

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA APLICADA AOS RISCOS DE
ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO NA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU**

PEDRO HENRIQUE LOPES BATISTA

ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.DM – 236/2014

BRASÍLIA / DF: FEVEREIRO DE 2014

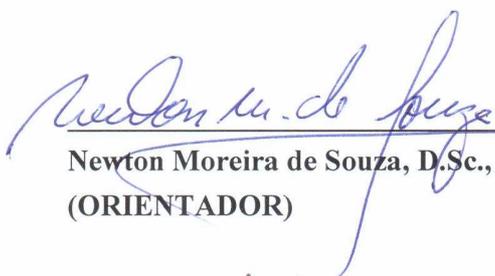
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA APLICADA AOS RISCOS DE
ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO NA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU**

PEDRO HENRIQUE LOPES BATISTA

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

APROVADA POR:



Newton Moreira de Souza, D.Sc., (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)



Hernán Eduardo Martínez Carvajal, D.Sc. (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



Patrícia Araújo Romão, D.Sc. (PPG-GECON/UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 14 de fevereiro de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

BATISTA, PEDRO HENRIQUE LOPES

Cartografia Geotécnica aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu [Distrito Federal] 2014

xxii, 223 p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2014)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Cartografia geotécnica

2. Geoprocessamento

3. Riscos geotécnicos

4. Alagamento e inundação

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BATISTA, P.H.L. (2014). Cartografia Geotécnica aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-236/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 223 p.

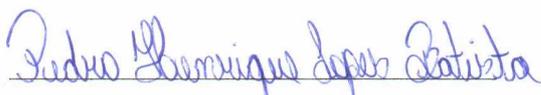
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pedro Henrique Lopes Batista

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Cartografia Geotécnica aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu.

GRAU / ANO: Mestre / 2014

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



Pedro Henrique Lopes Batista

QNJ 58, Bloco A, apto. 308, Taguatinga-Norte

CEP 72.140-580 - Brasília/DF – Brasil

pedrohlbatista@yahoo.com.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde e paz, mas não apenas para mim, e também a todos aqueles que me rodeiam, principalmente, ao longo da conclusão desta etapa acadêmica.

Agradeço simplesmente tudo aos meus pais: Francisca Lopes de Sousa e Geraldo Antônio Batista. Agradeço a compreensão, apoio, suporte e amizade dos meus irmãos Paula e Joaquim e também ao meu pequeno irmão Davi, pois “acho” que ainda devo dar o exemplo e isso me incentiva a ser uma pessoa melhor. Aos meus avós paternos, Helena e Joaquim (*in memoriam*), e maternos, Judite e Sabino, por auxiliar, direta e indiretamente, na minha criação e educação, honesta e de base firme.

Agradeço à minha namorada Yeda pela amizade e compreensão das minhas ausências.

Agradeço aos inúmeros familiares e amigos, seja pela insuficiência de páginas ou falha da memória, eu farei questão de agradecer em ocasião conveniente.

Agradeço a todos os Professores do PPGG/UnB pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos. Em especial ao meu orientador, Professor Newton Moreira de Souza pela serenidade, confiança e habilidade de guiar-me, de modo paternal, em diversos trabalhos, estudos e pesquisas nestes últimos anos. Também ao Professor Hernán E. M. Carvajal pela amizade e disposição em fornecer ensinamentos e ao Professor André L. B. Cavalcante, um cientista inquieto, pelo estímulo inicial e contínuo ao estudo da geotecnia.

Agradeço à Professora Patrícia Araújo Romão pelo tempo dedicado à tarefa de avaliar este estudo, com fundamentais e precisas observações.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos incentivos financeiros na execução desta pesquisa e formação profissional.

Agradeço aos funcionários dos órgãos e empresas públicas que forneceram informações essenciais para execução deste trabalho: Agência Nacional de Águas (ANA); Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA); e a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Agradeço a todos os funcionários da Fundação Universidade de Brasília, ou a ela vinculados, que permitiram meu bem-estar durante meu período, mais contundente, de estudos nesta instituição.

Muito obrigado de coração!

Pedro Henrique Lopes Batista

Brasília-DF, 14 de fevereiro de 2014.

RESUMO

O acúmulo das águas pluviais em perímetros urbanos e o extravasamento das águas da calha de uma drenagem, respectivamente, alagamentos e inundações, são fenômenos frequentes, contudo previsíveis em relação aos demais desastres naturais. Diversos atributos do meio físico influenciam os processos de alagamento e inundação. A motivadora Política Nacional de Proteção e Defesa Civil objetiva apoiar o mapeamento e análise dos riscos e suas aplicações. Então, a partir da definição da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu como área de estudo e aplicando o arcabouço teórico metodológico da análise de riscos geotécnicos e cartografia geotécnica, apoiados por ferramentas de geoprocessamento, o trabalho foi realizado de modo prático e racional para os fenômenos. Foram coletados diversos dados geoespaciais, em diferentes escalas, para o reconhecimento completo dos atributos do meio físico e por meio do método de análise hierárquica para construir cenários de suscetibilidade. O inventário de alagamentos e inundações para o Distrito Federal (DF) foi realizado tomando matérias jornalísticas totalizando então 14 anos. Análises probabilísticas definiram o perigo a alagamentos e inundações baseadas no acumulado de precipitação pluviométrica como deflagrante do fenômeno estudado. As vulnerabilidades e consequências foram estimadas, ao definir os elementos em risco (as infraestruturas), de forma subjetiva em função das suas fragilidades, nível de implantação do sistema de drenagem pluvial e custos unitários de construção e reabilitação. O risco foi definido como o produto do perigo, danos e prejuízos (vulnerabilidade e consequências). Foram obtidos 385 pontos de ocorrência a alagamentos e inundações, com grande concentração no Plano Piloto de Brasília/DF. A maior parte dos pontos expressa fenômenos de alagamento e o acumulado de chuva deflagrante teve uma média de 46 mm/24h. Os maiores valores de perigo observados estão concentrados na Asa Norte de Brasília/DF. Foram obtidos 10 cenários de suscetibilidade a alagamento e inundação. Os atributos do meio físico, que apresentaram os cenários de maior consistência, foram declividade, curvatura do terreno, escoamento superficial e a distância de drenagem dividida pela área de fluxo acumulado. Regiões com sistemas de drenagem pluvial implantados parcialmente - ou não existentes - apresentaram os maiores valores monetários nas estimativas ilustradas nas cartas de risco.

ABSTRACT

The accumulation of stormwater in urban perimeters and the overflow of water from a channel river, denominated as general floods, are frequent phenomena, although predictable compared to the others natural disasters. Several terrain attributes influences the processes of flooding and inundation. The National Policy on Protection and Civil Defense aims to support the risk mapping, evaluation and studies and their others appliances. Then, from the definition of a St. Bartolomeu river watershed as the study area and applying the theoretical and methodological framework of geotechnical risk analysis and geotechnical mapping, supported by GIS tools, the work was done in a practically and rationally approach for the phenomena. Several geospatial data, on different scales, were collected for terrain attributes entire recognition and by means of Analytical Hierarchy Process susceptibility scenarios were built. An inventory of flooding occurrences for the Federal District (DF) of Brazil was performed acquiring 14 years newspaper articles. Probabilistic analysis defined the flood hazard by means of phenomenon trigger cumulative rainfall. The vulnerabilities and consequences were estimated, defining the elements at risk (the infrastructures), subjectively according to their fragility, the accomplishment level of the stormwater drainage and construction and rehabilitation unit costs. The risk was defined as the product of hazard and damages (vulnerability and consequences). 385 flooding occurrence points were obtained, with a larger concentration in Plano Piloto of Brasília/DF. The major point's lot expressed the phenomena of accumulation of stormwater in terrain, not associated with rivers, and the mean value of the trigger cumulative rainfall was 46 mm/24h. The highest hazard values observed are concentrated on Asa Norte of Brasília/DF. 10 susceptibility scenarios of flooding and inundation were obtained. The terrain attributes, which presented the greater consistency scenarios, were slope, curvature, runoff and drainage buffer divided by contributing area. Regions with the stormwater drainage systems partially implemented - or nonexistent - exhibited the highest monetary values illustrated in the risk maps estimates.

ÍNDICE

Capítulo	Página
AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	5
<i>ABSTRACT</i>	6
ÍNDICE.....	7
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES	17
1 – INTRODUÇÃO	20
1.1 – MOTIVAÇÃO DA PESQUISA.....	23
1.2 – OBJETIVOS DA PESQUISA	24
1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 – CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.....	27
2.2 – PROCEDIMENTOS E METODOLOGIAS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	28
2.3 – GEOPROCESSAMENTO.....	33
2.3.1 – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	33
2.3.2 – SENSORIAMENTO REMOTO.....	34
2.4 – GESTÃO DE RISCOS.....	36
2.5 – SUSCETIBILIDADE E PERIGO	38
2.6 – VULNERABILIDADE E CONSEQUÊNCIA	38
2.7 – RISCO	39
2.8 – CARTOGRAFIA DE RISCOS GEOTÉCNICOS	40
2.9 – ALAGAMENTOS, CHEIAS, ENCHENTES, ENXURRADAS E INUNDAÇÃO ..	41
2.10 – MAPEAMENTO E ESTUDOS DE ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES	43
3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1 – DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
3.2 – DADOS GEOESPACIAIS.....	51

3.2.1 – MATERIAIS GEOLÓGICOS.....	53
3.2.1.1 – SUBSTRATO ROCHOSO.....	53
3.2.1.2 – MATERIAL INCONSOLIDADO	53
3.2.2 – GEOMORFOLOGIA & MORFOMETRIA.....	54
3.2.2.1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	54
3.2.2.2 – COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	56
3.2.2.3 – HIPSOMETRIA.....	57
3.2.2.4 – DECLIVIDADE	57
3.2.2.5 – CURVATURA DO TERRENO	58
3.2.2.6 – ÁREA DE FLUXO ACUMULADO	60
3.2.2.7 – ANÁLISE DE BACIAS.....	63
3.2.3 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	66
3.2.3.1 – COMPARTIMENTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	66
3.2.3.2 – DISTÂNCIA VERTICAL À DRENAGEM MAIS PRÓXIMA	69
3.2.3.3 – ÍNDICE TOPOGRÁFICO.....	71
3.2.4 – ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	73
3.2.4.1 – DISTÂNCIA DE DRENAGEM.....	73
3.2.4.2 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	75
3.2.5 – USO E COBERTURA DO SOLO.....	82
3.2.6 – RESUMO DOS DADOS E ESCALAS CARTOGRÁFICAS.....	86
3.3 – INVENTÁRIO DE ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO	88
3.4 – SUSCETIBILIDADE A ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO	93
3.5 – ANÁLISE DO PERIGO DE ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO	96
3.5.1 – ANÁLISE PROBABILÍSTICA.....	96
3.5.2 – CARTA DE PERIGO	98
3.6 – ANÁLISE DE VULNERABILIDADE & CONSEQUÊNCIA	99
3.7 – CARTOGRAFIA DE RISCO.....	103
4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	105
4.1 – CARTAS BÁSICAS.....	105
4.1.1 – BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	126
4.2 – MAPAS DE INVENTÁRIO	134
4.3 – CARTA DE PERIGO	148
4.4 – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE.....	157

4.5 – CARTA DE VULNERABILIDADE & CONSEQUÊNCIAS.....	164
4.6 – CARTA DE RISCO	166
5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	169
5.1 – CONCLUSÕES.....	169
5.2 – RECOMENDAÇÕES	174
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
APÊNDICE.....	189
ANEXO	221

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 3.1 – Combinação das curvaturas e suas respectivas formas de terreno.....	59
Tabela 3.2 – Resumo dos ensaios de infiltração para aquíferos rasos (Almeida et al., 2006)..	67
Tabela 3.3 – Resumo dos ensaios de vazão para aquíferos profundos (Almeida et al., 2006).	67
Tabela 3.4 – Resumo dos valores médios para ensaios do domínio fraturado (Freitas-Silva & Campos, 1998).	68
Tabela 3.5 – Resumo dos valores dos ensaios de infiltração para os aquíferos do domínio poroso (Freitas-Silva & Campos, 1998).	68
Tabela 3.6 – Resumo dos valores dos ensaios de infiltração para os aquíferos do domínio poroso (Souza & Campos, 2001).	68
Tabela 3.7 – Relação das classes pedológicas da área de estudo, no DF, com os compartimentos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo.	77
Tabela 3.8 – Grupo hidrológico adotado para as classes pedológicas no DF.....	78
Tabela 3.9 – Relação das classes pedológicas da área de estudo, em GO, com os compartimentos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo.	78
Tabela 3.10 – Valores adotados do CN para as classes de uso e cobertura dos solos.....	78
Tabela 3.11 – Esquema de legenda e classificação do uso e cobertura do solo.....	85
Tabela 3.12 – Esquema detalhado de legenda e classificação.	85
Tabela 3.13 – Resumo dos dados geoespaciais.....	86
Tabela 3.14 – Metadado explicativo dos campos do banco de dados do inventário.....	90
Tabela 3.15 – Descrição da escala da lógica de comparação pareada (Saaty, 1991).	94
Tabela 3.16 – Pesos adotados para as classes do plano de informação de curvatura.....	95
Tabela 3.17 – Matriz de comparação pareada adotada entre os três atributos hidrológicos. ...	96
Tabela 3.18 – Matriz de comparação pareada adotada entre os dois atributos geomorfológicos.	96
Tabela 3.19 – Diferentes graus de importância adotados nos cenários para suscetibilidades hidrológicas.	96
Tabela 3.20 – Diferentes graus de importância adotados nos cenários para suscetibilidades geomorfológicas.	96
Tabela 3.21 – Definição das infraestruturas como elemento em risco.	100
Tabela 3.22 – Valores da vulnerabilidade total (V_i).	101
Tabela 3.23 – Exemplo: Vila Buritis, Planaltina (área urbana consolidada) no cálculo de f (imagens GDF, 2010).	103

Tabela 4.1 – Unidades litológicas para a região de estudo, conforme Moreira et al. (2008).	105
Tabela 4.2 – Unidades litológicas para a região de estudo, nos limites do DF, conforme Freitas-Silva & Campos (1998).	106
Tabela 4.3 – Quantitativo das áreas das unidades litológicas para a bacia e sua porção do DF.	107
Tabela 4.4 – Descritivo geotécnico dos grupos pedológicos.	107
Tabela 4.5 – Quantitativo dos grupos pedológicos para a bacia e sua porção do DF.	108
Tabela 4.6 – Quantitativo das classes pedológicas detalhadas para a bacia e sua porção do DF.	109
Tabela 4.6 – <i>Continuação</i> .	110
Tabela 4.7 – Quantitativo das classes de profundidade e textura dos solos detalhadas para a bacia e sua porção do DF.	111
Tabela 4.8 – Descritivo dos compartimentos geomorfológicos (Latrubesse & Carvalho, 2006).	111
Tabela 4.9 – Descritivo dos compartimentos geomorfológicos para a porção do DF (Campos, 2010).	112
Tabela 4.10 – Quantitativo das classes dos compartimentos geomorfológicos para a bacia e sua porção do DF.	112
Tabela 4.11 – Quantitativo das classes de declividade e curvatura das vertentes para a bacia.	114
Tabela 4.12 – Descritivo dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos profundos (Almeida et al., 2006).	115
Tabela 4.13 – Descritivo dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos rasos (Almeida et al., 2006).	115
Tabela 4.14 – Quantitativo das classes dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos profundos e rasos da bacia, respectivamente.	116
Tabela 4.15 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos profundos para a bacia.	116
Tabela 4.16 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos rasos para a bacia.	117
Tabela 4.17 – Descrição das classes dos aquíferos do domínio fraturado.	117
Tabela 4.18 – Descrição das classes do sistema de aquíferos do domínio poroso.	118
Tabela 4.19 – Quantitativo das classes dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos do domínio fraturado e poroso para a bacia na sua porção do DF.	119

Tabela 4.20 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos fraturados para a bacia na porção do DF.	120
Tabela 4.21 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos porosos para a bacia na porção do DF.	120
Tabela 4.22 – Quantitativo das classes de distância de drenagem da bacia.	121
Tabela 4.23 – Quantitativo das classes de uso e cobertura dos solos da bacia.	121
Tabela 4.24 – Exatidão para cada polígono recortado e suas classes obtidas na classificação digital da imagem <i>ALOS</i>	124
Tabela 4.25 – Cálculo dos índices e coeficientes para as drenagens das áreas de contribuição.	132
Tabela 4.26 – Análise dos danos relatados nas matérias jornalísticas e seu uso e cobertura do solo.	138
Tabela 4.27 – Análise da quantidade e densidade de ocorrências em classes pedológicas.	141
Tabela 4.28 – Análise da quantidade e densidade de ocorrências em classes de curvatura das vertentes.	142
Tabela 4.29 – Peso arbitrado e pesos finais para as análises de suscetibilidade da curvatura de terreno.	142
Tabela 4.30 – Valores de perigo interpolados para as estações pluviométricas.	156

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1.1 – Porcentagem dos desastres naturais distribuídos por tipo, que afetaram o Brasil entre os anos de 1900 e 2011 (EM-DAT, 2012).	21
Figura 1.2 – Carta florestal do Distrito Federal de 1972: ênfase no lago do Rio São Bartolomeu projetado (em azul claro) (Netto & Flor, 1972).	24
Figura 2.1 – Classificação dos riscos (Cerri & Amaral, 1998).	37
Figura 2.2 – Esquema para distinguir tipos de escoamento e acúmulo superficial de água (Fonte: http://dcsbcsp.blogspot.com.br e modificado de Carvalho et al., 2007).	42
Figura 3.1 – Demonstração da Bacia do Rio São Bartolomeu: (a) delimitação dos trechos de Ottobacias (em preto) (ANA, 2009); (b) delimitação por interpretação; (c) comparação entre as duas anteriores.	49
Figura 3.2 – Nomenclatura das folhas SICAD na escala de 1:10.000 (Codeplan, 1976).	52
Figura 3.3 – Descrição de processamento e produtos gerados de modelagem hidrológica em ambiente de SIG por meio de MDE.	60
Figura 3.4 – Descrição de processamento e produtos gerados de modelagem hidrológica em ambiente SIG por meio de MDE, com o <i>TauDEM</i>	61
Figura 3.5 – Esquema de direção de fluxo: (a) D8; e (b) D_{∞} (modificado de Tarboton, 1997).	62
Figura 3.6 – Cone circular de influência das áreas de fluxo acumulado do esquema de direções: (a) D8; e (b) D_{∞} (Tarboton, 1997).	63
Figura 3.7 – Exemplo das grades numéricas da área de fluxo acumulado geradas por esquemas de direção de fluxo: (a) D8; e (b) D_{∞}	63
Figura 3.8 – Etapas de processamento da distância vertical a drenagem mais próxima (modificado/tradução de Rennó et al., 2008, INPE).	70
Figura 3.9 – Exemplo de grades numéricas e transectos dos modelos de terreno: (a) MDE (TOPODATA); e (b) <i>HAND</i> (metodologia de Rennó et al., 2008, INPE).	71
Figura 3.10 – Exemplo das grades numéricas de: (a) declividade; (b) área de fluxo acumulado (D_{∞}); e (c) <i>TWI</i>	73
Figura 3.11 – Exemplo das grades numéricas: (a) distância de drenagem; (b) área de fluxo acumulado (D_{∞}); e (c) distância de drenagem pela área de fluxo acumulado.	75

Figura 3.12 – Polígonos de Thiessen e bacias hidrográficas (Barbosa, 2012) para a associação dos pontos ocorrências as estações pluviométricas da ANA, ADASA, CAESB e INMET.	92
Figura 3.13 – Topologia dos elementos em risco: a) edificação de grande porte; b) conjunto de edificações; e c) construção (imagens GDF, 2010).....	100
Figura 3.14 – Situação da rede de drenagem pluvial no DF (modificado de GDF, 2008).....	101
Figura 4.1 – Curva hipsométrica para bacia do Rio São Bartolomeu.	113
Figura 4.2 – Curva hipsométrica para bacia do Rio São Bartolomeu normalizada.	113
Figura 4.3 – Planos de informação de: a) uso e cobertura do solo (4º nível); b) grupos hidrológicos dos solos; e c) <i>CN (curve-number)</i>	125
Figura 4.4 – Planos de informação de: a) armazenamento; e b) escoamento superficial.	125
Figura 4.5 – Planos de informação: a) <i>TWI</i> ; b) <i>FDD</i> ; e c) <i>HAND</i>	126
Figura 4.6 – Análise de aspectos morfológicos das áreas de contribuição de 1ª ordem: (a) coeficiente de compacidade; (b) índice de circularidade; e (c) fator de forma.	127
Figura 4.7 – Relações morfométricas para áreas de contribuição de 1ª ordem entre: a) <i>m</i> , <i>RC</i> e <i>R_i</i> ; e b) <i>RC</i> e <i>R_t</i>	128
Figura 4.8 – Análise de aspectos morfológicos das áreas de contribuição de 2ª ordem: (a) coeficiente de compacidade; (b) índice de circularidade; e (c) fator de forma.	129
Figura 4.9 – Relações morfométricas para áreas de contribuição de 2ª ordem entre: a) <i>m</i> , <i>RC</i> e <i>R_i</i> ; e b) <i>RC</i> e <i>R_t</i>	129
Figura 4.10 – Análise de aspectos morfológicos relativo ao índice de circularidade das áreas de contribuição de: (a) 3ª ordem; (b) 4ª ordem; e (c) 5ª ordem.	130
Figura 4.11 – Quantitativo das áreas de contribuição (km²) de diferentes ordens hierárquicas para o índice de circularidade (<i>RC</i>).	131
Figura 4.12 – Exemplo das drenagens numéricas hierarquizadas.....	131
Figura 4.13 – Números de análise linear e sua relação com a ordem dos canais.....	133
Figura 4.14 – Frequência de pontos de ocorrência por: a) mês; e b) ano.	134
Figura 4.15 – Frequência de pontos de ocorrência por dia.	135
Figura 4.16 – Frequência de pontos de ocorrência por ano hidrológico.	136
Figura 4.17 – Frequência de eventos de precipitação deflagrante por: a) mês; e b) ano.....	137
Figura 4.18 – Frequência de eventos deflagrantes por dia.	137
Figura 4.19 – Frequência de eventos deflagrantes por ano hidrológico.	137
Figura 4.20 – Frequência das classes de distância de drenagem e sua estatística descritiva. .	140

Figura 4.21 – Frequência das classes de área de fluxo acumulado e sua estatística descritiva.	143
Figura 4.22 – Frequência das classes de precipitação deflagrante e sua estatística descritiva.	144
Figura 4.23 – Frequência das classes de precipitação antecedente e sua estatística descritiva.	145
Figura 4.24 – Pontos de ocorrência em função das precipitações deflagrantes e antecedente, classificados por tipo de solo.	146
Figura 4.25 – Mapa de distribuição dos pontos do inventário de alagamentos e inundações.	147
Figura 4.26 – Mapa da quantidade de pontos do inventário de alagamentos e inundações. ..	147
Figura 4.27 – Probabilidades para as estações da ADASA: a) Contagem Rua do Mato (01547052); e b) Vicente Pires Montante (01548040).	148
Figura 4.28 – Probabilidades para as estações da ADASA: a) Samambaia DF-280 (01548039); b) Taguatinga (01548037); e c) Mestre d’Armas Jus. DF-230 (01547071).	149
Figura 4.29 – Probabilidades para as estações da ANA: a) Brazlândia (Quadra 18) (01548000); b) ANA Sede (01547032); e c) Brasília Sul-SE (01547024).	150
Figura 4.30 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETE Sul (01547008); b) ETE Norte (01547009); c) Área Alfa (01547014); d) ETE Sobradinho (01547015); e) Jockey Club (01547018).	151
Figura 4.31 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETA Cabeça de Veado (01547019); b) ETE Paranoá (01547020); c) CAESB Hidrologia (01547029); e d) ETE Riacho Fundo GM-3 (01548010).	152
Figura 4.32 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETE São Sebastião (01547048); b) ETE Vale do Amanhecer (01547078); c) Contagem (01547010); e d) Colégio Agrícola (01547011).	153
Figura 4.33 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) Descoberto (01548008); b) ETA Brazlândia (01548007); c) Taguatinga ETA RD (01548006); e d) Gama ETE Alagado (01548005).	154
Figura 4.34 – Probabilidades para as estações do INMET Brasília/DF (OMM: 83377) (01547004).	155
Figura 4.35 – Carta de perigo a alagamentos e inundações para o DF.	157
Figura 4.36 – Cenários 1 e 2 de suscetibilidade a alagamento e inundação.	159

Figura 4.37 – Cenários 3 e 4 de suscetibilidade a alagamento e inundação.	160
Figura 4.38 – Cenários 5 e 6 de suscetibilidade a alagamento e inundação.	161
Figura 4.39 – Cenários 7 e 8 de suscetibilidade a alagamento e inundação.	162
Figura 4.40 – Cenários de média e média ponderada de suscetibilidade a alagamento e inundação.	163
Figura 4.41 – V_t (%) para os diversos elementos em risco.	165
Figura 4.42 – f para os diversos elementos em risco.	165
Figura 4.43 – Carta de vulnerabilidade e consequência a alagamento e inundação.	166
Figura 4.44 – Carta de risco a alagamento e inundação.	167

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

A	Área medida de um polígono de uma infraestrutura
a	Grade numérica da área de fluxo acumulado
$A_{1...8}$	Atributos do meio físico (entre 1 e 8), planos de informação ou grades numéricas
A_b	Área de uma bacia hidrográfica ou área de contribuição
ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas – Normas Brasileiras
A_c	Área de uma circunferência de igual perímetro de uma bacia hidrográfica ou área de contribuição considerada
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de preservação permanente
<i>Aster GDEM</i>	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model</i>
AVNIR-2	<i>Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2</i>
C	Precipitação pluviométrica (chuva) acumulada
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CCD	<i>High Resolution Charged-Coupled Device Camera</i>
C_m	Consequências ou perdas potenciais monetárias
CN	<i>Curve Number</i>
C_n	Cenário de suscetibilidade n (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, média e meio)
C_t	Precipitação pluviométrica (chuva) acumulada total ou limiar de chuva total definido
CU	Custo unitário de construção, reconstrução, restauração ou reparo de uma infraestrutura
D	Distância real do terreno da escala cartográfica
d	Distância homóloga medida na carta para definição da escala cartográfica
D8	Grade ou modelo numérico da área de fluxo acumulado em 8 direções
D_∞	Grade ou modelo numérico da área de fluxo acumulado em direções quaisquer (infinita)
DD	Grade numérica da distância das drenagens
DF	Distrito Federal, Brasil
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DP	Valor arbitrário ao modo de implantação do sistema de drenagem pluvial
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
E_r	Elemento em risco
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
F	Fragilidade estrutural do elemento em risco
f	Fator de densidade de infraestruturas em um polígono do conjunto de edificações
FDD	Distância de drenagem (DD) dividida pela área de fluxo acumulado (a)
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FT	Forma de terreno ou curvatura das vertentes de um terreno

GO	Estado de Goiás, Brasil
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
<i>H</i>	Perigo (ou ameaça)
<i>h</i>	Cota ou carga hidráulica saturada
<i>HAND</i>	<i>Height Above the Nearest Drainage</i>
<i>HEC-RAS</i>	<i>Hydrologic Engineering Centers River Analysis System</i>
<i>i</i>	Intensidade de uma precipitação pluviométrica
I_a	Abstração inicial ou perda inicial antes do início do escoamento
<i>IAEG</i>	<i>International Association of Engineering Geology</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>ICM</i>	<i>Iterated Conditional Modes</i>
<i>IDW</i>	<i>Inverse Distance Weighted</i>
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
<i>IHS</i>	<i>Intensity, hue e saturation</i>
<i>In</i>	<i>Interferometry</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas de São Paulo
<i>ISO</i>	<i>International Standardization Organization</i>
<i>ITRS</i>	<i>International Terrestrial Reference System</i>
K_o	Coefficiente de redução ou deformação da escala cartográfica
k_v	Condutividade hidráulica na direção vertical
<i>L</i>	Ocorrência qualquer ou quantidade de ocorrências de alagamento ou inundação
L_m ou L_{m_u}	Comprimento médio dos canais de ordem u de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
L_u	Soma dos comprimentos dos canais de cada ordem u de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
L_w	Máximo comprimento em planta de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
m	Coefficiente de compacidade de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
MAH	Método de Análise Hierárquica
<i>MaxVer</i>	Máxima verossimilhança gaussiana
MDE	Modelo digital de elevação
M_{ij}	Distância entre nós ou <i>pixels</i> de linha i e coluna j
n_e	Porosidade efetiva
N_u	Quantidade de segmentos de drenagem de ordem u de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
<i>MEXE</i>	<i>Military Engineering Experimental Establishment</i>
p	<i>Pixel</i> ou valor atribuído a um <i>pixel</i> qualquer
P	Probabilidade qualquer
P'	Perímetro de um círculo de área igual a uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
P_b	Perímetro de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
p_n, p_{min}, p_{max}	Valores normalizados, mínimos e máximos de um <i>pixel</i> qualquer
<i>PUCE</i>	<i>Pattern-Unit-Component-Evaluation</i>
Q	Escoamento superficial ou precipitação efetiva
$Q_{médio}$	Vazão média
R	Risco

R_b	Índice da relação de bifurcação de segmentos de drenagem
RC	Índice de circularidade de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
RL_b	Relação entre o índice dos comprimentos médios dos canais e o índice da relação de bifurcação
RL_m	Índice dos comprimentos médios dos canais de ordem u de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
R_s	Risco específico
R_f	Fator de forma de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
S	Armazenamento ou potencial de retenção máxima de água
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
$SCS-CN$	<i>Soil Conservation Service – Curve Number</i>
$SGDB$	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
$SICAD$	Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SIR	<i>Spaceborne Imaging Radar</i>
$SIRGAS$	Sistema Geodésico de Referência para as Américas
$SRTM$	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
T	Transmissividade hidráulica
t	Tempo
t_1	Tempo de um ano
t_2	Tempo de monitoramento e coleta de dados da estação pluviométrica
$TauDEM$	<i>Terrain Analysis Using Digital Elevation Models</i>
$TOPMODEL$	<i>A Topography based hydrological Model</i>
$TOPODATA$	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TWI	<i>Topographic Wetness Index</i>
u	Ordem hierárquica de uma área de contribuição ou bacia hidrográfica
UnB	Universidade de Brasília
$USDA$	<i>United States Department of Agriculture</i>
$USGS$	<i>United States Geological Survey</i>
V	Vulnerabilidade
V_t	Vulnerabilidade física total
Z	Valor de um nó ou <i>pixel</i> qualquer interpolado

α	Menor elemento discernível em um mapa
β	Ângulo de inclinação de uma vertente ou declividade
χ	Peso ou ponderação qualquer aplicada à interpolação
Δt	Intervalo de tempo
Δx ou Δy	Resolução espacial do <i>pixel</i> (p)
δz	Gradiente da altimetria entre as células
λ	Evento qualquer ou quantidade de eventos de precipitação pluviométrica em uma determinada classe ou limiar de chuva
Σ	Somatório de itens quaisquer
v	Constante qualquer de proporcionalidade

1 – INTRODUÇÃO

Os desastres naturais apresentam uma ruptura do funcionamento de comunidades ou sociedades envolvendo impactos e perdas humanas, econômicas, materiais e ecológicas generalizadas, que superam a capacidade dos afetados para lidar com isto por meio dos seus próprios meios (UNISDR, 2009). De acordo com Marcelino (2008), em sua revisão sobre desastres naturais, os danos e prejuízos apurados de impactos advindos de um fenômeno natural intenso ou extremo sobre um sistema social que não possui capacidade de conviver com impacto são considerados desastres naturais.

Em abordagem trans e interdisciplinar de revisão de bibliografias, Christofolletti (1999) trata desastres naturais pelo termo azares naturais, conceituando-os como algo existente entre eventos dos sistemas ambientais e os usuários dos sistemas socioeconômicos. Os eventos naturais apresentam variações (não linear e multifractal) na sua magnitude ao longo do tempo e somente podem ser tratados como azares quando resultam em danos (Christofolletti, 1999). Ainda segundo este mesmo autor, a quantificação das perdas potenciais aos valores assegurados, combinada com a avaliação das frequências ou probabilidades correspondentes, é o significado da avaliação de riscos.

Deste modo, estimativas e análises de toda sorte são realizadas para evitar desastres naturais e tecnológicos, nos mais diversos ramos de gerenciamento de riscos. De acordo com estimativas, Bell (1999) afirma que tão somente um terço do custo dos desastres é revertido em prevenção, mitigação e prognóstico desses eventos. Apenas em 2011 o mundo conheceu 30.770 mortes e 244,7 milhões de vítimas de desastres naturais (Guha-Sapir et al., 2012), que geralmente fazem parte de classes sociais com menor poder aquisitivo, chamando a atenção para explicações menos “naturais” dos desastres e seus impactos (Guha-Sapir & Lechat, 1986). Com isso, economicamente, somente no ano de 2011 o Brasil relatou entre 0,5 e 5 bilhões de dólares de dano resultantes de todos estes desastres naturais (EM-DAT, 2012).

Segundo Guha-Sapir et al. (2012) para as Américas houve um pequeno aumento no quantitativo de vítimas em 2011 quando comparado com a média anual do período entre 2001 a 2010. Ainda conforme a mesma autora, os desastres climatológicos e hidrológicos (inundações e movimentos de massa) dobraram em 2011 comparados à média anual do período entre 2001 e 2010. Os países mais afetados por desastres naturais na América do Sul são o Brasil, o Peru e a Colômbia com respectivamente cerca de 50%, 13% e 10% de

contribuição, dentre os latino-americanos pouco mais de 25% corresponde à inundações e menos de 10% são movimentos de massa (EM-DAT, 2012).

A Fig. 1.1 ilustra a porcentagem de desastres naturais que ocorreram no País entre 1900 e 2011 (EM-DAT, 2012) e as inundações representam o tipo de riscos geológicos mais frequentes, entretanto é um fenômeno previsível em relação aos demais (BELL, 2007). As inundações apresentam uma tendência global e regional de possuir a maior recorrência.

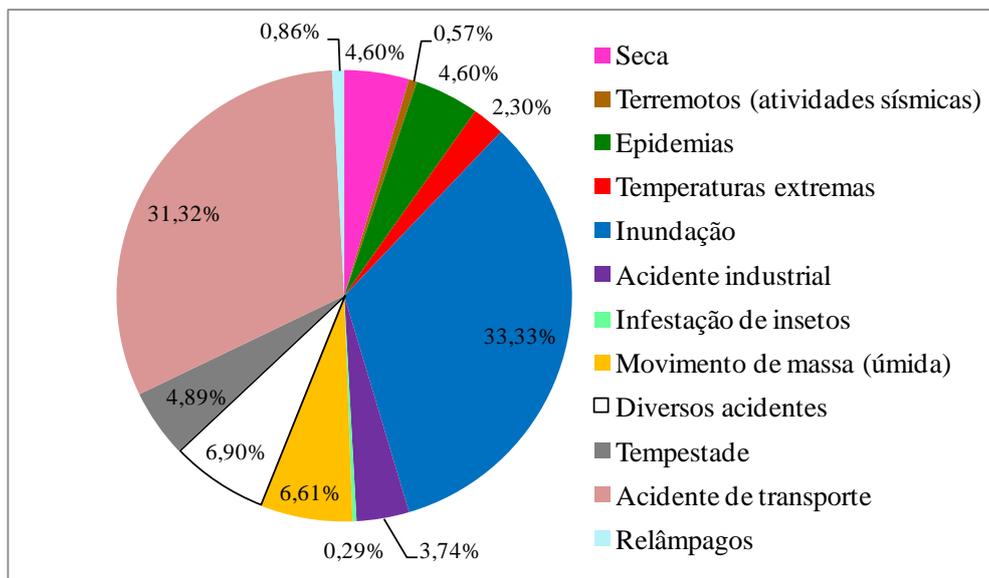


Figura 1.1 – Porcentagem dos desastres naturais distribuídos por tipo, que afetaram o Brasil entre os anos de 1900 e 2011 (EM-DAT, 2012).

No Brasil, devido à recorrência de fatos de alagamentos e inundações que tem atingido as populações e a aparente inércia na modificação dos cenários calamitosos, conhecedores do tema têm enunciado estes desastres como “tragédia anunciada”.

Sausen & Narvaes (2013) listam os alagamentos e inundações que mais repercutiram no País nos últimos cem anos, algumas com a presença mista de deslizamentos e desastres tecnológicos. Mesmo que sem critérios aparentemente justificados pelos autores para enumerar tais exemplos, eis aqui eles, com maior detalhe que o adotado pela lista consultada:

- i) Região serrana do Rio de Janeiro (janeiro de 2011);
- ii) Vários pontos de alagamento e inundação em São Paulo, capital (janeiro de 2011);
- iii) Inundação dos rios Una, Sirinhaém, Piranji, Mundaú e Canhoto, nos estados de Alagoas e Pernambuco (junho de 2010);
- iv) Alagamentos e inundações em Rio de Janeiro e Niterói (abril de 2010);
- v) Vale do Paraíba, inundação do rio Paraitinga em São Luiz do Paraitinga, afetando o centro histórico da cidade, São Paulo (janeiro de 2010);

-
- vi)** Sul de Santa Catarina atingindo vários municípios, inclusive Blumenau (novembro de 2008);
 - vii)** Rompimento da barragem de Camará, Paraíba (junho de 2004);
 - viii)** Inundação do rio Acre atingindo à capital Rio Branco, Acre (fevereiro de 1997);
 - ix)** Petrópolis, Teresópolis e Morro Dona Marta (enxurradas e deslizamentos), Rio de Janeiro, além de Duque de Caxias e Nova Iguaçu (fevereiro de 1988);
 - x)** Inundação do rio Itajaí, Blumenau em Santa Catarina (julho e agosto de 1983);
 - xi)** Inundações na mesorregião do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, e em parte de Colatina e Baixo Guandu, no Espírito Santo (janeiro e fevereiro de 1979);
 - xii)** Inundação do rio Cuiabá, Cuiabá, Mato Grosso (março de 1974);
 - xiii)** Município de Tubarão registra inundação do seu rio, de mesmo nome, Santa Catarina (março de 1974);
 - xiv)** Alagamentos, inundações e deslizamentos no Rio de Janeiro (janeiro dos anos de 1966 e 1967);
 - xv)** Transbordamento do rio e/ou lago Guaíba, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul (maio de 1941);
 - xvi)** Inundação no Vale do Itajaí, afetando Blumenau, Santa Catarina (outubro de 1911).

Há diversos bancos de dados de desastres naturais e, apesar de exibirem uma tendência de aumento nos números de eventos, os mesmos tendem a apresentar entre si oposições, superestimando ou subestimando dados em escalas globais e regionais (Marcelino et al., 2006). Os desastres naturais direcionam-se para o aumento dos eventos, bem como para a maior exatidão dos inventários (UFSC, 2012) e para o comprometimento da sociedade em geral no entendimento e reconhecimento desses riscos.

No Brasil foram registrados, desde 1991 até 2010, 31.909 eventos e 96.220.879 afetados (UFSC, 2012), todavia o Distrito Federal (DF) apresentou apenas dois eventos de incêndios registrados (UFSC, 2011), que são dados apontados pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. De acordo com UFSC (2011), podem ter ocorrido eventos em outras localidades e no DF, mas não refletiram danos para serem considerados desastres, além de outras limitações citadas na pesquisa. Já no estado de Goiás (GO), considerando somente inundações, alagamentos e enxurradas somam-se, entre 1991 e 2010, 74 registros (UFSC, 2011).

1.1 – MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

O termo “tragédia anunciada” pode ser considerado um recurso covarde, utilizado largamente, que esconde a inabilidade de responder: (i) a localização espacial do desastre; (ii) quando o mesmo poderá ocorrer; (iii) sobre a delimitação das perdas diretas e indiretas, seja ela qual for, resultante da deflagração do fenômeno natural; (iv) qual a associação dos atributos geoambientais com estes desastres; (v) a frequência destes eventos; e (vi) a sua probabilidade de ocorrência espacial.

Se a tragédia é anunciada, quer se saber *o que é* o fenômeno, *quem* tem responsabilidade sob o mesmo, *onde* irá ocorrer, *quando* irá ocorrer, *como* o mesmo irá se desenvolver e o *porquê* da sua ocorrência. Tudo isto para embasar qualquer tipo de tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos riscos ou, até mesmo, caso possível colocar desta forma, não tomar decisão alguma.

A carência de informações, registros e estudos sobre desastres naturais e os riscos geológicos-geotécnicos e geoambientais no DF e GO coloca em dúvida a ocorrência desses fenômenos na região. Atualmente, o DF é privilegiado por um vasto conteúdo de dados geoespaciais do meio socioambiental, incluído os atributos do meio físico. Dessa maneira, o prognóstico da ocorrência, das suscetibilidades, vulnerabilidades e riscos aos eventos geológico-geotécnicos naturais, por meio de modelos espaciais, podem ser prontamente mapeados. Isso ajudaria a indicar a possibilidade de inventários detalhados para a região, uma vez que os registros chegam a ser insuficientes e até inexistentes nos bancos de dados.

A recente Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), em seu artigo 5º, inciso VII cita como diretriz a promoção da “identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência” (Brasil, 2012). Além disso, segundo a mesma Lei, compete à União, aos estados e aos municípios a articulação para identificar, estudar e mapear áreas de risco, ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades. Frente a esse contexto está em demanda mapeamentos que indiquem aptidão à urbanização frente às suscetibilidades aos alagamentos e inundações em todos os estados do País, tomando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, quando os estudos relacionarem corpos d’água, conforme o artigo 4º e inciso IV da Lei nº 12.608/2012. Também se faz necessária, para a tomada de decisões estruturais, a adoção de mapeamentos de risco, que partem das análises de ameaça e vulnerabilidades.

Para isso foi selecionada a bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, considerando seus limites no estado de GO e do DF, que abrange também a Bacia do Lago Paranoá, uma vez que o rio Paranoá deságua no rio São Bartolomeu. Outro fator importante é a relevância ambiental, econômica e turística da região, devido à proximidade e por estar incluso em aglomerados urbanos do DF e entorno, decorrendo de tal fato, as ameaças e riscos (FBB, 2008). Devido a isso, desde 2004, a Fundação Banco do Brasil (FBB) financia tanto projetos para a recuperação de áreas degradadas, quanto de tecnologias sociais nessa região.

Ressalta-se também a carta florestal do Distrito Federal do ano de 1972 (Netto & Flor, 1972), que representa um grande espelho de água resultante do barramento do rio São Bartolomeu (Fig. 1.2). Nessa época já era observada a propensão desta região de acumular águas superficiais, seja pelos seus atributos do meio físico seja pelas características hidráulicas e hidrológicas do canal, sendo este um lago projetado pelo então Governo oficial.

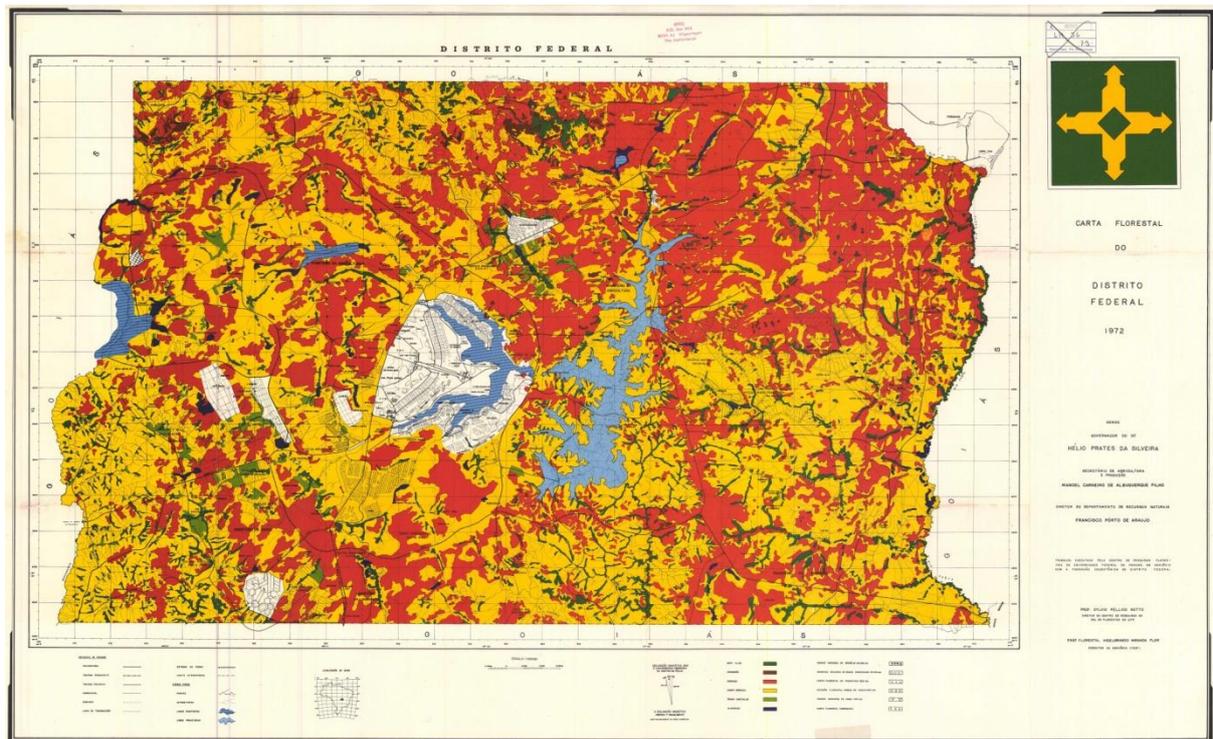


Figura 1.2 – Carta florestal do Distrito Federal de 1972: ênfase no lago do Rio São Bartolomeu projetado (em azul claro) (Netto & Flor, 1972).

1.2 – OBJETIVOS DA PESQUISA

Desenvolver e explorar métodos e modelos espaciais de risco, perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade e consequências a alagamentos e inundações utilizando geotecnologias e a base teórica da cartografia geotécnica, com dados em diversas escalas de abordagem,
Dissertação de Mestrado (G.DM - 236/2014)

buscando produtos cartográficos adequados para a tomada de decisão. A partir desse objetivo geral é possível delinear os seguintes objetivos específicos:

- Alcançar um embasamento teórico suficiente, por meio da revisão bibliográfica, quanto às metodologias e análises de alagamentos e inundações e sobre riscos geotécnicos;
- Definir os limites cartográficos da região de estudo da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, de acordo com seus divisores topográficos e área de influência;
- Realizar caracterização dos atributos físicos geoambientais da área de estudo, por meio dos dados geoespaciais disponíveis em diferentes escalas cartográficas;
- Levantar inventário de pontos de alagamentos e inundações utilizando-se de matérias jornalísticas, para toda a região do estado do DF, não se limitando somente à região de estudo proposta para esta dissertação, criando assim um banco de dados geográfico para essas ocorrências;
- Analisar a probabilidade do evento deflagrante de alagamento e/ou inundação para a definição do perigo;
- Avaliar a suscetibilidade a alagamentos e inundação por meio do Método de Análise Hierárquica (MAH), obtendo diversos cenários, fruto das operações algébricas dos dados dos atributos do meio físico;
- Estimar as vulnerabilidades das infraestruturas, adotadas como os elementos em risco, e seus respectivos danos (consequências);
- Avaliar o risco quantitativo a alagamento e inundação resultante das análises de perigo, vulnerabilidade e consequência;
- Aplicar a metodologia, ora em objeto, para a elaboração e confecção de cartas geotécnicas de risco, perigo, vulnerabilidade e consequências a alagamento e inundação para região de estudo nos seus limites do DF.

1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Toda a formatação desta dissertação segue o padrão e normas adotadas pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). Este primeiro capítulo procura estimular o leitor à introdução teórica sobre conceitos gerais em torno do tema e informações sobre a ocorrência de desastres no Brasil e no mundo. Neste mesmo capítulo delimita-se o eixo da pesquisa e as suas aplicações, definindo o problema central, seu objetivo geral e objetivos específicos.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica de todos os subtemas das ciências da engenharia civil e ambiental importantes para esta dissertação, sempre buscando o foco metodológico principal que derivasse de produções científicas da geotecnia. Entretanto, por ser um tema de grande interdisciplinaridade e da escassez de material, principalmente no âmbito mundial, partindo do ramo geotécnico, a revisão buscou trabalhos de diversas áreas do conhecimento das geociências aplicadas e das engenharias, como periódicos e anais sobre hidrologia, geologia e geomorfologia. Isto completou o entendimento sobre o problema em tela. Além disso, fez-se o uso de publicações sobre geoprocessamento e cartografia, que são bastante conhecidos no meio técnico.

O terceiro capítulo descreve os passos metodológicos e materiais (dados espaciais em formato digital) adotados para realizar os objetivos propostos neste trabalho. Houve a preocupação em não transformar este estudo em um manual de geoprocessamento ou de técnicas de análise de risco, focando sempre nos passos primordiais para o entendimento do processamento matemático e computacional dos dados básicos. Entretanto, a metodologia é exposta de maneira clara o suficiente para que leitores com nível básico de conhecimento tenham a oportunidade de replicar os métodos aqui propostos, pois a metodologia de análise e tratamento dos dados espaciais é o escopo objetivo desta dissertação. Além disso, os dados de partida utilizados foram citados rigorosamente, permitindo a replicação das tarefas realizadas, uma vez que permitir a reprodução é base da ciência moderna.

O quarto capítulo demonstra todos os resultados obtidos, assim como resultados de passos metodológicos intermediários de importância para o entendimento da geração dos produtos finais. Os principais modelos espaciais e informações básicas foram retrados cartograficamente, os demais mereceram figuras cartográficas de ilustração ao longo de todo o texto. Todas as cartas básicas, devido ao seu volume, foram colocadas nos apêndices, e somente as cartas de diagnóstico e prognóstico foram ilustradas no corpo do texto. Interpretações e análises das informações obtidas foram realizadas para verificar a adequabilidade dos produtos.

O quinto e último capítulo é sintético em aludir acertos e deficiências principais da metodologia proposta, com base nos resultados apurados, sendo este o papel destes tópicos conclusivos, bem como as limitações no seu uso. Também foi importante recomendar diversos futuros trabalhos que poderão ser realizados com as informações pré-existentes, intitulado as ações concretas que poderiam ser realizadas com estes produtos.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O entendimento dos fenômenos geodinâmicos e suas relações com o processo de mapeamento geotécnico são fundamentais para a definição de uma metodologia de cartografia de riscos. As principais publicações internacionais da área de engenharia geotécnica e geológica carecem de publicações sobre os problemas de alagamentos e inundações, ainda que diversos livros do ramo apontem este fenômeno geodinâmico como uma ameaça geotécnica ou geológica.

Esse capítulo possui os principais conceitos relacionados à cartografia geotécnica e seus procedimentos metodológicos, embasamento sobre geotecnologias e o referencial teórico sobre riscos geotécnicos.

Ao final do capítulo são abordadas as diferenças conceituais na denominação de alagamentos, cheias, enchentes, enxurradas e inundações e são citadas várias metodologias, estudos e abordagens sobre o mapeamento destas ameaças.

2.1 – CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Segundo a IAEG (1976), para ser considerada uma carta geotécnica, essa deve cumprir os seguintes requisitos: (i) retratar informações necessárias para avaliar as feições de engenharia geológica, (ii) prever modificações nas características geológicas, resultando em sugestões de medidas preventivas e (iii) apresentar informações que podem ser compreendidas por profissionais não geólogos. De acordo com Zábura & Mencl (1976), este mapa deve fornecer uma visão abrangente e clara da geologia, morfologia e hidrogeologia de uma área, no qual, o autor sugere, deve ser composto de três folhas: a primeira apresenta as condições de engenharia geológica (depósitos superficiais, afloramentos, espessura, fenômenos geodinâmicos e seções geológicas); a segunda exibe o mapa hidrogeológico (águas subterrâneas, permeabilidade, áreas inundáveis, área úmidas, propriedades químicas da água e corrosividade); e a última é o mapa de documentação que sintetiza os pontos usados na compilação dos mapas anteriores, como poços de testes, locais de amostragem, entre outros. O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico com feições significantes para o planejamento do uso do solo, projeto, construção e manutenção aplicada à engenharia civil e de minas (IAEG, 1976).

O mapa geológico apresenta as condições e estruturas geológicas de uma área, como representados na superfície terrestre (Záruba & Mencl, 1976). Sua obtenção, inicialmente, é

realizada por meio de insumos cartográficos, como a carta planialtimétrica e a carta imagem (fotos aéreas), exame preliminar das rochas na área de estudo, determinação dos afloramentos, falhas e dobras estruturais, identificação dos contatos e a descrição de seções horizontais e verticais (Slater, 1963). Ainda segundo o mesmo autor os mapas geológicos possuem fundamentos essenciais para estudar terrenos alvos de obras de engenharia e mineração.

Conforme a *British Geological Society* (1972), os mapas de geologia de engenharia possuem a finalidade de fornecer informações do estágio preliminar de planejamento na utilização para a administração, planejamento e em todos os aspectos industriais de desenvolvimento econômico e social de uma área ou terreno. O mesmo autor confronta os documentos anteriores com as plantas de geologia de engenharia, que podem ser mapas e outros métodos visuais de demonstração de dados de campo, como seções, poços, muros, entre outros elementos para finalidade específica de geologia de engenharia.

Segundo Diniz (1998) citado por Diniz (2012) a cartografia geotécnica é a integração, síntese e representação de informações temáticas de geologia de engenharia para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial, resultando na concepção de modelos de previsão do desempenho dos terrenos e soluções de intervenção sobre o meio físico.

As cartas geotécnicas retratam os tipos de rochas e solos (residuais e/ou transportados), considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico (relevo, geodinâmica externa, processos atuantes, uso e cobertura dos solos), definindo as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para o uso urbano e rural (Sobreira & Souza, 2012).

Griffiths (2001) resume três passos, de maneira simples, para o trabalho de obtenção de um mapa geotécnico: estudos em escritório (abarcando a interpretação de imagens aéreas e extração de feições), mapeamento em campo e a preparação dos mapas finais, havendo a necessidade de definir a quantidade de esforço dos trabalhos de campo em função da escala de trabalho.

2.2 – PROCEDIMENTOS E METODOLOGIAS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Ressalta-se que em diversos países foram criadas metodologias de cartografia geotécnica, e se transformaram em base para outras técnicas (Zuquette & Gandolfi, 2004) concebidas baseando-se nas necessidades e condições de cada País (Abel, 2002). Ainda segundo Abel (2002), os estudos voltados para a avaliação dos elementos do meio físico com

finalidade de engenharia e planejamento devem ser processados mediante um conjunto de procedimentos específicos para cada região em estudo e suas condições socioeconômicas.

Todavia, em 1968 uma comissão da *IAEG (International Association of Engineering Geology)* propõe uma orientação para a técnica de cartografia geotécnica adequada às experiências internacionais daquela época. As principais feições, aspectos ou componentes mapeados são: o caráter dos solos e rochas (distribuição de suas propriedades mecânicas e geológicas); as condições hidrogeológicas (águas superficiais e subterrâneas); a geomorfologia (relevo e paisagem); e os fenômenos geodinâmicos (erosão, deslizamentos, deposição, sismos, subsidências, entre outros). A classificação dessas cartas possui uma finalidade especial (aspectos específicos do meio físico) ou multifinalidade (diversos aspectos do meio físico). O conteúdo dessas cartas pode ser complementar (mapas básicos para geração de outros), auxiliar (informações aparentes ou factuais, como de contornos estruturais, isolinhas, entre outros), analítico (apresenta componentes e aspectos geológicos e geotécnicos individuais) e sintético ou compreensivo. Este último, distinto ao conteúdo analítico, representa todos os aspectos e componentes geotécnicos em mapas de: condições geotécnicas, no qual se apresenta as informações sem interpretação das mesmas; e zoneamento geotécnico, no qual a interpretação e classificação são realizadas com base na uniformidade das classes (zonas homólogas) que depende da escala e finalidade do mapeamento (IAEG, 1976).

Essas zonas homólogas podem ser separadas progressivamente por região (uniformidade dos elementos estruturais e geotécnicos), área (semelhança geomorfológica regional), zonas (homogeneidade de rochas e solos no arranjo estrutural e litológico) e distritos (hidrogeologia e processos geodinâmicos similares) (IAEG, 1976).

Escala menores que 1:100.000 são consideradas pequenas, quando maior que 1:10.000 é considerada grande ou de detalhe e escalas intermediárias estão entre 1:100.000 e 1:10.000 (IAEG, 1976).

Também foram definidos princípios para a classificação de solos e rochas na cartografia geotécnica pelo método *IAEG* baseado na litogênese. O tipo geotécnico ou de geologia de engenharia (*engineering geological type – ET*) representa o alto grau de homogeneidade no estado físico de alteração litológica e mecânica (grande escala). O tipo litológico (*lithological type – LT*) é homogêneo na textura, composição e estrutura (grande e média escala). O complexo litológico (*lithological complex – LC*) tem sua litologia desenvolvida sob mesma condição geotectônica e paleogeográfica (pequena e média escala).

E a suíte litológica (*lithological suite – LS*) possui poucas propriedades geotécnicas podendo ser inferidas, sob as mesmas condições tectônicas. As técnicas empregadas podem ser de fotogeologia, geofísica, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais para a obtenção de dados e informações. Maiores informações sobre a metodologia *IAEG* consultar *IAEG* (1976).

Alguns trabalhos foram realizados no sentido de fornecerem mapas para o zoneamento geotécnico geral (Christian & Stewart, 1953; Mitchell, 1973 citados por Fernandes, 2008), surgindo, a partir daí, a abordagem paramétrica (ou de atributos) e a abordagem fisiográfica ou de paisagens, as quais se configuram como maneiras distintas de avaliação de terrenos (Lollo, 1995; Vedovello, 2000). Segundo Beavis (1985), a avaliação de terreno é uma disciplina complementar à geologia de engenharia, que tem a função de processar os dados das investigações geológicas, sendo que o terreno é um produto do tempo entre a geologia e o clima. Muitos métodos para a avaliação de terreno já foram desenvolvidos.

As abordagens anteriormente citadas podem também ser denominadas, segundo Ross (1995), respectivamente de multitemática (aquelas paramétricas ou de atributos) e análises integradas (fisiográfica ou de paisagem). As cartas na abordagem multitemática são manipuladas de maneira separada para posterior integração mediante uma determinada finalidade, podendo, em alguns casos, ter atribuição de pesos distintos (Roque, 2006). Já a análise integrada consiste na determinação das unidades fisiográficas (Vedovello et al., 2002) ou na obtenção das unidades de terreno (Romão & Souza, 2004), priorizando a interação simultânea das informações retiradas na análise da área (Fernandes, 2008). Como exemplos de metodologias que se utilizam desta abordagem pode-se destacar a metodologia *MEXE*, desenvolvida na Inglaterra e a metodologia australiana *PUCE*.

O sistema *PUCE* (*Pattern-Unit-Component-Evaluation*) de análises de terreno foi elaborado com propósitos para aplicação na engenharia civil, no qual o terreno é classificado em zonas homólogas conforme a aptidão de solos e rochas para o planejamento e execução de obras. Posteriormente, as zonas são avaliadas para a finalidade desejada, aumentando progressivamente as hierarquias das classes de acordo com a necessidade da aplicação. A divisão e classificação dos terrenos são realizadas conforme quatro classes hierárquicas denominadas província, padrão de terreno, unidade de terreno e componente de terreno. Foi primeiramente citado por Aitchison & Grant (1967) e descrito em detalhes por Grant (1968), ambos citados por Dearman (1991).

O primeiro nível hierárquico do esquema *PUCE* é a província (*province*) (< 1:250.000) definida como uma área de geologia constante em um nível de grupo e formação. O padrão de terreno (*terrain pattern*) (> 1:250.000) pode ser avaliado quantitativamente por meio da definição da amplitude de relevo e da frequência ou densidade dos canais de drenagem. A unidade de terreno (*terrain unit*) (> 1:50.000) é definida por um único tipo de paisagem (*landform*) com características semelhantes de associação de solos e formação vegetal, por meio da declividade do terreno, perfil dos solos e uso e cobertura fitofisionômica. O último nível é a componente de terreno (*terrain component*) onde se detalha a paisagem baseado na curvatura das encostas, na máxima inclinação dos taludes, no perfil dos solos, uso e cobertura dos solos e associações vegetais.

A metodologia *MEXE* (*Military Engineering Experimental Establishment*) ou Oxford-*MEXE*-Cambridge é um sistema de classificação desenvolvido para regiões africanas tropicais, com zonas definidas pela interação entre clima, geologia e *landform* (TRRL, 1978; Lawrence, 1972). De acordo com Lawrence (1972) este esquema possui sete classes hierarquizadas, sendo que as três últimas para maior parte das aplicações são as mais utilizadas como base das classificações. São elas, em ordem hierárquica decrescente: zona (*land zone*); divisão (*land division*); província (*land province*); região (*land region*); sistema (*land system*); faceta ou aspecto (*land facet*); e elemento (*land element*).

O sistema de terreno (*land system*) é uma associação de faceta ou aspectos de terreno (*land facet*) que possui um padrão distinto em escala de 1:100.000 da dissecação do relevo, da vegetação e padrão de uso da terra. A faceta é definida em função da geologia, regime das águas superficiais e subterrânea e a topografia (de modo mais detalhado que o anterior) normalmente obtido em escala de 1:50.000. E o elemento de terreno (*land element*) é o maior detalhe da paisagem indivisível, como por exemplo, a encosta de uma colina, onde possui uma maior declividade na porção superior e uma inclinação suave na porção inferior da encosta. Cada porção dessa encosta é importante para análises de estabilidade de talude e para estimar o corte e aterro. Maiores informações sobre a metodologia *MEXE* em Lawrence (1972) e TRRL (1978).

