e o próprio meio de transporte são diminuídos.

No Distrito Federal pode-se afirmar que as classes de solos mais abundantes apresentam diferentes sensibilidades à erosão e diferentes classes de tolerância às perdas por erosão (ZEE-DF, 2011).

A tolerância dos solos à erosão (T) é definida como a taxa que um solo pode ser erodido sem sofrer degradação permanente (WISCHMEIER, 1976). Ao contrário do

potencial de perda de solo, quanto maior a tolerância do solo, menor sua vulnerabilidade à erosão, e vice-versa. De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1991), as tolerâncias à erosão para os principais solos do DF são apresentadas na Figura 11.

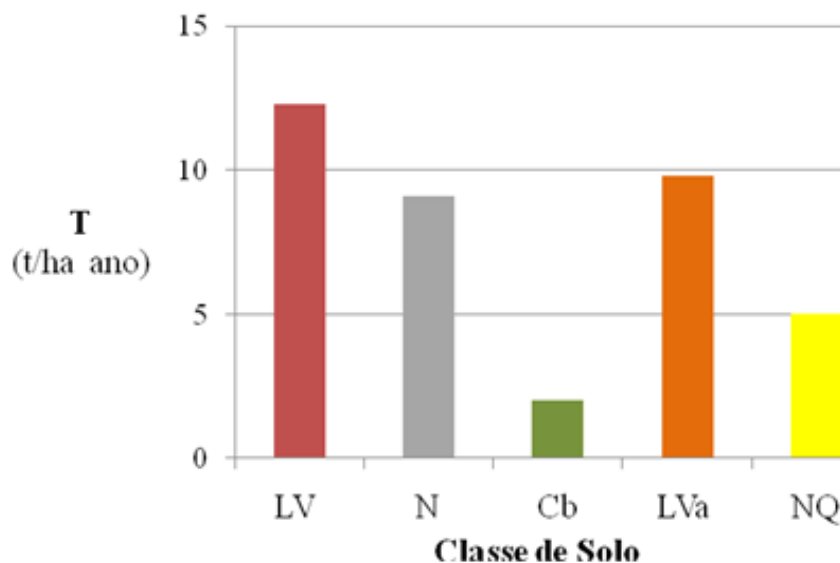


Figura 11 - Tolerância à erosão das principais classes de solo do DF (LV - latossolo vermelho, N - nitossolo, Cb - Cambissolo, LVa - latossolo vermelho-amarelo, NQ - neossoloquartzarênico).

A tolerância à erosão leva em consideração os seguintes aspectos: espessura, textura e estrutura. A espessura é um dos principais parâmetros, pois determina o quanto pode ser perdido sem causar efeitos críticos. Dessa forma, quanto maior a espessura maior a tolerância, uma vez que há maior volume de matéria que pode ser removido sem, por exemplo, causar a exposição do seprolito. Os aspectos texturais e estruturais também afetam a tolerância, mas de forma menos significativa. Quanto maior a estruturação, maior a tolerância, pois a agregação resulta na maior resistência do solo à remoção.

Os latossolos, independentemente da classe no segundo e terceiro níveis categóricos, apresentam a maior tolerância e maior resistência à erosão. Quando submetidos a fluxo de escoamento concentrado, gerando erosões do tipo 2, o quadro se modifica.

Os cambissolos apresentam comportamento distinto em função da presença ou não de pedregosidade nos horizontes superficiais. Como são solos rasos com saprolito presente a pequena profundidade, o material parental também é um fator determinante da tolerância

natural deste solo às perdas. No Distrito Federal, os cambissolos associados ao Grupo Araxá apresentam de forma comum pedregosidade representada pela acumulação de boudins de quartzo presentes ao longo da foliação da rocha. Já os cambissolos associados aos filitos do Grupo Canastra e os siltitos do Grupo Bambuí não apresentam esta fase, o que os tornam mais sensíveis. Esta feição explica o fato de serem observados mais processos erosivos em cambissolos das porções central e leste do Distrito Federal.

Os plintossolospétricos são os tipos de coberturas que apresentam maior resistência natural às perdas, tanto que são comumente utilizados para revestimento de estradas. Essa característica é explicada pela pedregosidade comum desses solos e por sua capacidade de agregação por processos químicos.

Os solos formados por processos que resultam em gradiente textural apresentam resistência natural elevada, uma vez que tais coberturas são muito estruturadas. Contudo, o fato de ocorrerem em áreas com declividades moderadas, eleva sua sensibilidade às perdas por erosão. O fato de apresentarem menor espessura, comparado aos latossolos indica que tais solos têm uma menor tolerância a perdas.

O Quadro 3 mostra a classificação proposta para a representação da sensibilidade natural dos solos existentes no DF à erosão (índice de tolerância à perda de solos) considerando uma escala de 1 (menor sensibilidade) a 5 (maior sensibilidade) (ZEE-DF, 2011).

Quadro 3 - Classificação da sensibilidade natural dos solos a perdas por erosão.

SENSIBILIDADE DOS SOLOS A PERDAS POR EROSÃO		
TIPOS DE SOLOS	Textura	Índice
Latossolo Vermelho	Argilosa	2
Vermelho-amarelo	Argilosa, arenosa com ou sem fase pedregosa em profundidade	2
Cambissolo	Argiloso Cascalhento	5
Gleissolo	Muito argilosa	1
Argissolo Vermelho e Vermelho-Amarelo	Argilosa	3
Nitossolo Vermelho	Média	3
Neossolo Quartzarênico	Arenosa	4
Espodossolo	Arenosa	4
Neossolo Flúvico	Variável	2
Plintossolo	Cascalhenta	1
Chernossolo	Muito argilosa	3

4.1.6 – VEGETAÇÃO

O Distrito Federal está localizado integralmente no domínio do bioma Cerrado, considerado o segundo maior bioma do País em área, e um dos 34 *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000), ocupando, aproximadamente, 2.000.000 km², o que representa 23% do território nacional. A Figura 12 mostra a distribuição dos biomas brasileiros no território nacional.

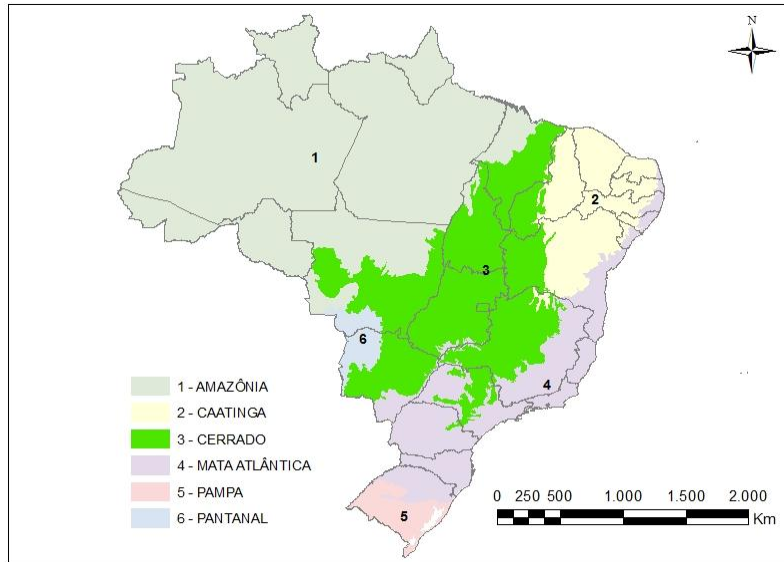


Figura 12 – Distribuição dos Biomas Brasileiros.

Fonte: MMA (2011)

O Cerrado enquadra-se na categoria de savana, entre os grandes biomas do mundo, e está localizado no Planalto Central do Brasil, formando uma grande mancha contínua, servindo como divisor de águas para quase todas as bacias hidrográficas do Brasil, tais como: Amazonas, Tocantins, Paraná, Paraguai, São Francisco e Parnaíba, desempenhando, com isso, importante papel no processo de distribuição dos recursos hídricos do País (WERNEC LIMA & SILVA, 2008) e em áreas disjuntas dentro de outros biomas brasileiros.

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais representam as áreas com predominância de espécies arbóreas, onde ocorre a formação de dossel, contínuo ou descontínuo. As formações savânicas, por sua vez, correspondem às localidades onde ocorrem árvores e arbustos espalhados sobre um estrato de gramíneas, sem que haja a formação de um dossel contínuo. Já as formações campestres compreendem as áreas onde ocorre o predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas (ZEE-DF, 2011).

Neste trabalho, será utilizado o sistema de classificação proposto pelos pesquisadores RIBEIRO *et al.* (2008) para as fitofisionomias do bioma. Segundo RIBEIRO *et al.* (2008), os critérios para discriminar a vegetação do Cerrado foram fundamentados,

primeiramente, na fitofisionomia, ou seja, na forma, definida pela estrutura, pelas formas de crescimento dominantes e por possíveis mudanças estacionais. Posteriormente, foram considerados os aspectos do ambiente, como os fatores edáficos e a composição florística. Nos casos em que os tipos fitofisionômicos possuem subtipos, o ambiente e a composição florística, nesta ordem, foram os critérios da divisão definidos por eles. Com isso, foram descritos onze tipos fitofisionômicos para o Cerrado. Enquadradas em formações florestais estão as fitofisionomias: 1) Matas Ciliares; 2) Mata de Galeria; 3) Mata Seca; 4) Cerradão. As formações savânicas são: 5) Cerrado sentido restrito; 6) Parque Cerrado; 7) Palmeiral e 8) Vereda. Já as formações campestres são: 9) Campo sujo, 10) Campo limpo e 11) Campo Rupestre.

Destaca-se que no Distrito Federal ocorrem todas as fitofisionomias descritas por RIBEIRO *et al.* (2008), todavia as formações rupestres (campo e cerrado), a mata seca, o parque de cerrado e as veredas podem ser consideradas mais raras e apresentam ocorrências pontuais dentro do território. A Figura 13 apresenta um perfil das diferentes fitofisionomias existentes no bioma Cerrado apresentadas dentro de um gradiente de biomassa.

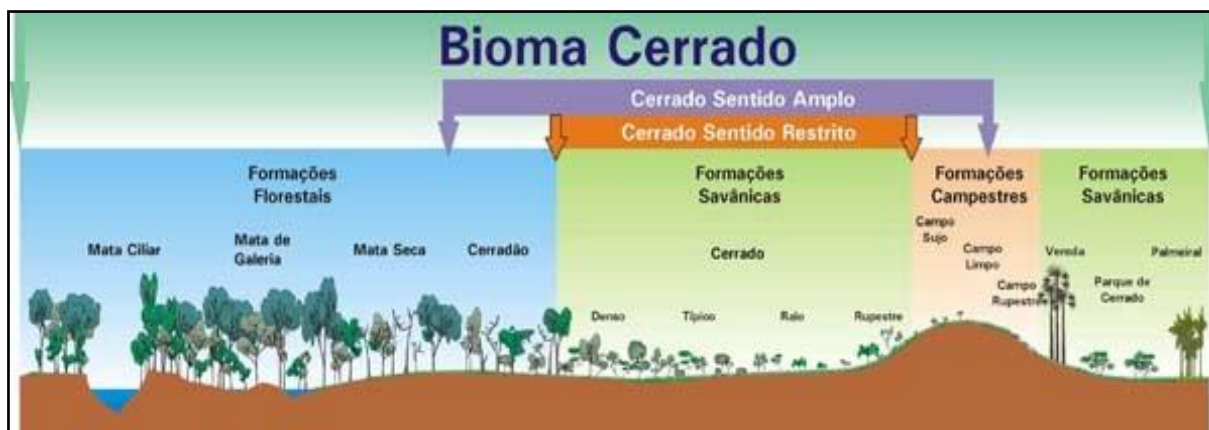


Figura 13 – Representação das principais fitofisionomias do bioma Cerrado.
Fonte: RIBEIRO *et al.*(2008)

Abaixo são descritas detalhadamente as principais fitofisionomias do bioma cerrado segundo RIBEIRO *et al.*(2008).

Formações Florestais:

Mata Ciliar: É uma formação que acompanha os rios de médio e grande porte da região do Cerrado, em que a vegetação arbórea não forma galerias. Em geral, essa Mata é

relativamente estreita, dificilmente ultrapassando 100m de largura em cada margem. É comum a largura em cada margem ser proporcional à do leito do rio, embora, em áreas planas, a largura possa ser maior. Porém, a Mata Ciliar ocorre geralmente sobre terrenos acidentados, podendo haver uma transição nem sempre evidente para outras fisionomias florestais, como a Mata Seca e o Cerradão. Diferencia-se da Mata de Galeria pela composição florística e por apresentar diferentes graus de caducifólia, já que a Mata de Galeria é perenifólia. Floristicamente é mais similar à Mata Seca, diferenciando-se desta pela associação ao curso de água e pela estrutura, que em geral é mais densa e mais alta, com elementos florísticos específicos no trecho de contato com o leito do rio.

No estrato arbóreo, prevalecem plantas predominantemente eretas, com alturas variando entre 20 e 25m, com indivíduos emergentes alcançando 30m ou mais. As espécies típicas são predominantemente caducas, com algumas sempre-verdes, conferindo à Mata Ciliar um aspecto semidecíduo. Na estação chuvosa, a cobertura chega a 90%, dificilmente ultrapassando este valor, ao passo que, na estação seca, pode até mesmo ser inferior a 50% em alguns trechos.

Mata de Galeria: É um tipo de vegetação florestal perenifólia que acompanha os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água. Geralmente, localiza-se nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem, onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo. Quase sempre é circundada por faixas de vegetação não florestal em ambas as margens, e em geral ocorre uma transição brusca com formações savânicas e campestres. A transição é quase imperceptível quando ocorre com Matas Ciliares, Matas Secas ou mesmo com Cerradões, o que é mais raro, embora, pela composição florística, seja possível diferenciá-las.

A altura média do estrato arbóreo varia entre 20 e 30m, apresentando uma superposição das copas, que fornecem cobertura arbórea de 70 a 95%. No seu interior, a umidade relativa é alta mesmo na época mais seca do ano. A presença de árvores com pequenas sapopemas ou saliências nas raízes é frequente, principalmente nos locais mais úmidos. É comum haver grande número de espécies epífitas, principalmente orquídeas, em quantidade superior à que ocorre nas demais formações florestais do Cerrado.

Os solos são geralmente Cambissolos, Plintossolos, Argissolos, Gleissolos ou Neossolos, podendo mesmo ocorrer Latossolos semelhantes aos das áreas de Cerrado sentido amplo adjacentes. Neste último caso, devido à posição topográfica, os Latossolos apresentam maior fertilidade, em decorrência do carreamento de material das áreas adjacentes e da matéria orgânica oriunda da própria vegetação. Não obstante essas condições apresentadas, os solos da Mata podem apresentar acidez maior que a encontrada naquelas áreas.

De acordo com características ambientais, como a topografia e variações na altura do lençol freático ao longo do ano, com consequências na florística, a Mata de Galeria pode ser separada em dois subtipos: Mata de Galeria não Inundável e Mata de Galeria Inundável. É situação comum que uma Mata apresente não somente um desses padrões ao longo de todo o curso d'água, de modo que são encontrados trechos inundáveis em uma Mata que, no geral, se classifica como não Inundável e vice-versa.

Mata Seca: Sob a designação Mata Seca, estão incluídas no bioma Cerrado as formações florestais que não possuem associação com cursos de água, caracterizadas por diversos níveis de queda das folhas durante a estação seca. A vegetação ocorre nos níveis de relevos, que separam os fundos de vales (interflúvios), em locais geralmente mais ricos em nutrientes. A Mata Seca é dependente das condições químicas e físicas do solo mesotrófico, principalmente da profundidade. Em função do tipo de solo, da composição florística e em consequência da queda de folhas no período seco, a Mata Seca pode ocorrer como Mata Seca Sempre-Verde, Mata Seca Semidecídua – a mais comum – e Mata Seca Decídua. Em todos esses subtipos, a queda de folhas contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, mesmo na Mata Seca Sempre-Verde.

A Mata Seca pode ser encontrada em solos desenvolvidos, em rochas básicas de alta fertilidade (Terra Roxa Estruturada, Brunizém ou Cambissolos), em Latossolos Roxo e Vermelho-Escuro, de média fertilidade, nos quais ocorrem, principalmente, as Matas Secas Sempre-Verde e Semidecídua. Sobre solos de origem calcária, frequentemente em afloramentos rochosos típicos, ocorre a Mata Seca Decídua, que também pode ocorrer em solos de outras origens.

A altura média da camada de árvores (estrato arbóreo) varia entre 15 e 25m. A grande maioria das árvores é ereta, com alguns indivíduos emergentes. Na época chuvosa, as copas se tocam, fornecendo uma cobertura arbórea de 70 a 95%. Na época seca, a cobertura pode ser inferior a 50%, especialmente na Mata Decídua, que atinge porcentagens inferiores a 35%, devido ao predomínio de espécies caducifólias. O dossel fechado na época chuvosa desfavorece a presença de muitas plantas arbustivas, enquanto a diminuição da cobertura na época seca não possibilita a presença de muitas espécies epífitas. Estas ocorrem em menor quantidade de espécies e de indivíduos do que nas Matas de Galeria e Ciliares.

A Mata Seca Decídua pode se apresentar com um aspecto singular (estrutura e ambiente) quando ocupa áreas rochosas de origem calcária, situação em que também é conhecida por Mata Calcária ou Mata Seca, em solo calcário. Tais áreas, em geral, são muito acidentadas, em função dos afloramentos calcários, e possuem composição florística diferenciada dos demais tipos de Mata Seca, mesmo as Decíduas sobre outros solos mesotróficos. As copas não se tocam necessariamente (o dossel pode ser descontínuo), fornecendo uma cobertura arbórea de 60 a 90% na estação chuvosa, que cai para 35% até 15% na estação seca.

Cerradão: É uma formação florestal do bioma Cerrado com características esclerófilas (grande ocorrência de órgãos vegetais rijos, principalmente folhas) e xeromórficas (com características como folhas reduzidas, suculência, pilosidade densa ou com cutícula grossa que permitem conservar água e, portanto, suportar condições de seca). Caracteriza-se pela presença preferencial de espécies que ocorrem no Cerrado sentido restrito e, também, por espécies de florestas, particularmente as da Mata Seca Semidecídua e da Mata de Galeria não Inundável. Do ponto de vista fisionômico, é uma floresta, mas, floristicamente, se assemelha mais ao Cerrado sentido restrito.

O Cerradão apresenta dossel contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar entre 50 e 90%, sendo maior na estação chuvosa e menor na seca. A altura média da camada de árvores varia de 8 a 15m, proporcionando condições de luminosidade que favorecem a formação de camadas de arbustivas e herbáceas diferenciadas. Embora possa manter um volume constante de folhas nas árvores, o padrão geral é de perda parcial desse volume,

isto é, semidecíduo, sendo que muitas espécies comuns ao Cerrado sentido restrito, apresentam queda das folhas em determinados períodos na estação seca. Esses períodos nem sempre são coincidentes com aqueles das populações do Cerrado ou da Mata. A presença de espécies epífitas é reduzida, restringindo-se a algumas bromeliáceas e plantas como o cactos.

Em sua maioria, os solos de Cerradão são profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes Latossolo Vermelho ou Latossolo Vermelho Amarelo. Também pode ocorrer, em proporção menor, o Cambissolo Distrófico. O teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais é médio e recebe um incremento anual de resíduos orgânicos provenientes da deposição de folhas durante a estação seca.

De acordo com a fertilidade do solo, o Cerradão pode ser classificado como Cerradão Distrófico (solos pobres) ou Cerradão Mesotrófico (solos mais ricos, ainda que de fertilidade mediana), cada qual possuindo espécies características adaptadas a esses ambientes.

Formações Savânicas:

Cerrado sentido restrito: Caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e, geralmente, com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após queima ou corte. Na época chuvosa, as camadas subarbusativa e herbácea tornam-se exuberantes, devido ao seu rápido crescimento.

Os troncos das plantas lenhosas, em geral, possuem cascas com cortiça espessa, fendida ou sulcada, e as gemas apicais (responsáveis pelo crescimento dos vegetais) de muitas espécies são protegidas por densa quantidade de pelos. As folhas em geral são rígidas e com consistência de couro. Esses caracteres indicam adaptação a condições de seca (xeromorfismo). Todavia, é bem relatado na literatura que as árvores não sofrem restrição de água durante a estação seca, pelo menos aquelas espécies que possuem raízes profundas.

Devido à complexidade dos fatores condicionantes (clima, fertilidade do solo, quantidade de chuvas, etc.), originam-se subdivisões fisionômicas do Cerrado sentido restrito, sendo as principais o Cerrado Denso, o Cerrado Típico, o Cerrado Ralo e o Cerrado Rupestre. As três primeiras refletem variações na forma dos agrupamentos e no espaçamento entre as árvores. A gradação da densidade das árvores é decrescente do Cerrado Denso ao Cerrado Ralo. A composição da flora inclui as espécies listadas acima. Já o Cerrado Rupestre diferencia-se dos demais subtipos por ocorrer, preferencialmente, em solos rasos, com a presença de afloramentos de rocha, e por apresentar algumas espécies indicadoras, adaptadas a esse ambiente.

Parque de Cerrado: Formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, algumas vezes imperceptíveis e, em outras, com muito destaque, que são conhecidas como murundus ou monchões. As árvores, nos locais onde se concentram, possuem altura média de 3 a 6m. Considerando um trecho com os agrupamentos arbóreos e as depressões ou planos campestres entre eles, forma-se uma cobertura arbórea de 5% a 20%. Se forem considerados somente os agrupamentos arbóreos, a cobertura sobe para 50% a 70% e cai, praticamente para 0%, nas depressões. Os solos são Gleissolos (solos argilosos) e melhor drenados nos murundus do que nas depressões adjacentes.

Os murundus são elevações convexas características, que variam em média de 0,1 a 1,5m de altura e 0,2 a mais de 20m de diâmetro. A origem desses microrrelevos é bastante controvertida e as hipóteses mais debatidas os apontam como cupinzeiros, ativos ou inativos, ou resultantes de erosão diferencial.

A flora que ocorre nos murundus é similar à que ocorre no Cerrado sentido restrito, porém, com espécies que provavelmente apresentam maior tolerância à saturação hídrica do perfil do solo, considerando que apenas uma parte do volume de terra do murundu permanece livre de possíveis inundações, ou da constante má drenagem nas depressões.

Palmeiral: A formação savânica caracterizada pela presença marcante de uma única espécie de palmeira arbórea é denominada Palmeiral. Neste tipo de formação vegetal, praticamente não há destaque das árvores dicotiledôneas, embora essas possam ocorrer com baixa frequência.

No bioma Cerrado, podem ser encontrados pelo menos quatro subtipos mais comuns de palmeirais, que variam em estrutura, de acordo com a espécie dominante. Pelo domínio de determinada palmeira, o trecho de vegetação pode ser designado pelo nome comum da espécie. Em geral, os Palmeirais do Cerrado são encontrados em terrenos bem drenados, embora um dos subtipos (Buritizal) ocorra em terrenos mal drenados, onde pode haver a formação de galerias acompanhando as linhas de drenagem, em uma típica estrutura de floresta.

Palmeirais em solos bem drenados, geralmente, são encontrados nos níveis de relevos que separam os fundos dos vales (interflúvios), e a espécie dominante pertence aos gêneros *Acrocomia*, *Attalea* e *Syagrus*. Na região nuclear do Cerrado (área contínua de ocorrência do bioma, ou área core), as Palmeiras ocorrem em áreas localizadas, embora localmente possam ocupar trechos consideráveis do terreno. Quando o dossel é tipicamente descontínuo ou quando não há formação de dossel, os palmeirais comumente são formados pelas espécies *Acrocomia aculeata*, a macaúba, que caracteriza o Macaubal; e *Syagrus oleracea*, a gueroba ou guariroba, que caracteriza o Guerobal. Se a espécie dominante for *Attalea speciosa* (babaçu), fica caracterizado o Babaçual, que pode formar um dossel mais contínuo do que nos casos anteriores.

A presença do babaçu parece associar-se fortemente a áreas perturbadas pelo homem (ditas antropizadas), onde se colonizam, agressivamente, antigas formações florestais desmatadas. A espécie resiste a fogo moderado, que faz sucumbir outras espécies arbóreas. No Centro-Oeste, o babaçu não chega a ocupar grandes áreas, como se verifica em largos trechos do Maranhão, embora sua presença seja marcante onde ocorre.

O Babaçual caracteriza-se por altura média de 8 a 15m e uma cobertura variável de 30% a 60%. Apesar de ser típico dos interflúvios, também pode ocupar faixas ao longo dos rios de maior porte da região, chegando a compor a vegetação ciliar (tipo de vegetação associada às margens de rios, córregos e solos saturados que não forma uma galeria). Entretanto, isto ocorre apenas nos trechos onde o solo é bem drenado, e não sujeito a inundações periódicas.

O Buritizal é um tipo de vegetação sem a formação de dossel descontínuo e sem uma vegetação arbustivo-herbácea associada. O dossel do Buritizal possui altura variável

de 12 a 20m e forma uma cobertura quase homogênea ao longo do ano, variável de 40% a 70%. Muitas vezes, o Buritizal tem sido referido como Vereda, uma formação vegetal em que há, necessariamente, uma camada arbustivo-herbácea acompanhando o buriti, sem a formação de uma cobertura contínua (dossel) e sem um trecho de campo associado.

Reafirma-se que, em sentido puramente fisionômico, alguns trechos com Buritizal devem ser considerados formações florestais, o que também vale para determinados trechos com outras espécies de palmeiras arbóreas. Para que os Palmeirais sejam considerados formações florestais, é necessário que haja uma cobertura de 60% a 80%, formando dossel contínuo. Eventualmente, o Buritizal forma galerias, mas não pode ser confundido com uma Mata de Galeria Inundável, pois a Mata é composta de inúmeras espécies, sem a dominância marcante do buriti.

Vereda: A Vereda é um tipo de vegetação com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* (Buriti) emergente, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas. As Veredas são circundadas por campos típicos, geralmente úmidos, e os buritis não formam dossel, como ocorre no Buritizal. A literatura indica três zonas ligadas à topografia e à drenagem do solo: ‘borda’ (local de solo mais seco, em trecho campestre onde podem ocorrer arvoretas isoladas); ‘meio’ (solo medianamente úmido, tipicamente campestre); e ‘fundo’ (solo saturado com água, brejoso, onde ocorrem os buritis, muitos arbustos e arvoretas adensadas). Estas zonas têm flora diferenciada. As duas primeiras zonas correspondem à faixa tipicamente campestre e o ‘fundo’ corresponde ao bosque sempre-verde, assim caracterizado pela literatura. Em conjunto, essas zonas definem uma Savana.

Na Vereda, os buritis adultos possuem altura média de 12 a 15m, e a cobertura varia de 5% a 10%. Assim como no Parque de Cerrado, esta cobertura se refere a um trecho com as três zonas da Vereda. Se considerados somente a ‘borda’ e o ‘meio’, a cobertura arbórea pode ser próxima de 0%. Se considerado o ‘fundo’, a cobertura sobe para porcentagens acima de 50% em alguns trechos, com uma vegetação densa de arbustos e arvoretas, efetivamente impenetrável em muitos locais.

As Veredas ocorrem em solos argilosos e mal drenados, com alto índice de saturação durante a maior parte do ano. Geralmente, ocupam os vales pouco íngremes ou

áreas planas, acompanhando linhas de drenagem mal definidas, quase sempre sem murundus. Também são comuns numa posição intermediária do terreno, próximas às nascentes (olhos d'água), ou nas bordas das cabeceiras de Matas de Galeria.

A ocorrência da Vereda condiciona-se ao afloramento do reservatório subterrâneo de água (lençol freático), decorrente de camadas de permeabilidade diferentes em áreas de deposição de sedimentos do período Cretáceo (período geológico que se estendeu entre 141 milhões e 65 milhões de anos antes do período presente) e Triássico (período que está compreendido entre 251 milhões e 199 milhões e 600 mil anos atrás, aproximadamente). As Veredas exercem papel fundamental na distribuição dos rios e seus afluentes, na manutenção da fauna do Cerrado, funcionando como local de pouso para a fauna de aves, atuando como refúgio, abrigo, fonte de alimento e local de reprodução para a fauna terrestre e aquática. Apesar desta importância, as Veredas têm sido progressivamente pressionadas em várias localidades do bioma Cerrado, devido às ações agrícolas e pastoris. Além disso, têm sido descaracterizadas pela construção de pequenas barragens e açudes, por estradas, pela agricultura, pela pecuária e até mesmo por queimadas excessivas. O simples pisoteio do gado pode causar processos erosivos e compactação do solo que afetam a taxa de infiltração de água que vai alimentar os reservatórios subterrâneos.

Formações Campestres:

Campo Sujo: É um tipo fisionômico exclusivamente arbustivo-herbáceo, com arbustos e subarbustos esparsos, cujas plantas são menos desenvolvidas do que as árvores do Cerrado sentido restrito.

Este tipo de vegetação é encontrado em solos rasos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão (sem caracterizar um Campo Rupestre), ou, ainda, em solos profundos e de baixa fertilidade (álícos ou distróficos).

Em função de particularidades ambientais, o Campo Sujo pode apresentar três subtipos fisionômicos distintos. Na presença de um reservatório subterrâneo de água (lençol freático) profundo, ocorre o Campo Sujo Seco. Se o lençol freático é alto, próximo à superfície do solo, há o Campo Sujo Úmido. Quando, na área, ocorrem microrrelevos mais elevados (murundus), tem-se o Campo Sujo com Murundus.

A composição da flora e a importância das populações das espécies nos três subtipos de Campo Sujo podem diferir, se o solo for bem drenado (Campo Sujo Seco) ou mal drenado (Campo Sujo Úmido ou com Murundus). Mas, ainda assim, as espécies características pertencem aos gêneros listados acima.

Campo Rupestre: Vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com a presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas de até dois metros de altura. Abrange um complexo de vegetação que agrupa paisagens em microrrelevos com espécies típicas, ocupando trechos de afloramentos rochosos. Geralmente, ocorre em altitudes superiores a 900m; ocasionalmente, a partir de 700m, em áreas onde há ventos constantes e variações extremas de temperatura, com dias quentes e noites frias.

Este tipo de vegetação ocorre, em solos ácidos, pobres em nutrientes ou nas frestas dos afloramentos rochosos. Na Chapada Diamantina, por exemplo, estes solos são originados da decomposição dos minerais quartzito, arenito ou itacolomito, cujo material decomposto permanece nas frestas dos afloramentos rochosos, ou pode ser carregado para locais mais baixos ou, então, forma depósitos de areia quando o relevo permite. Em Catolés, nesta mesma Chapada, esse tipo de vegetação se restringe aos substratos arenosos ou pedregosos com afloramentos rochosos. Em geral, a disponibilidade de água no solo é restrita, pois as águas pluviais escoam rapidamente para os rios, devido à pouca profundidade e reduzida capacidade de retenção do solo.

A composição da flora em áreas de Campo Rupestre pode variar muito em poucos metros de distância, e a densidade das espécies depende de alguns fatores como o substrato, profundidade e fertilidade do solo, disponibilidade de água, posição topográfica, etc. Nos afloramentos rochosos, por exemplo, as árvores concentram-se nas fendas das rochas, onde a densidade pode ser muito variável. Há locais em que os arbustos praticamente dominam a paisagem, enquanto, em outros, a flora herbácea predomina. Também são comuns agrupamentos de uma única espécie, cuja presença é condicionada, entre outros fatores, pela umidade disponível no solo. Algumas espécies podem crescer diretamente sobre as rochas (rupícolas), sem que haja solo, como ocorre com algumas Aráceas e Orquidáceas.

Pela dependência das condições restritivas do solo e do clima peculiar, a flora é típica, contendo muitos endemismos e plantas raras. Entre as espécies comuns, há inúmeras

características xeromórficas, tais como folhas pequenas, espessadas e coriáceas, além de folhas com disposição oposta cruzada, determinando uma coluna quadrangular escamosa.

Campo Limpo: Vegetação predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Pode ser encontrado em diversas posições topográficas, com diferentes variações no grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Entretanto, é encontrado com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d'água, circundando as Veredas e na borda das Matas de Galeria. Pode ocorrer em solos com características variadas de coloração (desde amarelo claro, avermelhado, ao vermelho-escuro), textura (de arenoso a argilosos, ou muito argiloso e bem drenado) e graus variados de permeabilidade (penetração da água), tais como: NeossolosLitólicos, Cambissolos ou em PlintossolosPétricos. Quando ocorre em áreas planas, relativamente extensas, contíguas aos rios e inundadas periodicamente, também é chamado de Campo de Várzea, Várzea ou Brejo, sendo os solos sujeitos a inundações com extensa camada de matéria orgânica mal decomposta, sobre uma cama acinzentada (gleizada), tais como: Gleissolos, NeossolosFlúvicos, Plintossolos ou Organossolos.

O Campo Limpo, assim como o Campo Sujo, também apresenta variações dependentes de particularidades ambientais, determinadas pela umidade do solo e topografia. Na presença de um reservatório subterrâneo de água (lençol freático) profundo, ocorre o Campo Limpo Seco, mas, se o lençol freático é alto, há o Campo Limpo Úmido, cada qual com sua flora específica. Quando aparecem os murundus (microrrelevos), tem-se o Campo *Limpocom Murundus*. O Campo Limpo com Murundus é menos frequente que o Campo Sujo com Murundus.

4.1.7 – USO DO SOLO

O uso do solo foi mapeado na escala de 1:100.000, a partir da interpretação de imagens do satélite ALOS, para subsidiar os trabalhos do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF). Neste trabalho foi necessário o agrupamento das classes, de uso do solo e da vegetação visando a diminuição da quantidade de classes para a análise, o agrupamento das classes pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4 – Agrupamento das classes de uso do solo e vegetação

Uso do Solo (*)	Subclasse
Agricultura	Agricultura intensiva
	Agricultura intensiva - Pivô-de-irrigação
	Chacararas de uso misto
	Hortifruticultura
	Uso Rural diversificado
Área degradada	Área degradada: mineração abandonada e erosões
	Solo exposto
Área Urbana e Urbanizada	Aglomerado Agro-Urbano
	Área Urbana e Urbanizada
	Área Urbana e com Influência Urbana
	Cemitério
	Edificações
	Lagoas de Estabilização
	Parcelamento Urbano
	Urbano com esgoto
Área verde intra urbana	Área verde intra urbana
Áreas úmidas	Áreas úmidas: Parque Cerrado (ou Murundum), Palmeirais e Veredas
Formação Campestre	Campo Limpo
	Campo Sujo
	Espécies Invasoras: Plantas Invasoras
Formação Campestre degradada	Campo Limpo degradado
	Campo Sujo degradado
Formação Florestal	Cerradão
	Mata Ciliar e Mata de Galeria
	Mata seca
	Mata Seca degradada
Formação Savânica	Cerrado Denso
	Cerrado Ralo
	Cerrado Típico
Formação Savânica degradada	Cerrado Denso degradado
	Cerrado Ralo degradado
	Cerrado Típico degradado
	Formação Savânica degradada
Malha de transporte	Estradas não-pavimentadas
	Estradas pavimentadas
	Ferrovia
	Metrô
Mineração	Mineração

	Avicultura
	Campo de origem antrópica
	Granjas
	Pecuária
	Pecuária em área natural alterada
	Pecuária extensiva
Pecuária	Psicultura
Reflorestamento	Reflorestamento
Represas, Lagos, Lagoas e Rios	Lagos e Lagoas artificiais
	Lagos e Lagoas Naturais
* Fonte: Adaptado do ZEE-DF (2011).	

A Figura 14 mostra a distribuição espacial das classes de uso do solo e vegetação dentro do Distrito Federal.

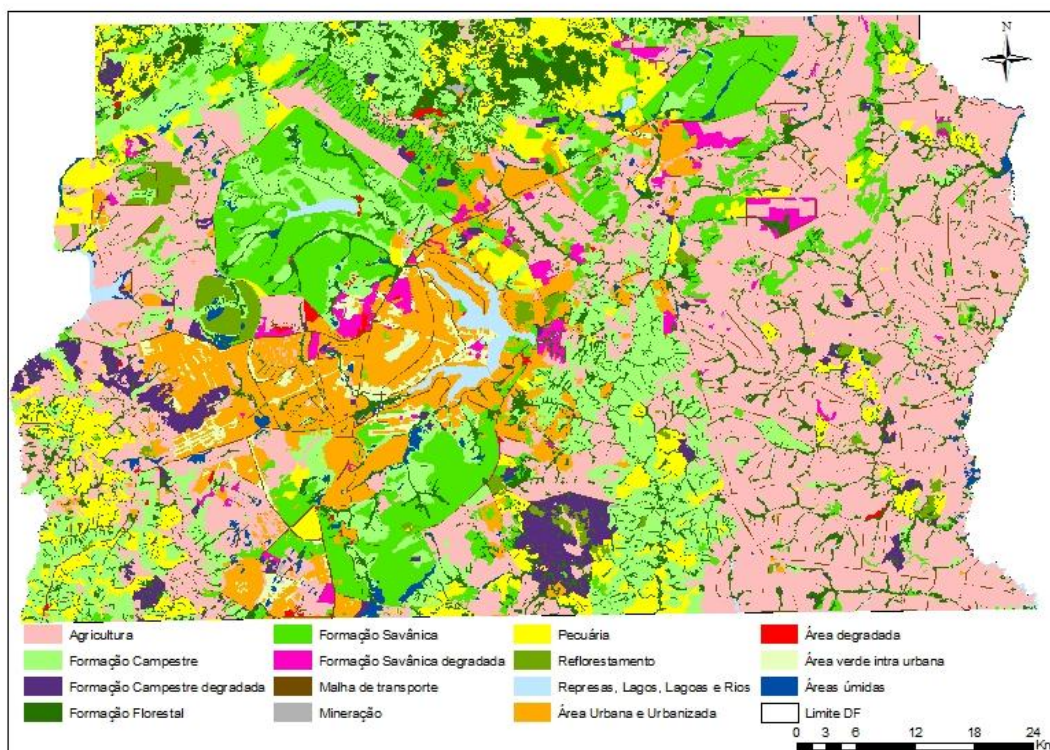


Figura 14 – Mapa de uso do solo e vegetação, com base na interpretação de imagens do satélite ALOS do ano 2009.
Fonte ZEE-DF (2011).

As classes de uso do solo e vegetação são apresentadas a seguir de acordo com o ZEE-DF (2011).

Agricultura – Caracteriza-se por apresentar áreas de produção de alimentos de origem vegetal, em diversos tamanhos de propriedades. Contem as seguintes subclasses: Agricultura intensiva, Agricultura intensiva - Pivô-de-irrigação, Chácaras de uso misto, Hortifruticultura, Uso Rural diversificado.

Área degradada - Caracteriza-se por apresentar áreas onde houve remoção da vegetação original, áreas de exploração mineral abandonada e solo exposto. Contem as seguintes subclasses: Área degradada: mineração abandonada, erosões e Solo exposto.

Área Urbana e Urbanizada – representa feições com algum tipo de influência urbana consolidada, construções, pavimentação do solo, mudança da cobertura original da vegetação, regiões rurais que estão se transformando em urbanas, equipamentos urbanos. Contem as seguintes subclasses: Aglomerado Agro-Urbano, Área Urbana e Urbanizada, Área Urbana e com Influência Urbana, Cemitério, Edificações, Lagoas de Estabilização, Parcelamento Urbano e Urbano com esgoto.

Área verde intra-urbana – são as áreas verdes que se encontram dentro das áreas urbanas ou fazendo algum tipo de contato com estas. Normalmente apresentam vegetação exótica, como gramíneas e espécies arbóreas e arbustivas utilizadas no paisagismo urbano. Contem somente a subclasse Área verde intra-urbana.

Áreas úmidas – são áreas que apresentam o solo úmido durante grande parte de ano, normalmente são áreas inadequadas para habitação e de difícil uso para a agricultura e pecuária. Contem somente a subclasse Áreas úmidas: Parque Cerrado (ou Murundum), Palmeirais e Veredas.

Formação Campestre – São áreas que apresentam grande parte do solo coberto por gramíneas e com baixo percentual de cobertura por árvores, foi adicionada também a classe de plantas invasoras, que na sua maioria são gramíneas e arbustos. Contem as seguintes subclasses: Campo Limpo, Campo Sujo e Espécies Invasoras: Plantas Invasoras.

Formação Campestre degradada – contempla as classe de formação campestre, só que com algum tipo de degradação, ainda possuem remanescentes de vegetação, o solo não

está completamente exposto. Contem as seguintes subclasses: Campo Limpo degradado e Campo Sujo degradado.

Formação Florestal – contempla as classes de formações florestais do cerrado, são fitofisionomias que apresentam características de mata ou floresta, com grande parte da cobertura do dossel feita por árvores. Contem as seguintes subclasses: Cerradão, Mata Ciliar e Mata de Galeria, Mata seca e Mata Seca degradada.

Formação Savânica – agrupa as classes das fitofisionomias do cerrado *strictu sensu*, caracterizando-se pela presença de gramíneas, arbustos e árvores em diferentes quantidades de cobertura do solo. Contem as seguintes subclasses: Cerrado Denso, Cerrado Ralo e Cerrado Típico.

Formação Savânica degradada – possui as características das formações savânicas, com algum tipo de alteração da cobertura vegetal inicial. Contem as seguintes subclasses: Cerrado Denso degradado, Cerrado Ralo degradado e Cerrado Típico degradado.

Malha de transporte – são áreas por onde são realizadas a circulação de pessoas e de cargas, são áreas com alteração da cobertura vegetal, como pavimentação do solo e presença de trilhos. Contem as seguintes subclasses: Estradas não-pavimentadas, Estradas pavimentadas, Ferrovia e Metrô.

Mineração – contempla as áreas de exploração mineral ativas. Contem apenas a subclasse Mineração.

Pecuária – contempla as classe onde é realizada algum tipo de produção de origem animal. Contem as seguintes subclasses: Avicultura, Campo de origem antrópica, Granjas, Pecuária, Pecuária em área natural alterada, Pecuária extensiva e Psicultura.

Reflorestamento – contempla as áreas de reflorestamento de *pinnus* e *eucaliptus* de diversos gêneros e espécies. Contem apenas a subclasse Reflorestamento.

Represas, Lagos, Lagoas e Rios – são áreas que possuem massa d'água na superfície, podem ser de origem natural ou artificial. Contem as seguintes subclasses: Lagos e Lagoas artificiais e Lagos e Lagoas Naturais.

4.1.8 - RECURSOS HÍDRICOS

No sistema hidrológico do Distrito Federal os cursos d'água apresentam características típicas de drenagem de área de planalto onde são frequentes os desníveis e os vales encaixados. A área do Distrito Federal foi dividida em três regiões hidrográficas: Paraná, São Francisco e Tocantins/Araguaia. De acordo com a SEMATEC (1993), considerando-se a drenagem, 60% da área do Distrito Federal contribui para a Bacia do Paraná, compreendendo a região centro-oeste do DF; 25% contribui para a Bacia do São Francisco, compreendendo a região leste; e 15% contribui para a Bacia do Tocantins/Araguaia, compreendendo a região noroeste (Quadro 5).

Quadro 5 – Regiões hidrográficas, bacias e unidades hidrográficas do Distrito Federal

REGIÃO HIDROG.	BACIA HIDROG.	UNIDADE HIDROG.	RA's	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
BACIA DO PARANÁ	RIO SÃO BARTOLOMEU	PIPIRIPAU	Sobradinho	Unidade hidrográfica de maior área no Distrito Federal afluentes de maior importância o ribeirão Sobradinho, Mestre D'Armas e o Rio Paranoá.
		MESTRE D'ARMAS	Planaltina	
		SOBRADINHO	Paranoá	
		PARANOÁ	São Sebastião	
		TABOCA	Santa Maria	
		PAPUDA		
		CACHOEIRINHA		
		SANTANA		
		SAIA VELHA / MARIA PEREIRA		
	LAGO PARANOÁ	SANTA MARIA / TORTO	Lago Norte	Está situada na porção central do Distrito Federal, sendo uma das bacias hidrográficas que apresenta um contingente populacional mais expressivo destacam-se o Riacho Fundo e os ribeirões do Gama, Bananal e Torto, que banham a área urbana de Brasília
		BANANAL	Lago Sul	
		LAGO PARANOÁ	Núcleo Bandeirante	
		RIBEIRÃO DO GAMA	Riacho Fundo	
		RIACHO FUNDO	Candangolândia	

BACIA DO SÃO FRANCISCO		LAGO DESCOBERTO	Cruzeiro	e formam o Rio Paranoá
		DOIS IRMÃOS	Guará Taguatinga	
	RIO DESCOBERTO	MELCHIOR / BELCHIOR	Taguatinga	localizada na porção oeste do Distrito Federal e juntamente com a Bacia do Lago Paranoá também é uma das mais povoadas destacam-se o Ribeirão Melchior, que banha os núcleos urbanos de Taguatinga e Ceilândia.
		BURITI	Ceilândia	
		ENGENHO DAS LAGES	Brazlândia Samambaia Recanto das Emas Gama	
	RIO CORUMBÁ	ALAGADO / PONTE ALTA	Gama Recanto das Emas Santa Maria Samambaia	A Bacia do Rio Corumbá se localiza na porção sudoeste do DF na qual estão compreendidos os núcleos urbanos do Gama, Recanto das Emas, Santa Maria e a porção sul da cidade de Samambaia. Destacam-se os córregos Vargem da Benção, Monjolo e Alagado
		SANTA MARIA		
	RIO SÃO MARCOS	SAMAMBAIA	São Sebastião	é a bacia hidrográfica de menor área no Distrito Federal e apresenta-se localizada na porção sudeste do mesmo não apresenta nenhum núcleo urbano no seu território Os principais corpos d'água dessa Bacia são o Córrego Samambaia e a Lagoa dos Veados
	RIO PRETO	SANTA RITA	Planaltina	apresenta-se localizada na porção leste do Distrito Federal, limitando-se a oeste com a Bacia do Rio São Bartolomeu e e a sudeste com a Bacia do Rio São Marcos. Não apresenta nenhum núcleo urbano nos seus limites territoriais. Apresenta como principal curso d'água o Rio Preto
		JACARÉ	Paranoá	
		SÃO JOSÉ	São Sebastião	
		EXTREMA		
		BURITI VERMELHO		

		ALTO JARDIM		divide o DF com os estados de Goiás e Minas Gerais. Os principais cursos d'água afluentes ao Rio Preto são o Ribeirão Santa Rita, o Ribeirão Jacaré, Ribeirão Extrema , o Rio Jardim e o córrego São Bernardo
		MÉDIO JARDIM		
		BAIXO JARDIM		
		CAPÃO DO LOBO		
		SÃO BERNARDO		
		VEREDA GRANDE		
BACIA DO TOCANTINS /ARAGUAIA	RIO MARANHÃO	SONHIM	Brazlândia	está localizada na porção norte do DF, apresentando como limites a sul as bacias do Rio Descoberto, São Bartolomeu e Lago do Paranoá. Não apresenta nenhum núcleo urbano nos seus limites. Os principais cursos d'água são os rios Maranhão, Palmeiras, Sonhim, Palma e Sal.
		PEDREIRA	Sobradinho	
		PALMA	Planaltina	

Fonte: SEMATEC (1993).

As Bacias e Sub-bacias do Distrito Federal são mostradas abaixo na Figura 15 e Figura 16, respectivamente.

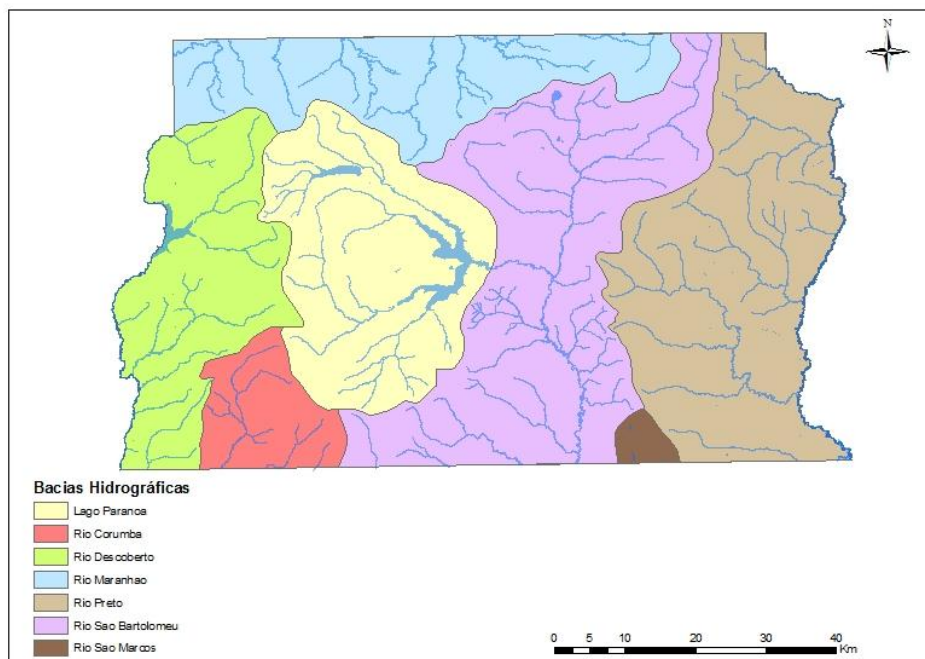


Figura 15 – Bacias Hidrográficas que compõe o Distrito Federal
 Fonte: ZEE-DF (2011)

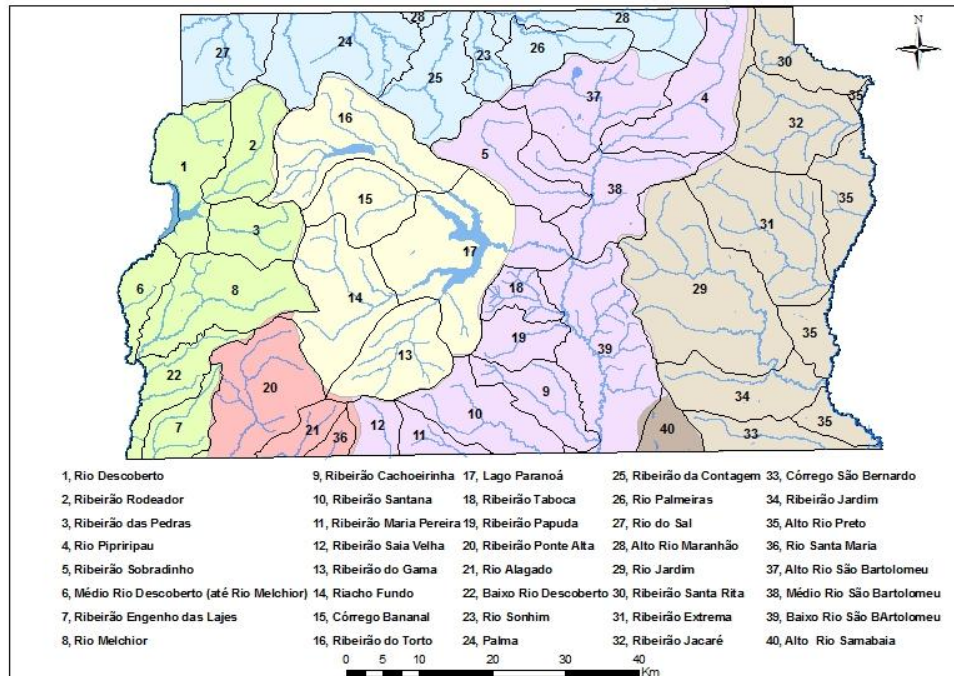


Figura 16 – SubBacias Hidrográficas que compõem o Distrito Federal
 Fonte: PGIRH (2005)

4.1.9 – ESTRADAS

Neste trabalho as estradas são definidas como sendo rodovias ou seja vias com pelo menos uma pista de mão dupla destinada ao tráfego de veículos motorizados, ligando uma localidade a outra, com ou sem pavimentação. Não foram incluídas aqui caminhos, trilhas e nem as ruas das cidades.

O Distrito Federal possui hoje, uma malha viária construída de aproximadamente 1.771 km, de acordo com o mapa rodoviário do DER (2010) subdividida conforme o Quadro 6. Não foram contabilizadas neste cálculo as ruas que se somadas poderiam passar dos 30.000 km de extensão.

Quadro 6 – Comprimento dos diferentes tipos de rodovias no Distrito Federal

LEGENDA	Comprimento (km)
Asfalto - Pista Dupla	312,2
Asfalto - Pista Simples	615,5
Sem Pavimentação	536,9
Vicinal - Sem Pavimentação	306,5
Total	1.771,2

No entanto existem mais cerca de 150 km em obras ou em planejamento. Sabe-se que as estradas, principalmente quando mal planejadas são responsáveis por aparecimento ou agravamento dos processos erosivos. Podem-se citar os problemas causados com a impermeabilização do pavimento da estrada, o acúmulo de águas das chuvas, principalmente quando estas são construídas morro abaixo.

A erosão provocada pela água no leito e nas margens de estradas não pavimentadas é um dos principais fatores para a sua degradação, sendo responsável por aproximadamente metade das perdas de solo nos estado de São Paulo (PRUSKI, 2009).

Para a construção das estradas são necessárias a remoção da cobertura vegetal e a compactação do solo, o que reduz a infiltração de água e, conseqüentemente, aumenta a propensão ao escoamento superficial. Esse escoamento quando atinge certa vazão,

apresenta grande potencial para provocar o desprendimento e o transporte do solo, causando problemas para a manutenção da estrada, ao danificar acostamentos, taludes, além do próprio leito da estrada. A grande vazão de escoamento proveniente das estradas interfere também nas áreas adjacentes, provocando a formação de sulcos e voçorocas e, dessa forma, danos às áreas agrícolas e aos recursos hídricos, causando o assoreamento dos mananciais hídricos. Assim, estradas em condições inadequadas podem iniciar ou agravar processos erosivos, causando prejuízo econômico à população e ao meio ambiente. (PRUSKI, 2009).

Como as águas pluviais constituem a principal causa de erosão nas estradas, uma vez que, mesmo nas estradas não pavimentadas, praticamente toda a água precipitada é escoada devido à baixa capacidade de infiltração de água no seu leito, o sistema de drenagem deve ser eficiente, para evitar o acúmulo de água sobre o leito da estrada. Desta forma, é de grande importância a captação e condução disciplinada dessas águas, de modo a reduzir o seu potencial de destruição (PRUSKI, 2009).

A Figura 17 mostra a localização das rodovias construídas e planejadas do Distrito Federal.

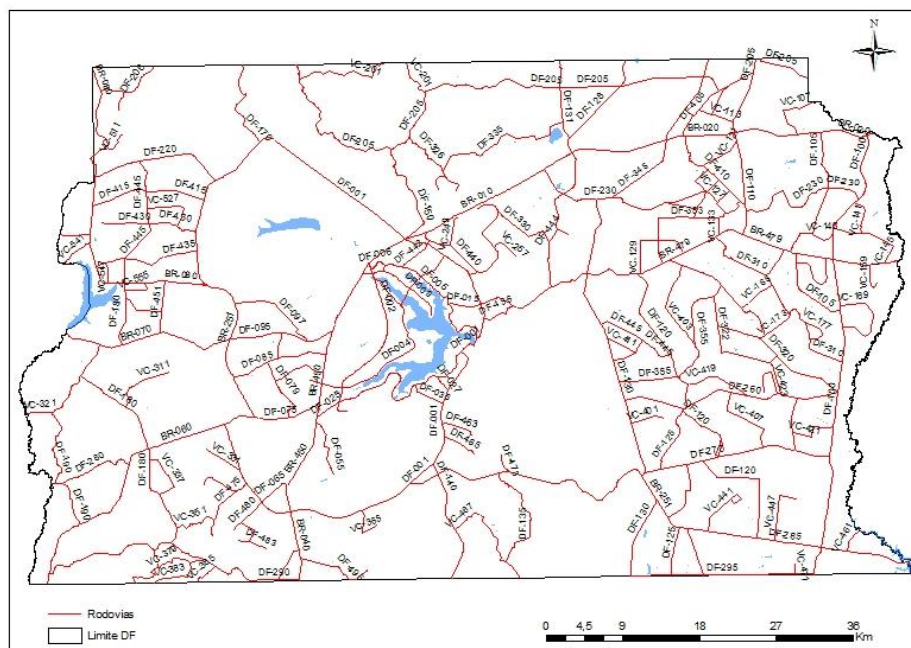


Figura 17 - Localização das rodovias construídas e planejadas do Distrito Federal
Fonte: ZEE-DF (2011)

4.2 – BASE DE DADOS

Na execução do trabalho foram utilizadas as seguintes bases de dados e as suas respectivas fontes que são descritas no Quadro 7.

Quadro 7 – Base de dados utilizada

Tema	Descrição	Formato	Escala	Pixel	Fonte	Ano
Limite do Distrito Federal	Criado pela Lei complementar 17/97, título V, capítulo II	Vetor	1:10.000	-	Sicad/Siturb	1997
Hidrografia	Criado pela Lei complementar 17/97, título V, capítulo II	Vetor	1:10.000	-	Sicad/Siturb	1997
MDT	gerado a partir da interpolação das curvas de nível e pontos cotados	Raster	1:10.000	10m	Zee DF 2011	2011
	do SICAD/SITURB ano 1997					
Isoietas	Gerado pela Adasa a partir de dados de 44 estações pluviométricas	Raster	1:100.000	10m	Adasa	2007
	do DF e 14 do estado de Goiás entre 1960 e 2006 através do método					
	de curvatura mínima (spline)					
Nascentes	Gerado a partir da interpretação visual	Vetor	1:10.000	-	Zee DF 2011	2011

	dos aerofotogramas de 2009					
Rodovias	Atualizado com imagens LANDSAT ano 2007 e ALOS ano 2008, mapa rodoviário 2010, coordenação NGENO/COPLAN/DER DF	Vetor	1:10.000	-	DER	2010
Geologia	Gerado para o ZEEDF 2011	Vetor	1:100.000	-	Zee DF 2011	2011
Geomorfologia	Gerado para o ZEEDF 2011	Vetor	1:10.000	-	Zee DF 2011	2011
Pontos de Voçorocas e ravinas (435 pontos)	Gerado para o ZEEDF 2011	Vetor	1:10.000	-	Zee DF 2011	2011
Solos	Gerado pela embrapa no ano de 1997	Vetor	1:100.000	-	Embrapa	1997
Vegetação e Uso	Gerado a partir da interpretação visual de imagens ALOS ano 2009	Vetor	1:100.000	-	Zee DF 2011	2011
Mosaico de fotos Aéreas	mosaico composto por 2276 fotos aéreas, câmara ultracamxp	Raster	1:1.000	1m	Terracap	2009

As Figuras de 18 a 28 apresentam a distribuição espacial dos mapas temáticos utilizados nesta pesquisa (Quadro 7).

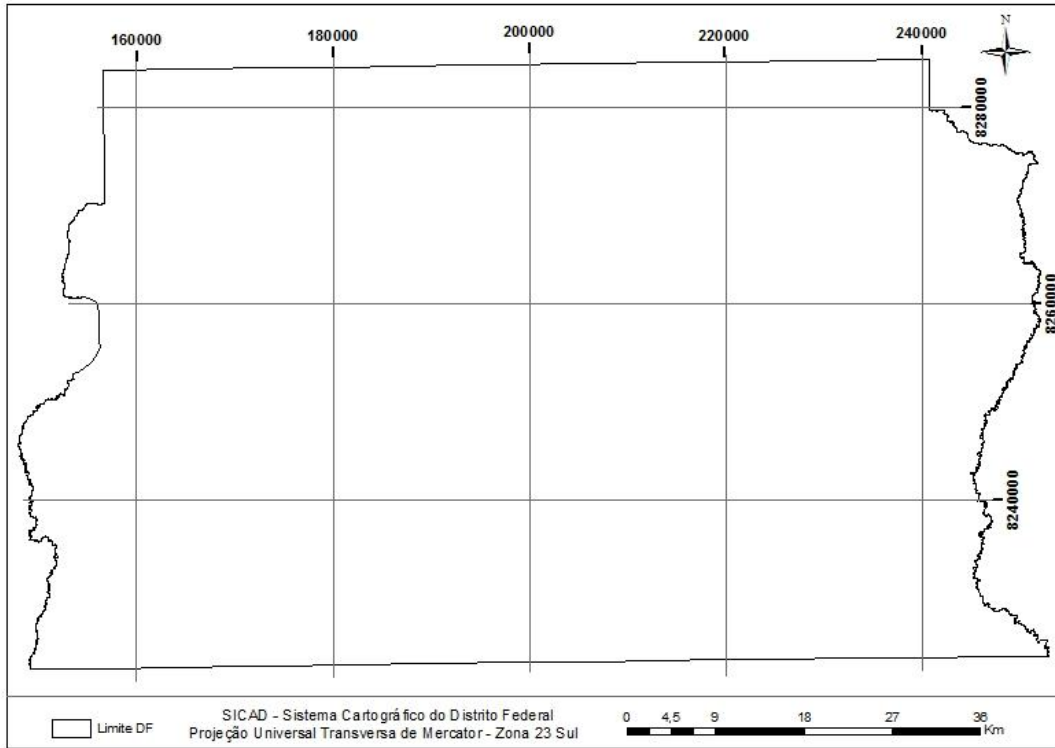


Figura 18 - Limite do Distrito Federal

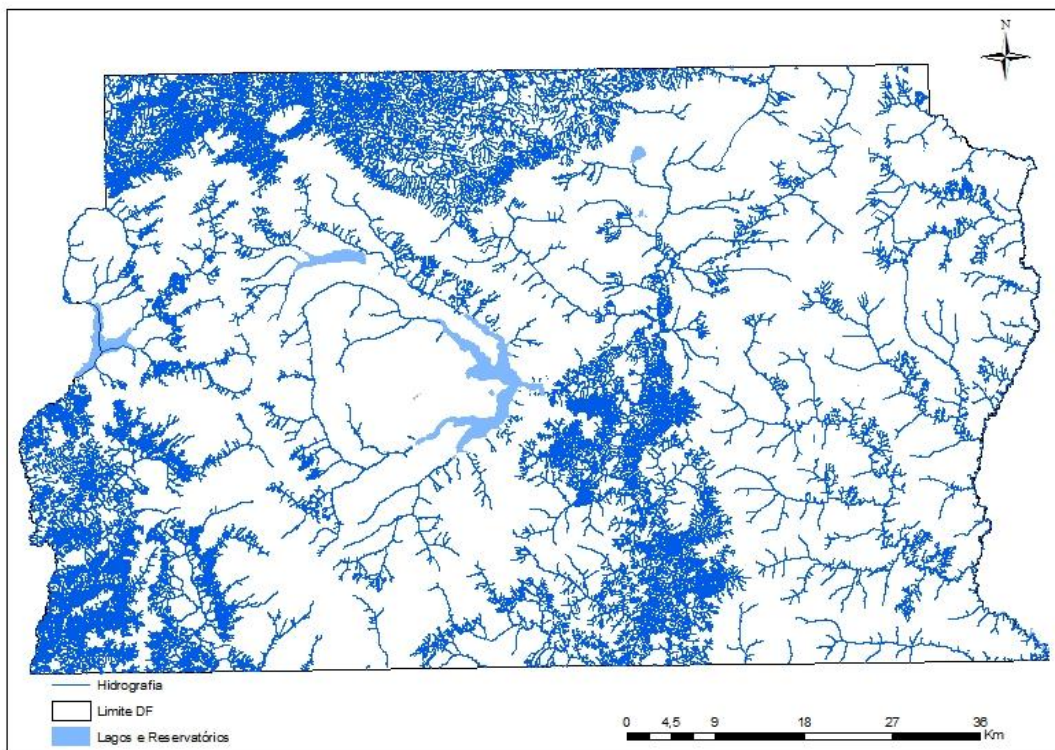


Figura 19 – Mapa hidrográfico do Distrito Federal

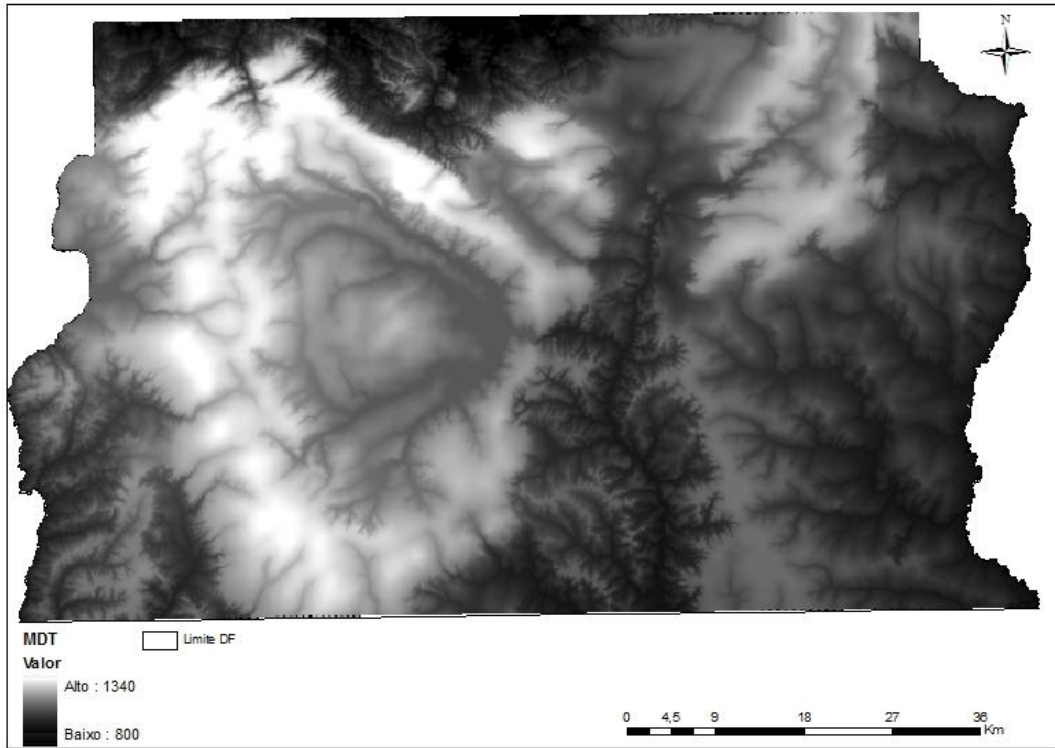


Figura 20 –MDT do Distrito Federal



Figura 21 – Mapa das isoietas do Distrito Federal

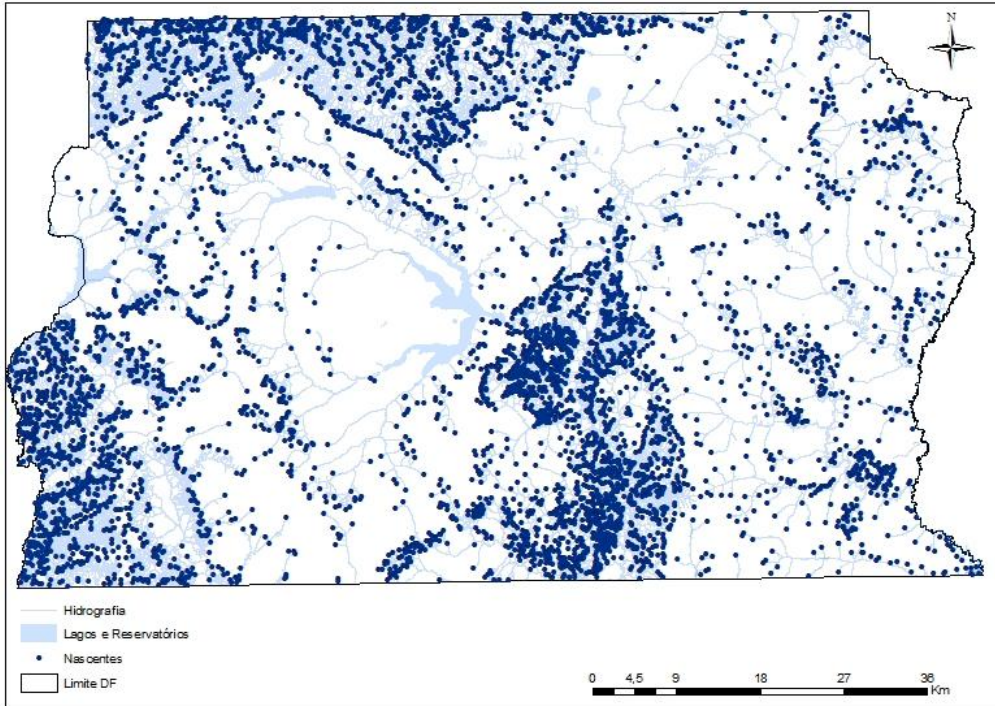


Figura 22 – Mapa das nascentes do Distrito Federal

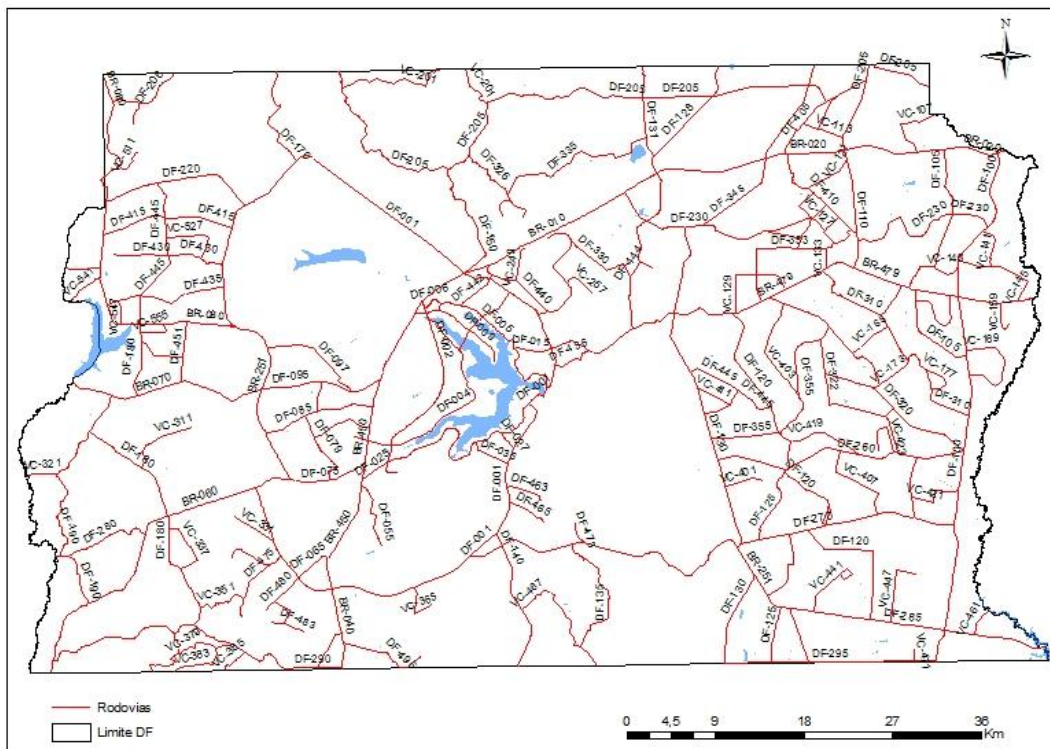


Figura 23 – Mapa rodoviário do Distrito Federal

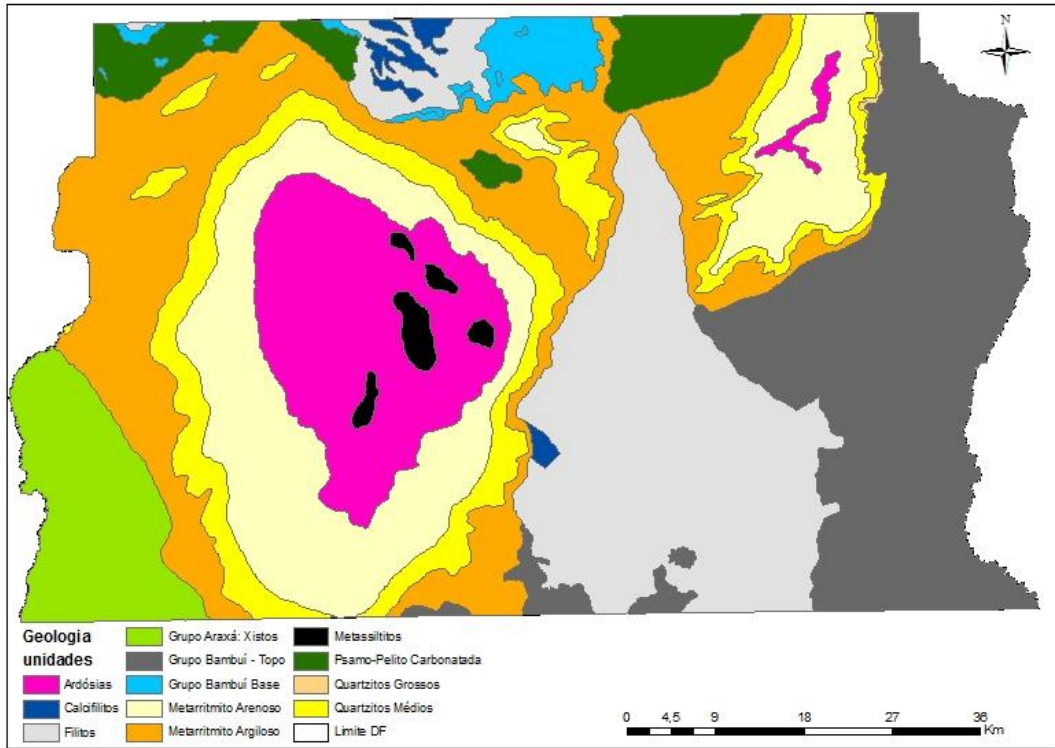


Figura 24 – Mapa geológico do Distrito Federal

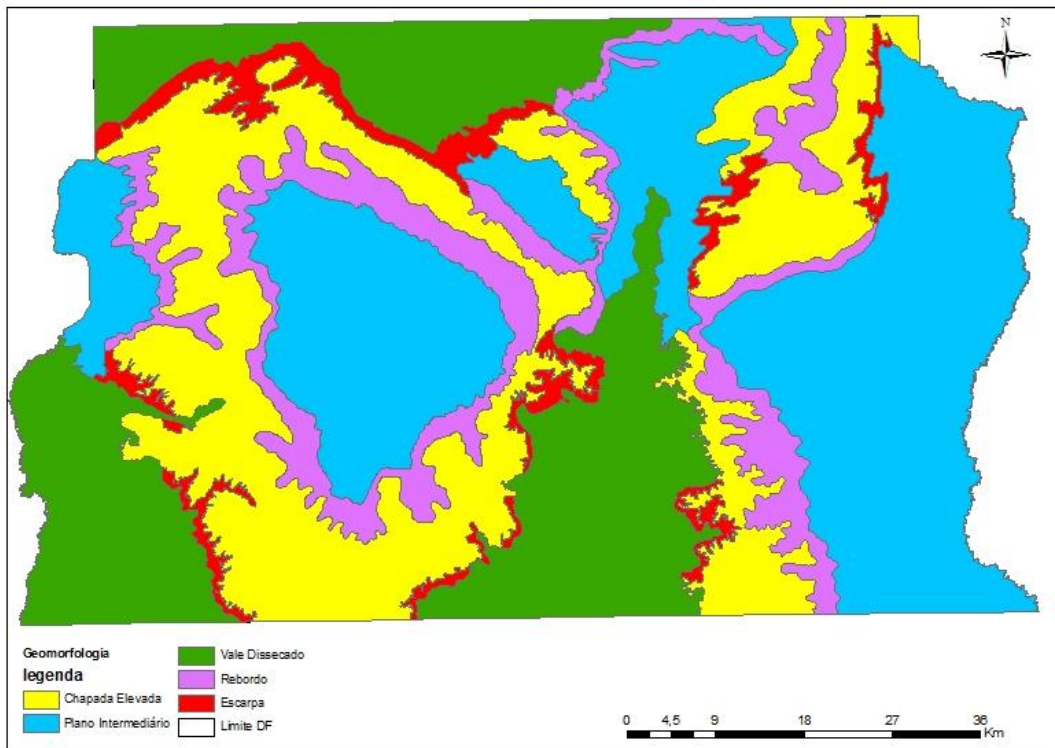


Figura 25 – Mapa geomorfológico do Distrito Federal

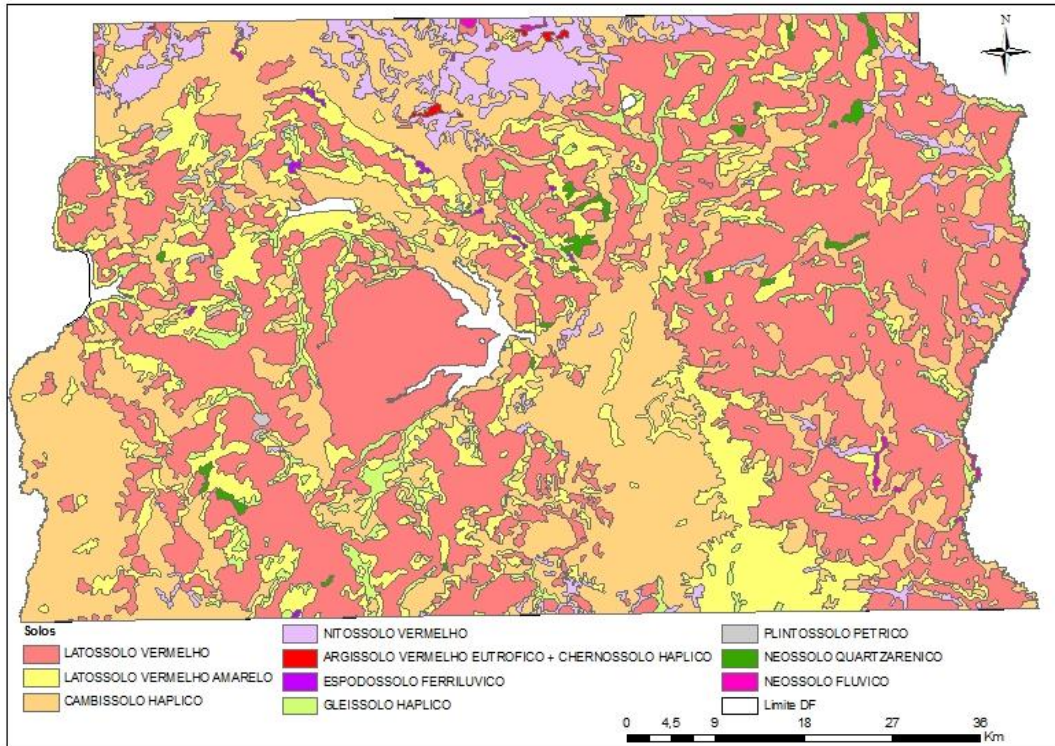


Figura 26 – Mapa dos solos do Distrito Federal

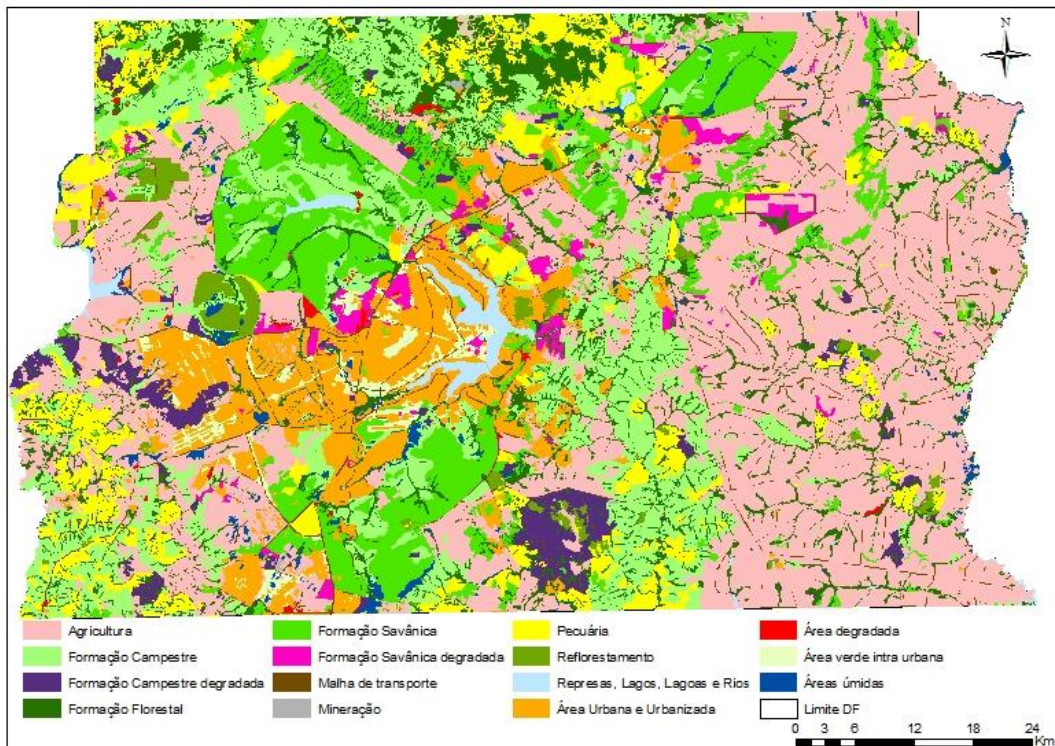


Figura 27 – Mapa de Vegetação e Uso do Distrito Federal

O mosaico de fotografias Aéreas adquiridas no mês de agosto de 2009 foi elaborado pela empresa TOPOCART. A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com câmera digital de grande formato, composto por 2.276 fotos, com resolução espacial de 25 cm, compostas por 4 bandas: 3 do intervalo espectral do visível (RGB) e 1 do infra-vermelho próximo para geração das imagens finais, recobrimento longitudinal de 60% e lateral de 30%, 36 faixas de vôo no sentido norte-sul. Câmara Ultracam XP, GSD de 25cm (TERRACAP, 2011). A UltraCAM-Xp é uma câmera digital de grande formato. A câmera possui um quadro de aquisição de imagem de 17.310 X 11.310 pixels, um total de 196 megapixels em 13 CCD's, possibilitando a captação de imagens métricas com resolução real de até 2 cm. Ela conta com duas unidades de armazenamento capazes de arquivar 6.6 mil imagens e seus sensores fazem captação multiespectral em canais independentes (PAN, RGB e NIR), permitindo o processamento das fotos em P&B, cor e infra vermelho. A câmara opera acoplada a GPS de dupla frequência e IMU (*Inertial Measurement Unit*) (TOPOCART, 2011). O vôo foi apoiado composto por 40 pontos pré-sinalizados - GCP's (Ground Check Point), ocupados por receptores GNSS geodésicos de dupla frequência L1/L2, com 80 marcos de apoio básico o sistema de Referência utilizado foi o SIRGAS-2000,4. Dados *raster* com resolução espacial de 1m em formato "geotiff" (TERRACAP, 2011). A figura 28 mostra o mosaico de fotografias aéreas.