Importantes metodologias destacam-se nacionalmente, como a EESC/USP (Zuquette & Gandolfi, 2004; Zuquette, 1987) que se fundamenta em um procedimento global desde a obtenção dos atributos básicos, passando pela elaboração de cartas específicas para usuários e necessidades futuras, bem como de orientação.

Em um primeiro nível são elaboradas as cartas fundamentais básicas de registro e inventário de atributos do meio físico, biótico e antrópico. No nível seguinte são obtidas as cartas fundamentais de síntese que resumem informações em único documento, para pequenas escalas, sem análise para fins específicos. O 3º nível cita as cartas derivadas e interpretativas, no qual a partir de dados básicos ou sintéticos refletem análises ou classificações de um determinado comportamento do meio e suas variações espaciais por meio de cartas de zoneamento geotécnico geral ou específico. As cartas analíticas básicas são referentes ao quarto nível e informam componentes básicos do meio relacionados à probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de processos naturais. Já no quinto nível é possível a obtenção de cartas de prognóstico de riscos, problemas e limitações por meio das análises anteriores considerando as interações dos componentes ambientais. As cartas de procedimentos, como nível subsequente, orientam nas diferentes zonas os tipos de uso e controle de riscos, são cartas de controle baseado nos prognósticos. No 7º nível destacam-se as cartas de viabilidade potencial para os usuários de acordo com a capacidade de suporte de uma área para determinado fim, considerando todos os aspectos ambientais em escalas de 1:50.000 até 1:2.000. O último nível permite a tomada de decisões administrativas ou econômicas para necessidades futuras, baseada nos documentos anteriores, que são as denominadas cartas de orientações conclusivas (Zuquette, 1987; Zuquette & Gandolfi, 2004).

Outra abordagem nacional é do IPT (Instituto de Pesquisas de São Paulo) fundamentada nos trabalhos de Prandini et al. (1995), citado por Zuquette & Gandolfi (2004), no qual sintetiza resultados de aplicações de cartografia geotécnica realizados por este instituto desde a década de 70. Agrupam-se as cartas em: geotécnicas propriamente ditas (limitações e potencialidades dos terrenos e definem as diretrizes de ocupação); de risco (dano potencial à ocupação diante de características ou fenômenos naturais ou induzidos); de suscetibilidade (gradações para o desencadeamento de fenômenos naturais ou induzidos); e de atributos ou parâmetros (distribuição espacial de uma ou mais características do terreno). Outras metodologias e abordagens em cartografia geotécnica podem ser consultadas em Zuquette & Gandolfi (2004).

Segundo Varnes (1974) algumas operações essenciais em mapas geológicos com propósitos para engenharia devem ser observadas, como: (i) a generalização cartográfica ou simplificação utilizada quando há muitos detalhes, complexidade ou confusão nos dados e informações; (ii) a seleção que é um processo para separar ou discriminar as informações desejadas e adequadas para um determinado fim; (iii) a adição por meio do relacionamento de

atributos a uma área, parte dela ou áreas não mapeadas, pelo relacionamento adicionando atributos em áreas existentes e a adição de informações tipológicas e espaciais em novo dado; (iv) a superposição é um tipo de adição por associação entre dois mapas (intersecção); e (v) a transformação que é o processo de modificação das características e significados das linhas, áreas e símbolos para torná-lo mais significativo a uma determinada aplicação.

2.3 – GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é um ramo da tecnologia de computação eletrônica de dados, que se apoia no processamento de dados georreferenciados (Silva, 2007). Como o uso deste substantivo é corriqueiro no jargão técnico nacional, o termo tem evoluído para conceitos decorrentes de sua aplicação, como ciência da Geomática. Ainda segundo Silva (2007), a Geomática possui estruturas de percepção de fenômenos ambientais para a transformação de dados geograficamente referenciados em informação relevante. O Geoprocessamento é uma técnica que utiliza ferramentas computacionais e matemáticas aplicadas ao tratamento de informações geográficas. O geoprocessamento só pode crescer acompanhado da evolução da informática, que possibilitou o surgimento dos SIG (Câmara et al., 2001).

2.3.1 – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O SIG é formado por ferramentas computacionais (programas) e procedimentos para coletar, ou capturar, armazenar, manipular, modelar, analisar e visualizar dados, que representam fenômenos do mundo real (da superfície terrestre). Estes dados devem estar espacialmente referenciados em determinado sistema de coordenadas geodésicas e ligados a um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGDB), para a solução de problemas complexos e multidisciplinares, fornecendo informação para a tomada de decisão em planejamentos e gerência (Burrough & McDonnell, 1998).

Dessa forma, um SIG deve possuir componentes, conforme destaca Câmara *et al.* (2001): interação com usuário; entrada e conexão de dados; consulta e análise espacial; visualização e plotagem; e um banco de dados geográfico organizado para o armazenamento e recuperação das informações e dados anteriormente processados.

De acordo com Longley et al. (2005) os SIG possuem um conjunto de ferramentas (de geoprocessamento) único necessário para aplicações diversas que vão desde aguçar a curiosidade científica até a resolução de problemas práticos. Assim, diversas podem ser as

análises feitas nos SIG e para inúmeros propósitos, com a utilização de técnicas de inferência espacial, como operações de lógica booleana, sobreposição por pesos, lógica *fuzzy*, métodos *bayesianos*, redes neurais artificiais e métodos de análise multicritério (como o MAH) (Meirelles et al., 2007). Existem outras técnicas utilizadas em SIG para modelagem dinâmica, como a aplicação de autômatos celulares (Longley et al., 2005), entre outros.

2.3.2 – SENSORIAMENTO REMOTO

Um componente de importância para a aquisição de informações para o geoprocessamento é o sensoriamento remoto, segundo Novo (2008), refere-se à obtenção de dados de forma remota. Ou seja, é a relação entre o objeto sensoriado e o sensor, não havendo contato físico entre ambos. O sensor coleta energia proveniente do objeto e converte em sinal passível de registro e armazenamento, para posterior obtenção e manipulação das informações existentes. Assim, o sensoriamento remoto é a captação, obtenção e registro de dados da energia eletromagnética de objetos da superfície terrestre, que é refletido ou obtido, podendo gerar imagens ou outros tipos de dados.

Estes sensores podem ser não-imageadores (espectrorradiômetros, altímetros a *laser*, radares, escaterômetros, sondas, etc.), imageadores (sistemas fotográficos) e sistemas de imageamento eletro-óptico. Os sensores devem estar acoplados em plataformas (níveis de aquisição) de campo, laboratório, aerotransportada ou orbital. A energia é emanada da superfície da Terra é captada por um sensor em plataformas (aeronaves ou veículos espaciais), coletando comprimentos de onda que vai além da capacidade da visão humana (Richards & Jia, 2006). Esses dados coletados são processados e derivados em dados de imageamento utilizáveis, que podem estar em formato digital. A extração, interpretação e classificação das informações são os objetivos do processo para atingir o entendimento e conhecimento dos padrões existentes na paisagem (superfície terrestre), assim como foi imageado.

Um dos principais métodos de extração de informações de imagens é a análise visual ou fotointerpretação, que segundo Novo (2008), possibilita a identificação dos objetos e o estabelecimento de suas propriedades. Segundo Lillesand & Kiefer (1994), em imagens espaciais e fotos aéreas é possível visualizar diversos objetos de tamanhos e formas distintas. Alguns podem ser rapidamente identificados, conforme a percepção e experiência do analista, e a realização da comunicação para outros, em relação à identificação de padrões em imagens é chamada de interpretação de imagens. Kravchenko (1998) cita que a fotointerpretação é a

arte de reconhecer nas fotografias aéreas as feições características dos objetos fotografados. A maioria das aplicações em fotointerpretação considera as seguintes características das imagens para serem analisadas visualmente: tonalidade ou cor, textura, padrão, localização, forma, sombra, tamanho, associação e resolução.

A análise quantitativa das imagens digitais, por sua vez, é realizada a partir das suas propriedades numéricas, possibilitando a extração de informações por meio de métodos computacionais. Quando um determinado *pixel* possui uma atribuição em relação à sua propriedade numérica, ocorre o que é chamado de classificação. O processo de classificação compreende em atribuir a cada *pixel* uma determinada “classe espectral” (Novo, 2008). De modo geral, o processamento digital de imagens transcorre em torno de finalidades complementares e diferentes entre si: (i) melhoramento da qualidade geométrica e radiométrica dos dados coletados, (ii) realce das feições de interesse para aprimorar o processo de interpretação visual das imagens, (iii) automatização de procedimentos de extração de informações, permitindo o tratamento rápido de grandes volumes de dados, (iv) possibilidade de integração de dados de diferentes fontes, (v) facilitar o desenvolvimento de modelos e representações da informação final (Novo, 2008).

Decorrente da análise quantitativa de imagens, a variação da intervenção do analista no processo de classificação pode levar à aplicação dos métodos de classificação supervisionada e não supervisionada. A classificação não supervisionada aloca os *pixels* em distribuição de classes espectrais que não foram previamente definidas pelo analista, visto que não permite a definição de classes de mapeamento, sendo definido *a posteriori* (Novo, 2008). A classificação supervisionada é fundamentada no intento de que as classes espectrais podem ser definidas pelo analista a partir de amostras previamente conhecidas (Novo, 2008), ou seja, é um método determinista, onde as classes são definidas em função do desvio-padrão da média da classe. Ou então, probabilístico quando um *pixel* pode ter relação com a classe em função da sua distribuição (gaussiana ou normal) das bandas espectrais (Richards & Jia, 2006).

Quando se utiliza classificação digital de imagens deve-se atentar para o controle da qualidade no mapeamento dos usos e cobertura dos solos. Portanto é importante ressaltar o sistema de classificação, que orientou essa pesquisa e estudo, adotado pela *United States Geological Survey (USGS)* (Lillesand e Kiefer, 1994) e que é delineado conforme os seguintes critérios: (i) o menor nível de acurácia (exatidão), ao utilizar-se de dados de sensor remoto, devendo-se então ser de no mínimo 85%; (ii) os níveis de acurácia para todas as

categorias mapeadas devem ser aproximados; (iii) resultados repetidos podem ser obtidos de acordo com o intérprete e/ou o sensor adotado; (iv) o sistema de classificação deve ser aplicável para áreas extensas; (v) a categorização das classes deve permitir que o uso do solo possa ser inferido a partir da cobertura do solo; (vi) o sistema de classificação deve ser adequado para a utilização em dados de sensoriamento remoto obtidos em diferentes períodos do ano (variabilidade da resolução temporal); (vii) as categorias mapeadas devem ser divisíveis em mais subcategorias para possibilitar o uso de dados de sensor de alta resolução espacial ou em pesquisas de campo; (viii) deve ser possível agregar categorias; (ix) comparações com futuros padrões de uso e cobertura do solo devem ser possibilitado e (x) usos múltiplos do solo devem ser reconhecidos. Portanto, para o mapa final de uso e cobertura foi alcançado um nível de exatidão referente aos procedimentos de classificação e extração de informações quantitativamente supervisionadas, para cada classe mapeada, devido ao recorte original das áreas perante a fotointerpretação.

2.4 – GESTÃO DE RISCOS

Quando empregada para a tomada de decisão em projetos de engenharia a análise de riscos é uma ferramenta importante e versátil, além disso, podem indicar o tipo de obra ou construção e orientar decisões gerais de órgãos públicos e/ou entidades privadas (Einstein, 1996). Uma das maneiras de iniciar a gestão de riscos é classificar o seu tipo, Cerri & Amaral (1998) sugerem que o mesmo seja realizado por meio da identificação das perdas e danos resultantes do fenômeno adverso (Fig. 2.1).

Mesmo que compartimentada, essa visão cabe apenas para o entendimento dos fenômenos, as aplicações relacionadas e, principalmente, a etapa de análise dos riscos deve ser realizada de maneira multidisciplinar e interdisciplinar, uma vez que os riscos são justapostos. Exemplo é o sismo ou tsunami de Sendai, o grande terremoto do leste do Japão de 11 de março de 2011, que provocou inundações costeiras, com consequente destruição de infraestruturas e perdas de vida, e o aquecimento e explosão da usina nuclear de Fukushima I. Apenas neste exemplo podem-se relacionar riscos geológicos endógenos, hidrológicos e tecnológicos. E mesmo em situações, como das enchentes e deslizamentos da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro do mês de janeiro de 2011, ao passo que as precipitações pluviométricas deflagravam os deslizamentos, as enxurradas também ocasionavam em desbarrancamentos e transporte de solo, isso dificulta uma separação rigorosa dos fenômenos.

Ainda segundo os mesmos autores, a gestão de riscos pode ser estruturada em cinco etapas: (i) identificação dos riscos; (ii) análise de risco; (iii) medidas de prevenção de acidentes; (iv) planejamento para situações de emergência; e (v) informações públicas e treinamento. Eskesen et al. (2004) também propõe etapas como a identificação, avaliação, análise, eliminação, mitigação e controle dos riscos, com foco para obras subterrâneas.

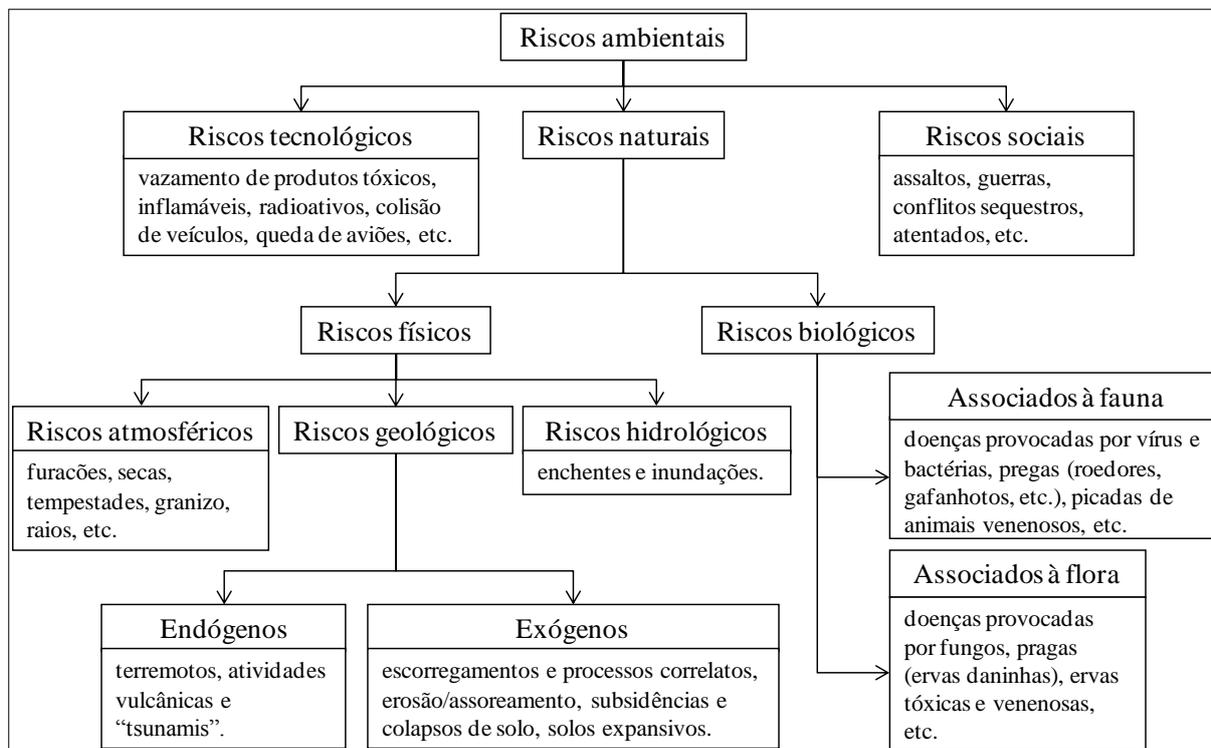


Figura 2.1 – Classificação dos riscos (Cerri & Amaral, 1998).

A gestão de riscos envolve diversos atores e desdobra-se em políticas, práticas e procedimentos para identificar, analisar, avaliar, mitigar e monitorar o risco (Fell et al., 2005). É o processo completo de avaliação e controle ou tratamento do risco (Fell et al., 2008). Por sua vez, a avaliação do risco, que é uma etapa anterior, determina quanto aos valores de julgamento e critérios de aceitação de risco. Realizam-se recomendações quanto aos riscos toleráveis e as atuais medidas de controle, se são ou não adequadas. Caso não sejam adequadas, novas alternativas de controle são necessárias ou deverão ser executadas. A estimativa do risco decorre de valores e julgamentos que entram no processo de decisão, considerando a importância do risco estimado, para identificação de várias alternativas para a gestão dos riscos.

2.5 – SUSCETIBILIDADE E PERIGO

A suscetibilidade apresenta a possibilidade de ocorrência de um evento ou acidente geológico em um terreno (Cerri & Amaral, 1998). O mesmo autor ainda cita os conceitos de risco atual (elementos em risco que já ocupam áreas com presença de suscetibilidade) e risco potencial (áreas ou terrenos que podem ser ocupados e apresentam suscetibilidade relevante), que na verdade representa, na prática, a conceituação da suscetibilidade. O perigo (*hazard*) é a probabilidade ou frequência da ocorrência de uma ameaça (*danger* ou *threat*) em um dado intervalo de tempo, tal que a ameaça é o fenômeno natural que leva ao dano ou perda (Fell et al., 2005; Fell et al., 2008; Varnes, 1984). Ambos, o perigo e a suscetibilidade, são responsáveis por caracterizar a ameaça, que é o fenômeno natural resultante em danos e descrito em termos geométrico, mecânico ou outras características (Fell et al., 2005).

O perigo é uma medida e ordenamento de como determinada ocorrência ou evento acontece no espaço-tempo randômico e aleatório. Já a suscetibilidade é um cálculo de compatibilidade entre atributos, componentes ou condicionantes que fornecem a possibilidade do surgimento de eventos e ocorrências. O primeiro é dinâmico e modifica-se no tempo e espaço e o segundo é estático e altera-se pelo produto do tempo geológico e clima.

Carvalho (1998) simplesmente trata o perigo como uma probabilidade de ocorrência de um evento aleatório e a suscetibilidade designa a possibilidade de ocorrência do processo de instabilidade, de forma subjetiva e literal. Ainda segundo o mesmo autor, a suscetibilidade vem sendo tratada como probabilidade em análises de risco qualitativa.

2.6 – VULNERABILIDADE E CONSEQUÊNCIA

De acordo com Cerri & Amaral (1998), o fenômeno geodinâmico que resulta em consequências (perdas ou danos) econômicas ou sociais é o acidente, já aquele onde não foram registradas consequências é denominado evento. Importante ressaltar que acidente e evento são fatos já ocorridos. As consequências podem ser monetárias, sociais ou ecológicas. Tal que os danos podem ser diretos (em infraestruturas, pessoas, veículos, feridos, mortes, devastação florestal, dos custos de limpeza, etc.) ou indiretos (empresas fora da área de influência, traumas psicológicos, moradias temporárias para desabrigados, etc.) e intangíveis (mortes, perda de patrimônio cultural, etc.) ou tangíveis (em infraestruturas, dos custos de limpeza, etc.) (Jonkman et al., 2008).

Assim, a consequência (*consequence*) é o resultado ou produto de um perigo que efetivamente incidiu sobre um determinado elemento em risco, já que os elementos em risco são populações, prédios, infraestruturas, ecossistemas, atividades econômicas, entre outros afetados pelo fenômeno perigoso (Fell et al., 2005).

A vulnerabilidade (*vulnerability*) é o grau de perda de um elemento ou de um conjunto de elementos em risco afetados por um perigo expresso em uma escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total) (Fell et al., 2005), tal que, uma série de condições resultantes do meio físico, social, econômico e ambiental podem aumentar a fragilidade de uma comunidade, ao impacto do fenômeno perigoso, influenciando a vulnerabilidade. Fell et al. (2008) cita que o grau de perda será a estimativa do dano relativo ao valor da propriedade ou construção e para pessoas é a probabilidade de uma vida ser perdida. Em geral, a definição adequada da vulnerabilidade (grau de perda) depende do conhecimento das consequências frente ao fenômeno perigoso.

2.7 – RISCO

Segundo Cerri & Amaral (1998), o risco geológico é uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, devido à ocorrência induzida ou natural de processos geológicos, que são resultantes da geodinâmica terrestre. Os riscos geológicos são situações causadas pela interação humana e uma condição geológica adversa, podendo ser definida por uma área com atributos geológicos similares (Soule, 1980).

O risco é a probabilidade e, proporcionalmente, a severidade da ocorrência de um determinado evento adverso que possa afetar prédios, infraestruturas, seres vivos, entre outros (elementos em risco) (Fell et al., 2005, Fell et al., 2008). Ainda segundo o mesmo autor, o risco é o produto do perigo pelo potencial de dano ou perda de um elemento em risco. Já Acserald (2006) define o risco como um cálculo da probabilidade de ocorrência de um agravamento em um grupo qualquer com determinada característica, abstraídas outras condições intervenientes. Para Castro *et al.* (2005), o risco é a probabilidade de ocorrência de processos inconstantes e indeterminados no tempo e no espaço em relação a forma de afetar a vida humana, direta ou indiretamente.

A ABNT NBR ISO 31.000:2009, que é uma diretriz de princípios da gestão de riscos, cita que o risco são efeitos de incertezas em relação aos seus objetivos. Os efeitos são desvios do esperado, incertezas são estados, parciais ou não, de deficiência e desconhecimento das consequências ou probabilidades de um evento e os objetivos dependem dos aspectos de aplicação (financeiro, industrial, segurança, etc.) e dos níveis de aplicação (estratégico,

regional, de processos, projeto, etc.). O desempenho incerto de estruturas de engenharia combinados ao potencial de perda resulta nos riscos (Eq. 2.1), no qual este potencial pode ser monetário, de vidas ou ambiental, ou pode ser igual aos custos das consequências enfrentadas diante do evento pela falha das estruturas (Eq. 2.2) (Einstein, 1996):

$$R = P[\text{Desempenho}] \cdot \text{Potencial de Perda} \quad (2.1)$$

$$R = P[\text{Falha}] \cdot \text{Custo das Consequências} \quad (2.2)$$

Isso porque Fell et al. (2005) propõe o risco de acordo com a Eq. 2.3:

$$R = H \cdot V \quad (2.3)$$

Em que H é o perigo e V é o potencial de perda ou vulnerabilidade. Por sua vez, Varnes (1984) havia sugerido a Eq. 2.9:

$$R = E_r \cdot R_s = E_r \cdot (H \cdot V) \quad (2.4)$$

Em que E_r é o elemento em risco, R_s é risco específico, este expressa o grau de perda decorrente de um fenômeno em particular, sendo o produto de H por V , ou seja, multiplicando a probabilidade de ocorrência, em um determinado tempo em uma área, de um fenômeno indesejado pelo grau de perda do elemento em risco dado a ocorrência do fenômeno.

A análise qualitativa de risco pode ser feita por meio de formulários, descrições ou escalas numéricas para delinear a magnitude de uma potencial consequência ou da sua possibilidade (Fell et al., 2005) estabelecendo hierarquias entre situações de risco (Carvalho, 1998). A análise quantitativa pressupõe um risco por meio de medidas de probabilidade, consequências (Carvalho, 1998) e vulnerabilidade resultando em valores numéricos (Fell et al., 2005).

2.8 – CARTOGRAFIA DE RISCOS GEOTÉCNICOS

No Brasil, como resultado de eventos de deslizamento em centros urbanos, na década de 80 iniciou-se a tomada de medidas para a prevenção de acidentes naturais. Nesta época as cartas eram essencialmente subjetivas, baseada na experiência acumulada dos profissionais responsáveis pelo mapeamento (Cerri & Amaral, 1998). Segundo Griffiths (2002) atualmente, como uma técnica de geologia de engenharia, o mapeamento de suscetibilidade, perigos, vulnerabilidades e riscos irão continuar a se desenvolver como um procedimento padrão. A necessidade da prevenção de acidentes torna as cartas de riscos geológico-geotécnicos um resultado da combinação entre a identificação dos riscos e a sua adequada análise (Cerri & Amaral, 1998).

Algumas características devem ser consideradas nas cartas de risco, como: (i) adequadas para escalas maiores que 1:10.000; (ii) rapidez na execução de acordo com a

dinâmica de ocupação e uso do solo; (iii) deve ser apoio para o gestores e planejadores na tomada de decisão; (iv) os métodos de preparação devem ser simples e de baixo custo; e (v) deve ser flexível e apropriada para os usuários em geral (Cerri & Amaral, 1998).

Sugere-se adição de informações relacionadas aos riscos geológicos e geotécnicos em um mapa de geologia de engenharia, como: movimentos de massa (extensão, natureza e frequência), inundações (áreas afetadas, magnitude e frequência), erosão costeira (forma, taxa de recuo, processo e tipo de proteção), sismo e vulcanismo (Griffiths, 2001). De acordo com Cerri & Amaral (1998), a metodologia de produção das cartas de análise de risco, perigos e vulnerabilidades passam pelo levantamento de dados básicos do meio físico e antrópico, mapeamento de campo e a representação cartográfica. Ainda, segundo a metodologia EESC-USP, citado por Zuquette & Gandolfi (2004), essas cartas permeiam os documentos dos níveis IV, V e VI, que são os analíticos básicos, prognósticos de riscos e orientação quanto à ocupação, respectivamente, já aludidos no item 2.2.

Já as cartas de suscetibilidade permeiam metodologias nacionais de cartografia geotécnica. Como as cartas de suscetibilidade elaboradas na metodologia do IPT e aquelas da EESC/USP, denominadas de cartas analíticas básicas de probabilidade relativa (4º nível) ou até mesmo as cartas derivadas e interpretativas (3º nível).

Uma específica metodologia de mapeamento geotécnico francesa para movimentos dos solos é a ZERMOS (Zonas Expostas a Movimentos de Solo) (Chazan, 1974 citado por Zuquette & Gandolfi, 2004 e Dearman, 1991) e aplicada a escorregamentos, desabamentos, abatimentos de terrenos, sismos e erupções, devendo traduzir a instabilidade quanto ao movimento dos terrenos. Por fim deve fornecer uma graduação do risco por meio da análise de fatores temporais ou permanentes de afetação a estabilidade dos terrenos.

É importante ressaltar o que destaca Dearman (1991), que (verdadeiros) mapas de risco são raros.

2.9 – ALAGAMENTOS, CHEIAS, ENCHENTES, ENXURRADAS E INUNDAÇÃO

A movimentação da água é o ciclo hidrológico, composto por precipitação, escoamento superficial e subterrâneo, infiltração e evapotranspiração. A ciência que estuda todas as fases da água na Terra é a hidrologia, uma disciplina ampla e interdisciplinar, baseada na observação dos processos do meio físico, voltados para a representação na bacia hidrográfica, dos diferentes aspectos do ciclo hidrológico (Chow *et al.*, 1988). Toda essa

movimentação causa escoamento e acúmulo superficial de água terrestre, denominados de alagamentos, cheias, enchentes, enxurradas e/ou inundações que precisam ser diferenciados.

As enchentes estão relacionadas ao processo de igualar o valor máximo de vazão de uma unidade hídrica, que ocorre gradualmente. As vazões máximas podem ser obtidas com base no ajuste de distribuições estatísticas, regionalização de vazões, na precipitação pelo método racional e hidrograma de projeto (Carvalho et al., 2007; Tucci, 2004a). Cheia, pelos textos observados deste autor, parece ser um termo análogo à enchente, designando justamente o momento da maior vazão e, conseqüentemente, maior enchimento do canal de drenagem, contudo sem extravasamento de águas do canal (Fig. 2.2).



Figura 2.2 – Esquema para distinguir tipos de escoamento e acúmulo superficial de água (Fonte: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br> e modificado de Carvalho et al., 2007).

As inundações são geradas por precipitações intensas, ocasionando, na incapacidade de rios e canais suportarem a vazão na sua calha de drenagem, em transbordamento e a conseqüente inundação das áreas marginais (Tucci, 2004a). Para Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), a inundação é o extravasamento das águas de uma calha de um rio, quando a vazão é superior à capacidade de suporte do escoamento. Ainda, segundo os mesmos autores, é um processo associado a enchentes, que é o acréscimo na descarga de fluxo por um intervalo de tempo, ou cheias, que se refere às maiores vazões diárias sucedidas em cada ano, independentemente de poder causar processos de inundação.

No entanto, é necessária a distinção do termo planície de inundação (*floodplain*), popularmente chamada de várzea, sendo essa uma área de deposição de carga detrítica, devido à diminuição da competência ou capacidade fluvial. É a área de borda dos cursos de água da

faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, que é inundada periodicamente por transbordamentos dos canais. Essa é a forma mais comum de sedimentação fluvial existente, como também podem ser citados os deltas, cones de dejeção, as *playas* e *bahadas*, as restingas fluviais e outros, encontrado em rios de todas as dimensões. A planície de inundação é formada pelas aluviões e materiais depositados (Christofoletti, 1980).

Os alagamentos são acumulações de água na superfície de um terreno qualquer, devido a características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações pluviométricas de alta intensidade em regiões não associadas à hidrografia da região (Carvalho et al., 2007).

Por simples complementação dos termos alagamento, cheia, enchente e inundação, as enxurradas são resultado destes processos citados, contudo originam-se em situações de alto gradiente hidráulico e podendo ou não o escoamento concentrado ocorrer em drenagens. Geralmente este fenômeno está associado a escorregamento de detritos e até queda de blocos. A Fig. 2.2 é um esquema ilustrativo de distinção das formas mais comuns de acúmulo de água superficial, citado pela Defesa Civil de São Bernardo do Campo (SP) e Carvalho et al. (2007).

Segundo Guha-Sapir et al. (2012) as enxurradas são *flash flood* em áreas de declividade acentuada, ou seja, são rápidos acúmulos de água em terrenos escarpados. Já, segundo os mesmos autores, *flash flood* pode surgir em áreas planas devido à baixa infiltrabilidade de água, caracterizando os alagamentos. Ao simplesmente designar como *flood* os autores remetem à elevação de nível de água em corpos hídricos, semelhantemente aos processos de cheia, enchente e inundação (*inundation*). Quando se desejava um termo mais abrangente foi utilizado por Guha-Sapir et al. (2012) *general flood* dispensando o apontamento específico de qualquer dos processos em mencionados.

2.10 – MAPEAMENTO E ESTUDOS DE ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES

Conforme Tucci (2004a), o zoneamento das áreas de inundação pode englobar diversos critérios e etapas, resumidamente, deve-se: (i) determinar os riscos de enchentes, (ii) mapear as áreas de inundação, (iii) proceder os zoneamento das áreas de risco.

Existem dois tipos de mapas de inundação, os mapas de alerta e os mapas de planejamento. Os mapas de inundação de alerta informam em cada ponto de controle o nível de água que inicia a inundação, por meio de estações fluviométricas constituídas de réguas linimétricas e/ou linígrafos (que podem estar conectados a uma rede telemétrica de monitoramento). Os mapas de planejamento definem as áreas atingidas por cheias, em

determinados tempos de retorno (Tucci, 2004a). Ainda segundo o mesmo autor, os dados necessários para a elaboração desses mapas: (i) nivelamento da régua linimétrica a um zero absoluto, (ii) levantamento topográfico (curvas de nível) da cidade, considerando como referencial a régua, (iii) estudo de probabilidade de inundações de níveis, (iv) níveis de enchentes conhecidos ao longo da cidade, (v) batimetria dos rios da área de estudo (espaçamentos entre 500 e 1.000 m, são suficientes), (vi) cadastramento de obstruções ao escoamento dos canais na área de estudo (pontes, edifícios e estradas). No entanto, na prática, a aquisição de todos esses dados é difícil. Sendo assim, o autor sugere um mapeamento preliminar, levando em consideração somente os levantamentos topográficos (curvas de nível de 5 em 5 m) e as marcas conhecidas das enchentes. Contudo, no estudo preliminar as informações podem ser insuficientes para a elaboração do mapa de alerta.

As equações da continuidade e da quantidade de movimento (equações de Saint-Venant), quando se despreza os termos de pressão e de inércia, são ditos de ondas cinemáticas (Hunter et al., 2007). As soluções numéricas unidimensionais e bidimensionais destas equações estão disponíveis em vários pacotes de *softwares* acoplados em SIG, facilitando a modelagem de cotas e vazão em canais, bem como o tempo de retorno de manchas de inundação, mesmo com poucos dados de estações fluviométricas.

Cook & Merwade (2009) realizaram simulações para áreas de inundação utilizando o *HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)* 4.0 com auxílio de modelos numéricos de terreno em diferentes resoluções espaciais e altimétricas resultando em áreas inundadas menores quanto maior a resolução do dado topográfico de partida.

A aplicação das técnicas de mapeamento aqui sugeridas nos parágrafos acima é incomum nas literaturas do meio geotécnico, para o mapeamento de inundações. Entretanto Bressani (2013), em explanação oral, já utiliza tal abordagem nos mapeamentos geotécnicos, obtendo manchas de inundação com tempos de retornos, no qual o inverso desses valores é a própria probabilidade que pode ser utilizada para estimar o perigo às inundações. Esse mesmo método também pode ser utilizado para o zoneamento de suscetibilidades.

Quanto às técnicas de mapeamento de suscetibilidades a alagamentos e inundações, recentemente, Batista et al. (2012a) utiliza o MAH para geração de uma coleção de mapas (cenários) para a distinção daqueles atributos mais importantes aos processos estudados.

Semelhantemente, Fernández & Lutz (2010) utilizam o MAH como ferramenta para geração de modelos espaciais, denominados pelos próprios autores como de perigo, contudo são modelos de suscetibilidade à inundação e alagamento, seguindo a rigor os conceitos sobre

o tema. Ao final os autores realizaram análise de sensibilidade para obter as incertezas da análise multicritério. A propagação de erros dos atributos de terreno de entrada foi obtida por meio da aplicação do método de propagação de erros da série de Taylor (erros de truncamento). E para análise dos erros do modelo final, verificando quanto cada atributo tem de responsabilidade na incerteza, por meio dos métodos Monte Carlo e *FAST (Fourier Amplitude Sensitivity Test)*.

Abordando com denominação de escoamento superficial, de acordo com Zuquette & Gandolfi (2004) há três metodologias para o mapeamento do escoamento superficial em uma região, bacia hidrográfica ou encosta: (i) mensurando a precipitação e as vazões decorrentes; (ii) via modelos que adotam diversas condições de contorno; e (iii) estimativas por meio de relações empíricas e comparativas.

Pejon & Zuquette (1997) citado por Zuquette & Gandolfi (2004), consideraram os seguintes atributos na análise para o mapeamento de escoamento superficial: declividade, litologia, pedologia (gênese, espessura, permeabilidade e textura), densidade de drenagem e feições ou regiões propícias ao armazenamento da água superficial. E assim por meio de uma análise multicritério os autores obtiveram zonas com diferentes graus de escoamento superficial. É importante lembrar que, essa abordagem, pode ser entendida como uma análise de suscetibilidade a enxurradas.

Como em uma análise de suscetibilidade, o HNFMSC (2006) propõe a adoção de um mapa de solos para análise da relação do material e o comportamento de fundações frente à processos de alagamentos e inundações, sugerindo assim medidas para atenuar os problemas geotécnicos e vulnerabilidade das construções. O mesmo autor elenca os seguintes problemas: erosão do solo durante a inundação e movimentação da água; colapso dos solos por inundação e saturação; *piping*; subsidência ou recalque dos solos; e expansão dos solos por inundação.

Barreto (2008) realizou análises de suscetibilidade a alagamentos e inundações para o DF, além do estudo de interpolação espacial de precipitações do mês de fevereiro de 2004 e março de 2005, tal que ambos foram os meses mais chuvosos dos seus respectivos anos. A autora realizou análises destes cenários de chuva comparando a reportagens do jornal Correio Braziliense e ocorrências do Corpo de Bombeiros Militar do DF. Ao final definiu uma carta de suscetibilidade para as áreas urbanas do DF, em função dos cenários de chuva e dos compartimentos geomorfológicos do DF.

Santos (2010) realizou para o município de Goiânia (GO) um cadastro georreferenciado de pontos de inundação e alagamento por meio de matérias de jornais e

dados da Defesa Civil. A autora obteve também uma carta final de suscetibilidade a inundações e alagamentos por meio da definição qualitativa em relação aos atributos do meio físico que poderiam contribuir para os fenômenos estudados. Ainda realizou uma análise de risco em função das características das ocupações urbanas e da suscetibilidade, ou seja, tomando a suscetibilidade como o perigo em uma análise de risco qualitativa.

Para estudos de vulnerabilidade destaca-se Kelman & Spence (2004) que apresentam modos de estimar danos diretos em edifícios, casas e construções por ações de alagamentos e inundações. O autor cita as ações hidrostáticas, como a pressão lateral pela diferença entre o nível d'água interno e externo a infraestrutura e a ascensão capilar, as ações hidrodinâmicas ocorridas principalmente pelas velocidades, ações de erosão, de flutuação ou verticais, que podem levar não apenas objetos, mas partes estruturais a se movimentar, ações de detritos suspensos em água e ações não físicas (químicas, nucleares e biológicas), devido à contaminação das águas que pode afetar o material e o acabamento das construções. Maiores detalhes desta abordagem física da vulnerabilidade podem ser encontradas em Kelman (2002) e Kelman & Spence (2003).

Por sua vez, Chidambarathanu & Retnan (2013) sugerem um índice de vulnerabilidade a partir de resultados de simulações experimentais para diferentes condições de carregamento da água nas estruturas, cotas, duração do contato, zonas sísmicas e tipo dos materiais das estruturas construídas.

Malagodi & Peloggia (2013) realizaram um trabalho, no Jardim Pantanal situado na planície de inundação do Rio Tietê em São Paulo, no qual por meio da avaliação da densidade demográfica, intensidade de pobreza, população idosa, população de mulheres e população de crianças foi definida a vulnerabilidade da comunidade. Os autores ainda evoluem para uma análise de risco qualitativo a partir da definição das faixas de perigo.

Para estimar as consequências de uma inundação Dutta et al. (2003) sugerem modelos para estimar prejuízos em áreas urbanas (residências, indústrias, comércio, etc.), rurais (infraestruturas rurais, galpões e plantações) e infraestruturas em geral (sistemas de saneamento ambiental, telecomunicações, transporte, perdas por interrupções, etc.). Os modelos destes autores exigem uma grande quantidade de dados, o que pode inviabilizar a construção das curvas cota por dano.

Uma análise completa de riscos qualitativos aplicados a inundações no meio curso do Rio Uruguai, no município de São Borja/RS, foi realizado por Righi & Robaina (2012). A classificação das áreas suscetíveis à inundação considerou declividades menores que 2°,

unidades geomorfológicas, imagens de satélite e a rede de drenagem. Por meio de matérias jornalísticas, ocorrências da Defesa Civil e trabalhos de campo para verificar as cotas de inundação e seus respectivos tempos de retorno, por meio de entrevistas com moradores da região, foram definidas as classes de perigo. Tempos de retorno menores que 10 anos representam alto perigo, entre 10 e 30 anos o perigo é médio e maior que 30 anos o perigo é baixo. A vulnerabilidade foi definida conforme o padrão da construção em inspeção de campo e a presença de sistema de drenagem pluvial. Dessa forma, com o cruzamento em uma matriz de risco os autores definiram três zonas de risco (alto, médio e baixo).

Outra interessante abordagem foi realizada por Jonkman et al. (2008) ao simular por meio de modelos hidrodinâmicos (equação de Saint-Venant) as cotas de inundação no sul da Holanda e as relações entre a cota e o dano direto às infraestruturas e a cota de inundação pela mortalidade. Foram definidos também os custos unitários das infraestruturas e a estimativa de danos indiretos. Os danos diretos calculados pelos autores podem chegar a 24 bilhões de euros e mais de 700.000 pessoas afetadas.

Carvalho (2012) realizou um estudo na cidade de Itajubá, Sul de Minas Gerais, especificamente no ribeirão José Pereira, utilizando simulações de ondas de cheia, por meio do *HEC-RAS*, que soluciona numericamente as equações hidrodinâmicas. O autor detalha o funcionamento do *software* e a obtenção de informações em campo para a geração dos hidrogramas e modelos em ambiente de SIG. A solução metodológica apresentada por este autor é adequada para o cálculo do tempo de retorno de cheias e, conseqüentemente, obtendo uma estimativa do perigo ao longo das calhas de drenagem, semelhante à abordagem de Bressani (2013).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando os procedimentos de mapeamento geotécnico descritos na metodologia EESC/USP (Zuquette & Gandolfi, 2004; Zuquette, 1987), no qual parte-se de um processo global de obtenção de atributos básicos do terreno para a confecção de cartas específicas, todas as análises foram realizadas utilizando diversos dados geoespaciais.

Primeiramente, definiu-se a região de estudo com informações preliminares da bacia e, posteriormente, todos os dados que poderiam diretamente ou indiretamente auxiliar na confecção de cartas básicas e nas cartas dos cenários de suscetibilidade foram operados em ambiente de SIG, auxiliando na interpretação e caracterização geoambiental da região de estudo. Neste capítulo estão listadas as diversas maneiras de manipulação e obtenção destes dados geoespaciais em SIG.

As análises probabilísticas, relacionadas ao inventário de ocorrências de alagamentos e inundações, definiu a carta de perigo. Foram extraídos os elementos em risco das cartas básicas de uso e cobertura dos solos para a confecção da carta específica de vulnerabilidade e consequência. Assim, este capítulo finaliza com a intersecção entre a carta de perigo e vulnerabilidade e consequência, por meio do modelo de risco adotado, para a confecção da carta de risco anual.

3.1 – DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo definida é a bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu. O artigo 4º do Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC – Lei nº 12.608/2012) tem como conduta a “adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d’água”. Ou seja, o rio São Bartolomeu deve ser considerado desde sua cabeceira até sua desembocadura. A Fig. 3.1 exemplifica a obtenção da bacia hidrográfica ideal para o estudo.

A Fig. 3.1a demonstra os trechos de bacias hidrográficas geradas e acessadas em ANA (2010), de acordo com o método de codificação de bacias desenvolvida pelo engenheiro Otto Pfafstetter. Essas bacias são construídas a partir da cartografia sistemática em escala ao milionésimo e tratada topologicamente as linhas de drenagem, derivando em uma codificação numérica lógica da bacia, conseqüentemente, resultam nos trechos, que são o maior detalhe das áreas de contribuição para cada drenagem (ANA, 2009).

Cada Ottobacia possui seu trecho ou segmento de curso d'água que pode ser hierarquizado em vários níveis, agregando um maior número de drenagens, e formando bacias de maior hierarquia. A menor área de contribuição (Fig. 3.1a), e que consequentemente possui a maior hierarquia, de uma drenagem é determinada pelos meandros deste rio desde a sua foz até a sua confluência (junção com outra drenagem). Ou como um segmento de rio entre confluências, ou pelos desvios de um rio de sua foz até sua nascente e ou pelo segmento de uma drenagem entre sua confluência e nascente.

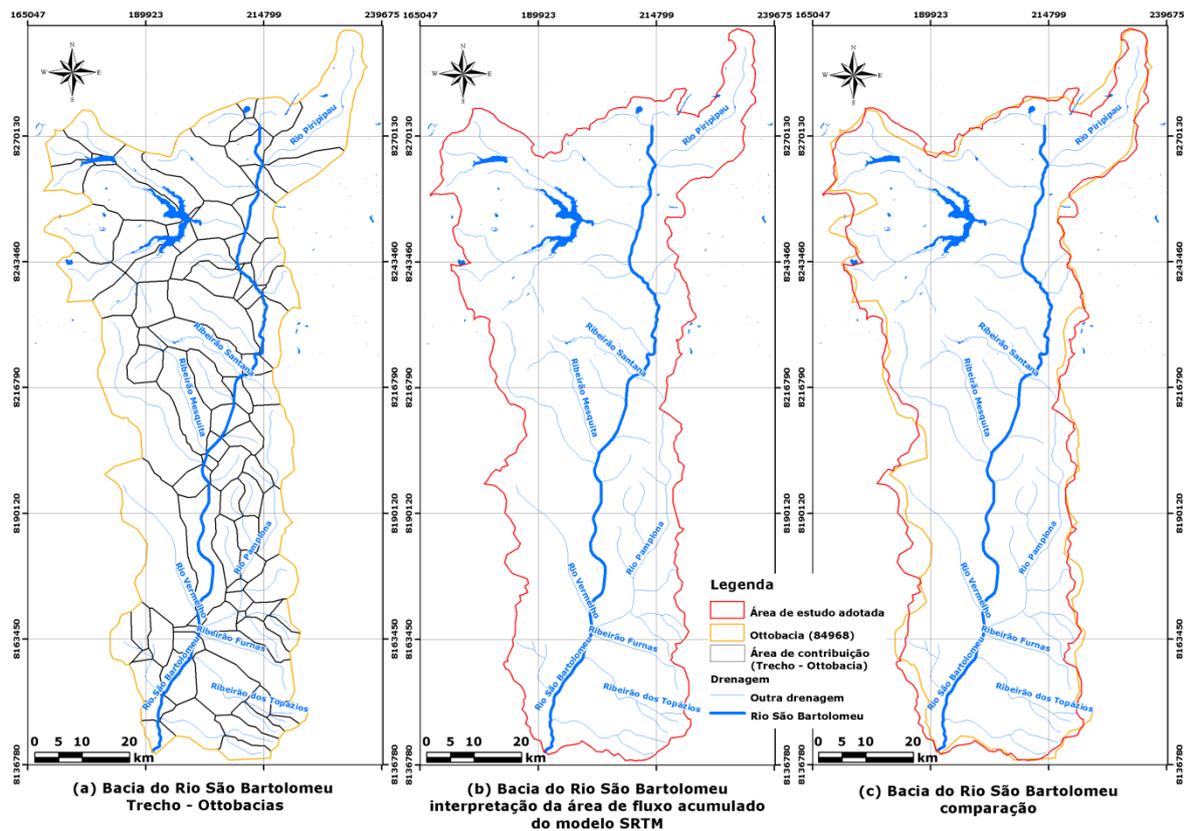


Figura 3.1 – Demonstração da Bacia do Rio São Bartolomeu: (a) delimitação dos trechos de Ottobacias (em preto) (ANA, 2009); (b) delimitação por interpretação; (c) comparação entre as duas anteriores.

Todos os trechos de curso d'água, que possuem sua respectiva área de contribuição (Fig. 3.1a) formam a bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu e dispõem da codificação inicial 84968, diferenciando-se apenas pelo último código. As áreas de contribuição dos trechos de curso d'água, mesmo com barramentos (neste caso a barragem do Lago Paranoá e a do Torto) que formam os reservatórios, têm suas águas superficiais drenadas para o rio São Bartolomeu. Para obter os limites da bacia do rio São Bartolomeu, ilustrado na Fig. 3.1b, foi

indispensável adotar a delimitação das Ottobacias (Fig. 3.1a) dos trechos de curso d'água, para indicar o traçado inicial, sendo este o primeiro passo na definição da área de estudo.

O segundo passo foi utilizar o MDE *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*) (maiores informações em http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf) refinado, pós-processado e citado na metodologia em Valeriano & Rosseti (2011) (TOPODATA), chegando à resolução espacial de cerca de 30 m (ou 1 arco-segundo), para a obtenção das áreas de fluxo acumulado. Este último auxiliou na reinterpretação dos contornos da bacia do rio São Bartolomeu, representado na Fig. 3.1b. A comparação entre o traçado dos trechos das Ottobacias (Fig. 3.1a) e a delimitação realizada e reinterpretada via a área de fluxo acumulado do modelo *SRTM* (Fig. 3.1b) é ilustrada na Fig. 3.1c. Logo, a bacia hidrográfica da área de estudo é a delineada na Fig. 3.1b. O uso do MDE *SRTM* será detalhado no item 3.2.2.1. adiante neste trabalho.

A área de estudo abrange o estado de Goiás (GO), parcialmente, nos municípios de Valparaíso de Goiás, Luziânia, Cristalina, Formosa e Planaltina de Goiás e, inteiramente, Cidade Ocidental. Também, compreende o Distrito Federal (DF), sendo que a área de estudo abrange, exceto Ceilândia, mesmo que parcialmente, todas as regiões administrativas.

A área da bacia do rio São Bartolomeu nos limites do DF possui área de 2.552,20 km² e 289,20 km de perímetro. Considerando os limites no estado de GO, possui uma área total de 5.492,30 km² e perímetro de 505,19 km. Considerando os limites definidos por Cascini (2009), para áreas entre 1.000 km² e 10.000 km² os estudos podem ser desenvolvidos em escala média ou intermediária, entre 1:100.000 e 1:25.000.

No entanto, esses valores limitantes de escalas mencionadas não levam em consideração o tamanho da resolução das informações dos insumos cartográficos do banco de dados e informações geoespaciais básicas para esta pesquisa. Consequentemente, todas as informações e dados cartográficos do banco de dados, no sistema de informação geográfica desta dissertação, serão trabalhados com sua melhor resolução.

Assim, todas as informações serão operadas para elaboração dos modelos na escala adequada para atender o padrão de 1:50.000 (ou 50 por 50 m de tamanho do *pixel*) para as cartas que abordam apenas o recorte da região de estudo (bacia hidrográfica) que está nos limites políticos administrativos do DF. Quando for necessário trabalhar com toda a extensão da bacia hidrográfica, que intersecta também em GO, principalmente para as análises de suscetibilidade, a escala definida é de no mínimo 1:75.000 (ou 75 por 75 m de tamanho de *pixel*).

3.2 – DADOS GEOESPACIAIS

Nos itens seguintes são destacados vários atributos do meio físico da área de estudo. De posse dos dados geoespaciais, buscou-se entender os materiais geológicos, as águas subterrâneas e superficiais, a geomorfologia e os padrões de uso e cobertura do solo em relação aos processos de alagamento e inundação.

Para a manipulação destes dados foram utilizados os programas *ArcGIS 10* da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, o *Spring 5.2.2* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Câmara et al., 1996), em especial a sua linguagem de programação denominada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) e o *TerraView 4.1.0*, com sua extensão de modelagem hidrológica *TerraViewHidro 0.3.0* (INPE, 2010b). Foi utilizado também um *software* acoplado ao *ArcGIS 10* denominado *TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models)* versão 5.1 (Tarboton & Mohammed, 2013).

Há dados espaciais abrangendo a região de GO e outros dados que envolvem somente o DF. O recorte da região estudo restringindo-se somente ao DF possibilitou o processamento, análise e elaboração de cartas para a porção da bacia nos limites do DF, onde os dados possuem escalas maiores e de maior detalhe. Ao passo que, os dados no limite de GO possuem escalas menores.

Os dados no limite do DF estão de acordo com o Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD) (Codeplan, 1976) que possui produtos finais na escala 1:10.000, 1:2.000 e 1:1.000, em que possui 244 folhas cada uma com a área de 7.500 km² (3'45'' arcos de longitude por 2'30'' arcos de latitude), 430 folhas cada uma com 450 km² (37,5'' arcos de latitude e longitude) e 974 folhas cada uma com 300 km² (18,75 arcos de latitude e longitude), respectivamente para cada escala citada anteriormente. A Fig. 3.2 demonstra as folhas de articulação do SICAD, bem como a separação das quatro folhas da CIM.

O sistema de projeção adotado no SICAD é a Universal Transversa de Mercator (UTM), com meridianos centrais de 45° e 51° referentes aos fusos 23 e 22, respectivamente, com origens das coordenadas planas no cruzamento do Equador Norte = 10.000.000 m e com os meridianos centrais dos fusos considerados de Este = 500.000 m. Contudo, para evitar que a área não fosse referenciada matematicamente a dois fusos, o que dificultaria na manipulação dos dados cartográficos e provocaria maiores deformações geométricas, todo o mapeamento do fuso 22 foi referenciado o meridiano central de 45°, sendo denominada então como a

extensão do fuso 23 ao limite oeste (Codeplan, 1976). O coeficiente de redução ou deformação da escala é $K_0 = 0,9996$. O elipsoide é o Internacional de *Hayford* aprovado pela Assembleia da União Geodésica e Geofísica Internacional (IUGG), em Madrid, de 1924.

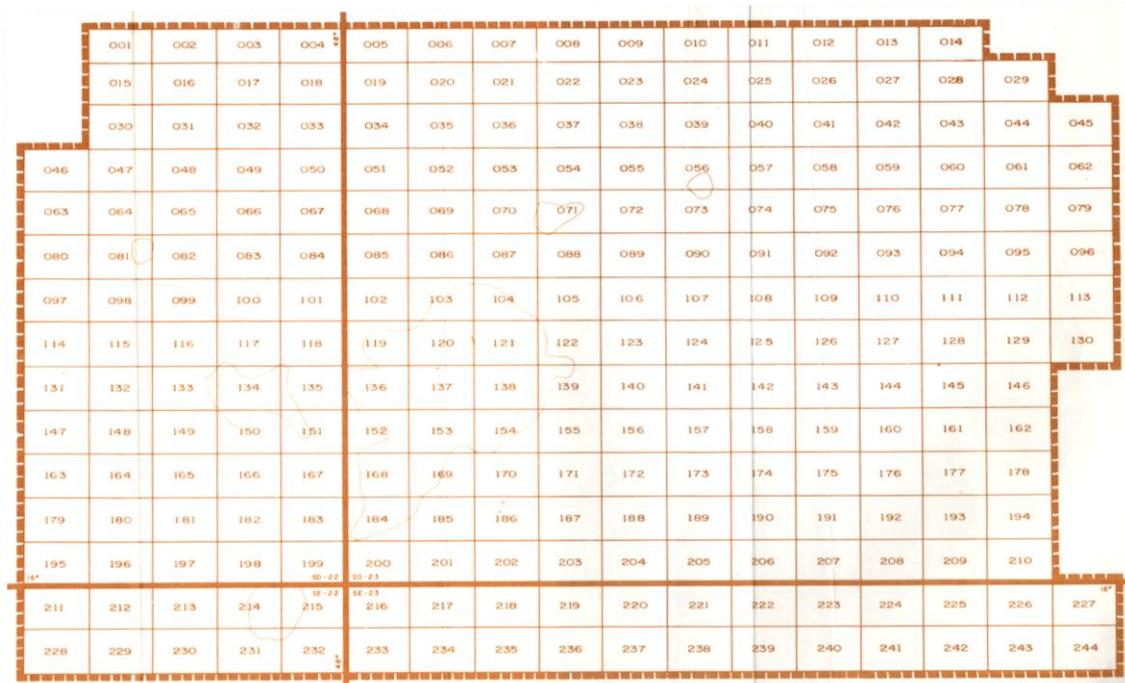


Figura 3.2 – Nomenclatura das folhas SICAD na escala de 1:10.000 (Codeplan, 1976).

Já quanto ao datum horizontal o SICAD segue o Sistema de Referência Geodésico Brasileiro que é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) em sua realização do ano 2000,4 (SIRGAS2000). A materialização deste sistema é definida conforme o *ITRS (International Terrestrial Reference System)*, sob o elipsoide GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*) que possui semieixo maior de 6.378.137 m e achatamento de $1/298,257222101$. É geocêntrico (referencial original no centro de massa da Terra) e apoiado sob uma rede de referência contínua de monitoramento de estações geodésicas.

Um exemplo da nomenclatura das folhas de articulação SICAD é SD.23-Y-C-IV-1-NE-A-I-3-B, que significa: SD.23 referência à folha na escala de 1:1.000.000 (CIM); Y referência à folha na escala de 1:500.000 (Nacional); C referência à folha na escala de 1:250.000 (Nacional); IV referência à folha na escala de 1:100.000 (Nacional); 1 referência à folha na escala de 1:50.000 (Nacional); NE referência à folha na escala de 1:25.000 (Nacional); A referência à folha na escala de 1:10.000 (SICAD); I referência à folha na escala de 1:5.000 (SICAD); 3 referência à folha na escala de 1:2.000 (SICAD); e B referência à folha na escala de 1:1.000 (SICAD). Para este estudo será citado apenas a numeração

abreviada das folhas do SICAD, que é composta de três dígitos e obtido da numeração das 244 folhas a partir do canto nordeste do sistema geral de nomenclatura, como na Fig. 2.4.

3.2.1 – MATERIAIS GEOLÓGICOS

Entende-se neste contexto como materiais geológicos os solos e rochas da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, que será citado nos itens abaixo, bem como sua forma de obtenção das cartas básicas sobre esses atributos e citações dos dados originais.

3.2.1.1 – SUBSTRATO ROCHOSO

O mapa de geologia para toda a bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu (Apêndice A) adotado é fruto de um estudo geológico para o estado de GO de Moreira et al. (2008). Este mapa é um produto na escala de 1:250.000, derivado da compilação e integração de informações geológicas, geoquímicas e geofísicas disponíveis, além ter havido apoio por trabalhos de campo e levantamentos aéreos para a confecção do mapa final.

Por sua vez, a porção da área de estudo somente do DF tem como dados básicos de geologia (Apêndice B) o levantamento e estudo geológico de Freitas-Silva & Campos (1998) na escala de 1:100.000. Tal mapeamento seguiu o contexto tradicional de levantamentos geológicos, com trabalhos de campo, laboratório e escritório, apoiado em estudos desenvolvidos anteriormente para o DF.

3.2.1.2 – MATERIAL INCONSOLIDADO

Os solos podem ser definidos de acordo com o tipo de aplicação científica e tecnológica, sendo então englobado em um conceito adequado para resolução do problema desejado. Segundo Salomão & Antunes (1998) os trabalhos pedológicos fornecem importantes informações, quando interpretados adequadamente, para a geologia de engenharia quanto ao uso do solo para ocupação urbana e rural, seleção de áreas de irrigação, jazidas de materiais de construção, processos geodinâmicos (erosão, deslizamentos, colapso, subsidência, inundação, etc.), entre outros.

A carta de solos (pedologia) da bacia do rio São Bartolomeu (Apêndice C) possui a escala de 1:250.000, publicado por SGM-GO (2005), no qual é um mapa do plano diretor da bacia do rio Paranaíba, sendo então adotado um recorte para a bacia do rio São Bartolomeu

definida neste estudo. Esta carta resultou também em uma carta de classes de subgrupos pedológicos (Apêndice D), em que a mesma carta citada anteriormente foi utilizada para detalhar suas legendas pedológicas.

A carta de solos (pedologia) da área de estudo na porção do DF (Apêndice E) possui a escala de 1:100.000, publicado por Reatto et al. (2004), no qual consiste em uma reclassificação do Mapa Pedológico do Distrito Federal da Embrapa de 1978. Este dado geoespacial também resultou em demais interpretações, como a carta de classes de subgrupos pedológicos (Apêndice F), a carta de textura dos solos (Apêndice G) e a carta de profundidade dos solos (Apêndice H) da área de estudo na porção do DF. Foram realizadas tabulações cruzadas utilizando o *Spring* 5.2.2 entre a carta de solos, carta de textura dos solos e carta de profundidade dos solos de Reatto et al. (2004).

3.2.2 – GEOMORFOLOGIA & MORFOMETRIA

Atributos do meio físico derivados dos dados de geomorfologia, e diretamente de um MDE, da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu foram agrupados neste item, considerando: hipsometria, declividade, curvatura, área de fluxo acumulado e as análises morfométricas das áreas de contribuição ou bacias hidrográficas..

3.2.2.1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O item 3.1, onde aludia a definição da área de estudo, já citava o MDE utilizado nas rotinas de processamento dos atributos geomorfométricos do terreno, especialmente para a porção da bacia que não está nos limites do DF.

O *SRTM* coletou dados de interferometria de radar, que depois foram utilizados para gerar dados topográficos globais. Os produtos deste levantamento devem possuir o erro quadrático médio absoluto de altitude, em 90% do dado, menor que 16 m, contudo a situação observada para América do Sul é um erro menor que 6,2 m (Rodriguez et al., 2005). Os dados *SRTM* para o Brasil possuem resolução espacial de 3 arcos-segundo (ou cerca de 90 m), visando suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 (Valeriano, 2008b).

O cerne do MDE *SRTM* é o seu levantamento resultante de duas antenas e ambas com sistema de imageamento por radar aerotransportado (*Spaceborne Imaging Radar – SIR*) na banda C (ou chamado também de *SIR-C*) e por interferometria (*Interferometry – In*) de radar

por abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar – SAR*) na banda X (ou denominado *SAR-X*) (Nikolakopoulos et al., 2006). Em virtude de ser um sistema de imageamento ativo, o mesmo independe de iluminação e não é afetado por nuvens.

Entretanto, Valeriano (2008b) destaca o efeito dossel das árvores, devido às características da banda *SAR-X*, que cria artefatos somados à topografia de uma região com elevada cobertura florestal. Portanto, um erro inerente ao MDE é contabilizar formações florestais, com altas copas, e isso afeta as derivações geomorfométricas, que em casos evidentes podem ser manipulados e contornados, mas em variações quase imperceptíveis o prejuízo é incontornável (Valeriano, 2008b). A cota altimétrica do MDE *SRTM* é influenciada pelo topo da vegetação existente e, quando mapeado, o solo exposto (ou terra nua).

O Projeto TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>) disponibiliza, em seu sítio, diversos MDE *SRTM* refinados para a resolução espacial de aproximadamente 30 m (ou 1 arco-segundo) e com preenchimento de falhas. Foram utilizadas técnicas de interpolação geoestatísticas por meio de krigagem, para todo o território brasileiro, na produção desta informação básica, maiores informações sobre a metodologia e concepção do projeto consultar Valeriano (2008b), Valeriano & Albuquerque (2010) e Valeriano & Rosseti (2011).