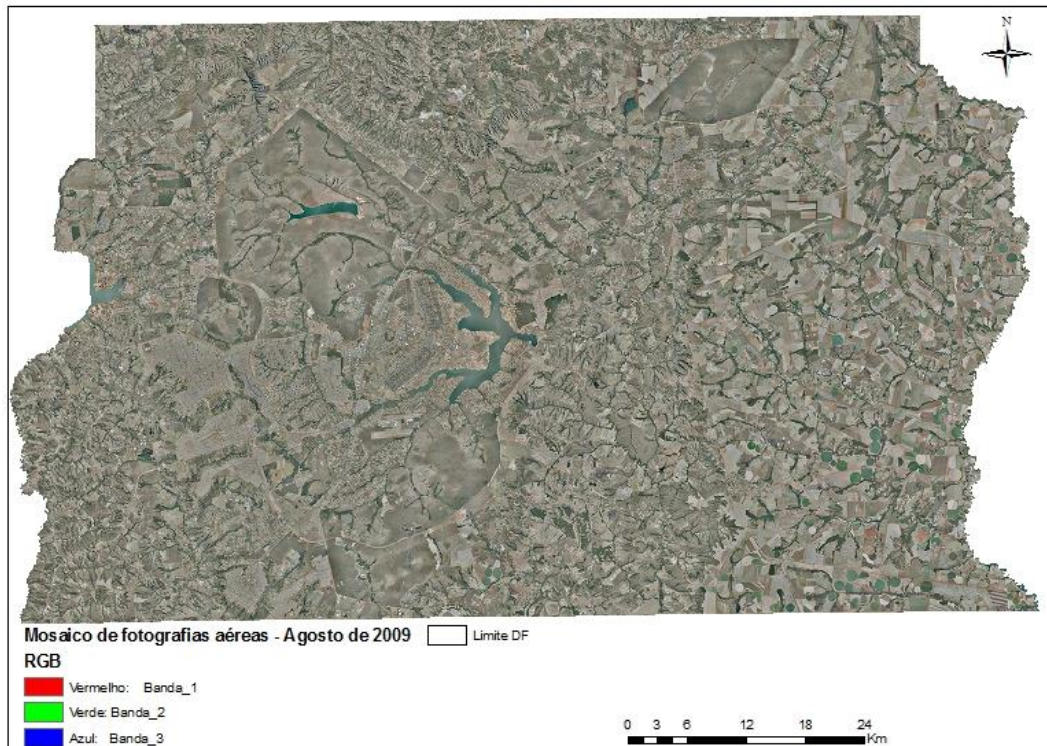


Figura 28 – Mosaico de fotografias Aéreas 2009 do Distrito Federal

4.2.1 – SISTEMA DE PROJEÇÃO ADOTADO

O sistema de projeções e o *datum* definidos para o projeto foi uma adaptação do sistema de projeções *UTM (Universal Transversa de Mercator)* e *datum Chuá Astro*, meridiano central -45, chamado *SICAD*. Todos os dados utilizados neste trabalho que não estavam nesta projeção foram projetados para *SICAD*. Segundo *TERRACAP (2011)* o Sistema Cartográfico do Distrito Federal - *SICAD* foi criado em 1976. Suas principais características são:

- Possuir articulação sistemática própria;
- É referência oficial e obrigatória para todo e qualquer trabalho de topografia, cartografia, demarcação, estudos de engenharia e de urbanismo no DF (Decreto Distrital n.º 4.008/1977).

- O território do DF localiza-se em 2 fusos do sistema UTM, a saber, fuso 23 e fuso 22, porém a representação cartográfica é feita apenas no fuso 23 que foi expandido a oeste.
- O referencial geodésico sobre o qual desenvolveram-se todos os mapeamentos do SICAD realizado antes de 2010 era o ASTRO DATUM CHUA com os seguintes parâmetros:

Elipsóide: Hayford (elipsóide internacional de 1924);

Semi-eixo maior $a = 6.378.388$ m;

Achatamento $f = 1/297$;

Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsóide:

Orientação topocêntrica:

Ponto Datum = Vértice de triangulação Astro Chuá;

$\varphi_G = 19^\circ 45' 41,6527''$ S;

$\lambda_G = 48^\circ 06' 04,0639''$ WGr.;

$\varphi_A = 19^\circ 45' 41,34''$ S;

$\lambda_A = 48^\circ 06' 07,80''$ WGr.;

$AG = 271^\circ 30' 04,05''$ SWNE para VT-Uberaba;

$N = 0,0$ m.

Onde:

φ_G = Latitude Geodésica;

φ_A = Latitude Astronômica;

λ_G = Longitude Geodésica;

λ_A = Longitude Astronômica;

AG = Azimute Geodésico;

N = Ondulação Geoidal.

4.3 – PROPOSTA METODOLÓGICA

O fluxograma representado na figura 29 resume as etapas metodológicas deste trabalho de pesquisa:

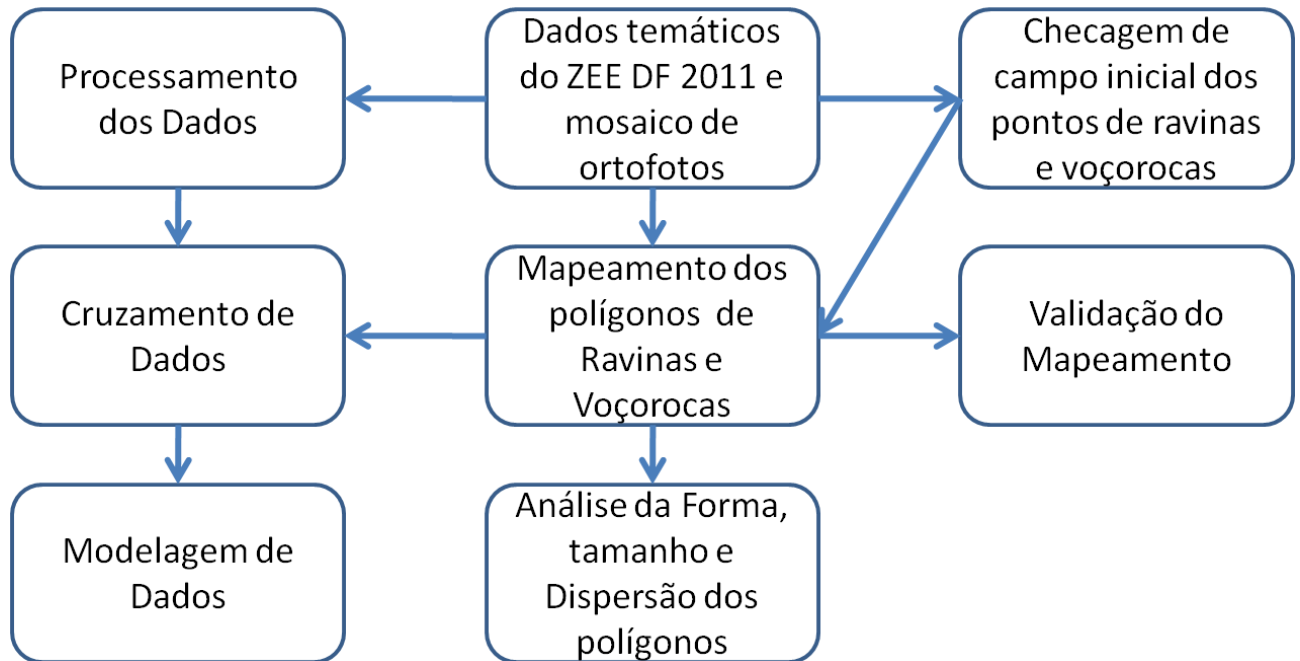


Figura 29 – Fluxograma da metodologia utilizada

4.3.1 – GEORREFERENCIAMENTO

O mosaico de fotografias aéreas do ano de 2009 foi georreferenciado pela empresa TOPOCART, utilizando receptores geodésicos de dupla frequência e alta precisão com mais de 80 marcos de apoio e PEC “A”. Este mosaico foi ajustado pela própria empresa de acordo com a base de dados do SICAD/SITURB que foram utilizados neste trabalho não sendo necessário um novo georreferenciamento das dos aerofotogramas.

4.3.2 – CHECAGEM DE CAMPO INICIAL

Como base cartográfica para a interpretação visual do mosaico de imagens obtidas no ano de 2009, foram utilizados dados em formato vetorial *shapefile* produzidos durante o trabalho do Zoneamento Econômico-Ecológico do Distrito Federal ZEE-DF (2011), onde foram mapeados 435 pontos próximos ou dentro das feições de ravinas e voçorocas, preparado a partir de interpretação visual destas feições. Estes pontos foram utilizados como referência e ponto de partida para o mapeamento das áreas atingidas pelos processos erosivos na área de estudo.

Para aferir os critérios e verificar se as feições de pontos de ravinas e voçorocas no Distrito federal haviam sido interpretadas corretamente foram realizadas checagens de campo, onde foram checados 14 dos 435 pontos mapeados no ZEE-DF (2011), que foram escolhidos de acordo com a proximidade e acesso de rodovias próximas ao centro de Brasília, visando economia de tempo e redução de custos com combustível. A checagem de campo adotada consistiu na adoção dos seguintes procedimentos:

- Localização do ponto através do uso de aparelho GPS *garmin legend etrex hcx* e mapa de campo;
- Fotografia do ponto;
- Descrição das principais características do local.

O mapa da distribuição destes pontos na área de estudo, os *quick looks* das imagens, as fotografias de campo e a descrição dos pontos são mostrados nas Figuras 30 a 34 e no Quadro 8.

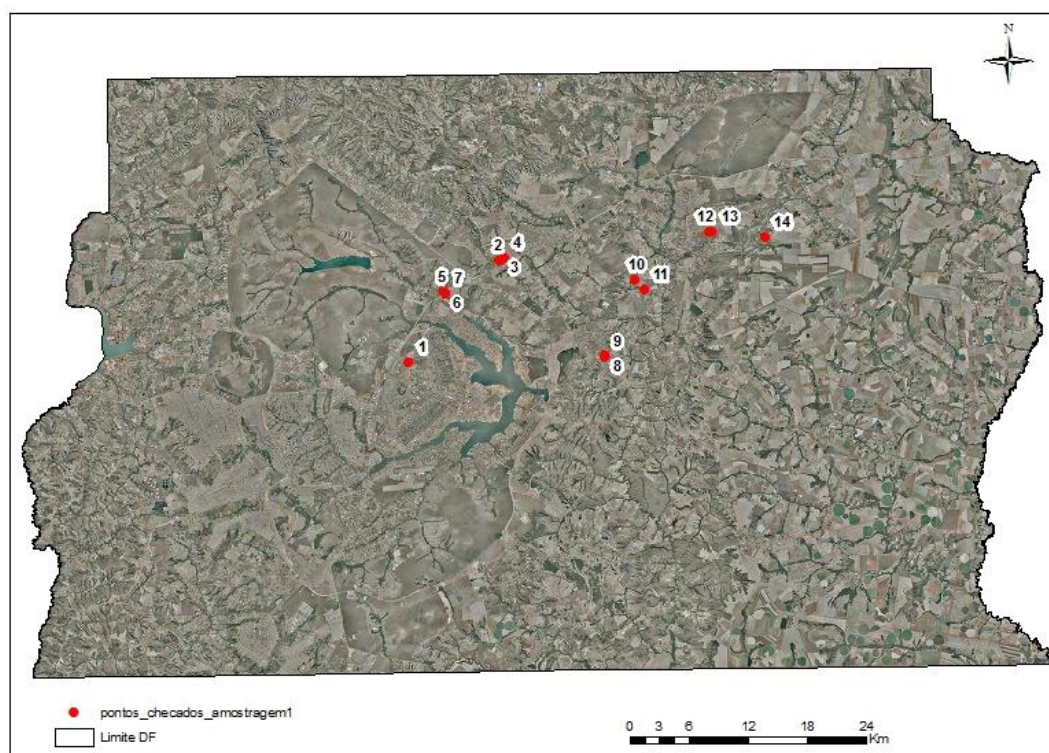


Figura 30 - Mapa com os pontos checados inicialmente

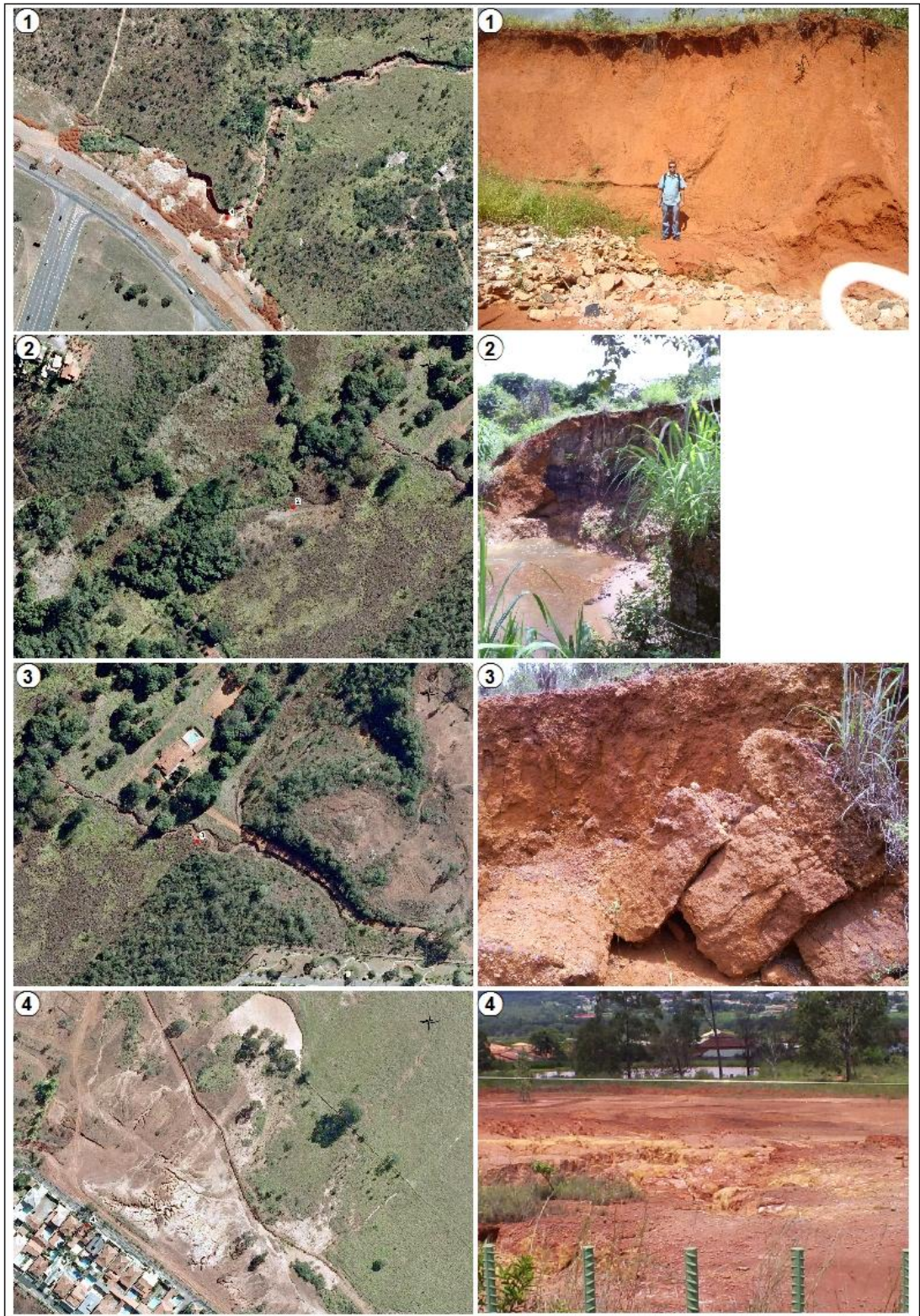


Figura 31 - Verificação de campo pontos de 1 a 4

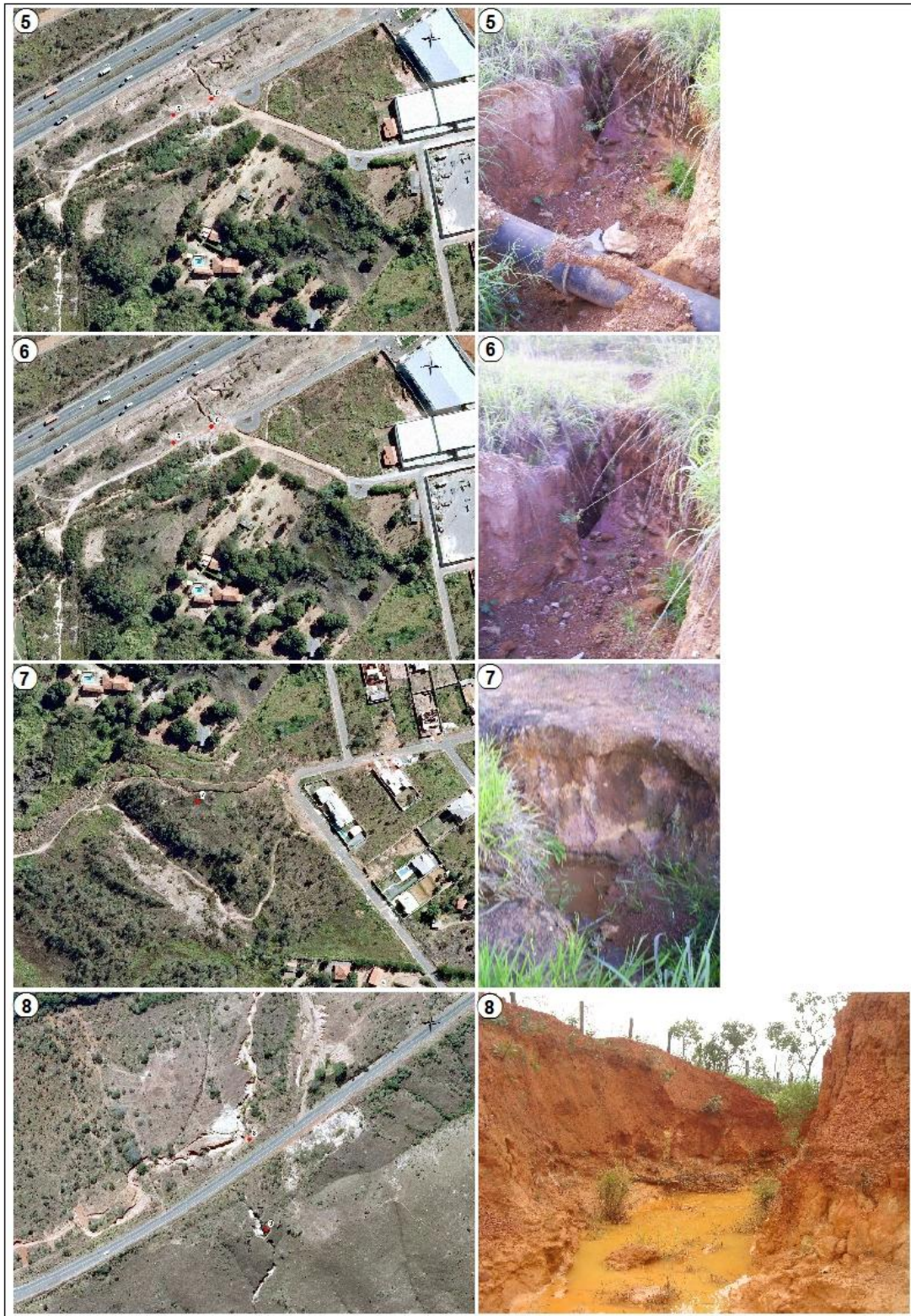


Figura 32 - Verificação de campo pontos de 5 a 8



Figura 33 - Verificação de campo pontos de 9 a 12

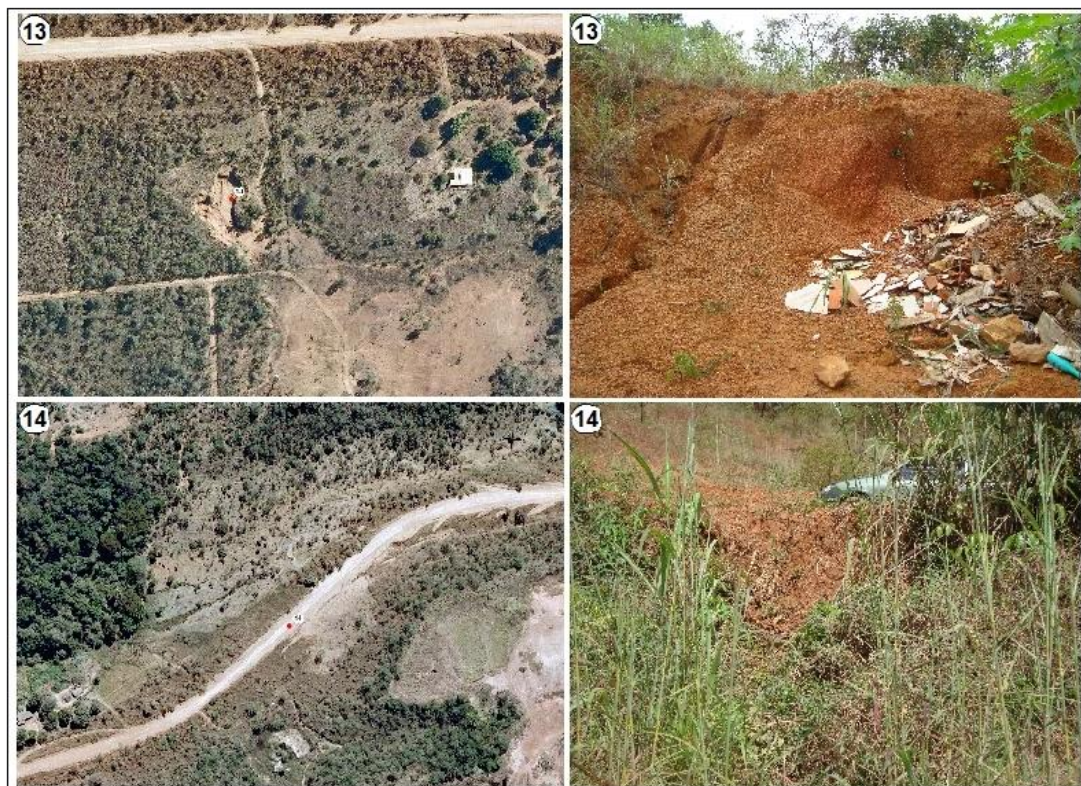


Figura 34 - Verificação de campo pontos 13 e 14

Quadro 8 – Descrição dos pontos da checagem inicial

Ponto	Descrição	Voçoroca
1	Voçoroca de grandes proporções e extensão, mais de 4 metros de altura, Noroeste.	Sim
2	Voçoroca perto de curso d'água, profundidade de 4 metros, solo exposto.	Sim
3	Voçoroca de extensão considerável media de 1 metro de profundidade com locais mais fundos, presença de água e torrões de solo em trechos.	Sim
4	Área degradada, solo exposto, presença de voçoroca de profundidade considerável, não foi possível chegar mais próximo ao ponto.	Sim
5	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, sofre influencia da estrada, solo exposto.	Sim
6	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, sofre influencia da estrada, solo exposto.	Sim
7	Voçoroca com cerca de 1 metro de profundidade, presença de água no fundo.	Sim

8	Voçoroca próxima a pista, mais de 4 metros de profundidade e grande extensão, corrimento de água em alguns locais.	Sim
9	Voçoroca localizada no início de uma grota seca, área com alta declividade, desce em direção à rede de drenagem.	Sim
10	Voçoroca em estágio inicial, beira da estrada, causada pelo acúmulo de água da chuva, chega até lagoa para gado.	Sim
11	Voçoroca na beira da estrada, paralela a via, comprometeu a cerca, 2 a 3 metros de profundidade.	Sim
12	Voçoroca aterrada por entulho, cerca de 1m de profundidade, vegetação em regeneração.	Sim
13	Voçoroca com boca arredondada, presença de entulhos e vegetação em regeneração, mamona.	Sim
14	Barranco, não apresenta as características clássicas de uma voçoroca.	Não

4.3.3 – MAPEAMENTO DOS POLÍGONOS DE VOÇOROCAS E RAVINAS

Para a realização desta pesquisa foi necessário digitalizar manualmente a partir de interpretação visual os contornos das feições identificadas como ravinas e voçorocas em toda área de estudo. Esta tarefa foi executada por um intérprete com boa acuidade visual, conhecimento de sensoriamento remoto e da área de estudo.

Deste modo, o Distrito Federal foi subdividido em 1496 quadrantes para apoio a interpretação visual, onde 1325 destes quadrantes apresentaram dimensões de 2,62 km por 1,55km de, com área de 407,7 hectares. Outros 171 quadrantes apresentaram área inferior a 407 hectares, pois estavam localizados nas proximidades dos limites do Distrito Federal com outros estados. Deste modo, os quadrantes foram numerados de 1 a 1496. As Figuras 35 e 36 ilustram os quadrantes definidos e utilizados para o mapeamento visual das ravinas e voçorocas.

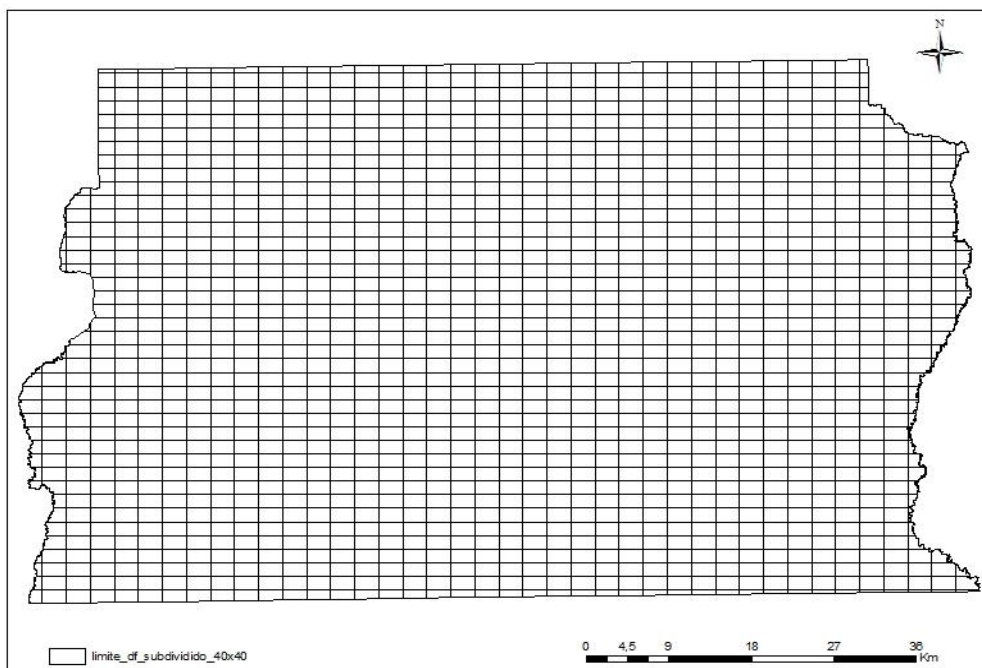


Figura 35 – Subdivisão do distrito federal em quadrantes

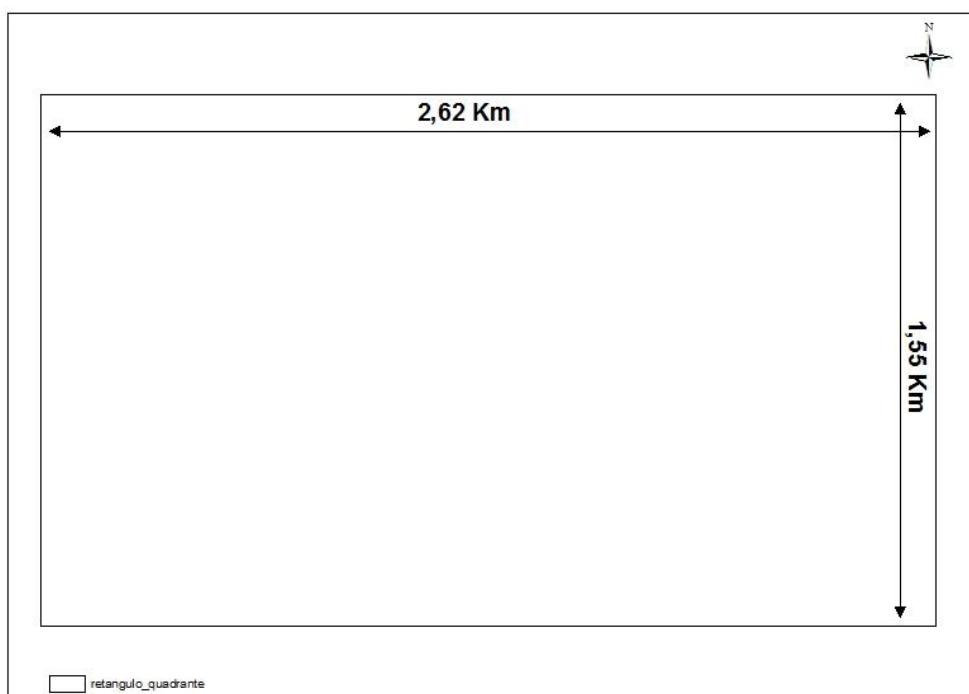


Figura 36 – Tamanho do quadrante

A subdivisão da área de estudo em quadrantes foi importante para evitar erros na detecção de feições que representasse ravinas ou voçorocas, considerando a extensa dimensão territorial e da grande quantidade de informações contidas nas aerofotografias da área de estudo. O processo de digitalização dos polígonos foi feito utilizando o software ArcGIS 9.3® produzido pela empresa ESRI® (*Environmental Systems Research Institute*). Inicialmente, foi criado um arquivo no formato vetorial, tipo polígono e com sistema de projeção SICAD, Datum CHUÁ, colocado numa vista do sistema ArcGIS 9.3®. Em seguida, foram adicionados a esta vista o mosaíco de aerofotos e os arquivo vetorial contendo os quadrantes para apoio a interpretação visual. Por fim, o mapeamento das feições de voçorocas e ravinas foi realizado a partir de varreduras no sentido da esquerda para a direita e de baixo para cima, iniciando pelo quadrante 1, localizado no canto inferior esquerdo da área de estudo. O mapa foi produzido em escala de trabalho média de 1:6.000, chegando em muitos casos a 1:1.000, de forma a possibilitar melhor inspeção visual das menores feições na superfície de estudo. A cada feição representando uma ravina ou voçoroca encontrada, utilizou-se o editor de polígonos disponível no sistema ArcGIS 9.3®. Assim, cada polígono foi gerado de forma individual, vinculado a uma tabela de atributo não espacial. Em alguns casos, foi utilizado como apoio as imagens adicionais de alta resolução espacial disponíveis na plataforma eletrônica *Google Earth*, que serviram como apoio complementar para eliminar elementos dúvidas da interpretação visual das ravinas e voçorocas. A Figura 37 mostra a feição de uma voçoroca vista pelo mosaico de aerofotogramas na escala de 1:1.000, enquanto que a Figura 38 mostra uma fotografia de campo da voçoroca mapeada na ortofoto.



Figura 37 – Voçoroca vista na ortofoto



Figura 38 – Fotografia da voçoroca

As propriedades observadas nos aerofotogramas para identificação das ravinas e voçorocas envolveram a forma, tonalidade, textura, sombra e localização. Em geral, estes fenômenos apresentam-se em forma linearizada a serpenteada e, em algumas feições maiores, pode-se observar forma circular, com pelo menos uma das faces da feição sombreada. Tal fato, gera uma impressão de profundidade gerado pela posição solar no momento da aquisição da ortofoto. As feições de estudo também apresentavam uma grande diferenciação de cor e textura em relação aos pixels vizinhos, com padrões típicos de solo exposto, de cor mais clara, apresentando alto brilho dos alvos, salvo os casos em que haviam formas de vegetação na parte mais profunda e em parte das encostas das ravinas e voçorocas.

Foram mapeados 1094 polígonos de voçorocas representados na Figura 39.

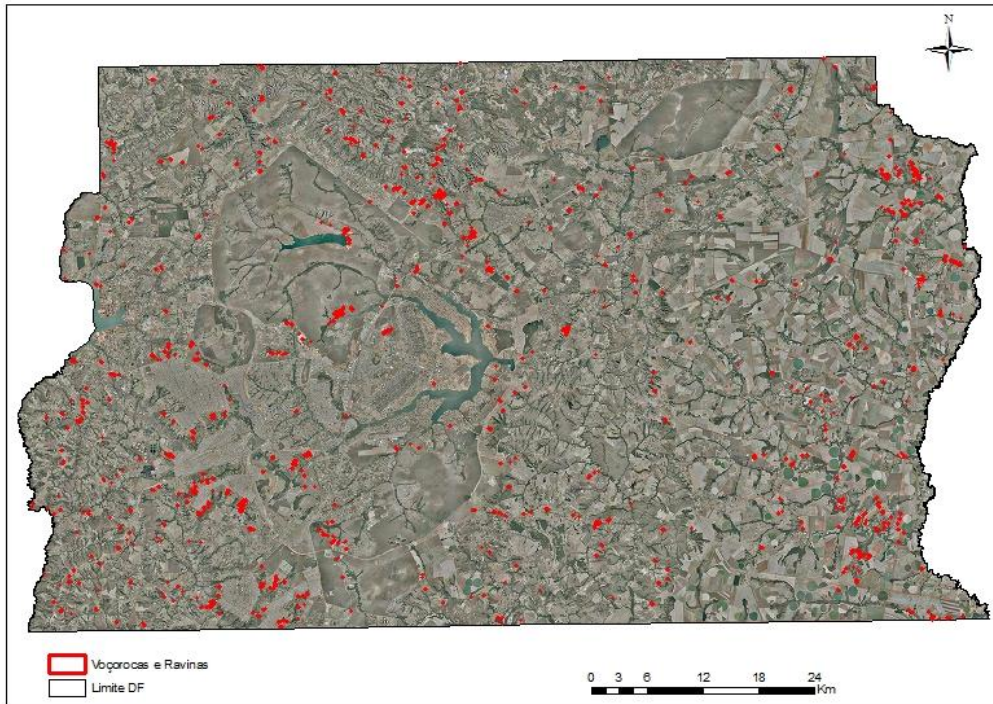


Figura 39 - Mapa de localização dos polígonos de ravinas e voçorocas sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal

4.3.4 – ANÁLISE DA FORMA DO TAMANHO E DO AGRUPAMENTO DOS POLÍGONOS DE RAVINAS E VOÇOROCAS

A análise da forma, do tamanho e da dispersão dos polígonos de voçorocas e ravinas é necessária para se tentar encontrar padrões que possam auxiliar na explicação da ocorrência destes fenômenos erosivos. Quanto ao tamanho, os polígonos foram divididos nas seguintes classes em m²: < 100; de 100 a 200; de 200 a 300; de 300 a 400; de 400 a 500; de 500 a 600; de 600 a 700; de 700 a 800; de 800 a 900; de 900 a 1000, de 1000 a 2000 e >2000.