Em vistas de se utilizar um MDE gratuito pode ser empregado o MDE *Aster GDEM* (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*) (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>) que é resultado de um sistema de imageamento multiespectral avançado adequado para a obtenção de modelos de elevação. Sua resolução espacial (horizontal) é de 30 m, precisão altimétrica de 20 m e influência de nuvens (Nelson et al., 2009) e feições da superfície.

Em estudo comparativo dos MDE *SRTM* e *Aster GDEM*, Nikolakopoulos et al. (2006) afirmam que os histogramas de frequência das altitudes de ambos MDE tem o mesmo padrão geral e similaridade, resultando em modelos de representação análoga do terreno. Todavia, o mesmo autor relata que os dados *Aster GDEM* possuem mais ruídos. Ao estudar duas regiões em Gana utilizando os MDE *SRTM* e *Aster GDEM*, Forkuor & Maathuis (2012) perceberam a precisão da altitude (em termos do erro médio quadrático) do MDE *SRTM* maior em relação ao MDE *Aster GDEM*. Além disso, o *Aster GDEM* subestima a elevação, enquanto o *SRTM* superestima a elevação (Forkuor & Maathuis, 2012).

Frente às afirmações ora apuradas e a confiabilidade dos dados do Projeto TOPODATA optou-se pela sua utilização para derivar informações morfométricas para a

região de estudo, principalmente a porção do estado de GO, que não é coberta por levantamentos topográficos de grande escala. Isso porque a região do DF já conta com o levantamento do SICAD (GDF, 2010), em que possui curvas de nível de 5 m de equidistância na escala de 1:10.000 e, conseqüentemente, MDE com resolução espacial de 5 m.

3.2.2.2 – COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

As informações sobre a geomorfologia da região derivam do estudo de Latrubesse & Carvalho (2006) (Apêndice I), no qual são obtidas classes de geomorfologia para toda a região de estudo. A classificação adotada, neste estudo ora citado, é morfogenética organizados em duas categorias as agradacionais e denudacionais. Segundo Ross (2006), estas categorias ajustam-se no (terceiro) táxon de unidades morfológicas ou padrões de forma semelhantes, onde resguardam grande semelhança quanto à intensidade da dissecação do relevo ou rugosidade topográfica, sendo chamados também de formas de acumulação e de erosão, respectivamente.

Latrubesse & Carvalho (2006) enfatizam a metodologia adotada para o mapeamento, que dependeu de bases cartográficas vetoriais (drenagens, rodovias, etc.) e imagens orbitais (MDE *SRTM* e cenas Landsat 7 *ETM+*), na escala de 1:250.000, além de extensivo trabalho de campo.

A importância do diagnóstico geomorfológico é imposta aos empreendimentos de engenharia quanto aos aspectos de sua instalação para a natureza (impacto ambiental) e os riscos que a natureza oferece à presença do empreendimento em determinado local (riscos geoambientais) (Ross, 2006). Os impactos de um empreendimento são os cortes, aterros e desmonte de morros, drenagem, desvio e exploração de lençóis freáticos em planícies fluviais, retificação e desvios de canais, entre outros. Já os riscos advindos da instalação de empreendimentos, que pode resultar em perda de vidas e infraestruturas, em áreas de compartimentos geomorfológicos suscetíveis podem ser o surgimento ou evolução de processos erosivos, de movimentos de massa, de inundações e alagamentos e de assoreamento dos recursos hídricos.

Sabe-se que a escala do dado de Latrubesse & Carvalho (2006) pode ser incompatível com o padrão de escala espacial das obras de engenharia para uma avaliação de suscetibilidade, entretanto a qualidade do mapeamento e sua unicidade para a região de estudo firmam sua imprescindível utilização.

Já, especificamente na porção da região de estudo do DF, foi adotado a compartimentação geomorfológica proposta por Campos (2010) (Apêndice J). Este autor afirmou que a melhor solução para compartimentação geomorfológica do DF é a integração das propostas de Martins & Baptista (1998) e de Novaes Pinto (1994), no qual foi dado um peso menor à hipsometria e depois foi realizada uma edição direta para fazer com que os limites ficassem mais harmônicos e contínuos. A escala deste dado é de 1:100.000.

3.2.2.3 – HIPSOMETRIA

A hipsometria é um atributo morfométrico do terreno importante para o entendimento de alagamentos e inundações. Ao utilizar curvas de nível para representar as feições topográficas dos terrenos, com referência ao nível do mar, adotando cores convencionais, são definidas as classes hipsométricas (Guerra & Guerra, 2006). Atualmente com as ferramentas computacionais a confecção deste modelo altimétrico do terreno foi facilitado, prestando apenas a utilização de um MDE adequado para a ilustração destas classes.

Assim, reclassificando o MDE *SRTM* do TOPODATA, citado no item 3.2.2.1 obteve-se a carta de hipsometria (Apêndice K) para toda a região de estudo. Foi confeccionada a curva hipsométrica para toda a bacia, a partir das classes do MDE citado. A curva hipsométrica tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo (Christofolletti, 1980). Calcula-se a área em cada faixa altimétrica e plotando no gráfico, nas ordenadas, as altitudes (em metros) pela abscissa, a área (em quilômetros quadrados). Para porção restrita da bacia no DF (Apêndice L) utilizou-se o MDE fruto da interpolação das curvas de nível de 5 m do SICAD, também citado no item 3.2.2.1, reclassificando-o nas classes desejadas.

3.2.2.4 – DECLIVIDADE

A carta clinográfica (declividade) mostra a inclinação das vertentes e encostas, quantificadas em graus e/ou porcentagem. Vários *softwares* de SIG permitem o cálculo automatizado da declividade. Em sua grande maioria, utilizam as diversas deduções matemáticas para o cálculo da declividade definido por Horn (1981), no qual se calcula a média ponderada de três diferenças centrais, utilizando o método das diferenças finitas, a partir de uma matriz de convolução 3 por 3.

Utilizou-se neste trabalho o algoritmo *Drop analysis*, da rotina do *ArcGIS 10*, no *ArcToolBox* que é selecionado juntamente com a ferramenta *Flow direction* (ver em detalhes na Fig. 3.3), inserindo como dado de entrada o MDE *SRTM*, para obter a carta de declividade para toda a região de estudo (Apêndice M). Diferentemente do método tradicional aplicado por Horn (1981), no qual há uma interpolação com diversos valores (z) de declividade ao longo de uma vertente, a análise do algoritmo *Drop analysis* considera a razão entre a variação máxima de elevação entre células (δz), em metros (Eq. 3.1), com mesma direção de fluxo. A direção de fluxo é determinada pelo declive mais íngreme entre células altimétricas vizinhas e será mais bem explicado no tópico 3.2.2.6.

$$\beta = \left(\frac{\delta z}{\Delta x} \right) \cdot 100 \quad (3.1)$$

Na Eq. 3.1, β é o ângulo de inclinação da vertente (%) e Δx ou Δy é a resolução espacial do *pixel* do MDE, neste caso 30 m, sempre operando na maior direção do fluxo de água, ou seja, na direção de maior declividade da vertente. Este tipo de análise da declividade é ideal para o reconhecimento de planícies de inundação. O fatiamento das classes respeitou a melhor forma de visualização e de distinção das classes, além dos máximos e mínimos existentes para o modelo.

3.2.2.5 – CURVATURA DO TERRENO

A curvatura vertical (perfil) é a observação da vertente ao longo da sua linha de fluxo, enquanto a curvatura horizontal (plana) é observada as mudanças na vertente ao longo da posição na curva de nível de mesma cota.

O plano de informação utilizado para a confecção da carta de curvatura (Apêndice N) foi obtido dos dados geomorfométricos do Projeto TOPODATA (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), com a obtenção das classes de forma do terreno derivada da intersecção das informações de curvatura vertical e horizontal. A curvatura vertical é obtida por meio da aplicação de duas janelas de convolução móveis de diferenças direcionais sobre um MDE *SRTM*, do mesmo projeto com *pixel* de 30 m, sendo seu cálculo controlado pela orientação das vertentes, finalmente o resultado é filtrado (filtro médio 3x3) (Valeriano & Albuquerque, 2010). Já a curvatura horizontal tem sua derivação paralela a isolinha local, também dependente do aspecto da vertente (Valeriano & Albuquerque, 2010). Enfatiza-se que os cálculos das formas de terreno são citados, como principal trabalho, por Zevenbergen &

Thorne (1987). Didaticamente, sobre os cálculos de curvatura do terreno, sugere-se consultar a revisão de bibliografia de Romão (2006).

O fatiamento das classes, segundo Valeriano (2008b), pode adotar valores de curvaturas verticais $\pm 0,010^\circ/\text{m}$, sendo sua faixa central a classe retilínea, o negativo côncavo e o positivo convexo. Por sua vez, as curvaturas horizontais têm em valores inferiores a $-0,054^\circ/\text{m}$ as classes de plano convergente e para valores maiores que $0,180^\circ/\text{m}$ as classes divergentes, entre estes dois valores predomina a classe planar (Valeriano, 2008b).

Segundo Valeriano (2008a), as curvaturas combinadas (Tab. 3.1) representam a forma do terreno, definindo propriedades hidrológicas, de transporte de sólidos, pedológicas e ecológicas. Assim, segundo o mesmo autor, em extremos de combinação e representação das formas de terreno encontra-se a feição côncavo-convergente, onde deve ocorrer a máxima concentração e acúmulo do escoamento, e a convexa-divergente, onde há a máxima dispersão do escoamento. Logo, a forma de terreno que determinam regiões de calhas de drenagens encaixadas e onde superficialmente pode haver acúmulo de água, com consequências para maiores suscetibilidades a alagamentos e inundações é a côncavo-convergente. As feições convexa-divergentes são adequadas para demonstrar áreas com maior possibilidade de movimentos de massa e enxurradas, que não é o caso desta pesquisa. Lembrando que nos fenômenos de enxurradas há um elevado gradiente do fluxo superficial de água, que pode ser amplificado e observado nas formas de terreno convexa-divergentes, pois esta dispersa o escoamento.

Tabela 3.1 – Combinação das curvaturas e suas respectivas formas de terreno.

		Curvatura da Vertente Horizontal (plano) – Ortogonal a curva de nível e ao declive			
		Quebra	Convergente (-) (C)	Planar (0) (L)	Divergente (+) (V)
Curvatura da Vertente Vertical (perfil) Perpendicular ou normal à curva de nível e o declive	Côncava (-) (C)				
	Retilínea (0) (L)				
	Convexa (+) (V)				

Fonte: figuras modificadas de Shoeneberger & Wysocki (2008).

3.2.2.6 – ÁREA DE FLUXO ACUMULADO

A área de fluxo acumulado é uma grade (*raster*) hidrológica de grande importância para o reconhecimento dos locais com maior possibilidade de concentração de água. Segundo Fraga et al. (2003), o fluxo depende do número de vizinhos que tenham valor de elevação superior. Ou seja, a área de fluxo acumulado é obtida pela soma da área das células que convergem para uma dada célula.

A Fig. 3.3 exemplifica todos os passos para a obtenção da área de fluxo acumulado, uma vez que esta grade foi utilizada como insumo para geração de outros diversos planos de informação e análises. Além disso, a Fig. 3.3 demonstra a utilização completa dos algoritmos da ferramenta *Hydrology* do *ArcGIS 10*.

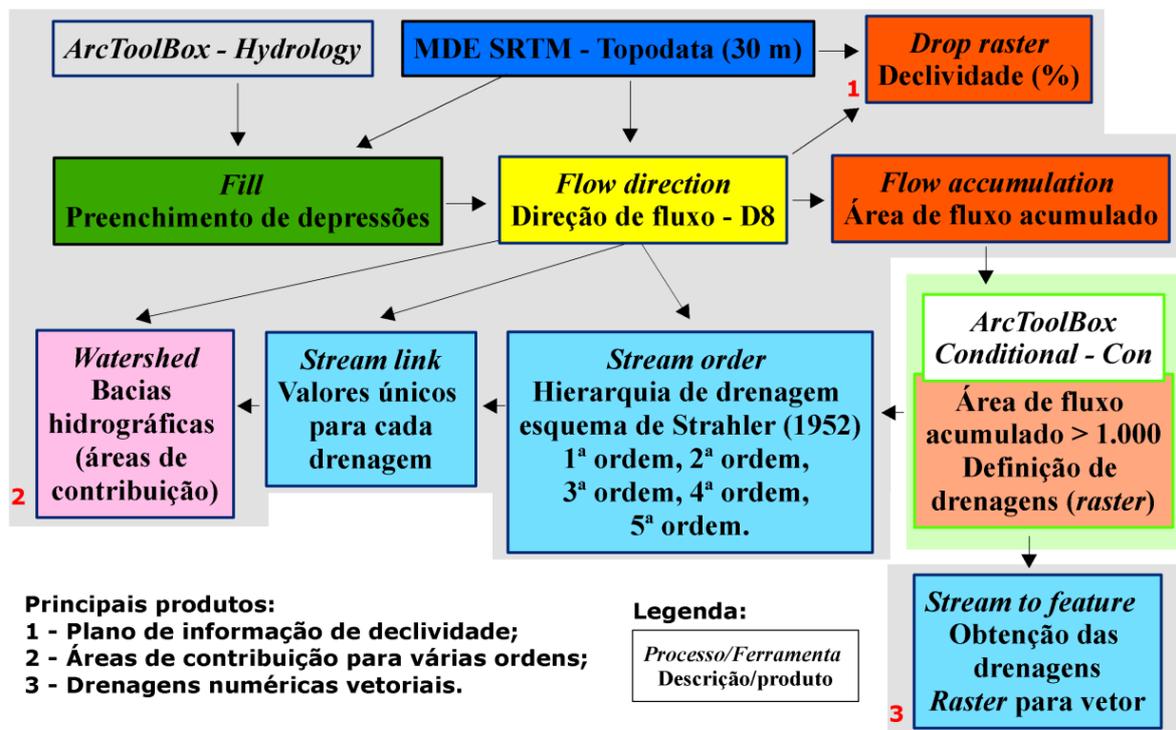


Figura 3.3 – Descrição de processamento e produtos gerados de modelagem hidrológica em ambiente de SIG por meio de MDE.

Primeiramente, de acordo com a Fig. 3.3, tomou-se o MDE e realizou-se o preenchimento de depressões (*Fill*) para a correção das imperfeições no modelo de terreno, mesmo que, como já citado anteriormente, o MDE esteja com pré-processamento adequado. Na rotina *Flow Direction* que utiliza o modelo determinístico D8 (O’Callaghan & Mark, 1984) foi obtido o plano de informação de direção de fluxo e, conseqüentemente, na mesma rotina obteve-se o plano de informação de declividade (*Drop raster*). A direção de fluxo

determina aonde irá um possível escoamento de água, de célula para célula, computando a quantidade de células que convergem para uma única célula tem-se a área de fluxo acumulado por meio do algoritmo *Flow accumulation*, necessitando apenas do plano de informação de direção de fluxo. Os procedimentos computacionais determinísticos hora citados podem ser consultados com detalhes em Jenson & Domingue (1988).

Aqueles *pixels* com valor de área acumulada nula (para onde nenhuma célula converge) podem ser cumes e topos de morro. Desse modo, ao selecionar valores de células acima de um determinado limiar de área de fluxo acumulado foi possível definir drenagens vetoriais (numéricas) extraídas automaticamente e adequadas para uma área de estudo. Diversos testes foram realizados neste trabalho por meio da comparação entre as drenagens numéricas extraídas com aquelas drenagens fotointerpretadas nas ortofotocartas do SICAD (GDF, 2010), na escala de 1:10.000, e as drenagens publicadas no trabalho de Moreira et al. (2008), na escala de 1:250.000. Este passo possibilitou selecionar o valor de 1.000 células de área de fluxo acumulado para gerar produtos digitais com uma dissecação do relevo tanto para áreas planas quanto para áreas de alta densidade de drenagens. Logo, as drenagens foram definidas para células com acumulação de fluxo maior que 1.000 (*Con*, ver Fig. 3.3) e utilizou-se a ferramenta *Stream to feature* para vetorizar e obter as drenagens numéricas. Os demais processamentos e produtos gerados descritos na Fig. 3.3 são detalhados e utilizados no item 3.2.2.7 deste trabalho.

Empregando um *software* acoplado ao *ArcGIS* 10 denominado *TauDEM* (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) versão 5.1 (Tarboton & Mohammed, 2013), foi possível, a aplicação com o mesmo MDE corrigido (*Fill*) (Fig. 3.3), a análise por meio do algoritmo D_{∞} , engendrado por Tarboton (1997) (Fig. 3.4 e 3.5b). Isto possibilitou a obtenção da área de fluxo acumulado definida por direções de fluxos dispersos.

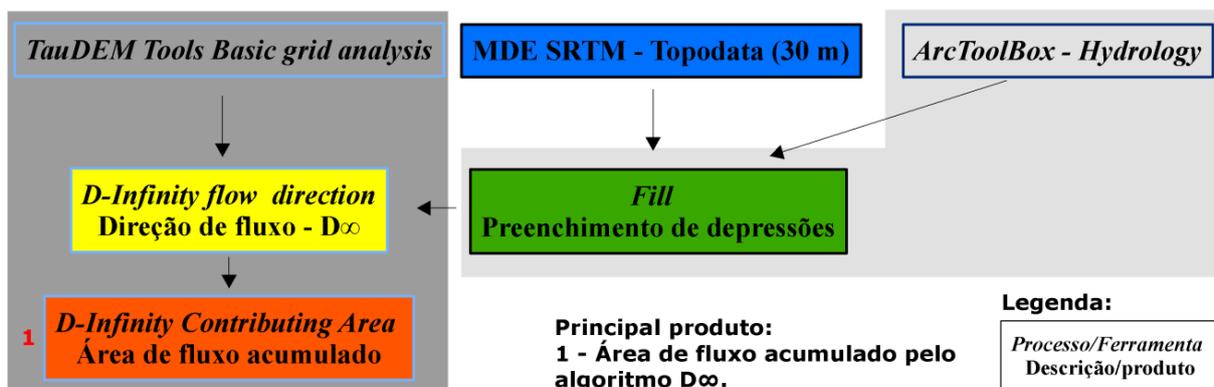


Figura 3.4 – Descrição de processamento e produtos gerados de modelagem hidrológica em ambiente SIG por meio de MDE, com o *TauDEM*.

É necessário a realizar distinção entre o modelo D8 e o D ∞ . O primeiro conta com 8 direções de fluxo que devem ser assinalados nas direções cardinais (0, $\pi/2$, π e $3\pi/2$) e diagonais ($\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$ e $7\pi/4$), sendo que a Fig. 3.5a demonstra os códigos para cada direção da vertente e pontos cardeais e colaterais. Já para o segundo, quando o fluxo não segue exatamente as 8 direções do modelo anterior, adota-se uma proporcionalidade do fluxo conforme o ângulo do escoamento e do caminho preferencial (cardinal e diagonal) mais próximo (Fig. 3.5b) (Tarboton, 1997). Ou seja, ambos os métodos apresentam a mesma resposta quando a direção de fluxo do declive mais íngreme no cálculo do D ∞ coincidir exatamente com uma das 8 direções especificadas anteriormente. Entretanto, quando a declividade não está alinhada com tais eixos, o D8 não produz nenhuma dispersão do fluxo enquanto o D ∞ , devido à proporcionalidade, apresenta a dispersão (Fig. 3.6).

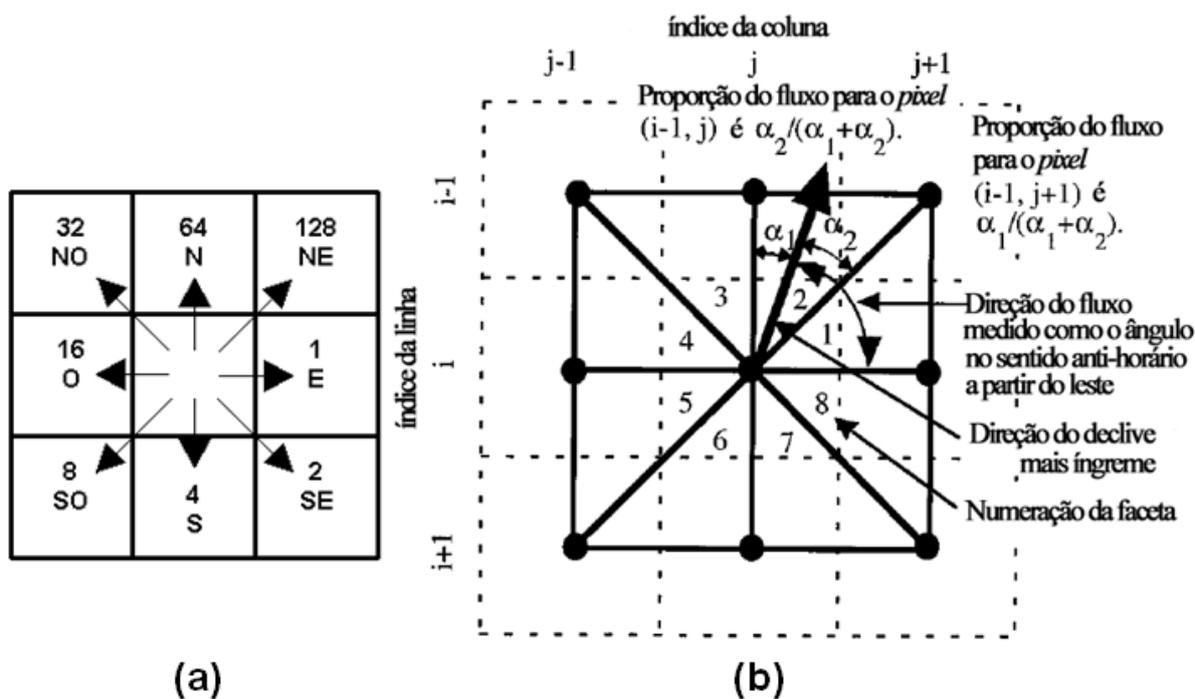


Figura 3.5 – Esquema de direção de fluxo: (a) D8; e (b) D ∞ (modificado de Tarboton, 1997).

As aplicações decorrentes da geração da área de fluxo acumulado (Fig. 3.3 e 3.4) com o esquema de direção de fluxo D8 e com o D ∞ devem ser diferentes. Portanto, as áreas de fluxo acumulado definidas em 8 direções (Fig. 3.6a e 3.7a) são adequadas para definição de linhas centrais de drenagens e delimitação de bacias hidrográficas, ou seja, onde os limites precisam ser “rígidos”. As áreas de fluxo acumulado difusas (Fig. 3.6b e 3.7b) são apropriadas para o entendimento e inferência do fluxo de água superficial no processamento de novos atributos físicos do terreno (como o índice topográfico e a distância de drenagem

pelos fluxos acumulados citados nos tópicos 3.2.3.3 e 3.2.4.1, respectivamente). A Fig. 3.5 especifica as áreas de influência, onde 0 é branco (sem influência) e 1 é preto (100% de influência).



Figura 3.6 – Cone circular de influência das áreas de fluxo acumulado do esquema de direções: (a) D8; e (b) D_{∞} (Tarboton, 1997).

A Fig. 3.7 demonstra as grades numéricas das áreas de fluxo acumulado (FACM) na calha (ao centro) do Rio São Bartolomeu, na confluência da esquerda está o Rio Paranoá e a abaixo na direita o Rio Capão da Onça.

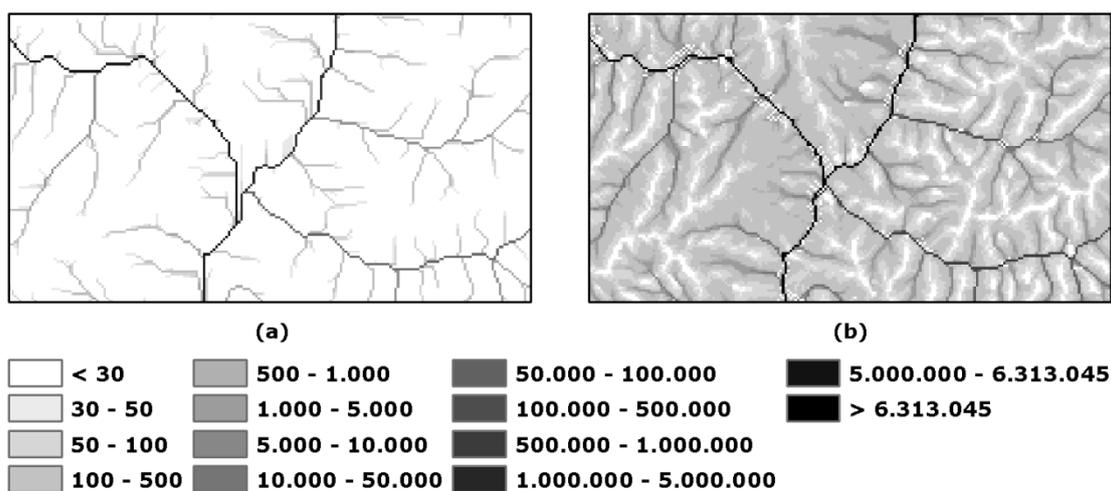


Figura 3.7 – Exemplo das grades numéricas da área de fluxo acumulado geradas por esquemas de direção de fluxo: (a) D8; e (b) D_{∞} .

3.2.2.7 – ANÁLISE DE BACIAS

Foram obtidos índices morformétricos das áreas de contribuição da região de estudo, com o cálculo do coeficiente de compacidade (m), índice de circularidade (RC) e o fator de forma (R_f). As áreas de contribuição hidrológica são bacias menores dentro da bacia do rio São Bartolomeu definida neste estudo. As áreas de contribuição foram obtidas por meio da rotina *Watershed* do *ArcToolBox* (*ArcGIS* 10) (Fig. 3.3). É importante ressaltar que foram

obtidas áreas de contribuição em 1º, 2º, 3º, 4º e 5º nível de hierarquização fluvial, de acordo com o esquema de Strahler (1952), citado por Christofolletti (1980) (rotina *Stream order*, na Fig. 3.3). Neste esquema os menores canais, sem tributários, são de primeira ordem (ou nível), desde a nascente até a confluência; na confluência de dois canais de primeiro nível surgem os de segunda ordem, só recebendo afluentes de primeiro nível; já os tributários de terceira ordem surgem da confluência de dois de segunda, podendo receber tributários de ordem inferior e assim sucessivamente.

O coeficiente de compacidade (m) é a razão entre o perímetro da bacia (P_b) e o perímetro de um círculo (P') de igual área (Eq. 3.2) ou, adotado usualmente, a mesma fórmula pode depender apenas do perímetro da bacia e da sua área (A_b), que deve ser igual a de um círculo (Eq. 3.3) (Luchisheva, 1950 citado por Zăvoianu, 1985).

$$m = P_b / P' \quad (3.2)$$

$$m = 0,282 \cdot P_b / \sqrt{A_b} \quad (3.3)$$

O índice ou razão de circularidade (RC) exprime o quociente entre a área da bacia (A_b) e a área de uma circunferência de igual perímetro (A_c) (Eq. 3.4) (Miller, 1953).

$$RC = A_b / A_c \quad (3.4)$$

Ao rearranjar a Eq. 3.4, obtém-se outra, em função exclusivamente da área da bacia e do seu perímetro (Eq. 3.5).

$$RC = 4\pi \cdot A_b / P_b^2 \quad (3.5)$$

O fator de forma (R_t), assim como os demais, é um número adimensional e empírico, que retrata a razão entre a área da bacia de drenagem (A_b) e o máximo comprimento da bacia (L_w) (Eq. 3.6) (Horton, 1932 citado por Zăvoianu, 1985).

$$R_t = A_b / L_w^2 \quad (3.6)$$

Todos os cálculos frutificaram em cenários de diferentes ordens hierárquicas que possibilitam visualizar regiões em que a própria topografia define áreas de contribuição com maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.

Quanto menor o valor de m , maior a suscetibilidade da drenagem principal da bacia em sofrer cheias. O R_t e o RC possuem valores proporcionais, assim, quanto maior seus valores, maior a suscetibilidade da bacia a cheias. Visualmente estes cenários de análises da bacia podem ratificar o mapeamento de suscetibilidade a alagamentos e inundações.

Para complementação das análises areais de bacias, foram realizadas análises lineares de relações empíricas das drenagens. A rotina *Stream order* (Fig. 3.3) possibilitou a obtenção das drenagens em ordem hierarquizadas do esquema de Strahler (1952) e, conseqüentemente,

as bacias (ou áreas de contribuição). Com as drenagens hierarquizadas, foi possível calcular a relação de bifurcação (R_b) (Eq. 3.7), primeiramente, introduzida por Horton (1945), citado por Christofolletti (1980), no qual é a razão entre a quantidade de segmentos de determinada ordem u (N_u) e o número de segmentos de ordem superior (N_{u+1}).

$$R_b = N_u / N_{u+1} \quad (3.7)$$

A relação de bifurcação respeita a lei do número de canais, no qual em uma determinada bacia a soma dos números de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação (Horton, 1945, citado por Christofolletti, 1980).

Também foi calculado o comprimento médio dos canais (Lm) em determinada ordem u (Eq. 3.8), no qual se divide a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem u (L_u) pela quantidade de segmentos encontrados nesta mesma ordem u (N_u) (Christofolletti, 1980).

$$Lm_u = L_u / N_u \quad (3.8)$$

A partir do comprimento médio de canais de cada ordem é possível calcular a relação entre os comprimentos médios dos canais (RL_m) (Eq. 3.9), dados pela razão entre o comprimento médio dos canais de uma ordem qualquer u (Lm_u) e o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior $u-1$ (Lm_{u-1}).

$$RL_m = Lm_u / Lm_{u-1} \quad (3.9)$$

Essa relação (Eq. 3.9) expressa uma lei básica da composição de drenagens, citada por Horton (1945) e consultada em Christofolletti (1980), no qual: “numa bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios”.

Outra relação importante na composição das drenagens e para o desenvolvimento fisiográfico das bacias é a razão entre o índice do comprimento médio dos canais (RL_m) e o índice da relação de bifurcação (R_b), ambos para canais de mesma ordem, fornecendo essa relação entre esses dois índices (R_{lb}) (Eq. 3.10). Se essa relação for igual o tamanho médio dos canais crescerá ou diminuirá em mesma proporção: contudo, se for diferente, o que é mais comum, o tamanho dos canais poderá aumentar ou diminuir progressivamente com elevação da ordem dos canais, dependendo dos fatores, hidrológicos, morfológicos e geológicos das bacias (Christofolletti, 1980).

$$R_{lb} = RL_m / R_b \quad (3.10)$$

As drenagens numéricas são definidas pela área das bacias, em sua respectiva ordem de hierarquia, assim, com o cálculo dos índices de análise linear (Eq. 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10), verifica-se a adequabilidade na extração automática de bacias (Fig. 3.3).

3.2.3 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Nos itens subsequentes ao 3.2.3, são abordadas as metodologias e autores originais dos dados que embasaram o entendimento da percolação e infiltração de água nos materiais geológicos da área de estudo. Primeiramente, citam-se os mapas de hidrogeologia para a região de estudo e suas características e metodologias utilizadas pelos seus autores para sua confecção. Depois se faz o destaque ao *HAND* (Rennó et al., 2008) e ao *TWI* (Beven & Kirkby, 1979), que foram diretamente utilizados nas análises de suscetibilidade.

3.2.3.1 – COMPARTIMENTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Para o mapeamento dos compartimentos hidrogeológicos foram utilizados os dados provenientes do trabalho de Almeida et al. (2006). Este trabalho deriva de um conjunto de estudos geológicos para confecção de mapas hidrogeológicos na escala de 1:500.000, em que os grupos são separados em aquíferos profundos (Apêndice O) e aquíferos rasos (Apêndice P), logo, o primeiro constitui-se de unidades litológicas com dezenas a centenas de metros (livre ou confinado) e o segundo é formado apenas pelo material inconsolidado.

Os aquíferos rasos foram determinados em função do tipo de solo e suas características que podem influenciar na sua percolação e infiltração, como, textura, estrutura, capacidade de armazenamento e condutividade hidráulica vertical (k_v) (Almeida et al., 2006). Almeida et al. (2006) explicam que foram realizados 336 pontos de ensaios *in situ* para caracterizar os solos, em todo o estado de GO e do DF, por meio do método dos anéis concêntricos (teste superficial, < 10 cm de espessura do solo) e do *open end hole* (para 50, 100, 150 e 200 cm de profundidade), que na verdade é um método de rebaixamento em carga variável (ver Oliveira & Corrêa Filho, 1996), totalizando 5 ensaios por cada ponto (Tab. 3.2). Já para os aquíferos profundos foram obtidos os parâmetros de condutividade hidráulica (k) e a transmissividade (T) por meio de um cadastro de 3.986 poços tubulares profundos, que informavam a vazão, profundidade, nível estático, nível dinâmico e os ensaios de bombeamento completo (Tab. 3.2 e 3.3) (Almeida et al., 2006).

Tabela 3.2 – Resumo dos ensaios de infiltração para aquíferos rasos (Almeida et al., 2006).

Ensaio - método (m/s)					
Superfície (raso) - Anel Concêntrico					
Sistema	k_v máx	k_v mín	k_v médio	n_e médio (%)	Espessura
Poroso II (F ₂)	10^{-4}	10^{-7}	$3,3 \cdot 10^{-5}$	8	20 m
Poroso III (F ₃)	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-7}	$1,4 \cdot 10^{-5}$	6	15 m
Profundo - open end hole					
Poroso II (F ₂)	10^{-4}	10^{-9}	$4,0 \cdot 10^{-6}$	-	-
Poroso III (F ₃)	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	6	10 m

Tabela 3.3 – Resumo dos ensaios de vazão para aquíferos profundos (Almeida et al., 2006).

Sistema	$Q_{médio}$ (m³/h)
SABf	6,5
SACcf	> 30
SACf	7,5
SAPa	4
SAPppc	9
SAPr3q3	12
SAPr4	6

Considerando a bacia do rio São Bartolomeu no limite político administrativo do DF, foram confeccionadas duas cartas básicas de hidrogeologia, uma para aquíferos do domínio fraturado, de Freitas-Silva & Campos (1998) (Apêndice Q), e, outra, para aquíferos do domínio poroso de Campos (2010) (Apêndice R). O domínio fraturado possui aquíferos livres ou confinados e o domínio poroso possui aquíferos livres ou suspensos.

Os autores Freitas-Silva & Campos (1998) publicaram o mapeamento hidrogeológico do DF, para o domínio fraturado e o poroso, que contava com o conhecimento de mais de 700 poços profundos (Tab. 3.4 e 3.5), dependeram dos seguintes dados e informações para sua adequada compartimentação: unidades litoestratigráficas; análise estatística das vazões; tipos petrográficos; densidade de fraturamento aberto; condutividade hidráulica; transmissividade; e coeficiente de armazenamento.

A partir de dois estudos, Campos (2010) define uma versão atualizada deste mapa hidrogeológico de Freitas-Silva & Campos (1998) do meio poroso (aquíferos freáticos) para o DF. O primeiro estudo, de base para este novo mapa, foi realizado por Souza & Campos (2001) que executaram 30 pontos de ensaios em várias regiões do DF com testes de rebaixamento superficial pelo método dos anéis concêntricos, enquanto que, para os testes em profundidade (0,5 m, 1 m, 1,5 m e 2,0 m), utilizou-se o método conhecido como *open end hole* (Tab. 3.6). O segundo estudo de Gonçalves (2007) relaciona as classes hidrogeológicas

do meio poroso a definição dos grupos hidrogeológicos do conhecido método Curva-Número (CN) ou *Curve-Number* da USDA (*United States Department of Agriculture*). Assim, a partir destes estudos anteriores, Campos (2010) define uma versão atualizada do mapa hidrogeológico do meio poroso (aquíferos freáticos) para o DF com base nestes grupos hidrogeológicos e em uma maior quantidade de ensaios de infiltração.

Tabela 3.4 – Resumo dos valores médios para ensaios do domínio fraturado (Freitas-Silva & Campos, 1998).

Subsistema	$Q_{\text{médio}}$ (L/h)	$Q_{\text{médio}}$ (m ³ /h)
F/Q/M	33.000	33,00
F	7.500	7,50
BambuÍ	5.210	5,21
A	4.390	4,39
R ₃ /Q ₃	12.200	12,20
R4	6.150	6,15
S/A	12.700	12,70
PPC	9.100	9,10

Tabela 3.5 – Resumo dos valores dos ensaios de infiltração para os aquíferos do domínio poroso (Freitas-Silva & Campos, 1998).

Domínio poroso	k_v (m/s)	T (m ² /s)	$Q_{\text{médio}}$ (m ³ /h)
P ₁	entre $1,73 \cdot 10^{-5}$ a $2,84 \cdot 10^{-6}$	entre $1,73 \cdot 10^{-4}$ a $2,84 \cdot 10^{-5}$	< 0,8
P ₂	entre $1,0 \cdot 10^{-7}$ a $1,0 \cdot 10^{-8}$	-	< 0,5
P ₃	entre $1,43 \cdot 10^{-8}$ a $2,34 \cdot 10^{-9}$	entre $5,70 \cdot 10^{-8}$ a $10,4 \cdot 10^{-9}$	
P ₄	-	-	< 0,3

Tabela 3.6 – Resumo dos valores dos ensaios de infiltração para os aquíferos do domínio poroso (Souza & Campos, 2001).

Profundidade do ensaio	Superfície	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	h (cota saturada - m)
Domínio poroso	k_v (m/s) ($\times 10^{-3}$)					
P ₁	0,0160	0,0750	0,0270	0,0120	0,0099	10 m
P ₂	0,0060	0,0140	0,0160	0,0140	0,0040	> 10 m
P ₃	0,0082	0,0400	0,0310	0,0069	0,0007	< 15 m
P ₄	0,0022	0,0061	0,0043	0,0012	0,0016	Solos rasos

Com auxílio da ferramenta de tabulação cruzada do *Spring* 5.2.2 foram realizadas análises que embasaram a definição de grupos hidrogeológicos para a confecção do plano de informação de escoamento superficial, detalhado no tópico 3.2.4.2.

3.2.3.2 – DISTÂNCIA VERTICAL À DRENAGEM MAIS PRÓXIMA

Frente aos diversos modelos físicos de terreno já desenvolvidos, que buscam descrever propriedades locais possíveis de generalizar seus atributos na paisagem, surge o descritor de terreno denominado *HAND* (*Height Above the Nearest Drainage*), elaborado por um grupo de pesquisa do INPE, que conforme suas siglas, é chamado de a distância vertical à drenagem mais próxima. Nobre et al. (2011) cita que o objetivo foi desenvolver um modelo capaz de exibir, em nível de encostas, a medição do fluxo de escoamento para diferentes bacias, tal que essas bacias possam ser uniformemente comparáveis.

O *HAND* permite obter todos os pontos (*grid points*) de acordo com o seu potencial de drenagem, comportando uma categorização em classes equipotenciais, ou seja, de potencial gravitacional de drenagem equivalente, isso implica em regiões de propriedade hidrológicas idênticas (Rennó et al., 2008). Isso ocorre por meio de uma normalização da topografia, em outras palavras, o *HAND* normaliza os modelos digitais de elevação de acordo com as distâncias relativas (Nobre et al., 2011).

Segundo INPE (2010a), a distância vertical à drenagem mais próxima (*HAND*) está indiretamente relacionada com a profundidade do nível freático, indicando maior ou menor disponibilidade de água no solo. Altos valores de distância vertical apresentados no modelo *HAND* indicam regiões bem drenadas, com solo pouco saturado, já as áreas com valores baixos estão próximas ao nível freático e apresentam condições de saturação do solo (INPE, 2010a e Nobre et al., 2011).

De uma maneira geral, conforme a Fig. 3.8, o *HAND* tem seu ponto de partida no MDE *SRTM* onde há a computação das direções de fluxo (D8) e a correção da topologia do MDE e das direções de fluxo. A partir das direções de fluxo de água corrigidas e computadas, são calculadas as áreas de fluxo acumulado; dessa maneira é possível a obtenção da rede de drenagem, por meio da área de fluxo acumulado e da definição de limiares de extração da drenagem, que neste caso, como citado anteriormente é 1.000 (ver tópico 3.2.2.6). A rede de drenagem, as direções de fluxo corrigidas e o modelo de elevação digital corrigido são utilizados para aferição das alturas de diferença relativas que resultam no modelo *HAND*. Na prática todos estes passos foram realizados no sistema *TerraView* 4.1.0, com sua extensão de modelagem hidrológica *TerraViewHidro* 0.3.0. Maiores detalhes matemáticos e computacionais da metodologia podem ser observados na sua concepção primária dada por Rennó et al. (2008).

Importante lembrar que o *HAND* possui valores numéricos que podem ser fatiados em classes. Contudo, conforme demonstrado por Nobre et al. (2011), as classes devem ser calibradas, antes de serem fatiadas, com evidências de campo de acordo com os valores numéricos do modelo de terreno. Este autor utilizou uma rede de amostragem irregular de 27 piezômetros instalados em vales, cabeceiras de drenagem e ao longo de colinas e encostas em transectos da uma bacia hidrográfica. Além disso, Nobre et al. (2011) demonstram e Gharari et al. (2011) reforçam a aplicação da compartimentação de unidades da paisagem com propriedades hidrológicas semelhantes juntamente ao atributo da declividade para a definição dessas classes. Portanto, no exemplo demonstrado na Fig. 3.8 é apenas ilustrativo do fatiamento das classes do *HAND* na calha do rio São Bartolomeu, tal que as mesmas não foram calibradas. A normalização das drenagens em relação à cota nula do terreno no *HAND* pode ser visualizada na Fig. 3.9b.

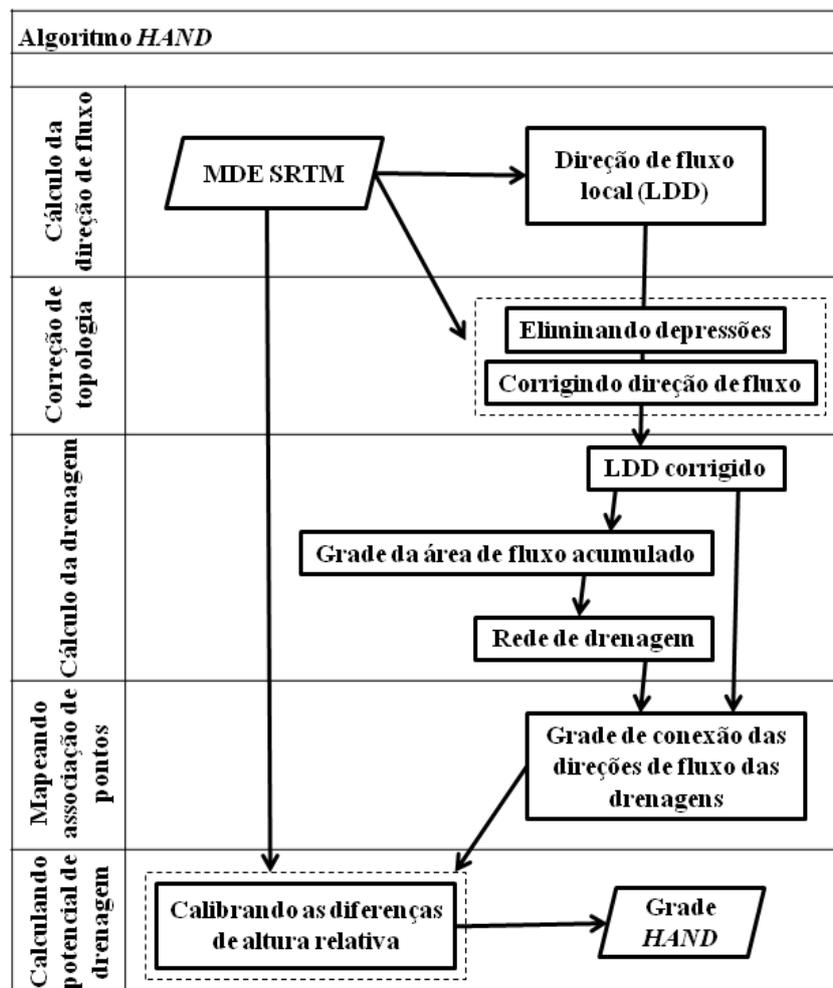


Figura 3.8 – Etapas de processamento da distância vertical a drenagem mais próxima (modificado/tradução de Rennó et al., 2008, INPE).

Este modelo de terreno tem o potencial de indicar áreas de suscetibilidade a alagamentos e inundações, por meio da compartimentação da paisagem, e, também, pode ser utilizado para identificar encostas suscetíveis a movimentos de massa, entre outras aplicações, somente quando adequadamente calibrado com dados de campo. Para este estudo, esse método foi utilizado como fator limitante para os cenários de análises de suscetibilidade.

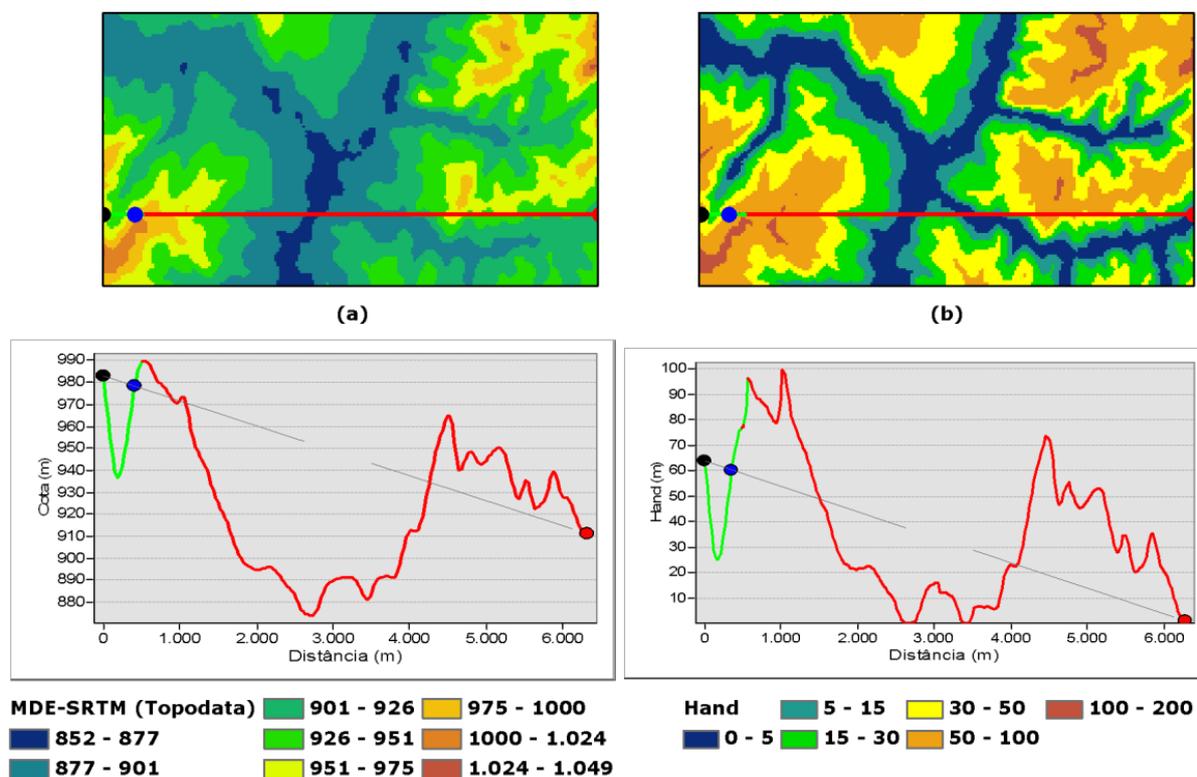


Figura 3.9 – Exemplo de grades numéricas e transectos dos modelos de terreno: (a) MDE (TOPODATA); e (b) *HAND* (metodologia de Rennó et al., 2008, INPE).

3.2.3.3 – ÍNDICE TOPOGRÁFICO

O Índice Topográfico ou Índice Umidade Topográfica (*Topographic Wetness Index – TWI*) foi introduzido por Beven & Kirkby (1979), de uma maneira simples, para simular processos hidrológicos de contribuição de água na superfície e subsuperfície, fazendo parte de um modelo denominado TOPMODEL (*a Topography based hydrological Model*). Este índice é apenas uma constante matemática aplicada do TOPMODEL que pode ser obtida por meio de um MDE, sendo largamente utilizado para verificar a similaridade hidrológica de regiões. O TOPMODEL utiliza o conceito de área de contribuição (área de fluxo acumulado) variável e declividade como principais fatores de escoamento na bacia, além do decréscimo exponencial da condutividade hidráulica ao longo do perfil do solo (Rennó & Soares, 2003).

Sua formulação completa pode ser verificada em Beven & Kirkby (1979) e na Eq. 3.11 o mesmo é apresentado.

$$TWI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta}\right) \quad (3.11)$$

Em que a é a área de fluxo acumulado específica (m^2) de uma dada célula, no qual significa a capacidade de um local em acumular água, e a tangente da declividade (β), que define a capacidade de uma célula em escoar o fluxo, dado sua inclinação da superfície. A Fig. 3.10 exemplifica o cálculo do índice topográfico para a área de estudo. Segundo Gruber & Peckham (2009), este índice assume uma condição estacionária e invariabilidade espacial da infiltrabilidade e transmissividade (T), apesar da formulação original possuir a transmissividade, o que é omitido na Eq. 3.11. O TWI , considerando-o como um atributo de terreno, tem o potencial de indicar áreas com maior possibilidade de escoamento, dado o alcance do limite de saturação do solo; logo, fica evidente o princípio hortoniano desse índice.

Qualquer atributo do terreno que seja operado algebricamente dividindo-se pela declividade pode gerar incongruências matemáticas e físicas no produto obtido para áreas planas. Se a declividade realmente for 0, o erro matemático será observado. Por sorte a carta de declividade, aqui aplicada, possui seu menor valor de 0,025. Mas, mesmo desta maneira, senão matematicamente, o processo físico de movimento de água é dado pelos gradientes de carga hidráulica para a percolação em subsuperfície em locais planos e isso não corresponde a gradientes topográficos (declividade), como usado no índice topográfico.

Nobre et al. (2011) realizou um teste de similaridade entre os valores numéricos do $HAND$ e do TWI não achando nenhuma significativa correlação entre ambos, concluindo que isso se deve ao $HAND$ ser uma medida explícita da ligação entre a energia potencial hidráulica e o terreno. Na prática, observa-se que o $HAND$ utiliza das áreas de fluxo acumulado apenas para a extração das drenagens vetoriais numéricas em seu algoritmo, sendo essas drenagens responsáveis pela normalização da cota topográfica do MDE. Por outro lado o índice topográfico, por questão prática e conceitual, incorpora a área de fluxo acumulado para o cálculo (Eq. 3.11). Contudo, Gharari et al. (2011) realizou uma comparação entre as classes calibradas e compartimentadas do $HAND$ e os valores de 10 classes do TWI , para uma mesma região, concluindo que o aumento do índice de umidade é acompanhado por uma maior proporção da classe de regiões encharcadas e menor de encostas do $HAND$.

Em geral, todos os modelos numéricos de terreno que procuram verificar a acumulação de fluxos a partir de um MDE assumem que, simplesmente, a gravidade controla

o fluxo e ignora a mecânica do escoamento das massas de água definidas por equações de onda cinemática (Burrough & McDonnell, 1998), principalmente para o escoamento superficial.

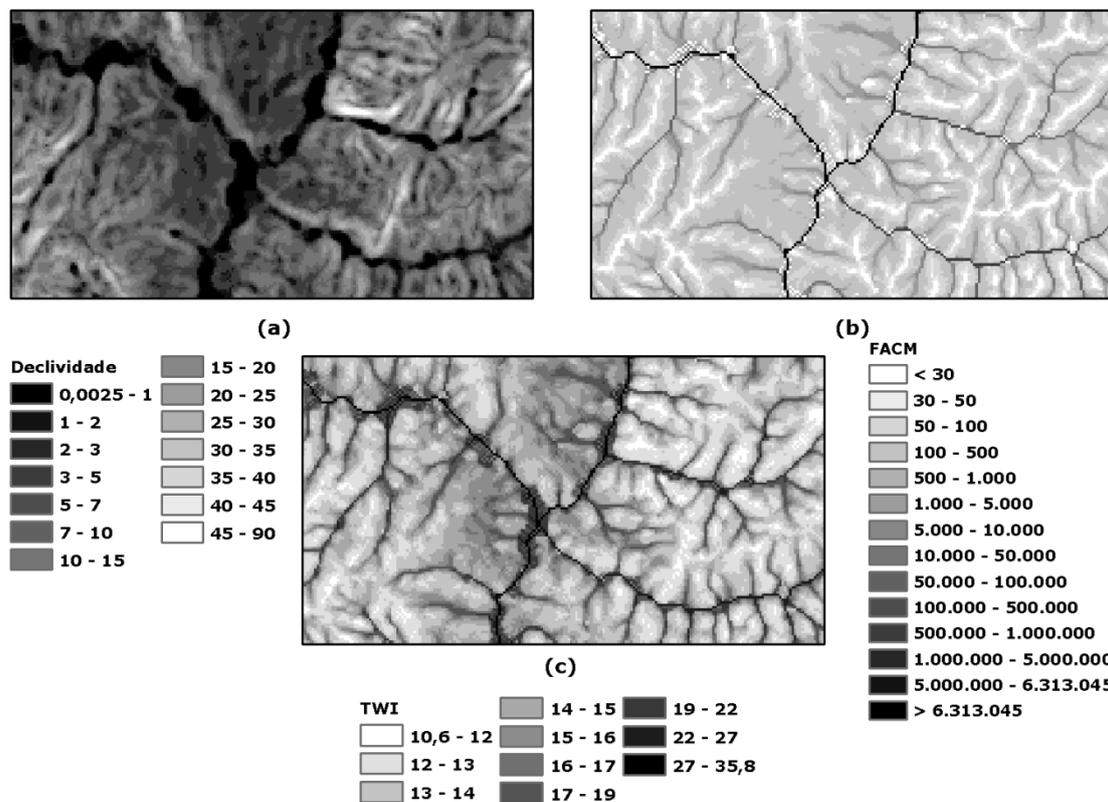


Figura 3.10 – Exemplo das grades numéricas de: (a) declividade; (b) área de fluxo acumulado (D_{∞}); e (c) *TWI*.

3.2.4 – ÁGUAS SUPERFICIAIS

Considerando a hidrografia da região como componente fundamental na formação dos fenômenos de inundação, foram realizadas análises da proximidade dos canais de drenagem e sua relação com o acúmulo de fluxo de água na superfície dos terrenos. Outra forma de analisar o comportamento das águas superficiais foi por meio do método *SCS-CN* (USDA, 1985). Este método também dependeu das análises das compartimentações hidrogeológicas citadas no item 3.2.3.1.

3.2.4.1 – DISTÂNCIA DE DRENAGEM

A utilização do atributo de distância de drenagem é dependente das características dos rios, que podem se comportar em função das propriedades dos diversos leitos fluviais: (i) um

leito menor, que é bem delimitado e encaixado, com maior quantidade de escoamento; (ii) um leito de vazante, que está encaixado no leito menor na sua maior profundidade, funcionando em épocas de seca, e (iii) o leito maior, ocupado durante as cheias e denominado planície de inundação, variando conforme a intensidade da cheia (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998). A delimitação desses leitos depende da cota altimétrica de inundação, conforme a frequência de ocorrência das enchentes. Os leitos ou as áreas de escoamento concentrado que o rio pode ocupar devem ser definidos. O menor ou médio leito corresponde aos regimes de baixo escoamento, estiagem e seca. O leito maior depende da seção transversal analisada e da topografia da planície de inundação.

A seção de escoamento, segundo Tucci (2004a), pode ser definida como: (i) zona de passagem da enchente, que funciona hidraulicamente para o amortecimento e a passagem da enchente; (ii) zona com restrições, que é de pouca contribuição para o fluxo da enchente, ficando inundada com pequenas profundidades e baixas velocidades, e (iii) a zona de baixo risco, e neste caso o autor entende risco com conceito diferente ao abordado na revisão bibliográfica desta dissertação, que é uma área que não necessita de regulamentações em relação às cheias, pois é pequena a probabilidade de ocorrência de inundações nessa faixa. Essas zonas e leitos podem compor, portanto, cenários a serem analisados quanto à suscetibilidade de inundação.

Pode-se fazer um paralelo entre essas zonas ou seções de escoamento em canais abordado na definição quantitativa do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) e da Resolução Conama nº 303/2002. De acordo com as diversas larguras das unidades hídricas, as legislações definem os limites (*buffers*) para as áreas de preservação permanente (APP) de: 30, 50, 100, 200 e 500 m, para larguras dos canais de até 10, entre 10 e 50, entre 50 e 200, entre 200 e 600 e superior a 600 m, respectivamente.

Deste modo, as drenagens numéricas vetoriais fruto das áreas de fluxo acumulado do algoritmo D8 (Fig. 3.3) foram importadas para o *Spring* 5.2.2. Este dado vetorial das drenagens são as entradas para a rotina “Mapa de Distâncias...”, com resolução espacial definida de 30 m para a confecção da grade numérica de distância de drenagem, resultando na grade numérica de distância de drenagem.

A grade numérica de distância de drenagem (carta no Apêndice S) e a grade numérica da área de fluxo acumulado (esquema D_{∞} na Fig. 3.7b) foram operadas para a geração do plano de informação de distância de drenagem por área de fluxo acumulado, sendo este um atributo do meio físico que sintetiza ambas as grades (Eq. 3.12).

$$FDD = (DD/a) \cdot 900 \quad (3.12)$$

Em que FDD é o termo que expressa a razão entre a distância de drenagem (DD em m) (Fig. 3.11a) e a é a área de fluxo acumulado (em m^2) do modelo D^∞ e 900 (m^2) é a área da célula do plano de informação final (30 m x 30 m) (Fig. 3.11c).

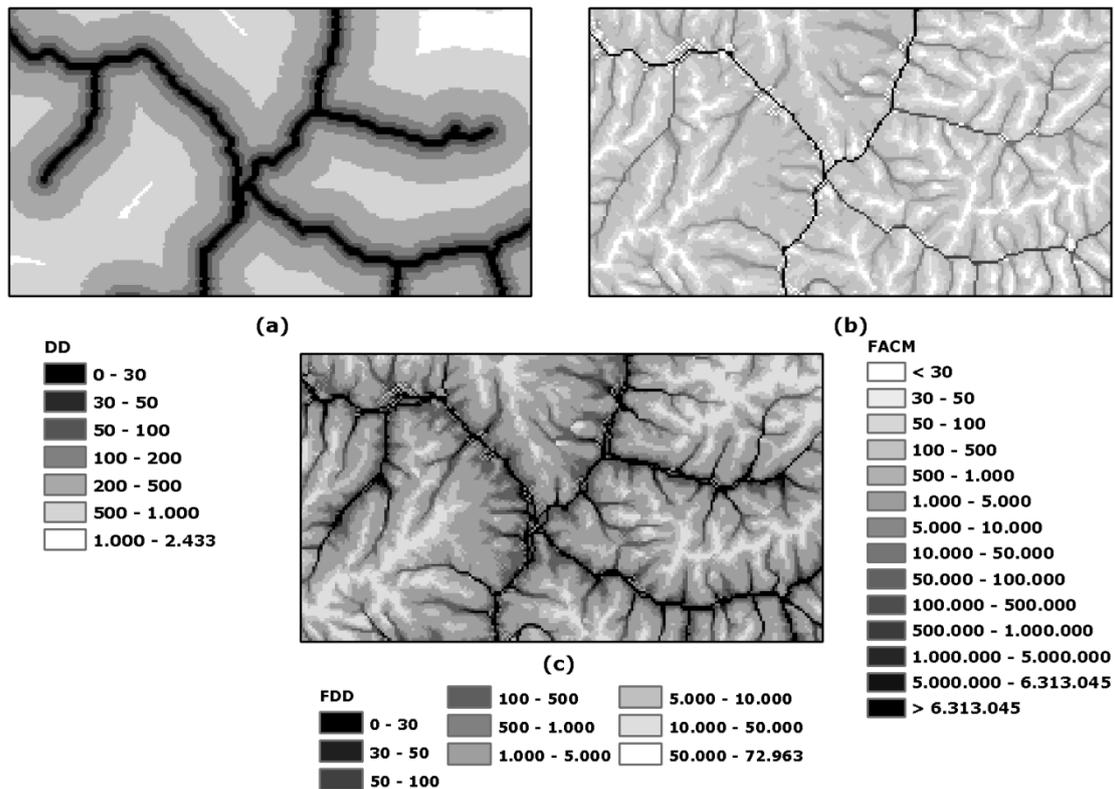


Figura 3.11 – Exemplo das grades numéricas: (a) distância de drenagem; (b) área de fluxo acumulado (D^∞); e (c) distância de drenagem pela área de fluxo acumulado.

3.2.4.2 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A grade numérica de escoamento superficial é um dos atributos de terreno importante para a análise de suscetibilidade a alagamentos e inundações, neste estudo. Para isto foi empregado a metodologia *SCS-CN* (*Soil Conservation Service – Curve Number*) (USDA, 1985) para estimar o escoamento superficial dado uma chuva específica. Segundo Formiga et al. (2012), este modelo é empírico e tem sido empregado para o cálculo da infiltração, pois apresenta um bom ajuste e com poucos parâmetros. A Eq. 3.13 a equação de escoamento do método *SCS-CN*.

$$Q = \frac{(C - I_a)^2}{(C - I_a) + S} \quad (3.13)$$

Em que Q é o escoamento superficial (mm) ou precipitação efetiva, como denomina Tucci (2004b), que é a precipitação responsável pela geração do escoamento; C é a precipitação pluviométrica (mm), no qual para este estudo foi adotado o valor de 45,5 mm/24h (Fig. 4.22), sendo esse o valor médio para as precipitações deflagrantes (ver item 3.3 e 4.2); S é o valor do armazenamento (mm) ou potencial de retenção máxima após o escoamento e I_a é a abstração ou perda inicial antes do início do escoamento (mm). As perdas iniciais são dadas pela retenção de água nas depressões da superfície do solo, interceptação, evaporação e infiltração, tal que empiricamente as perdas iniciais podem ser computadas como 20% do armazenamento (Eq. 3.14) (valor obtido empiricamente) (USDA, 1985).