Para a análise da forma dos polígonos foi utilizada a dimensão fractal proposta por TURNER *et al.* (2002), onde:

$$\text{Dimensão fractal} = \ln(A) / \ln(P) + \ln(K)$$

$$K = 0,25 \text{ (constante)}$$

$$A = \text{Área (m}^2\text{)}$$

$$P = \text{Perímetro}$$

O cálculo da dimensão fractal foi realizado utilizando o software ArcGIS 9.3®, por meio da ferramenta Calculador de Campo disponíveis para as tabela de atributos do arquivo vetorial contendo os polígonos de voçorocas e ravinas.

De acordo com TURNER *et al.* (2002), os valores próximos de 1 se aproximam da forma linear enquanto que os próximos a 2 se aproximam da forma circular. A Figura 40 ilustra as formas.

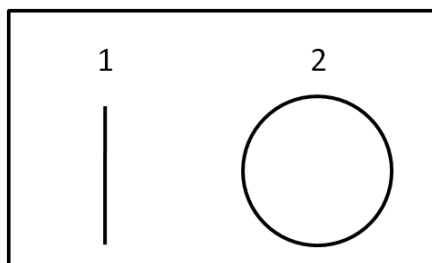


Figura 40 – Forma de acordo com a dimensão fractal de TURNER *et al.* (2002),

Para a análise da dispersão dos polígonos de ravinas e voçorocas utilizou-se o software Arcgis 9.3®, módulo *spatial statistics tools*, ferramenta *average nearest neighbor*, com o parâmetro do método de distância marcado na distância Euclidiana.

4.3.5 – VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO

Após o mapeamento das feições foi necessário fazer uma validação de campo, com um tratamento estatístico, visando obter um valor de acurácia dos dados. O método utilizado é descrito a seguir.

Foi definida uma amostra aleatória com 100 pontos dentro do Distrito Federal, 50 destes pontos deveriam cair dentro dos polígonos de voçorocas e ravinas e os outros 50 pontos deveriam cair em qualquer outro local dentro do Distrito Federal que não foi mapeado como sendo ravina ou voçoroca. Para gerar estas amostras aleatórias foi utilizado o *software* Arcgis 9.3®, ferramenta de criar pontos aleatórios. A Figura 40 mostra a distribuição dos pontos na área de estudo.

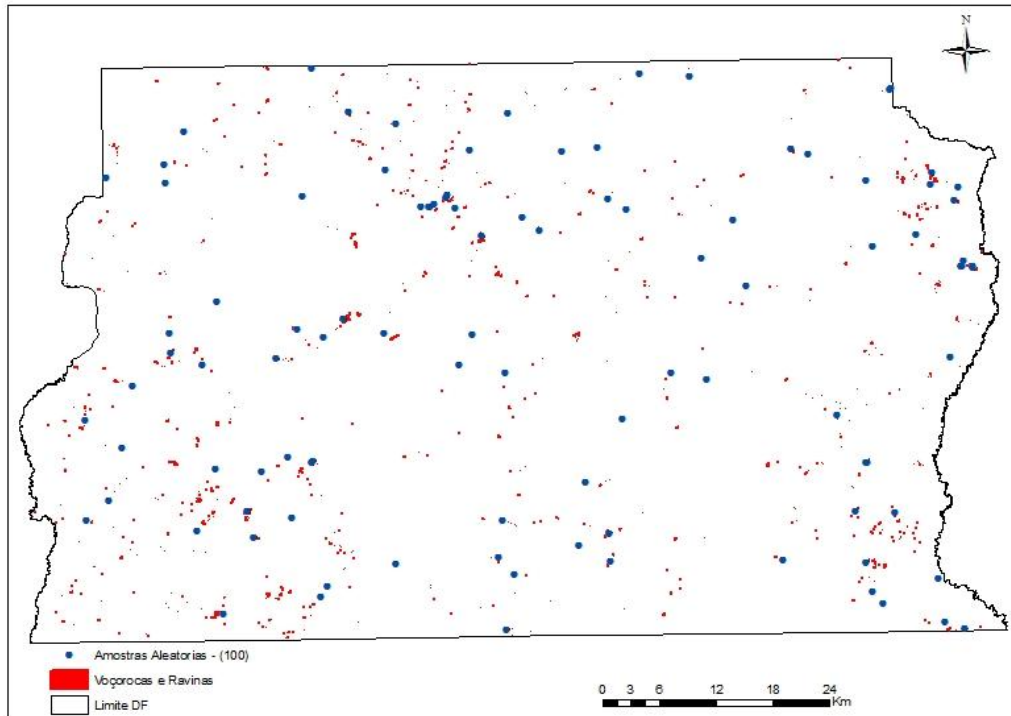


Figura 40 – Amostra de 100 pontos para a validação

Pontos com formas óbvias de erosão (ravina ou voçoroca) foram confirmados como acertos e a qualquer sinal de existência de elemento dúvida nas feições, foi realizada visitas em campo para a devida inspeção local. Um total de 22 pontos foram necessários serem checados em campo. Estes dados foram utilizados para a estimativa da acurácia do mapeamento realizado. Cada um destes 100 pontos foi checado individualmente com o mosaico de fotografias aéreas e com a plataforma de imagens *Google Earth*, visando ir para campo somente em pontos em que existiu alguma dúvida em relação à classificação das feições. A Figura 41 mostra os pontos definidos para campo.

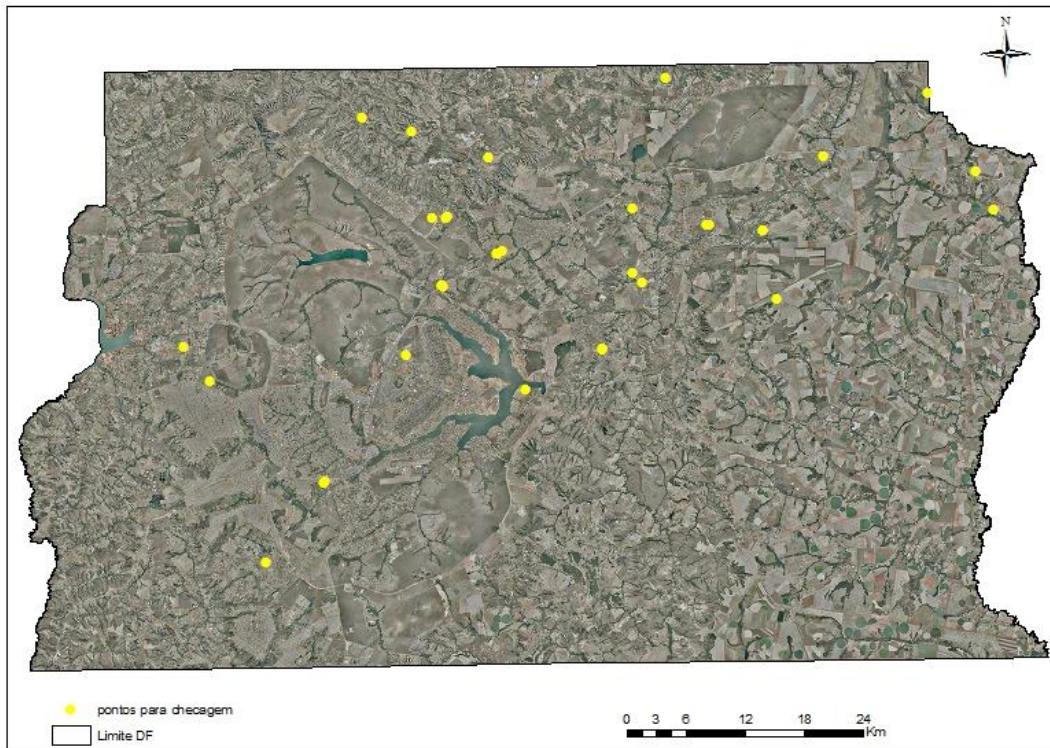


Figura 41 – Pontos de checagem de campo para validações sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal.

4.3.6 – MODELO ESTATÍSTICO UTILIZADO PARA A VALIDAÇÃO

O modelo estatístico utilizado para estimativa da acurácia foi a matriz de confusão, que gera dados que revelam a acurácia total, acurácia do produtor, acurácia do usuário e o índice *Kappa*.

A acurácia do usuário é a acurácia calculada observando os dados de referência para uma classe e determinando a porcentagem de predições corretas para estas classes amostrais. Também é referida como o erro de Comissão ou superestimação, calculada para cada classe.

A acurácia do produtor é a medida da acurácia computada examinando as predições para uma classe e determinando a porcentagem de predições corretas. Também é referida como o erro de Omissão ou subestimação, calculada para cada classe.

O Índice *Kappa* pode ser definido com sendo uma acurácia estatística que permite duas ou mais matrizes de contingência para serem comparadas. A estatística ajusta a acurácia total para considerar a chance de acordo da classificação. O Índice *Kappa* é a medida de quanto melhor foi a classificação comparada com classes definidas aleatoriamente. A classificação do Índice *Kappa* é mostrada no Quadro 9 de acordo com CONGALTON & GREEN (1998).

Quadro 9 - A classificação do Índice *Kappa* de acordo com CONGALTON & GREEN (1998)

Índice Kappa	Características do mapeamento
$K \leq 0,4$	Pobre
$0,4 < K \leq 0,8$	Razoável
$K \geq 0,8$	Excelente

4.3.7 – PROCESSAMENTO DOS TEMAS

O MDT no ZEE-DF (2011) foi gerado a partir da interpolação dos pontos cotados e das curvas de nível na escala de 1:10.000 do SICAD/SITURB. A partir do MDT foram gerados 6 novos arquivos no formato *raster*:

Acúmulo de fluxo: para a geração do acúmulo de fluxo, foi utilizado o *software* ArcGIS 9.3®, módulo *Spatial Analyst tools, hydrology*, primeiro foi gerado o *raster fill*, através da ferramenta *fill*, para preencher os valores vazios do *raster* do MDT, depois foi gerado o *raster* da direção de fluxo, através da ferramenta *flow direction*. A partir da direção de fluxo foi gerado o *raster* de acúmulo de fluxo, utilizando a ferramenta *flow accumulation* com uma amplitude de valores de 0 a 22.995.368. Para a análise dos dados este *raster* foi reclassificado em 5 classes: menor ou igual a 2, maior que 2 e menor ou igual a 5, maior que 5 e menor ou igual a 10, maior que 10 e menor ou igual a 100 e maior que 100. A Figura 42 mostra o acúmulo de fluxo em cinco classes.

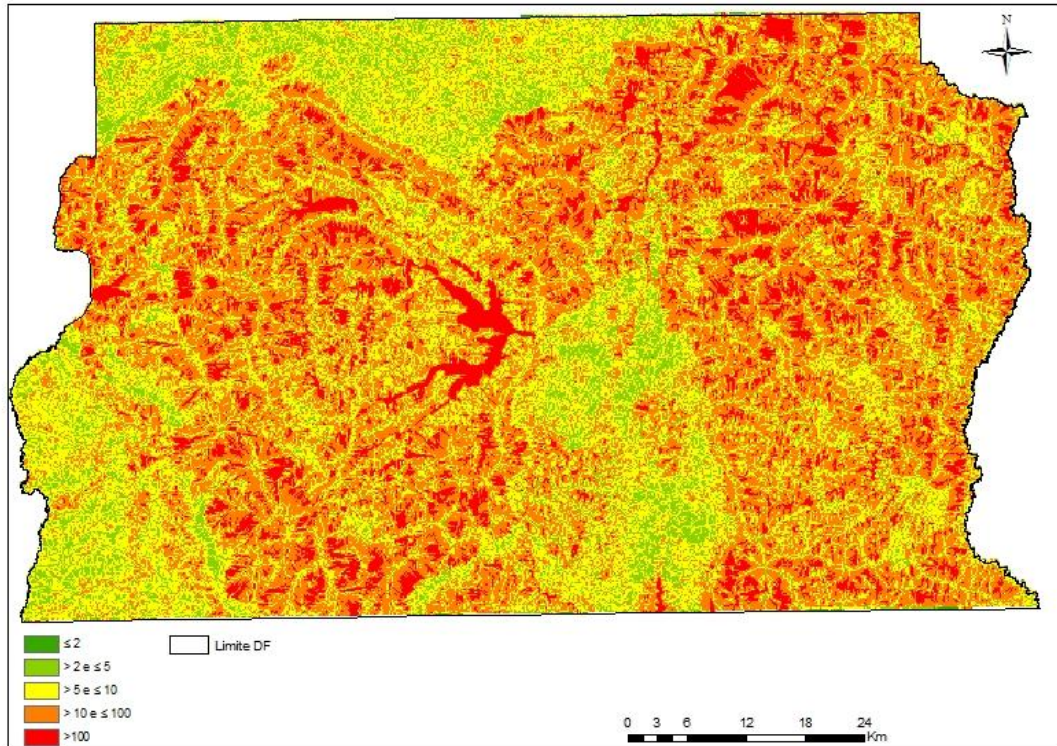


Figura 42 – Mapa do acumulo de fluxo dividido em 5 classes

Curvatura – a curvatura foi gerada através do *software* ArcGIS 9.3®, módulo *Spatial Analyst, surface*, ferramenta *curvature*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada, foram geradas ao mesmo tempo a curvatura, a curvatura plana e curvatura em perfil.

A curvatura é a segunda derivada da superfície do terreno, conforme será demonstrado a seguir. A curvatura de uma superfície é calculada baseada em célula por célula. Para cada célula, um polinômio de quarto grau da forma:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

É encaixado numa superfície composta por uma janela 3 x 3. Os coeficientes a, b, c e outros são calculados a partir da superfície. As relações entre os coeficientes e os 9 valores de elevação para todas as células numeradas são mostradas na Figura 43.

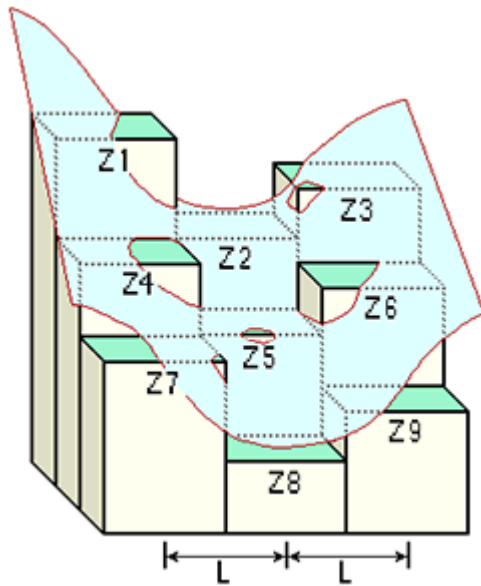


Figura 43 – Demonstração da curvatura

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$I = Z5$$

O resultado da curvatura é a segunda derivada da superfície de forma que:

$$\text{Curvatura} = -2(D + E) * 100$$

A amplitude de valores foi de -2836,27 a 3487,47. O *raster* foi reclassificado em 3 classes: menor que zero (superfície côncava), igual a zero (superfície retilínea) e maior que zero (superfície convexa). A Figura 44 ilustra o mapa da curvatura.

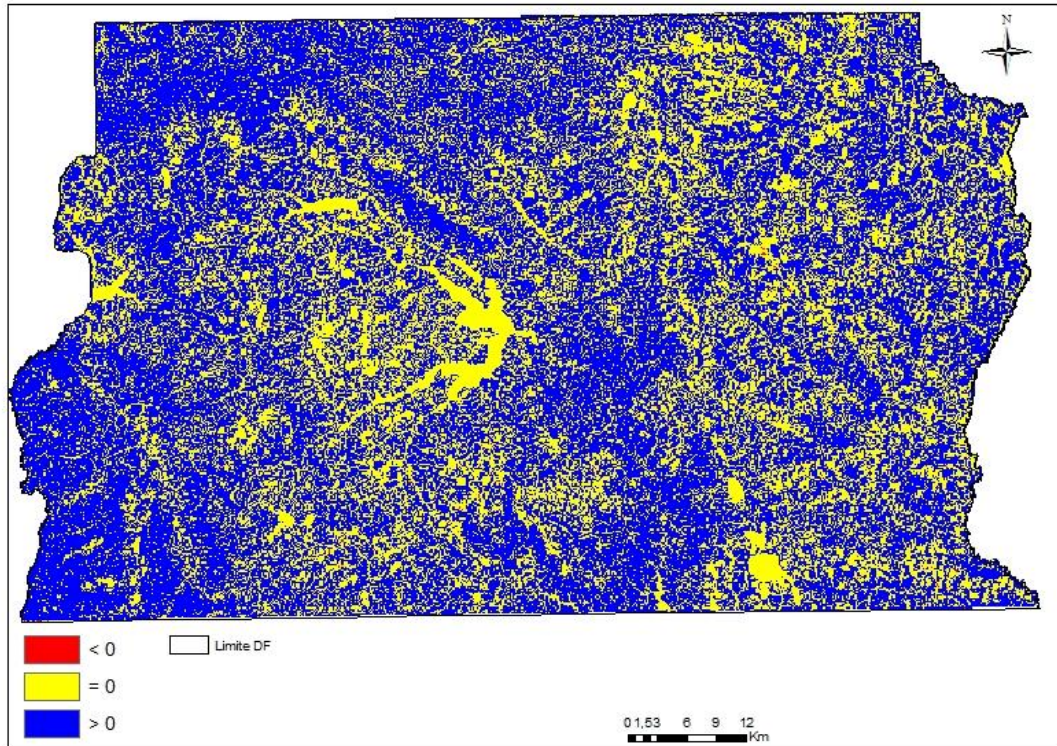


Figura 44 – Curvatura 3 classes

Devido a escala de apresentação utilizada, os mapas de curvatura, curvatura plana e curvatura em perfil do Distrito Federal inteiro não foi possível observar as 3 classes, por isso foram anexadas figuras mostrando o detalhe dos temas. A Figura 45 mostra o detalhe da curvatura.

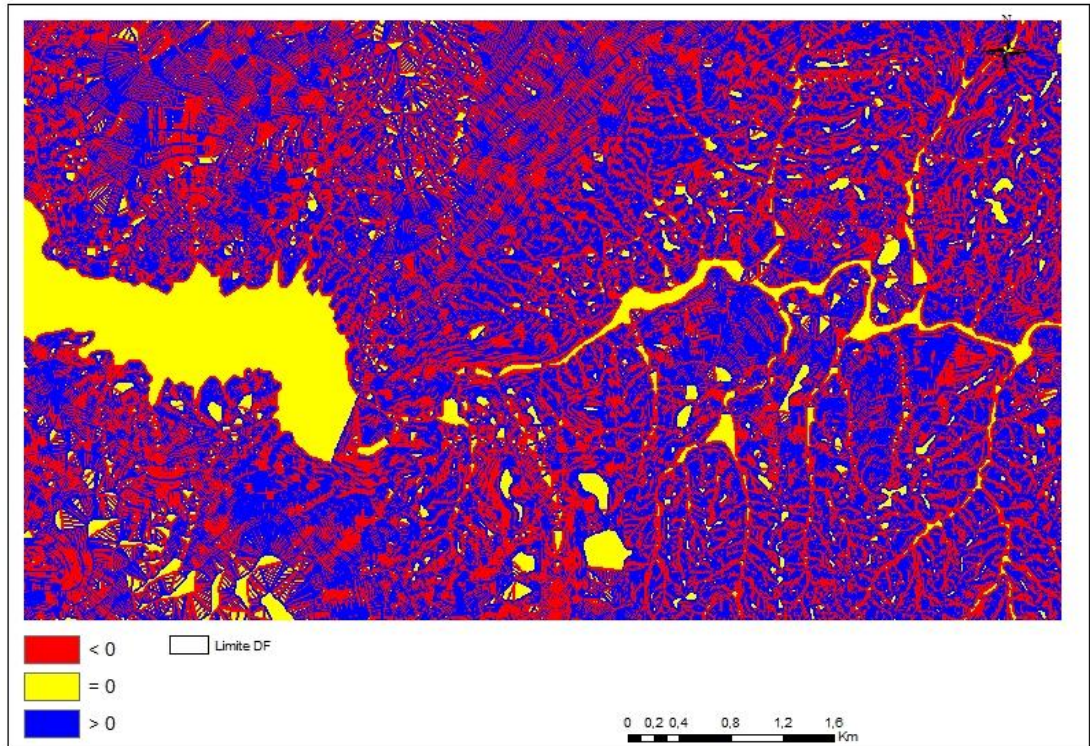


Figura 45 – Curvatura 3 classes detalhe

A curvatura plana é perpendicular a rampa e afeta a convergência e divergência de fluxo. A amplitude valores variou entre -1890,8 e 2092,99. O *raster* foi reclassificado em 3 classes: menor que zero (superfície côncava – acumulo de fluxo), igual a zero (superfície retilínea) e maior que zero (superfície convexa – divergência de fluxo). A Figura46 mostra os tipos de curvatura plana, a figura 47 mostra o mapa da curvatura plana e a Figura 48 o detalhe da curvatura plana.

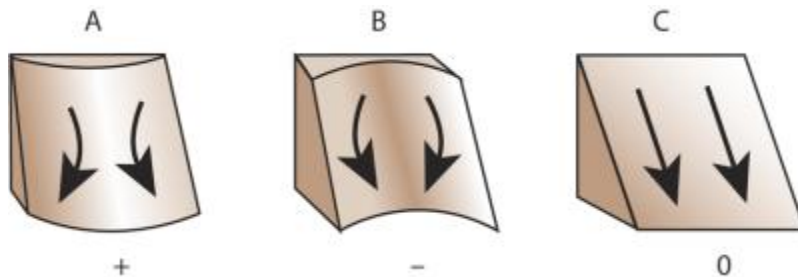


Figura 46 – ilustração dos tipos de curvatura plana

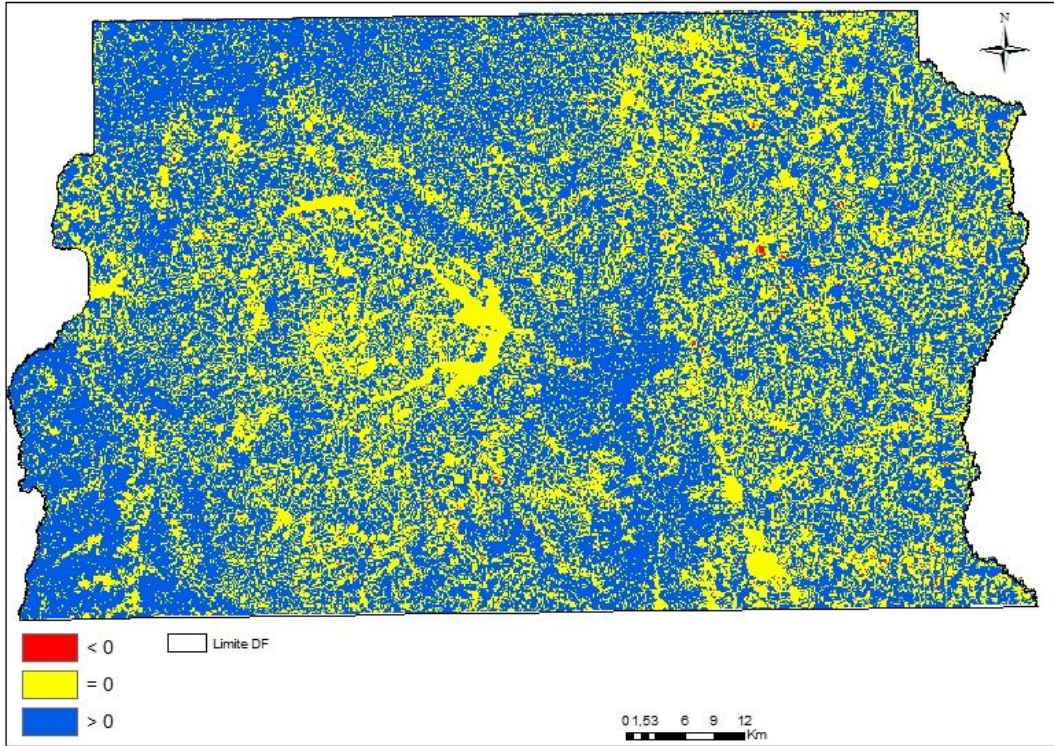


Figura 47 – Curvatura plana 3 classes

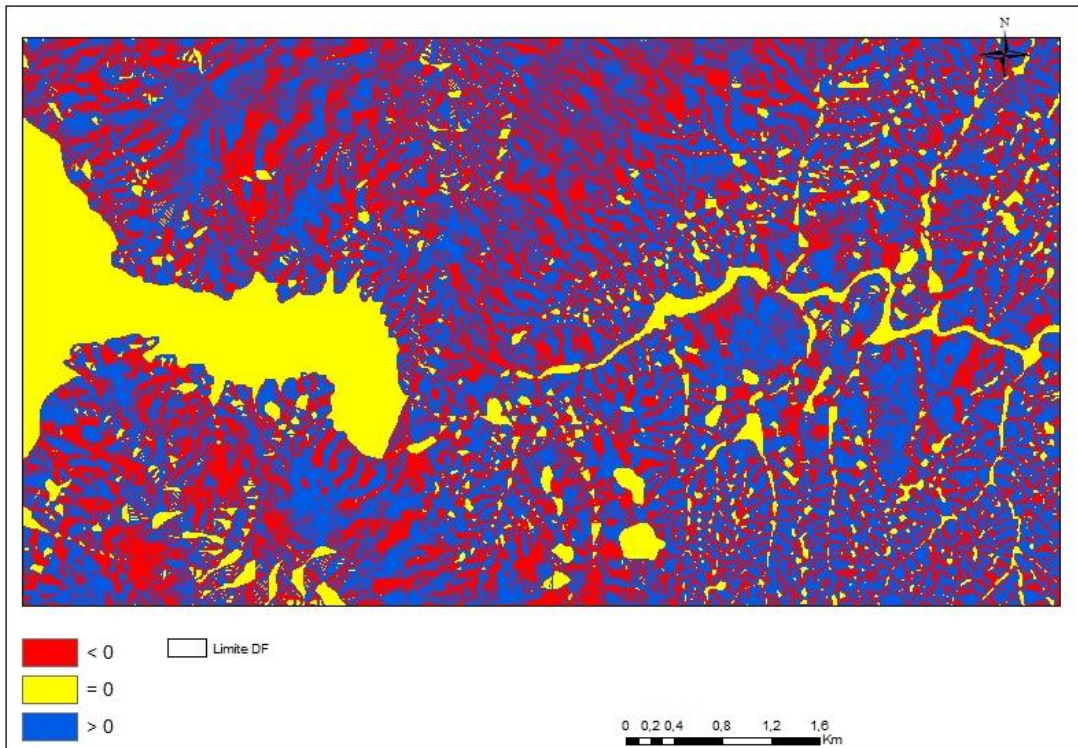


Figura 48 – Curvatura plana 3 classes detalhe

A curvatura em perfil é paralela a direção da rampa máxima . Ela afeta a aceleração e desaceleração do fluxo pela superfície. . A amplitude valores variou entre -1354,69 e 1287,5 O *raster* foi reclassificado em 3 classes: menor que zero (superfície convexa), igual a zero (superfície retilínea) e maior que zero (superfície côncava). A Figura 49 mostra os tipos de curvatura em perfil, a Figura 50 mostra o mapa da curvatura em perfil e a Figura 51 mostra o detalhe da curvatura em perfil.

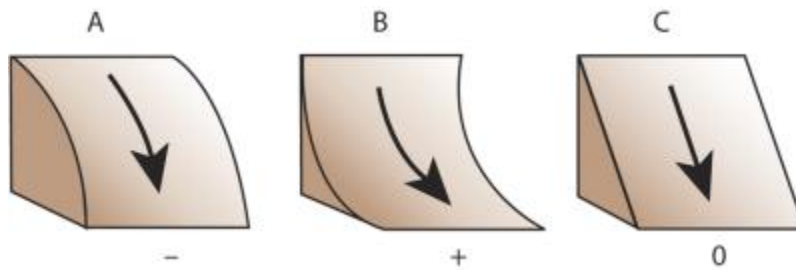


Figura 49 – Ilustração dos tipos de curvatura em perfil

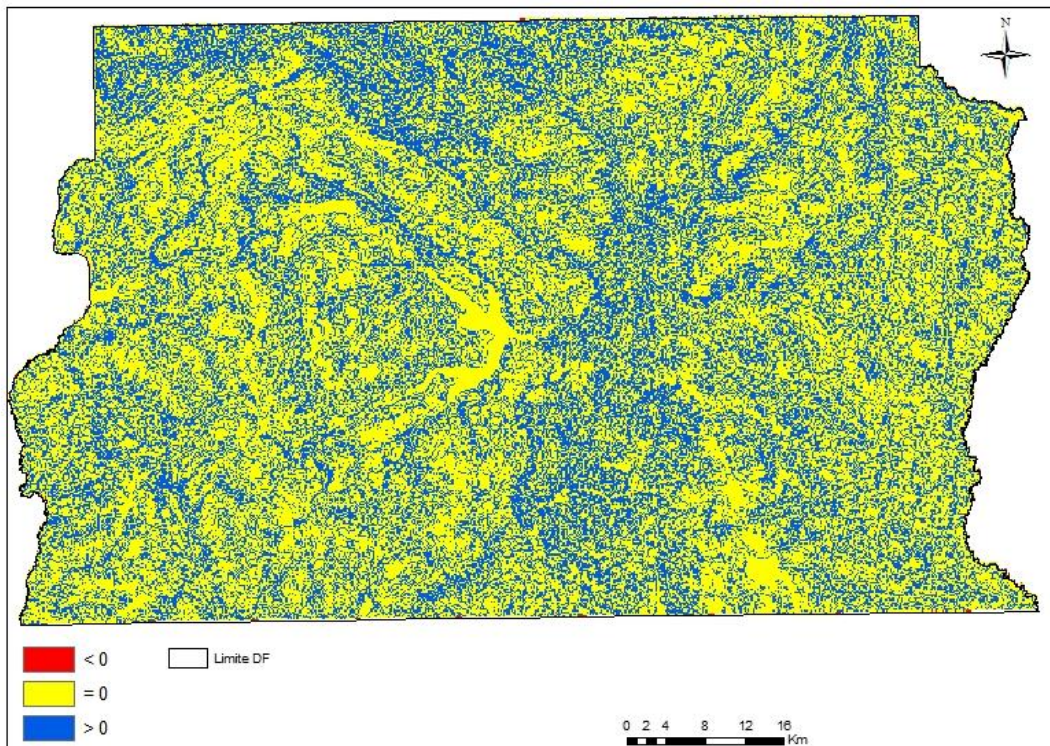


Figura 50 – Curvatura em perfil 3 classes

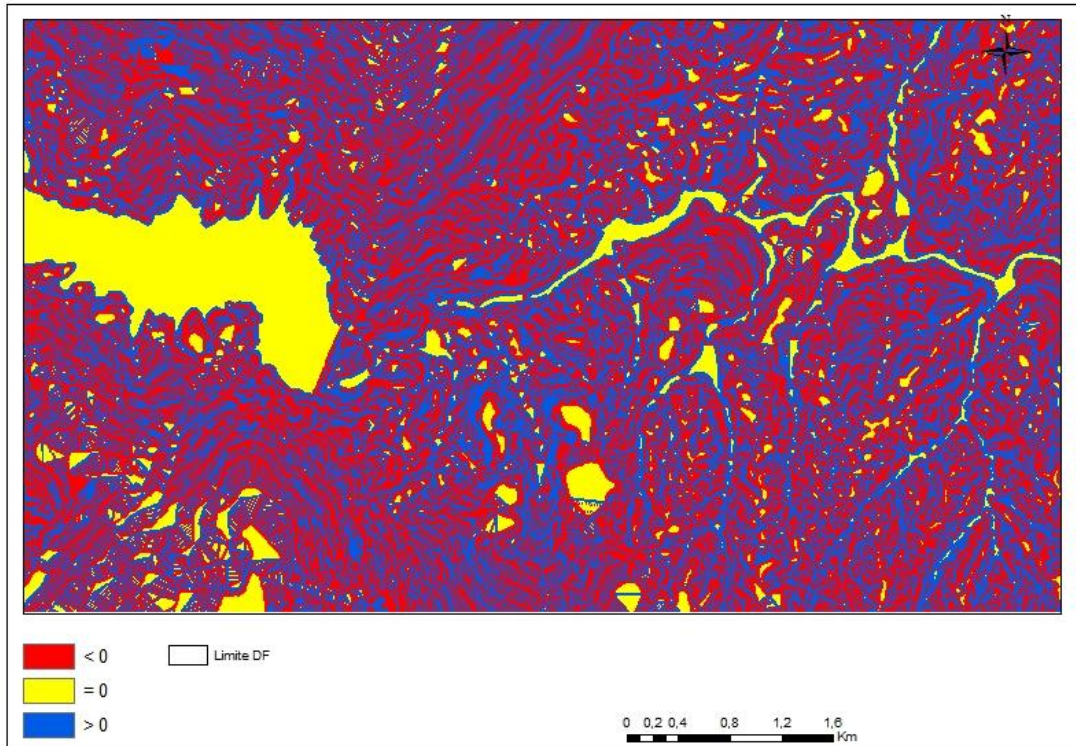


Figura 51– Curvatura em perfil 3 classes detalhe

A declividade foi gerada através do *software* ArcGis 9.3®, módulo *Spatial Analyst*, *surface*, ferramenta *slope*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. Os valores variaram entre 0 e 89°. O *raster* foi reclassificado em 5 classes (0 a 2%), (2 a 5 %), (5 a 10 %), (10 a 20%) e (maior que 20%). As classes foram definidas a partir de uma adaptação de Novaes Pinto, (1994) O mapa de declividade pode ser visualizado na Figura 52.

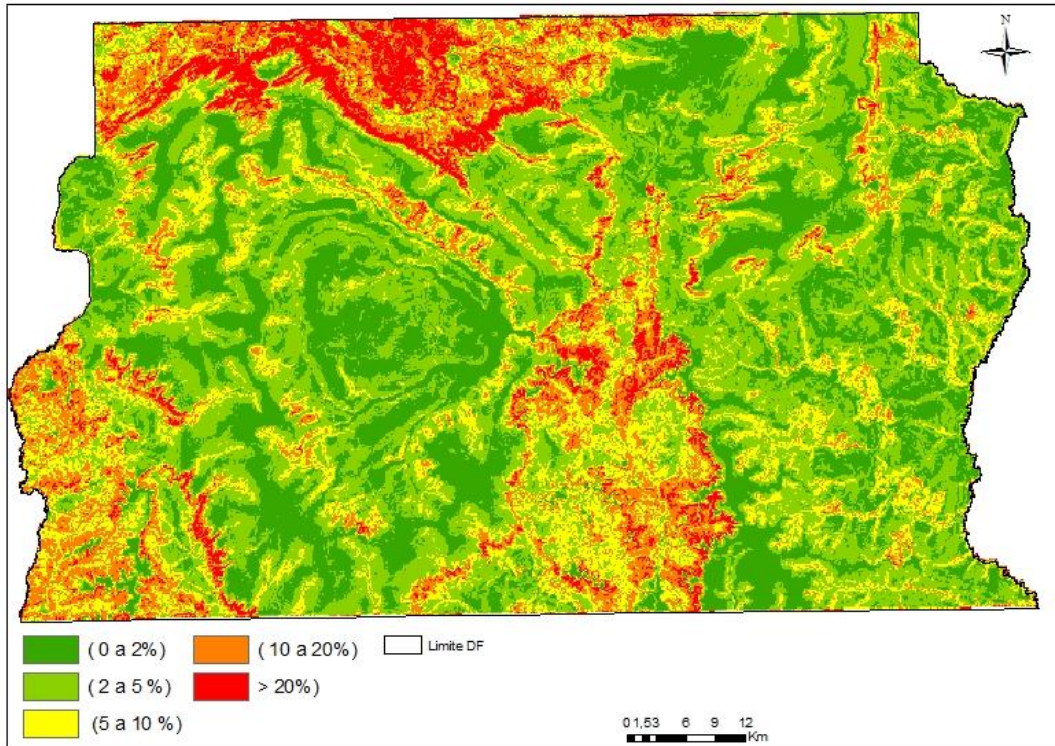


Figura 52 – Mapa de declividade do distrito federal

A Orientação foi gerada através do *software* ArcGis 9.3®, módulo *Spatial Analyst*, *surface*, ferramenta *Aspect*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. A orientação mostra em que ângulo as feições estão orientadas. Variou de 0 a 360°. O *raster* foi reclassificado em 8 classes, a Figura 53 ilustra o tema.

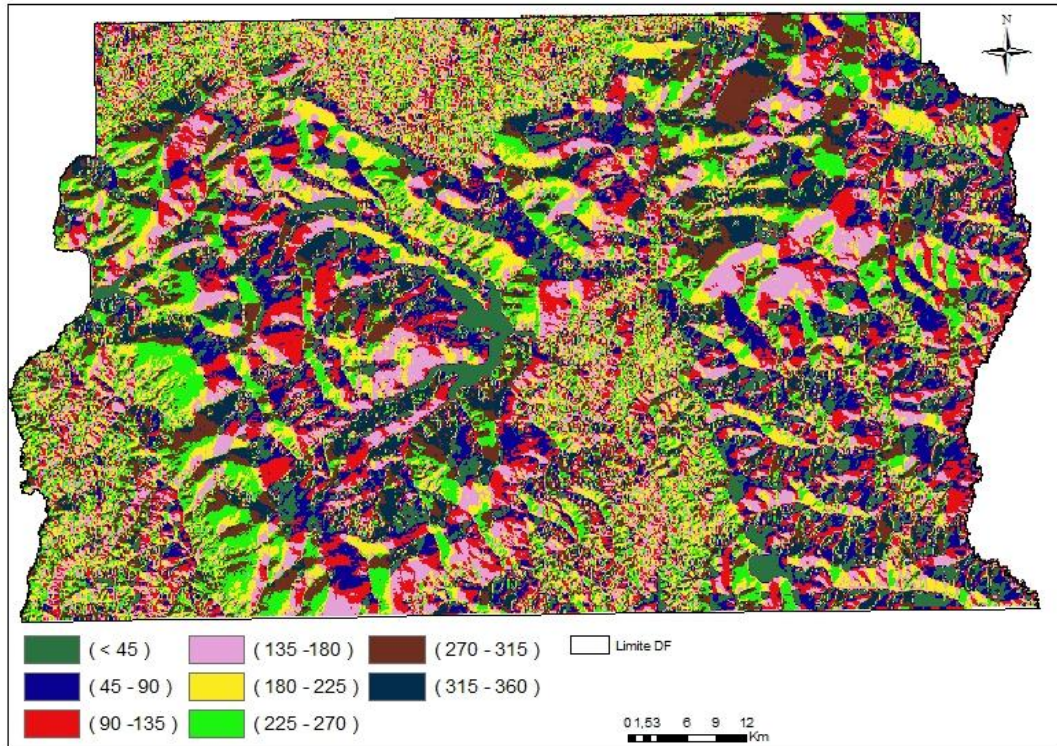


Figura 53 – Mapa de orientação (*aspect*) do distrito federal

Para os temas Hidrografia, nascentes e rodovias foram calculadas as distâncias Euclidianas, como será detalhado a seguir.