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (3.14)$$

Uma aproximação (Eq. 3.15) é obtida substituindo a Eq. 3.14 na Eq. 3.13 (USDA, 1985).

$$Q = \frac{(C - 0,2 \cdot S)^2}{(C + 0,8 \cdot S)} \quad (3.15)$$

O S está relacionado ao tipo de uso e cobertura do solo e ao tipo de solo da região através do CN (*Curve Number*) (Eq. 3.16), tal que o CN varia entre 0 e 100. Esse valor do número curva simula condições entre uma superfície muito permeável (0) e muito impermeável (100).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.16)$$

Os valores CN são tabelados (ver USDA, 1985 e Tucci, 2004b) e dependem do tipo de uso, ocupação e cobertura do solo, a umidade antecedente e o grupo hidrológico dos solos. As classes da carta de uso e cobertura dos solos do 6º nível (Apêndice X e para maiores informações sobre esta carta ir ao tópico 3.2.5) foram adequadas e reclassificadas para obter um dos vários valores CN de acordo com característica compatível tabelada em USDA (1985) e Tucci (2004b) (Tab. 3.10). A umidade antecedente considerou-se uma situação média, assim não foi necessária qualquer correção final do valor do CN . E os grupos hidrológicos dos solos foram definidos com base nas cartas de solos de SGM-GO (2005) (Apêndice C) e Reatto et al. (2004) (Apêndice E), já citadas no item 3.2.1.2, elaborando assim um único plano de informação de grupo hidrológico do solo, com maior detalhe para o DF, que possui mapeamento de solo em escala maior. Assim, foi realizada a reclassificação dessas classes pedológicas para os grupos hidrológicos, conforme cita Tucci (2004b): do tipo A são solos de baixo escoamento superficial e alta infiltração (arenosos profundos e com pouco silte e argila); do tipo B são solos arenosos menos permeáveis e menos profundos que o anterior,

mas com permeabilidade superior à média; do tipo C são solos de escoamento superficial acima da média e capacidade de infiltração abaixo da média (porcentagem considerável de argila e pouco profundo); e do tipo D são solos de alto escoamento superficial e baixa capacidade de infiltração (argilosos expansivos e pouco profundos).

Importante lembrar que as cartas de compartimentação hidrogeológica (Apêndices O, P, Q e R) indicaram, por meio de tabulações cruzadas (como citado no item 3.2.3.1), a melhor relação de regiões com características de maior ou menor infiltrabilidade e percolação do fluxo de água. Isto auxiliou na definição da reclassificação das classes das cartas de solo para o seu adequado grupo hidrológico.

Os trabalhos de Gonçalves (2007) e Sartori et al. (2005) foram importantes para sugerir as melhores classes de grupos hidrológicos que se relacionavam com as classes pedológicas citadas nas cartas deste estudo.

A Tab. 3.7 enfoca as diversas relações entre as classes de pedológicas dos solos (Reatto et al., 2004) da bacia do Rio São Bartolomeu na porção do DF com atributos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo sugerido por outros autores, sendo que na Tab. 3.8 essa reclassificação é definida. Por sua vez, a Tab. 3.9 cita as diversas relações entre as classes de pedológicas dos solos (SGM-GO, 2005) da bacia do rio São Bartolomeu na porção do GO com os atributos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo sugerido por Sartori et al. (2005), bem como a definição da reclassificação.

Tabela 3.7 – Relação das classes pedológicas da área de estudo, no DF, com os compartimentos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo.

Classe	Poroso	Fraturado	Profundidade	Textura	Grupo ²	Grupo ³
LV	P1	R3/Q3	Muito profundo	Argilosa	A	A
LVA	P1	R3/Q3 ¹ e F	Profundo	Argilosa a Média	A	B
RQ	P1	R3/Q3	Muito profundo	Arenosa	A	B
Hi	P3 ¹ e P1	R3/Q3 e A	Pouco profundo	Argilosa	D	D
CX	P4	F	Raso	Argilosa cascalhento concrecionário	D	D
FX	P1 e P3	R3/Q3	Pouco profundo	Argilosa	C	D
EKg	P2 ¹ e P1	R4 e R3/Q3	Pouco profundo	Arenosa	C	C
NV	P2	F ¹ e Bambuí	Pouco profundo	Argilosa	B	B
PVAd	P2 ¹ e P4	F ¹ e R4	Pouco profundo	Argilosa cascalhenta	B	C
PVAe	P2	F e R4	Pouco profundo	Argilosa	B	B

1 – Porcentagem predominante desta classe sobre as demais.

2 – Reclassificação adotada por Gonçalves (2007) para o grupo hidrológico, segundo a metodologia *SCS-CN*.

3 – Reclassificação sugerida e adequada para as definições de Sartori et al. (2005) para o grupo hidrológico, segundo a metodologia *SCS-CN*.

Tabela 3.8 – Grupo hidrológico adotado para as classes pedológicas no DF.

Classe	Reclassificação adotada – Grupo Hidrológico
LV	A
LVA	B
RQ	A
Hi	D
CX	D
FX	C
EKg	C
NV	B
PVAd	C
PVAe	B

Tabela 3.9 – Relação das classes pedológicas da área de estudo, em GO, com os compartimentos hidrogeológicos e grupos hidrológicos de solo.

Classe	Raso	Profundo	Grupo ²	Reclassificação adotada – Grupo Hidrológico
C	Inexistente	SACf	D	D
HGP	Inexistente	SAPr3q3 ¹ e SAPr4	D	D
LE	Sistema Poroso II	SACf ¹ e SAPr3q3	A	A
LV	Sistema Poroso II	SACf	B	B
LP	Sistema Poroso III	SACf	C	C
PP	Sistema Poroso III	SACf	D	C
R	Inexistente	SACf	D	D

1 – Porcentagem predominante desta classe sobre as demais.

2 – Reclassificação sugerida e adequada para as definições de Sartori et al. (2005) para o grupo hidrológico, segundo a metodologia *SCS-CN*.

Assim, ao obter a reclassificação dos solos para as classes hidrogeológicas e seus respectivos usos e coberturas definidos é possível arbitrar um valor *CN* para cada polígono da interseção da carta de uso e de solos, lembrando que a porção do DF possui dados em escala maior. Calcula-se, utilizando os valores numéricos do *CN*, a partir da Eq. 3.16, o armazenamento (*S*) e posteriormente o plano de informação da precipitação efetiva (Eq. 3.15). Este dado fornece uma estimativa da infiltrabilidade e potencial de escoamento para a região.

Tabela 3.10 – Valores adotados do *CN* para as classes de uso e cobertura dos solos.

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	Lote (m ²)	A	B	C	D
111	Agrícola ou periurbana	Cultura temporária ou perene	Pomar		57	73	82	86
1112	Agrícola ou periurbana	Cultura temporária ou perene	Cultura temporária ou perene indefinida		64	76	84	88
1312	Agrícola ou	Reflorestamento	-		45	66	77	83

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	Lote (m²)	A	B	C	D
	periurbana							
1412	Agrícola ou periurbana	Pasto	-		49	69	79	84
151	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Conjunto de edificações	< 500	77	85	90	92
				1.000	61	75	83	87
				1.300	57	72	81	86
				2.000	54	70	80	85
				4.000	51	68	79	84
8.000	46	65	77	82				
152	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Construção		77	85	90	92
153	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Edificação de grande porte		77	85	90	92
154	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Ruína		76	85	89	91
155	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Arquibancada		77	85	90	92
156	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Campo de futebol		63	77	85	88
157	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Estufa		98	98	98	98
158	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Piscina		100	100	100	100
159	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Tanque		100	100	100	100
1510	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Reservatório		100	100	100	100
211	Não agrícola	Área urbana consolidada	Conjunto de edificações	< 500	95	96	97	98
				1.000	88	91	94	95
				1.300	81	87	91	94
				2.000	76	84	89	92
				4.000	70	80	87	90
8.000	58	74	84	87				
212	Não agrícola	Área urbana consolidada	Construção		95	96	97	98
213	Não agrícola	Área urbana consolidada	Edificação de grande porte		95	96	97	98
214	Não agrícola	Área urbana consolidada	Ruína		76	85	89	91
215	Não agrícola	Área urbana consolidada	Arquibancada		95	96	97	98
216	Não agrícola	Área urbana consolidada	Campo de futebol		63	77	85	88
217	Não agrícola	Área urbana consolidada	Estufa		98	98	98	98
218	Não agrícola	Área urbana consolidada	Piscina		100	100	100	100

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	Lote (m²)	A	B	C	D
219	Não agrícola	Área urbana consolidada	Tanque		100	100	100	100
2110	Não agrícola	Área urbana consolidada	Reservatório		100	100	100	100
2111	Não agrícola	Área urbana consolidada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
221	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Conjunto de edificações	< 500	92	95	96	97
				1.000	87	91	93	94
				1.300	79	86	90	93
				2.000	74	83	88	91
				4.000	68	79	86	89
				8.000	57	73	83	86
222	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Construção		92	94	96	97
223	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Edificação de grande porte		92	94	96	97
225	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Arquibancada		92	94	96	97
226	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Campo de futebol		63	77	85	88
227	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Estufa		98	98	98	98
228	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Piscina		100	100	100	100
229	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Tanque		100	100	100	100
2210	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Reservatório		100	100	100	100
2211	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
231	Não agrícola	Área urbana parcelada	Conjunto de edificações	< 500	91	94	95	96
				1.000	84	86	92	93
				1.300	77	85	89	92
				2.000	73	82	87	90
				4.000	67	78	85	88
				8.000	56	72	82	86
232	Não agrícola	Área urbana parcelada	Construção		91	94	95	96
233	Não agrícola	Área urbana parcelada	Edificação de grande porte		91	94	95	96
234	Não agrícola	Área urbana parcelada	Ruína		76	85	89	91
236	Não agrícola	Área urbana parcelada	Campo de futebol		63	77	85	88
2311	Não agrícola	Área urbana parcelada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
241	Não	Área urbana	Conjunto de		81	88	91	93

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	Lote (m²)	A	B	C	D
	agrícola	industrial consolidada	edificações					
242	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Construção		81	88	91	93
243	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Edificação de grande porte		81	88	91	93
244	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Ruína		76	85	89	91
246	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Campo de futebol		63	77	85	88
248	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Piscina		100	100	100	100
249	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Tanque		100	100	100	100
2410	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Reservatório		100	100	100	100
2411	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
2511	Não agrícola	Área urbana industrial parcelada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
261	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Pavimentada		98	98	98	98
262	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Não pavimentada		72	82	87	89
271	Não agrícola	Solo exposto	Área minerada		96	96	96	96
272	Não agrícola	Solo exposto	Depósito/Aterro de resíduos		63	77	85	88
274	Não agrícola	Solo exposto	Área limpa		77	86	91	94
275	Não agrícola	Solo exposto	Bacia de contenção		96	96	96	96
281	Não agrícola	Base aérea	Aeroporto		98	98	98	98
282	Não agrícola	Base aérea	Pista de pouso		98	98	98	98
283	Não agrícola	Base aérea	Heliporto		98	98	98	98

Código	Classe 4°	Classe 5°	Classe 6°	Lote (m ²)	A	B	C	D
2912	Não agrícola	Cemitério	-		68	79	86	89
2101	Não agrícola	Estação de tratamento	Conjunto de edificações		81	88	91	93
2102	Não agrícola	Estação de tratamento	Construção		81	88	91	93
2103	Não agrícola	Estação de tratamento	Edificação de grande porte		81	88	91	93
2106	Não agrícola	Estação de tratamento	Campo de futebol		63	77	85	88
2109	Não agrícola	Estação de tratamento	Tanque		100	100	100	100
21010	Não agrícola	Estação de tratamento	Reservatório		100	100	100	100
21011	Não agrícola	Estação de tratamento	Área e lote aberto, gramado ou ocioso		49	69	79	84
311	Área natural	Formação florestal	Árvore		36	60	73	79
312	Área natural	Formação florestal	Mata		30	55	70	77
321	Área natural	Formação savânica	Campo cerrado ou savana parque		48	67	77	83
322	Área natural	Formação savânica	Cerrado ou savana arborizada		43	65	76	82
411	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Alagado		100	100	100	100
412	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Lago		100	100	100	100
413	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Lagoa		100	100	100	100
421	Água, lago, lagoa e rio	Lótico	Rio		100	100	100	100

3.2.5 – USO E COBERTURA DO SOLO

Os dados de partida utilizados para confeccionar as cartas de uso e cobertura dos solos foram derivados: (i) da fotointerpretação das imagens ortorretificadas do aerolevanteamento do DF (GDF, 2010), na escala de 1:10.000, que são representadas na carta ortoimagem da porção do DF da bacia do rio São Bartolomeu (Apêndice U), do SICAD; (ii) dos pivôs centrais de irrigação dos anos de 2001, 2003 (SGM-GO, 2007) e 2006 (Sefaz-GO, 2007), resultantes da fotointerpretação de duas imagens do sensor Landsat 7 *ETM+* dos anos de 2001 e 2003 e outra do sensor CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) 2 *CCD* de 2006, respectivamente; (iii) para toda a região da bacia hidrográfica, das imagens orbitais

ortorretificadas do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)* do sensor *AVNIR-2 (Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2)*, do ano de 2010 (IBGE, 2012), na escala de 1:50.000, em que no metadado desta imagem recomenda-se o uso em 1:100.000, que são representadas na carta imagem da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu (Apêndice T); (iv) do mapa de uso e cobertura dos solos (AGMA, 2006) do estado de Goiás, na escala de 1:250.000; (v) das imagens históricas do *Google Earth*® e do aplicativo *WikiMapia* (<http://wikimapia.org/>).

Adotando a metodologia proposta por Batista et al. (2012b), no qual há aplicação de técnicas de fotointerpretação e de análise digital quantitativa de classificação de imagens, foi aplicado um método híbrido ou combinado. A análise digital foi fruto da etapa de classificação supervisionada, que foi a da máxima verossimilhança (*MaxVer*) gaussiana. Foi utilizado também um algoritmo que observa as informações contextuais da classificação, dependendo do valor atribuído aos pixels vizinhos, em uma reclassificação, chamado de *MaxVer-ICM (Iterated Conditional Modes)*. Para auxiliar na fotointerpretação das feições e amostragem das mesmas para a classificação supervisionada foram adotadas técnicas de realce da imagem por transformação pelas Componentes Principais (*Principal Component Transform*) e transformação *IHS (intensity, hue e saturation)*.

Num segundo momento foi feito um tratamento qualitativo, onde o mapeamento obtido da classificação supervisionada foi submetido a uma detalhada inspeção visual visando corrigir possíveis vícios de classificação. Para dar suporte a essa análise qualitativa foi utilizada um conjunto de informações cartográficas temáticas e básicas, bem como artigos e trabalhos adicionais relativos a estudos e mapeamentos anteriormente realizados. Os pivôs centrais e o mapa de uso e cobertura da AGMA (2006) foram importantes para designar as regiões de cultura e orientar a amostragem de feições para a classificação digital da imagem *ALOS*, em conjunto com verificações no *Google Earth* e no *WikiMapia*.

A reamostragem utilizada, para todos os processos do presente trabalho (importação de imagem, degradação, mosaicos, etc.) foi a do vizinho mais próximo. Outro passo foi a reamostragem (degradação da imagem para resolução de 30 m, uma vez que seu *pixel* original é de 10 m) e filtração das imagens orbitais (passa-baixa 7x7, com duas iterações). Isto foi realizado visando a redução no tempo das operações de classificação digital e mistura dos alvos espectrais, reduzindo a possibilidade de confusão entre os alvos na fase de classificação digital. Todas essas opções de ferramentas de análise quantitativa e processamento digital estão disponíveis no programa *Spring 5.2.2*. O resultado desta etapa de classificação digital e

fotointerpretação das imagens *ALOS* foram adequados para a região de estudo no estado de GO. A porção das cartas de uso e cobertura do solo na região da bacia hidrográfica do estado de GO pode ser utilizada em escala entre 1:50.000 e 1:100.000, dado o tamanho do *pixel* original de 10 m da imagem de partida.

Para a avaliação da qualidade das análises quantitativas de classificação digital, especificamente da imagem *ALOS*, foram adotados dois índices de análise de qualidade, obtidos por meio da ferramenta de aferição da classificação digital do *Spring*: o índice de desempenho geral; e o índice Kappa (ou estatística KHAT). Essa exatidão aplicou-se na classificação digital para extração de classes de uso e cobertura do 5º nível nas áreas da porção do estado de GO da bacia, visto que as imagens *ALOS* possibilitaram somente este detalhamento na sua escala disponível.

A fotointerpretação das ortofotocartas do SICAD foi adotada por inteiro dentro da área de estudo que se encontra nos limites do DF, apenas realizando pequenas correções e equívocos notados. Essa fotointerpretação tem a escala de 1:10.000.

As cartas finais de uso e cobertura do solo (Apêndices V, W e X) são mais detalhadas nos limites do DF e com menor detalhe nos limites de GO, dado a união entre ambos os produtos. O esquema abaixo exemplifica a construção da legenda para o estudo (Tab. 3.11).

Os níveis 4, 5 e 6 foram readequados e detalhados para receber mais classes, de acordo com as classes das informações geoespaciais adotadas (Tab. 3.12). As áreas urbanas declaradas acima podem possuir inúmeras infraestruturas urbanas (como, aeroportos ou bases aéreas, aterros ou depósitos de resíduos, estações de tratamento de água e esgoto, entre outros), que deveriam ser subdivididas para cada nível do grupo (consolidada, em consolidação, parcelada e industrial). Entretanto serão adotadas no 5º nível, separadamente, devido à sua especialidade e influência nos processos de alagamento e inundação.

As culturas, para facilitar a adoção da legenda, foram agrupadas em cultura temporária e perene. O nível 5 é adequado para análises de planejamento urbano, principalmente, quando se deseja identificar e avaliar quadros de suscetibilidade. Grande parte das feições do nível 6 podem ser objetos das análises de risco, sendo configurados como os elementos em risco (conjunto de edificações, construção, edificação de grande porte, ruína, arquibancada, campo de futebol, estufa, piscina, tanque e reservatório).

Essas classes de elementos em risco, ora elencados, podem ser encontrados em áreas agrícolas e periurbanas, como infraestruturas rurais, na própria área urbana consolidada, em consolidação, parcelada, industrial e em estações de tratamento de água bruta e efluentes. Por

isso as referidas classes podem ser universalmente atribuídas e hierarquizadas em níveis superiores de uso e cobertura, não modificando sua classificação, mas apenas a condição de vulnerabilidade diferenciada. Por exemplo, uma edificação de grande porte que esteja em uma área agrícola pode ser uma infraestrutura rural como um estábulo, silo ou armazém, ao passo que para uma área urbana consolidada uma edificação de grande porte pode ser um prédio, igreja, entre outros.

Tabela 3.11 – Esquema de legenda e classificação do uso e cobertura do solo.

Planeta Terra							
Terra				Água			
Área antrópica			Área natural		Água continental	Água costeira	
Agrícola (ou periurbana)	Não agrícola		Formação florestal	Formação savânica	Água, lago, lagoa e rio	-	
Cultura temporária	Área urbana consolidada		Árvore	Campo cerrado ou savana parque	Lótico		
Cultura perene	Área urbana em consolidação						
Reflorestamento (Silvicultura)	Área urbana parcelada	Com vegetação antropizada					
		Sem vegetação antropizada					
	Área urbana industrial consolidada						
Pasto (campo antrópico)	Área urbana industrial parcelada		Mata	Cerrado ou savana arborizada	Lêntico		
	Sistema viário (rodovia e estrada)	Pavimentada					
		Não pavimentada					
	Solo exposto	Área Minerada					
		Disposição de resíduos					
Processos erosivos							
	Área limpa						

Legenda de cores:

--	--	--	--	--	--	--	--

 1º nível 2º nível 3º nível 4º nível 5º nível 6º nível

Tabela 3.12 – Esquema detalhado de legenda e classificação.

4º nível	5º nível	6º nível
Agrícola (ou periurbana)	Cultura temporária	Pomar
		Cultura temporária indefinida
	Cultura perene	Pomar
		Cultura perene indefinida
	Reflorestamento (silvicultura)	-
Pasto (campo antrópico)	-	
Infraestrutura rural ou periurbana	Mesmas classes da área urbana consolidada	
Não agrícola	Área urbana consolidada	Conjunto de edificações ³
		Construção ³
		Edificação de grande porte ³
		Ruína ³
		Arquibancada ³
		Campo de futebol ³

4º nível	5º nível	6º nível	
		Estufa ³	
		Piscina ³	
		Tanque ³	
		Reservatório ³	
		Área e lote aberto, gramado ou ocioso ^{3,4}	
	Área urbana em consolidação	Mesmas classes da área urbana consolidada	
	Área urbana parcelada	Mesmas classes da área urbana consolidada	
	Área urbana industrial consolidada	Mesmas classes da área urbana consolidada	
	Área urbana industrial parcelada	Mesmas classes da área urbana consolidada	
	Sistema viário (rodovia e estrada)		Pavimentada
			Não pavimentada
	Solo exposto		Área minerada
			Depósito/Aterro de resíduos
			Processos erosivos
			Área limpa
Bacia de contenção			
Base aérea		Aeroporto	
		Pista de pouso	
		Heliporto	
Cemitério		-	
Estação de tratamento		Mesmas classes da área urbana consolidada	
Área natural	Formação florestal	Árvore	
		Mata	
	Formação savânica		Campo cerrado ou savana parque ¹
			Cerrado ou savana arborizada ²

1 – fitofisionomia de cerrado típico e denso (cerradão); 2 – fitofisionomia de cerrado ralo, rupestre e campo seco; 3 – essas feições poderão estar presentes em qualquer área urbana, não apenas na consolidada, e inclusive agregadas às infraestruturas rurais ou periurbanas e estações de tratamento; e 4 – Podem ser consideradas, dentro desta classe, áreas sem vegetação antropizada.

3.2.6 – RESUMO DOS DADOS E ESCALAS CARTOGRÁFICAS

Todos os dados e informações geoespaciais que foram processados ou obtidos de forma bruta, como insumo cartográfico, e alguns que foram diretamente e/ou indiretamente usados nas análises de suscetibilidade, vulnerabilidade, consequências e riscos, a Tab. 3.13 faz um resumo. Ressaltando que a região de estudo abrange dois estados (DF e GO), por isso as informações e dados possuem uma escala mais detalhada no DF e outros dados abarcam toda a porção da bacia do rio São Bartolomeu e outras só a porção do DF.

Tabela 3.13 – Resumo dos dados geoespaciais.

Dado/Informação	Porção	Escala	Pixel	Bibliografia/Processo	Apêndice
Geologia	Total	1:250.000	-	Moreira et al. (2008)	A
Geologia	Apenas DF	1:100.000	-	Freitas-Silva & Campos (1998)	B
Pedologia	Total	1:250.000	-	SGM-GO (2005)	C e D
Pedologia (classe, textura e	Apenas DF	1:100.000	-	Reatto et al. (2004)	E, F, G e H

Dado/Informação	Porção	Escala	Pixel	Bibliografia/Processo	Apêndice
profundidade)					
MDE <i>SRTM</i> (TOPODATA)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	Valeriano (2008) e Valeriano & Rosseti (2011)	K
MDE SICAD	Apenas DF	1:10.000	5 m	GDF (2010)	L
Geomorfologia	Total	1:250.000	-	Latrubesse & Carvalho (2006)	I
Geomorfologia	Apenas DF	1:100.000	-	Campos (2010)	J
Declividade	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>Drop analysis (ArcGIS)</i>	M
Curvatura (TOPODATA)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	Valeriano (2008) e Valeriano & Rosseti (2011)	N
Direção de fluxo (D8)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>Flow direction (ArcGIS)</i>	-
Direção de fluxo (D ∞)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>D-Infinity flow direction (TauDEM)</i>	-
Área de fluxo acumulado (D8)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>Flow accumulation (ArcGIS)</i>	-
Área de fluxo acumulado (D ∞)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>D-Infinity Contributing Area (TauDEM)</i>	-
Drenagem vetorial numérica	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	-	<i>Stream to feature (ArcGIS)</i>	-
Áreas de contribuição	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	-	<i>Watershed (ArcGIS)</i>	-
Hidrogeologia (profundo)	Total	1:500.000	-	Almeida et al. (2006)	O
Hidrogeologia (rasos)	Total	1:500.000	-	Almeida et al. (2006)	P
Hidrogeologia (fraturado)	Apenas DF	1:100.000	-	Freitas-Silva & Campos (1998)	Q
Hidrogeologia (poroso)	Apenas DF	1:100.000	-	Campos (2010)	R
<i>HAND</i> (Rennó et al., 2008)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>TerraView 4.1.0 TerraViewHidro 0.3.0</i>	-
<i>TWI</i>	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>Raster calculator (ArcGIS)</i>	-

Dado/Informação	Porção	Escala	Pixel	Bibliografia/Processo	Apêndice
Distância de drenagem (DD)	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	Mapa de distâncias (<i>Spring</i>)	S
FDD	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	30 m	<i>Raster calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-
Grupo hidrológico	Total	1:100.000 e 1:250.000	-	Reclassificação	-
<i>CN</i>	Total	1:100.000 e 1:10.000	30 m	Reclassificação	-
<i>S</i>	Total	1:100.000 e 1:10.000	30 m	<i>Raster calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-
<i>Q</i>	Total	1:100.000 e 1:10.000	30 m	<i>Raster calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-
Imagens aéreas	Total	1:100.000	10 m	IBGE (2012)	T
Imagens aéreas	Apenas DF	1:10.000	1 m	GDF (2010)	U
Uso e cobertura do solo	Total	1:100.000 e 1:10.000	30 m	<i>MaxVer-ICM</i> (<i>Spring</i>) e fotointerpretação GDF (2010), SGM-GO (2007), Sefaz-GO (2007), IBGE (2012) e AGMA (2006)	V, W e X
Coefficiente de compacidade (<i>m</i>) – 1 e 2 ordem	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	-	<i>Field calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-
Índice de circularidade (<i>RC</i>) – 1, 2, 3, 4 e 5 ordem	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	-	<i>Field calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-
Fator de Forma (<i>R_t</i>) – 1 e 2 ordem	Total	entre 1:60.000 e 1:100.000	-	<i>Field calculator</i> (<i>ArcGIS</i>)	-

3.3 – INVENTÁRIO DE ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO

Como observado na introdução, os critérios adotados pelo Atlas de Desastres Naturais do Brasil resultam na inexistência de registros para análises de alagamento e inundações para a região de estudo. Mesmo com esta situação de escassa informação e dados sobre ocorrências e eventos, os inventários de alagamentos e inundações são ferramentas importantes para a quantificação espacial e temporal da distribuição destes e para ser base para aplicação de modelos de previsão. Assim, a melhor alternativa para obter um adequado inventário são as matérias jornalísticas. Segundo Martini Jr. (1995) a comunicação dos riscos ambientais surgiu para informar sobre a exposição da segurança e saúde das pessoas aos eventos e deve,

inicialmente, ter formato simples, conciso e sem jargões técnicos respondendo aos seguintes questionamentos: (i) o que ocorreu; (ii) onde; (iii) quando; (iv) houve vítima(s); (v) qual(is) medida(s) está(ão) sendo tomada(s); (vi) a situação está controlada; (vii) como ocorreu; (viii) por que ocorreu.

Portanto, o inventário de alagamento e inundação deste trabalho baseou-se em matérias e reportagens, como meio viável de obter dados, do jornal Correio Braziliense, que estão em formato digital, na ferramenta “BuscaCB”. Logo, as reportagens deste periódico apenas abrangem o estado do DF e isso limitou o inventário para todo este estado, não sendo possível verificar ocorrências e eventos na bacia do rio São Bartolomeu que está na porção de GO. Conseqüentemente, elementos da análise de risco (análise de perigo, vulnerabilidade e consequência) foram estudados somente na região da bacia dentro dos limites políticos do DF.

O inventário totaliza um intervalo de tempo amostral de 14 anos (entre 01 de junho de 1999 e 01 de junho de 2013). Foi necessário tratar os dados espaciais como pontos vetoriais distribuídos, ao passo que, os alagamentos e inundações ocorrem semelhantemente aos deslizamentos, ocupando uma área definida no espaço. Entretanto, determinar a área espacial onde houve um acúmulo de água só é possível por meio de imagens aéreas, exatamente do momento do evento deflagrante, ou por meio de inspeção de campo em cada local de ocorrências.

Assim, os pontos foram plotados por meio da ferramenta *Editor* do *ArcGIS* 10, na escala de 1:10.000, utilizando as ortofotocartas do SICAD (GDF, 2010), bem como as ferramentas *Google Earth*© e *Wikimapia* (<http://wikimapia.org>) para orientação e depois exportados para o *Spring* 5.2.2 para a construção do banco de dados com os campos detalhados na Tab. 3.14. Os histogramas de frequência de alguns campos específicos foram confeccionados e suas estatísticas descritivas calculadas com a contagem (*Count*), máximo (*Max*), mínimo (*Min*), média (*Mean*), desvio padrão (*Std. Dev.*), assimetria (*Skewness*), curtose (*Kurtosis*), primeiro quartil ou 25º percentil (*1-st Quartile*), mediana (*Median*) e terceiro quartil ou 75º percentil (*3-rd Quartile*), utilizando a ferramenta *Geostatistical Analyst* do *ArcGIS* 10 para facilitar o procedimento.

Para todo o inventário, os vários pontos espaciais de alagamento e/ou inundação são ocorrências, sendo que cada ocorrência espacial possui seu respectivo evento deflagrante. Desse modo, um evento de precipitação pluviométrica pode gerar uma ou várias ocorrências de alagamentos e inundações. Também é importante ressaltar que nas matérias os próprios

jornalistas forneciam dados quantitativos do evento de precipitação, assim foi necessário trazer a relação na Eq. 3.17.

$$i = \frac{C}{t} \quad (3.17)$$

Em que i é a intensidade de precipitação pluviométrica (mm/h), C é a precipitação acumulada (mm) e t é o tempo do evento pluviométrico (h), sendo que 1 mm de chuva é igual a 1 L por m² de água.

Cada ponto de ocorrência foi associado a uma estação pluviométrica existente na rede de estações do DF para coletar os valores da precipitação deflagrante e dos cinco dias antecedentes à ocorrência. Todas as estações pluviométricas do DF possuem a quantificação em intervalos aproximados de 24 h. Enumeram-se então os critérios adotados para a associação das estações aos pontos de ocorrência:

1. (i) maior proximidade da estação pluviométrica ao ponto de ocorrência, para buscar registrar as precipitações convectivas ocorridas no tempo de um dia (mm/24h), estar dentro do (ii) polígono de Thiessen e/ou na mesma (iii) bacia hidrográfica que foi delimitada por Barbosa (2012);
2. Possuir dado de precipitação na data do evento de alagamento e/ou inundação, não considerando valor nulo, ou volume precipitado incompatível com os danos e condições relatadas na reportagem; (obs.: é importante lembrar que antes de atribuir valores de precipitação para o ponto de alagamento e/ou inundação verificou-se a variação dos valores em no mínimo 6 estações próximas, à montante e jusante da área de influência da bacia hidrográfica (Barbosa, 2012), procurando entender a movimentação predominante do evento de precipitação deflagrador) (obs.: caso o 2º critério não seja atendido, volta-se para o 1º critério escolhendo a segunda estação mais próxima).
3. Devem ser observadas mudanças bruscas de cotas altimétricas, do ambiente geológico e/ou do uso e cobertura dos solos entre a localização da estação e do evento, para impedir a influência de chuvas orográficas e outras incongruências.

Entre todas as estações consultadas apenas 26 (Fig. 3.12) foram selecionadas para relacionar os pontos de ocorrência aos eventos de precipitação registrados, dado os critérios definidos.

Tabela 3.14 – Metadado explicativo dos campos do banco de dados do inventário.

Atributo	Descrição
ID	Número sequencial de controle.

Atributo	Descrição
E_X	Coordenada métrica longitudinal (este), referenciada à projeção UTM fuso 23 Sul e datum horizontal SIRGAS 2000.
N_Y	Coordenada métrica latitudinal (norte), referenciada a projeção UTM fuso 23 Sul e datum horizontal SIRGAS 2000.
COTA_M	Cota altimétrica do terreno, em metros, extraída do MDE SICAD.
ENDERECO	Localização postal da ocorrência de fato.
RA_CID	Região administrativa do Distrito Federal onde houve a ocorrência.
USO_COB	Uso, cobertura e ocupação do solo predominante sob o ponto de ocorrência.
I_MMH	Intensidade de precipitação (mm/h) (Eq. 3.17), baseada nos dados fornecidos por jornalistas. ¹
T_S	Tempo de duração do evento pluviométrico (s) fornecido pelo jornalista responsável. ¹
P_MM	Precipitação acumulada (mm) fornecido pelo jornalista responsável. ¹
NA_M	Cota de alagamento e/ou inundação registrada pelo jornalista na matéria. ¹
DANO	Prejuízos e danos classificados como diretos e indiretos aos elementos em risco citados na reportagem.
DATA_EVENT	Data do evento de precipitação, como por exemplo, 20100330, os quatro primeiros algarismos indicam o ano, os dois seguintes o mês e os dois últimos o dia.
PUBLICACAO	Referência bibliográfica do editorial jornalístico do Correio Braziliense, data e página da matéria publicada da(s) ocorrência(s) e evento(s).
BIBLIOGRAF	Referência bibliográfica do autor da matéria jornalística do Correio Braziliense, ou seja, sobrenome do repórter acompanhado do nome.
SITE_LINK	Sítio eletrônico para acesso da matéria jornalística.
DD_SICAD	Valor numérico (m) da distância da drenagem mais próxima ao ponto de alagamento e/ou inundação, com referência as drenagens fotointerpretadas do SICAD (GDF, 2010).
Codigo	Estação pluviométrica selecionada para obter o montante de chuva dos eventos, com o código padronizado pela Agência Nacional de Água (ANA) para as estações pluviométricas do País.
Distancia	Distância entre a ocorrência de alagamento e/ou inundação e a estação pluviométrica selecionada.
Nome	Nome da estação pluviométrica selecionada.
P_24H	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do dia do evento.
P_24H_1	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do 1º dia anterior ao evento.
P_24H_2	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do 2º dia anterior ao evento.
P_24H_3	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do 3º dia anterior ao evento.
P_24H_4	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do 4º dia anterior ao evento.
P_24H_5	Precipitação pluviométrica deflagrante, referente ao acumulado de 24 h do 5º dia anterior ao evento.
Operador	Empresa ou fundação responsável pela manutenção do pluviômetro

Atributo	Descrição
	selecionado.
FT	É a forma de terreno onde o ponto de ocorrência está localizado escrito nos seguintes códigos: 1 – côncavo-convergente; 2 – retilíneo-convergente; 3 – convexo-convergente; 4 – côncavo-planar; 5 – retilíneo-planar; 6 – convexo-planar; 7 – côncava-divergente; 8 – retilínea-divergente; e 9 – convexa-divergente (em partes no Apêndice N) (Valeriano, 2008) (TOPODATA).
PEDO	Classe pedológica de Reatto et al. (2004) (em partes no Apêndice E) onde o ponto de ocorrência está localizado.
FA_DINF	Valor da área de fluxo acumulado (D_{∞}) (m^2) obtido da grade numérica processada neste trabalho, partindo do MDE <i>SRTM</i> .
P_120H	Somatório das chuvas acumuladas dos 5 dias antecedentes.

1 – Atributo com valor nulo indica inexistência de dado.

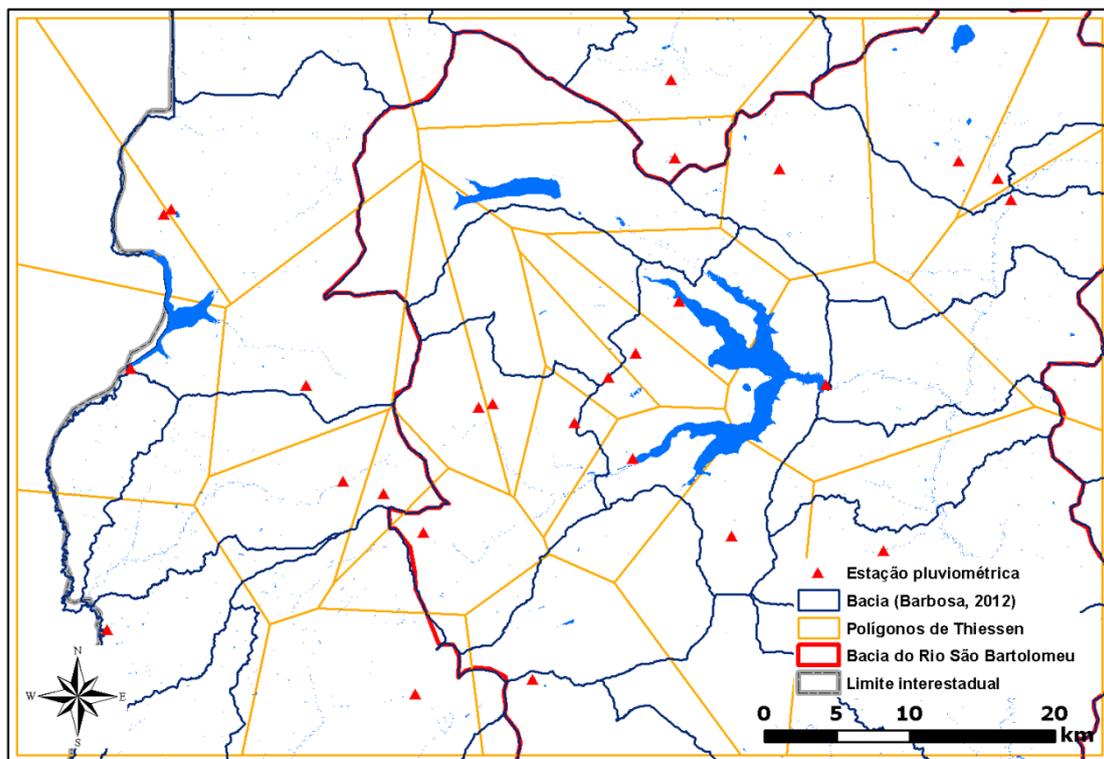


Figura 3.12 – Polígonos de Thiessen e bacias hidrográficas (Barbosa, 2012) para a associação dos pontos ocorrências as estações pluviométricas da ANA, ADASA, CAESB e INMET.

Com base nos resultados do inventário foram elaborados dois mapas, um da distribuição dos pontos do inventário (Apêndice Y) e outro do número de ocorrências (Apêndice Z), visto que uma mesma localização pode ter mais de uma ocorrência no passar de 14 anos.

3.4 – SUSCETIBILIDADE A ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO

As análises espaciais multicritério são aplicadas quando várias opções podem ser analisadas para a solução de um problema (Herwijnen & Janssen, 2001). A primeira etapa de uma análise multicritério é fazer das alternativas dos critérios adotados comparáveis entre si, por meio de diversos modos de padronização, determinando depois a importância relativa do critério e por fim definindo uma regra de decisão, ordenando as alternativas, segundo Herwijnen & Janssen (2001).

O método de análise hierárquica (MAH), ou *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, é uma técnica de análise multicritério declarada como teoria de comparação pareada ou lógica de comparação pareada. O MAH tem sido utilizado em aplicações de diversas áreas do conhecimento e toda sua formulação matemática e conceitual, assim como exemplos das diversas aplicações em áreas do conhecimento podem ser consultados em Saaty (1991). Essa lógica de comparação par a par é ideal quando existe incerteza sobre a determinação dos padrões espaciais desejados em processos de inferência espacial (Meirelles et al., 2007). Os trabalhos de Batista et al. (2012a) e Fernández & Lutz (2010) utilizam o MAH como ferramenta para geração de modelos espaciais de suscetibilidade a alagamento e inundação. O primeiro aborda na forma de cenários e o segundo busca um produto final com análise de sensibilidade para obter as incertezas da análise multicritério.

Neste método é necessária a estruturação de uma hierarquia, composta por: meta; critérios; subcritérios (ou critérios secundários) e alternativas (Câmara, et al., 2001). A composição de uma hierarquia ilustra a vantagem de analisar a inter-relação dos mais diversos níveis e elementos dentro de um sistema (Saaty, 1991).

Câmara et al. (2001) definem a hierarquia de processos como um método de suporte à decisão baseado na racionalidade que pode ser utilizado quando se deseja mensurar o quanto determinado atributo influencia na tomada de decisão. A abordagem multicritério retorna pesos relativos a cada atributo adotado na análise, assim cada mapa de entrada recebe um peso diferente em uma análise de múltiplos mapas ou planos de informação. Segundo Meirelles et al. (2007) com métodos de critério de pesos é possível obter uma graduação de escala de acordo com o grau de adequabilidade do critério adotado.

Para a realização da comparação pareada, Saaty (1991) explica que, são adotados valores de comparação entre 1 e 9 (Tab. 3.15), em razão de esses serem os limites psicológicos de comparação simultânea (7 ± 2). É aceitável que a razão de consistência da

análise seja menor ou igual a 0,10 e esse valor indica a consistência dos julgamentos de comparação pareada para a tomada de decisão (Saaty, 1991).

As comparações pareadas foram feitas utilizando oito atributos de terreno separados em dois grupos. No primeiro foram agrupados aqueles atributos de terreno que possuem características teóricas predominantemente hidrológicas (susceptibilidades hidrológicas), sendo a distância de drenagem pelo fluxo acumulado (FDD), o índice topográfico (TWI), o escoamento superficial (Q) e a distância vertical à drenagem mais próxima ($HAND$). No segundo foram agrupados aqueles com características da geomorfologia do terreno (susceptibilidades geomorfológicas), sendo a declividade (β), a forma de terreno ou curvatura (FT) e a hipsometria ou cota altimétrica do terreno (z).

Tabela 3.15 – Descrição da escala da lógica de comparação pareada (Saaty, 1991).

Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparada com i .	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala.	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n , para completar a matriz.

Excetuando a curvatura de terreno, que possui classes qualitativas, as alternativas (classes) dos atributos ora operados são contínuas em um intervalo numérico e foram

normalizados na escala entre 0 e 1 (Eq. 3.18). As classes de curvatura de terreno receberam pesos arbitrários e pesos advindos da análise dos pontos do inventário, assim os pesos finais definidos estão descritos na Tab. 3.16.

$$p_n = \left(\frac{p - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} \right) \quad (3.18)$$

Em que p_n é o valor do *pixel* normalizado, p é o valor do *pixel* do plano de informação analisado, p_{\min} é o menor valor de indicação de inundação entre todos os *pixels*, p_{\max} é o maior valor de indicação de inundação entre todos os *pixels*.

Para as suscetibilidades hidrológicas foram pareados FDD, TWI e Q, sendo que o HAND entrou na regra de decisão final como fator limitante (Tab. 3.17). Para as suscetibilidades geomorfológicas foram pareados β e FT, sendo que z entrou na regra de decisão final com um fator limitante, principalmente para evitar que houvesse áreas de alta suscetibilidade em topos planos (Tab. 3.18).

Tabela 3.16 – Pesos adotados para as classes do plano de informação de curvatura.

	Classe	Peso final
1	Côncavo-convergente	0,23740
2	Retilíneo-convergente	0,33927
3	Convexa-convergente	0,02887
4	Côncavo-planar	0,14854
5	Retilíneo-planar	0,14153
6	Convexo-planar	0,02859
7	Côncavo-divergente	0,04446
8	Retilínea-divergente	0,02164
9	Convexa-divergente	0,00970
	Σ	1,0000

As matrizes (Tab. 3.17 e 3.18) resultaram em equações de regra de decisão final com os coeficientes de ponderação dos atributos, tal que estes coeficientes são autovetores das matrizes de comparação (ver Saaty, 1977 ou Saaty, 1991) para realizar a operação.

Para uma mesma equação de decisão final das suscetibilidades hidrológicas foram aplicados os 6 cenários distintos, dependendo da combinação dos atributos, conforme a Tab. 3.19. Já para as suscetibilidades geomorfológicas, devido à operação de dois atributos, foram obtidos dois cenários, conforme a ordenação na Tab. 3.20. Ao final de todas as operações algébricas obteve-se a média aritmética entre todos os cenários e uma média ponderada, sendo esta última com a contribuição relativa de 50% para cada grupo de atributos.

Tabela 3.17 – Matriz de comparação pareada adotada entre os três atributos hidrológicos.

	A_1	A_2	A_3
A_1	1	2	4
A_2	1/2	1	3
A_3	1/4	1/3	1

Tabela 3.18 – Matriz de comparação pareada adotada entre os dois atributos geomorfológicos.

	A_4	A_5
A_4	1	2
A_5	1/2	1

Tabela 3.19 – Diferentes graus de importância adotados nos cenários para suscetibilidades hidrológicas.

Importância	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Maior	$A_1. FDD$	$A_1. TWI$	$A_1. Q$	$A_1. Q$	$A_1. TWI$	$A_1. FDD$
↑	$A_2. TWI$	$A_2. FDD$	$A_2. FDD$	$A_2. TWI$	$A_2. Q$	$A_2. Q$
Menor	$A_3. Q$	$A_3. Q$	$A_3. TWI$	$A_3. FDD$	$A_3. FDD$	$A_3. TWI$

Tabela 3.20 – Diferentes graus de importância adotados nos cenários para suscetibilidades geomorfológicas.

Importância	Cenário 7	Cenário 8
Maior	$A_4. \beta$	$A_4. FT$
↑	$A_5. FT$	$A_5. \beta$
Menor		

3.5 – ANÁLISE DO PERIGO DE ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO

A análise do perigo de alagamento e inundação foi realizada por meio da análise racional baseada nos dados do inventário das ocorrências e sua associação com as precipitações deflagrantes registradas pelas estações pluviométricas. Em seguida foi confeccionada a carta de perigo por meio de interpolação dos valores de perigo das estações.

3.5.1 – ANÁLISE PROBABILÍSTICA

A análise de probabilidade dependeu exclusivamente do inventário de alagamentos e inundações. Também seguiu, em partes, a metodologia de análise aplicada por Jaiswal & van

Westen (2009), no qual foi realizada uma análise temporal de chuva que poderia iniciar deslizamentos ao longo de uma rodovia. Importante notar que Marcelino (2008) já relatava, que “o foco da análise não deve estar no processo e sim no fenômeno desencadeador, ou seja, aquele que dispara (gatilho) o processo”.

Dado que cada ponto de ocorrência de alagamento ou inundação representa um evento específico de precipitação pluviométrica deflagrante da situação que resultou em danos e um evento de precipitação deflagrante foi mensurado pela estação pluviométrica associada ao ponto de ocorrência, pode-se afirmar que isto indica uma probabilidade condicional. Ou seja, os eventos pluviométricos deflagrantes de alagamentos e inundações dependem das diversas ocorrências espaciais relatadas por cada ponto do inventário. Ou seja, o mesmo já traz consigo a probabilidade condicional de deflagramento de um alagamento ou inundação ao ultrapassar um determinado limiar de chuva.

Portanto, define-se P é a probabilidade de um alagamento ou inundação (L), tal que uma chuva (C) seja maior que uma chuva total (C_t) ou limiar de chuva definido ($C > C_t$). Esta probabilidade condicional é fruto da relação entre a quantidade de ocorrências de alagamentos e inundações (L), dado que essas superaram o limiar de chuva (ou classe de chuva específica), e o número de eventos pluviométricos que excederam o limiar ou classe de chuva (λ), sendo estes computados pelas estações pluviométricas, resultando na Eq. 3.19.

$$P[L/(C > C_t)] = \frac{L}{\lambda} \quad (3.19)$$

Na prática foram definidos, intervalos discretos ou, classes a cada 10 mm/24h que englobam a computação dos valores de L e λ . Analisando então as frequências absolutas e acumuladas para cada classe, foram atribuídas as quantidades para operar a razão necessária ao cálculo da probabilidade condicional. A Eq. 3.19 traduz o fato da probabilidade de alagar ou inundar para vários valores de precipitação pluviométrica, ou seja, quanto maior o volume da precipitação maior é a probabilidade de alagar ou inundar, dado o registro histórico do inventário e das estações pluviométricas, em determinada faixa de precipitação registrada.

Deve-se então calcular a probabilidade temporal de ocorrer esta precipitação deflagrante que excede um limiar ou classe de chuva. A Eq. 3.20 determina a probabilidade (P) da precipitação (C) ultrapassar um limiar de chuva total deflagrante (C_t), sendo que a mesma pode causar n ocorrências de alagamento ou inundação (L) em determinado tempo (t_1), neste caso um tempo maior que um ano, logo t_1 é 1.

$$P[C > C_t] = P[n(t_1) \geq 1] = 1 - \exp(-t_1/\mu) \quad (3.20)$$

Em que μ (ano por ocorrência) é o quociente de t_2 (ano) por λ , no qual t_2 é o tempo de monitoramento da estação pluviométrica, que pode ser restrito ao tempo de análise do inventário (14 anos). Assim μ é um intervalo de recorrência média anual para ocorrer chuvas em um limiar ou classe arbitrado que pode provocar alagamentos ou inundações. Ou seja, isto expressa a probabilidade do evento de precipitação pluviométrica ocorrer, em um tempo qualquer, em classes e limiares de chuva definidos. Sendo assim, quanto maior o volume de precipitação, menor a probabilidade deste evento pluviométrico catastrófico em 1 ano.

A Eq. 3.20 exprime um processo e distribuição de *Poisson*, que segundo Ang & Tang (1975) é definido por algumas suposições: (i) um evento que pode ocorrer em qualquer tempo ou espaço mais de uma vez aleatoriamente; (ii) a ocorrência de um evento não sobreposto em um intervalo de tempo ou espaço são estatisticamente independente; (iii) a probabilidade de ocorrência de um evento em um pequeno intervalo (de tempo ou espaço) é proporcional a Δt ou Δs , assim $(t, t+\Delta t)$, em que $P[X(\Delta t) = 1] = \nu \Delta t$, onde ν é uma constante positiva de proporcionalidade, logo, dois ou mais eventos em Δt são desprezíveis. Esta análise de probabilidade corresponde ao conceito tratado por Fell et al. (2005) de probabilidade anual de exceder (*annual exceedance probability*) que um evento de magnitude específica seja excedido em um ano.

Sabe-se que limiares de chuva podem ser excedidos sem que sejam relatados ou, até mesmo que realmente, o fenômeno perigoso não tenha acontecido. Por isso a probabilidade temporal da ocorrência de eventos perigosos de alagamento e inundação depende da interseção de duas probabilidades (H) (Eq. 3.21): aquela que ao mesmo tempo pode deflagrar o alagamento e inundação (Eq. 3.19) e aquela para exceder o limiar de chuva estabelecido (Eq. 3.20).

$$H = P[(C > C_t) \cap L] = P[C > C_t] \cdot P[L/(C > C_t)] \quad (3.21)$$

3.5.2 – CARTA DE PERIGO

As Eq. 3.19, 3.20 e 3.21 definiram curvas de probabilidade para cada uma das 26 estações pluviométricas (Fig. 3.12) ao qual foram associados os pontos de ocorrência. Os valores máximos da probabilidade definida pela Eq. 3.21 foram submetidos e recordados em cada estação. Então, esses pontos espaciais das estações pluviométricas com seus valores máximos de probabilidade foram interpolados para obtenção do plano de informação de perigo.

Segundo Burrough & McDonnell (1998) os dados de observações pontuais (vetor) são convertidos para dados contínuos (*raster*) por meio de interpolação dos valores em pontos com informações numéricas conhecidas. O princípio é que o valor de um atributo num ponto tende a ser análogo aos de pontos vizinhos por comparação.

Foi aplicado o método do inverso ponderado da distância (*IDW – Inverse Distance Weighted*) para a interpolação, utilizando a ferramenta geoestatística denominada *IDW* do *ArcGIS 10* para gerar a carta de perigo a alagamento e inundação (Apêndice AA). Este é um método determinístico que calcula o valor de um ponto por meio da média com os pontos mais próximos, tal que esta média é ponderada pelo inverso da distância em relação aos pontos vizinhos. Isto exprime na prática uma das denominadas leis de Tobler, em que as coisas mais próximas estão mais relacionadas que aquelas mais distantes (Longley et al., 2005). O cálculo do *IDW* é dado pela Eq. 3.22.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{M_{ij}^\chi}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{M_{ij}^\chi}} \quad (3.22)$$

Em que *Z* é o valor interpolado para o nó (*pixel*) do reticulado (*raster*). *Z_i* é o valor do ponto amostrado vizinho ao nó; *M_{ij}* é a distância entre o nó da grade e *Z_i*; χ é o expoente de ponderação (peso), que geralmente é quadrático, e *n* é o número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó (Apostila de Geoestatística por Bezerra, 2008).

3.6 – ANÁLISE DE VULNERABILIDADE & CONSEQUÊNCIA

Para este estudo os elementos em risco são apenas as infraestruturas (casas, prédios, vias, construções, monumentos, etc.) que foram mapeados em planta resultado do aerolevanteamento do SICAD (GDF, 2010) e estão expressas no último nível de classificação da carta de uso e cobertura dos solos (Apêndice X). Em geral, essas infraestruturas possuem a topologia semelhante, demonstrada na Fig. 3.13 e o conceito na Tab. 3.21. Admitiu-se, conforme toda a revisão bibliográfica mencionada nesta pesquisa, uma variável para contabilizar possíveis danos e prejuízos sofridos por infraestruturas submetidas a alagamentos e inundações. Essa variável é o produto da vulnerabilidade física total das infraestruturas (*V_i*) e das consequências monetárias (*C_m*) para reconstrução ou reabilitação das mesmas.

A vulnerabilidade total (*V_i*) é descrita na Eq. 3.23.

$$V_r = F \cdot DP \quad (3.23)$$

Em que F (%) é a fragilidade estrutural do elemento em risco e depende da localização do mesmo, se em área urbana consolidada, em consolidação, parcelada, industrial, periurbana ou rural e DP é um valor arbitrário descritor da condição de implantação do sistema de drenagem pluvial da região de localização do elemento em risco.

Tabela 3.21 – Definição das infraestruturas como elemento em risco.

Edificação de grande porte	São polígonos de infraestruturas urbanas, industriais e rurais de grande área em planta, como edifícios, prédios, galpões industriais e agroindustriais, silos, etc.
Conjunto de edificações	São polígonos de infraestruturas urbanas e rurais que, em sua maior parte, são conjuntos de residência unifamiliar, com lotes de área máxima de 600 m ² (GDF, 2010), e em áreas industriais podem possuir estacionamentos, pequenos edifícios, entre outros.
Construção	São polígonos de infraestruturas urbanas e rurais que no momento do aerolevantamento fotogramétrico encontrava-se em obra, podendo evoluir para uma edificação de pequeno porte (dentro de um conjunto de edificações) ou uma edificação de grande porte.

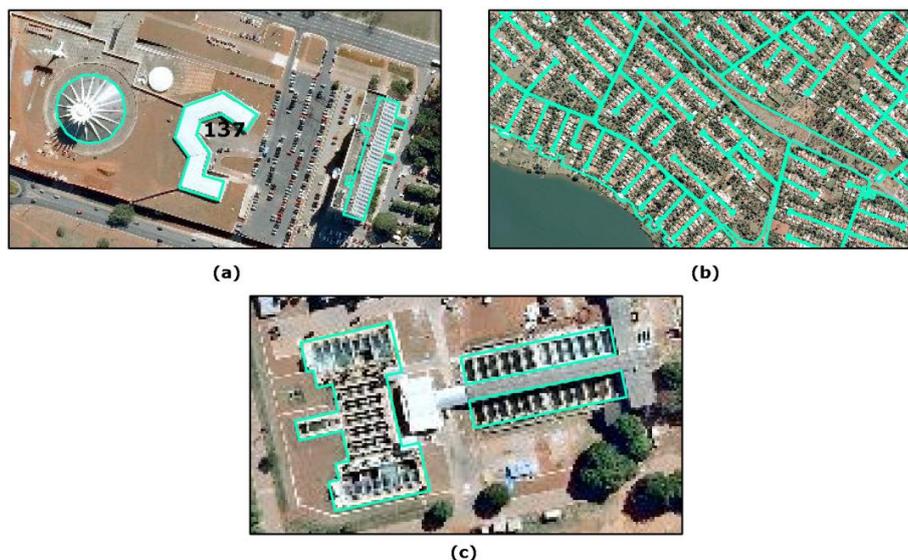


Figura 3.13 – Topologia dos elementos em risco: a) edificação de grande porte; b) conjunto de edificações; e c) construção (imagens GDF, 2010).

A determinação do F dependeu da localização do polígono mapeado da infraestrutura em região classificada como área urbana consolidada, em consolidação, parcelada, industrial, periurbana ou rural, de acordo com o 5º nível de detalhamento da carta de uso e cobertura do solo (Apêndice W). E, também, da análise dos danos relatados no inventário arbitrando valores percentuais para a fragilidade estrutural.

Por sua vez, o *DP* dependeu da presença do polígono do elemento em risco nas classes do mapa da situação da rede de drenagem pluvial do DF (GDF, 2008) (Fig. 3.14). Para a condição do sistema de drenagem pluvial implantado o valor arbitrado é de 0,5 (pode ou não ocorrer alagamentos e/ou inundações influenciando na vulnerabilidade da infraestrutura), se a drenagem estiver implantada parcialmente temos 0,75, se estiver em implantação é 1,5 e se não estiver implantado é 2 (dobra a vulnerabilidade física). Aquelas áreas sem informação do mapa de drenagem pluvial foram consideradas como sistemas de drenagem pluviais não implantadas.

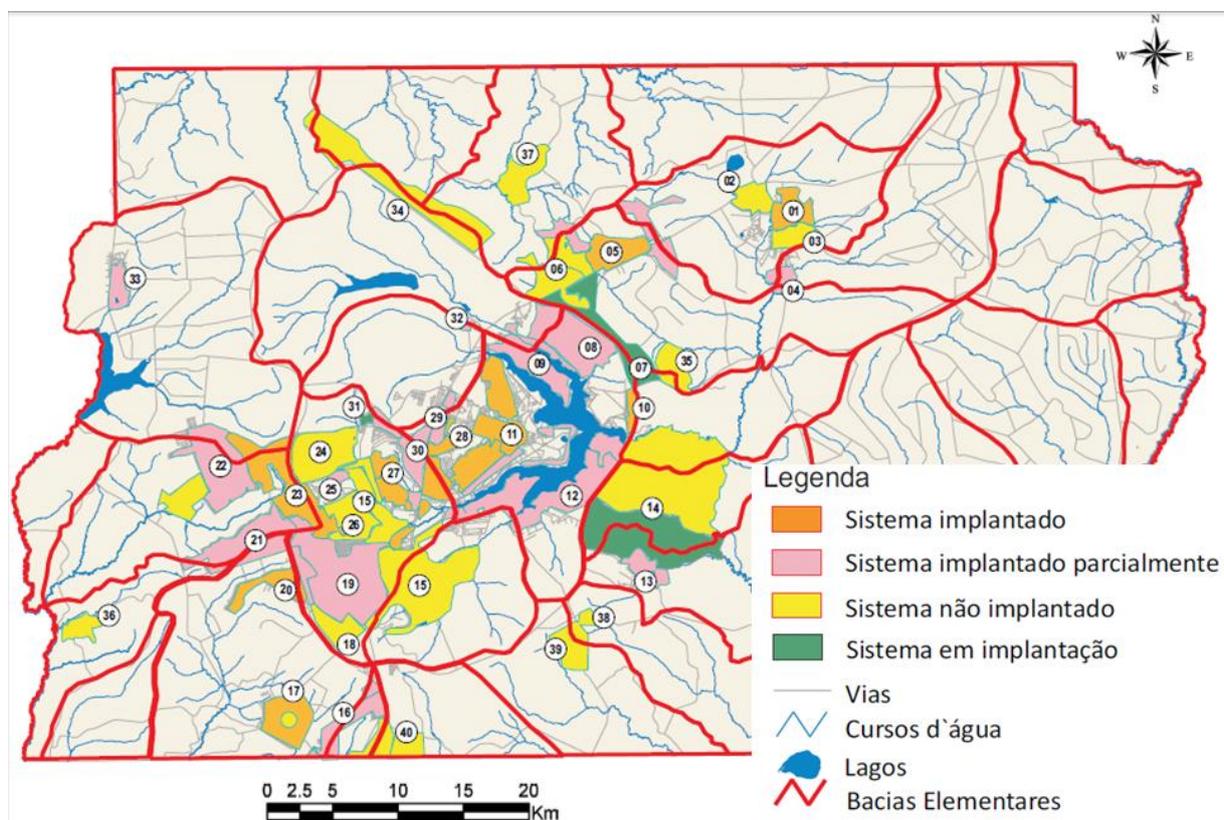


Figura 3.14 – Situação da rede de drenagem pluvial no DF (modificado de GDF, 2008).

Desse modo, a Tab. 3.22 apresenta todos os valores possíveis de V_i dado os valores arbitrados para F , conforme o uso do solo, e de DP na sua respectiva forma de implantação.

Tabela 3.22 – Valores da vulnerabilidade total (V_i).

Cód.	Uso & Cobertura dos Solos			%	<i>DP</i>			
	4º nível	5º nível	6º nível		<i>F</i>	0,5	0,75	1,5
151	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Conjunto de edificações	2,6	1,3	2,0	3,9	5,2
152	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Construção	1,3	0,7	1,0	2,0	2,6

Uso & Cobertura dos Solos				%	DP			
Cód.	4º nível	5º nível	6º nível	F	0,5	0,75	1,5	2
153	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Edificação de grande porte	1,4	0,7	1,1	2,1	2,8
211	Não agrícola	Área urbana consolidada	Conjunto de edificações	3,4	1,7	2,6	5,1	6,8
212	Não agrícola	Área urbana consolidada	Construção	1,7	0,9	1,3	2,6	3,4
213	Não agrícola	Área urbana consolidada	Edificação de grande porte	1,8	0,9	1,4	2,7	3,6
221	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Conjunto de edificações	3,2	1,6	2,4	4,8	6,4
222	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Construção	1,6	0,8	1,2	2,4	3,2
223	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Edificação de grande porte	1,1	0,6	0,8	1,7	2,2
231	Não agrícola	Área urbana parcelada	Conjunto de edificações	6,9	3,5	5,2	10,4	13,8
232	Não agrícola	Área urbana parcelada	Construção	3,6	1,8	2,7	5,4	7,2
233	Não agrícola	Área urbana parcelada	Edificação de grande porte	3,2	1,6	2,4	4,8	6,4
241	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Conjunto de edificações	1,9	1,0	1,4	2,9	3,8
242	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Construção	1,3	0,7	1,0	2,0	2,6
243	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Edificação de grande porte	1,4	0,7	1,1	2,1	2,8
261	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Pavimentada	2,6	1,3	2,0	3,9	5,2
262	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Não pavimentada	5,3	2,7	4,0	8,0	10,6
281	Não agrícola	Base aérea	Aeroporto	2,6	1,3	2,0	3,9	5,2
282	Não agrícola	Base aérea	Pista de pouso	2,6	1,3	2,0	3,9	5,2
283	Não agrícola	Base aérea	Heliporto	2,6	1,3	2,0	3,9	5,2
2912	Não agrícola	Cemitério	-	2,5	1,3	1,9	3,8	5,0
2101	Não agrícola	Estação de tratamento	Conjunto de edificações	3,4	1,7	2,6	5,1	6,8
2102	Não agrícola	Estação de tratamento	Construção	1,7	0,9	1,3	2,6	3,4
2103	Não agrícola	Estação de tratamento	Edificação de grande porte	1,8	0,9	1,4	2,7	3,6

F – fragilidade estrutural do elemento em risco, *DP* – condição de implantação da drenagem pluvial do elemento em risco.

As consequências (C_m) ou perdas potenciais foram calculadas por meio da Eq. 3.24.

$$C_m = [A \cdot f] \cdot CU \quad (3.24)$$

Em que, A (m^2) é a área do polígono em planta da infraestrutura definida como o elemento em risco, f (entre 0 e 1) é um fator de correção que define a densidade de infraestruturas que ocupam determinado polígono mapeado, válido somente para os polígonos do conjunto de edificações, uma vez que os polígonos de construções e edificações de grande porte recebem o valor 1 (ver Fig. 3.13) e CU ($R\$/m^2$) é o custo unitário da reconstrução, reparo e restauração do elemento em risco.

Para os polígonos das áreas de conjunto de edificações houve a necessidade de calcular o f tomando n amostras de uma determinada região com padrão de ocupação similar em função do tipo de área urbana ou rural e da sua região administrativa do DF. Essas amostras aleatórias de polígonos de conjunto de edificações serviram para o cálculo da média

deste coeficiente ou fator de ocupação de infraestruturas no polígono (exemplo Tab. 3.23) para extrapolá-lo para os demais com padrão de ocupação semelhante. As amostras obtidas e suas respectivas médias podem ser consultadas no Apêndice AD.

Tabela 3.23 – Exemplo: Vila Buritis, Planaltina (área urbana consolidada) no cálculo de f (imagens GDF, 2010).

		
$f_1 = 0,97$	$f_2 = 0,96$	$f_3 = 0,95$
Área urbana consolidada – Vila Buritis/Planaltina: $f = 0,96$		

O custo unitário (CU) das infraestruturas foi obtido de maneira distinta para as rodovias e para os conjuntos de edificações, construções e edificações de grande porte. Para as obras de pavimentação foi utilizado o relatório de custos médios gerenciais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) referente ao mês de novembro de 2012 (Anexo A). Esse relatório cita o valor de R\$ 1.742.056,97 por km de via para reconstrução (adotando o limite superior). Esse valor foi atualizado monetariamente até o último dia do mês de maio de 2013 (na data limite do término do inventário) com o IGP-DI (Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna) da Fundação Getúlio Vargas (FGV) resultando no valor R\$ 1.772.565,61 por km de rodovia (Anexo B). Assim, o custo unitário para as rodovias é cerca de R\$ 177,26/m². Já as demais infraestruturas mapeadas em polígonos (conjunto de edificações, construções e edificações de grande porte) foram atreladas ao valor do custo unitário básico da construção civil definido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal (Sinduscon-DF). Foi adotado o preço de R\$ 992,58/m² (residência padrão normal multifamiliar) referente ao mês de junho de 2013 (Anexo C).

Importante ressaltar que os valores em reais (R\$) foram atualizados para dólar (US\$) utilizando a média da taxa de câmbio de compra da moeda para o mês de maio de 2013, que foi de R\$ 2,03. A carta de vulnerabilidade e consequências pode ser consultada no Apêndice AB.

3.7 – CARTOGRAFIA DE RISCO

A Eq. 3.25 de risco ora adotada para este estudo está abaixo.

$$R = H \cdot [V_t \cdot C_m] \tag{3.25}$$

Em que, R (US\$/100 m²) é o valor do risco geotécnico de alagamentos e inundações que é dado pela multiplicação dos dois planos de informação citados anteriormente (perigo e vulnerabilidade e consequências). Importante lembrar que V_t é adimensional ou dado em porcentagem e C_m é um valor monetário (US\$) sendo analisado por *pixel*, tal que sua resolução espacial é 10 m, logo C_m é dado em US\$/100 m². Já o perigo (H), expresso no plano de informação interpolado, é dado por ocorrências anuais em 100 m². Essa estimativa do risco total anual pode ser consultada no Apêndice AC.

4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 – CARTAS BÁSICAS

As cartas básicas foram essenciais para a definição dos cenários de suscetibilidade e o entendimento do meio físico que cerca os problemas de risco a alagamento e inundação.

As classes da carta de geologia (Apêndice A) para toda a bacia hidrográfica são explicadas na Tab. 4.1 e o descritivo métrico das áreas das classes na Tab. 4.3. Por sua vez, as classes da carta de geologia (Apêndice B) para a bacia na porção do DF são explicadas na Tab. 4.2 e o seu respectivo quantitativo também na Tab. 4.3. Há um domínio na bacia da classe de formações superficiais detrítico-lateríticas de aluviões e coluviões (N1dl), que pode ser observada principalmente na porção norte da bacia, principalmente, nas áreas urbanizadas. Isso pode revelar uma dinâmica hidrológica contundente na região, dada pela presença destas coberturas de materiais transportados.

Tabela 4.1 – Unidades litológicas para a região de estudo, conforme Moreira et al. (2008).

Unidade litológica	Descrição
MPcp	Grupo Canastra, Formação Chapada dos Pilões, xisto verde e filito, margem passiva e do mesoproterozóico. Possui duas litofácies a MPcp1 e a MPcp2.
MPcp1	Litofácia 1 do MPcp possui xisto verde, com minerais formadores quartzo-sericita-clorita.
MPcp2	Litofácia 2 do MPcp possui xisto verde, com minerais formadores quartzo-sericita-clorita.
MPcp2qt	É a fácies de ortoquartzitos médios a grossos, pertencente a Litofácia 2 da unidade MPcp.
MPcpqt	É a fácies de ortoquartzitos médios a grossos com intercalações de quartzo-sericita-clorita xistos e lentes de quartzito, pertencente a Litofácia 2 da unidade MPcp.
MPP	Formação Paracatu possui quartzo-sericita-clorita xistos, por vezes, carbonosos, rico em pirita ou com veios de quartzo, com lentes centimétricas a métricas de ortoquartzito branco e maciço ou localmente calcítico de mármore.
MPPa3	É explorado como material de construção, sendo produto sedimentar clástico e de metamorfismo regional, formando um material feldspático, friável, bem selecionado que evolui para alternância de filitos carbonosos, argilitos amarelos ou vermelhos e metassiltitos, com intercalações de quartzitos finos a médios, localmente grossos. Denominado de Unidade 3 rítmica quartzítica intermediária do Grupo Paranoá.
MPPa3qt	É a base da unidade MPPa3, onde possui quartzito fino a muito fino.
MPPa4	São metargilitos, ardósias, metassiltitos vermelhos, brancos e amarelados, filitos carbonosos rítmicos, calcixistos e quartzitos feldspáticos finos a médios, com estruturas sedimentares onduladas. Apresenta ambientes de deposição onde houve significativas flutuações do nível do mar. Denominado de Unidade

Unidade litológica	Descrição
	4 rítmica pelito-carbonatada.
MPsl	Formação Serra do Landim possui calcita-clorita-sericita xistos bandados de verde-escuro, verde-claro e milonitizados, com o topo preenchido, frequentemente, de lentes métricas e centimétricas de quartzito fino branco.
N1dl	Formação superficial de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas são sedimentos aluviais e coluviais aglomerados de laterita, argila e areia desenvolvidos em zonas de interflúvios. Podem chegar a 30 m de espessura.
NP2ss	Denominada de Formação Serra da Saudade, associado ao Grupo Bambuí, são siltitos e argilitos verdes e vermelhos, folhelhos cinza e poucas lentes de calcário, calciarenito e calcirrudito.
NPrv	Formação Rio Verde, do Grupo Ibiá, é composta de filitos calcíferos ou calcixistos com laminações quartzosas e intercalações de quartzitos finos e filito localmente carbonoso.
NPto	Formação Topázios, do Grupo Bambuí, são conglomerados de cerca de 50 m de tilitos e 100 m de varvitos.
Q2a	Depósitos aluvionares de areia, cascalho, lentes silto-argilosas e turfa, altamente associados à rede de drenagem, formando acumulações de sedimentos nas planícies de inundação.
Qdi	São coberturas arenosas indiferenciadas residuais ou transportadas com espessura máxima de 3 m de areias, siltes, argilas e eventuais cascalhos cimentados por oxi-hidróxidos de ferro.

Tabela 4.2 – Unidades litológicas para a região de estudo, nos limites do DF, conforme Freitas-Silva & Campos (1998).

Litologia	Descrição
MNPccf	Grupo Canastra, clorita carbonato filito, de forma restrita e descontínua camadas centimétricas e métricas de quartzitos finos e micáceos.
MNPcf	Grupo Canastra, carbonato filito, de forma restrita e descontínua camadas centimétricas e métricas de quartzitos finos e micáceos.
NPb	Grupo Bambuí, sequência pelítica com folhelhos, siltitos argilosos, calcários e dolomitos avermelhados, rosados e amarelos.
MNPpa	Grupo Paranoá, ardósias homogêneas cinza esverdeadas e avermelhadas (intemperizada), de cerca de 70 m de espessura.
MNPpr3	Grupo Paranoá, metarritmito arenoso composto por intercalação de camadas decimétricas a métricas de quartzitos (finos a médios) e materiais pelíticos.
MNPpr4	Grupo Paranoá, metarritmito argiloso composto por materiais sílticos e argilosos e delgados estratos de quartzitos finos, em geral possui entre 100 e 150 m de espessura.
MNPps	Grupo Paranoá, metassiltito argiloso esverdeado homogêneo, de 500 m de espessura, pode conter camadas arenosas de metarritmitos e lentes calcárias ou dolomíticas.
MNPppc	Grupo Paranoá, psamo (quartzitos médios, grossos e até conglomeráticos) pelito (ardósias cinza e metassiltitos argilosos associados com lentes de mármore finos) carbonatado possuem cerca de 150 m, com predominância de material pelítico.

Litologia	Descrição
MNPpq3	Grupo Paranoá, quartzito médio branco, fino e muito silicificado, com máxima espessura de 70 m.

Tabela 4.3 – Quantitativo das áreas das unidades litológicas para a bacia e sua porção do DF.

Legenda	km ²	%	Legenda	km ²	%
Água	74,8028	1,3620	MNPccf	2,7044	0,1060
MPcp	12,9538	0,2359	MNPcf	610,4485	23,9285
MPcp1	493,7978	8,9907	MNPpa	552,9426	21,6743
MPcp2	61,2605	1,1154	MNPppc	76,2945	2,9906
MPcp2qt	47,8098	0,8705	MNPpq3	173,6545	6,8069
MPcpqt	3,8427	0,0700	MNPpr3	741,0107	29,0463
MPp	718,8065	13,0875	MNPpr4	324,3993	12,7159
MPpa3	407,4639	7,4188	MNPps	25,1641	0,9864
MPpa3qt	187,9556	3,4222	NPb	44,5201	1,7451
MPpa4	57,7112	1,0508	Σ	2.551,1388	100,00
MPsl	590,9627	10,7598			
N1dl	2.421,6807	44,0923			
NP2ss	92,6201	1,6864			
NPrv	4,7366	0,0862			
NPto	5,5748	0,1015			
Q2a	177,8539	3,2382			
Qdi	132,4625	2,4118			
Σ	5.492,2957	100,0000			

A Tab. 4.4 correlaciona características geotécnicas dos grupos pedológicos que podem afetar os processos de alagamento e inundação, para ambas as cartas de pedologia anteriormente citadas (Apêndices C e E). E o quantitativo para todas as cartas de descrição dos solos dos Apêndices C e E estão na Tab. 4.5. O mesmo quantitativo para as classes pedológicas detalhadas das cartas dos Apêndices D e F podem ser observadas na Tab. 4.6.

Tabela 4.4 – Descritivo geotécnico dos grupos pedológicos.

Grupo	Descrição
Argissolo (vermelho e vermelho-amarelo)	Aumenta o teor de argila com a profundidade, teores < 15% de Fe _n O _n (Reatto et al., 2004), horizonte B textural (solo maduro) com alta cerosidade, baixa a moderada permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula a moderada, moderada escavabilidade, horizonte C (residual jovem ou saprolítico) de fácil escavação, alta erodibilidade e baixa resistência (Salomão & Antunes, 1998). Esta é a antiga classe denominada de podzólicos.
Cambissolo	Pouco intemperizado, textura variada, mas em geral com alta presença de silte, horizonte B câmbico ou incipiente pouco espesso e de relevo acidentado (Reatto et al., 2004), pode ser fortemente até imperfeitamente drenado (Embrapa, 2009) sendo assim suas

Grupo	Descrição
	características de interesse geotécnico são muito variáveis, dependendo então da mineralogia e textura da rocha-matriz (Salomão & Antunes, 1998).
Espodossolo	Faz parte dos solos hidromórficos minerais, com horizonte B espódico (Reatto et al., 2004), de textura arenosa a média ou siltosa, nível freático próximo à superfície, com Fe e material orgânico, horizonte A e E arenosos e impróprios para instalação de fossas de infiltração (Salomão & Antunes, 1998). Antiga classe denominada Podzol.
Latossolo (vermelho e vermelho-amarelo)	Muito intemperizado, excesso de minerais secundários, horizonte B latossólico (solo maduro) espesso, possuem alta permeabilidade e boa drenagem, superfícies de relevo aplainadas (Reatto et al., 2004), fonte de material de aterro, horizonte B latossólico poroso e com nível freático abaixo deste horizonte (Salomão & Antunes, 1998).
Neossolo quartzarênico	Predomínio de material da rocha-matriz, estes são solos em formação (Embrapa, 2009), solos profundos, resultantes da alteração de rochas quartzíticas e areníticas, grãos de quartzo, arenosos, porosos, bem drenado (Reatto et al., 2004), nível freático profundo (abaixo do horizonte C), jazida de areia, alta permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula, boa capacidade de suporte de carga e facilmente escavável (Salomão & Antunes, 1998). Antiga classe denominada de areias quartzosas.
Nitossolo vermelho	Derivados de rochas calcárias, textura argilosa ou muito argilosa, poroso, bem drenado, horizonte B nítrico (Reatto et al., 2004), argila de baixa atividade ou com caráter alítico e solo intemperizado (Embrapa, 2009).
Plintossolo (Petroplintossolo e Latossolo petroplíntico)	Possui concentração diferenciada de Fe no solo (plintita), alta restrição de percolação, alagamento temporário, escoamento lento (Reatto et al., 2004), mal drenado, horizonte plíntico (> 15% de volume) (Embrapa, 2009).
Solo hidromórfico indiscriminado	Ocupam depressões da paisagem (terrenos baixos), sujeitos a inundações, são muito mal drenados, camada espessa, escura de matéria orgânica mal decomposta (acinzentada ou gleizada), ambiente de oxirredução, textura variada (Reatto et al., 2004), desenvolvido em zona satura, próximo ao lençol freático, baixa drenabilidade e inadequadas para fossas de infiltração (Salomão & Antunes, 1998).
Solo litólico	Solos rasos, poucos evoluídos, em contato direto com rocha, associado a afloramentos rochosos, bom indicador de área para exploração de pedreiras (Salomão & Antunes, 1998), relevo forte ondulado a montanhoso e a porção superficial de solo cascalhento a médio cascalhento (SGM-GO, 2005).

Tabela 4.5 – Quantitativo dos grupos pedológicos para a bacia e sua porção do DF.

Legenda	km²	%	Legenda	km²	%
Água	47,8611	0,8714	Argissolo vermelho	7,6553	0,3002
Cambissolo	2.126,1527	38,7115	Argissolo vermelho-amarelo	1,2027	0,0472
Solo hidromórfico	70,9461	1,2917	Cambissolo	770,1203	30,2026

Latossolo vermelho-escuro	2.103,1771	38,2932	Espodossolo	3,3247	0,1304
Latossolo petroplântico	14,6772	0,2672	Latossolo vermelho	918,8287	36,0347
Latossolo vermelho-amarelo	637,8528	11,6136	Latossolo vermelho-amarelo	446,9895	17,5301
Petroplintossolo	286,6397	5,2189	Neossolo quatzarênico	14,8703	0,5832
Solo litólico	204,9887	3,7323	Nitossolo vermelho	8,3470	0,3274
Σ	5.492,2955	100,00	Plintossolo	9,2465	0,3626
			Solo hidromórfico	108,8322	4,2682
			Água	47,6529	1,8689
			Área urbana	212,7766	8,3447
			Σ	2.549,8465	100,00

Tabela 4.6 – Quantitativo das classes pedológicas detalhadas para a bacia e sua porção do DF.

Legenda	km ²	%	Legenda	km ²	%
Água	47,8611	0,8714	CXd1	0,2522	0,0099
Ca15	96,2953	1,7533	CXd2	0,6296	0,0247
Ca21	385,4672	7,0183	CXd3	5,7065	0,2238
Ca22	37,2141	0,6776	CXd4	6,4006	0,2510
Ca23	34,9482	0,6363	CXd5	0,7980	0,0313
Ca24	30,0584	0,5473	CXd6	0,6647	0,0261
Ca25	261,5004	4,7612	CXd7	18,8337	0,7386
Ca8	82,5957	1,5038	CXd8	6,5246	0,2559
Cd3	1.197,6598	21,8062	CXd9	35,9218	1,4088
Cd8	0,4136	0,0075	CXd10	34,5010	1,3531
HGPa	70,9461	1,2917	CXd11	8,2101	0,3220
LEa10	475,0635	8,6496	CXd12	111,9498	4,3905
LEa11	215,9617	3,9321	CXd13	238,2440	9,3435
LEa8	315,4990	5,7444	CXd14	242,1341	9,4960
LEd1	808,6356	14,7231	CXd15	0,2250	0,0088
LEd2	288,0173	5,2440	CXd16	11,0739	0,4343
LPd	14,6772	0,2672	CXd17	24,8204	0,9734
LVa1	72,8587	1,3266	CXd18	13,8507	0,5432
LVd1	543,8794	9,9026	CXd19	9,3795	0,3678
LVd7	21,1146	0,3844	EKg	3,9895	0,1565
PPd	286,6397	5,2189	FX	8,5816	0,3366
Ra1	204,9887	3,7323	Hi1	24,2029	0,9492
Σ	5.492,2955	100,0000	Hi2	54,6126	2,1418
			Hi3	21,4243	0,8402
			Hi4	8,5925	0,3370
			LVAd1	5,2464	0,2058
			LVAd2	117,4516	4,6062
			LVAd3	10,2278	0,4011
			LVAd4	104,6574	4,1045
			LVAd5	24,0163	0,9419
			LVAd6	64,5105	2,5300

Tabela 4.6 – *Continuação.*

Legenda	km²	%
LVA _d 8	5,1918	0,2036
LVA _d 9	35,1783	1,3796
LVA _d 10	28,5783	1,1208
LVA _d 11	7,1857	0,2818
LVA _d 12	9,1428	0,3586
LVA _d 13	15,7234	0,6166
LVA _d 14	19,8791	0,7796
LV _d 1	19,0892	0,7486
LV _d 2	25,8135	1,0124
LV _d 3	756,6963	29,6762
LV _d 4	95,0982	3,7296
LV _d 6	22,1316	0,8680
NV _e 1	1,6901	0,0663
NV _e 2	4,5757	0,1795
NV _e 3	2,0812	0,0816
PVA _d 2	1,2027	0,0472
PVA _e 1	2,9166	0,1144
PVA _e 2	3,7800	0,1482
PVA _e 3	0,9587	0,0376
RQ _d 1	11,0287	0,4325
RQ _d 2	3,8416	0,1507
Área urbana	212,7766	8,3447
Água	47,6529	1,8689
Σ	2.549,8465	100,0000

Outras características podem influenciar na variação do coeficiente de permeabilidade dos solos, como, o estado do solo, o grau de saturação, sua estruturação, seu grau de anisotropia e a temperatura do material inconsolidado e isto implica no comportamento de infiltração do solo. De uma maneira geral, a bacia é dominada por latossolos e cambissolos. Os cambissolos acompanham todo o canal do rio São Bartolomeu, desde a nascente até sua foz. Estes cambissolos são solos rasos e de baixa infiltrabilidade. Assim, podem não acumular água suficiente para evitar escoamentos superficiais indesejáveis para a contribuição aos fenômenos perigosos em estudo. A profundidade dos solos indica a possibilidade deste material inconsolidado acumular água de infiltração, proporcionalmente à grandeza da sua profundidade.

Então, ilustrando a discussão anterior, as cartas de textura (Apêndice G) e profundidade dos solos (Apêndice H), com ênfase na porção da bacia do DF, apresentam um cambissolo com material predominantemente argiloso cascalhento concrecionário, no entanto raso, que afeta consideravelmente a drenagem destes solos. Em contraposição, os latossolos

que apesar de argilosos (com agregações) são mais profundos e assim podem comportar maior volume de água de infiltração. O quantitativo dos Apêndices G e H estão na Tab. 4.7.

Tabela 4.7 – Quantitativo das classes de profundidade e textura dos solos detalhadas para a bacia e sua porção do DF.

Legenda	km²	%	Legenda	km²	%
Muito raso	59,3496	2,3276	Arenoso	18,8598	0,7396
Raso	710,7707	27,8750	Média	155,5905	6,1020
Pouco profundo	138,6083	5,4359	Média cascalhenta	59,3496	2,3276
Profundo	446,9895	17,5301	Argiloso	1.338,4968	52,4932
Muito profundo	933,6990	36,6179	Argiloso cascalhento	14,1077	0,5533
Água	47,6529	1,8689	Argiloso cascalhento concrecionário	670,9608	26,3138
Área urbana	212,7766	8,3447	Argiloso muito cascalhento	32,0519	1,2570
Σ	2.549,8465	100,00	Água	47,6529	1,8689
			Área urbana	212,7766	8,3447
			Σ	2.549,8465	100,00

Quanto às classes da carta de geomorfologia da região de estudo (Apêndice I) são elencadas na Tab. 4.8 e são todas pertencentes à categoria denudacional. Para a geomorfologia da porção do DF (Apêndice J) suas classes são descritas na Tab. 4.9. O quantitativo porcentual e métrico das classes está na Tab. 4.10. Em geral ambas as classificações expõem a região, especificamente ao longo do rio São Bartolomeu, com o domínio de uma classe ilustrando o vale onde a erosão é predominante e isto se evidencia por uma considerável dissecação das drenagens neste vale. Assim, ao longo do rio São Bartolomeu há uma elevada densidade de drenagem, o que revela materiais geológicos de baixa infiltrabilidade e maior possibilidade de escoamento superficial. Contudo, a maior porcentagem das áreas é plana, em ambas as cartas de geomorfologia.

Tabela 4.8 – Descritivo dos compartimentos geomorfológicos (Latrubesse & Carvalho, 2006).

Grupo	Descrição
DM-BF (fr)	São formas dômicas de dissecação fraca geradas por blocos falhados, sendo este o Domo de Cristalina que possui drenagem radial.
SRAIIA (fr)	Superfície de Aplainamento II A, desenvolve-se em cotas entre 900 e 1.100 m, sobre ardósias, calcários, dolomitos, entre outras rochas, com fraca dissecação entorno de Brasília e com crostas lateríticas nestas regiões sobre rochas do Grupo Paranoá.
SRAIIA (m)	Superfície de Aplainamento II A, desenvolve-se em cotas entre 900 e 1.250 m, sobre ardósias, calcários, dolomitos, etc., com média dissecação entorno de Anápolis, com espesso manto de intemperismo (solo residual)

Grupo	Descrição
	sobre rochas metamórficas de coloração cinza-avermelhada.
ZER-SRAIIIA-MC-FCE/IIA (mfo)	Zona de Erosão Recuante com dissecação muito forte, relacionada à geração (devido à erosão) de uma zona de aplainamento SRAIIIA e predominantemente a SRAIIA; associada a Morros e Colinas e com Forte Controle Estrutural, fruto do recuo das vertentes, sendo remanescente de litologias resistentes.
ZER/IIA (fo)	Zona de Erosão Recuante com dissecação forte, relacionada à geração de uma zona de aplainamento predominantemente SRAIIA.
ZER/IIA (m)	Zona de Erosão Recuante com dissecação média, relacionada à geração de uma zona de aplainamento predominantemente SRAIIA.

Tabela 4.9 – Descritivo dos compartimentos geomorfológicos para a porção do DF (Campos, 2010).

Grupo	Descrição
Plano elevado	Baixa densidade de drenagem, relevo de plano a suave ondulado, predominância de latossolos declividade inferior a 10% e cotas hipsométricas superiores a 1.100 m, tal que a pedogênese supera a erosão e o transporte no balanço morfodinâmico.
Plano intermediário	Características semelhantes de densidade de drenagem, relevo, tipo de solo e características morfodinâmicas da compartimentação do plano elevado, contudo exibe declividades máximas de 12% e cotas altimétricas entre 950 m e 1.050 m.
Vale dissecado	Padrão de relevo ondulado a forte ondulado, bem dissecado (elevada densidade de drenagem), na sua maior parte comporta cambissolos, com declividades superiores a 20%, cotas menores a 800 m e com os processos erosivos superando a pedogênese.
Rebordo	Relevo ondulado, com moderada densidade drenagem, predominância de cambissolos, declividades entre 10 e 20%, hipsometria entre 950 e 1.100 m e com a classe morfodinâmica de erosão superando a pedogênese.
Rampa íngreme	Padrão de relevo ondulado a escarpado (íngreme), com alta densidade de drenagem, predominância de latossolos, declividades maiores que 25%, cotas altimétricas entre 800 e 1.100 m e com o padrão morfodinâmico de erosão e transporte superando a pedogênese.

Tabela 4.10 – Quantitativo das classes dos compartimentos geomorfológicos para a bacia e sua porção do DF.

Legenda	km²	%	Legenda	km²	%
Água	69,8469	1,2717	Plano elevado	647,8861	25,39
DM-BF(fr)	101,3343	1,8450	Plano intermediário	823,0673	32,25
SRAIIA(fr)	2.226,9998	40,5477	Rebordo	423,4491	16,59
SRAIIA(m)	1.167,2891	21,2532	Rampa íngreme	96,4480	3,78
ZER/IIA(fo)	1.655,8809	30,1492	Vale dissecado	561,0840	21,99
ZER/IIA(m)	263,8760	4,8045	Σ	2.551,9344	100,00
ZER-SRAIIIA-MC-FCE/IIA(mfo)	7,0686	0,1287			
Σ	5.492,2957	100,00			

As cotas hipsométricas na bacia estão entre 735 m e 1.308 m (Apêndice K e L) e as curvas hipsométricas para a área de estudo são ilustradas nas Fig. 4.1 e 4.2. A curva hipsométrica demonstra diferenças nas quebras de inflexão para valores maiores que 1.160 m, onde possivelmente são as nascentes da bacia, uma zona intermediária da bacia que possui outra quebra na cota 980 m e aqueles valores menores que 820 m podem ser regiões da foz da bacia hidrográfica.

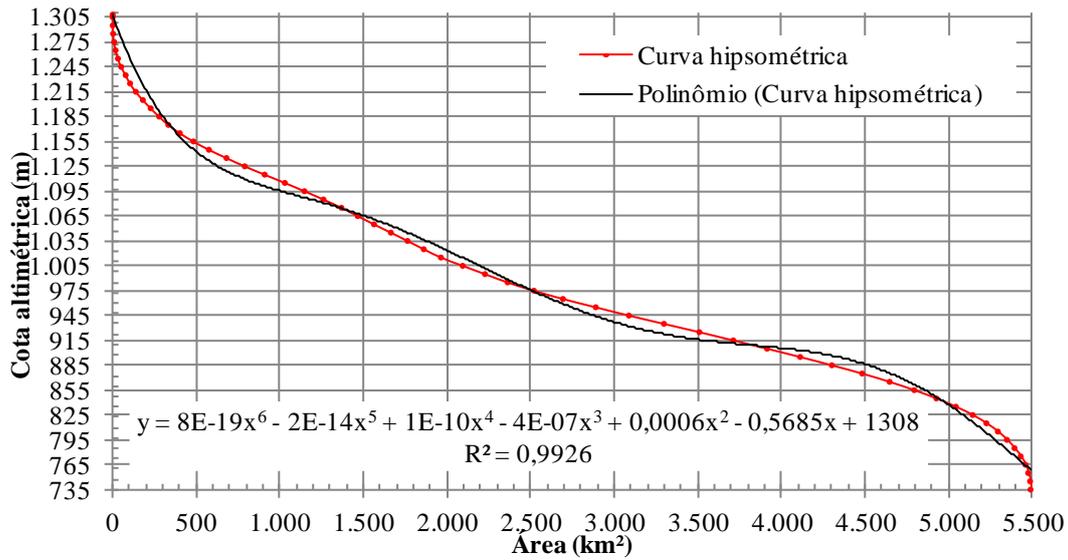


Figura 4.1 – Curva hipsométrica para bacia do Rio São Bartolomeu.

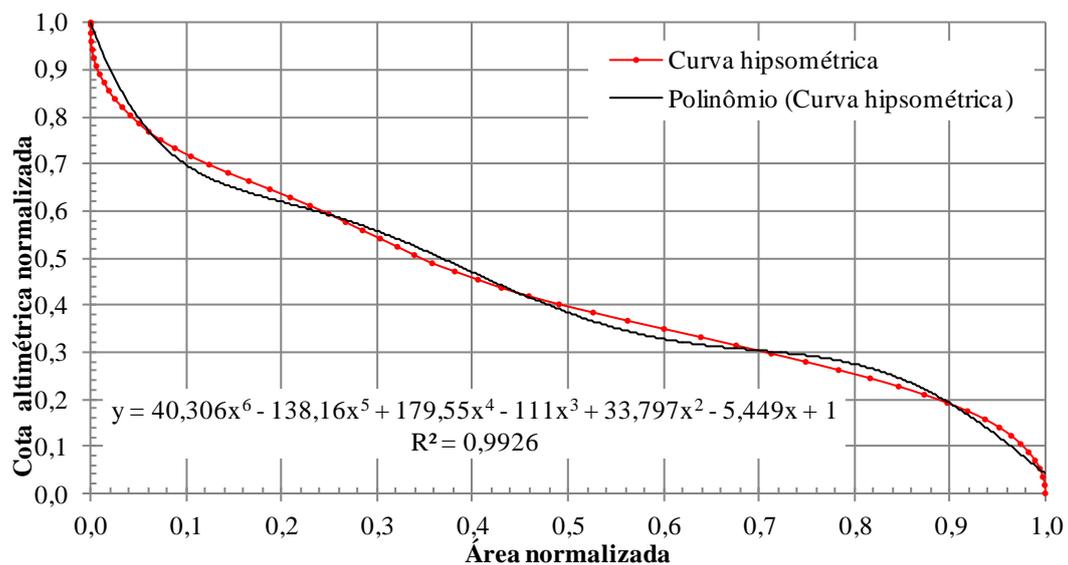


Figura 4.2 – Curva hipsométrica para bacia do Rio São Bartolomeu normalizada.

As feições geomorfológicas de aplainamento do relevo dominam, porcentualmente, a área de toda a bacia, exceto onde mais próximo se está da calha do rio São Bartolomeu. Fato

este evidente em mais de dois terços da declividade das vertentes (Apêndice M) com valores menores que 8% (ou aproximadamente 5°) (Tab. 4.11). Assim, a curvatura das vertentes (Apêndice N) de maior proporção são as quebras verticais (perfil) retilíneas, principalmente as horizontais divergentes (Tab. 4.11). Aquelas côncavo-convergentes também apresentaram grande proporção de área em relação às demais que não possuíam o perfil retilíneo. É possível visualizar, somente observando as formas do terreno (Apêndice N), uma divisão entre os compartimentos geomorfológicos planos e dissecados.

Tabela 4.11 – Quantitativo das classes de declividade e curvatura das vertentes para a bacia.

Declividade (%)	km²	%	Legenda	km²	%
0,0025 - 1	240,4593	4,3781	Côncava-convergente	581,3946	10,6
1 - 2	926,9379	16,8771	Retilínea-convergente	1.106,7228	20,2
2 - 4	1.145,4840	20,8562	Convexa-convergente	118,2357	2,2
4 - 6	963,0324	17,5343	Côncava-planar	171,3852	3,1
6 - 8	638,4276	11,6241	Retilínea-planar	1.237,7385	22,5
8 - 10	596,5767	10,8621	Convexa-planar	120,2625	2,2
10 - 12	200,4966	3,6505	Côncava-divergente	160,5384	2,9
12 - 15	322,7553	5,8765	Retilínea-divergente	1.530,8136	27,9
15 - 18	144,0495	2,6228	Convexa-divergente	465,2001	8,5
18 - 20	106,4466	1,9381	Σ	5.492,2914	100,0
20 - 25	102,7278	1,8704			
25 - 30	57,2922	1,0431			
30 - 35	25,6374	0,4668			
35 - 40	13,7709	0,2507			
40 - 45	5,3262	0,0970			
45 - 60	2,7945	0,0509			
60 - 90	0,0765	0,0014			
Σ	5.492,2914	100,00			

Os compartimentos hidrogeológicos profundos e rasos para as cartas de toda a bacia (Apêndices O e P) têm sua descrição respectiva nas Tab. 4.12 e 4.13. No quantitativo destas classes (Tab. 4.14) o aquífero profundo dominante é o sistema Canastra (SACf) que possui baixa condutividade hidráulica e está mapeado principalmente no vale do rio São Bartolomeu, justamente em área de materiais geológicos pouco permeáveis e com alta dissecação do relevo por drenagens. Por sua vez, o aquífero raso dominante (Tab. 4.14) é o F₂ que tem moderada condutividade hidráulica, contudo, em outra grande porção da área da bacia não há aquíferos rasos. Ou seja, não possuem manto de intemperismo espesso que favoreça a produção e acumulação de água.

Tabela 4.12 – Descritivo dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos profundos (Almeida et al., 2006).

Classe	Descrição
SABf	É o Sistema Aquífero Bambuí fraturado que apresenta uma vazão média de 6,5 m ³ /h e constituição de siltitos, siltitos argilosos e camadas arcóseas (mistura de quartzo e feldspato proveniente de granitos), estão localizadas em relevo que favorece a infiltração, são descontínuos lateralmente, anisotrópicos e com condutividade hidráulica de baixa a média.
SACcf	É o Sistema Aquífero Canastra fissuro-cárstico, no qual possui a presença de rochas carbonáticas (calcifilitos) e quartzitos, possuindo vazões anômalas (> 100 m ³ /h) e vazões médias de 30 m ³ /h.
SACf	É o Sistema Aquífero Canastra fraturado com predominância de filitos, além da presença de coberturas quaternárias, e possui baixa condutividade hidráulica, com média de vazões de 7,5 m ³ /h.
SAPa	É o Sistema Aquífero Paranoá, subsistema A (ardósia), apresenta elevada densidade de fraturas, com vazões médias de 4 m ³ /h, predominantemente a litologia é composta por ardósias, seguido por metassiltitos, calcários e coberturas quaternárias (latossolo, cascalho, areia e argila).
SAPppc	É o Sistema Aquífero Paranoá, subsistema PPC (psamo-pelito-carbonatado) formado por uma associação heterogênea de lentes de calcário, camadas e lentes de quartzitos e associação de rochas argilosas, devido a isso o desvio padrão entorno da vazão média de 9 m ³ /h é muito alto.
SAPr3q3	É o Sistema Aquífero Paranoá, subsistema R ₃ /Q ₃ (metarritmito e quartzito), com tipo rochoso predominantemente quartzítico, o mesmo apresenta altas vazões, com média de 12 m ³ /h.
SAPr4	É o Sistema Aquífero Paranoá, subsistema R4 (metarritmito argiloso), onde predomina rochas com 60% de fração argilosa e 40% de material quartzítico fino, influenciando na vazão média de 6 m ³ /h.

Tabela 4.13 – Descritivo dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos rasos (Almeida et al., 2006).

Classe	Descrição
Inexistente	Cambissolos e neossolos litólicos não possuem zona saturada perene rasa e nem fluxo na porosidade intergranular. Também, nesta classe estão incluídos os gleissolos, que são mal drenados e permanece a maior parte do tempo saturado.
Sistema poroso II (F ₂)	Reúne os diversos latossolos da área de estudo, são aquíferos intergranulares, livres e contínuos, com porosidade efetiva (n_e) não inferior a 8%, com k_v variando na superfície entre 10^{-7} e 10^{-4} m/s e em profundidade entre 10^{-9} e 10^{-4} m/s, alcançando valores médios de $3,3 \cdot 10^{-5}$ m/s, em superfície, e $4 \cdot 10^{-6}$ m/s em profundidade.
Sistema poroso III (F ₃)	É o conjunto de argissolos e nitossolos formando um aquífero intergranular livre, geralmente está sobre rochas básicas e ultrabásicas, apresentando n_e média de 6%, T da ordem de $2,5 \cdot 10^{-5}$ m ² /s, o k_v na superfície varia entre $1 \cdot 10^{-7}$ e $2 \cdot 10^{-4}$ m/s e em profundidade entre $4,1 \cdot 10^{-9}$ e $9,4 \cdot 10^{-5}$ m/s, com valores médios de $1,4 \cdot 10^{-5}$ m/s e $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s, em superfície e profundidade respectivamente.

Tabela 4.14 – Quantitativo das classes dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos profundos e rasos da bacia, respectivamente.

Legenda	km ²	%	Legenda	km ²	%
Água	40,1803	0,7316	Inexistente	2.456,4957	44,7262
SABf	55,0984	1,0032	Sistema poroso II (F ₂)	2.734,5111	49,7881
SACcf	4,9814	0,0907	Sistema poroso III (F ₃)	301,3170	5,4862
SACf	3.183,2900	57,9592	Σ	5.492,3238	100,00
SAPa	737,5117	13,4281			
SAPppc	18,2521	0,3323			
SAPr3q3	909,5657	16,5608			
SAPr4	543,4162	9,8942			
Σ	5.492,2957	100,00			

De maneira geral, os compartimentos hidrogeológicos sintetizam as características físicas da bacia, que segue um padrão já destacado nas cartas anteriores. Regiões planas, com baixa densidade de drenagem, predominância de latossolos espessos e com alta infiltrabilidade e compartimentos hidrogeológicos de baixa condutividade hidráulica estão presentes ao longo da calha do rio São Bartolomeu. Essas regiões também estão com maior proporção das áreas urbanizadas. A Tab. 4.15 e 4.16 revela esses detalhes que foram importantes na construção do plano de informação de grupos hidrológicos, do método SCS-CN, a partir da análise da tabulação cruzada entre os solos (Apêndice C) e a hidrogeologia profunda e rasa (Apêndice O e P), como meio indutivo prático para o entendimento da infiltração.

Tabela 4.15 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos profundos para a bacia.

	%	Hidrogeologia profundo (Almeida et al., 2005)							Σ	
		SAPr4	SAPr3q3	SAPa	SABf	SACf	SAPppc	SACcf		Água
Pedologia SGM-GO (2005)	Cambissolo (C)	2,93	5,25	4,05	0,11	26,24	0,00	0,00	0,12	38,71
	Solo hidromórfico (HGP)	0,31	0,46	0,31	0,00	0,19	0,03	0,00	0,00	1,29
	Latossolo vermelho-escuro (LE)	6,42	9,14	7,86	0,51	13,85	0,29	0,09	0,13	38,29
	Latossolo vermelho-amarelo (LV)	0,23	1,67	0,88	0,00	8,84	0,00	0,00	0,00	11,61
	Latossolo petroplíntico (LP)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,27
	Petroplintossolo (PP)	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22	0,00	0,00	0,00	5,22
	Solo litólico (R)	0,00	0,00	0,00	0,37	3,36	0,00	0,00	0,00	3,73
	Água	0,01	0,04	0,33	0,00	0,00	0,02	0,00	0,48	0,87
	Σ		9,89	16,56	13,43	1,00	57,96	0,33	0,09	0,73

Tabela 4.16 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos rasos para a bacia.

%		Hidrogeologia aquífero raso (Almeida et al., 2005)			Σ
		Inexistente	Sistema poroso II	Sistema poroso III	
Pedologia SGM-GO (2005)	Cambissolo (C)	38,75	0,06	0,00	38,81
	Solo hidromórfico (HGP)	1,26	0,04	0,00	1,29
	Latossolo vermelho-escuro (LE)	0,18	37,97	0,00	38,15
	Latossolo vermelho-amarelo (LV)	0,03	11,59	0,00	11,62
	Latossolo petroplíntico (LP)	0,00	0,00	0,27	0,27
	Petroplintossolo (PP)	0,00	0,00	5,23	5,23
	Solo litólico (R)	3,74	0,00	0,00	3,74
	Água	0,87	0,00	0,00	0,87
Σ		44,84	49,66	5,50	100

Percebe-se que a Tab. 3.9 destaca as principais classes de solos que estão sob os aquíferos (Tab. 4.15 e 4.16). Assim, solos rasos (cambissolos, litólicos e hidromórficos) têm alta relação com rochas de baixa vazão e condutividade hidráulica, por isso foram classificados no grupo hidrológico D. E também, em sua maior parte não possuem aquíferos rasos. Por sua vez, os latossolos possuem uma condição variável, no entanto, os mesmos permitem maior infiltração de água, sendo no mínimo como os latossolos petroplínticos que foram classificados como C.

O mesmo pode ser observado ao utilizar as cartas da bacia somente na porção do DF, em escala cartográfica de maior detalhe. As cartas para o domínio fraturado (Apêndice Q) e o domínio poroso (Apêndice R) têm suas classes descritas nas Tab. 4.17 e 4.18, respectivamente. O quantitativo das classes de ambas as cartas podem ser observadas na Tab. 4.19.

Tabela 4.17 – Descrição das classes dos aquíferos do domínio fraturado.

Subsistema	Descrição
F/Q/M	Representa uma área reduzida do Grupo Canastra caracterizada por lentes de mármore, calcifilitos e quartzitos, com desenvolvimento de carstificação, assim possui elevada importância local para recarga da água subterrânea, com média de vazões de 33.000 L/h (Freitas-Silva & Campos, 1998). Pertence ao domínio fissuro-cárstico (Campos, 2010).
F	Compõe a maior parte da área do Grupo Canastra no DF, formada predominantemente por filitos e arcóseos, ainda favorece a infiltração, pois possui alto grau de foliação (> 60°); apesar de estarem localizados em regiões de relevo movimentado, com altas declividades, solos pouco profundos e de baixa permeabilidade, com vazão média de 7,5 m³/h, recoberta principalmente pelo sistema P ₃ (Freitas-Silva & Campos, 1998).
Bambuí	Constitui-se de metassiltitos e metassiltitos argilosos (predominância de

Subsistema	Descrição
	material pelítico), marcado em regiões de chapadas rebaixadas e suavemente onduladas, com vazão média de 5,21 m ³ /h, onde intersecta com o sistema P ₂ e P ₄ (Freitas-Silva & Campos, 1998).
A	Subsistema hidrogeológico fraturado do Grupo Paranoá com afloramentos de ardósia (caráter pelítico), com alta densidade de fraturas, podendo ser incrementada sua vazão com a presença de lentes de quartzitos (dimensões restritas e raras) e de veios de quartzo de segregação metamórfica (mais comuns), com vazão média de 4,3 m ³ /h (Freitas-Silva & Campos, 1998).
R ₃ /Q ₃	Exibem as unidades litoestratigráficas R ₃ e Q ₃ , tal qual um subsistema do Grupo Paranoá, com predominância de material psamítico (quartzitos e metarritmitos arenosos), com elevada descontinuidade e fraturamento, com vazões médias de 12,2 m ³ /h (Freitas-Silva & Campos, 1998).
R ₄	É o subsistema de metarritmitos argilosos do Grupo Paranoá, com material argiloso e quartzítico fino, de baixa permeabilidade e vazão média de 6,14 m ³ /h (Freitas-Silva & Campos, 1998).
S/A	Também subsistema do Grupo Paranoá, compreende litologias pertencentes aos metassiltito, sobreposto por ardósias, com média de vazões de 12,7 m ³ /h (Freitas-Silva & Campos, 1998).
PPC	Associado a unidade psamo pelito carbonatada do Grupo Paranoá, este subsistema é bastante heterogêneo, devido à presença de lentes de calcário e de quartzito em meio ao material argiloso, abaixo do sistema poroso P ₃ , com vazões médias de 9,1 m ³ /h, com grande desvio padrão (Freitas-Silva & Campos, 1998). Pertence ao domínio fissuro-cárstico (Campos, 2010).

Tabela 4.18 – Descrição das classes do sistema de aquíferos do domínio poroso.

Sistema	Descrição
P ₁	São as mais importantes áreas de recarga regionais dos aquíferos fraturados, localizados em regiões de relevo plano, dominada por latossolos vermelho-amarelo e areias quartzosas, sendo fruto do intemperismo de quartzitos (Q ₃) e metarritmitos (R ₃), com material de alta colapsividade (Freitas-Silva & Campos, 1998). Possui espessura maior que 20 m e alta permeabilidade, com k_v maior que 10 ⁻⁶ (Campos, 2010).
P ₂	São localizadas em regiões de relevo suavemente ondulado em chapadas intermediárias, importantes para recarga de água local, com a presença de latossolos vermelhos arenosos a siltosos de moderada porosidade e permeabilidade, além de espessura do material inconsolidado maior que o P ₁ (Freitas-Silva & Campos, 1998). Possui espessura maior que 20 m e média permeabilidade, com k_v aproximadamente igual a 10 ⁻⁶ (Campos, 2010).
P ₃	É aproveitado apenas para o abastecimento de pequenas propriedades rurais, localizado em chapadas rebaixadas, rebordos e escarpas, na presença de latossolo argiloso e cambissolos, com espessura média inferior a 15 m, que quando ricos em fragmentos de rocha há um incremento na permeabilidade (Freitas-Silva & Campos, 1998). A espessura é reduzida a menos de 10 m e a permeabilidade é reduzida em relação aos outros compartimentos, com k_v menor que 10 ⁻⁶ (Campos, 2010).

Sistema	Descrição
P ₄	Importância baixa para recarga de compartimentos hidrogeológicos, possui cambissolos litólicos rasos, com fragmentos pelíticos, de baixa permeabilidade, transmissividade e infiltrabilidade, localizados em relevos movimentados (Freitas-Silva & Campos, 1998). Ou seja, é um compartimento de pequena espessura e baixa infiltrabilidade.

Tabela 4.19 – Quantitativo das classes dos compartimentos hidrogeológicos para aquíferos do domínio fraturado e poroso para a bacia na sua porção do DF.

Legenda	km ²	%	Legenda	km ²	%
A	540,9024	21,1955	P1	1.563,9756	61,2854
Bambuí	47,4552	1,8596	P2	21,9736	0,8610
F	613,2457	24,0304	P3	128,2910	5,0272
F/Q/M	8,2433	0,3230	P4	788,9599	30,9159
PPC	72,3688	2,8358	Água	48,7554	1,9105
R3/Q3	906,2776	35,5130	Σ	2.551,9555	100,00
R4	334,1575	13,0941			
S/A	29,3120	1,1486			
Σ	2.551,9625	100,00			

As Tab. 4.20 e 4.21 revelam detalhes que foram importantes na construção do plano de informação de grupos hidrológicos, do método *SCS-CN*, a partir da análise da tabulação cruzada entre os solos (Apêndice E) e a hidrogeologia fraturada e porosa (Apêndice Q e R), como meio indutivo prático para o entendimento da infiltração.

As Tab. 3.7 e 3.8 indicam as classes de grupos hidrológicos dos solos sugeridas por alguns autores e sua classificação final, mas apenas depois da tabulação cruzada da carta de solos com aquelas de hidrogeologia observou-se a aptidão e clara relação entre alguns materiais inconsolidados em permitir o fluxo ou acumular águas. É nítida a relação de solos com baixa infiltrabilidade e compartimentos hidrogeológicos de baixa vazão e permeabilidade, como os cambissolos, que intersectam mais da metade das suas áreas com o domínio fraturado F. O mesmo ocorre quando se trata do domínio poroso e estes cambissolos tem 89,3% da sua área sob o domínio P₄, que é aquele de menor transmissividade, infiltrabilidade e permeabilidade. As mesmas associações aqui feitas para os cambissolos foram suficientes para uma reclassificação adequada dos grupos hidrológicos de todas as classes das cartas de solos, para serem utilizadas no método *SCS-CN* e este atributo de escoamento superficial exercer sua importância nas análises de suscetibilidade.

Tabela 4.20 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos fraturados para a bacia na porção do DF.

%		Hidrogeologia fraturado (Freitas-Silva & Campos, 1998)							Σ	
		R3/Q3	R4	PPC	A	F	S/A	F/Q/M		Bambuú
Pedologia (Reatto et al., 1999)	Latossolo vermelho (LV)	18,10	6,44	1,76	5,86	3,15	0,13	0,15	0,46	36,05
	Latossolo vermelho-amarelo (LVA)	8,95	1,89	0,39	2,96	3,20	0,01	0,04	0,11	17,55
	Neossolo quartzarênico (RQ)	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
	Solo hidromórfico indiscriminado (Hi)	1,42	0,80	0,30	1,19	0,31	0,00	0,04	0,22	4,27
	Cambissolo (CX)	5,83	3,36	0,04	2,90	17,06	0,05	0,03	0,93	30,21
	Plintossolo (FX)	0,32	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36
	Água	0,15	0,00	0,06	1,55	0,01	0,11	0,00	0,00	1,87
	Área urbana (1978)	0,20	0,22	0,29	6,79	0,00	0,85	0,00	0,00	8,36
	Espodossolo (EKg)	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
	Nitossolo vermelho (NV)	0,00	0,04	0,00	0,00	0,16	0,00	0,03	0,09	0,32
	Argissolo vermelho-amarelo (PVAd)	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05
	Argissolo vermelho (PVAe)	0,02	0,11	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,02	0,30
Σ		35,50	13,06	2,84	21,25	24,07	1,15	0,30	1,83	100,00

Tabela 4.21 – Tabulação cruzada entre a carta de solos e de aquíferos porosos para a bacia na porção do DF.

%		Hidrogeologia poroso (Campos, 2010)				Σ
		P1	P2	P3	P4	
Pedologia (Reatto et al., 1999)	Latossolo vermelho (LV)	34,58	0,05	0,87	1,27	36,78
	Latossolo vermelho-amarelo (LVA)	15,48	0,05	0,87	1,40	17,81
	Neossolo quartzarênico (RQ)	0,52	0,00	0,00	0,03	0,55
	Solo hidromórfico indiscriminado (Hi)	1,33	0,01	2,68	0,33	4,35
	Cambissolo (CX)	2,75	0,11	0,44	27,48	30,78
	Plintossolo (FX)	0,18	0,00	0,17	0,01	0,37
	Água	0,05	0,00	0,01	0,06	0,11
	Área urbana (1978)	7,52	0,00	0,09	0,87	8,47
	Espodossolo (EKg)	0,04	0,07	0,00	0,02	0,13
	Nitossolo vermelho (NV)	0,02	0,26	0,00	0,05	0,32
	Argissolo vermelho-amarelo (PVAd)	0,00	0,04	0,00	0,01	0,05
	Argissolo vermelho (PVAe)	0,01	0,24	0,00	0,03	0,28
Σ		62,48	0,83	5,13	31,56	100,00

A carta de distância de drenagem (Apêndice S) demonstra os limites euclidianos legais do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). Mais de um quarto desta carta apresenta regiões com distâncias maiores que 200 m para uma drenagem (Tab. 4.22). Ao considerar toda essa região como um espaço territorial amostral possível para que pontos de ocorrências de alagamentos e inundações fossem levantados, haveria maior possibilidade de presença desses pontos em regiões de pouca influência dos rios, córregos e riachos. Assim, o

fenômeno perigoso inventariado pode tender a relacionar-se em sua maior parte com regiões alagadas e não necessariamente dada pelo fenômeno de inundação.

Tabela 4.22 – Quantitativo das classes de distância de drenagem da bacia.

Distância de drenagem (m)	km²	%
0 – 15	93,0501	1,6942
15 – 30	180,3087	3,2829
30 – 50	72,8847	1,3270
50 – 100	350,7363	6,3860
100 – 200	614,2491	11,1838
200 – 500	1.678,1742	30,5551
500 – 2.433	2.502,8883	45,5709
Σ	5.492,2914	100,00

As cartas de uso e cobertura do solo (Apêndices V, W e X), com detalhes na Tab. 4.23, possuem 9,16 % da área não agrícola (ou com influência antrópica urbana), 55,41 % de áreas naturais conservadas do bioma cerrado, outros 33,88 % de área agrícola e 1,17 % de águas superficiais. Grandes porções das áreas próximas a calha do rio São Bartolomeu e na região sul da bacia, principalmente fora dos limites do DF, são compostas de pasto e cultivos. Ao confeccionar as cartas de uso e cobertura houve a preocupação que toda sua classificação fosse hierarquizada para trabalhar com os 4º e 5º níveis de mapeamento adequados para as análises de suscetibilidade e com o 6º nível para as análises de vulnerabilidade e consequências. Por isso, foram criados códigos, pois caso outros autores desejarem a informação haverá uma facilidade na utilização das cartas em formato digital. As análises de exatidão das classificações digitais foram satisfatórias segundo o critério de 85 % para aceitar a classificação como satisfatória (Tab. 4.24).

Tabela 4.23 – Quantitativo das classes de uso e cobertura dos solos da bacia.

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	km²	%
111	Agrícola ou periurbana	Cultura temporária ou perene	Pomar	1,85995	0,03386
1112	Agrícola ou periurbana	Cultura temporária ou perene	Cultura temporária ou perene indefinida	875,13853	15,93394
1312	Agrícola ou periurbana	Reflorestamento	-	26,83225	0,48854
1412	Agrícola ou periurbana	Pasto	-	952,52868	17,34301
151	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Conjunto de edificações	0,81113	0,01477
152	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Construção	0,02025	0,00037

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	km²	%
153	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Edificação de grande porte	2,18458	0,03978
154	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Ruína	0,01993	0,00036
155	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Arquibancada	0,00255	0,00005
156	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Campo de futebol	0,45795	0,00834
157	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Estufa	0,40083	0,00730
158	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Piscina	0,00643	0,00012
159	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Tanque	0,53825	0,00980
1510	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Reservatório	0,00883	0,00016
211	Não agrícola	Área urbana consolidada	Conjunto de edificações	98,50463	1,79351
212	Não agrícola	Área urbana consolidada	Construção	0,35913	0,00654
213	Não agrícola	Área urbana consolidada	Edificação de grande porte	11,82370	0,21528
214	Não agrícola	Área urbana consolidada	Ruína	0,02665	0,00049
215	Não agrícola	Área urbana consolidada	Arquibancada	0,09043	0,00165
216	Não agrícola	Área urbana consolidada	Campo de futebol	1,57080	0,02860
217	Não agrícola	Área urbana consolidada	Estufa	0,02113	0,00038
218	Não agrícola	Área urbana consolidada	Piscina	0,05980	0,00109
219	Não agrícola	Área urbana consolidada	Tanque	0,03955	0,00072
2110	Não agrícola	Área urbana consolidada	Reservatório	0,00958	0,00017
2111	Não agrícola	Área urbana consolidada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso	90,22095	1,64268
221	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Conjunto de edificações	74,57153	1,35775
222	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Construção	0,00340	0,00006
223	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Edificação de grande porte	0,54108	0,00985
225	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Arquibancada	0,00368	0,00007
226	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Campo de futebol	0,26445	0,00481
227	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Estufa	0,00163	0,00003
228	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Piscina	0,00038	0,00001
229	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Tanque	0,01133	0,00021
2210	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Reservatório	0,00770	0,00014
2211	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Área e lote aberto, gramado ou ocioso	10,30925	0,18770
231	Não agrícola	Área urbana parcelada	Conjunto de edificações	46,71093	0,85048
232	Não agrícola	Área urbana parcelada	Construção	0,00080	0,00001
233	Não agrícola	Área urbana parcelada	Edificação de grande porte	0,04503	0,00082
234	Não agrícola	Área urbana parcelada	Ruína	0,00025	0,00000
236	Não agrícola	Área urbana parcelada	Campo de futebol	0,01338	0,00024
2311	Não agrícola	Área urbana parcelada	Área e lote	2,35678	0,04291

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	km²	%
			aberto, gramado ou ocioso		
241	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Conjunto de edificações	1,04865	0,01909
242	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Construção	0,00890	0,00016
243	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Edificação de grande porte	2,23263	0,04065
244	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Ruína	0,00565	0,00010
246	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Campo de futebol	0,05675	0,00103
248	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Piscina	0,00083	0,00002
249	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Tanque	0,00240	0,00004
2410	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Reservatório	0,00550	0,00010
2411	Não agrícola	Área urbana industrial consolidada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso	6,69558	0,12191
2511	Não agrícola	Área urbana industrial parcelada	Área e lote aberto, gramado ou ocioso	0,76778	0,01398
261	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Pavimentada	86,22280	1,56989
262	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Não pavimentada	46,96758	0,85515
271	Não agrícola	Solo exposto	Área minerada	0,00215	0,00004
272	Não agrícola	Solo exposto	Depósito/Aterro de resíduos	0,70863	0,01290
274	Não agrícola	Solo exposto	Área limpa	16,52753	0,30092
275	Não agrícola	Solo exposto	Bacia de contenção	0,02918	0,00053
281	Não agrícola	Base aérea	Aeroporto	1,99668	0,03635
282	Não agrícola	Base aérea	Pista de pouso	0,05003	0,00091
283	Não agrícola	Base aérea	Heliporto	0,00673	0,00012
2912	Não agrícola	Cemitério	-	1,36905	0,02493
2101	Não agrícola	Estação de tratamento	Conjunto de edificações	0,00980	0,00018
2102	Não agrícola	Estação de tratamento	Construção	0,00375	0,00007
2103	Não agrícola	Estação de tratamento	Edificação de grande porte	0,01808	0,00033
2106	Não agrícola	Estação de tratamento	Campo de futebol	0,00805	0,00015
2109	Não agrícola	Estação de tratamento	Tanque	0,21493	0,00391
21010	Não agrícola	Estação de tratamento	Reservatório	0,05528	0,00101
21011	Não agrícola	Estação de tratamento	Área e lote aberto, gramado ou ocioso	0,31860	0,00580
311	Área natural	Formação florestal	Árvore	4,86258	0,08853
312	Área natural	Formação florestal	Mata	612,27088	11,14782
321	Área natural	Formação savânica	Campo cerrado ou savana parque	1.725,59863	31,41856
322	Área natural	Formação savânica	Cerrado ou savana arborizada	700,30720	12,75073
411	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Alagado	0,13115	0,00239
412	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Lago	45,78548	0,83363
413	Água, lago, lagoa e rio	Lêntico	Lagoa	9,52538	0,17343

Código	Classe 4º	Classe 5º	Classe 6º	km²	%
421	Água, lago, lagoa e rio	Lótico	Rio	8,70650	0,15852
-	Nuvem	-	-	21,39220	0,38949
Σ				5.492,29140	100,00

Tabela 4.24 – Exatidão para cada polígono recortado e suas classes obtidas na classificação digital da imagem *ALOS*.

Área Classificada Fotointerpretada	Desempenho geral	Índice Kappa	Classes obtidas no mapa final
Agrícola ou periurbana e área natural (6º nível)	91,68 %	89,97 %	Nuvem, Solo exposto, Formação florestal, Formação savânica, Pasto e Cultura temporária e perene (5º nível).

Mesmo as cartas básicas sendo informações fundamentais para o entendimento e caracterização geoambiental da região de estudo, perante a análise dos seus atributos do meio físico, essas foram operadas para as análises de suscetibilidade. Uma dessas informações básicas, que utilizou as cartas de uso e cobertura dos solos, dos compartimentos hidrogeológicos e dos solos, foi a elaboração do plano de informação de escoamento superficial.