A distância Euclidiana da hidrografia foi calculada utilizando o *software* ArcGis 9.3®, módulo *Spatial Analyst, distance*, ferramenta *Euclidean distance*. Os valores da distancia Euclidiana assumem a unidade de medida dos dados, nesse caso a unidade está em metros e aumenta com a medida em que se afasta da linha da hidrografia. Os valores variaram entre 0 e 5656,18m. O *raster* foi reclassificado em 5 classes: (0 a 100), (100 a 200), (200 a 300), (300 a 400) e (maior que 400). A Figuras54 e 55 a seguir ilustram a distância Euclidiana da hidrografiana área de estudo e em detalhe respectivamente.

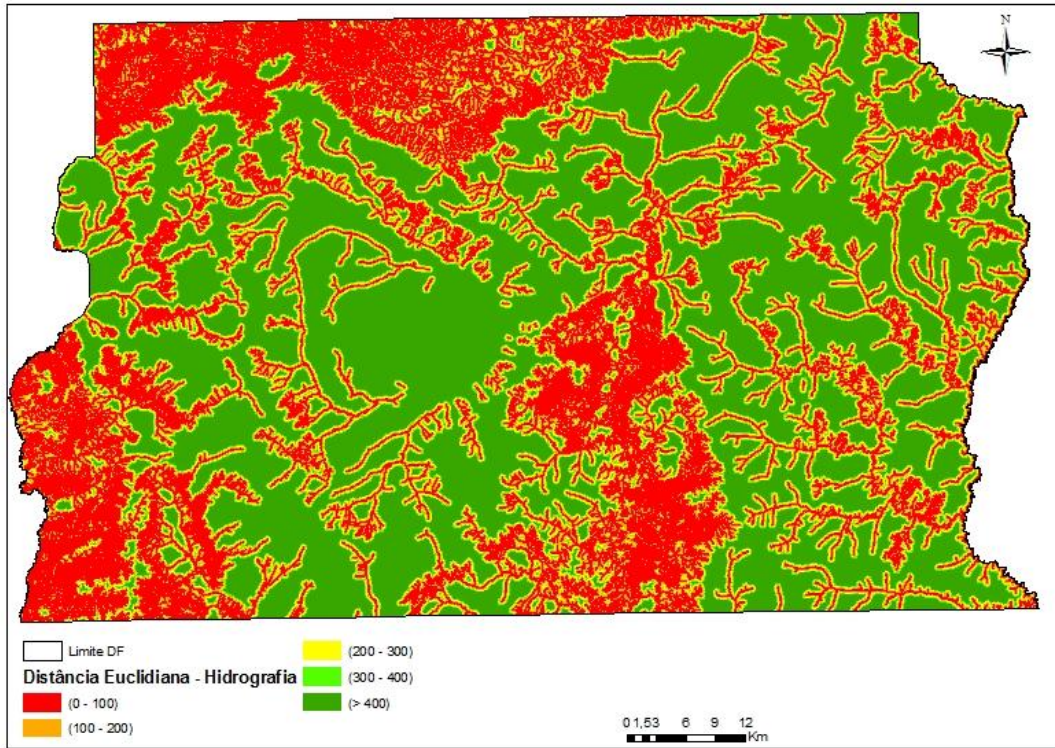


Figura 54 – Distância Euclidiana da hidrografia.

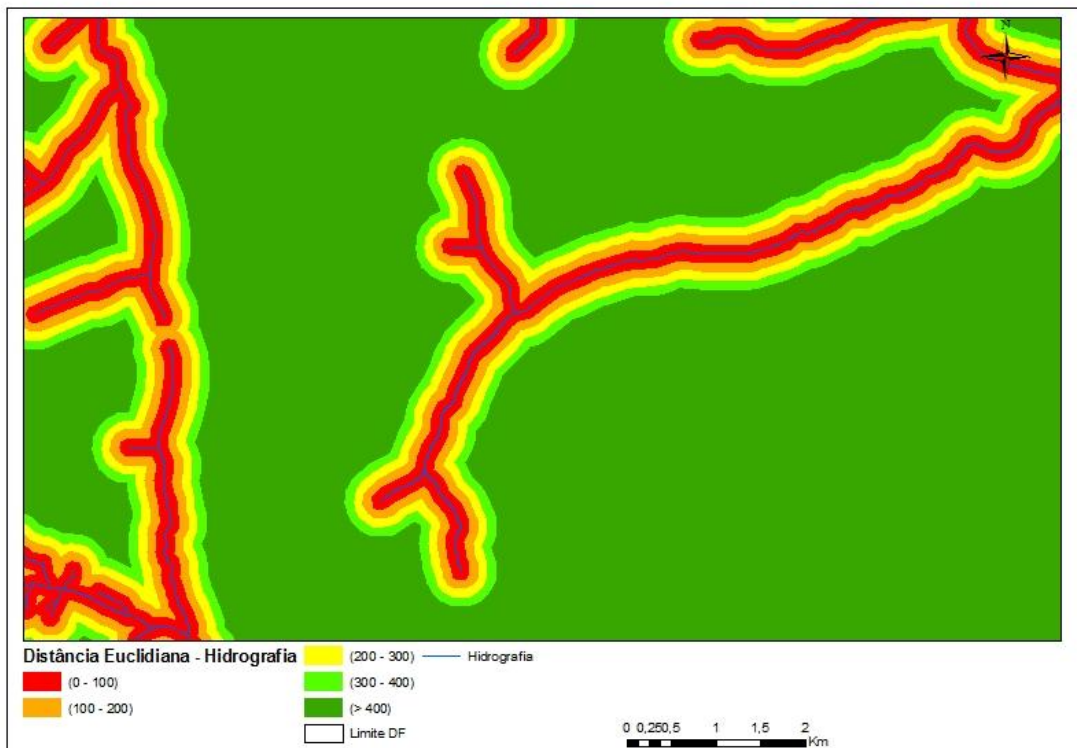


Figura 55 – Distância Euclidiana da hidrografia em detalhe

A distância Euclidiana das nascentes foi calculada utilizando o *software* ArcGis 9.3®, módulo *Spatial Analyst, distance*, ferramenta *euclidean distance*. Os valores da distancia Euclidiana assumem a unidade de medida dos dados, nesse caso a unidade está em metros e aumenta com a medida em que se afasta das nascentes. Os valores variaram entre 0 e 8289,16m. O *raster* foi reclassificado em 5 classes: (0 a 100), (100 a 200), (200 a 300), (300 a 400) e (maior que 400). A Figuras 56 e 57 a seguir ilustram a distância Euclidiana das nascentes na área de estudo e em detalhe respectivamente.

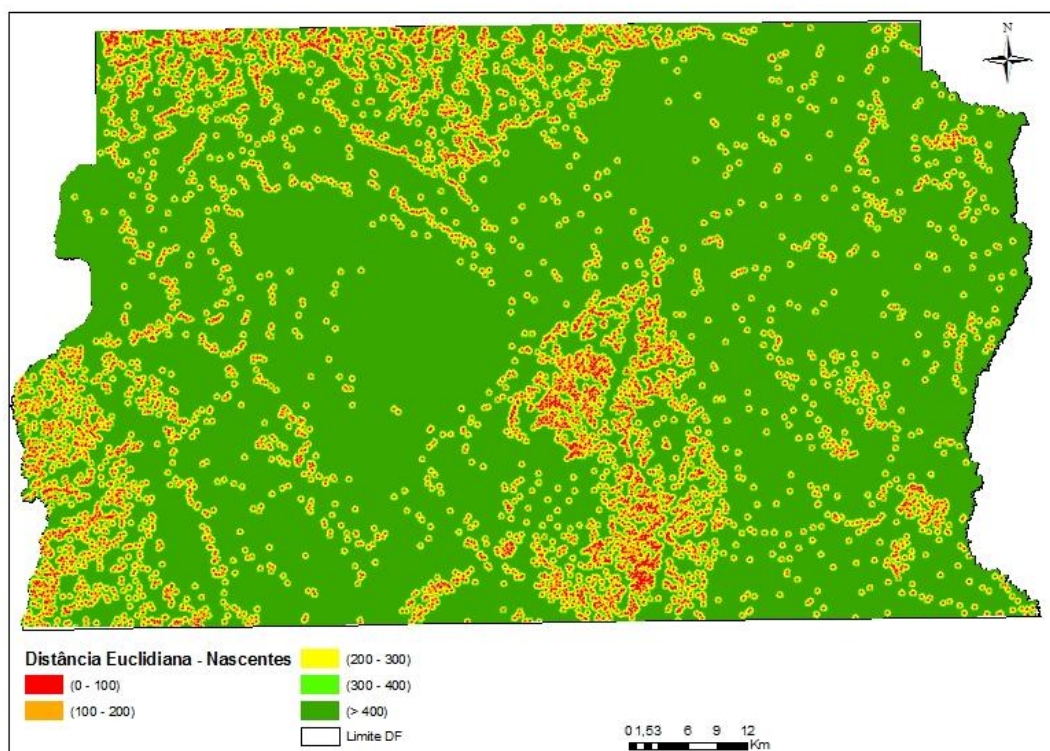


Figura 56 – Distância Euclidiana das nascentes

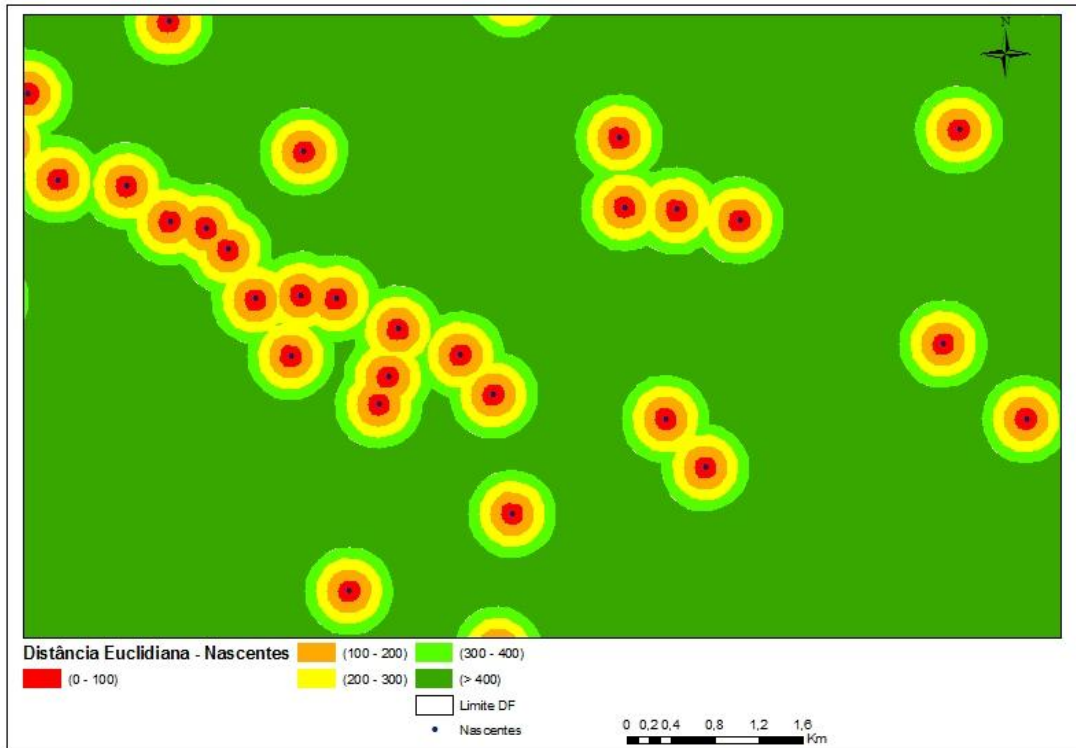


Figura 57 – Distância Euclidiana das nascentes em detalhe

A distância Euclidiana das rodovias foi calculada utilizando o *software* ArcGis 9.3®, módulo *Spatial Analyst, distance*, ferramenta *euclidean distance*. Os valores da distancia Euclidiana assumem a unidade de medida dos dados, nesse caso a unidade está em metros e aumenta com a medida em que se afasta da linha das rodovias. Os valores variaram entre 0 e 9116,34m. O *raster* foi reclassificado em 5 classes: (0 a 100), (100 a 200), (200 a 300), (300 a 400) e (maior que 400). As Figuras 58 e 59 a seguir ilustram a distância Euclidiana das rodovias na área de estudo e em detalhe respectivamente.

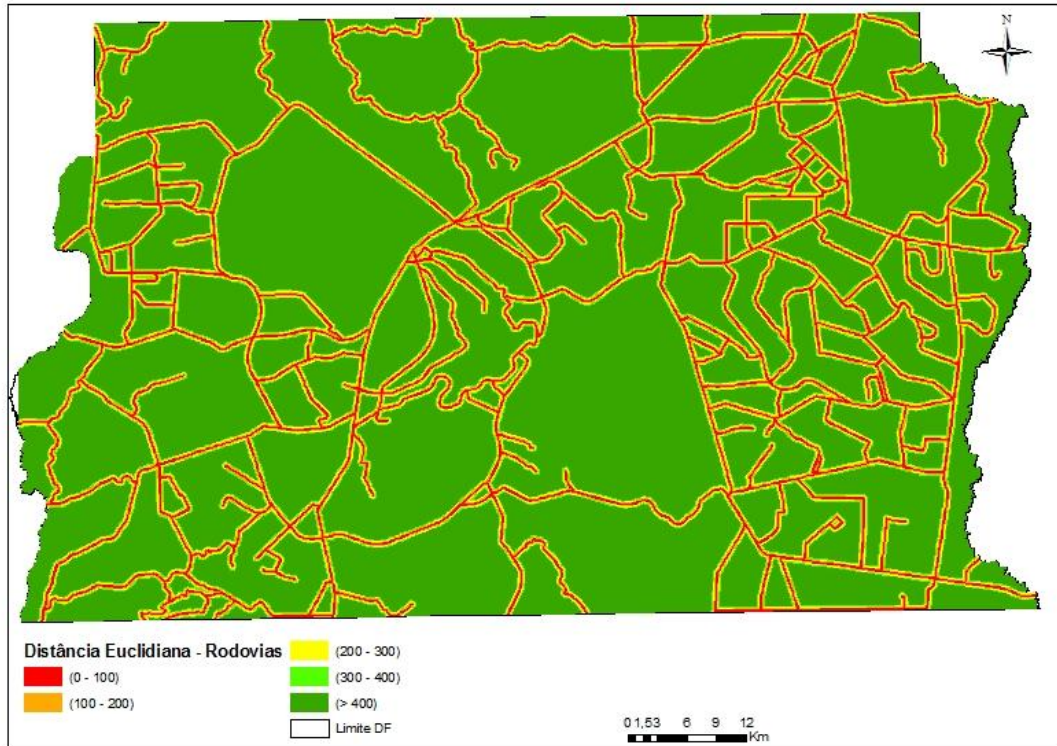


Figura 58 – Distância Euclidiana das rodovias

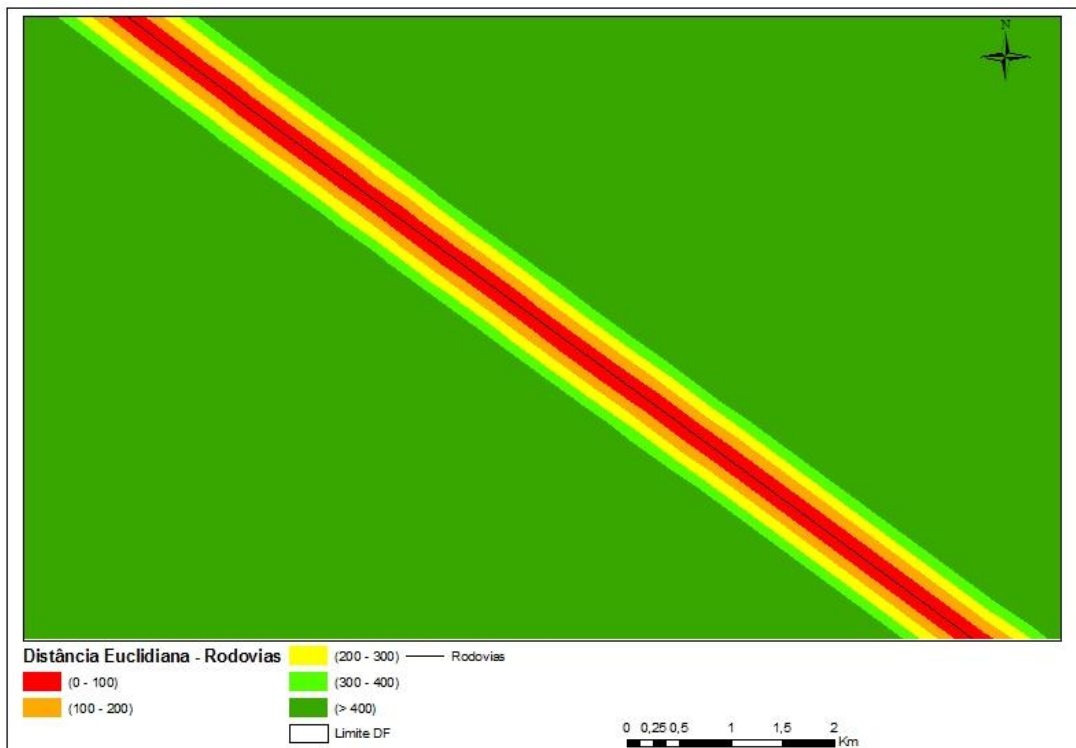


Figura 59 – Distância Euclidiana das rodovias em detalhe

4.3.8 – CRUZAMENTO DE DADOS

Todos os dados foram convertidos para o formato *raster* e foram retiradas as estatísticas dos temas para o Distrito Federal inteiro e para a área de ravinas e voçorocas. A conversão dos dados de vetor para *raster* foi realizada no *software* ArcGis 9.3®, através da ferramenta *Conversion Features to Raster* do módulo *Spatial Analyst*. A estatística foi feita através da ferramenta *Zonal Statistics as Table* do módulo *Spatial Analyst* do *software* ArcGis 9.3®, e os resultados foram expressos no formato de tabelas. As tabelas e gráficos foram editados utilizando o *software* Excel da Microsoft®. No cruzamento dos dados cada um dos 14 temas utilizados foi cruzado individualmente apenas com os polígonos de voçorocas e ravinas, totalizando 15 cruzamentos de dados, incluindo: Acúmulo de fluxo x área de voçorocas e ravinas, Curvatura x área de voçorocas e ravinas, Curvatura em perfil x área de voçorocas e ravinas, Curvatura Plana x área de voçorocas e ravinas, Declividade x área de voçorocas e ravinas, Distância Euclidiana da hidrografia x área de voçorocas e ravinas, Distância Euclidiana das nascentes x área de voçorocas e ravinas, Distância Euclidiana das rodovias x área de voçorocas e ravinas, Geologia x área de voçorocas e ravinas, Geomorfologia x área de voçorocas e ravinas, Isoietas x área de voçorocas e ravinas, Orientação x área de voçorocas e ravinas, Solos x área de voçorocas e ravinas, Vegetação e Uso x área de voçorocas e ravinas e matriz de pesos x área de voçorocas e ravinas. O gráfico normalizado apresentado nos resultados foi gerado a partir da divisão do número de polígonos de determinada classe dentro das áreas de voçorocas e ravinas pela área percentual dessa determinada classe dentro de todo o Distrito Federal.

4.3.9 – MODELAGEM DE DADOS E GERAÇÃO DE MAPA DE RISCO

4.3.9.1 – DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE PESOS

O trabalho tomou como base a metodologia proposta por (BIAS, 1998) que cita sobre a pequena quantidade de trabalhos que utilizaram matriz de ponderação de pesos, contrariamente à utilização da USLE. O autor procurou encontrar formas que pudessem justificar a metodologia de pesos, especialmente para os temas referentes ao solo e ao uso

atual do solo. Isto porque, no que concerne à determinação de pesos para o fator declividade, os critérios utilizados normalmente procuram estabelecer sempre pesos maiores para os maiores graus de declividade.

Assim, as classes de declividade utilizadas foram agrupadas em: <2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20% e > 20%, conforme classificação de Novaes Pinto (1994), recebendo pesos que variaram de 5 a 1 para os graus de declividade de < 2% até > 20%.

Na determinação dos pesos atribuídos às classes de solo, considerou-se os fatores profundidade, textura e o tipo de drenagem, bem como a estrutura. O Quadro 10 apresenta a classificação crescente do aspectos referentes ao solo, através do qual estabeleceu-se a classificação dos pesos por grau de susceptibilidade à erosão.

Quadro 10 – Quadro de susceptibilidade à erosão dos solos.

Profundidade dos solos	Sentido Crescimento	Drenagem dos solos	Sentido Crescimento	Textura dos solos	Sentido Crescimento	Estrutura dos solos	Sentido Crescimento
Led e Lvd		AQ		Hi		Hi	
AQ		Led e Lvd		Led		HLd	
PEd		Ped		Lvd		PEd	
Cd		Cd		PEd		Led e Lvd	
HLd		HLd		HLd		Cd	
Hi		Hi		Cd		AQ	

ROSS (1994) apud BIAS (1998) estabeleceu uma hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal. Conforme pode se verificar no Quadro 11, no qual os graus de proteção estão divididos em: muito alta, alta, muito baixa e nula.

Quadro 11 – Quadro da hierarquia de proteção da cobertura vegetal. Adaptado de ROSS, por BIAS (1998)

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
Muita Alta	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.

Alta	Formações arbustivas naturais com estrato arbóreo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa), mata homogênea de pinus densa, pastagem cultivada com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível (terraceamento com café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucalipto com sub-bosque de nativas).
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento).
Muito baixa ou nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

O Quadro 12 apresenta os pesos para as classes de declividade, solos e uso atual do solo, utilizados por BIAS (1998).

Quadro 12 – Classificação de pesos para declividade, solos e uso dos solos sugerido por BIAS (1998).

DECLIVIDADE (%)	PESO	SOLOS	PESO	USO ATUAL DO SOLO	PESO
>20	1	Cambissolo – Cd	1	Campo (Limpo, Sujo)	7
10 – 20	2	Areia Quartzosa – AQ	2	Cerrado (Strictu Sensu)	7
5 – 10	3	Podzólico Verm. Amarelo Ped	3	Pecuária (Pastagem)	6
2 – 5	4	Latossolo Verm. Amarelo LVd	4	Agricultura	5
< 2	5	Latossolo Verm. Escuro Led	4	Ind. E Abatedouros	4
		Laterita Hidromórfica Dist. HLd	5	Mata Galeria	3
		Hidromórfico – Hi	6	Área Degradada	2
				Espraço Urbano	1

Segundo BIAS (1998) na tabela de atributo de cada um dos temas foi criado um campo numérico chamado peso e atribuídos os valores mostrados no quadro 12 para cada uma das classes dos temas. Os três temas foram convertidos para o formato *raster* e depois foram realizadas somas dos arquivos *rasters* onde cada célula (*pixel*) foi somada com a de outro tema individualmente. O resultado foi um arquivo *raster* contendo a soma dos pesos dos três temas, posteriormente reclassificado em quatro classes, conforme representado no Quadro 13.

Quadro 13 – Divisão dos pesos por classes de susceptibilidade

Faixas de pesos	Classe de susceptibilidde
17 - 14	Fraca
13 - 9	Moderada
8 - 5	Forte
4 - 1	Muito Forte

Com base na metodologia e os critérios definidos por BIAS (1998) buscou-se fazer adaptações de acordo com as especificidades das classes dentro dos temas de declividade, uso do solo e solos do Distrito Federal. A definição dos pesos e da classificação são mostrados nos Quadros 14 a 16.

Quadro 14 – Definição dos pesos das classes de declividade proposta neste trabalho

Declividade (%)	Peso
1 (0 a 2%)	1
2 (2 a 5 %)	2
3 (5 a 10 %)	3
4 (10 a 20%)	4
5 (maior que 20%)	5

Quadro 15 – Definição dos pesos das classes de solos proposta neste trabalho

Solo	Peso
CambissoloHaplico	6
Latossolo Vermelho	2
Latossolo Vermelho Amarelo	3
Nitossolo Vermelho	4
GleissoloHaplico	1
NeossoloFluvico	4
NeossoloQuartzarenico	5
EspodossoloFerriluvico	2
PlintossoloPetrico	1
Argissolo Vermelho Eutrofico+ ChernossoloHaplico	2
Lagos	0

Quadro 16 – Definição dos pesos das classes uso do solo e vegetação proposta neste trabalho

Uso e Vegetação	Peso
Agricultura	5
Formação Campestre	4
Área degradada	7
Pecuária	5
Formação Campestre degradada	6
Formação Savânica	3
Formação Savânica degradada	6
Formação Florestal	1
Área Urbana e Urbanizada	6
Malha de transporte	6
Mineração	7
Área verde intra urbana	4
Áreas úmidas	2
Reflorestamento	3
Represas, Lagos, Lagoas e Rios	0

Todos os procedimentos metodológicos referentes à matriz de pesos foram realizados utilizando o *software* ArcGis 9.3®. Criou-se um campo numérico chamado peso e foram atribuídos os valores referentes a cada classe de dado. Após o fim da edição dos campos os temas no formato vetorial foram convertidos para o formato *raster* com o *pixel* de 10 metros. Depois, utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, dentro do módulo *Spatial Analyst* os temas foram somados, de forma que a célula de cada um DOS foi somada. O resultado foi um arquivo *raster* contendo o somatório dos pesos das classes para cada célula.

A amplitude de valores do somatório dos variou entre 1 e 18 e foi dividido em 5 classes de risco conforme apresentado no Quadro 17.

Quadro 17 – Definição das classes de risco de acordo com os pesos

Risco	Intervalo
Muito baixo	1 a 4
Baixo	5 a 8
Moderado	9 a 11
Alto	12 a 14
Muito alto	15 a 18

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DE CAMPO

Os Pontos checados para a avaliação da acurácia do mapeamento, assim como suas respectivas caracterizações estão apresentados a seguir nas Figuras 60 a 66 e nos Quadros 18 a 21

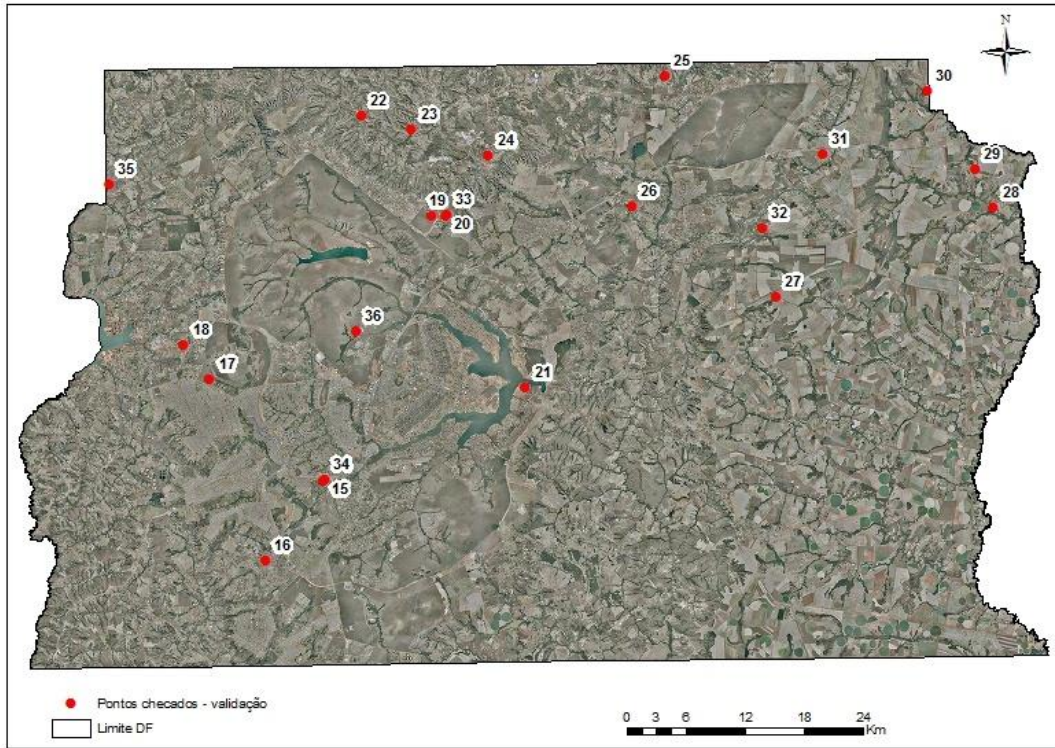


Figura 60 – Pontos checados na validação de campo sobrepondo o mosaico de aerofotogramas do Distrito Federal



Figura 61 – Checagem de campo pontos 15 a 18



Figura 62 – Checagem de campo pontos 19 e 22

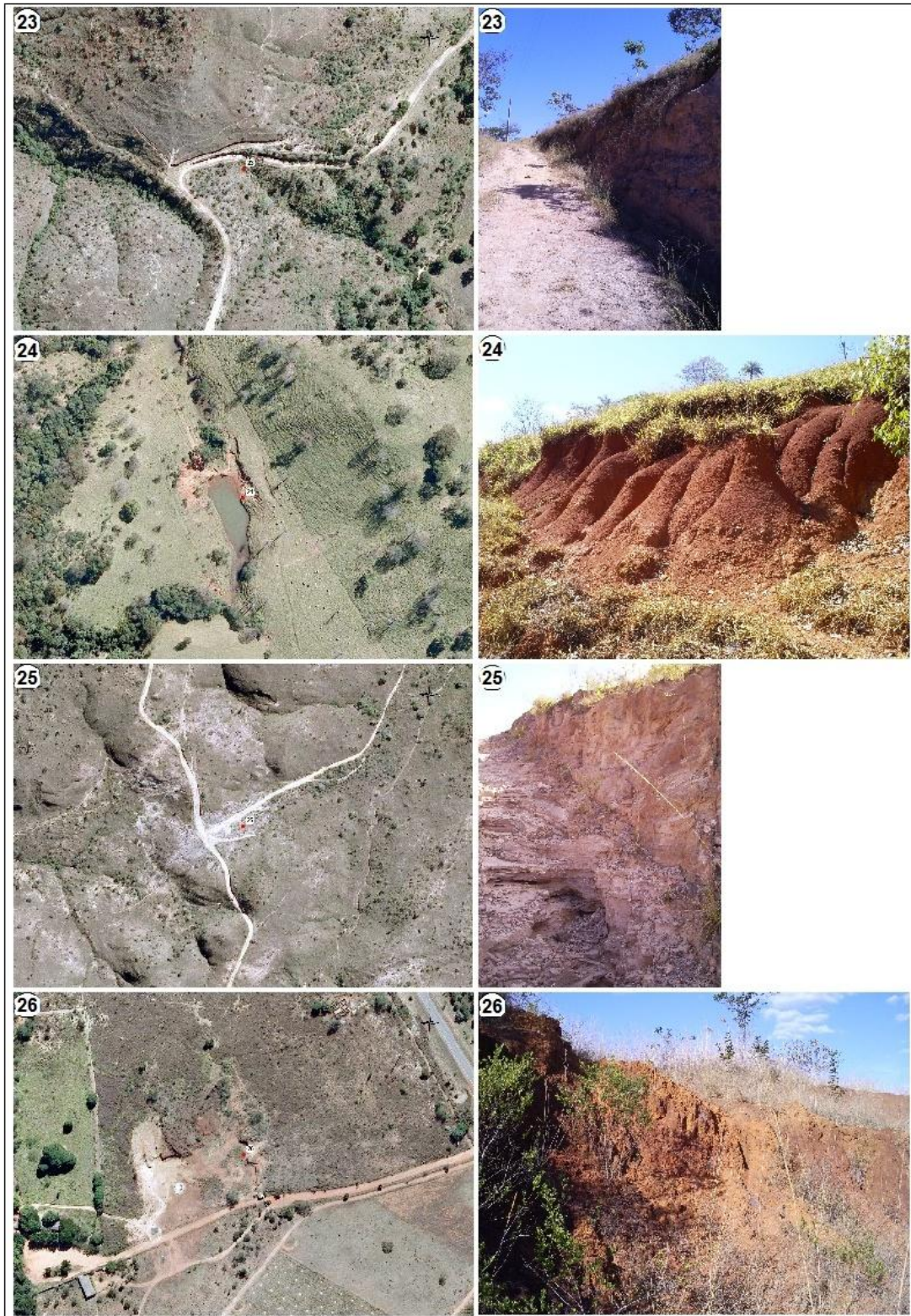


Figura 63 – Checagem de campo pontos 23 e 26



Figura 64 – Checagem de campo pontos 27 a 30



Figura 65 – Checagem de campo pontos 31 e 34



Figura 66 – Checagem de campo pontos 35 e 36

Quadro 18 - Descrição da checagem de campo para a validação do mapeamento

Ponto Campo	Descrição	Voçoroca
15	Região de voçorocas, área degradada, voçoroca pequena a média, declividade de média a alta.	Sim
16	Não possui as características clássicas de um voçoroca, área de solo exposto / empréstimo para a rodovia, área em erosão.	Não
17	Região de pastagem, com declividade média a baixa, não foi possível checar o ponto de perto.	Não foi possível checar
18	Região de pastagem - impossível prosseguir, curvas de nível, solo exposto	Não foi possível checar

19	Área degradada, afloramentos, rocha exposta , mas não possui as características clássicas de voçoroca,	Não
20	Área degradada, afloramentos, rocha exposta, exploração mineral, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
21	Área de cerrado <i>strictu sensu</i> , alterado e gramíneas, não foi possível checar o ponto de perto	Não foi possível checar
22	Barranco,talude de corte, solo exposto, estrada abandonada, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
23	Barranco, talude de corte, solo exposto, estrada abandonada, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
24	Voçorocas e ravinas em estágio inicial, lagoa para gado, erosão das encostas, pastagens e solo exposto.	Sim
25	Área degradada, solo exposto, material pedregoso exposto, processo inicial de formação de ravinas e voçorocas	Sim
26	Área degradada, solo exposto, desbarrancamento, pastagem ao redor, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
27	Talude de corte da estrada, vegetação gramínea predomina sobre a feição, pastagem não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
28	Voçoroca mais de 2 metros de profundidade, solo exposto, pastagem ao redor.	Sim
29	Região de plantação de milho e pastagem, não foi possível checar o ponto de perto.	Não foi possível checar
30	Voçoroca mais de 2 metros de profundidade, solo exposto, pastagem ao redor	Sim
31	Voçoroca pequena em torno de 1m de profundidade, solo	Sim

	exposto, pastagem ao redor.	
32	Área degradada, solo exposto, afloramentos, formação de lagoas, barranco, não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
33	Área degradada, afloramentos, rocha exposta, exploração mineral, mas não possui as características clássicas de voçoroca.	Não
34	Região de voçorocas, área degradada, voçoroca pequena a média, declividade de média a alta.	Sim
35	Não foi possível checar	Não foi possível checar
36	Não foi possível checar	Não foi possível checar

Quadro 19 – Resultado da checagem de campo resumida

Classe	Valor
Amostrados	22
Pontos de voçorocas e ravinas	7
Pontos sem voçorocas e ravinas	9
Impossível checar	6

Quadro 20 – Resultado da checagem de campo detalhada

Classe	Total	Dúvida	Voç.	Não voç.	Impossível checar	Voç. Total	Não voç. Total
Pontos de voçorocas e ravinas	50	20	6	9	5	36	
Pontos sem voçorocas e ravinas	50	2	1	0	1		48
Total	100	22	7	9	6	36	48

Quadro 21 – Resultados da Matriz de confusão para o mapeamento de ravinas e voçorocas no Distrito Federal

	Classificação			Total	Acurácia do Produtor	Subestimado
		Voçoroca	Não Voçoroca			
Verdade (Campo)	Voçoroca	36	1	37	0,97	2,7%
	Não voçoroca	9	48	57	0,84	15,8%
	Total	45	49	94		
Acurácia do Usuário	0,80	0,98				
Superestimado	20%	2%				
Acurácia total	0,893617021	89%				
Índice <i>Kappa</i>	0,869	86,9%				

Com base nos resultados deste mapeamento foi mapeado um total de 1094 ravinas e voçorocas no Distrito Federal até 2009. Estas áreas ocupavam uma área de 64,88 hectares, correspondentes a 0,01% da área de estudo. Relativamente, trata-se de uma pequena porção do território estudado. Tratam-se, porém, de áreas intensivamente impactadas por processos erosivos e de difícil recuperação (FERREIRA *et al.*, 2009; GUERRA, 2005; PRUSKI, 2009).

Para este mapeamento foi estimado uma acurácia total de 89%, o que é considerada uma acurácia muito boa. O índice *Kappa* foi de aproximadamente 87%, que é considerado uma excelente acurácia. Em torno de 20% das áreas mapeadas como ravinas ou voçorocas foram consideradas superestimação e outros 2,7% como subestimação. Aproximadamente

2% das áreas mapeadas como não ravinas ou voçorocas foram consideradas superestimação e outros 15,8% destas áreas como subestimação (Quadro 21).

5.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TAMANHO, FORMA E AGRUPAMENTO DAS VOÇOROCAS E RAVINAS

Em relação ao tamanho dos polígonos de voçorocas e ravinas, observou-se que a maior quantidade de polígonos apresentavam áreas variando entre 100 e 200 m². A partir deste tamanho observou-se uma diminuição praticamente gradual da quantidade de polígonos enquanto que, simultaneamente, houve um aumento do tamanho dos polígonos. Observar Quadro 22 e Figura 67.

Quadro 22 – Resultado da distribuição das classes de tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas

Tamanho m2	Quantidade de polígonos
< 100	146
De 100 a 200	227
De 200 a 300	175
De 300 a 400	118
De 400 a 500	85
De 500 a 600	46
De 600 a 700	54
De 700 a 800	30
De 800 a 900	36
De 900 a 1000	26
De 1000 a 2000	96
>2000	55
Total	1094
Média	593,1
Desvio padrão	949,7

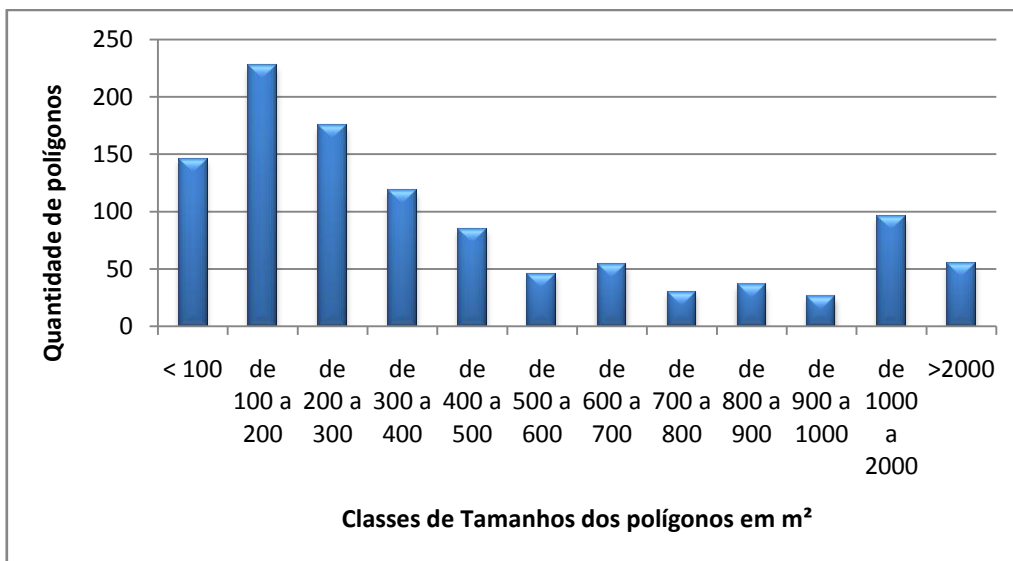


Figura 67 – Gráfico de distribuição das classes de tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas

Quanto à forma dos polígonos, observou-se que a maior quantidade de polígonos apresentava dimensão fractal entre 1,6 e 1,8. Isto indica que grande parte dos polígonos apresenta uma forma intermediária entre uma linha e um círculo, com uma tendência maior aproximando-se a formas mais circulares. De forma geral, a distribuição da quantidade de polígonos em relação às suas respectivas classes de forma definida pela dimensão fractal pode ser considerada uma distribuição normal dos valores (Quadro 23 e Figura 68).