A Fig. 4.3 ilustra os planos de informação de uso e cobertura dos solos (Fig. 4.3a) (em 4º nível, mas sabe-se que para a metodologia, de fato, foi utilizado o 6º nível), os grupos hidrológicos do solo (Fig. 4.3b) e o número-curva (*CN*) (Fig. 4.3c), no qual o *CN* é o resultado da reclassificação dos dois primeiros. Com o *CN* pode-se calcular *S* (Fig. 4.4a) e depois *Q* (Fig. 4.4b). O plano de informação de escoamento superficial (*Q*) não exprime o processo de fato, percebe-se que este plano de informação fornece uma boa medida do potencial de infiltração de uma região.

Portanto, sua reposta como atributo do meio físico corresponde à infiltrabilidade e isto é um pressuposto para indicar regiões mais ou menos suscetíveis aos processos de alagamento e inundação. A modelagem distribuída espacialmente do escoamento superficial pode ser feita utilizando modelos dinâmicos e para isto indica-se o trabalho de Singh & Woolhiser (2002), que fazem uma revisão de modelos matemáticos hidrológicos para avaliar processos em bacias hidrográficas.

Outros atributos do meio físico obtidos e que foram utilizados diretamente nas análises de suscetibilidade são o *TWI*, *FDD* e o *HAND* (Fig. 4.5). Observa-se que não há semelhança visual entre o *TWI* e o *HAND*, ilustrado nas Fig. 4.5a e 4.5c, assim como Nobre et al. (2011) não havia identificado correlação entre os valores numéricos de ambos os modelos de terreno.

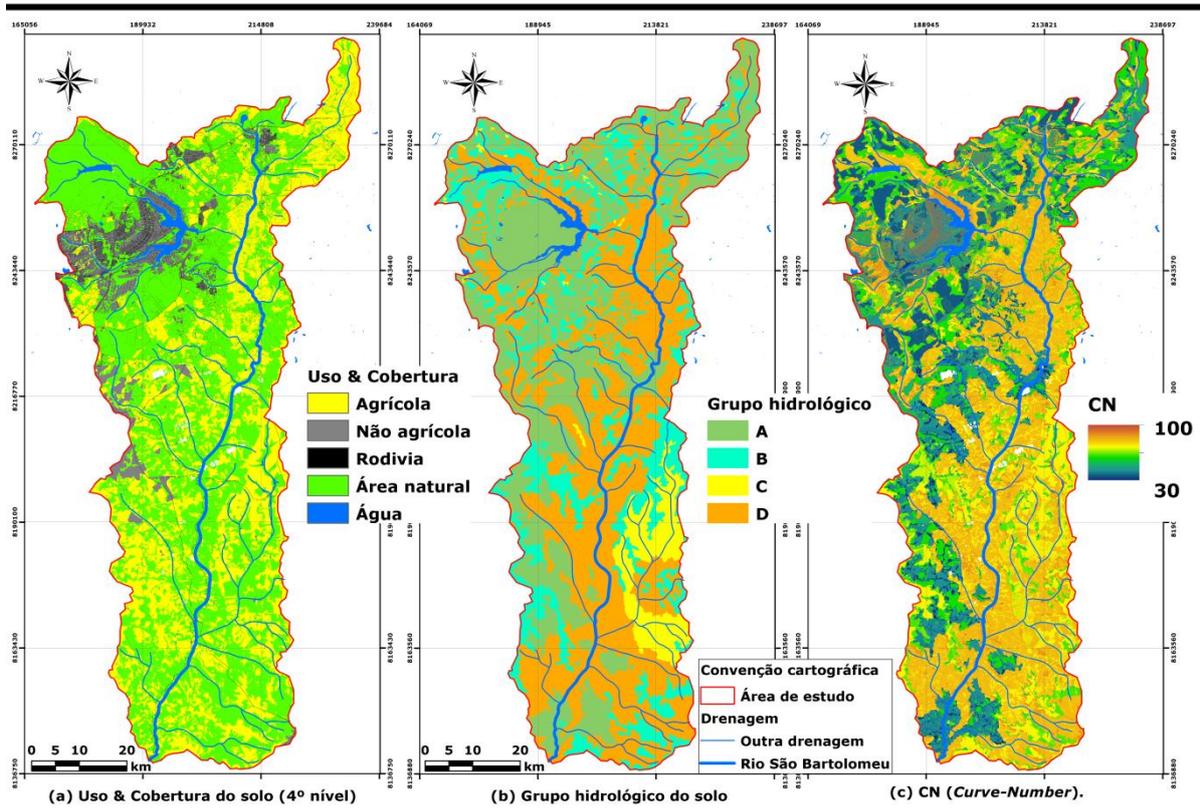


Figura 4.3 – Planos de informação de: a) uso e cobertura do solo (4º nível); b) grupos hidrológicos dos solos; e c) CN (curve-number).

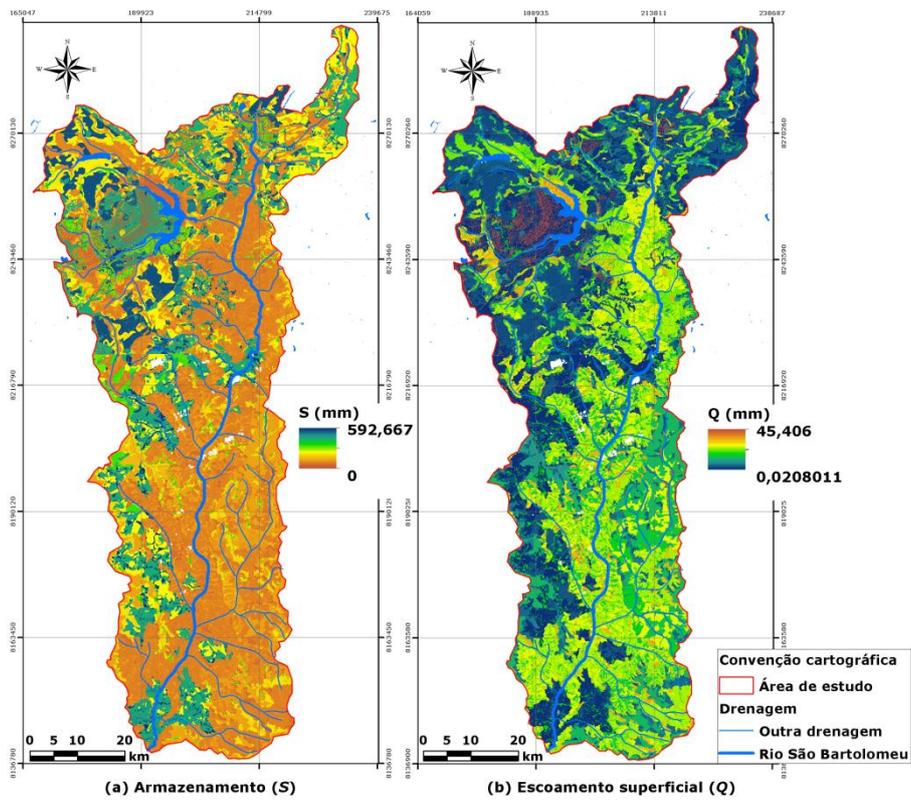


Figura 4.4 – Planos de informação de: a) armazenamento; e b) escoamento superficial.

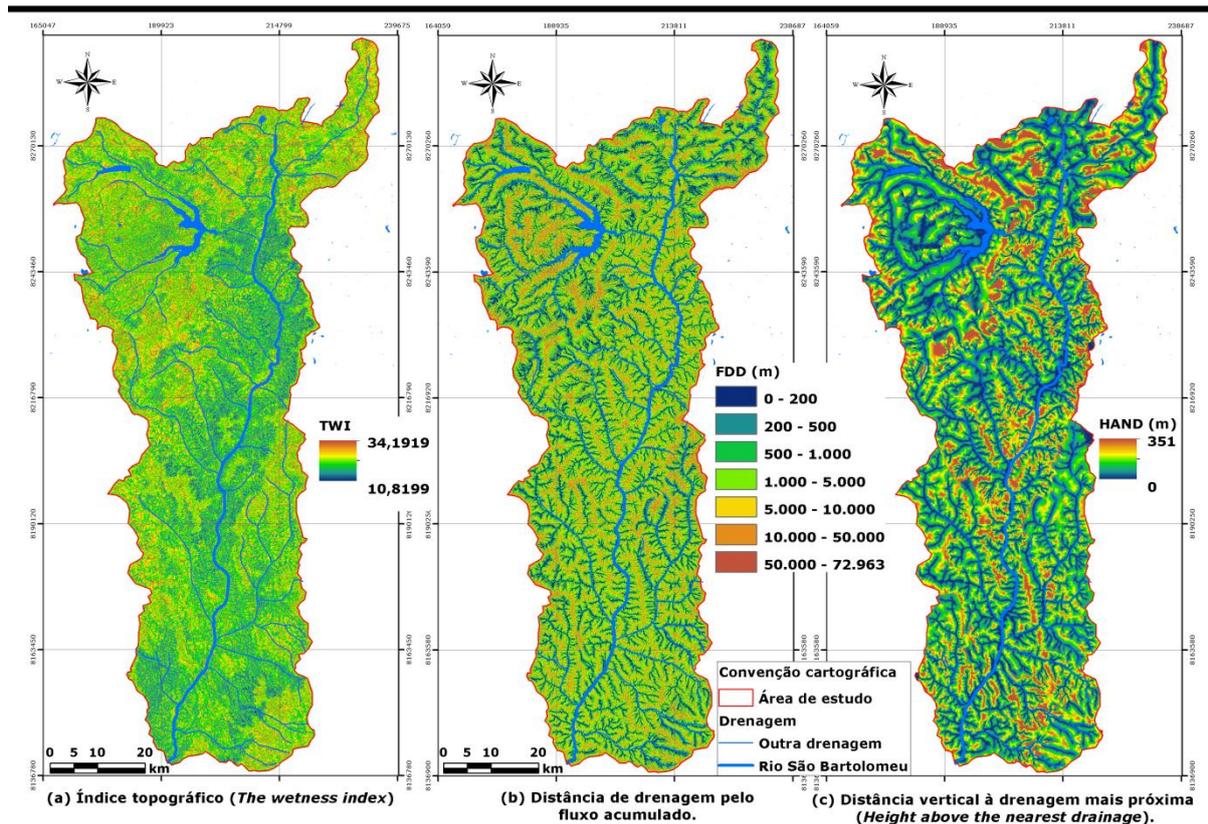


Figura 4.5 – Planos de informação: a) *TWI*; b) *FDD*; e c) *HAND*.

4.1.1 – BACIAS HIDROGRÁFICAS

A Fig. 4.6 e a Fig. 4.8 exprime os índices (Eq. 3.3, 3.5 e 3.6) fruto das relações de medições planimétricas das áreas de contribuição, para primeira ordem e segunda ordem de canais de drenagem, respectivamente. Conforme o esquema de Strahler, o rio São Bartolomeu é de sexta ordem. Ao aplicar para cada área de contribuição, o cálculo dos índices morfométricos, da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu é possível analisar qualitativamente sua resposta frente aos processos hidrológicos. De acordo com Zăvoianu (1985), sabe-se que as inundações são formadas e viajam mais rapidamente em uma bacia arredondada que em uma alongada. Além disso, inundações em bacias arredondadas são mais fortes e têm maior velocidade e, portanto, maior capacidade e competência na erosão e transporte de sedimentos.

Quando o fator de forma de uma bacia é igual a 1 seu formato é quadrado, o valor decresce quanto mais alongada é a bacia e entre 1 e 1,273 ($4/\pi$) tende a ser um círculo (Zăvoianu, 1985). É possível observar que distante da calha do rio São Bartolomeu as bacias possuem valores menores de fator de forma (Fig. 4.6c), ou seja, possuem uma grande

distância entre suas extremidades (L_w) em relação à área de contribuição da bacia (A_b). Consequentemente, as áreas de contribuição ao longo do leito do rio São Bartolomeu possuem um formato mais ovalado e suas drenagens são mais propensas às cheias. As bacias estreitas e longas, dado o seu formato, salvam-se de chuvas intensas que se alastram em todo seu perímetro, concomitantemente.

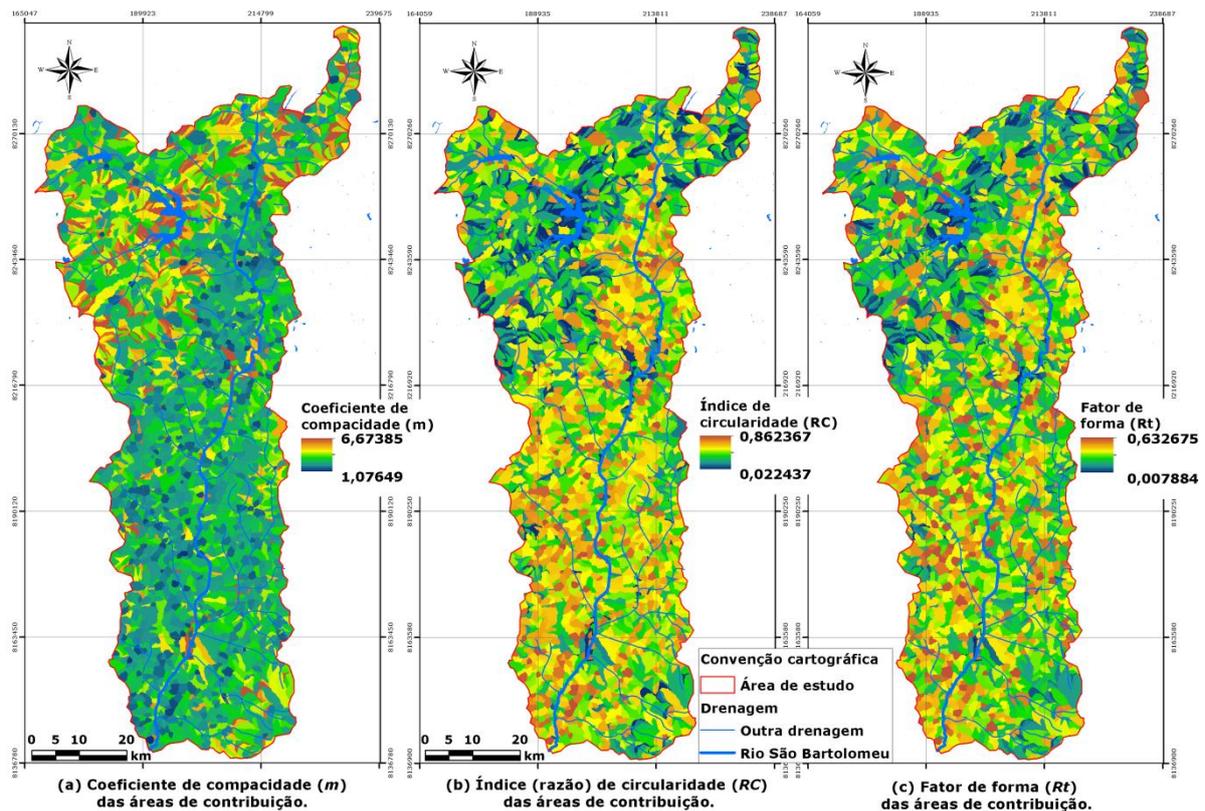


Figura 4.6 – Análise de aspectos morfológicos das áreas de contribuição de 1ª ordem: (a) coeficiente de compacidade; (b) índice de circularidade; e (c) fator de forma.

O coeficiente de compacidade, apresentado na Fig. 4.6a, tem seu menor valor igual a 1 quando a bacia representa um círculo perfeito, aumentando até 1,128 quando quadrada e maior que 3 para uma área de contribuição alongada (Zăvoianu, 1985). As bacias com valores próximos a 1 estão localizadas justamente no vale do rio São Bartolomeu, mantendo uma relação inversamente proporcional ao fator de forma, uma vez que representa áreas de contribuição com maior circularidade, onde o escoamento superficial flui de modo acentuado para um único pequeno canal. Quando a bacia é alongada o escoamento superficial distribui-se homogeneamente através da drenagem, resultando na baixa presença de cheias na sua hidrografia.

Já o índice de circularidade (Fig. 4.6b) tem seu maior valor em 1 que representa um círculo perfeito, decrescendo até 0,785 quando a bacia é quadrada e menor que este valor quando apresenta um perfil alongado (Miller, 1953). O leito de drenagem do rio São Bartolomeu possui áreas de contribuição mais circulares, proporcionalmente ao demonstrado pelo fator de forma (Fig. 4.6c).

A relação entre o índice de circularidade (RC) e o coeficiente de compacidade (m) é bem comportado e inversamente proporcional (Fig. 4.7a). Ao passo que a relação entre o fator de forma (R_f) e o RC é proporcional (Fig 4.7b) e entre o R_f e o m é inversamente proporcional (Fig 4.7b), contudo, para ambos, há um comportamento desorganizado. Isso ocorre devido à irregularidade do máximo comprimento da área de contribuição (L_w) que independe do tamanho da área de contribuição da bacia (A_b). Desse modo, o índice de circularidade (RC) pode ser considerado como um atributo de análise areal das áreas de contribuição, normalizado, empírico, adimensional e de fácil obtenção, para indicar picos de vazão e escoamento superficial propensa a inundações, frente aos outros índices estudados.

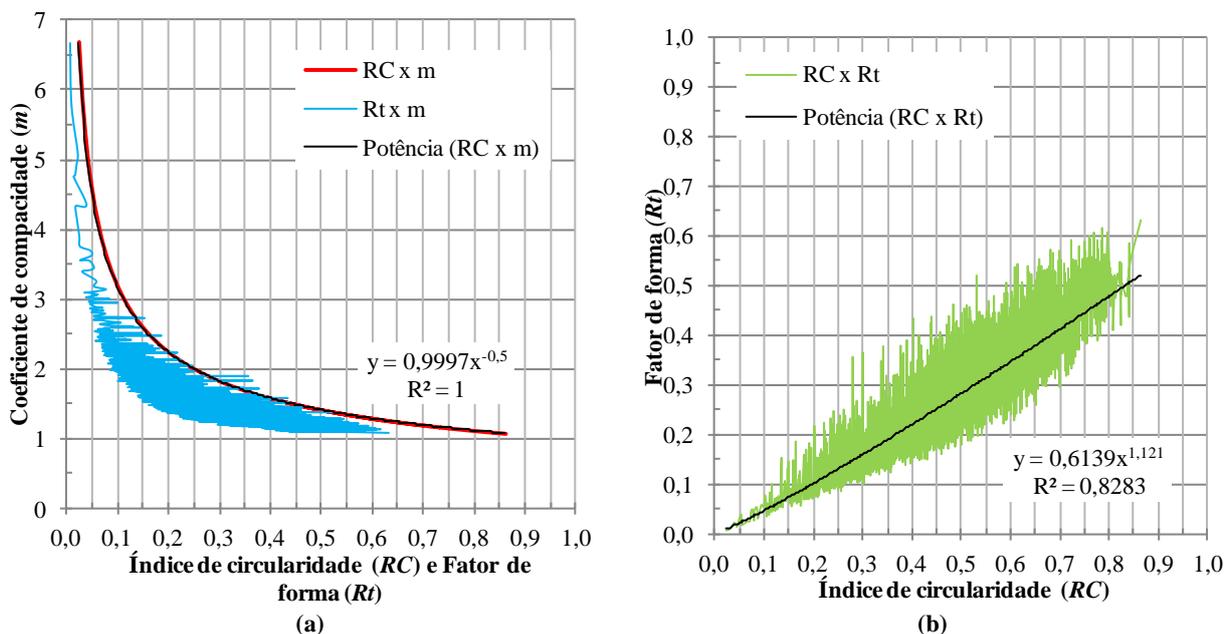


Figura 4.7 – Relações morfométricas para áreas de contribuição de 1ª ordem entre: a) m , RC e R_f ; e b) RC e R_f .

A Fig. 4.8 ilustra os índices morfométricos para as áreas de contribuição dos canais que possuem ordem acima do 2º nível. As mesmas conclusões realizadas anteriormente para as áreas de contribuição que partiam dos rios de primeira ordem podem ser observados neste caso. A Fig. 4.9a e Fig. 4.9b demonstram o mesmo padrão de comportamento entre os

índices, inclusive a relação entre o RC e o m permaneceu inalterada, excetuando o estreitamento nas faixas numéricas, entre a Fig. 4.7a e Fig. 4.7b, respectivamente.

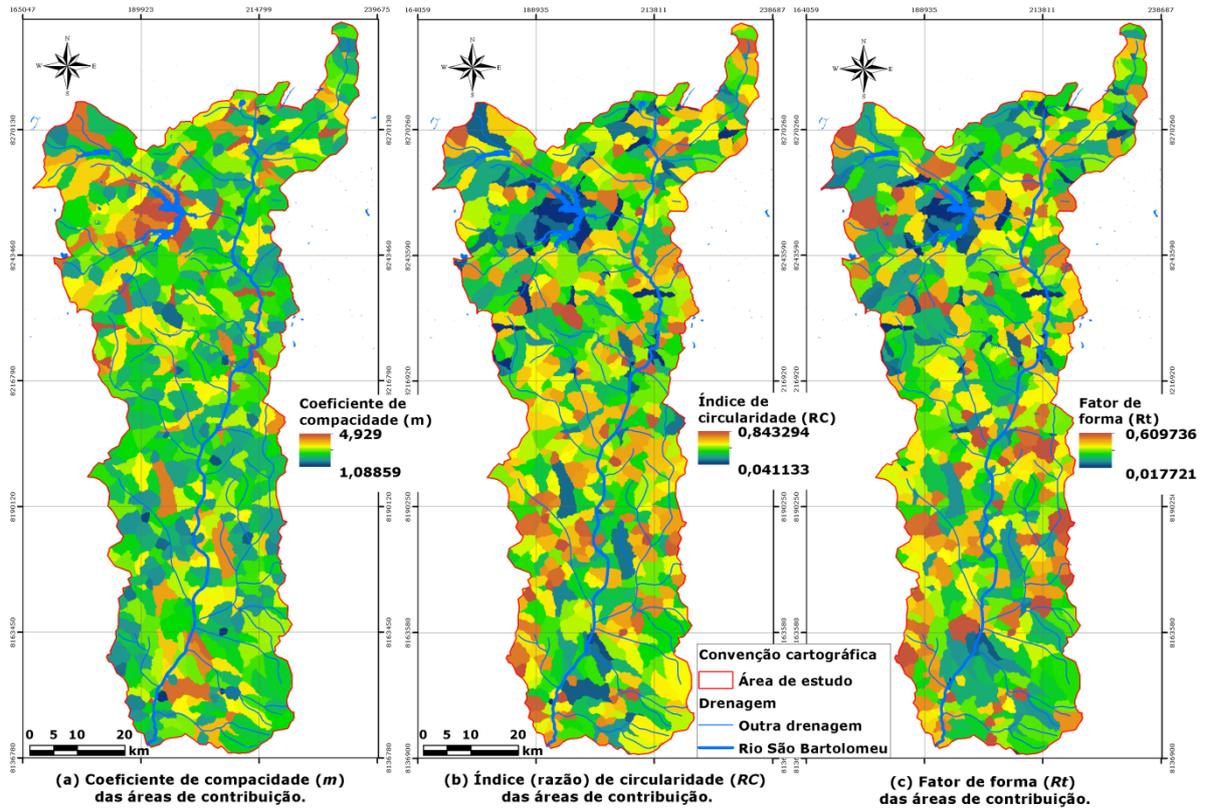


Figura 4.8 – Análise de aspectos morfológicos das áreas de contribuição de 2ª ordem: (a) coeficiente de compacidade; (b) índice de circularidade; e (c) fator de forma.

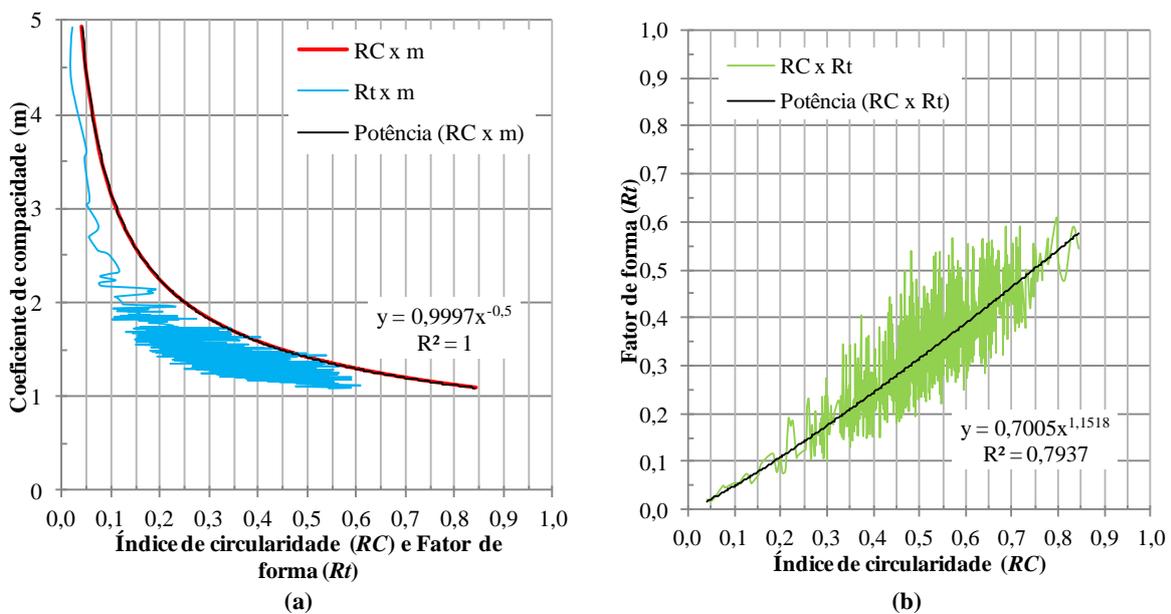


Figura 4.9 – Relações morfométricas para áreas de contribuição de 2ª ordem entre: a) m , RC e R_t ; e b) RC e R_t .

Mesmo que os três índices possam sugerir relações do meio físico semelhante, a compatibilidade entre o coeficiente de compacidade (m) e o índice de circularidade (RC), expressas pelas Eq. 3.3 e 3.5, respectivamente, é matematicamente dedutível entre si (Apêndice AE). Contudo, o mesmo não pode ser afirmado para o fator de forma (R_f). Portanto, o m e o RC são relações empíricas que possuem similitude tanto no conceito físico quanto matemático para a geomorfometria.

Optou-se então pelo RC , devido ser relacionável com o m , em detrimento até do R_f . Na Fig. 4.10 e 4.11, observa-se que o aumento da ordem das drenagens, chegando até ao 6º nível correspondente ao canal fluvial principal do rio São Bartolomeu, é concomitante a uma diminuição na quantidade de áreas de contribuição resultando em RC de menores valores. Ou seja, restam somente as áreas de contribuição mais alongadas ou a própria bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu que é justamente a área de planejamento deste estudo, pois a mesma é alongada. Ressalta-se o detalhe, que o processamento numérico das bacias, pelas rotinas elencadas na metodologia, resultou a partir da 4ª ordem de canal uma região sem área de contribuição ao norte.

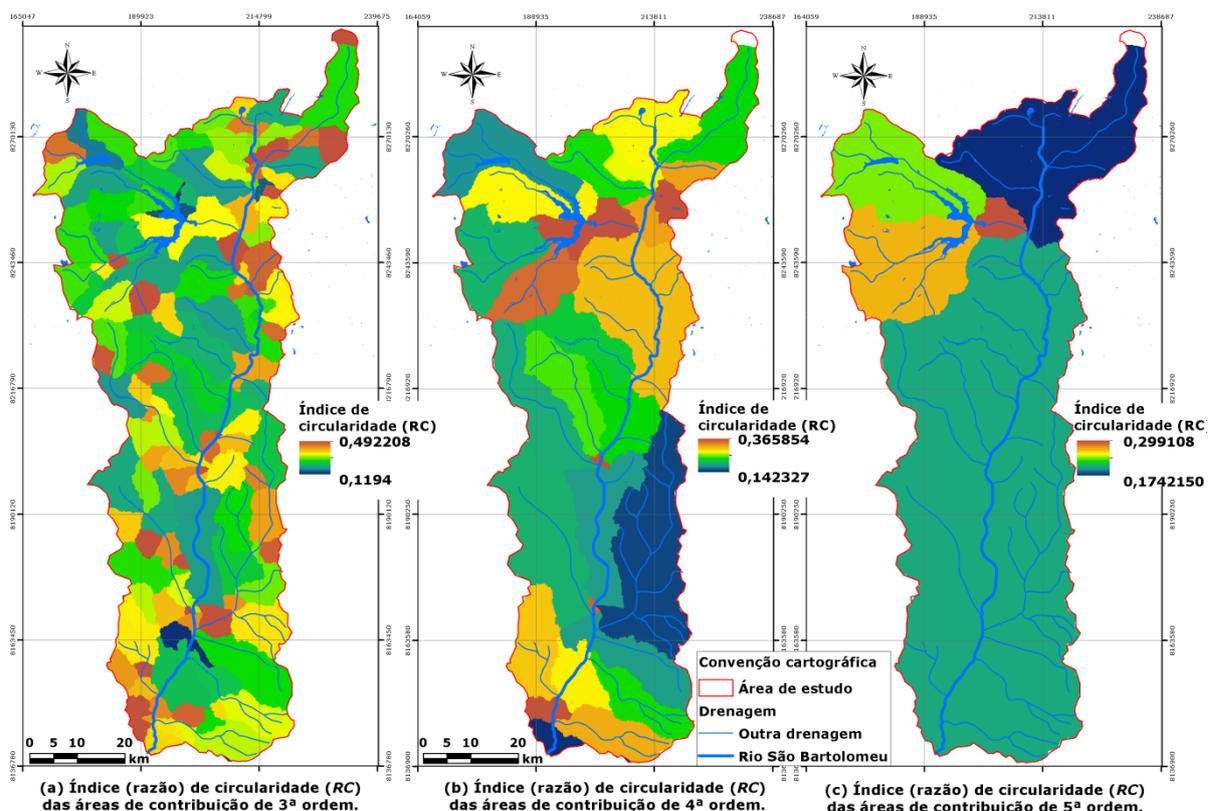


Figura 4.10 – Análise de aspectos morfológicos relativo ao índice de circularidade das áreas de contribuição de: (a) 3ª ordem; (b) 4ª ordem; e (c) 5ª ordem.

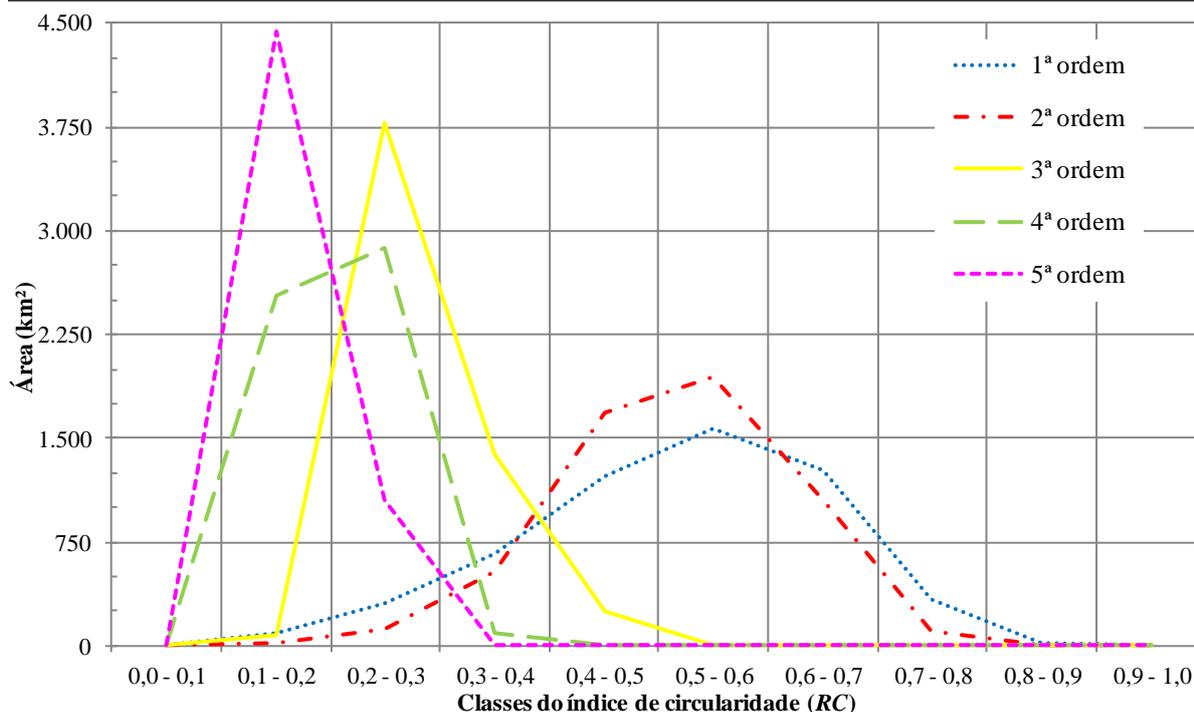


Figura 4.11 – Quantitativo das áreas de contribuição (km²) de diferentes ordens hierárquicas para o índice de circularidade (RC).

As análises lineares das drenagens (Fig. 4.12) das áreas de contribuição foram calculadas (utilizando as Eq. 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10) resultando nos valores demonstrados na Tab. 4.25 e ilustrados na Fig. 4.13.

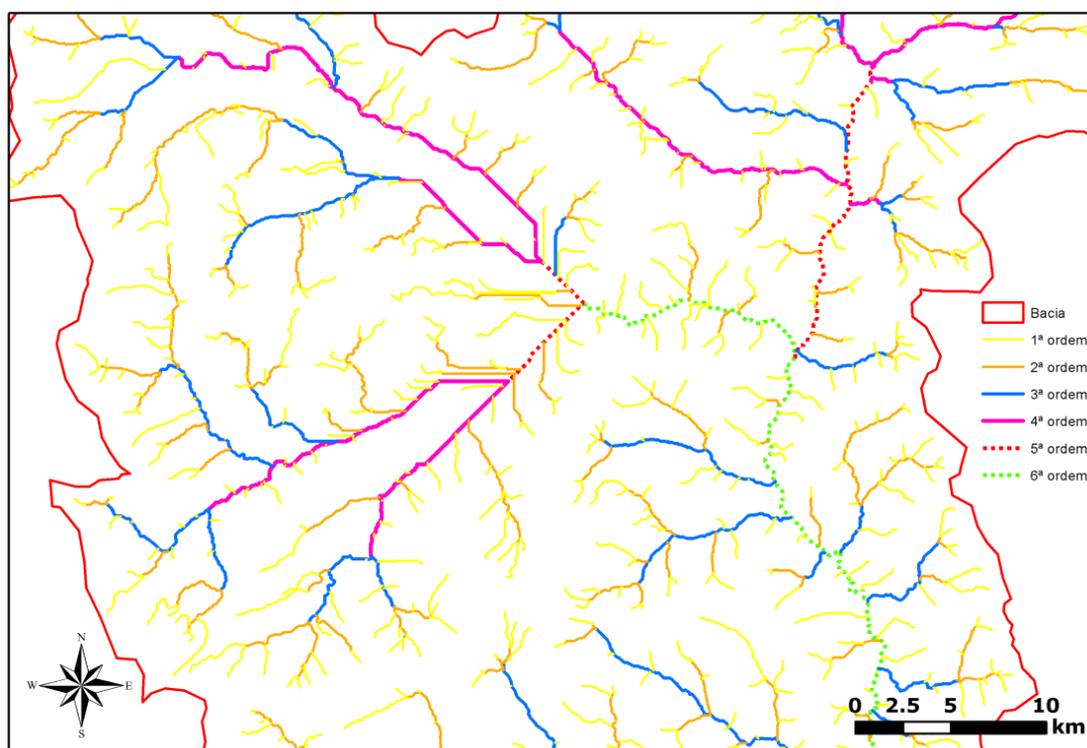


Figura 4.12 – Exemplo das drenagens numéricas hierarquizadas.

Tabela 4.25 – Cálculo dos índices e coeficientes para as drenagens das áreas de contribuição.

Ordem (u)	N_u	$\text{Log}(N_u)$	R_b	L_u	Lm_u	$\text{Log}(Lm_u)$	RL_m	R_{lb}
1	1612	3,207	4,593	1.678.483,248	1.041,243	3,018	-	-
2	351	2,545	4,500	873.170,093	2.487,664	3,396	2,389	0,531
3	78	1,892	4,588	456.983,666	5.858,765	3,768	2,355	0,513
4	17	1,23	5,667	311.447,688	18.320,452	4,263	3,127	0,552
5	3	0,477	3,000	26.735,605	8.911,868	3,950	0,486	0,162
6	1	0	-	154.786,134	154.786,134	5,190	17,369	-

N_u – quantidade de segmentos de drenagem, R_b – índice da relação de bifurcação, L_u – soma dos comprimentos dos canais, Lm_u ou Lm – soma do comprimento médio dos canais, RL_m – índice dos comprimentos médios dos canais, R_{lb} – relação entre o índice dos comprimentos médios dos canais e o índice da relação de bifurcação.

Observa-se que a rotina de extração de drenagens automática e sua hierarquização conforme o esquema de Strahler (1952) resulta em maior quantidade de canais para ordem menor de hierarquia, logicamente, assim o canal de 6ª ordem é o rio São Bartolomeu com sua respectiva bacia hidrográfica de ordem superior, isso respeita a lei do número de canais.

Contudo, ao calcular R_b não houve um pico neste valor para os canais de 4ª ordem, tornando-se inferior abruptamente ao chegar à ordem maior subsequente (ver Fig. 4.13). O mesmo ocorre ao calcular o RL_m . É importante lembrar que o comprimento (L) do canal de 6ª ordem é maior que o de 5ª ordem e isto pode ter influenciado no cálculo de RL_m . Também, a R_b pode ter sofrido interferência no cálculo, devido à classificação automatizada (*Stream order*, Fig. 3.3) ter atribuído uma proporção menor de canais para a 5ª ordem de hierarquização de drenagens.

Isso revela que os sistemas automatizados de modelagem hidrológica devem ser utilizados parcimoniosamente, auxiliados por uma crítica quanto às suas classificações de hierarquia de bacias e de drenagens, pois podem comprometer os resultados nas suas classificações. Ou até mesmo como Chorley (1969) cita que a principal desvantagem do esquema de Strahler é sua violação da lei de distribuição dos canais, no qual a entrada de um canal de menor ordem não aumenta a ordem de um canal principal. Talvez por isso os canais de 5ª e 4ª ordem deveriam ser de outra ordem, pois os mesmos apresentaram descompasso quanto aos índices calculados.

Com a análise das bacias foi constatado, no mínimo visualmente, que há dois ambientes geológicos distintos nesta bacia, o que já confirmava todos os mapeamentos básicos da área de estudo. Aquele ao longo da região de influência mais próxima da calha do rio São Bartolomeu, onde se encontram solos com comportamento geotécnico de baixa infiltrabilidade e pouco espessos e outro com solos que permitem a infiltração de água, bastante evoluídos e mais profundos. Todo esse diagnóstico e caracterização com dados e

informações básicas integra a compreensão das suscetibilidades aos alagamentos e inundações.

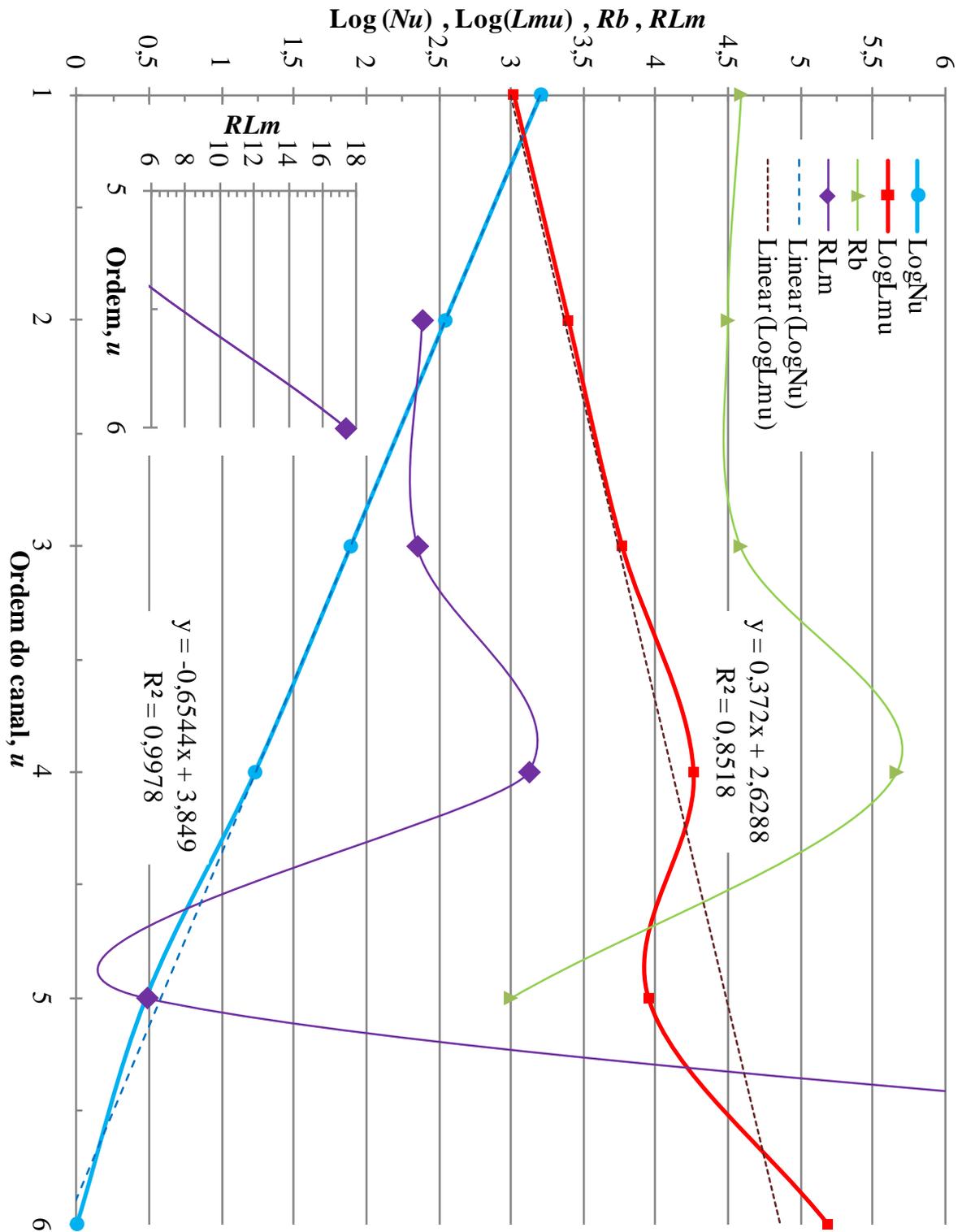


Figura 4.13 – Números de análise linear e sua relação com a ordem dos canais.

4.2 – MAPAS DE INVENTÁRIO

Foi registrado um total de 385 pontos de ocorrências (Apêndice AF) e estes estão relacionados a 129 eventos de precipitação pluviométrica diária que atingiram o DF, ou seja, cada evento de precipitação deflagrante gerou, em 14 anos, em média 2,98 (cerca de 3) pontos espaciais de ocorrência de alagamento ou inundação. Um total de 240 matérias do jornal Correio Braziliense foram acessadas para obter esses pontos. Apesar do intervalo amostral de tempo ser de 14 anos (entre 01/06/1999 e 01/06/2013) a primeira matéria tem data de 22/09/1999 e a última de 08/04/2013. As Fig. 4.14 e 4.15 ilustram a frequência absoluta de pontos de ocorrência por dias, meses, anos e anos hidrológicos ao longo dos 14 anos de inventário.

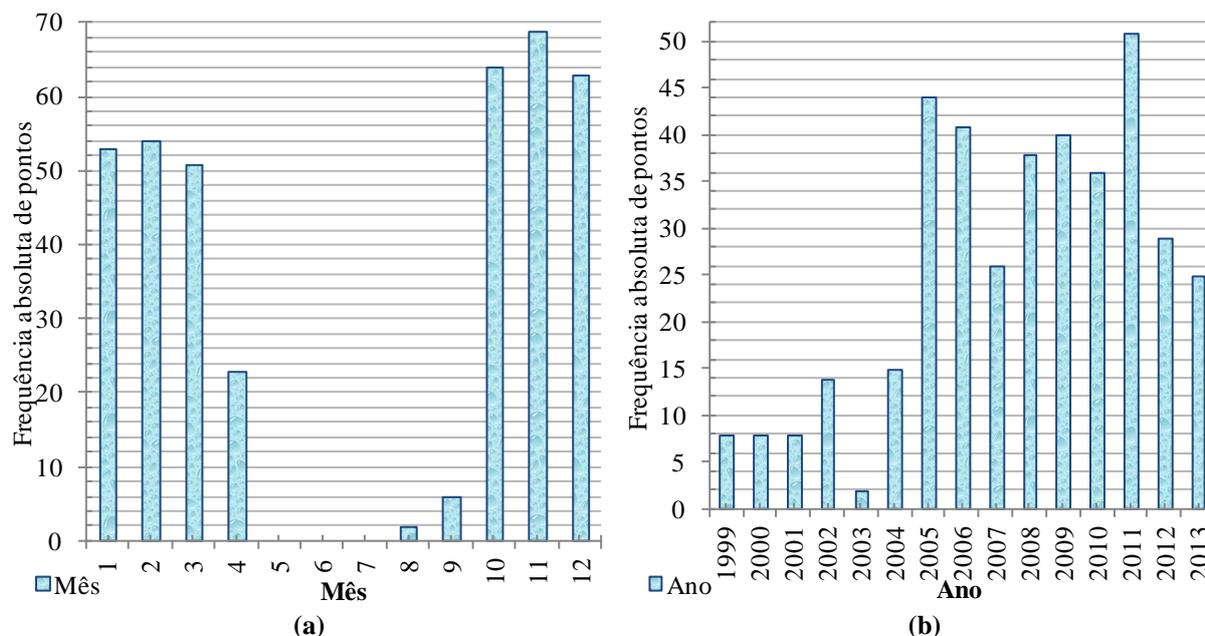


Figura 4.14 – Frequência de pontos de ocorrência por: a) mês; e b) ano.

Os dias mais assolados por alagamentos e inundações no DF são 8 (com 7,53 % do total), sendo que os dias 31 possuem apenas um registro, até pelo fato de ser um dia que ocorre apenas 7 vezes em um ano. Os meses de novembro registraram o maior número de ocorrências, resultando em um total de 69. E com 51 pontos o ano de 2011 foi o mais atingido com os alagamentos e inundações. Percebe-se que a variação da estação climática no DF (Fig. 4.14a) é acompanhada pela presença de ocorrências de alagamentos e inundações no mesmo período, entre os meses de maio e setembro marca-se a estação seca e entre outubro e abril ocorre a estação mais chuvosa.

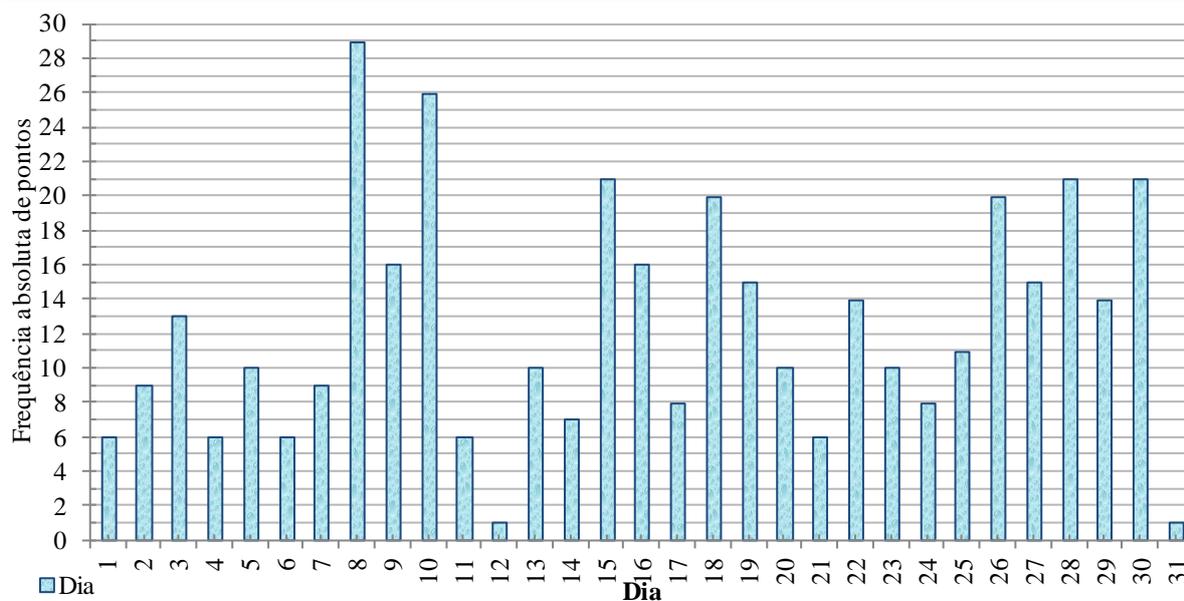


Figura 4.15 – Frequência de pontos de ocorrência por dia.

Contudo, existem 6 ocorrências que foram registradas depois do dia 20 do mês de setembro (Fig. 4.14a), fruto de eventos típicos da estação chuvosa, pois não necessariamente pode se iniciar no começo de outubro, mas também no fim de setembro ocorrem as primeiras chuvas deflagrantes. Anomalia foi um evento de 24/08/2006 entre as 18h e 19h choveu o suficiente para deixar o trânsito caótico, vias alagadas e carros danificados na Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA), na altura do viaduto Ayrtton Senna, e no Setor de Indústria e Abastecimento (SIA), Trecho 10, totalizando duas ocorrências neste evento. A estação associada ao evento foi a Brasília 83377, mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que registrou 42,2 mm ao longo das 24h do dia 24 de agosto de 2006. O jornalista que escreveu a matéria consultou no dia seguinte o volume de chuva da mesma estação, anotando “42 mm³”. Acertou no arredondamento, errou quanto à unidade de medida de chuva. Cada um dos 385 pontos de ocorrência possui sua história, tragédia, protagonista e dano. Exemplificar todos aqui seria anedótico frente aos objetivos desta dissertação.

Ao passar dos anos há uma maior percepção destes riscos e os mesmos atualmente fazem parte das principais matérias na imprensa. Isso se justifica ao analisar a evolução dos registros destas ocorrências com o passar dos anos, saindo de 8 ocorrências em 1999 e chegando a meados de 2013 com 25 ocorrências (Fig. 4.14b). Melhor análise destes dados anuais pode ser realizada observando os anos hidrológicos separados, como está ilustrado na Fig. 4.16. Assim, o ano hidrológico de 2012/2013 foi aquele que registrou maior quantidade de pontos de ocorrência, seguido por um pico em 2008/2009.

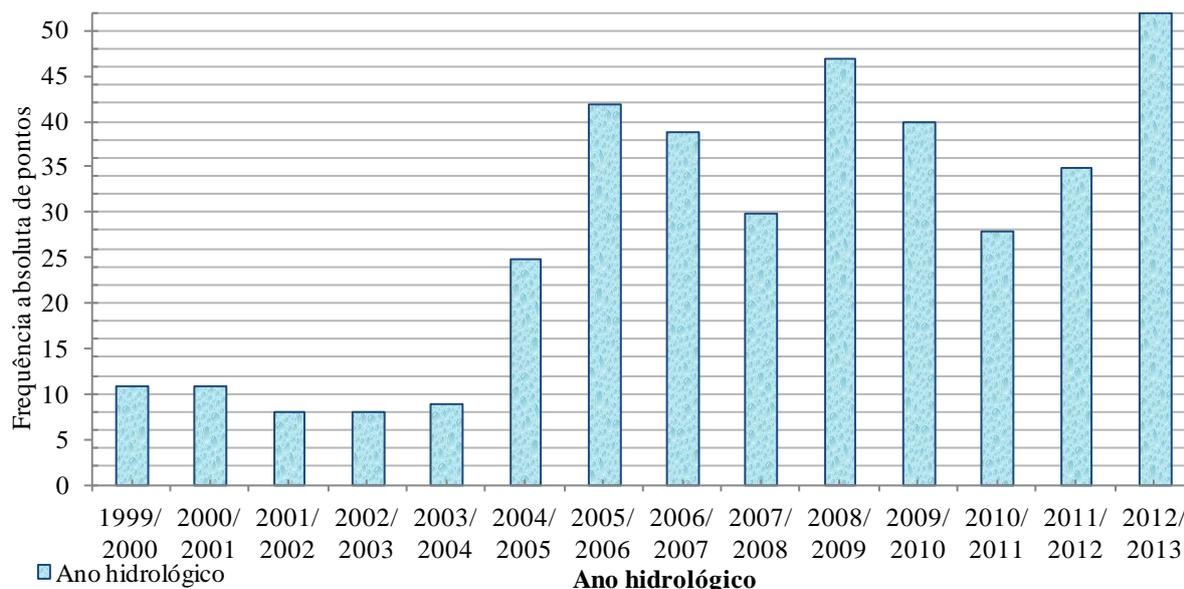


Figura 4.16 – Frequência de pontos de ocorrência por ano hidrológico.

As Fig. 4.17, 4.18 e 4.19 apresenta a contagem de frequência absoluta por evento de precipitação pluviométrica deflagrante, dentre o total de 129 eventos, por dias, meses, anos e anos hidrológicos. O mês com maior quantidade de eventos deflagrantes é fevereiro, totalizando 25 chuvas (Fig. 4.17a). Ao contrário do mês de novembro, que é aquele com maior número de ocorrências, a quantidade de alta de precipitações deflagrantes para o mês de fevereiro não foi capaz de converter em mais pontos de ocorrência, em relação ao mês de novembro.

A proporção de ocorrências de alagamentos e inundações por evento pluviométrico no mês fevereiro é 2,16, enquanto para o mês de novembro é 4,06. O mesmo pode ser afirmado para o ano de 2006 (Fig. 4.17b), que possui 18 eventos de precipitação deflagrantes ao passo que gerou apenas 41 ocorrências, uma proporção de 2,28. Ao compará-lo com o ano de 2011, que possui a maior quantidade de ocorrências e sua proporção é 5,67.

Também foi observado nos dias 10 que possuem 8 eventos (Fig. 4.18) e 26 ocorrências (proporção de 3,25), ao passo que os dias 8 possuem 7 eventos e 29 ocorrências, com proporção 4,14. Pode-se afirmar que há determinados dias, meses e anos quando poucas chuvas são suficientes para causar diversos danos, resultando em muitos pontos de ocorrências e isso tudo é aleatório, pois depende das chuvas. Dois anos hidrológicos possuem grandes quantidades de eventos pluviométricos deflagrantes são 2006/2007 e 2012/2013 (Fig. 4.19).

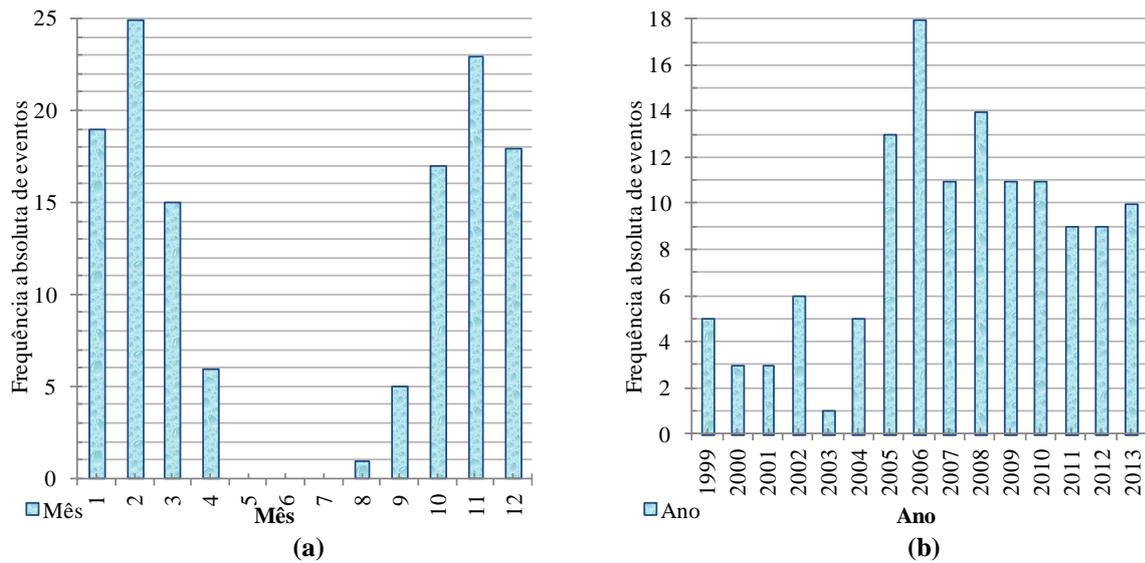


Figura 4.17 – Freqüência de eventos de precipitação deflagrante por: a) mês; e b) ano.

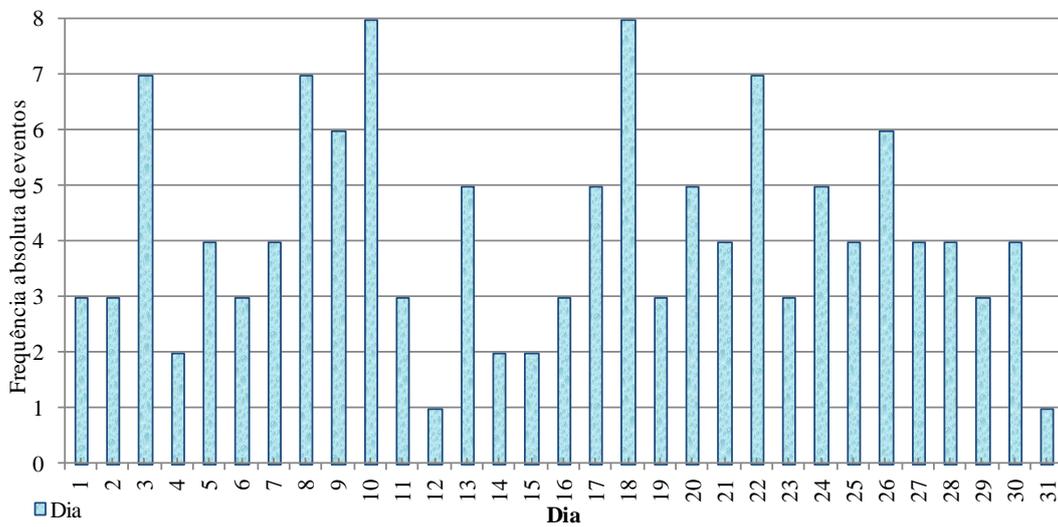


Figura 4.18 – Freqüência de eventos deflagrantes por dia.

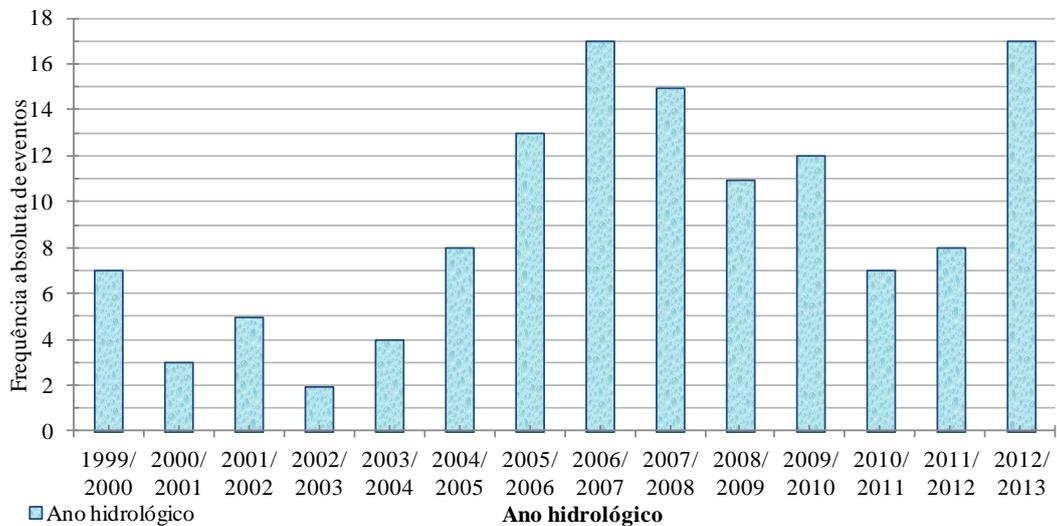


Figura 4.19 – Freqüência de eventos deflagrantes por ano hidrológico.

Para todo o inventário as informações referentes ao volume precipitado do dia fornecido pelos jornalistas são discutíveis, visto que muitos cometem equívocos quanto às unidades e em relação aos próprios valores divulgados. Esse exercício de coletar dados dos campos “P_MM”, “T_S”, “I_MMH” e “NA_M” (Tab. 3.14) foram apenas de simples registro e sistematização dos valores declarados nas matérias do jornal e não se pretende fazer qualquer análise no momento.