Quadro 23 – Resultado da distribuição das classes da dimensão fractal dos polígonos de voçorocas e ravinas

Dimensão fractal (forma)	Quantidade de polígonos
<1,4	43
De 1,4 a 1,6	301
De 1,6 a 1,8	459
De 1,8 a 2,0	271
>2,0	20
Total	1094
Média	1,686355
Desvio padrão	0,165758

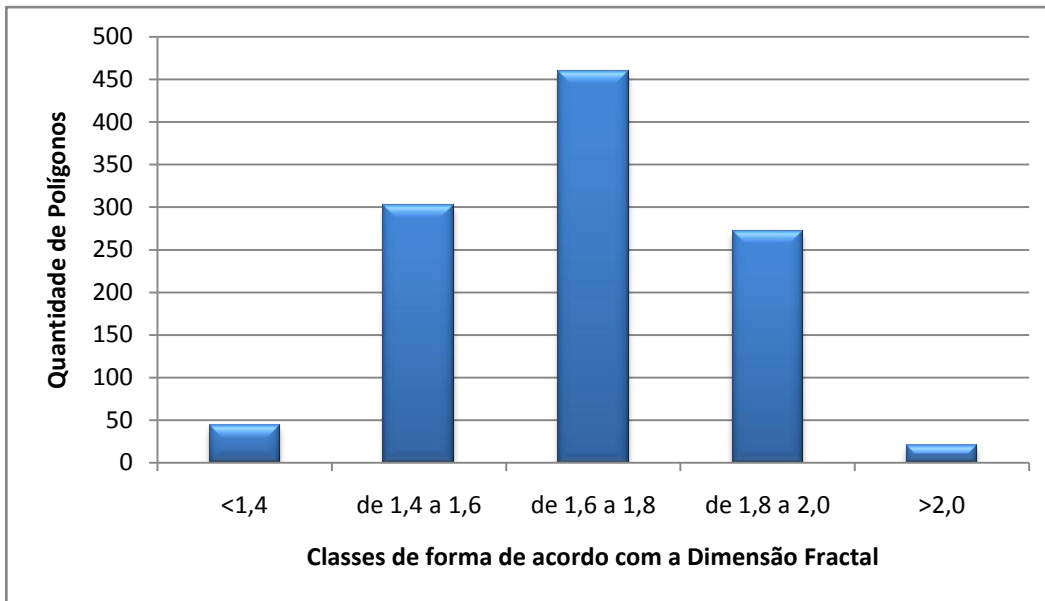


Figura 68 – Gráfico da distribuição das classes da dimensão fractal

Ainda com base nos resultados deste estudo, observou-se que as áreas de ravinas e voçorocas no Distrito Federal estão significativamente (com 99% de probabilidade) distribuídas espacialmente de forma agrupada. Ou seja, existe menos de 1% de chance que a ocorrência destes fenômenos erosivos estejam distribuídos de forma aleatória. Este tipo de distribuição espacial indica que fatores locais estão influenciando a sua ocorrência e, portanto, deve ser mais bem investigado e entendido (Figura 69).

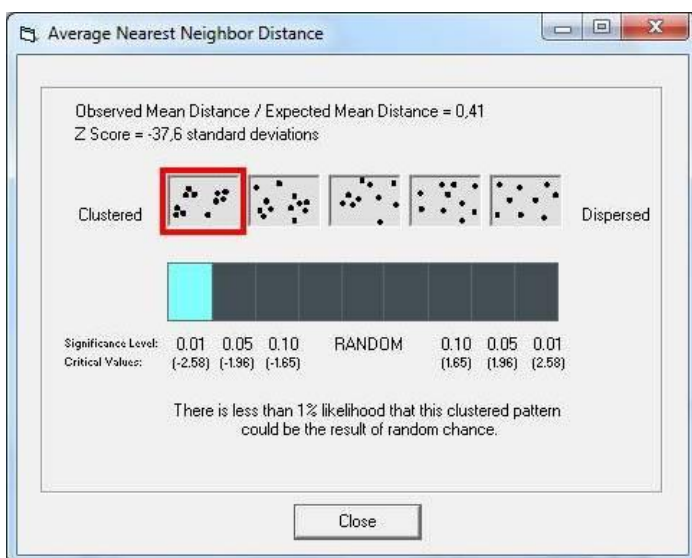


Figura 69 – Resultado do agrupamento dos polígonos de voçorocas e ravinas

5.3 – RESULTADOS DO CRUZAMENTO DOS TEMAS

O Quadro 24 mostra todos os dados que foram analisados e a quantidade de classes de cada um dos temas.

Quadro 24 – Temas utilizados no cruzamento de dados

Número	Tema	Número de Classes
1	Acúmulo de fluxo	5
2	Curvatura	3
3	Curvatura em perfil	3
4	Curvatura Plana	3
5	Declividade	5
6	Distância Euclidiana da hidrografia	5
7	Distância Euclidiana das nascentes	5
8	Distância Euclidiana das rodovias	5
9	Geologia	11
10	Geomorfologia	5
11	Isoietas	8
12	Orientação	8
13	Solos	10
14	Vegetação e Uso	15

5.3.1 – ACÚMULO DE FLUXO

O acúmulo de fluxo representa a quantidade de células ou *pixels* que drenam ou fluem para uma determinada célula. O resultado do acúmulo de fluxo está representado em percentagens no Quadro 25.

O gráfico representado na Figura 70 demonstra que existe maior concentração percentual de áreas de voçorocas e ravinhas nos valores (maior que 10 e menor ou igual a 100), no entanto esse intervalo corresponde à área que possui maior valor percentual dentro do Distrito Federal.

Quadro 25– Resultado do Acúmulo de fluxo

Acúmulo de fluxo	Quantidade voçorocas	Voçorocas (%)	Hectares DF	DF (%)	Nº Polig/Área%DF
≤ 2	136	13%	117.524,84	20%	669,88
> 2 e ≤ 5	162	16%	71.152,95	12%	1.317,98
> 5 e ≤ 10	159	16%	74.753,34	13%	1.231,27
> 10 e ≤ 100	380	38%	251.460,62	43%	874,78
>100	176	17%	63.984,70	11%	1.592,29
Total	1013	100%	578.876,45	100%	

O gráfico representado na Figura 70 demonstra que existe maior concentração percentual de áreas de voçorocas e ravinas nos valores (maior que 10 e menor ou igual a 100), no entanto esse intervalo corresponde à área que possui maior valor percentual dentro do Distrito Federal.

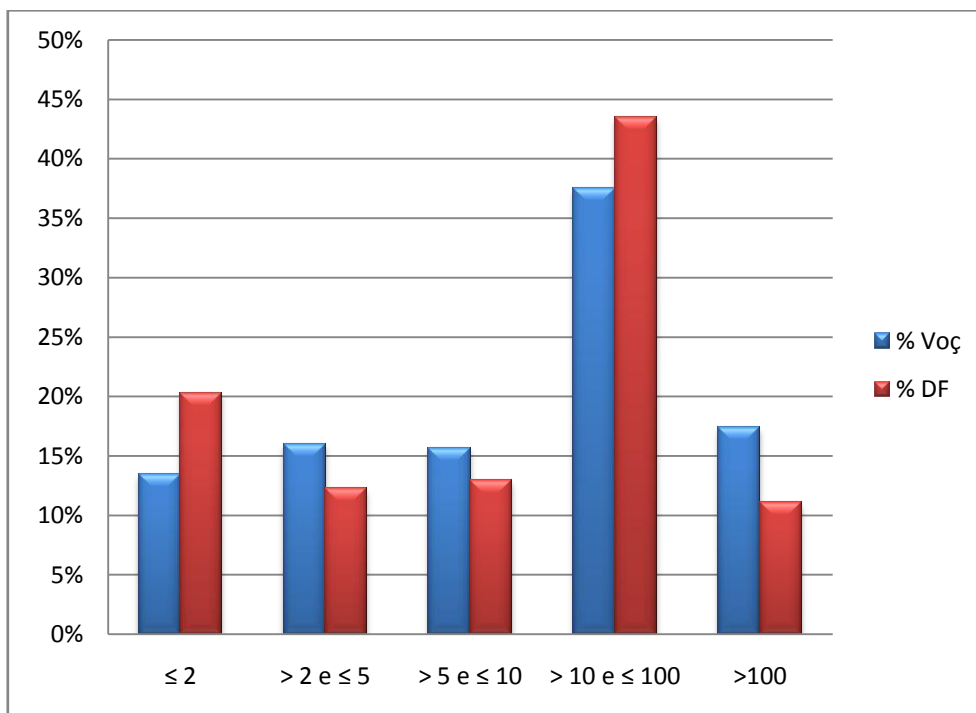


Figura 70 – Gráfico do Acúmulo de fluxo - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

O gráfico apresentado na Figura 71 demonstra que o valor maior que 100 está ressaltado em relação aos outros valores, mostrando que, proporcionalmente, as áreas com maior acúmulo de fluxo são as que apresentam maior susceptibilidade à ocorrência de voçorocas e ravinas. No entanto o gráfico não apresenta uma curva bem definida.

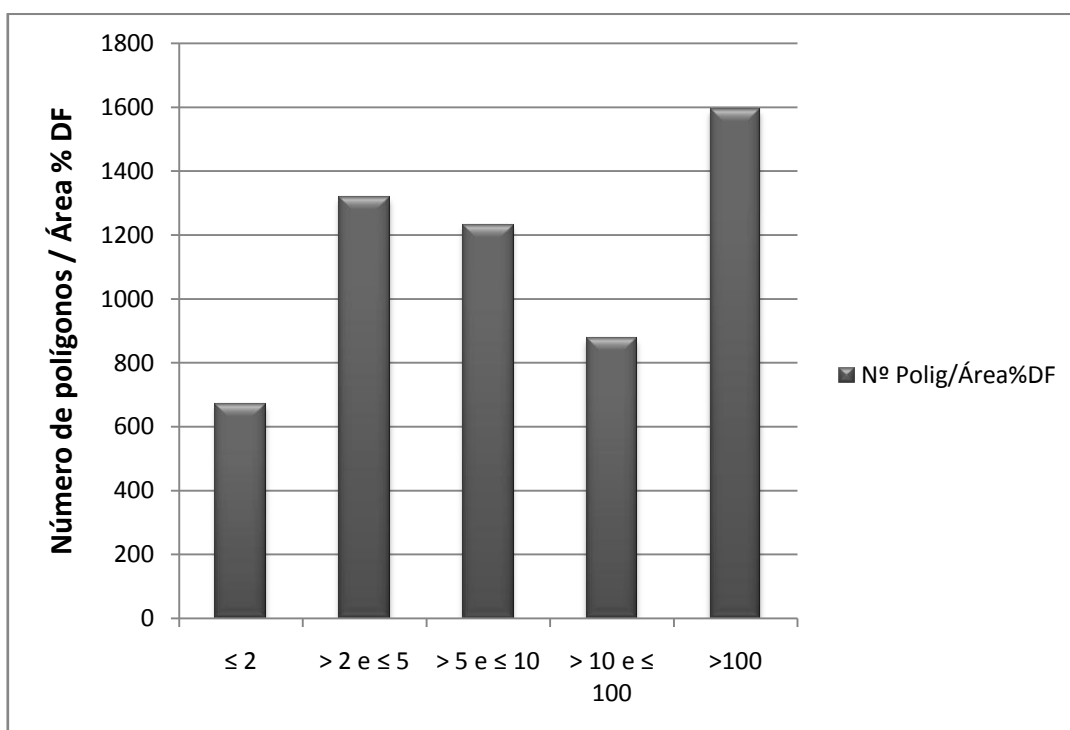


Figura 71 – Gráfico do Acúmulo de fluxo – Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.2 – CURVATURA

De acordo com o gráfico na Figura 72, observa-se uma maior concentração das áreas de voçorocas e ravinas nas regiões com relevo côncavo e uma pequena concentração no relevo retilíneo. No gráfico normalizado apresentado na Figura 73 observa-se o predomínio do relevo côncavo nas áreas de voçorocas e ravinas ainda mais pronunciado. Os resultados estão apresentados em números e porcentagens no Quadro 26.

Quadro 26 - Resultado da Curvatura

Curvatura	Quantidade	Forma	Voçoroca (%)	DF (%)	Nº Polig/Área%DF
< 0	580	Côncavo	57%	40%	1434,150616
0	18	Retilíneo	2%	10%	179,5154065
>0	415	Convexo	41%	50%	837,859979
Total	1013		100%	100%	

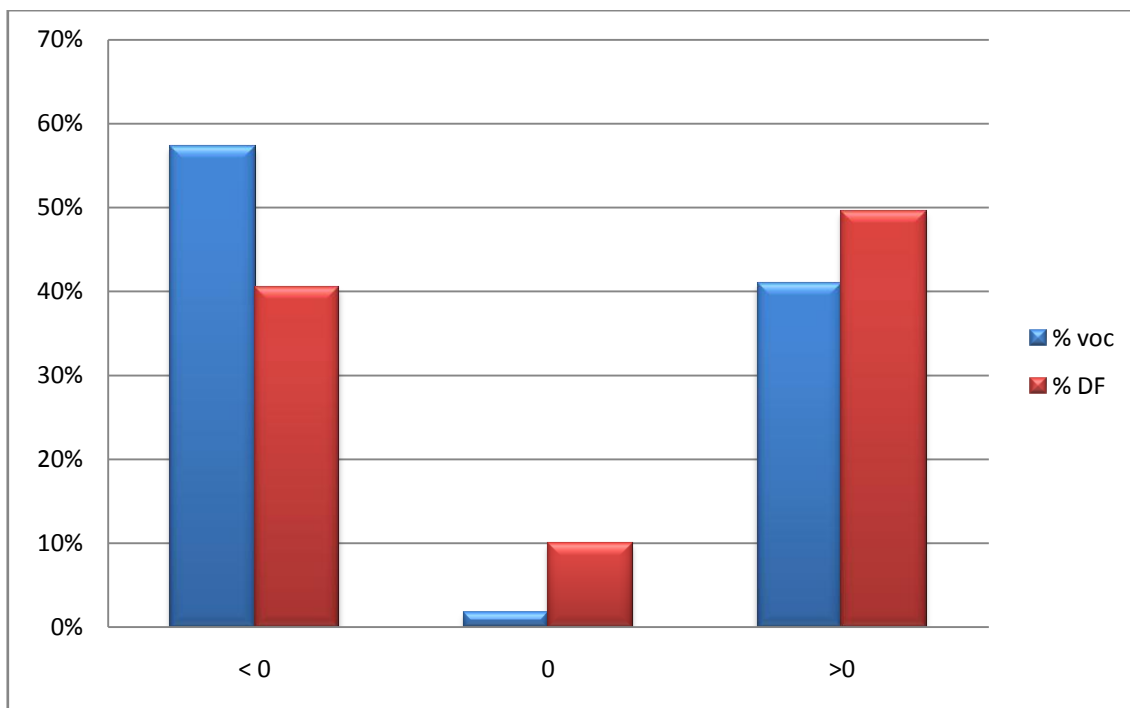


Figura 72 – Gráfico da Curvatura - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

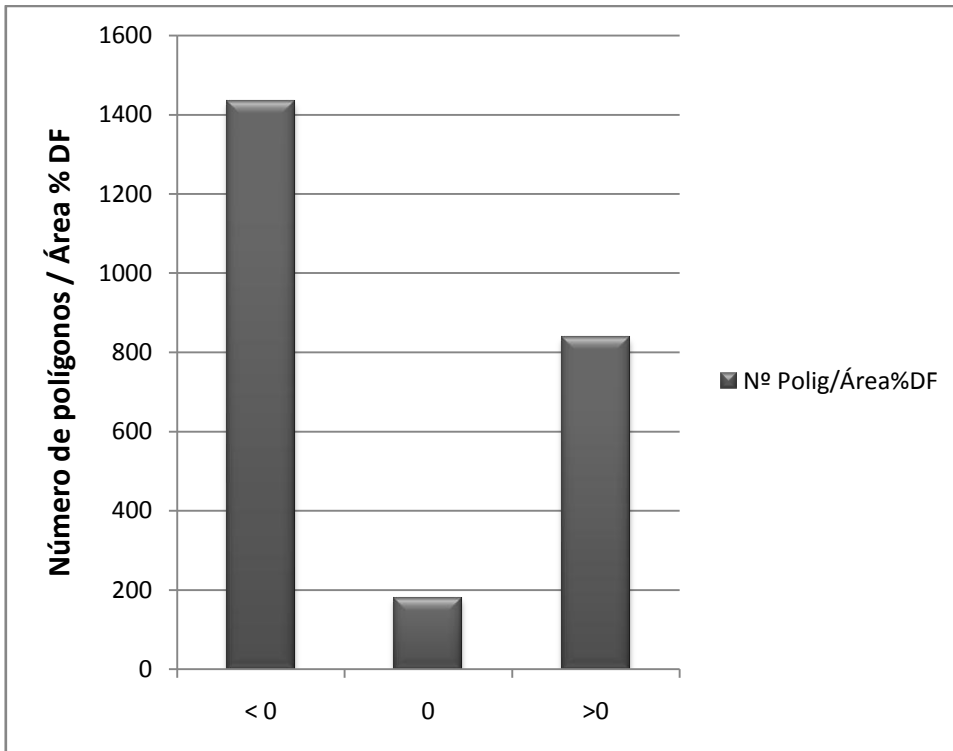


Figura 73 – Gráfico da Curvatura - Número de Polígonos /Área percentual do DF

No entanto MARTINS FILHO *et al.* (2009) concluiu que as pedoformas convexas apresentam as maiores perdas de solo, risco de erosão e potencial natural de erosão e menor espessura do horizonte A+E, indicando forte dependência espacial dos atributos com a forma do relevo, já a pedoforma côncava têm maior variabilidade espacial, demonstrando que a forma do relevo condiciona padrões diferenciados de variabilidade. A magnitude da variabilidade dos atributos do solo é mais influenciada pela forma do relevo que pela erosão. A pedoforma côncava possui maior remoção nas partes mais altas e maior acúmulo nas áreas mais baixas.

5.3.3– CURVATURA EM PERFIL

No Quadro 27 e Figura 74 pode-se observar um predomínio dos valores maior que zero, o que representa predomínio das áreas de ravinas e voçorocas em relevo côncavo, onde há uma maior aceleração e deposição do fluxo. A presença dos valores menores que zero também é considerável. O gráfico normalizado, na Figura 75, ressalta a presença dos valores maiores que zero (relevo côncavo).

Quadro 27 – Resultado da Curvatura em perfil

Curvatura em perfil	Quantidade	Forma	Voçoroca (%)	DF (%)	N° Polig/Área%DF
< 0	456	Convexo	45%	47%	968,25
0	15	Retilíneo	1%	9%	165,03
>0	542	Côncavo	54%	44%	1.237,02
Total	1013		100%	100%	

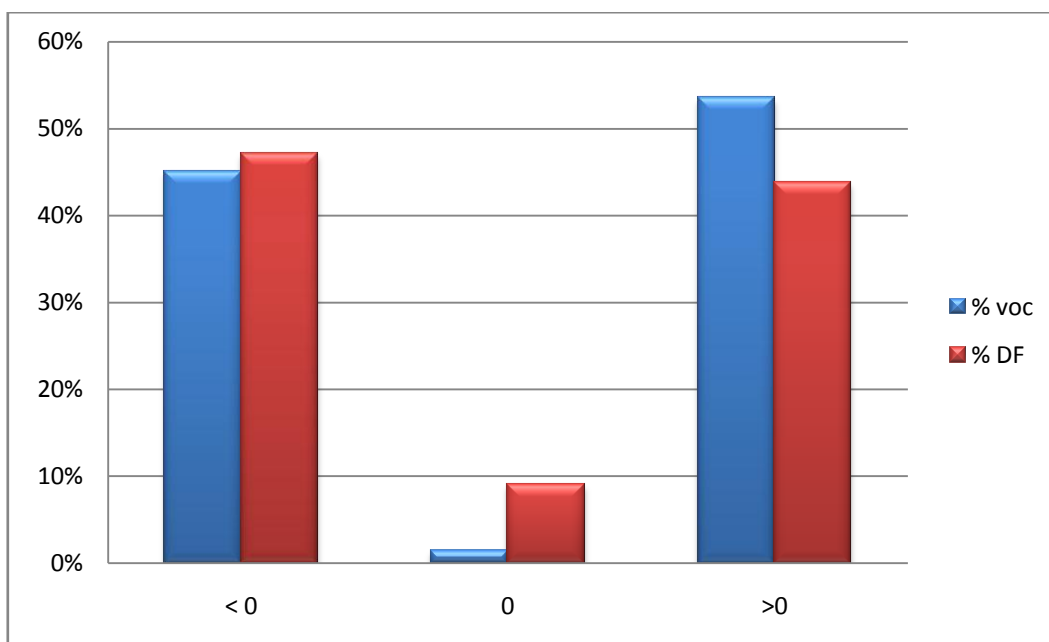


Figura 74 – Gráfico da Curvatura em perfil- Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

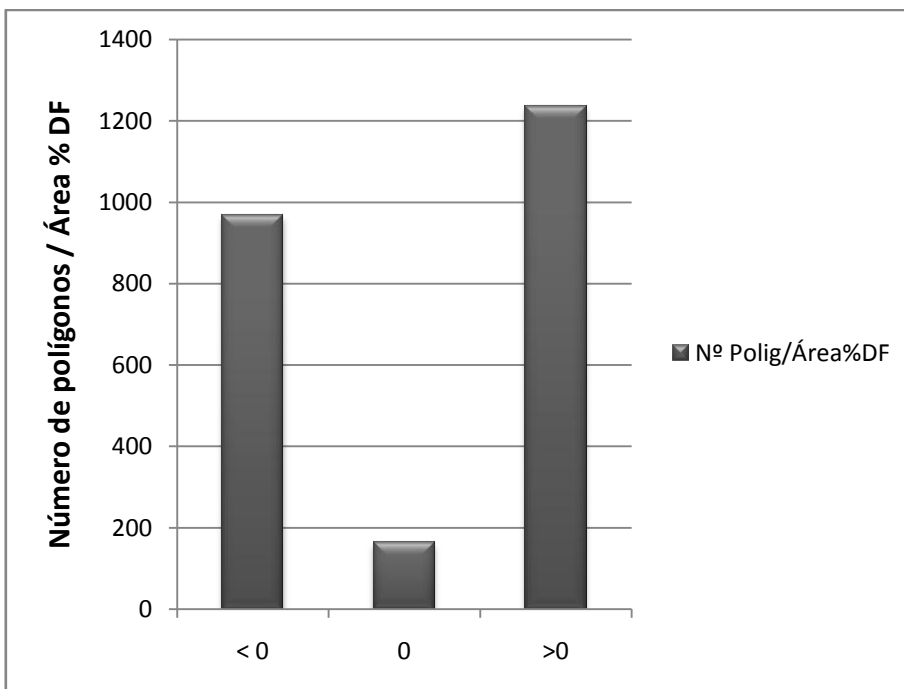


Figura 75 – Gráfico da Curvatura em perfil- Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.4 – CURVATURA PLANA

No gráfico da curvatura plana (Figura 76) observa-se o predomínio dos valores maiores que zero, que representa que a maior parte das áreas de voçorocas e ravinas estão localizadas em regiões onde há acúmulo de fluxo. O gráfico normalizado (Figura 77) ressalta ainda mais este resultado, mostrando que são áreas críticas para a erosão. O Quadro 28 mostra os resultados de curvatura plana.

Quadro 28 – Resultado da Curvatura Plana

Curvatura plana	Quantidade	Forma	Voçoroca (%)	DF (%)	Nº Polig/Área%DF
< 0	562	Côncavo	55%	40%	1.421,93
0	27	Retilíneo	3%	11%	254,45
> 0	424	Convexo	42%	50%	850,29
Total	1013	Convexo	100 %	100%	850,29

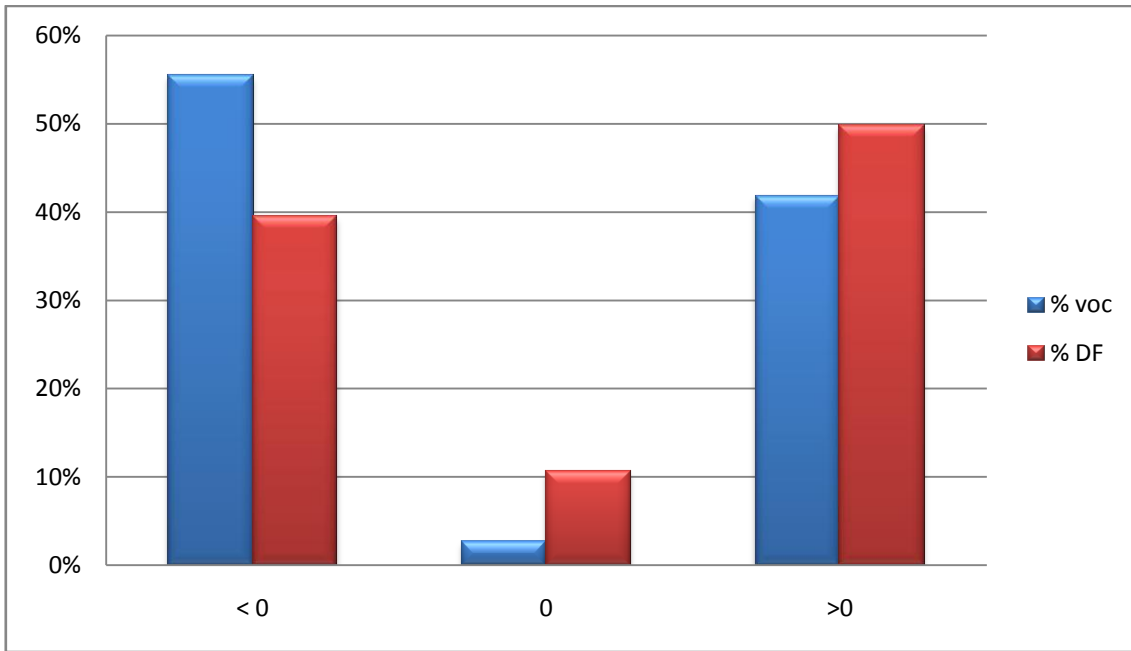


Figura 76 – Gráfico da Curvatura plana - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

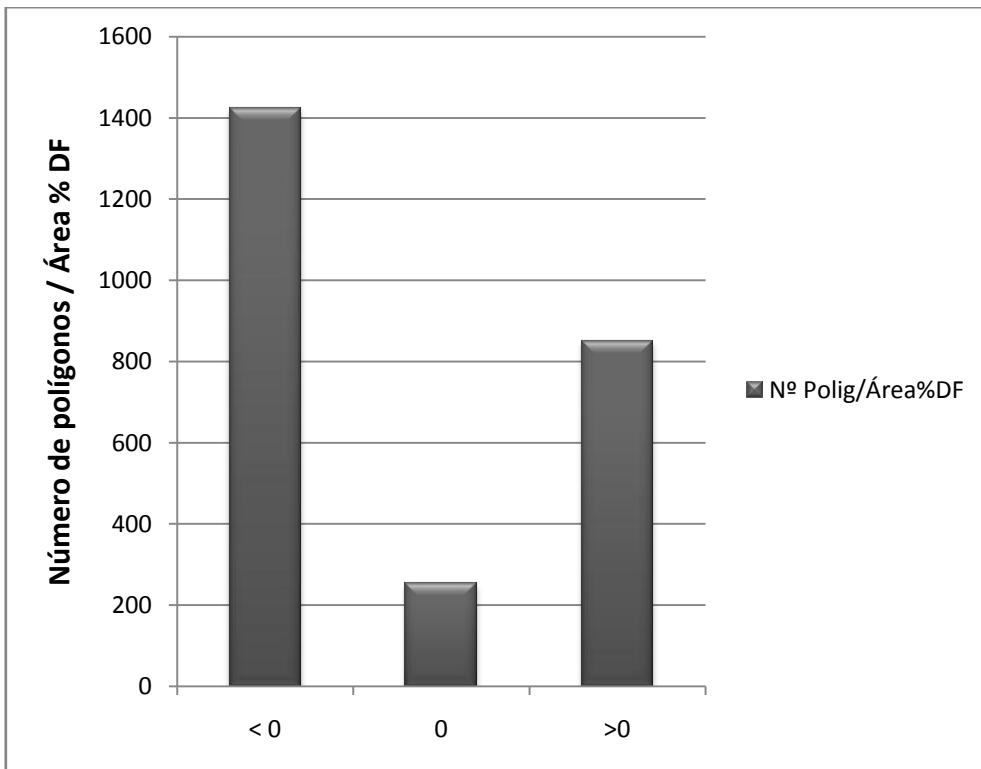


Figura 77 – Gráfico da Curvatura plana - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.5 – DECLIVIDADE

Com base na análise dos dados de declividade do Distrito Federal observou-se que as áreas de voçorocas e ravinas estão mais concentradas nas classes de declividade de (5 a 10%) e de (10 a 20%). As amostras estão organizadas no Quadro 29. O gráfico normalizado (Figura 78) ressalta estas duas classes citadas e também destaca as declividades superiores a 20%. Esse resultado mostra que as classes com maiores declividades são críticas para a ocorrência de erosões do tipo ravinas e voçorocas. Segundo FRAGA JUNIOR *et al.* em experimentos com simulador de chuva concluiu que o aumento da declividade influencia no volume de água escoada.

Quadro 29 – Resultado da Declividade

Declividade (%)	Poligono(s)	Hectare(s)	Área Voçoroca (%)	Área DF (%)	Nº Polig/Área%DF
1 (0 a 2%)	433	6,64	10%	34%	1.260,26
2 (2 a 5 %)	931	14,03	22%	37%	2.536,79
3 (5 a 10 %)	1164	20,66	32%	15%	7.888,08
4 (10 a 20%)	768	18,56	29%	10%	7.822,25
5 (maior que 20%)	200	4,99	8%	4%	4.579,35
Total	3496	64,88	100%	100%	

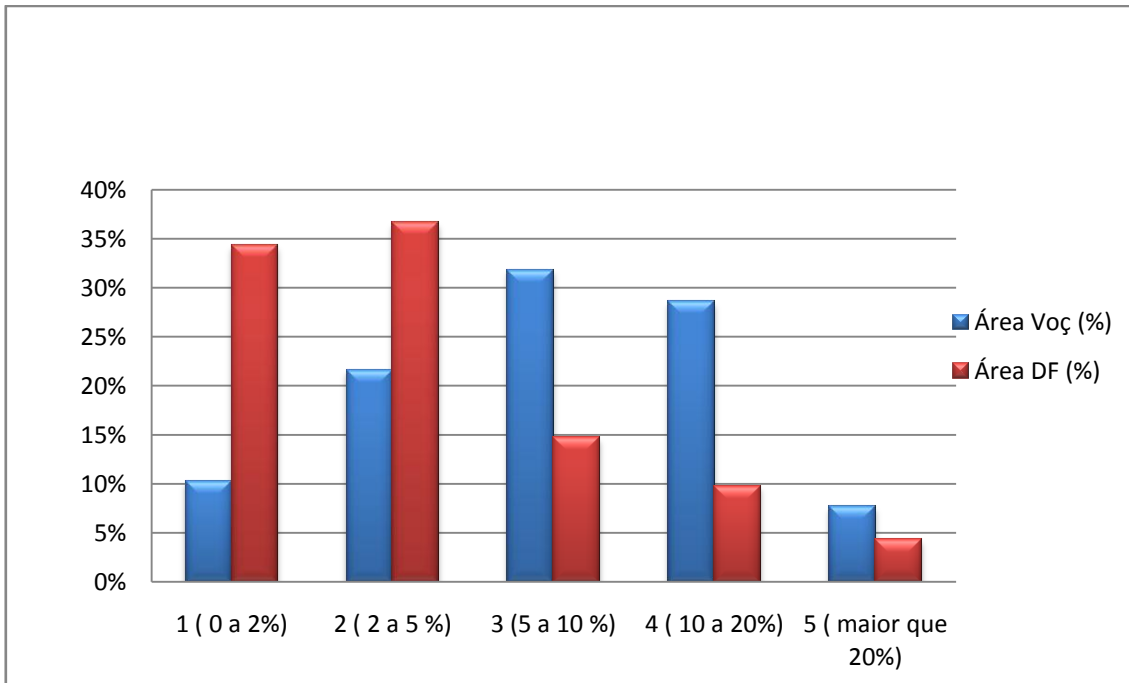


Figura 78 – Gráfico da Declividade - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

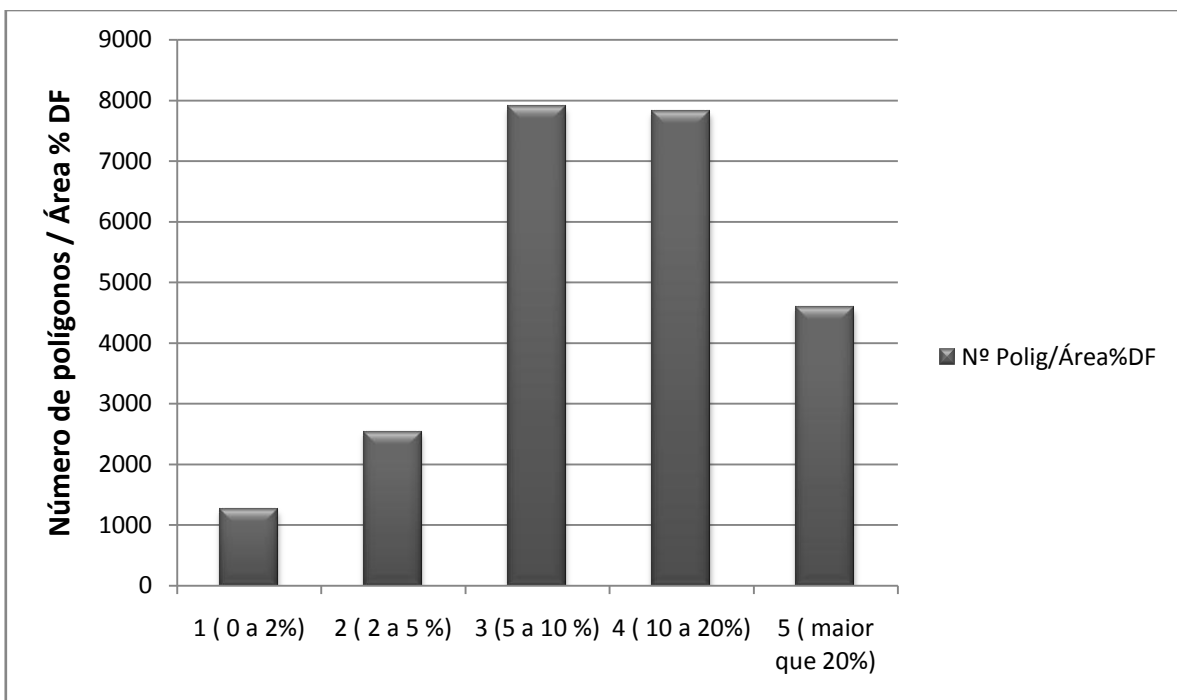


Figura 79 – Gráfico da Declividade - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.6 – DISTÂNCIA EUCLIDIANA DA HIDROGRAFIA

O gráfico na Figura 80 mostra uma maior concentração das áreas de voçorocas e ravinas nas distâncias mais próximas dos cursos d'água (de 0 a 100 metros) e uma diminuição gradual, o que indica essas áreas como sendo críticas para ocorrência. No entanto o gráfico normalizado (Figura 81) indica que a classe de 100 a 200 metros, proporcionalmente se destaca, seguido das classes 200 a 300 e 300 a 400, indicando que estas 3 classes também são críticas. Distâncias maiores que 400 já não são significativas. O Quadro 30 mostra os resultados da distância Euclidiana da hidrografia.