Os campos “USO_COB” e “DANO” (Tab. 3.14) foram analisados em conjunto e estão resumidos na Tab. 4.26. Apenas 7 ocorrências estão distribuídas em áreas de cerrado, cultivo, solo exposto, etc., e não foram computadas na Tab. 4.26 por não estarem associados aos elementos em risco. Quanto aos danos diretos, estes são computados em relação às infraestruturas, como em residências e prédios danificados totalmente (deformações e colapso) e parcialmente (rachaduras, danos no acabamento e outros). Quanto aos danos indiretos estes foram identificados nas matérias como a interrupção de negócios e comércio, ao tráfego de veículos, a áreas de agropecuária, custos de operações de salvamento e evacuação, interrupção de vias e infraestruturas de comunicação, custos de limpeza das áreas, entre outros.

Tabela 4.26 – Análise dos danos relatados nas matérias jornalísticas e seu uso e cobertura do solo.

Código	4º nível	5º nível	6º nível	Ocorrências	Danos diretos	Danos indiretos
151	Agrícola ou periurbana	Infraestrutura rural ou periurbana	Conjunto de edificações	1	0	1
211	Não agrícola	Área urbana consolidada	Conjunto de edificações	43	13	30
213	Não agrícola	Área urbana consolidada	Edificação de grande porte	72	7	65
221	Não agrícola	Área urbana em consolidação	Conjunto de edificações	23	12	11
231	Não agrícola	Área urbana parcelada	Conjunto de edificações	2	1	1
261	Não agrícola	Sistema viário (rodovia e estrada)	Pavimentada	238	10	228
Σ				379	336	43

É importante lembrar que entre 385 ocorrências apenas houve 1 desabamento total de uma casa no Setor Habitacional Arniqueiras, no dia 28/02/2008, quando o registro acumulado em 24h de 37,8 mm de chuva na estação Jockey Club foi confirmado, mantida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Relataram os moradores

que o córrego Vereda da Cruz, que passava próximo à residência, encheu e inundou as margens causando o desabamento e uma grande erosão.

Os demais danos diretos estão relacionados a acabamentos, trincas etc. Por exemplo, para os conjuntos de edificações em áreas urbanas consolidadas apenas houve 13 danos diretos, isso corresponde a 3,4% do total de pontos. Realizando essa análise preliminar dos danos diretos foi possível estimar a fragilidade estrutural (F) para as diversas infraestruturas que se apresentavam como elementos em risco (Tab. 3.22). Tal que, o maior valor adotado foi de 6,9%, para este critério de fragilidade (F), quanto ao conjunto de edificações em áreas urbanas parceladas, que é pouco mais que o dobro em relação aos conjuntos de edificações em área urbana consolidada. Essa base racional para definir arbitrariamente pesos empíricos para F nas suas diversas condições de uso e cobertura dos elementos em risco foi importante na definição da análise de vulnerabilidade.

A distância das drenagens (Tab. 3.14 campo “DD_SICAD”) em relação aos pontos de ocorrência (Fig. 4.20) apresenta o valor médio de 1.520,3 m de distância, sendo a distância máxima 4.583,4 m. Mais de 90% dos pontos estão a uma distância maior que 227 m de qualquer drenagem. Supor que o processo que causou acumulação de água para causar um dano, para a maioria dos casos deste inventário, seja de inundação é impraticável. De fato, partindo apenas do inventário, a metodologia de análise do perigo e do risco deste estudo é aplicável principalmente aos problemas de alagamento, visto que os pontos estão extremamente associados ao uso e cobertura do solo urbano.

Contudo, desassociar aqueles pontos inundação e trabalhar apenas com os pontos de alagamentos não é válido, pois a distinção dos pontos para a análise de perigo não é importante aqui na metodologia praticada. O mesmo inventário pode ser feito para uma área urbana onde os rios exercem uma maior influência e, assim, os pontos de ocorrência poderão estar fortemente correlacionados à proximidade do rio, córrego ou riacho.

O DF tem sua concepção urbanística planejada e suas cidades são pouco influenciadas por drenagens com capacidade de causar danos aos elementos em risco, pois os mesmos não estão nas áreas de maior suscetibilidade, como nas calhas das drenagens. Depois de anos de urbanização o DF já sente reflexos do uso e ocupação do solo desordenado, com casas, de baixo e até alto padrão, ocupando locais altamente suscetíveis e que são convertidos na prática em risco instalado, como da casa em Arniqueiras que desabou. E também, de um sistema de drenagem insuportável e com manutenção parca, o que resulta em alagamentos constantes em

áreas urbanas. Não deixar de citar alagamentos e inundações neste estudo é necessário para não separar os poucos pontos de inundação que foram verificados no inventário.

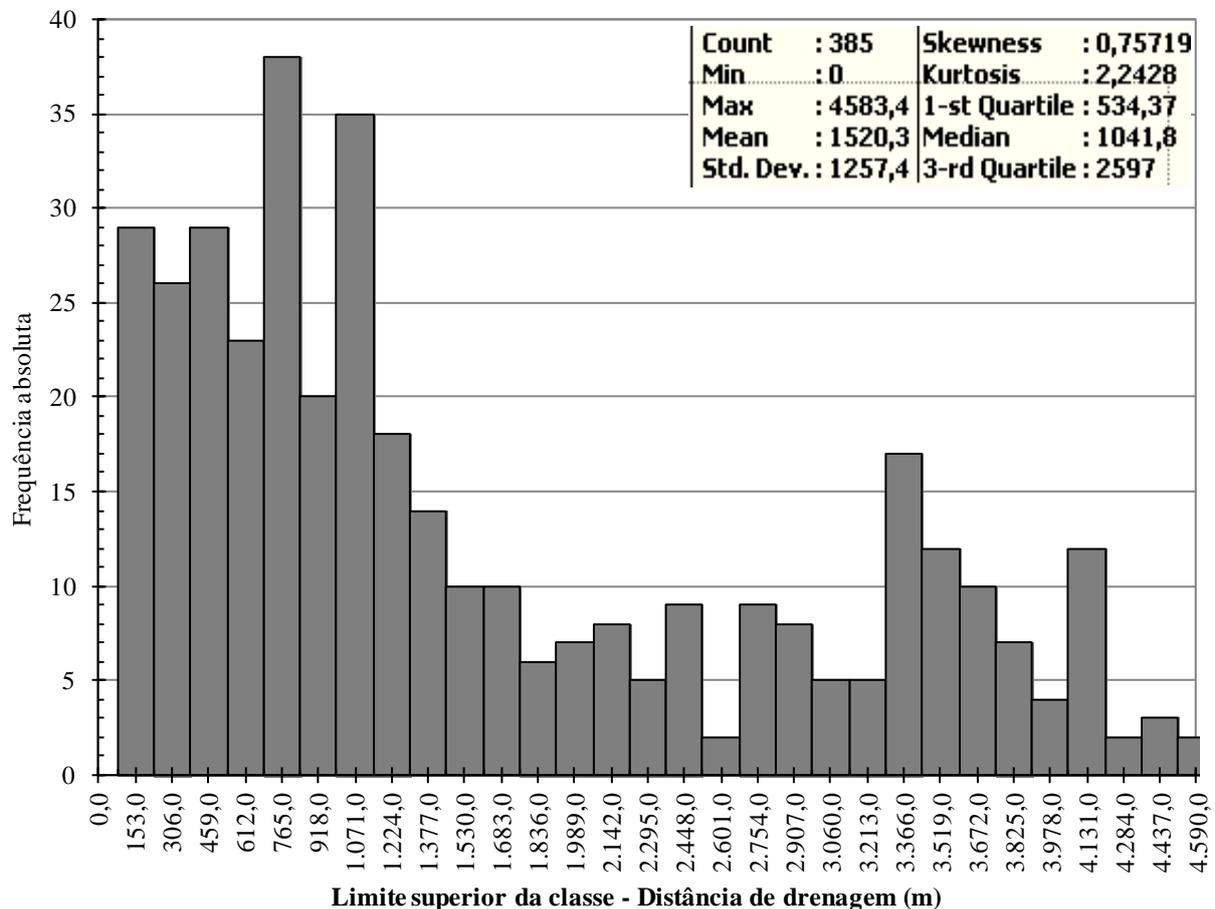


Figura 4.20 – Frequência das classes de distância de drenagem e sua estatística descritiva.

A Tab. 4.27 resume a sobreposição dos pontos com as classes do plano de informação de pedologia de Reatto et al. (2004) para todo o DF e que em partes pode ser visto no Apêndice E, relacionado ao campo “PEDO” do inventário (Tab. 3.14). Cerca de 70% dos pontos de ocorrência estão nas áreas urbanas, mas essas mesmas áreas urbanas são latossolos vermelho, exceto na região do Lago Norte, onde o mesmo plano de informação demonstra áreas urbanas que são cambissolos. Quanto à densidade de ocorrências por área da feição da classe pedológica a maior porcentagem continuou sendo das áreas urbanas, mas é importante destacar os neossolos quartzarênico que possuem apenas 1 ocorrência em uma pequena área desta classe quando comparado com os demais polígonos. Isso resultou em 2,75% da densidade de pontos em áreas de neossolos quartzarênicos. Em geral estes solos são bem drenados e possuem maior densidade de pontos de alagamento e inundação que os solos

hidromórficos, estes com 2,6%. Possivelmente, essas regiões possuem alguma influência de urbanização e mesmo em locais de solos com poucas características para influenciar no acúmulo de água, acabam resultando de uma má estrutura de drenagem das águas pluviais.

Tabela 4.27 – Análise da quantidade e densidade de ocorrências em classes pedológicas.

Classes	Ocorrências	%	km ²	Ocorrências/Área	Normalizado Ocorrências/Área	%
Água	0	0,00	59,79	0,0000	0,0000	0,00
Área urbana (1978)	266	69,09	263,02	1,0113	0,8373	83,73
Argissolo vermelho	2	0,52	117,72	0,0170	0,0141	1,41
Argissolo vermelho-amarelo	0	0,00	45,63	0,0000	0,0000	0,00
Cambissolo	38	9,87	1779,67	0,0214	0,0177	1,77
Chernossolo	0	0,00	4,62	0,0000	0,0000	0,00
Espodossolo	0	0,00	7,13	0,0000	0,0000	0,00
Latossolo vermelho	58	15,06	2267,59	0,0256	0,0212	2,12
Latossolo vermelho-amarelo	10	2,60	911,14	0,0110	0,0091	0,91
Neossolo flúvico	0	0,00	10,95	0,0000	0,0000	0,00
Neossolo quartzarênico	1	0,26	30,07	0,0333	0,0275	2,75
Nitossolo vermelho	4	1,04	70,19	0,0570	0,0472	4,72
Plintossolo	0	0,00	22,20	0,0000	0,0000	0,00
Solo hidromórfico indiscriminado	6	1,56	190,82	0,0314	0,0260	2,60
Σ	385	100,00	5780,55	1,2079	1,0000	100,00

A mesma análise anterior foi realizada para o campo “FT” (Tab. 3.14) referente às curvaturas de terreno, o que embasou na tomada dos valores arbitrários de peso para auxiliar nas análises de suscetibilidade (Tab. 3.16). A Tab. 4.28 resume os principais quantitativos e densidade de pontos de ocorrências de alagamentos e inundações por área das classes de curvatura de terreno no DF, o que resultou em valores normalizados destas densidades. Esses valores foram multiplicados por pesos arbitrados (Tab. 4.29) e depois normalizados resultando em pesos finais, que são expressos na Tab. 3.16 e também na Tab. 4.29.

A maior quantidade de pontos de ocorrência ficou concentrada nas feições de perfil retilíneas, sendo que as maiores densidades de pontos estão relacionadas à classe retilínea-convergente, seguida da retilínea-planar. Com 13,23% a classe retilínea-convergente, que é a mais suscetível a apresentar alagamentos e inundações, apresentou uma alta densidade de pontos de ocorrência quando comparada às demais classes de curvatura de terreno. Isso revela a curvatura como um atributo qualitativo do meio físico com uma relação adequada à possibilidade de ocorrências do fenômeno perigoso em estudo.

Tabela 4.28 – Análise da quantidade e densidade de ocorrências em classes de curvatura das vertentes.

	Classe	Ocorrências	%	km ²	Ocorrências/Área	Normalizado Ocorrências/Área	%
1	côncavo-convergente	36	9,33	562,80	0,0640	0,1323	13,2313
2	retilíneo-convergente	109	28,24	1.129,61	0,0965	0,1996	19,9596
3	convexa-convergente	1	0,26	101,48	0,0099	0,0204	2,0382
4	côncavo-planar	9	2,33	165,69	0,0543	0,1124	11,2355
5	retilíneo-planar	108	27,98	1.490,60	0,0725	0,1499	14,9871
6	convexo-planar	3	0,78	122,97	0,0244	0,0505	5,0464
7	côncavo-divergente	9	2,33	158,16	0,0569	0,1177	11,7706
8	retilínea-divergente	89	23,06	1.606,55	0,0554	0,1146	11,4591
9	convexa-divergente	22	5,70	443,01	0,0497	0,1027	10,2722
	Σ	385	100,00	5.780,87	0,4834	1,0000	100,0000

Tabela 4.29 – Peso arbitrado e pesos finais para as análises de suscetibilidade da curvatura de terreno.

	Classe	Normalizado Ocorrências/Área	Peso arbitrado	Peso final	Peso final (normalizado)*
1	côncavo-convergente	0,1323	0,95	0,1257	0,23740
2	retilíneo-convergente	0,1996	0,90	0,1796	0,33927
3	convexa-convergente	0,0204	0,75	0,0153	0,02887
4	côncavo-planar	0,1124	0,70	0,0786	0,14854
5	retilíneo-planar	0,1499	0,50	0,0749	0,14153
6	convexo-planar	0,0505	0,30	0,0151	0,02859
7	côncavo-divergente	0,1177	0,20	0,0235	0,04446
8	retilínea-divergente	0,1146	0,10	0,0115	0,02164
9	convexa-divergente	0,1027	0,05	0,0051	0,00970
	Σ	1,0000	-	0,5295	1,0000

* mesmo valor da Tab. 3.16.

Outro campo de atributos geoespaciais do inventário analisado estatisticamente foi o “FA_DINF” (Tab. 3.16), uma vez que os pontos de ocorrência poderiam ter forte associação com altos valores de área de fluxo acumulado. A Fig. 4.21 retrata a estatística descritiva e o histograma de frequência para o fluxo acumulado. O terceiro quartil mostra que 75% dos pontos possuem áreas de fluxo acumulados menores que 634 m², sendo que 371 pontos de ocorrência estão, conforme o histograma (Fig. 4.21), na primeira classe com limite superior de 67.940 m². O histograma demonstra que os pontos concentram-se em regiões com áreas de fluxo acumulado onde o meio físico não justifica altas suscetibilidades, visto este atributo como indicador de áreas passíveis de acumulação de água superficial. Esse fato novamente justifica que maior parte das causas de alagamentos pode estar relacionada à estrutura precária do escoamento de águas pluviais. Os problemas no DF, em algumas regiões, não são da ordem de planejamento urbano, mas das medidas estruturais inadequadas para manter a

organização dos serviços de saneamento ambiental das cidades, entre eles, principalmente, as drenagens pluviais.

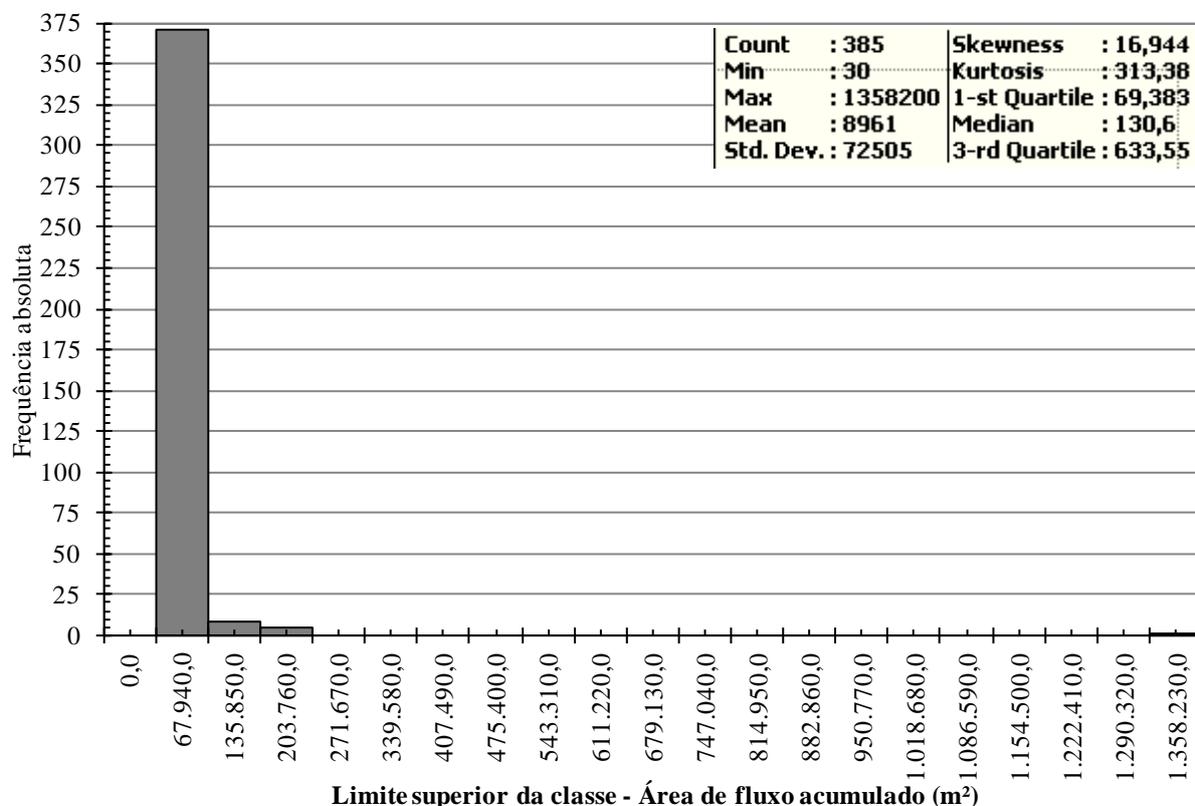


Figura 4.21 – Frequência das classes de área de fluxo acumulado e sua estatística descritiva.

Ao fazer uma consulta ao inventário, selecionando os 20 pontos de ocorrência com maior área de fluxo acumulado, aquele que possui o menor valor (42.943,78 m²) refere-se ao alagamento de um estacionamento e de uma edificação de grande porte na Asa Norte (SGAN 911, Módulo G). Neste mesmo local no Módulo F foram registradas mais duas ocorrências. Outros 3 pontos de ocorrência na tesourinha da 111/112 Norte, 5 pontos na tesourinha da 201/202 Norte, 3 pontos na Av. W2 Norte, na altura da SEPN 511, outro na EQN 711/911, Bloco B (Asa Norte), uma ocorrência na Avenida ERN, próximo a 102 Norte e outro na SCLRN 209/210 Norte. O restante dos pontos, exceto aqueles da Asa Norte de Brasília, está distribuído com uma dessas ocorrências na Quadra 01, do SOF Sul do Guarά, outro sob uma ponte na Colônia Agrícola Riacho Fundo e o ponto da única casa que apresentou desabamento neste inventário e estava localizada na Colônia Agrícola Vereda da Cruz, na Arniqueiras, como já citado neste documento. Todos estes pontos estão sobre áreas de curvaturas de

vertente côncavo-convergente ou retilínea-convergente, exceto o ponto da SCLRN 209/210 que está em uma forma de terreno côncavo-divergente.

Há regiões da Asa Norte, principalmente a 511 Norte, que protagonizou os piores episódios de alagamento do DF nos últimos 14 anos, que possuem uma suscetibilidade inerente alta. Proprietários de imóveis daquela região afirmaram a necessidade de desvio do nível freático para as obras de fundação. Isso ocorre principalmente nas 511 Norte, pois essa região possui um caminho preferencial de fluxo e recarga de água e o mesmo abastece e segue para a drenagem do Parque Olhos d'Água. Portanto, essa região já passou da alta suscetibilidade, para uma região de risco instalado, uma vez que os elementos em risco estão presentes na região interagindo com o fenômeno perigoso. Para essa área da Asa Norte um sistema de drenagem pluvial com manutenções recorrentes pode atenuar o perigo na região.

As precipitações deflagrantes registradas para os dias das ocorrências de alagamentos ou inundações foram registradas no campo “P_24H” (Tab. 3.16). A estatística descritiva e o histograma de frequência para este atributo do inventário estão ilustrados na Fig. 4.22.

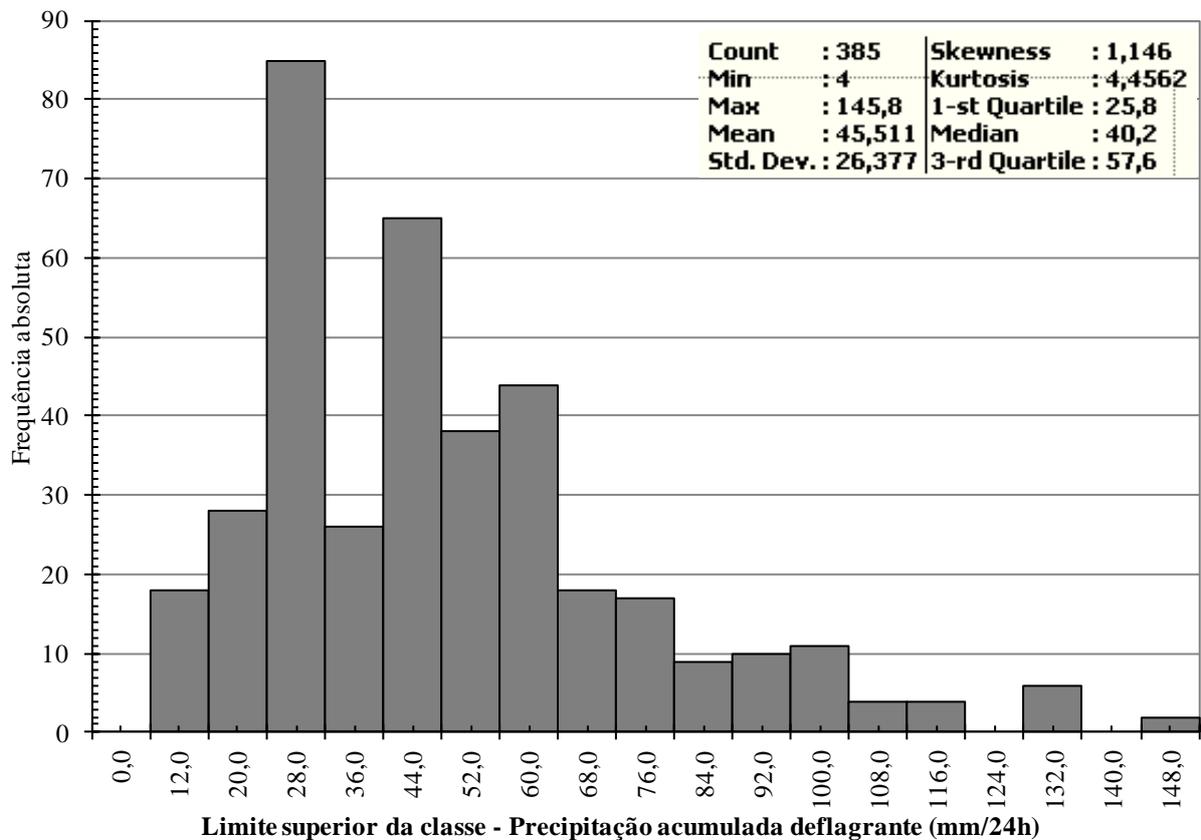


Figura 4.22 – Frequência das classes de precipitação deflagrante e sua estatística descritiva.

Fundamentado na análise da média de chuvas deflagrantes que o valor de P aplicado a cálculo de Q , do método *SCS-CN* (Eq. 3.13), foi selecionado de 45,5 mm/24h (Fig. 4.22). As chuvas registradas nos 26 pluviômetros consultados para associação dos dados, todos tem leitura de 24h. No documento do Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF (GDF, 2008) o autor cita que precipitações de 30 mm/h já são capazes de ocasionar alagamentos em alguns pontos. A média e a mediana da precipitação deflagrante acumulada no dia das ocorrências registradas foi de 45,5 mm e 40,2 mm e a moda das precipitações deflagrantes é 26,5 mm, isso pode ratificar o valor sugerido em GDF (2008).

Quanto às precipitações de 5 dias antecedentes ou 120h registradas no campo do inventário “P_120H” (Tab. 3.16) sua frequência absoluta e estatística descritiva estão ilustradas na Fig. 4.23.

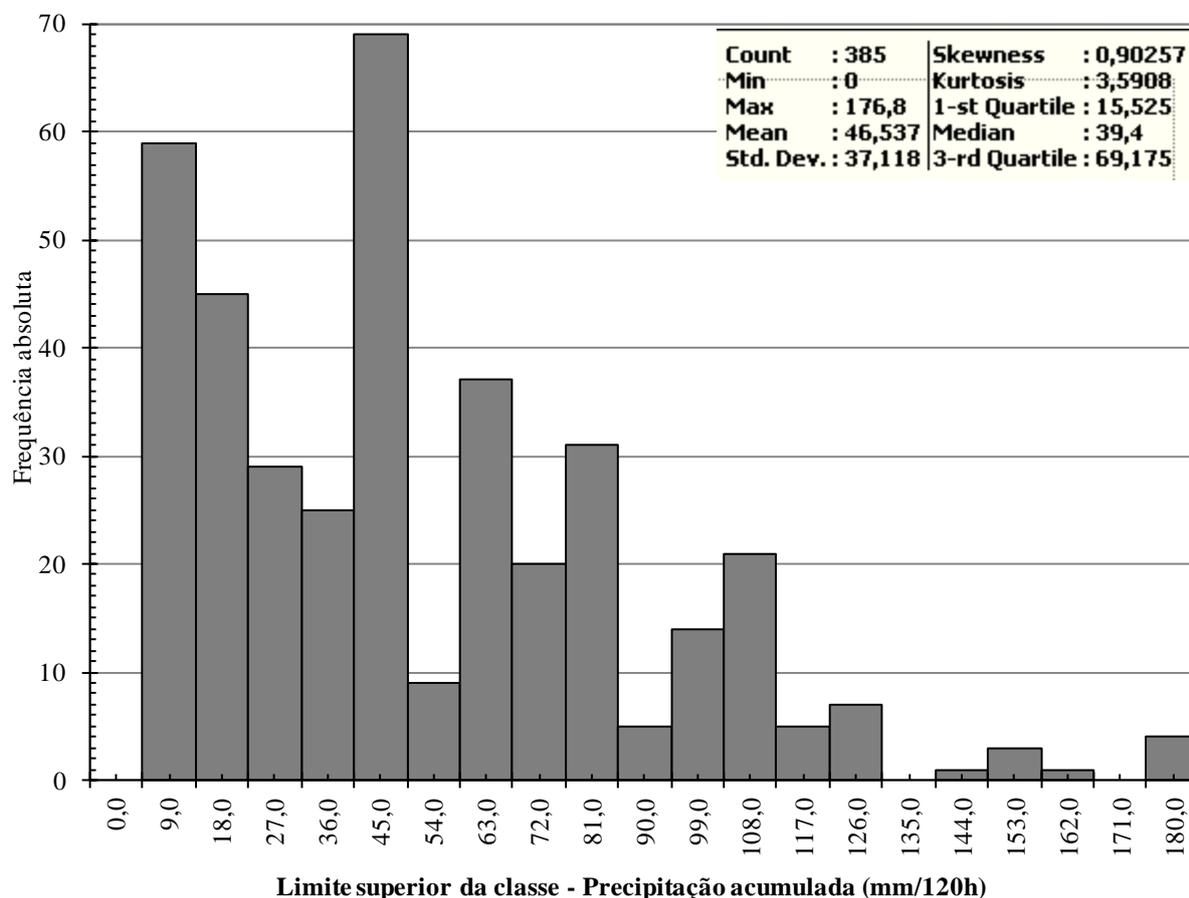


Figura 4.23 – Frequência das classes de precipitação antecedente e sua estatística descritiva.

Mesmo as chuvas antecedentes sendo a soma de 120h horas de chuva anterior a deflagrante foi observado um padrão semelhante à chuva deflagrante de 24h, pelo fato da média ser 46,5 mm/120h e a mediana 39,4 mm/120h. Contudo, é importante destacar que

valores nulos de chuvas antecedentes contribuíram para esses valores baixos em comparação a chuva deflagrante. Em 59 registros precisou de chuvas antecedentes de até 9 mm/120h para deflagrar um alagamento ou inundação no dia posterior. Assim, pode haver outros fatores não atrelados à saturação dos solos para permitir o escoamento superficial anormal em áreas urbanas, como, por exemplo, a deficiência nos sistemas de drenagem pluvial.

Não foi possível estabelecer limiares da chuva deflagrante com as chuvas antecedentes de 120h, pois não foi observada uma relação organizada e clara para pontos de ocorrência com características e ambientes do meio físico, também semelhante. A Fig. 2.24 apresenta essa relação com legenda para os tipos de solo e mesmo aqueles solos em áreas urbanas não apresentam correlação que possibilite a definição de limiares. Por isso na análise de perigo trabalho-se somente com as precipitações de 24h.

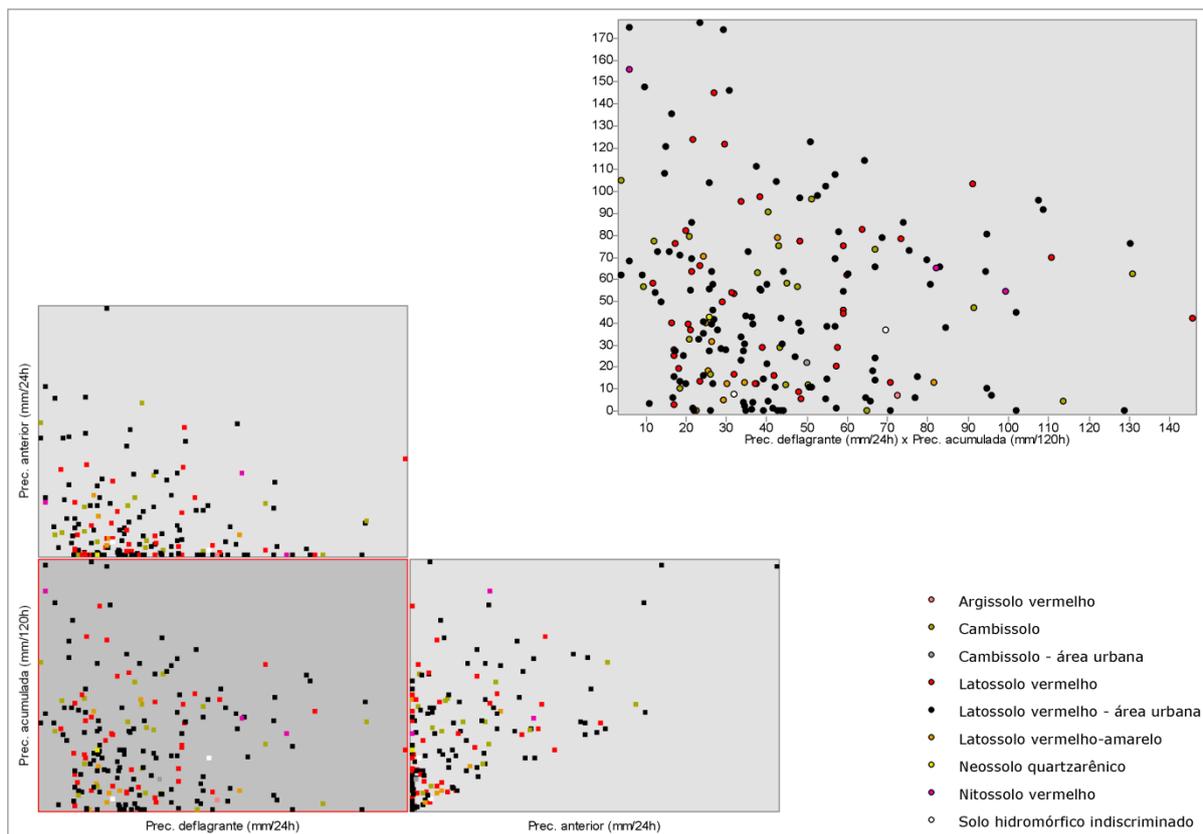


Figura 4.24 – Pontos de ocorrência em função das precipitações deflagrantes e antecedente, classificados por tipo de solo.

Os mapas do inventário podem ser observados nos Apêndices Y e Z deste estudo, bem como nas Fig. 4.25 e 4.26.

O primeiro refere-se apenas à distribuição destes pontos na superfície e o segundo documento cartográfico ilustra as quantidades de ocorrências. Percebe-se que a região central de Brasília, principalmente a Asa Norte, foi afetada severamente quando comparada às demais regiões administrativas do DF. As vias próximas ao Estádio Mané Garrincha e tesourinhas na Asa Norte foram atingidas por alagamentos 6 vezes em um intervalo de 14 anos.

4.3 – CARTA DE PERIGO

Para análise de perigo, cada estação possui uma curva do cálculo das probabilidades de ocorrência de um alagamento ou inundação (Eq. 3.19), da probabilidade temporal das chuvas (Eq. 3.20) e a interseção de ambas as probabilidades anteriores (Eq. 3.21), o que caracteriza o fenômeno perigoso ou de ameaça. Entre a Fig. 4.27 e 4.34 apresentam-se todas as curvas de probabilidade para as estações pluviométricas em estudo.

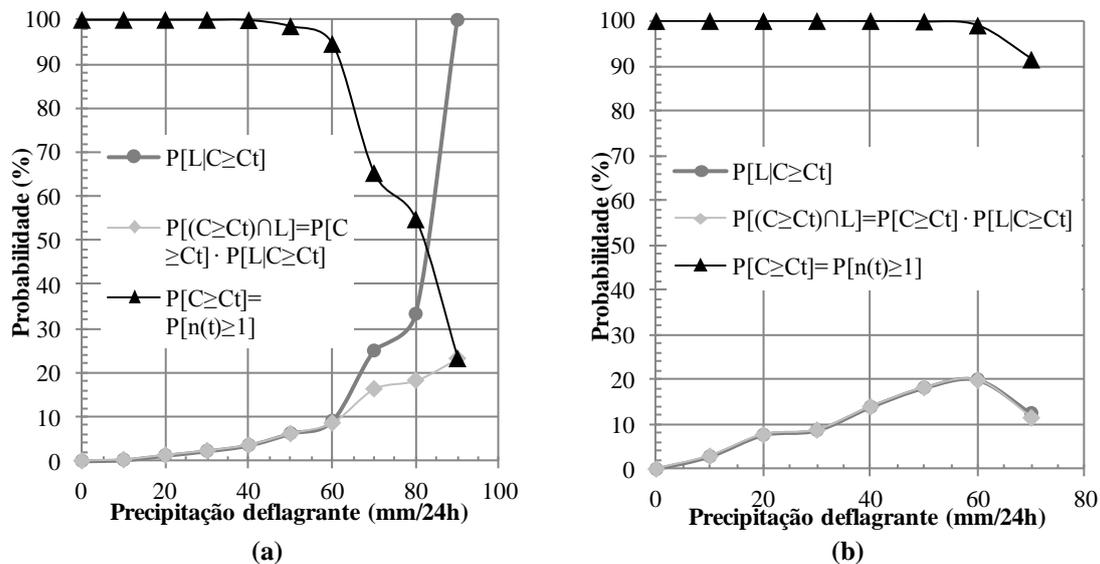


Figura 4.27 – Probabilidades para as estações da ADASA: a) Contagem Rua do Mato (01547052); e b) Vicente Pires Montante (01548040).

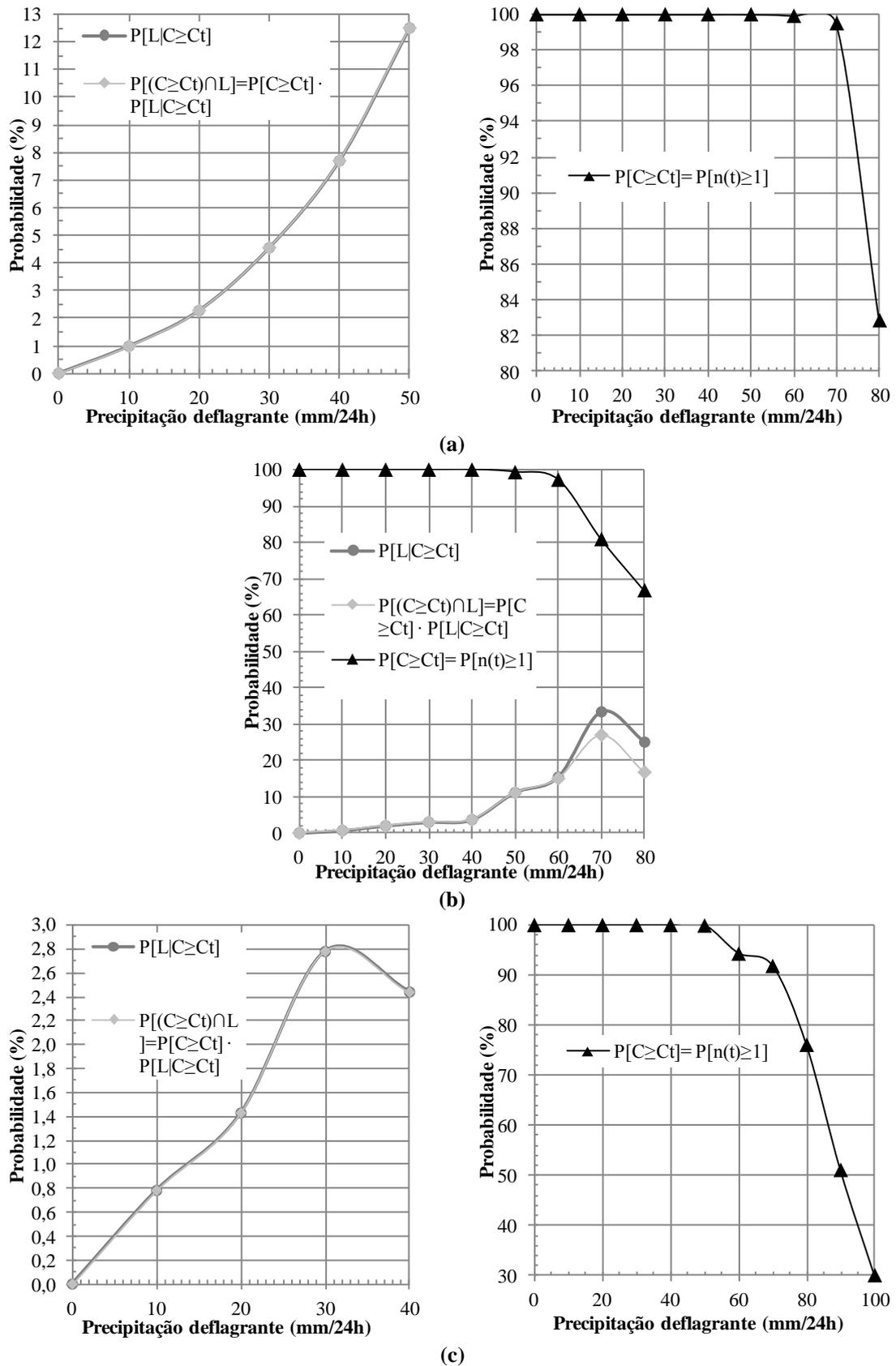


Figura 4.28 – Probabilidades para as estações da ADASA: a) Samambaia DF-280 (01548039); b) Taguatinga (01548037); e c) Mestre d'Armas Jus. DF-230 (01547071).

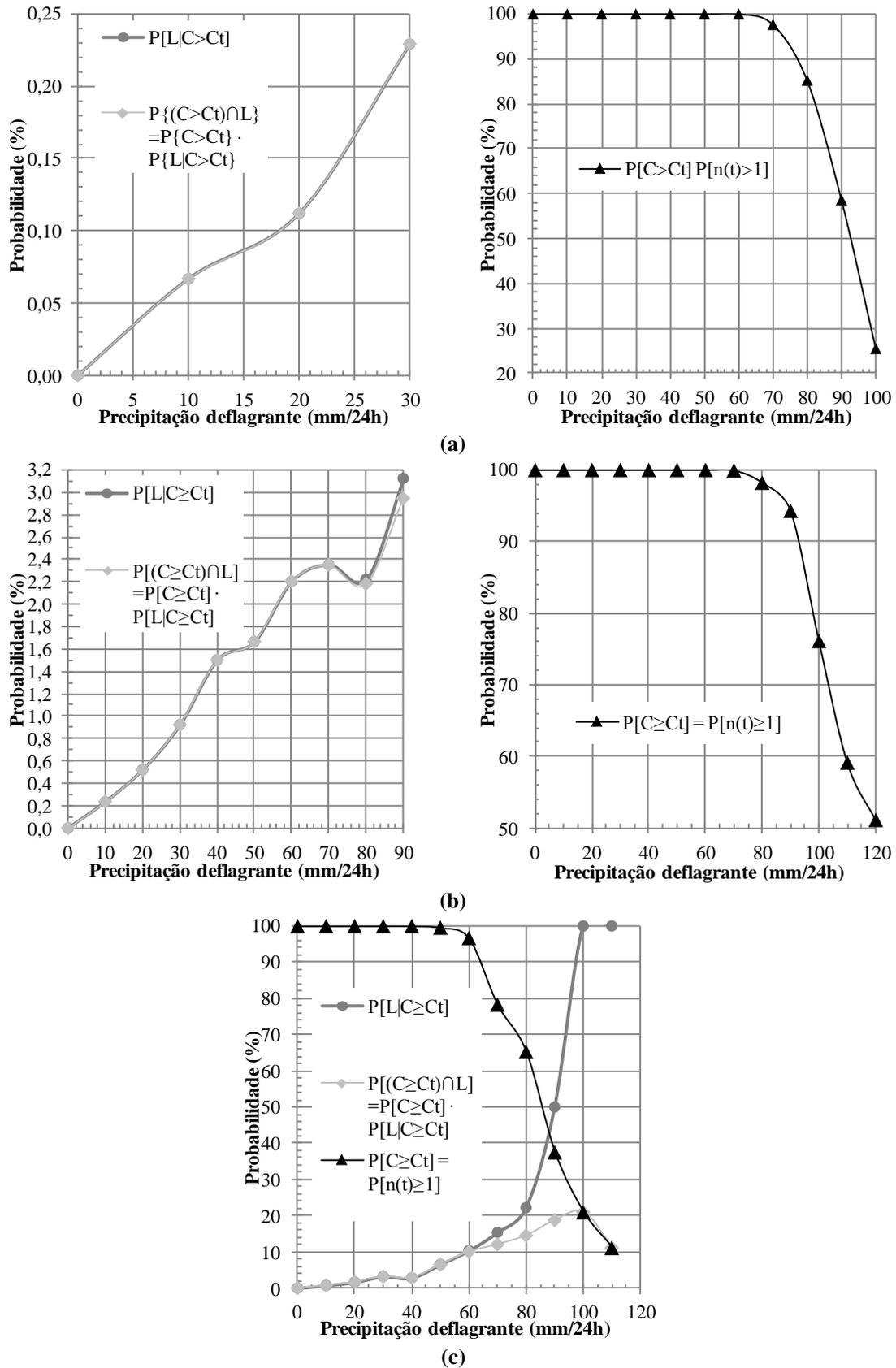


Figura 4.29 – Probabilidades para as estações da ANA: a) Brazlândia (Quadra 18) (01548000); b) ANA Sede (01547032); e c) Brasília Sul-SE (01547024).

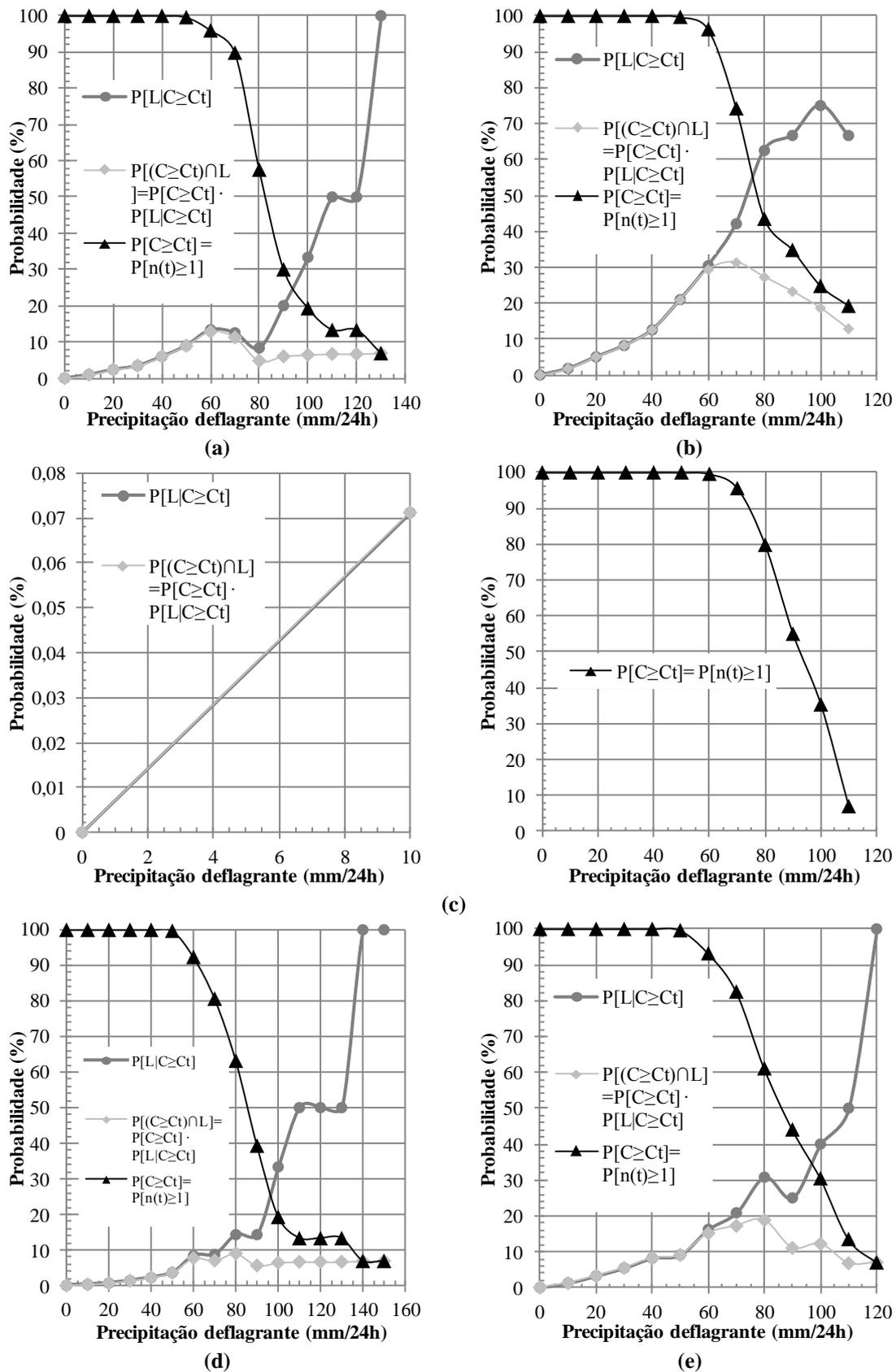


Figura 4.30 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETE Sul (01547008); b) ETE Norte (01547009); c) Área Alfa (01547014); d) ETE Sobradinho (01547015); e) Jockey Club (01547018).

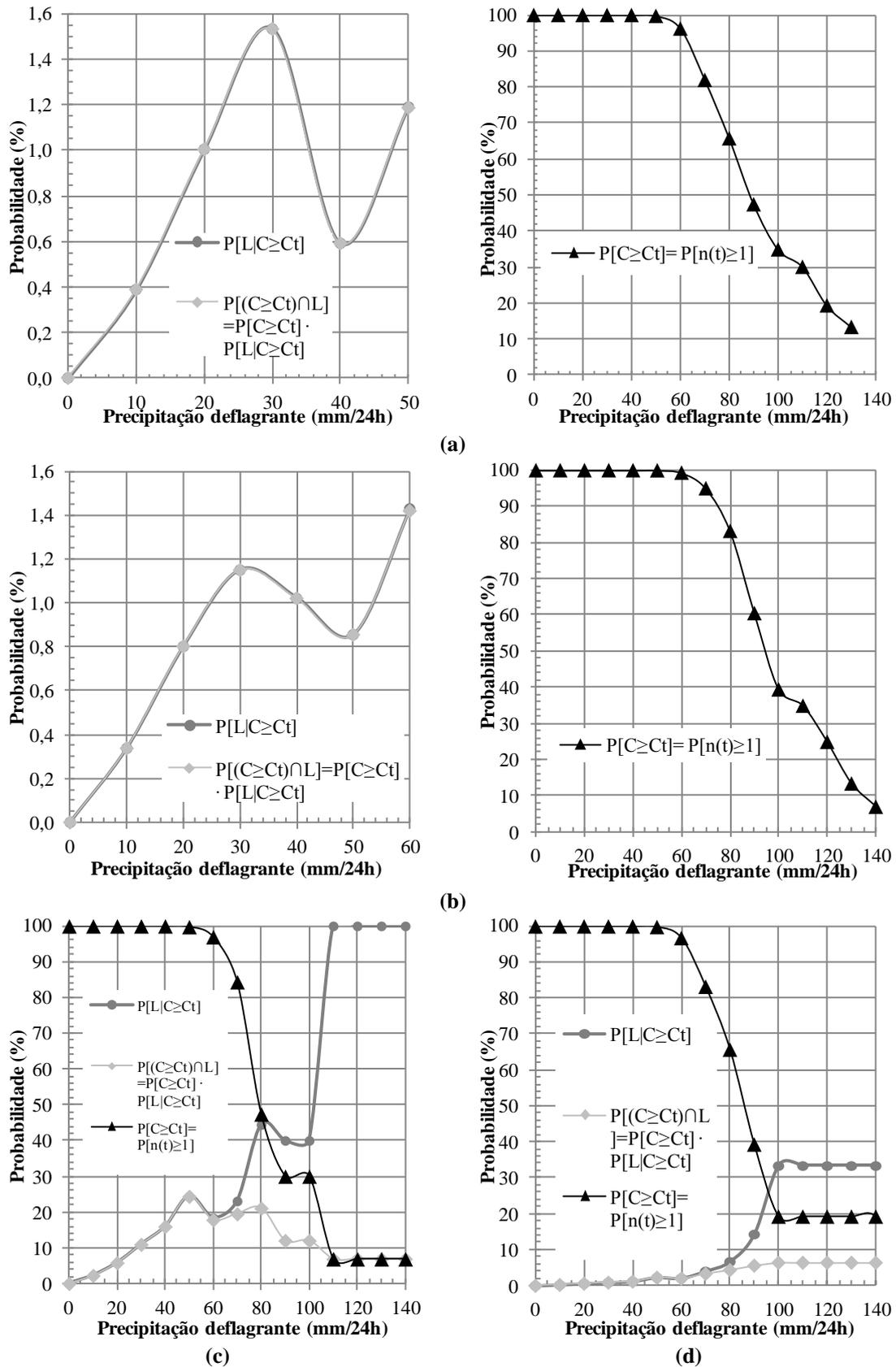


Figura 4.31 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETA Cabeça de Veado (01547019); b) ETE Paranoá (01547020); c) CAESB Hidrologia (01547029); e d) ETE Riacho Fundo GM-3 (01548010).

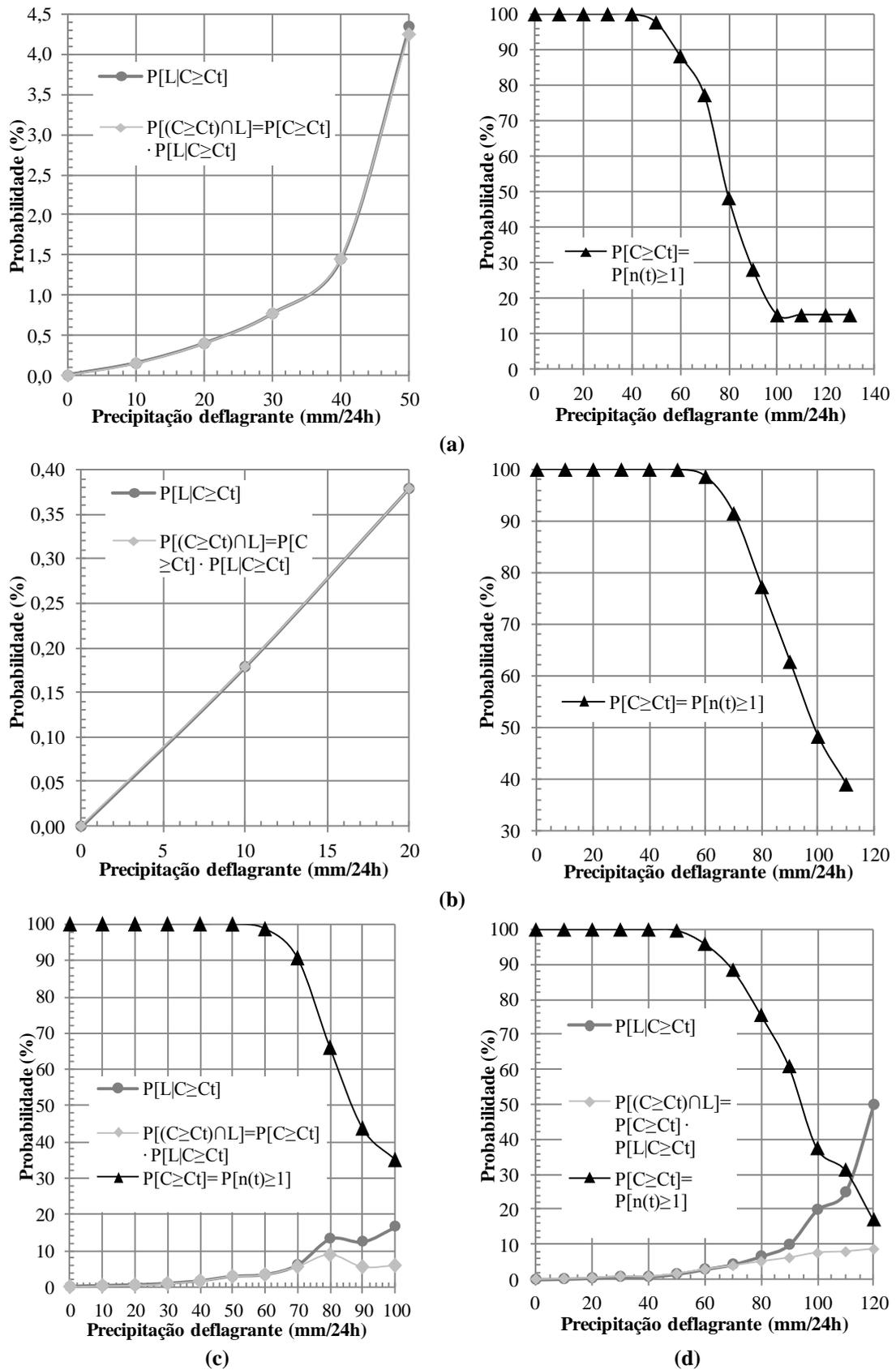


Figura 4.32 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) ETE São Sebastião (01547048); b) ETE Vale do Amanhecer (01547078); c) Contagem (01547010); e d) Colégio Agrícola (01547011).

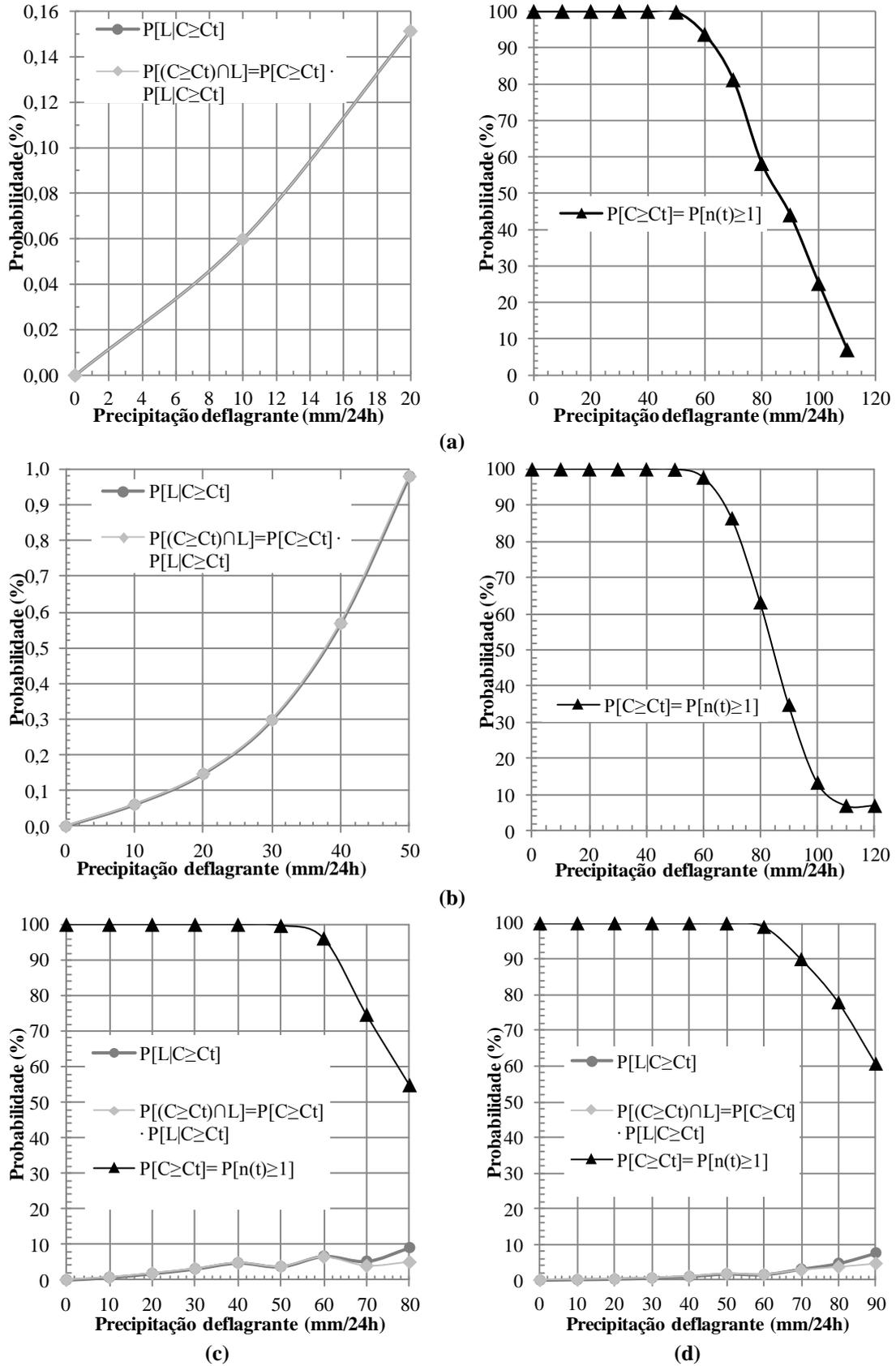


Figura 4.33 – Probabilidades para as estações da CAESB: a) Descoberto (01548008); b) ETA Brazlândia (01548007); c) Taguatinga ETA RD (01548006); e d) Gama ETE Alagado (01548005).

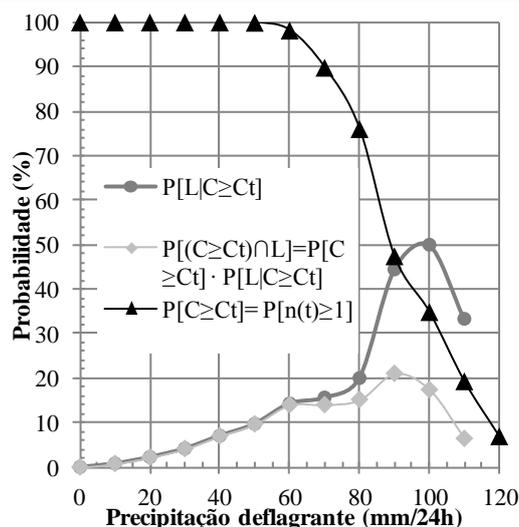


Figura 4.34 – Probabilidades para as estação do INMET Brasília/DF (OMM: 83377) (01547004).

Exemplifica-se uma análise das curvas apresentadas anteriormente como a da ETE Sul (Fig. 4.30a), estação mantida pela CAESB e localizada na Asa Sul de Brasília, especificamente na Estação de Tratamentos de Esgoto Sul, SCES, Avenida das Nações, L4 Sul. A curva da probabilidade dos eventos de precipitação ($P[C > C_i] = P[n(t) \geq 1]$) desse local permanece constante na certeza do acontecimento de uma chuva acumulada até o valor de 40 mm/24h no intervalo de 1 ano. Após isso, a curva decresce sua probabilidade chegando a uma chuva máxima registrada neste posto pluviométrico de cerca de 130 mm/24h e a mesma tem probabilidade de 6,9%.

A curva da probabilidade de alagamentos e inundações ($P[L/(C > C_i)]$), que é crescente, depende da precipitação deflagrante registrada pelo ponto de ocorrência associado à estação pluviométrica. Ao todo 15 pontos de ocorrência foram registrados para essa estação. Logo, choveu apenas uma única vez nessa estação valores entre 120 mm/24h e 130 mm/24h e o inventário apontou que nessa única chuva forte houve alagamentos. Portanto, para essa faixa de chuva a probabilidade de alagar é 100%. Mas, para chuvas de até 10 mm/24 houve também um único registro no inventário de alagamentos, porém a mesma estação, em seu tempo de monitoramento, registrou chuvas que ultrapassaram 10 mm/24h em 1.573 vezes. Ou seja, a probabilidade de uma precipitação deflagrar alagamentos em faixas menores que 10 mm/24h é 0,95%.