Quadro 30 – Resultado da distância Euclidiana da hidrografia

Dist. Euclidiana	Quant. Voçoroca	Área Hectares Voçoroca	AREA (%) Voçoroca	AREA (%) DF	N° Polig/Área%DF
(0 - 100)	22	40,1066	62%	29%	75,65
(100 - 200)	51	8,5262	13%	13%	400,40
(200 - 300)	25	5,2101	8%	8%	294,52
(300 - 400)	17	3,2061	5%	7%	247,48
(> 400)	14	7,8337	12%	43%	32,69
TOTAL	129	64,8827	100%	100%	

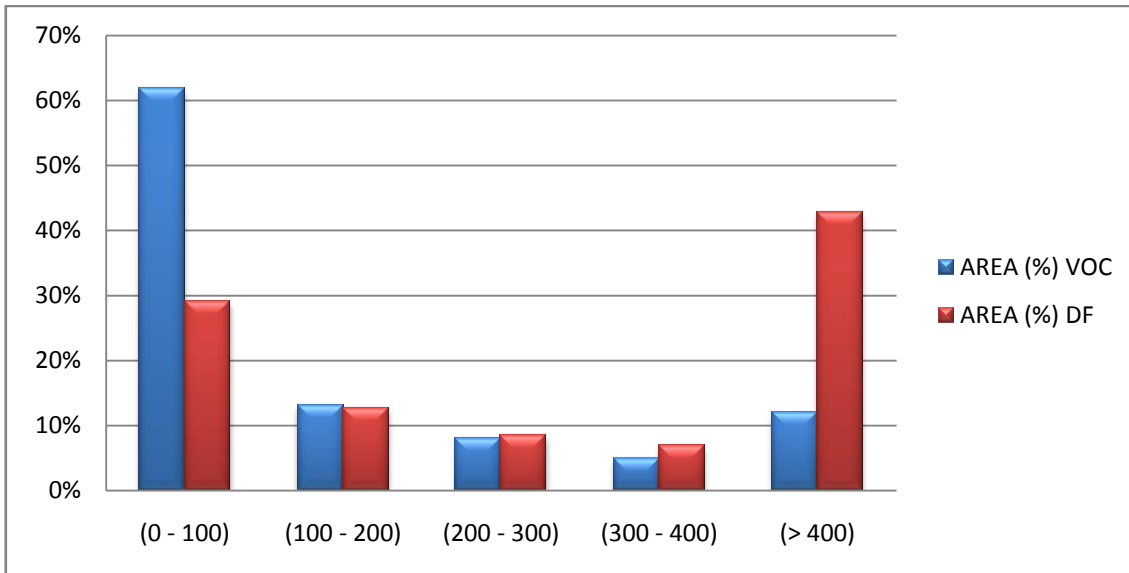


Figura 80 – Gráfico da Distância Euclidiana - Hidrografia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

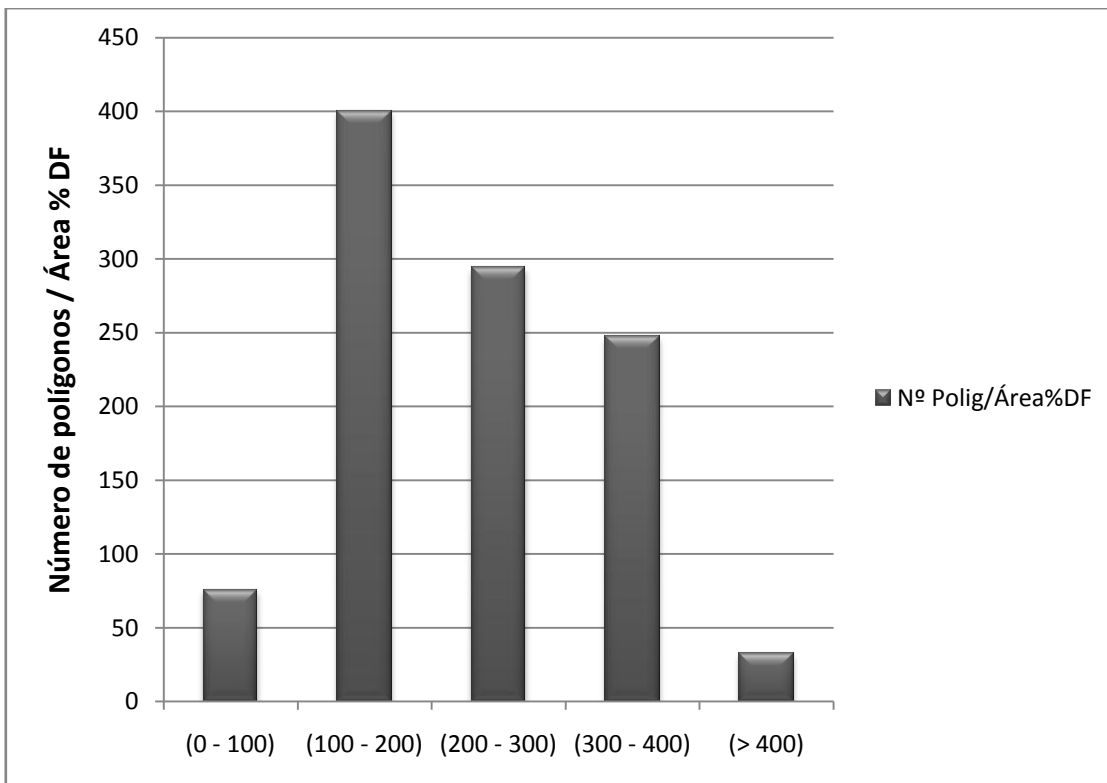


Figura 81 – Gráfico da Distância Euclidiana - Hidrografia - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.7 - DISTÂNCIA EUCLIDIANA DAS NASCENTES

O gráfico da distância Euclidiana das nascentes (Figura 82) mostra uma maior concentração das áreas de voçorocas e ravinas na classe maior que 400 metros, no entanto esta classe é a que mais ocorre no Distrito Federal, não sendo muito significativo este resultado. No entanto no gráfico normalizado (Figura 83) observa-se um padrão de diminuição gradual quando se afasta das nascentes, mostrando que estas são áreas críticas para a formação de voçorocas e ravinas e quanto mais próximas das nascentes maiores são os riscos de erosão. Os resultados estão representados em números e porcentagens no Quadro 31.

Quadro 31 – Resultado da distância Euclidiana das nascentes

Dist. Euclidiana	Quant. Voçoroca	Área Hectares Voçoroca	Área (%) Voçoroca	Áre (%) DF	Nº Polig/Área%DF
(0 - 100)	117	8,3034	13%	3%	3.581,82
(100 - 200)	140	10,3695	16%	7%	1.925,66
(200 - 300)	113	10,1675	16%	9%	1.329,38
(300 - 400)	73	7,0611	11%	8%	862,65
(> 400)	8	28,8391	45%	73%	11,03
TOTAL	451	64,7406	100%	100%	

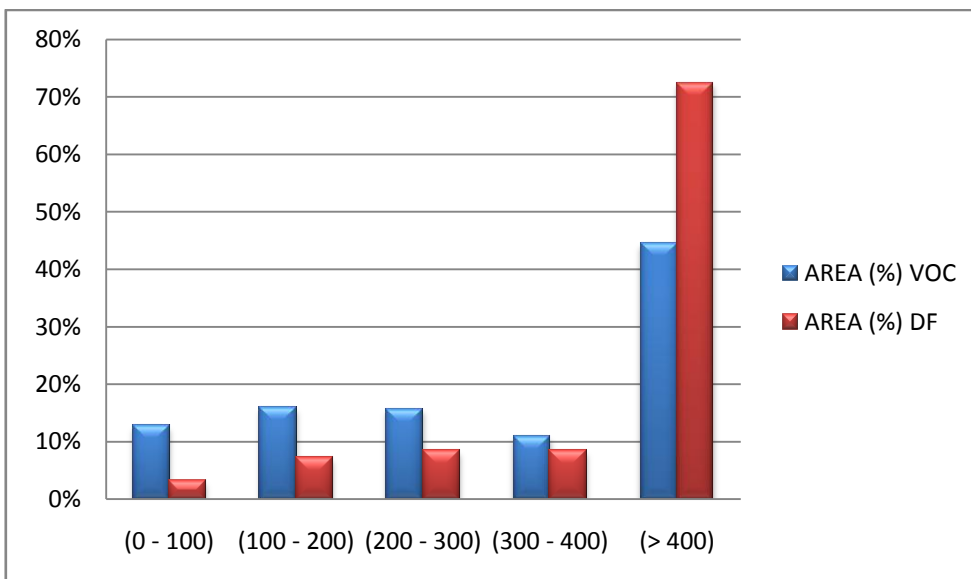


Figura 82 – Gráfico da Distância Euclidiana - Nascentes - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

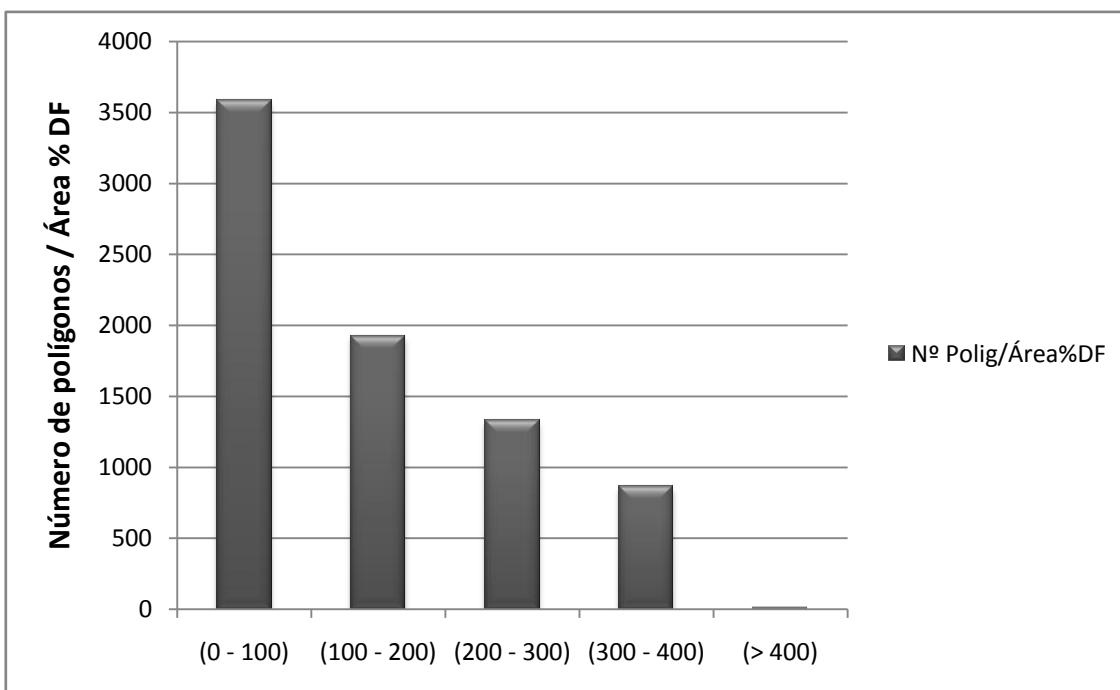


Figura 83 - Gráfico da Distância Euclidiana - Nascentes - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.8 - DISTÂNCIA EUCLIDIANA DAS RODOVIAS

O gráfico da distância Euclidiana das rodovias (Figura 84) mostra uma maior concentração das áreas de voçorocas e ravinas na classe maior que 400 metros, no entanto esta classe é a que mais ocorre no Distrito Federal. Não sendo muito significativo este resultado. No entanto no gráfico normalizado (Figura 85), observa-se que as classes de 100 a 200, 200 a 300 e 300 a 400 metros de distância das estradas são locais críticos para a ocorrência de erosões. O Quadro 32 mostra os resultados da distância Euclidiana das rodovias.

Quadro 32 – Resultado da Distância Euclidiana das rodovias

Dist. Euclidiana	Quant. Voçoroca	Área Hectares Voçorocas	Área (%) Voçorocas	Área (%) DF	Nº Polig/Área%DF
(0 - 100)	2	9,6907	15%	6%	30,87
(100 - 200)	33	4,7367	7%	6%	558,80
(200 - 300)	29	2,6195	4%	6%	511,63
(300 - 400)	28	2,1546	3%	5%	513,42
(> 400)	54	45,6812	70%	76%	70,59
TOTAL	146	64,8827	100%	100%	

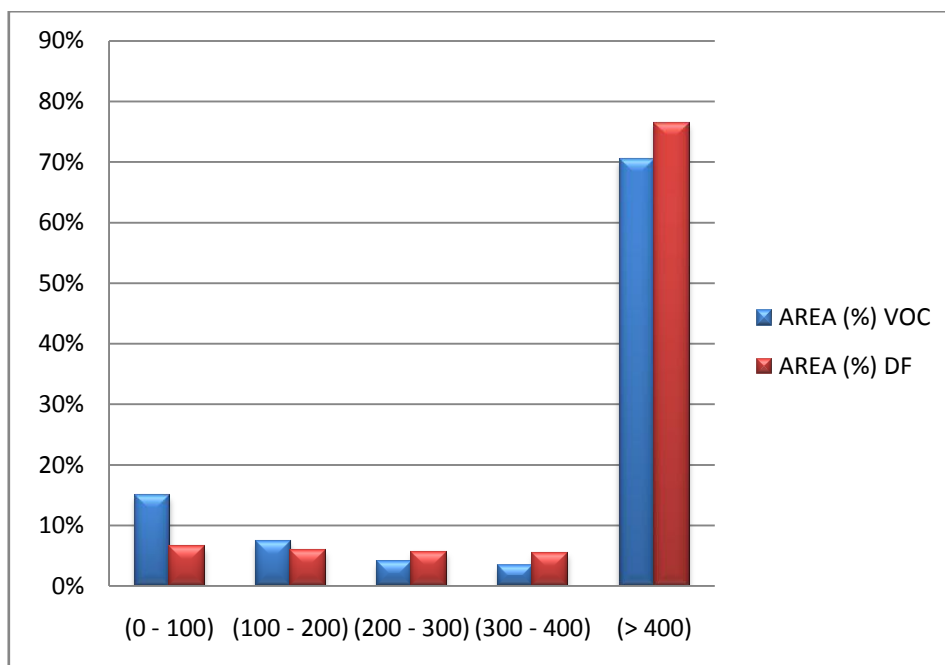


Figura 84 - Gráfico da Distância Euclidiana - Rodovias - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

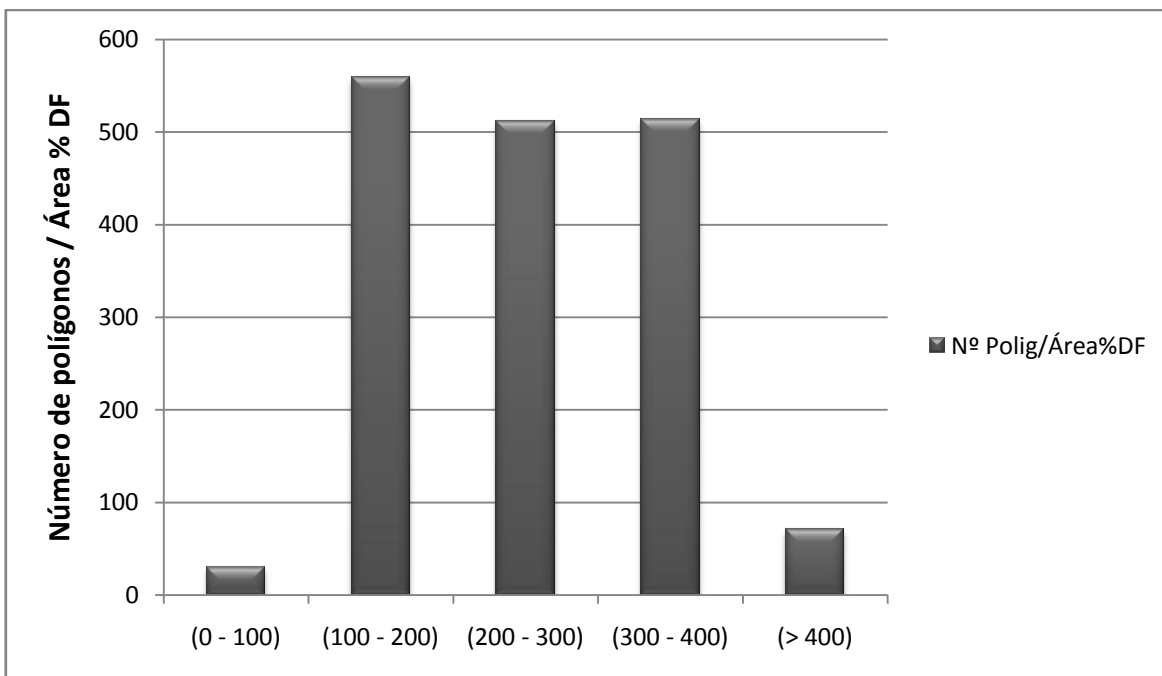


Figura 85 – Gráfico da Distância Euclidiana - Rodovias - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.9 – GEOLOGIA

Observando o gráfico na Figura 86, a maior concentração das áreas de voçorocas e ravinhas está dentro da classe Grupo Bambuí-Topo, mostrando ser uma classe de geologia crítica para a ocorrência destas erosões. No gráfico normalizado (Figura 87) além da classe Grupo Bambuí-Topo as classes Metarritimito argiloso, Quartizitos médios, Grupo Araxá: xistos e calcifilitos, também são críticas para a ocorrência de erosão. Os resultados da geologia estão descritos em números e porcentagens no Quadro 33.

Quadro 33 - Resultado da Geologia

Geologia	Polígono(s)	Hectare(s)	Área Voçoroca (%)	Área total DF (%)	Nº Polig/Área %DF
Grupo Bambuí Topo	354	22,754	35%	19%	1.904,01
Metarritmito Argiloso	339	10,478	16%	19%	1.824,86
Filitos	162	8,192	13%	17%	941,29
Metarritmito Arenoso	165	7,150	11%	15%	1.121,15
Quartzitos Médios	144	5,747	9%	8%	1.712,48
Ardósias	121	4,049	6%	10%	1.252,26
Grupo Araxá: Xistos	96	3,575	6%	6%	1.680,68
Psamo-PelitoCarbonatada	18	0,873	1%	4%	477,75
Metassiltitos	8	0,865	1%	1%	1.004,87
Grupo Bambuí Base	24	0,759	1%	2%	1.314,67
Calcifilitos	11	0,442	1%	1%	1.703,87
Quartzitos Grossos	0	0,000	0%	0%	0,00
Total	1442	64,88	100%	100%	

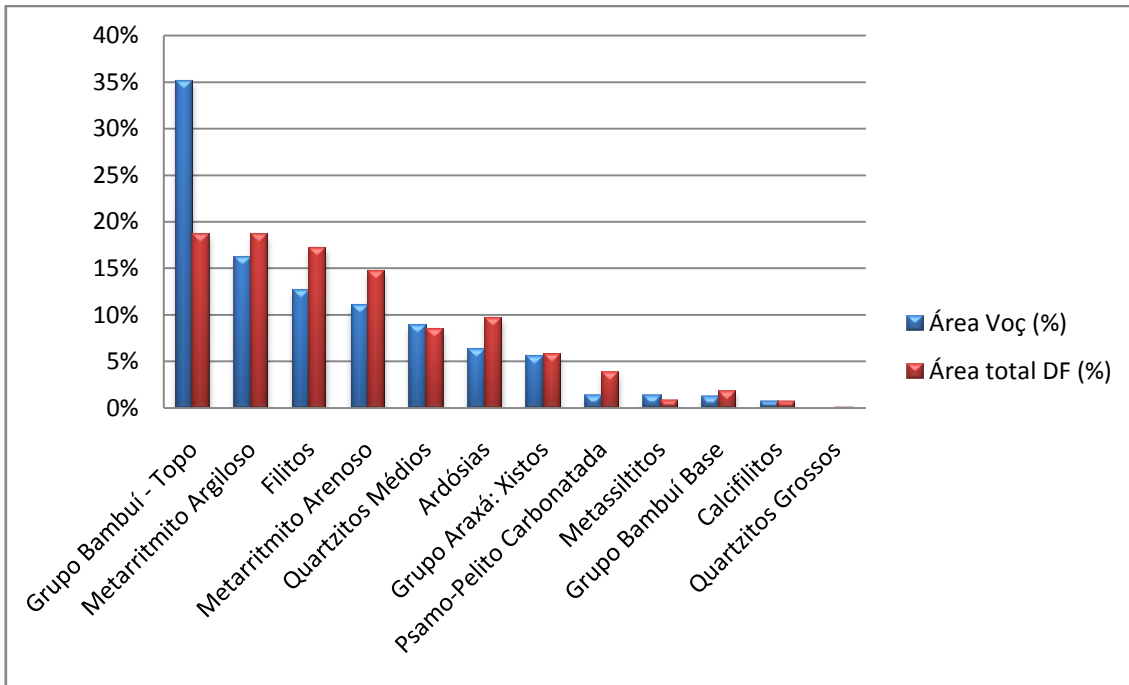


Figura 86 – Gráfico da Geologia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

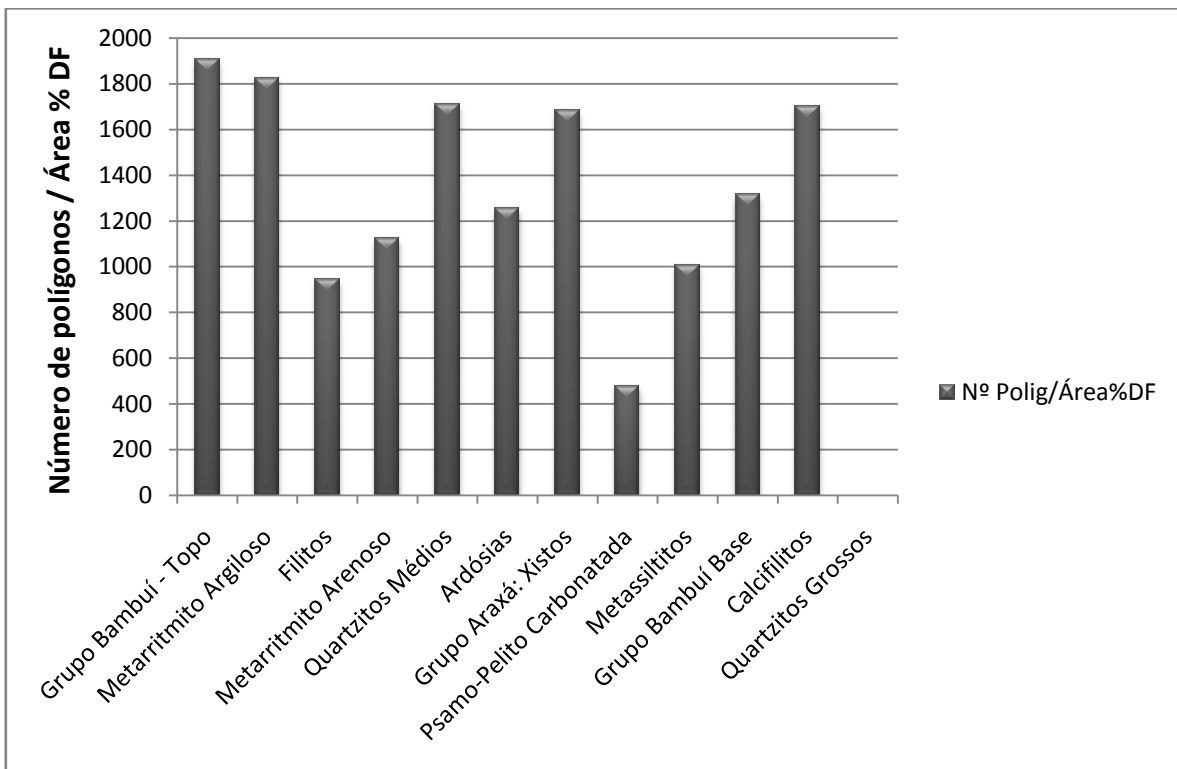


Figura 87 – Gráfico da Geologia - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.10 – GEOMORFOLOGIA

Observa-se um predomínio das áreas de voçorocas e ravinas na classe plano intermediário (Figura 88), no entanto o gráfico normalizado (Figura 89) mostra que as áreas de escarpa, onde há uma grande quebra no relevo são críticas para a ocorrência destes fenômenos erosivos. Os resultados estão listados em números e porcentagens no Quadro 34.

Quadro 34 – Resultado da Geomorfologia

Geomorfologia	Polígono(s)	Hectare(s)	Área Voçoroca (%)	Área total DF (%)	Nº Polig/Área%DF
Plano Intermediário	515	28,36	44%	35%	1.454,19
Vale Dissecado	333	13,46	21%	23%	1.423,69
Chapada Elevada	256	11,44	18%	25%	1.028,26
Rebordo	170	6,21	10%	11%	1.485,56
Escarpa	168	5,42	8%	5%	3.460,19
Total	1442	64,88	100%	100%	

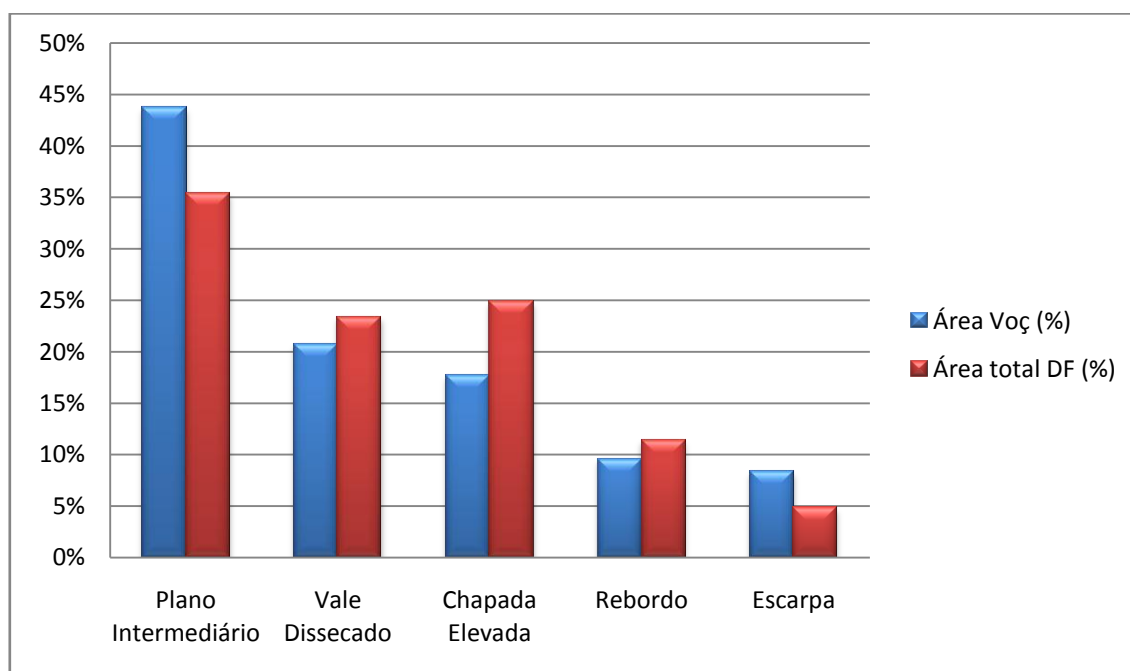


Figura 88 – Gráfico da Geomorfologia - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

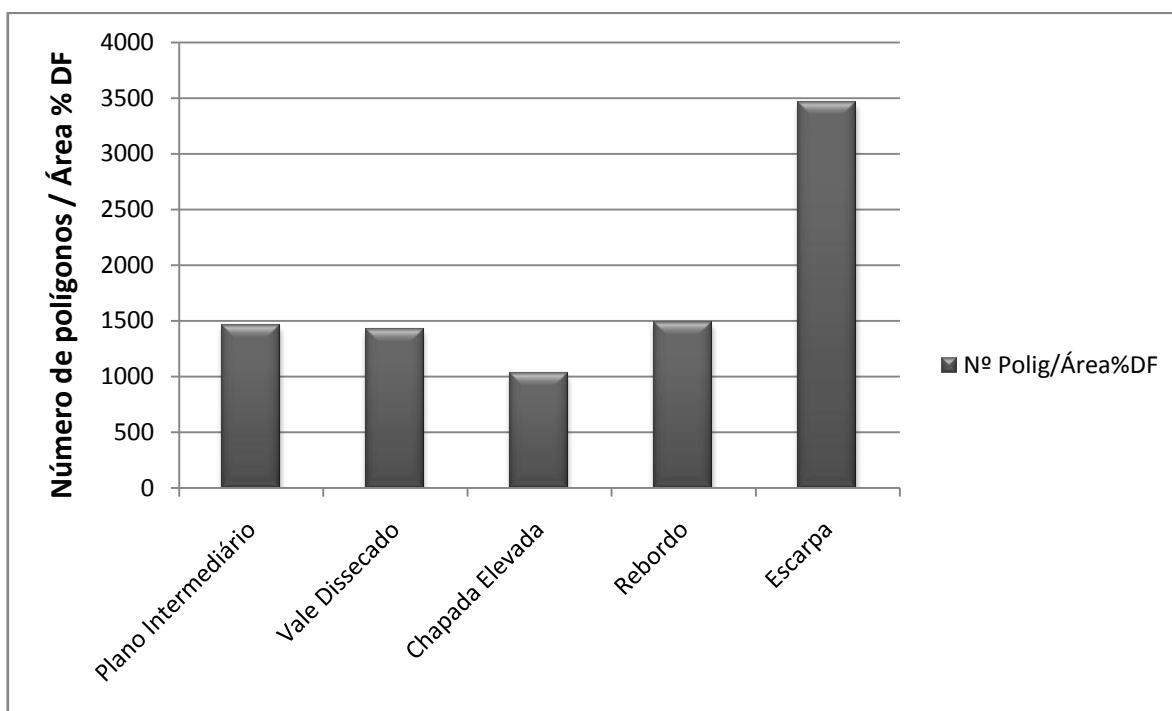


Figura 89 - Gráfico da Geomorfologia - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.11 – ISOIETAS

O gráfico de isoietas (Figura 90) que representa os dados de precipitação não mostra um padrão de correlação entre o aumento da precipitação e o aumento da ocorrência de voçorocas e ravinas. O gráfico normalizado (Figura 91) também não apresentou um padrão bem definido. O resultado de isoietas está referenciado no Quadro 35.

Quadro 35 – Resultado das Isoietas

Precipitação (mm)	Polígono(s)	Hectare(s)	Área Voçoroca (%)	Área total DF (%)	Nº Polig/Área%DF
709 - 1150	353	20,13	31%	18%	1.938,01
1350 - 1450	288	12,05	19%	28%	1.046,06
1550 - 1650	210	9,28	14%	9%	2.222,08
1450 - 1550	214	8,30	13%	13%	1.602,98
1150 - 1250	86	5,83	9%	9%	934,55
1250 - 1350	132	4,71	7%	17%	794,38
1650 - 1750	113	3,52	5%	4%	3.184,13
1750 - 1890	46	1,05	2%	2%	2.206,47
Total	1442	64,88	100%	100%	

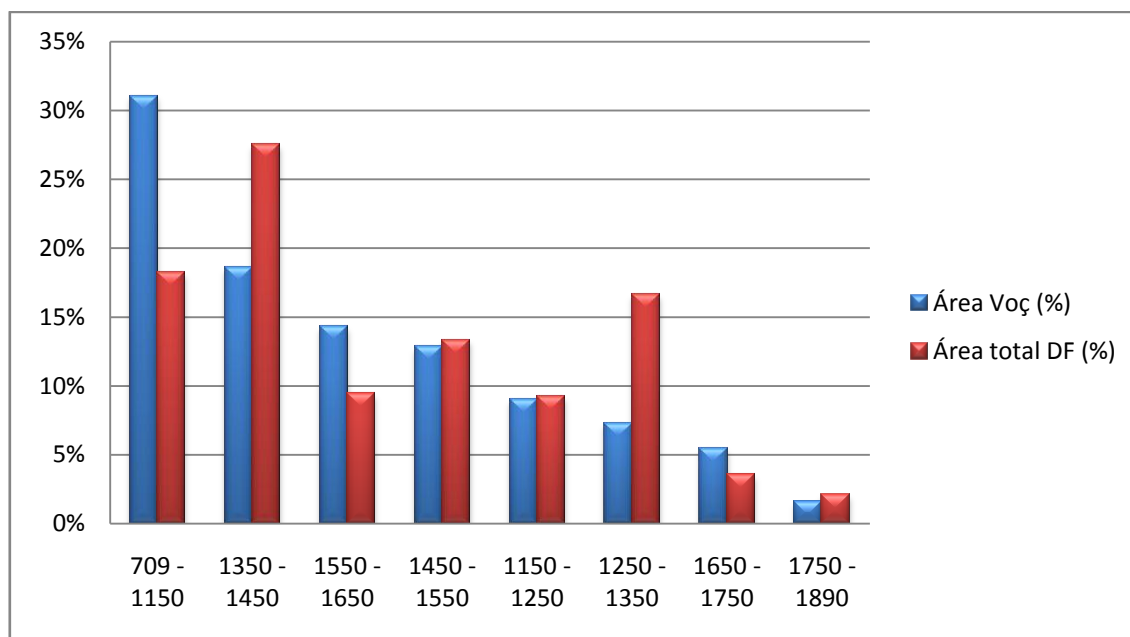


Figura 90 - Gráfico da Precipitação - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

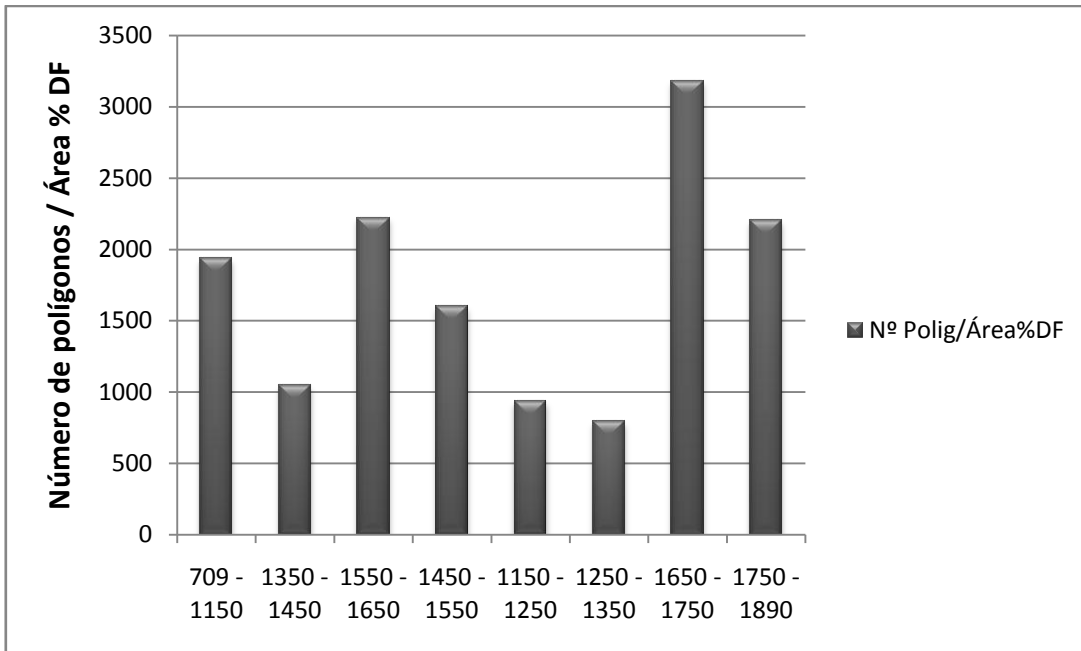


Figura 91- Gráfico da Precipitação - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.12 – ORIENTAÇÃO

O gráfico de orientação (Figura 92) apresenta uma maior concentração das áreas de voçorocas e ravinas na classe de 135 a 180 graus, o gráfico normalizado (Figura 93), apresenta uma distribuição normal dos valores em relação as classes e mostra um predomínio dos valores próximos a 180 graus, o que mostra uma concentração da orientação no eixo norte sul. Os resultados de orientação estão distribuídos na tabela (Quadro 36):

Quadro 36–Resultado da Orientação

Classe	Quantidade Voçorocas	Área (Hectares) voçorocas	Área (%) voçorocas	Área (%) DF	Nº Polig/Área%DF
(< 45)	231	5,5677	9%	20%	1.142,90
(45 - 90)	208	5,4765	8%	12%	1.666,31
(90 -135)	282	8,6187	13%	12%	2.294,02
(135 -180)	341	11,3841	18%	11%	3.006,06
(180 - 225)	369	10,7025	16%	10%	3.559,37
(225 - 270)	304	9,994	15%	10%	2.896,72
(270 - 315)	280	7,9914	12%	11%	2.567,41
(315 - 360)	194	5,1476	8%	12%	1.630,05
Total	2209	64,8825	100%	100%	

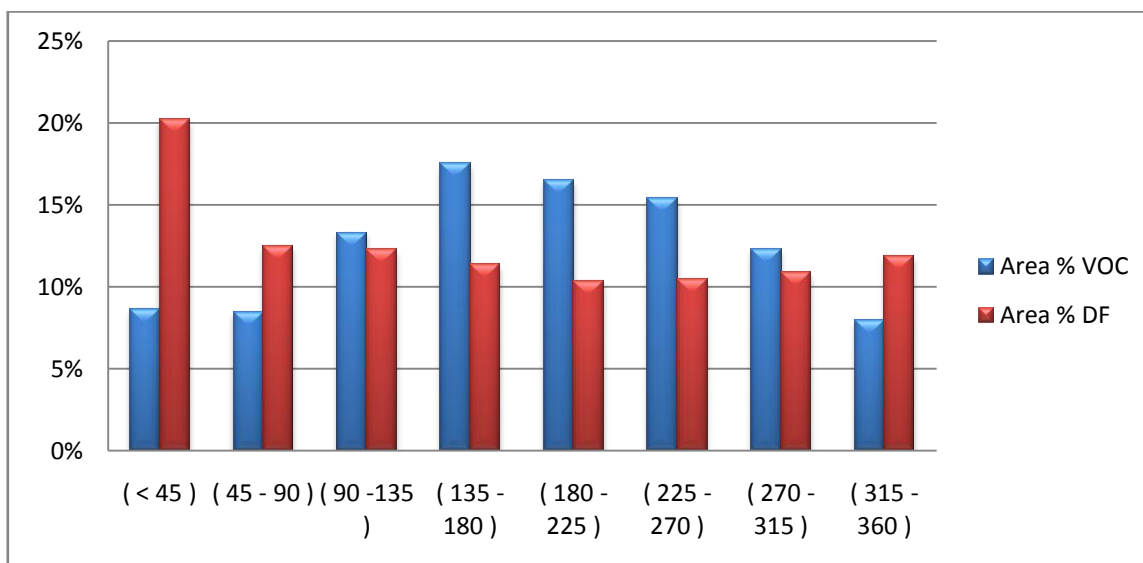


Figura 92 - Gráfico da Orientação - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

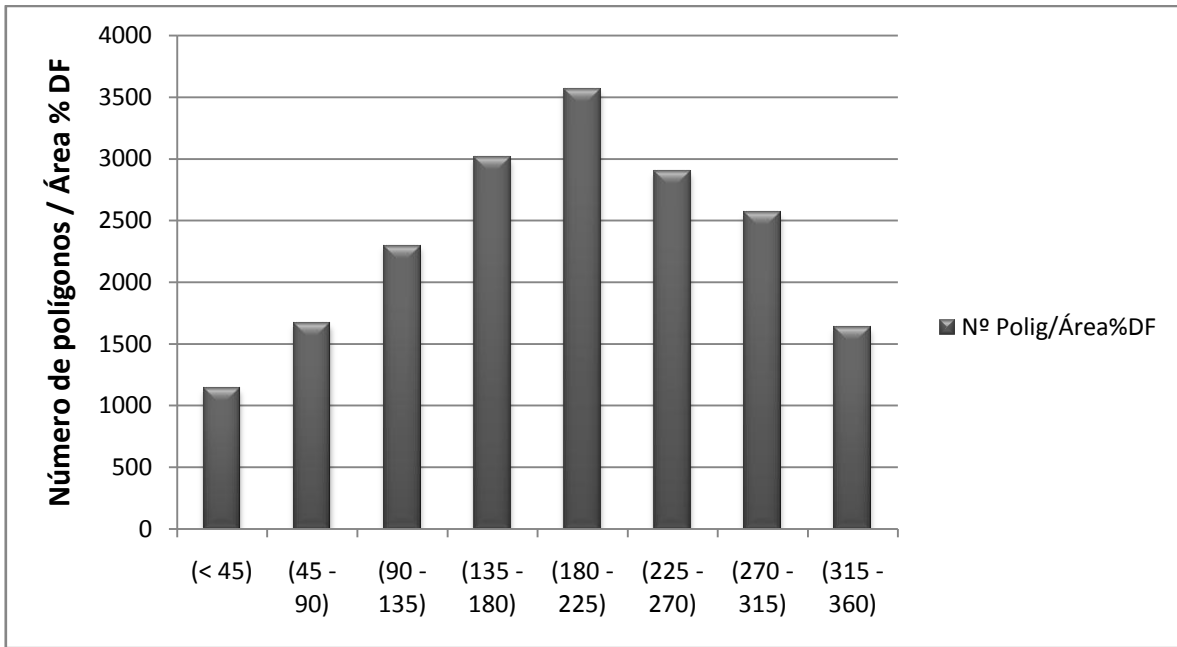


Figura 93- Gráfico da Orientação - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.3.13 – SOLOS

O gráfico na Figura 94 mostra claramente que quase 60% dos polígonos de voçorocas e ravinas ocorreram dentro deste tipo de solo, mostrando ser um solo crítico para a ocorrência de erosões. O gráfico normalizado (Figura 95) aponta que a classe de solo Neossolo Flúvico é a mais crítica para a erosão seguida da classe dos cambissolos. Todos os resultados de solos estão listados no Quadro 37. Segundo SILVA *et al.* (2005) através da comparação entre áreas de latossolo e cambissolo, concluiu que as maiores perdas de solo e de água ocorreram no cambissolo, além de maiores perdas de nutrientes e carbono orgânico. Estes fatos estão relacionados com a baixa permeabilidade do Cambissolo à água e com a pequena profundidade do solum, além de um encrostamento pronunciado. Por se tratar de um solo raso, tais aspectos devem ser considerados no uso e no manejo deste solo que causa rápida saturação, favorecendo maior escoamento superficial e maior arraste de partículas, quando comparado com o latossolo estudado.

Quadro 37 – Resultado dos Solos

Solo	Polígono(s)	Hectare(s)	Área voçoroca (%)	Área total DF (%)	Nº Políg/Área%DF
CambissoloHaplico	844	37,57	58%	32%	2.665,09
Latossolo Vermelho	249	14,75	23%	43%	572,45
Latossolo Vermelho Amarelo	212	8,31	13%	16%	1.345,97
Nitossolo Vermelho	79	2,58	4%	4%	1.842,80
GleissoloHaplico	44	0,99	2%	3%	1.258,26
NeossoloFluvico	6	0,30	0%	0%	3.302,15
NeossoloQuartzarenic o	4	0,23	0%	1%	782,18
EspodossoloFerriluvic o	2	0,12	0%	0%	1.634,76
PlintossoloPetrico	1	0,03	0%	0%	248,28
Argissolo Vermelho Eutrofico + ChernossoloHaplico	1	0,01	0%	0%	1.226,29
Total	1442	64,88	100%	100%	

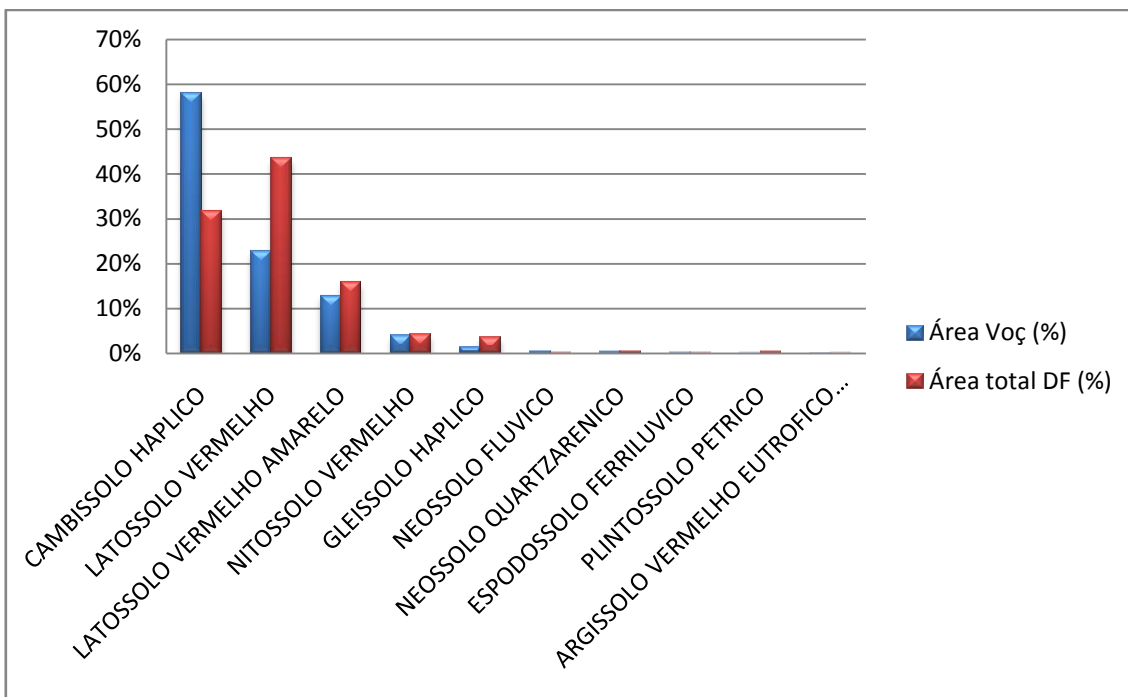


Figura 94 - Gráfico dos Solos - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

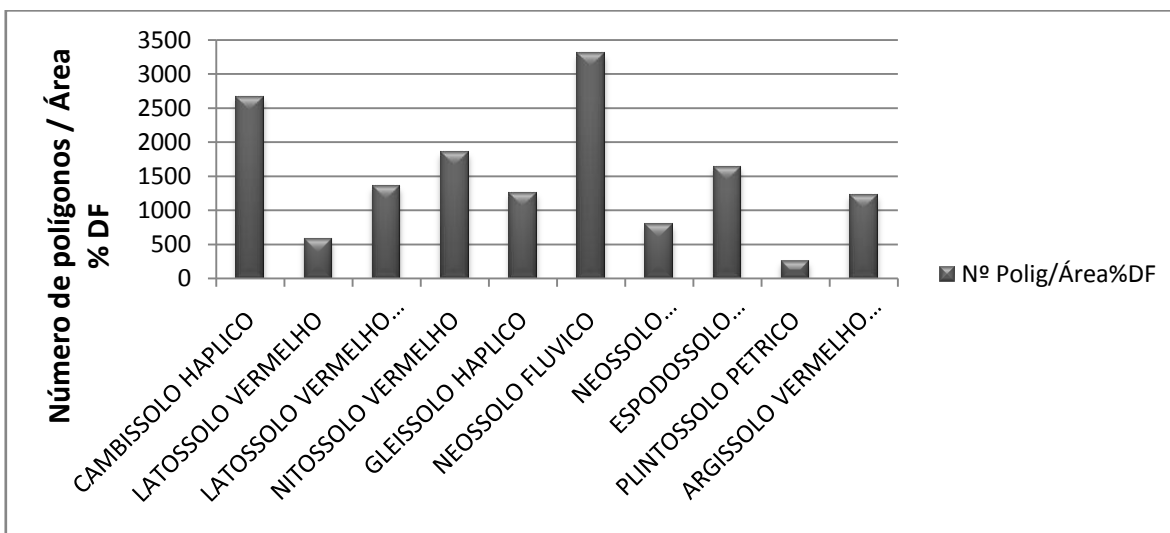


Figura 95 - Gráfico dos Solos - Número de Polígonos / Área percentual do DF

5.3.14 - VEGETAÇÃO E USO

Os resultados de vegetação e uso estão apresentados no Quadro 38. Adicionalmente, a Figura 96 mostra que mais de 30% das áreas de voçorocas e ravinas estão ocorrendo na classe agricultura, no entanto esta classe é a que ocupa maior área dentro do Distrito

Federal. Quando os dados são normalizados (Figura 97), é possível observar que as classes área degradada e mineração como sendo as mais críticas para a ocorrência de erosões.

Quadro 38 – Resultado da Vegetação e Uso

Uso e Vegetação	Poligono(s)	Hectare(s)	Área Voçoroca (%)	Área total DF (%)	Nº Polig/Área% DF
Agricultura	422	19,591	30%	36%	1.166,51
Formação Campestre	287	12,197	19%	14%	2.003,94
Área degradada	113	8,1413	13%	0%	40.500,19
Pecuária	161	6,8432	11%	8%	1.974,50
Formação Campestre degradada	86	6,6934	10%	3%	3.187,92
Formação Savânica	91	3,5658	6%	11%	795,44
Formação Savânica degradada	38	2,1199	3%	1%	2.547,49
Formação Florestal	63	1,5779	2%	10%	653,13
Área Urbana e Urbanizada	45	1,3891	2%	9%	495,10
Malha de transporte	78	1,3218	2%	2%	4.671,11
Mineração	19	0,6051	1%	0%	24.910,14
Área verde intra urbana	20	0,4136	1%	1%	1.578,31
Áreas úmidas	11	0,2489	0%	1%	1.015,66
Reflorestamento	8	0,1746	0%	2%	523,65
Represas, Lagos, Lagoas e Rios	0	0	0%	1%	0,00
Total	1434	64,71	100%	100%	

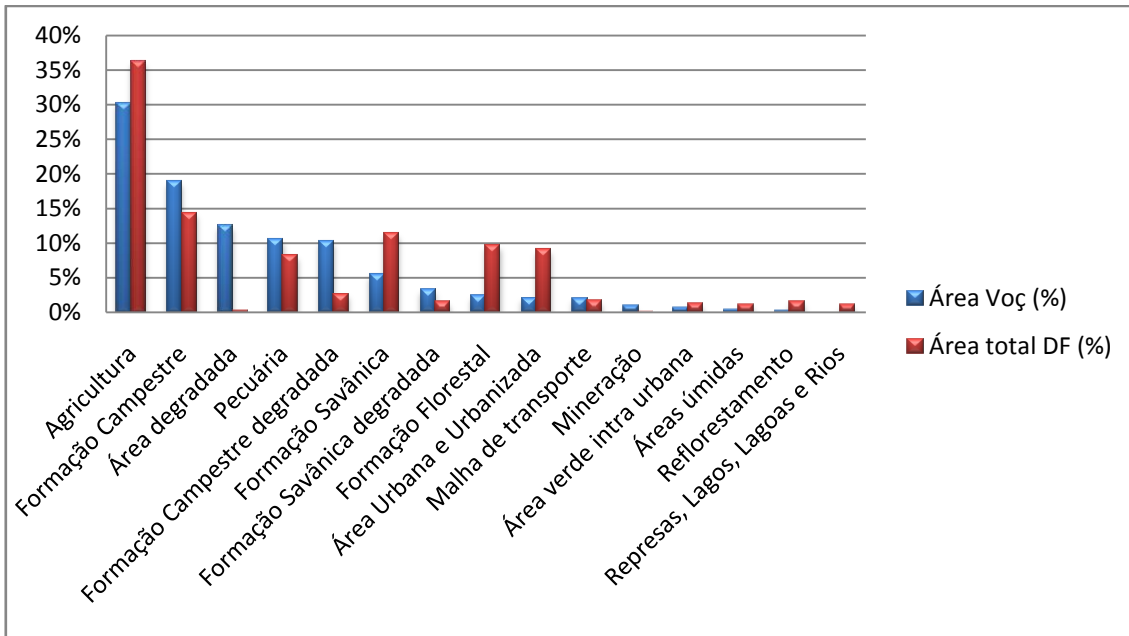


Figura 96 –Gráfico do Uso do solo - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

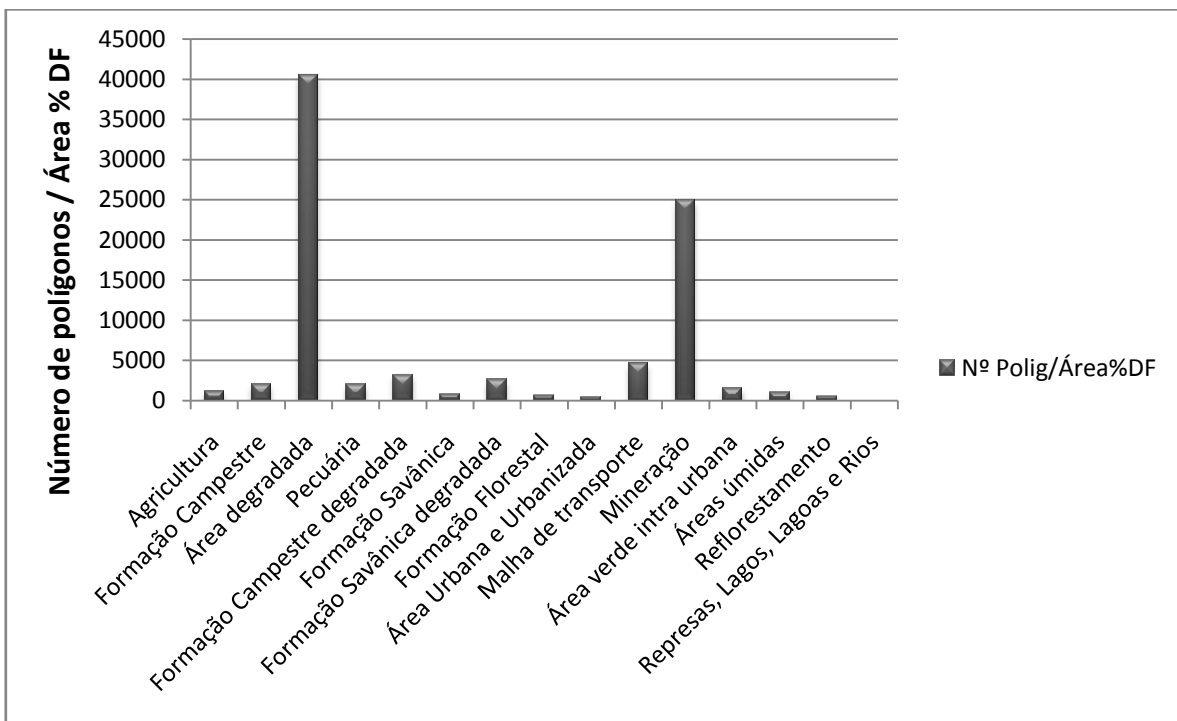


Figura 97 – Gráfico do Uso do solo - Número de Polígonos /Área percentual do DF

5.4 – RESULTADOS DA MATRIZ DE PESOS

De acordo com o gráfico (Figura 99) observa-se que quase 70% das áreas mapeadas como sendo voçorocas e ravinas estão dentro das classes de risco à erosão alta e muito alta. O gráfico normalizado (Figura 100) mostra de forma ainda mais clara o gradual aumento dos polígonos de voçorocas na medida em que o risco aumenta. O Quadro 39 demonstra os resultados da matriz de pesos em números e porcentagens. A Figura 98 apresenta o mapa de risco do Distrito Federal.

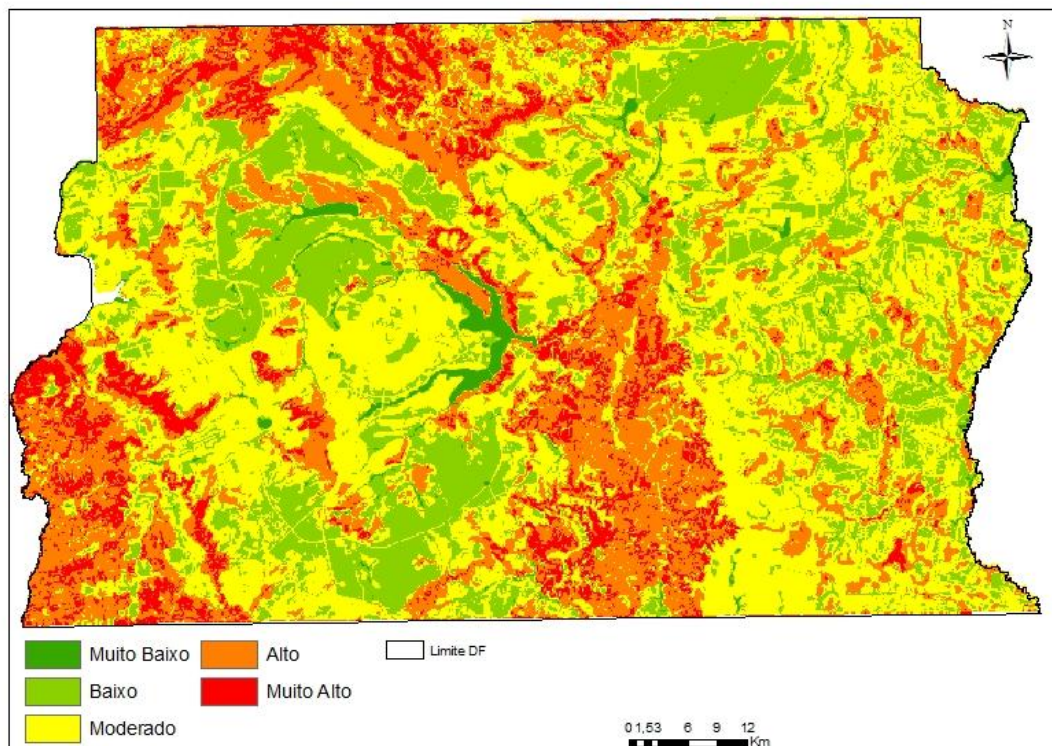


Figura 98 – Matriz de pesos

Quadro 39 – Resultado da matriz de pesos

Risco a erosão	Área hectares voçorocas	Quant. Voçorocas	Área (%) Voçorocas	Área hectares DF	Área (%) DF	Nº Polig/Área% DF
1 - muito baixo	0,14	6	0%	14.327,21	2%	242,05
2 - baixo	4,08	126	6%	168.800,21	29%	431,44
3 - médio	17,69	225	27%	228.984,29	40%	567,93
4 - alto	25,10	318	39%	133.576,96	23%	1.375,99
5 - muito alto	17,87	226	28%	32.300,22	6%	4.044,11
TOTAL	64,88	901	100%	577.988,89	100%	

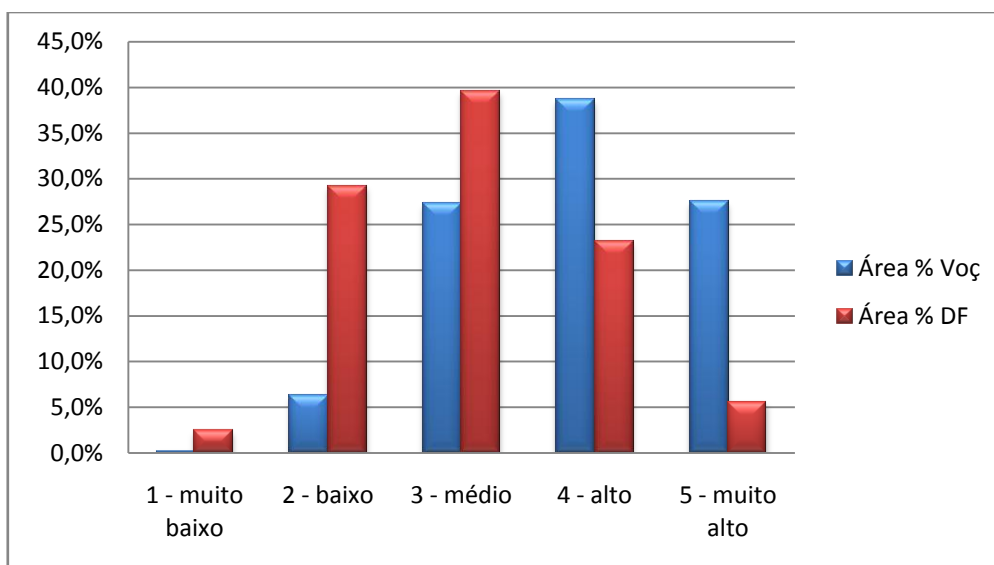


Figura 99 – Gráfico da Matriz de pesos - Comparação percentual da área de voçorocas / área DF

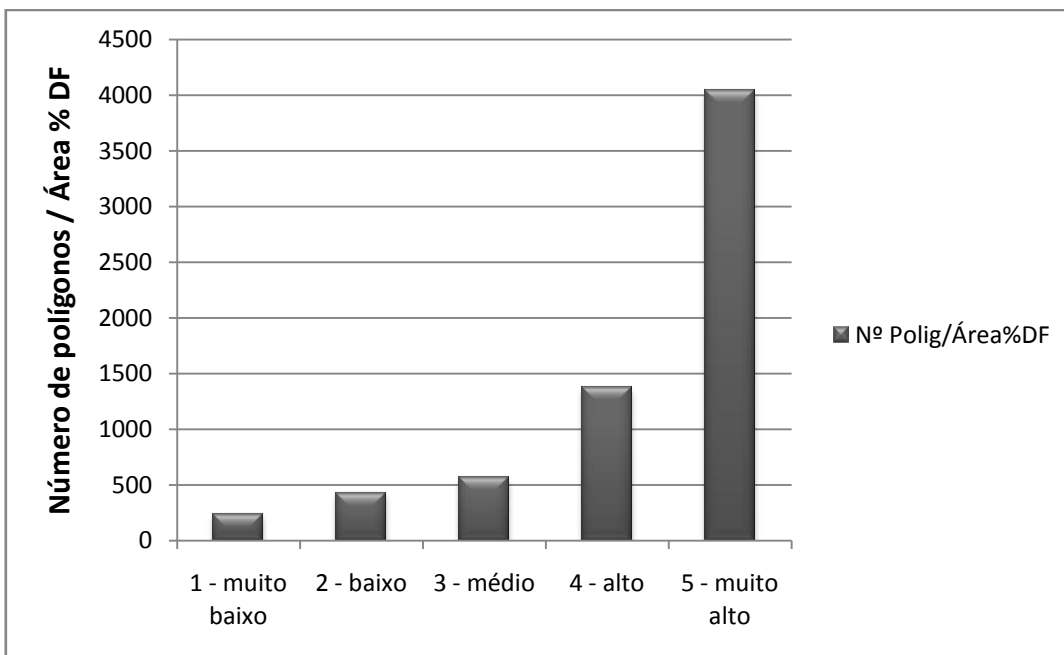


Figura 100 - Matriz de pesos - Número de Polígonos /Área percentual do DF

6- CONCLUSÃO

6.1 – AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA E MAPEAMENTO

O mapeamento das feições erosivas do Distrito Federal é importante para a geração de uma base de dados georreferenciados e atualizados de onde as ravinas e voçorocas estão ocorrendo para que se possa tomar medidas para conter e recuperação as áreas afetadas por estes fenômenos.

Os trabalhos de campo foram essenciais para a estimativa da acurácia do mapeamento das voçorocas e ravinas do Distrito Federal. Tais resultados indicam que o mapeamento apresentado neste estudo tem excelente acurácia, embora em alguns casos possam ocorrer superestimação em até 20% e, em outros casos, subestimação em até 15,6% das áreas de ravinas e voçorocas.

6.2 - ANÁLISES DE TAMANHO, FORMA E AGRUPAMENTO DAS VOÇOROCAS E RAVINAS

Os resultados revelaram que a maior parte das ocorrências de ravinas e voçorocas ainda é de pequeno tamanho (entre 100 m² e 200 m²) e depois a quantidade de polígonos decaiu gradualmente a medida que o tamanho dos polígonos aumenta.

Outro fato importante foi a observação de que as áreas de ravinas e voçorocas apresentaram forma intermediárias de dimensão fractal entre 1,6 a 1,8, o que se aproxima a formas mais circulares. Isto pode ser explicado pelo pequeno tamanho predominante destas áreas atingidas por processos erosivos, indicando um estágio inicial da formação das ravinas e voçorocas. Embora esta observação precise de mais estudos, Isto indica que são necessárias medidas urgentes por parte do poder público e da sociedade para conter a expansão destes processos erosivos no Distrito Federal, de forma a evitar a maiores danos ambiental e perdas de solos na região.

Quanto do agrupamento dos polígonos os resultados deste estudo mostraram que as ravinas e voçorocas estão significativamente agrupadas, que revela a existência de fatores locais afetando as suas ocorrências. Embora seja muito provável que tais fatores estejam relacionados a causas antropogênicas, ainda é necessário investigações científicas adicionais para o melhor entendimento destes fenômenos.

6.3 - CRUZAMENTOS DE DADOS.

O cruzamento de vários temas com as áreas de voçorocas e ravinas mapeadas mostrou-se um eficiente método para compreender as causas destes fenômenos erosivos.

Retirando-se o tema de isoietas e o da orientação, todos os demais temas mostraram resultados significativos na influência da formação de voçorocas e ravinas. Pode-se destacar algumas classes dentro dos vários temas que mostram uma alta correlação com as áreas em processo de erosão mapeadas, mostrando-se como fatores críticos, como a classe do acúmulo de fluxo maior que 100 (fluxo grande), a curvatura côncava, a maior aceleração e deposição de fluxo da curvatura em perfil com valores maiores que 0, a curvatura plana menor do que 0, o que representa áreas com acúmulo do fluxo, as áreas com declividades

médias a altas, áreas próximas a rios, nascentes e estradas, as classes geológicas Grupo bambuí-Topo, Metarritimito argiloso, Quartizitos médios, Grupo Araxá: xistos e calcifilitos, a classe geomorfológica das escarpas, os cambissolos háplicos e neossolo flúvico e as classes de uso do solo, mineração e área degradada.

6.4 - MAPA DE RISCO E A MATRIZ DE PESOS.

O cruzamento do mapeamento das voçorocas e ravinas com a matriz de pesos mostrou que grande parte dos polígonos mapeados estava nas classes de risco alto e muito alto. Tal fato é observado de forma clara e gradual no gráfico normalizado, onde à medida que aumenta o risco aumenta a concentração proporcional dos polígonos de voçorocas e ravinas.

6.5 – RECOMENDAÇÕES

Quanto maior o número de pontos checados, o mapa de mapeamento das voçorocas e ravinas ficará mais próximo da realidade, então uma sugestão seria que no futuro outros autores façam mais checagens de campo e atualizem o mapa de voçorocas e ravinas. O arquivo do mapeamento dos polígonos de voçorocas e ravinas foi gerado no formato *shapefile* e está georreferenciado e será entregue em anexo e poderá servir como um marco zero no diagnóstico de erosões no Distrito Federal e poderá ser atualizado e servir como base para a recuperação destas áreas degradadas.

Em relação ao tamanho dos polígonos de ravinas e voçorocas, esta variável deve ser analisada utilizando mais dados, pois não ficou comprovado se elas estão se estabilizando em polígonos menores ou se estas áreas estão em crescimento, para isso pode ser realizado um estudo multitemporal e acompanhar um possível desenvolvimento destes polígonos.

Quanto ao cruzamento de dados é importante observar que cada dado foi cruzado individualmente, dessa forma recomenda-se uma análise estatística mais aprofundada como a análise dos principais componentes para observar a influência dos temas individualmente e conjuntamente na ocorrência destas erosões.

O mapa de risco do Distrito Federal indica áreas potencialmente críticas para a formação dos processos erosivos conhecidos como voçorocas e ravinas e pode ser utilizado pelos órgãos públicos para o planejamento diversos usos do solo no Distrito federal e definindo áreas prioritárias para a conservação. A matriz de pesos se mostrou um método simples e eficiente para a determinação de um mapa de risco, no entanto este mapa pode ser melhorado, pois nele foram utilizados informações de somente 3 temas: Declividade, tipo do solo e uso do solo e vegetação, visto que este trabalho apontou vários outros temas que influenciam nos processos erosivos, os demais temas não foram utilizados na confecção do mapa de risco pois seria necessário um maior estudo e compreensão de cada um dos atributos dos temas e os pesos relativos a esses atributos, por isso foram utilizados apenas os 3 temas citados por existirem mais trabalhos na literatura a respeito destes.

O presente trabalho atingiu aos objetivos propostos, ao criar uma base de dados georreferenciada e validada dos polígonos de voçorocas e ravinas com uma acurácia excelente do produto que estará disponível para todos os interessados na recuperação destas áreas degradadas. A análise do cruzamento dos dados mostrou de forma qualitativa e quantitativa a influencia dos temas utilizados na formação das voçorocas e ravinas, no entanto é necessária uma análise estatística mais aprofundada para observar as influências diretas e indiretas e a correlação de cada um dos fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. (1977). Os domínios morfoclimáticos na america do sul: primeira aproximação. *Geomorfologia*, v.53 p.1-23
- ALHO, C.J.R.; MARTINS, E.S. (1995). De grão em grão, o Cerrado perde espaço - Cerrado: impactos do processo de ocupação. Brasília:WWF-Brasil: PRÓ-CER. 66p.
- ASSAD. E. D. (1998). Sistema de informações geográficas. aplicações na agricultura. 2. ed., ampl. Brasília: Embrapa – SPI / Embrapa – CPAC, Xxviii, 434p.
- AVANZINI, J. C. (2005). Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 68p.
- BARROSO, L. C.; ABREU, J. F. (2003). Geografia, modelos de análise espacial e GIS. Belo Horizonte: PUC Minas, 232p.

- BENNETT, H. H. Soil conservation. (1939). New York; London : McGraw-Hill, 939 p.
- BIAS, E. S. (1998). Técnicas de geoprocessamento: sua aplicação como suporte ao planejamento, análise e implantação de redes elétricas. Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil.1998.
- BIGARELLA, J.J. (2003) Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Ed. Da UFSC, Florianópolis, v. 3
- BLOISE G. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; REATTO, A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. (2001). Avaliação da susceptibilidade natural à erosão dos solos da bacia Olaria-DF. In: Boletim de pesquisa e desenvolvimento 14. Planaltina: Embrapa.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; (1985). Conservação do solo. Piracicaba, São Paulo: Livroceres, 392 p.
- BERTONI, J.; Lombardi Neto, F. (1991). Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 355p.
- BRADY, N.C.; (1989). Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 878 p.
- BRANDÃO, V. S. et al. (2009). Infiltração de água no solo. 3 ed. Viçosa: UFV, 120 p.
- CAMAPUM de CARVALHO, J.C. (2006). Processos erosivos no centro oeste brasileiro. Editora FINATEC.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. (1998). Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.3 p.527-538.
- CECONI, D. E. et al. (2007). Influência do uso do solo nas propriedades físicas na microbacia hidrográfica do Lageado Biguá, Alecrim-RS. In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 31, 2007, Gramado. Anais... Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM.
- CHAVES, H. M. L. (1994). Método estocástico para a estimativa da erosão em sulcos e voçorocas. Revista Brasileira de ciências do solo, Campinas, 18:285-294.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. (1988). Applied hydrology. New York: McGraw-hill Book, 572p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. 1. ed. São Paulo: Blucher, 256p.

- COELHO NETO, A. L. A. (1998). Abordagem geo-hidroecológica: um procedimento analítico integrativo fundamentado na geomorfologia, hidrologia e geoecologia. In: fórum geobio- hidrologia: estudo em vertentes e microbacias Hidrográficas, 1., 1998, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, p. 26-29.
- CODEPLAN - Companhia De Desenvolvimento Do Planalto Central. (1971). Diagnóstico do Espaço Natural do Distrito Federal. Brasília: Edição CODEPLAN, 388 p.
- CODEPLAN - Companhia De Desenvolvimento Do Planalto Central. (1984). Atlas do Distrito Federal. Brasília: GDF, 78p.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.
- CORRÊA, A.A.M. (1959). Métodos de combate a erosão do solo. Brasil, Rio de Janeiro. Ministério da agricultura, serviço de informação agrícola, série didática N° 17, 152 p.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L.E.F. (1993). Vocabulário de ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, p. 90.
- DER DF - Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal. (2010). Mapa Rodoviário, Núcleo de geoprocessamento, coordenação de geoprocessamento, coordenação NGE0 / COPLAN / DER DF. Escala 1:10.000. Disponível em: <<http://www.districtofederal.df.gov.br/sites/200/232/00001557.pdf>>. Acesso em setembro de 2011.
- ELLISON, W.D. (1947). Soil erosion studies part agricultural engineering. [s. n.]: v. 28, n.4, p.145-146.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1978). Mapa de solos do Distrito Federal (1:100.000). Brasília: EMBRAPA-EPI. - Serviço de Produção de Informação.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2004). Apostila Construção de terraços para controle de erosão pluvial no estado do Acre. Rio Branco, AC.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). Serviço de Produção de Informação (Brasília, DF): sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA-EPI. 412p.
- FACIO, J. A. (1991). Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Brasília: Universidade de Brasília, 120p.

- FARIA, A. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás. Brasília: Universidade de Brasília/ Instituto de Geociências, 1995. 199p. (Tese de Doutorado)
- FELGUEIRAS, C. A. (1999). Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação - São José dos Campos: INPE, 212p. – (INPE-8180-TDI/760).
- FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M.; TAVARES FILHO, J. ; RALISCH, R. (2007). Origem e evolução de voçorocas em Cambissolos na bacia do alto Rio Grande, Minas Gerais. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado-RS. Anais.
- FLORENZANO, T. G. (2007). Iniciação em sensoriamento remoto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 101p.
- FOURNIER, F. (1960). Climat et erosion. Paris: Press Universitaires de France, 1960 apud NISHYAMA, L. Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia (833). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1995. 95 p.
- FRAGA JUNIOR, E. F.; VALLE JUNIOR, R.F.; FERREIRA JUNIOR, J.A.; CASSIA, M.T.; BONTEMPO, A.R.; FERREIRA, R.C. Trabalho de Conclusão de Curso Tecnologia em Irrigação e Drenagem do CEFET Uberaba – MG.
- FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J.E.G. (1988). Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p.
- GONÇALVES G, T.D. (2007). Geoprocessamento como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região do Distrito Federal. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, 225p.
- GONÇALVES, F.C.A.; NOGUEIRA J.F. (2007). Elaboração do mapa de predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiaçu (CE) utilizando técnicas de geoprocessamento. Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral, v. 8/9, n.1, p. 81-93
- GOODCHILD, M. F. (1993). The state of GIS for environmental problem solving. In: GOODCHILD, M. F.; BRADLEY, O. P.; STEYAERT L. T. ed. Environmental modeling with GIS. New York: Oxford University Press, p. 8-15.
- GREGORY, I. N.; ELL, P. S. (2007). Historical GIS: technologies, methodologies, and scholarship. P. cm. Cambridge studies in historical geography, 227 p.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (1999). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340 p.
- GUERRA, A. J. T. (2005). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p.

- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em Setembro de 2011
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: set. de 2008
- JUNIOR, O. A. C.; CARVALHO, A. P. F.; RODRIGUES, N. Q. N.; GUIMARÃES, R. F.(2001). Confecção do mapa de susceptibilidade à erosão a partir da USLE utilizando para estimar o fator topográfico o programa RAMPA. Goiânia: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia.
- LAL, R. et. al.(1995). Global soil erosion by water and carbon dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. Soils and global change. In: Advances in Soil Science. Florida: CRC/Lewis Publishers, p. 131-142.
- LANG, S. & BLASCHKE (2009). Análise da paisagem com SIG. São Paulo: oficina de textos.
- LANGRAN KJ. (1983). Potential for monitoring soil erosion features and soil erosion modelling components from remotely sensed data, Proceedings of IGARSS'83. IEEE, San Francisco, California: pp. 2.1-2.4.
- MARTINS, E.S.; BAPTISTA, G.M.M. (1998). Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. IEMA/SEMATEC/UnB: Brasília, Vol. 1, Parte II. 53p.
- MARTINS FILHO, M. V.; SANCHEZ R. B.; JUNIOR, J. M.; SOUZA Z. M.; PEREIRA G. T. (2009). Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedofomas. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n 4, p. 1095-1103.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. (2009). Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, CE, v. 40, n. 3, p. 331-338.
- MAURO, C.A.; DANTAS, M.; ROSO, F.A. (1982).Geomorfologia. In: BRASIL, MME. Folha SD-23 Brasília. Rio de Janeiro. Projeto RADAM BRASIL. [s. n.], v.29. p. 205-296.
- MENESES, P. R.; LONGHI, A. L. B. (2005).O uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o zoneamento de Florestas Nacionais. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia:INPE, p. 2245-2250.
- MESEV, V. (2007). Integration of GIS and remote sensing - mastering GIS : technology, applications and management series, 296p.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Base de dados geográfica.Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em setembro de 2011.

- MOORE, I. D.; TURNER, A. K.; WILSON, J. P.; JENSON, S. K.; BAND, L. E. (1993). GIS and land surface subsurface process. In: GOODCHILD, M. F.; BRADLEY, O. P.; STEYAERT L. T. ed. Environmental Modeling with GIS. New York: Oxford University Press, p. 196-230.
- MORAIN, S. A. A brief History of remote sensing applications with emphasis on landsat: People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science national academies press, 1998, 256 p.
- MYERS, N.; MITTERMAYER, R. A.; MITTERMAYER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. [s. n.]: Nature, p. 403, 853-858.
- NOLLA, D. (1982). Erosão do solo: o grande desafio. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria Geral, Divisão de Divulgação e Informação Rural, p.412.
- NOVAES PINTO, M. (1994). Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: Editora UnB, p. 285-320.
- NOVO, E. M. L. M. (2010). Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 388p.
- PGIRH. (2005). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Caderno Distrital de Recursos Hídricos. 111p. BID, ADASA, SEMARH.
- PIMENTAL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRIT, Z. L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, v.267, p.1117-1124.
- PRUSKI, F. F. (2009). Conservação do solo e água : práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica . 2ª ed. Atual. Viçosa: Editora UFV, 279p.
- RIBEIRO, F.L & CAMPOS, S. (2007). Vulnerabilidade à erosão da região do alto rio Pardo, Pardinho – SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.11, n.6, Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG.p.628–636.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M. (2008). O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 19-45.
- RICHARDS, J. A. & XIUPING, J. (2006). Remote sensing digital image analysis an introduction springer – verlag berlin Heidelberg, 439 p.
- RIO GRANDE DO SUL.; Secretaria da Agricultura. (1985). Manual de conservação do solo e água: uso adequado e preservação dos recursos naturais renováveis. 3. ed. atualizada. Porto Alegre, 287 p.

- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA F. S.C. (2010). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.2, p.115–123.
- SEMATEC - Secretaria de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia. (1993). Mapa Ambiental do Distrito Federal, Brasília.
- SENADOFEDERAL.(2011). Brasília 50 anos. Disponível em:<<http://www.senado.gov.br/noticias/especiais/brasil50anos/not01.asp>>. Acesso em setembro de 2011.
- SILVA, A.M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIA, M. M. (2005). Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. Universidade Federal de Lavras, MG. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230.
- STUDART, R.C.; MACEDO,G.M.B. (2004).Mineração e áreas degradadas no cerrado: Brasília:Universa, 172p.
- TERRACAP – Companhia Imobiliária de Brasília. (2011).Cartografia e geodésia, novo mapeamento do DF. Disponível em: <<http://www.terracap.df.gov.br/internet/index.php?scid=355&scant=344>>. Acesso em setembro de 2011.
- TOPOCART - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos s/s LTDA.(2011).Disponível em:<<http://www.topocart.com.br/topocartnew/?ac=noticia&id=13>>. Acesso em setembro de 2011.
- TUCCI, C. E. M. (2004). Hidrologia: Ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R.H.; O'NEIL, V. (2002). Landscape ecology in theory and practice: Patterns and process. New York: [s. n.].
- VANDEKERCKHOVE L, POESEN J, and GOVERS G. (2003). Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. Catena 50 (2-4): p. 329-352.
- VRIELING, A. (2007). Mapping erosion from space. Doctoral Thesis Wageningen University – with ref. – with summaries in English and Dutch. ISBN: 978-90-8504-587-8.
- WERNECK LIMA, J. E. F.; SILVA, E. M. (2008). Recursos Hídricos do Bioma Cerrado. In: Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 89 - 106.
- WISCHMEIER, W. (1976).Use and misuse of the USLE. In: J. Soil & Water Cons. v. 31 (1): p. 5 – 9.

ZEE-DF - ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL.(2011).Execução técnica - Greentec Consultoria e Planejamento Ltda, vencedora do processo licitatório - Solicitação de Proposta nº 004/2008, por meio do contrato de serviço nº 21/2009 (UGP/SEDUMA).