Se uma chuva acima de 120 mm/24h pode certamente alagar, a mesma é rara, e se uma chuva menor que 10 mm/24h não alaga, a mesma ocorre corriqueiramente. Agora, as duas

probabilidades multiplicadas resulta no perigo desejado para a confecção da carta geotécnica, selecionando o valor máximo da curva ($P[(C>C_i)\cap L]$) para cada estação pluviométrica, que no caso da ETE Sul o valor é 12,8%.

A mesma interpretação pode ser aludida para qualquer curva de outras estações pluviométricas. A Tab. 4.30 expõe os valores interpolados máximo de perigo para cada estação por meio do método *IDW*. A Fig. 4.35 demonstra a carta de perigo (Apêndice AA) para o DF e, conseqüentemente, para a bacia do rio São Bartolomeu na porção deste estado.

Essa carta de perigo demonstra que a região da Asa Norte de Brasília possui as maiores probabilidades, seguindo uma tendência de valores medianos para as regiões das cidades satélites, como Taguatinga. É perceptível que a não limitação do inventário em regiões fora da área de estudo permitiu uma análise para todo o DF, apesar da interpolação alcançar apenas uma pequena porção da bacia do rio São Bartolomeu e do próprio DF.

Tabela 4.30 – Valores de perigo interpolados para as estações pluviométricas.

Estação pluviométrica	Perigo (%) / ano
ANA Sede	2,94678
Área Alfa	0,07123
Brasília 83377	21,06727
Brasília Sul-SE	20,94521
Brazlândia (Quadra 18)	0,22910
CAESB Hidrologia	24,36595
Colégio Agrícola	8,57324
Contagem	8,79618
Contagem Rua do Mato	23,22578
Descoberto	0,15129
ETA Brazlândia	0,97972
ETA Cabeça de Veado	1,18751
ETE Vale do Amanhecer	0,37879
ETE Norte	31,25894
ETE Paranoá	1,41892
ETE Riacho Fundo GM-3	6,42603
ETE São Sebastião	4,24841
ETE Sobradinho	9,02721
ETE Sul	12,79653
Gama ETE Alagado	4,66845
Jockey Club	18,81023
Mestre d'Armas Jus. DF-230	2,77778
Samambaia DF-280	12,49999
Taguatinga	26,96569
Taguatinga ETA RD	6,40881
Vicente Pires Montante	19,79835

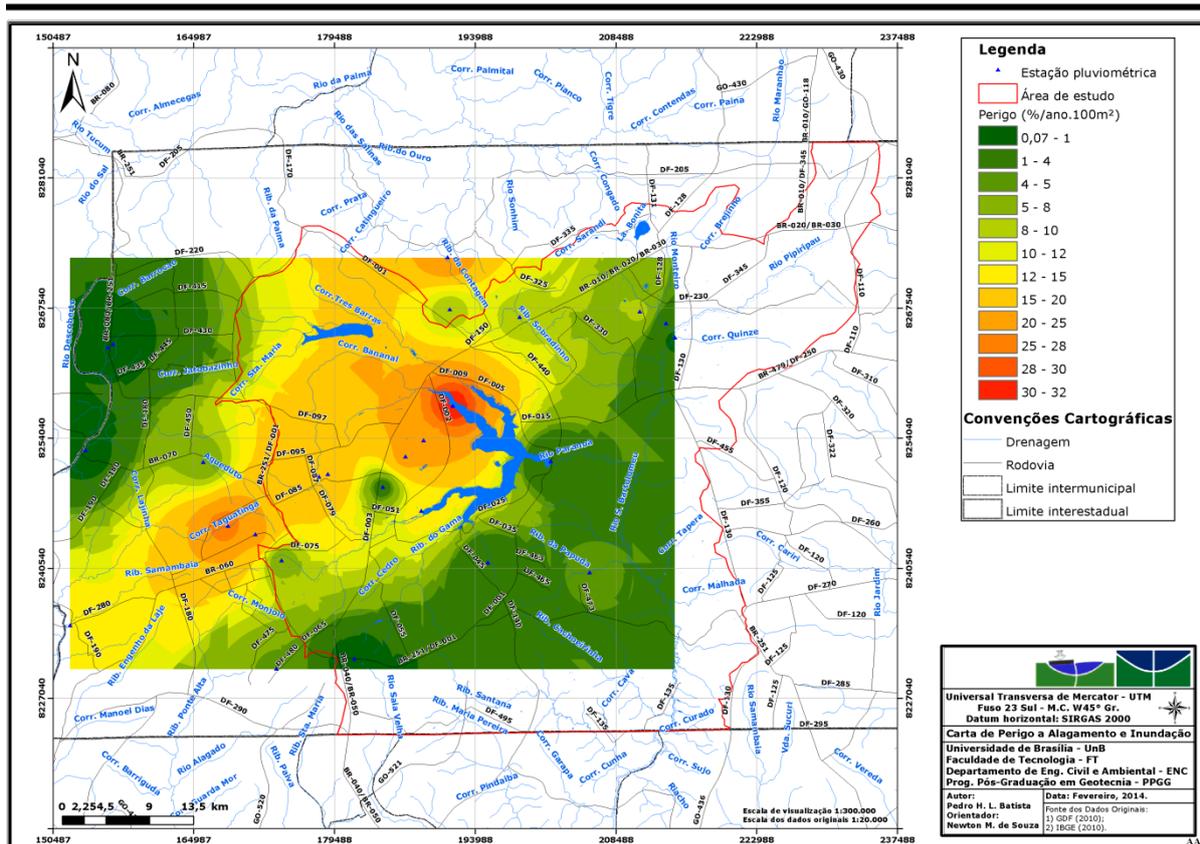


Figura 4.35 – Carta de perigo a alagamentos e inundações para o DF.

4.4 – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE

Ao realizar a comparação pareada entre os atributos hidrológicos do meio físico (Tab. 3.17), sendo todos previamente normalizados (Eq. 3.18), obteve-se a Eq. 4.1 como regra final para aplicação da importância aos 6 cenários descritos na Tab. 3.19. A razão de consistência destas comparações foi de 0,016, menor que 0,10 exigido. Isso resultou nos cenários (C_n) 1 e 2 da Fig. 4.36, 3 e 4 da Fig. 4.37 e 5 e 6 da Fig. 4.38.

$$C_{1..6} = (A_1 \cdot 0,557 + A_2 \cdot 0,320 + A_3 \cdot 0,123) \cdot HAND \quad (4.1)$$

Já a comparação pareada entre os atributos geomorfológicos do meio físico (Tab. 3.18), sendo β previamente normalizado (Eq. 3.18) e FT atribuído pesos (Tab. 3.16), obteve-se a Eq. 4.2 como regra final para aplicação da importância aos 2 cenários descritos na Tab. 3.20, tal que h é o plano de informação hipsométrico (Apêndice K). A razão de consistência destas comparações foi de 0. Isso resultou nos cenários (C_n) 7 e 8 da Fig. 4.39.

$$C_{7..8} = (A_4 \cdot 0,667 + A_5 \cdot 0,333) \cdot h \quad (4.2)$$

Após a obtenção de todos os cenários os mesmos foram operados obtendo sua média ($C_{média}$) (Eq. 4.3) e depois uma média ponderada (Eq. 4.4) (C_{meio}), com importância de 50% para cada grupo de atributos do meio físico.

$$C_{média} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8}{8} \quad (4.3)$$

$$C_{meio} = \left(\frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6}{6} \right) \cdot 0,5 + \left(\frac{C_7 + C_8}{2} \right) \cdot 0,5 \quad (4.4)$$

É importante ressaltar que todos os cenários podem possuir valores numéricos entre 0 e 1 de suscetibilidade, com máximos e mínimos definidos neste intervalo. Para classificar nas 5 classes distintas das cartas de suscetibilidade foi feito um fatiamento equidistribuído de toda a faixa do histograma de frequência. As classes nulas são nuvens não removidas proveniente das cartas de uso e cobertura dos solos. Em geral os cenários possuem alta variabilidade na apresentação visual das classes de zoneamento da suscetibilidade. Quando se trata do primeiro cenário (Fig. 4.36), onde o atributo FDD é o mais importante, as calhas de drenagem ganham destaque excessivo e isso é atenuado, mesmo que pouco, no sexto cenário (Fig. 4.38) ao declarar o *TWI* como o atributo menos importante.

No segundo cenário (Fig. 4.36) o *TWI* é o de maior importância, seguido pelo FDD, logo, as áreas que antes, no 1º cenário, eram vistas como de alta suscetibilidade tornam-se de moderada suscetibilidade pelo fato do FDD está em segunda prioridade. O atributo *TWI* somente consegue descrever zonas de alta e muito alta suscetibilidade quando se faz uma observação próxima às drenagens, em planícies de inundação, ou na própria calha das drenagens superficiais, a mesma situação pode ser vista no 5º cenário (Fig. 4.38).

No terceiro cenário (Fig. 4.37) é nítida a marcação das áreas urbanas como regiões de alta até muito alta suscetibilidade e em todas as áreas com solos do grupo hidrológico D, de baixa infiltrabilidade, foram classificadas com moderada suscetibilidade. Contudo, no quarto cenário (Fig. 4.37) quando o FDD recebe menor importância o *TWI* tende a atenuar essas regiões de moderada suscetibilidade migrando para baixa suscetibilidade. O atributo *Q* engendrado por meio da metodologia *SCS-CN* sintetiza as informações necessárias para definir regiões com diferentes potenciais de infiltração, não apenas em relação ao uso e cobertura dos solos, mas também ao tipo de solo e seu papel hidrogeológico.

O sétimo cenário (Fig. 4.39) destaca todas as planícies de inundação em regiões de baixo declive, principalmente na foz, ao sul da bacia hidrográfica, para onde converge a maior parte do fluxo superficial. As áreas com suscetibilidade muito alta são as calhas de drenagem

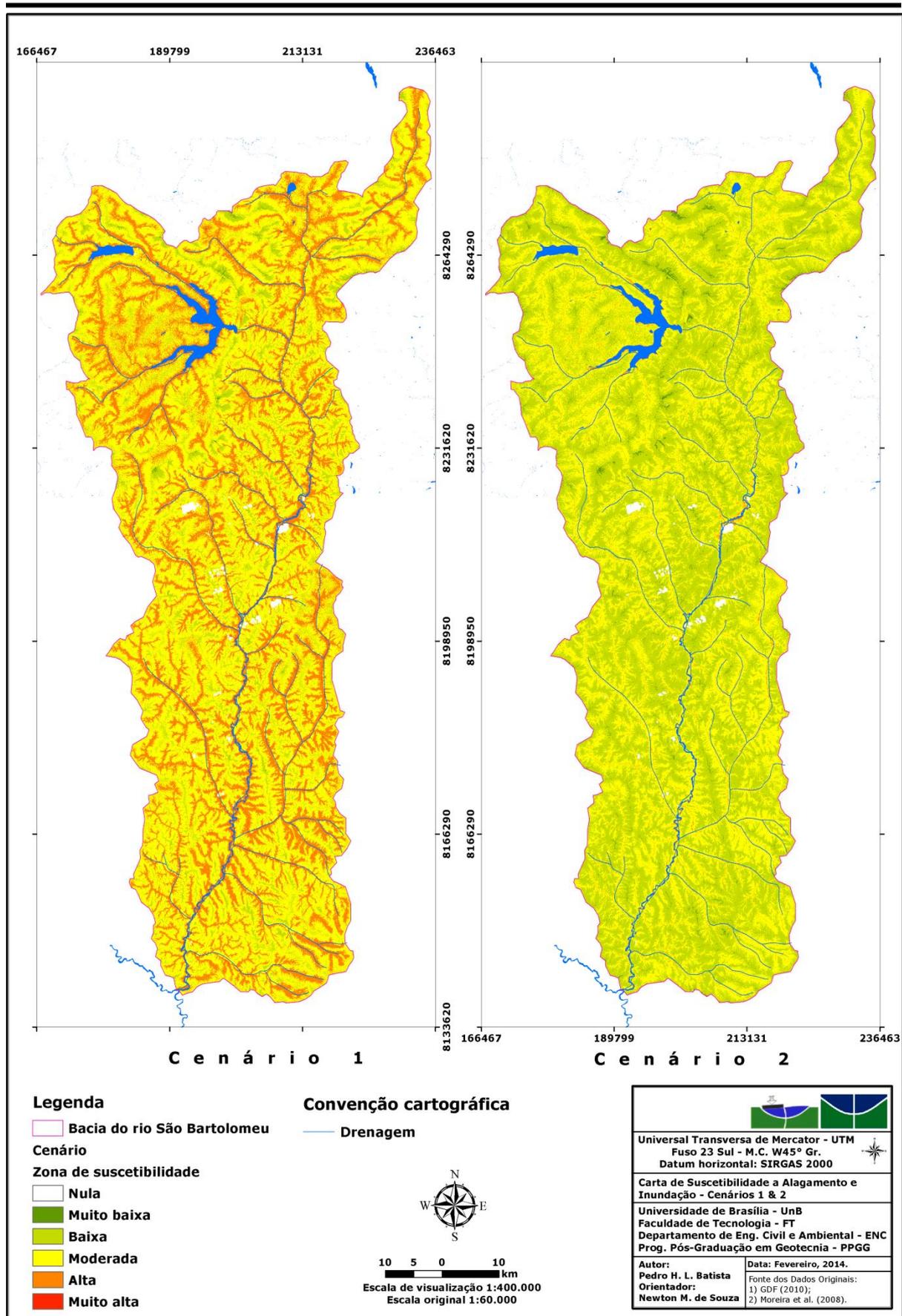


Figura 4.36 – Cenários 1 e 2 de susceptibilidade a alagamento e inundação.

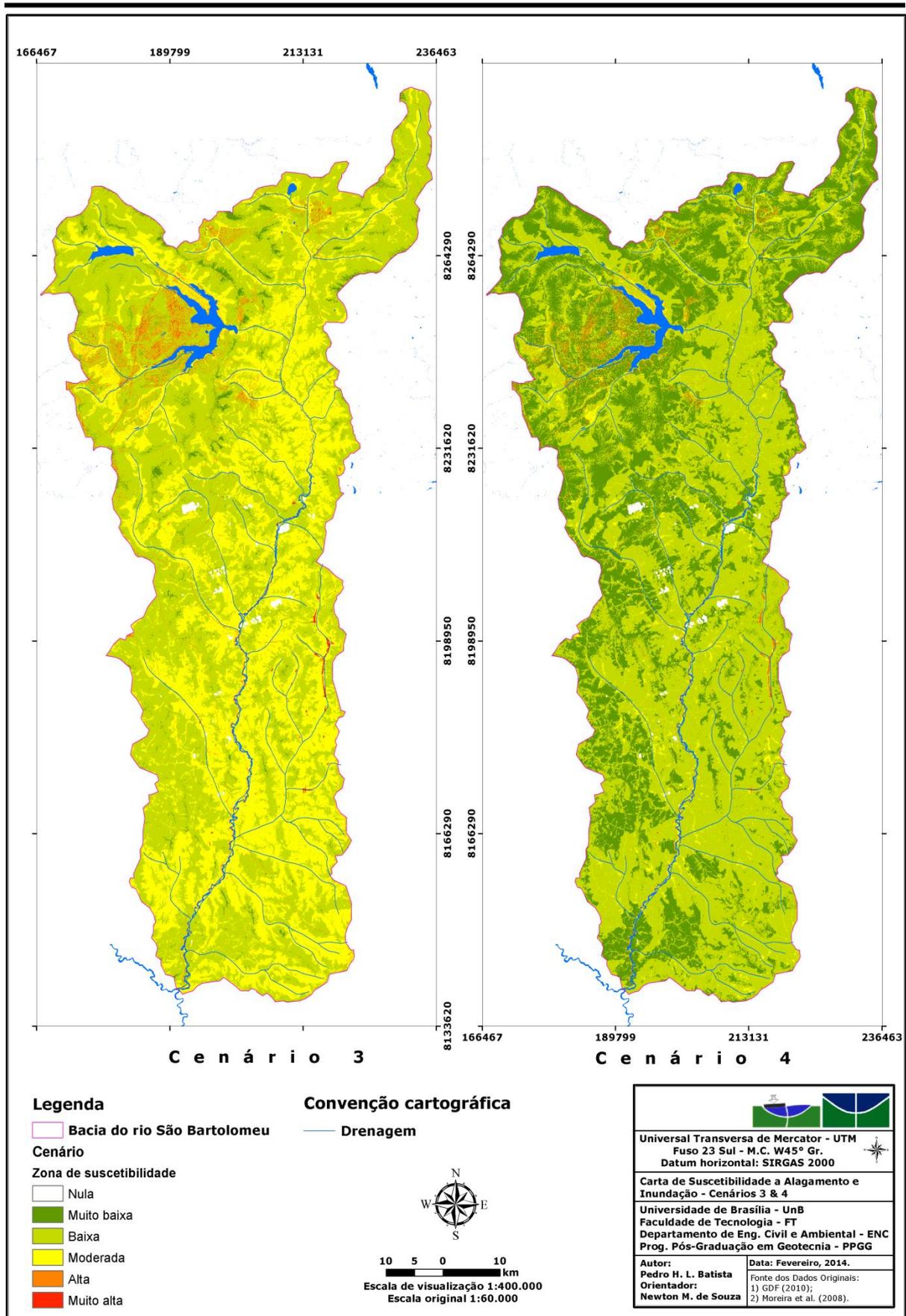


Figura 4.37 – Cenários 3 e 4 de suscetibilidade a alagamento e inundação.

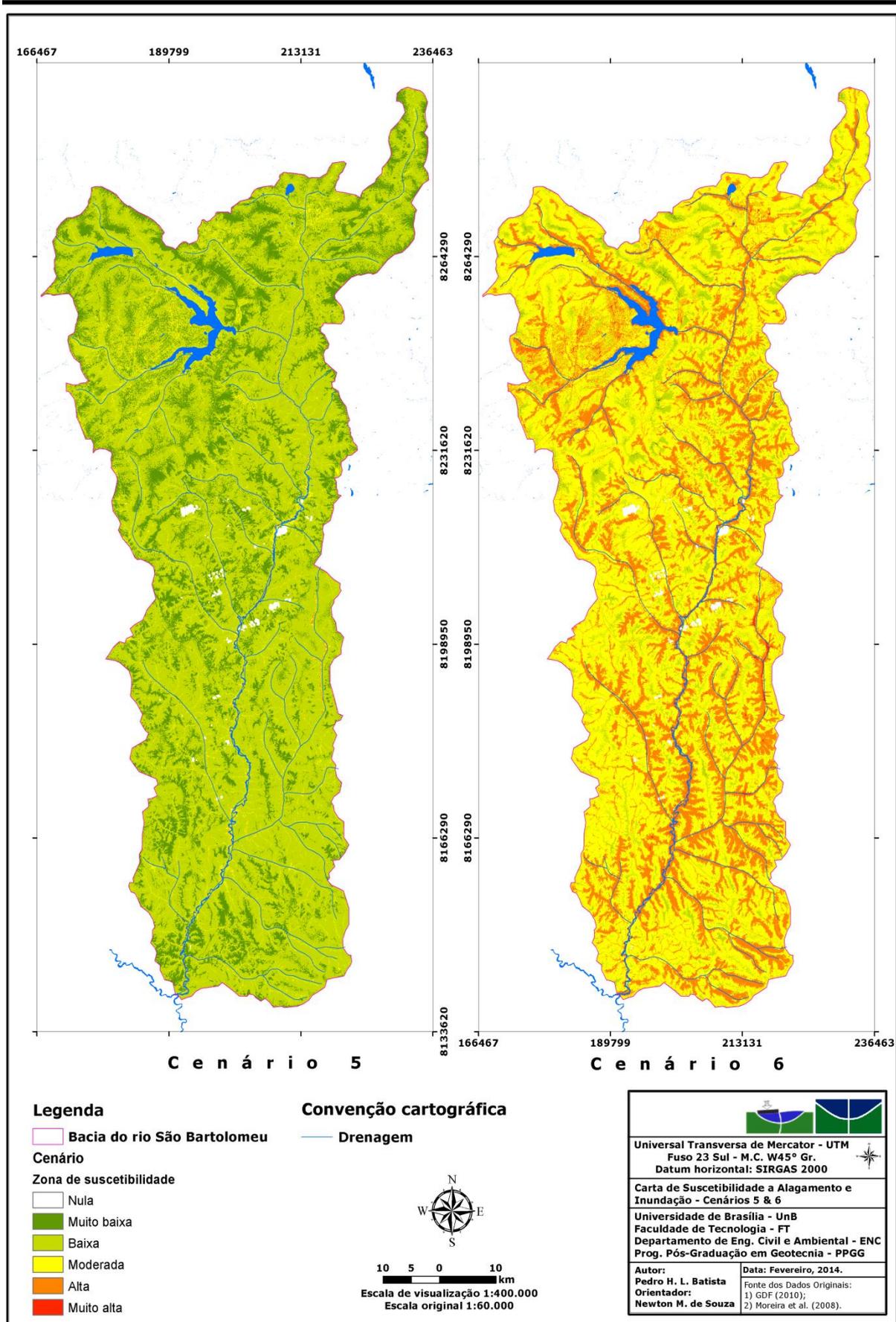


Figura 4.38 – Cenários 5 e 6 de suscetibilidade a alagamento e inundação.

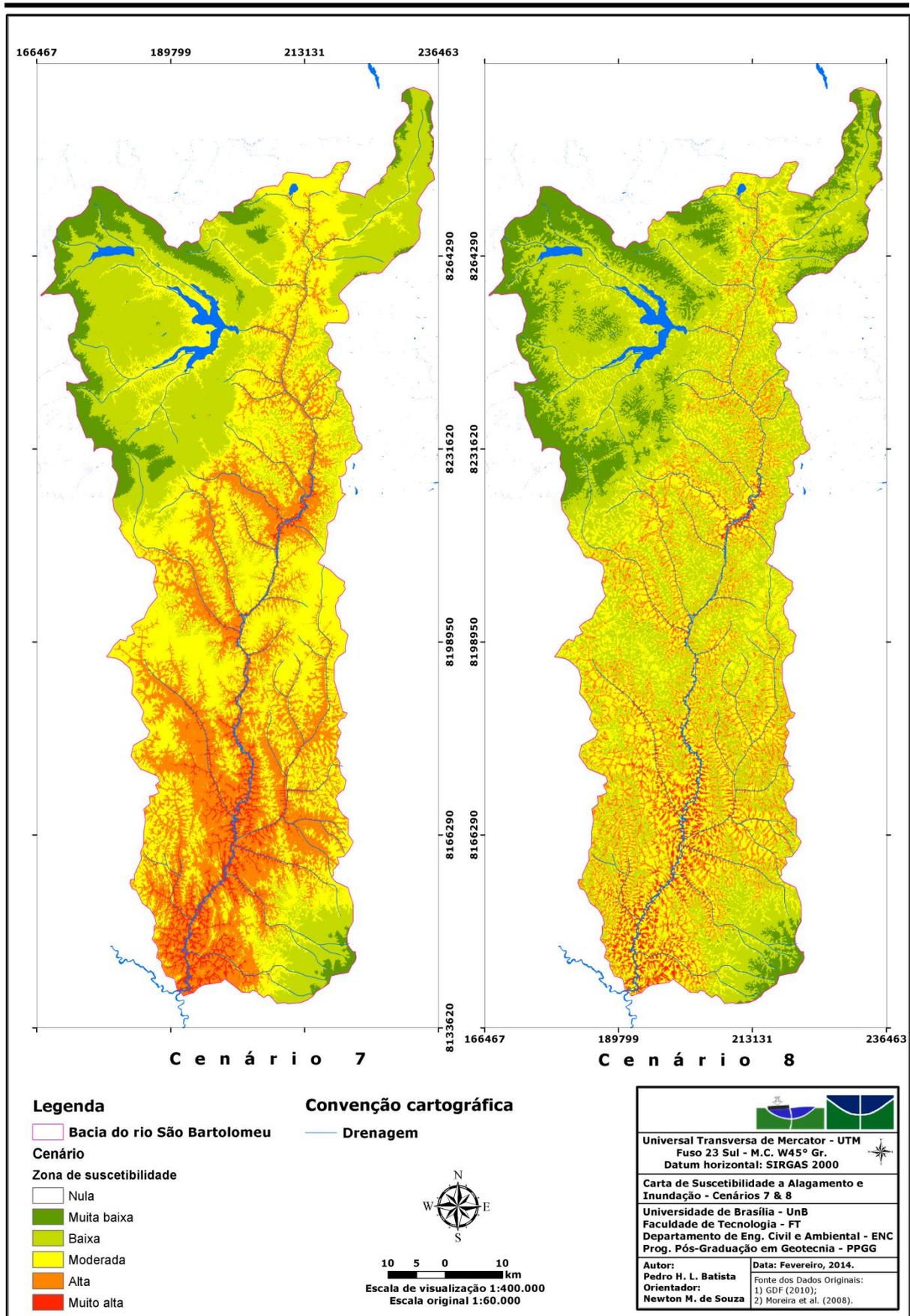


Figura 4.39 – Cenários 7 e 8 de suscetibilidade a alagamento e inundação.

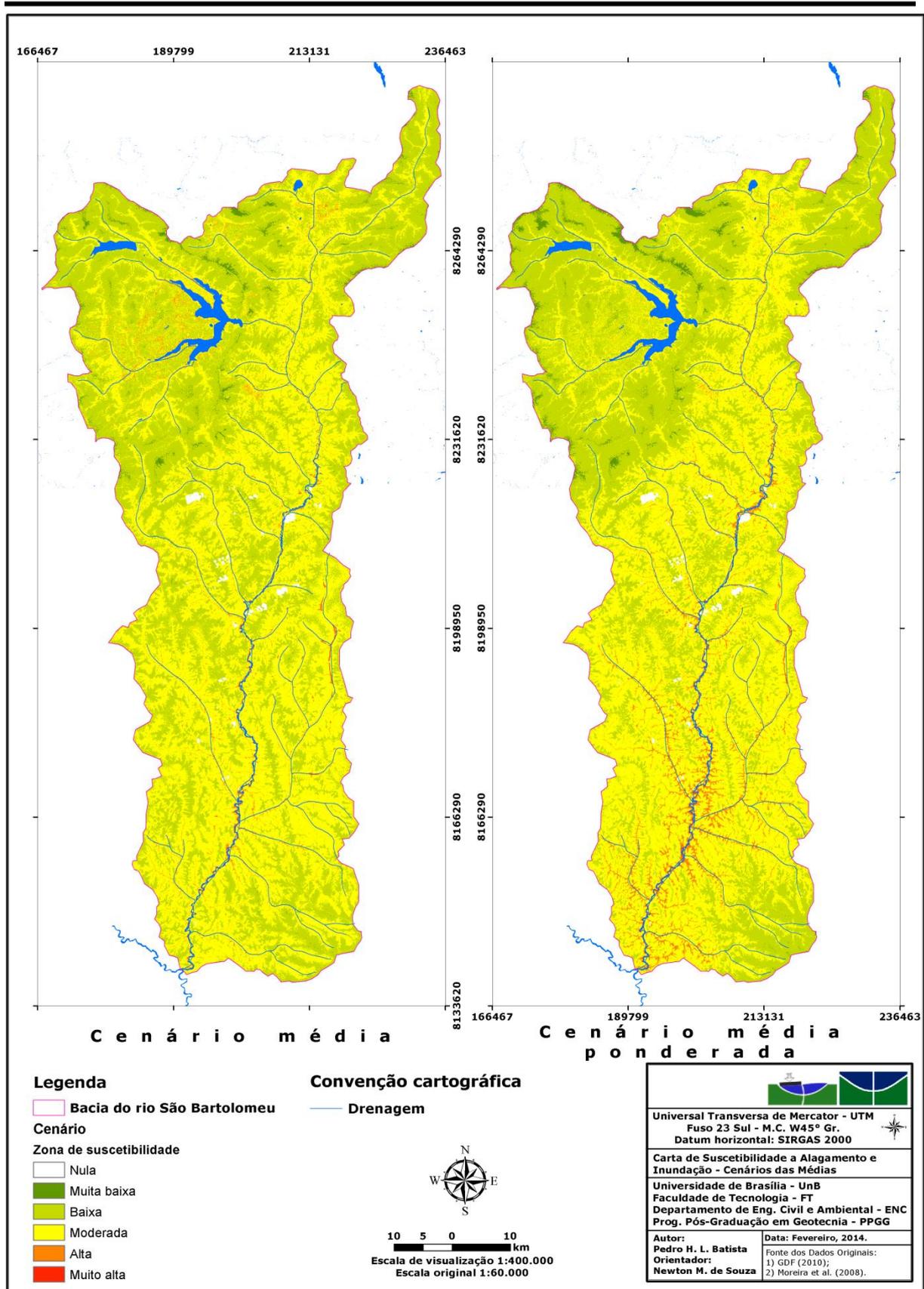


Figura 4.40 – Cenários de média e média ponderada de suscetibilidade a alagamento e inundação.

e formas de vertentes acumuladoras de água, como côncavo-convergente e retilínea-convergente. No oitavo cenário (Fig. 4.39) como regiões de muito alta e alta suscetibilidade aquelas formas de terreno que mais acumulam água e estão presentes nas planícies de inundação, em razão da declividade ser determinada como segundo atributo importante, maior parte dessas planícies tornam-se de moderada suscetibilidade. A hipsometria (h) como fator legal (Eq. 4.2), para que não ocorram áreas de alta suscetibilidade em topos planos, evidencia o planalto central onde a capital foi edificada. São realmente zonas de baixa e muita baixa suscetibilidade, com moderada suscetibilidade em áreas próximas ao Lago Paranoá e em suas drenagens de recarga, como o Riacho Fundo, bem como na região problemática da Asa Norte próximo ao Parque Olhos d'Água.

Por sua vez os cenários da Fig. 4.40 ficaram semelhantes e ambos trazem um excessivo quantitativo de *pixels* classificados em moderada suscetibilidade. Entretanto, o cenário da média ponderada obteve um resultado razoável ao destacar as calhas de drenagens e áreas de planície com maior suscetibilidade.

4.5 – CARTA DE VULNERABILIDADE & CONSEQUÊNCIAS

A análise de vulnerabilidade e consequências resultou em um produto, que dependeu, principalmente, da definição das fragilidades dos elementos em risco (F) e do fator de densidade de ocupação dos polígonos (f). O primeiro é fruto da análise dos danos históricos causados, averiguados por meio do inventário (tópico 4.3) (Fig. 4.41) e o segundo, apesar de exigir trabalho tedioso, foi estabelecido em virtude da topologia dos polígonos dos conjuntos de edificação (Fig. 4.42) (Apêndice AE). A carta de vulnerabilidade e consequências (Apêndice AB) é ilustrada na Fig. 4.43.

A densidade de ocupação dos polígonos (Fig. 4.42) é maior nas cidades mais antigas do DF, como Brasília, São Sebastião, Paranoá, Guará, Sobradinho e Planaltina. Até mesmo nos polígonos de Águas Claras observam-se altos valores de f . As regiões com casas de alto padrão construtivo, como o Park Way, Vicente Pires, Arniqueiras, Lago Sul e Lago Norte não apresentam densidades semelhantes. Exemplo é Vicente Pires que apresenta uma densidade de ocupação alta em relação às demais (maior que 0,5). Arniqueiras e Park Way apresentam valores menores que 0,4, podendo chegar a 0,1, e o Lago Sul e Lago Norte que possuem valores em torno de 0,25 a 0,45.

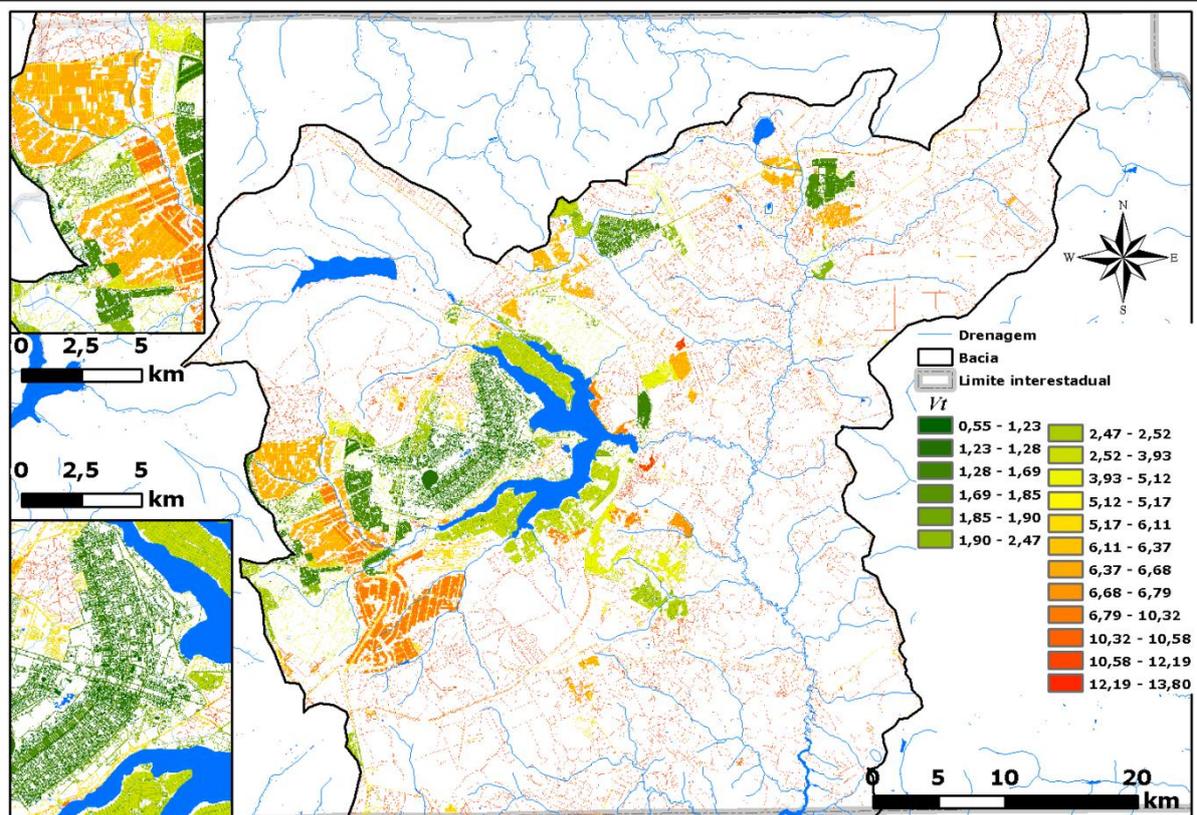


Figura 4.41 – V_t (%) para os diversos elementos em risco.

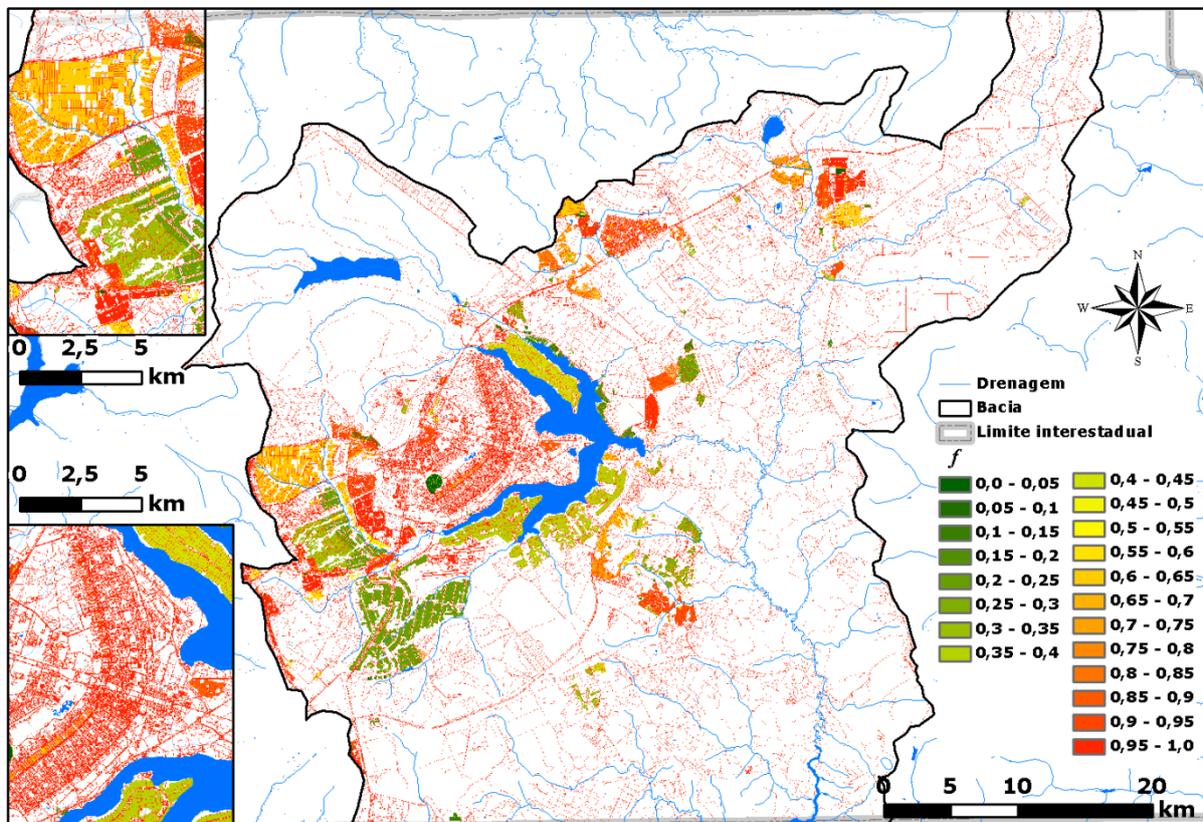


Figura 4.42 – f para os diversos elementos em risco.

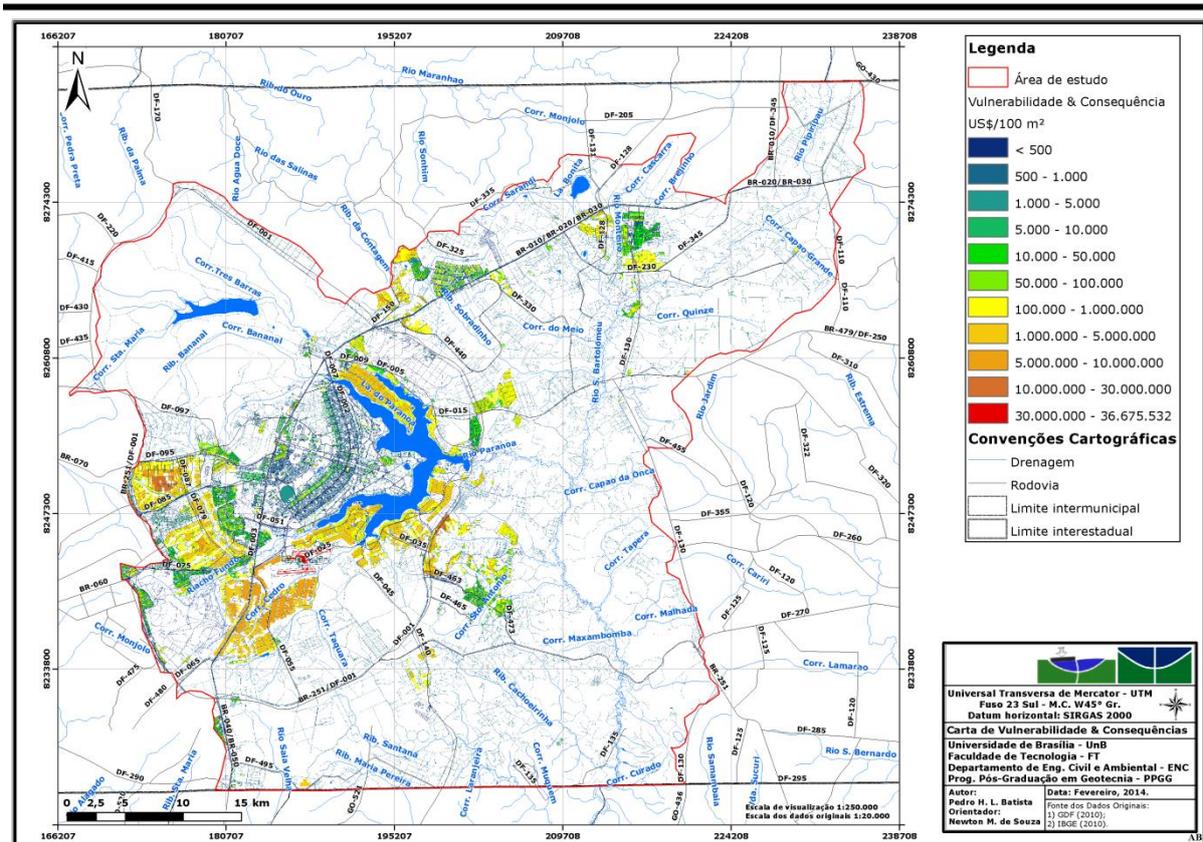


Figura 4.43 – Carta de vulnerabilidade e consequência a alagamento e inundação.

As vulnerabilidades totais (V_t) (Fig. 4.41) demonstram regiões com valores baixos, como o centro de Brasília, que é uma área com sistema de drenagem pluvial implantado e urbana consolidada. Contudo, regiões como Vicente Pires, Park Way e Arniqueiras não possuem sistema de drenagem ou o mesmo é insuficiente a vulnerabilidades apresentadas são altas.

A influência dos valores de V_t e f é aparente na carta da Fig. 4.43, pois as regiões, mesmo que em área urbana consolidada que não possuam sistema de drenagem implantado, como o Park Way, isso reflete em um maior dano. A infraestrutura com o maior valor de dano é o Aeroporto de Brasília (US\$ 36.675.532/100 m²). Também, nas regiões onde os imóveis têm maior valor monetário observam-se os maiores valores de danos possíveis as infraestruturas.

4.6 – CARTA DE RISCO

A carta de risco de total (Fig. 4.44) e anual (Fig. 4.45) resume a multiplicação dos valores dos *pixels* da carta de perigo (Fig. 4.35) e da carta de vulnerabilidade e consequências, ou, simplesmente, o dano (Fig. 4.43), por meio da Eq. 3.25.

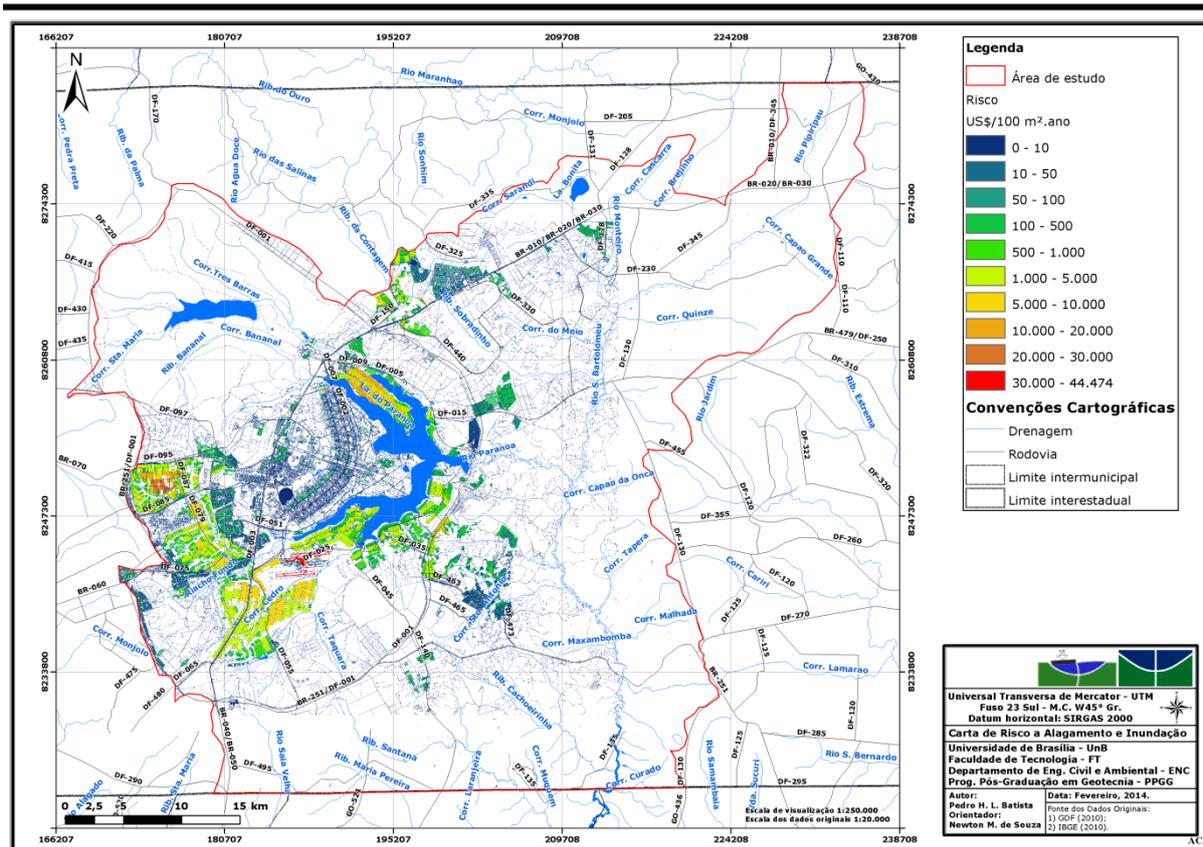


Figura 4.44 – Carta de risco a alagamento e inundação.

São perceptíveis os registros dos maiores valores de risco em regiões com edificações de alto padrão, como no Lago Norte. Mas, isso ocorre uma vez que todas essas regiões estão em área com sistema de drenagem implantado parcialmente ou não implantado, como em Vicente Pires, o que aumenta a vulnerabilidade física dos elementos em risco.

Não é possível afirmar onde há alto ou baixo risco em ambas as cartas, pois não se sabe o montante investido, pelo menos, dos órgãos governamentais para a redução e mitigação dos riscos geológico-geotécnicos de alagamento e inundação.

Por exemplo, no Setor de Inflamáveis do SIA, onde há diversos tanques de combustível, os valores de risco de um dos conjuntos de edificações é cerca de US\$ 230,00/100 m² por ano.

Supondo que os esforços governamentais para limpeza das drenagens pluviais, especificamente próximo a essa região, na coleta dos resíduos sólidos, em campanhas de conscientização para não jogar lixo nas ruas e demais medidas, cheguem ao valor de US\$ 90,00/100 m² por ano. E os esforços das empresas privadas responsáveis pela área quanto à limpeza do local, disponibilidade de equipamentos de proteção, monitoramento e urgência, atendimento e manutenção das obras de segurança exigidas, entre outros, chegue a

US\$ 50,00/100 m² por ano. Logo, o montante total investido representa 60% do risco e isso reduz bruscamente as possibilidades de danos, mesmo que o fenômeno perigoso possa ocorrer, pois diversas medidas de atenuação e mitigação foram tomadas. Ou seja, neste cenário de investimento o risco é baixo.

Entretanto, se os investimentos de ambos *stakeholders* caírem para o patamar de um sexto do referido, o valor investido será cerca de 10%. Nesta situação o risco é alto e semelhante a uma conjuntura onde não há qualquer investimento na mitigação dos riscos. Assim, os atores estariam dispostos a pagar os danos totais sofridos pelo conjunto de infraestruturas, que pode ser muito maior do que o risco anual de US\$ 230,00/100 m², podendo chegar a US\$ 130.000,00/100 m², de acordo com a carta de vulnerabilidade e consequências.

5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo aborda as conclusões e recomendações desta dissertação de mestrado. As conclusões fecham a discussão em torno dos resultados do trabalho, destacando aqueles resultados de maior importância. Cada análise realizada mereceu uma consideração adequada que resume o papel metodológico, a aplicação prática e limitações das abordagens sugeridas. Desse modo, não existem obras perfeitas e acabadas, por isso, as recomendações buscam sugestões para complementar, aprimorar e expandir as aplicações elucidadas neste estudo.

5.1 – CONCLUSÕES

A ciência divide e encapsula as partes, a partir daí entende-se cada porção, para depois serem reunidas como um grande quebra-cabeça e entendidas na sua totalidade. Felizmente esse paradigma é cada vez mais raro nas academias e no meio técnico, em geral, pois problemas complexos, que exigem soluções não euclidianas e nada convencionais, têm surgido no meio da engenharia. Isso resulta em uma miscigenação de teorias que podem ser tratadas em alguns momentos de maneira equivocada, sob o olhar de um determinado ator da ciência, enquanto subjulgado a análises de outrem permanece então claro e evidente.

Assim, a dificuldade em delimitar um campo de atuação específico para essa pesquisa, apesar do seu título estar bem definido e formalmente ser fruto de influências do ramo da engenharia geotécnica e geológica, abre pressupostos interessantes. Ao pesquisar sobre alagamentos, inundações, enxurradas, cheias e enchentes fica claro o domínio do contexto da área de engenharia de recursos hídricos e hidrológicos na produção bibliográfica sobre o tema. A dúvida ainda permanece pelo fato da pouca produção sobre o tema emergindo da geotecnia, independentemente de vários livros de geologia de engenharia citar este fenômeno como algo “geológico-geotécnico”.

O caso em tela expõe uma metodologia prática de trabalho que demanda ações e entendimentos típicos indutivos, da prática da geologia aplicada e geomorfologia, e o raciocínio dedutivo, comum às ciências exatas e as engenharias. Exemplificando, o inventário dos fenômenos é fruto de algo que foi escrito por jornalistas, geralmente pessoas da área de ciências humanas. Portanto, chega-se a interdisciplinaridade “pura”, pois o inventário foi o fundamental meio para as análises de risco. Não é possível facetar e classificar uma área de atuação originária deste estudo, principalmente quando se trata de alagamentos e inundações,

mas apenas sua ciência motivadora e formal nativa da geotecnia. Inclusive a geotecnia tem relegado esforços no estudo de outros riscos de sua competência, como os terremotos, subsidências e colapso de solos, entre outros. Este estudo é interdisciplinar em todo o seu contexto prático e teórico.

Esse é o grande desafio da exigência tecnológica para os problemas complexos da atualidade, exemplificado pelos riscos aqui estudados. Na Idade Média europeia, não se obteve uma visão científica da causa dos incêndios nas cidades, pois era a época de pouco exercício do pensamento crítico e científico. Pensava-se que os incêndios eram castigos do “outro mundo”. Por volta, do século XVII, com uma maior libertação de pensamentos e teorias, descobriu-se que tudo era causado pela má arquitetura e urbanismo das cidades. Mesmo com o desenvolvimento tecnológico apurado falta algo para solucionar “os incêndios” do século XX. Esses “incêndios” são os terremotos, deslizamentos, alagamentos, inundações, raios, vendavais, furacões, explosões indústrias (as mais temerosas são as nucleares), pragas biológicas, entre outros, e até mesmo os incêndios.

O ser humano é uma sociedade de risco, tudo que se faz em vida importa em riscos, e é preciso conviver com isso. Entretanto, o ser humano não precisa estar exposto, nem fisicamente, nem politicamente, como se ordena, as sujeições dos perigos. As inovações tecnológicas não acabarão com as aleatoriedades da natureza, que nada se importa se existem homens e casas sob este planeta. Mas, essas novidades tecnológicas podem trazer o entendimento e atenuar os riscos. Essas inovações em abordagens e técnicas, quando se trata de risco só pode ser conseguida por meio da interdisciplinaridade.

O volume de informações digitais geoespaciais coletadas para a elaboração deste trabalho foi elevado. Isso se deve ao estudo respeitar o pressuposto da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, definido não apenas na motivadora Lei nº 12.608/2012, mas em outros arcabouços da legislação ambiental brasileira. Contudo, o meio técnico ainda produz estudos que conseguem respeitar apenas os limites político-administrativos, por causa de questões econômicas, políticas e técnicas.

As escalas cartográficas dos dados no DF são maiores que aquelas do estado de Goiás, sendo este um limitante técnico para as análises de suscetibilidade, no qual os dados foram adequados e unidos em diferentes escalas. Principalmente na confecção das cartas de uso e cobertura dos solos e dos grupos hidrológicos dos solos foi necessária a adequação de dados geoespaciais em diferentes escalas para obter o plano de informação de escoamento superficial (Q).

Este plano de informação de escoamento superficial (Q) representa de fato a capacidade de infiltração dado as condições de ocupação, uso e cobertura e as características hidrogeológicas dos solos. Além disso, o mesmo mostrou-se satisfatório como um atributo do meio físico para as análises de suscetibilidade.

Quanto à análise de bacias hidrográficas, a geração das áreas de contribuição hidrológica (bacias) por meio da área de fluxo acumulado (D8) gerou limites de bacias intermediárias a um mesmo canal de drenagem e essas podem não possuir efetiva representatividade como uma bacia de drenagem. Também, nos algoritmos automatizados pode haver equívocos, ainda não esclarecidos totalmente, para a violação da lei de distribuição dos canais ou até o esquema de hierarquização de Strahler proporcionar isto. Mesmo as geotecnologias atuais para a geração das áreas de fluxo acumulado, que foram base para a geração das diversas informações básicas, aqui apresentadas como, as áreas de contribuição e drenagens hierarquizadas, podem ter incoerências com leis básicas da geomorfologia. E isso pode ter influenciado também na geração de atributos do meio físico, como o FDD, TWI e o $HAND$ por causa das extrações automatizadas de drenagem pela definição de limiares.

O cálculo dos índices morfométricos (m , RC e R_i) para as áreas de contribuição apresentaram uma semelhança de locais de áreas de contribuição com alto potencial de geração de escoamento e acumulação de águas, justamente em regiões de solos com baixa infiltrabilidade. Essas formas de cálculo destes índices, para as áreas de contribuição, são uma proposta deste trabalho que auxiliou as análises dos dados básicos, caracterização geoambiental do meio físico e nas análises de suscetibilidade.

O MAH como técnica de operação algébrica entre os dados geospaciais para a construção dos cenários de suscetibilidade demonstra um exercício e aplicação adequada para os problemas de alagamento e inundação. Entretanto, a obtenção de uma carta final para o planejamento urbano e tomada de decisão baseada nas análises de suscetibilidade, deve levar em conta uma reclassificação dessas classes em regiões como aptas, aptas com restrições e inaptas para urbanização. Também, novas técnicas na geração desses modelos de suscetibilidade podem ser aplicadas, bem como a rigorosa verificação de campo para estudo profundo de áreas aptas a urbanização.

O uso do atributo TWI não foi satisfatório para a verificação das suscetibilidades, pelo menos visualmente. Ele tende a diminuir a quantidade de *pixels* nos valores extremos dos

planos de informação dos cenários que são classificadas em zonas de suscetibilidade muito alta, alta e moderadas.

O inventário de alagamentos e inundações consumiu cerca de 70% do tempo de trabalho nesta dissertação, devido à leitura dos jornais, a marcação dos pontos no ambiente SIG e sua descrição detalhada e a associação desses pontos a precipitação deflagrante. Importante apontar que o trabalho é fastidioso e artesanal. Algumas matérias jornalísticas não referenciam espacialmente de maneira adequada o local da ocorrência e em outras há carência de detalhamento dos endereços, das quadras, da altura do km da rodovia que foi alagada e da abrangência espacial do evento. Também, informação como a duração das precipitações e o acumulado de chuva daquele momento são constantemente omitidos.

Aqui não se deseja fazer que o jornalista escrevesse um texto técnico, mas a adição de algumas informações poderia ser interessante para enriquecer a matéria e deixar claro ao público leigo e técnico sobre a maneira que se deu o evento. Além disso, as ocorrências são tratadas de modo simples como pontos, apesar desses fenômenos possuírem uma abrangência espacial distribuída, como manchas ou polígonos.

As datas, referentes às ocorrências e eventos, do inventário demonstram o padrão de chuvas no DF (uma estação seca e outra úmida, bem marcadas). A associação destes pontos com atributos do meio físico revelaram as curvaturas de terreno côncavo-convergente, retilínea-convergente e retilínea-planar com maior densidade de pontos, sendo as duas primeiras já, reconhecidamente, feições acumuladoras de água superficial. Contudo, o mesmo não pode ser afirmado para as áreas com altos valores de fluxo acumulado. Esses pontos estão extremamente associados a feições de uso e cobertura dos solos urbanos, por isso não foi possível definir limiares de chuva deflagrante por chuva antecedente (Fig. 4.24).

O meio físico pode contribuir para a acumulação de águas e geração dos escoamentos superficiais, na forma de alagamentos e inundações. Alguns pontos de ocorrência na Asa Norte de Brasília, apesar de estarem em áreas urbanas consolidadas e com alta impermeabilização, possuem um nível freático que impede a infiltração no solo das águas pluviais. Isso é verificado pelas formas do terreno suscetíveis a acumulação de água (convergente) e altos valores de área de fluxo acumulado.

Nestes casos, quando o uso e a ocupação urbana já estão em regiões altamente suscetíveis e convertidas em risco instalado, poucas medidas estruturais, como uma boa manutenção do sistema de drenagem pluvial, podem solucionar a alta recorrência das

ameaças. Assim, medidas não estruturais podem ser mais adequadas, como construções à prova dos alagamentos e inundações, seguros financeiros e sistemas de alerta.

O meio físico tem relevante importância na geração de alagamentos e inundações. Entretanto, a forma de apropriação antrópica deste meio pode ser a principal causa da ocorrência destas ameaças em regiões onde há pouca ou moderada contribuição dos atributos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidrológicos. Isso explica a elevada densidade de pontos de ocorrência do inventário nas áreas urbanas do DF, que em sua maioria são cidades, que tinham em suas décadas juvenis, zelo ao planejamento urbano adequado. Todavia, com o passar do tempo, percebe-se que as galerias de drenagem pluvial, com manutenção escassa, a impermeabilização do solo e o uso e ocupação do solo impróprio influenciam, em sua maior parte, a ocorrência dos desastres e fenômenos indesejados.

Fica clara, também observando o inventário, uma concentração de pontos de ocorrência no centro de Brasília. Talvez por ser custoso para os jornalistas “apurarem mais de perto” ocorrências em cidades satélites distantes, como no Gama.

Os pontos de ocorrência, em sua maioria, estão distantes das drenagens para afirmar que o fenômeno mapeado seja de inundação, em poucos pontos foi possível verificar “realmente” inundação. Teoricamente é perceptível, em uma pequena revisão bibliográfica, a confusão de termos alagamento, inundação, enxurradas, cheias e enchentes. Na prática e teoria deste trabalho é possível perceber quando um acaba e o outro pode começar, somente observando o campo “DD_SICAD” do inventário (Fig. 4.20).

Quanto às análises de perigo demonstram, de uma forma geral, que os eventos extremos de precipitação tem baixa frequência, maiores intervalos de tempo de retorno e tem um alto potencial para acarretar em danos causados por alagamentos e inundações. Já os eventos de precipitação de pequena intensidade ou quantidade acumulada tem alta frequência, menores intervalos de tempo de retorno e tem baixo potencial para causar danos ou afetar os elementos em risco. O método aqui de análise de perigo propõe justamente fazer uma adaptação das metodologias de análises de perigo de deslizamento para, principalmente, os alagamentos.

Na estimativa dos danos as determinações do fator f são uma boa medida da taxa de ocupação dos lotes das áreas urbanas podendo servir para aplicações de outros usuários de geotecnologias. Além disso, modelos determinísticos de base física para a análise da fragilidade estrutural dos elementos em risco acometidos por um fenômeno qualquer, de toda a sorte, é a melhor ferramenta para análise de riscos geotécnicos de maneira precisa. Contudo,

os mesmos precisam de muitos parâmetros, que muitas vezes podem ser obtidos somente por retroanálises e simulações experimentais de laboratório. Em regiões como no DF e em grande parte do Brasil a disponibilidade de dados para alimentar esses modelos é quase nula.

Isso, porém, não justifica a inércia no investimento em práticas de análise de riscos geotécnicos coerentes e de resultados estimados de qualidade. Neste estudo, essa justificativa norteou a adoção de todos os critérios anteriores para as análises de vulnerabilidade e consequência, que mesmo carregando uma subjetividade e empirismo racional, consegue ser explicada logicamente. Além do mais, ela pode ser reproduzida de maneira simples, não apenas na região de estudo, e é aceita como uma estimativa apropriada.

Essa dissertação traz uma estimativa do risco de maneira racional, didática e aplicável principalmente aos problemas de alagamento, em áreas urbanas, utilizando a teoria mais atual em análise de risco geotécnico auxiliado por ferramentas de geoprocessamento. Ultrapassam-se com essa metodologia proposta os limites de insuficiência de dados oficiais e de campo para chegar a análises complexas. Além disso, as cartas de risco, principalmente o risco anual, podem ser utilizadas como boa estimativa por tomadores de decisão.

A evidente diferença entre risco, suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade, consequências (danos e prejuízos em geral) fica exemplificada na prática destas metodologias propostas. A mesma pode ser aplicada para as demais áreas urbanas do País, principalmente, aquelas que sofrem por alagamentos, cumprindo seu papel no âmbito da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

5.2 – RECOMENDAÇÕES

- Explorar o método *SCS-CN*, modificando o valor 45,5 mm/24h adotado como a precipitação pluviométrica, da Eq. 3.15, para diferentes planos de informação de Q verificando a variabilidade dos histogramas de frequência deste com a modificação no volume precipitado.
- Podem-se realizar tabulações cruzadas entre os planos de informação dos índices geomorfométricos (m , RC e R_t) e as cartas básicas para verificação prática da relação entre seus valores numéricos e as qualidades das classes dos atributos correlacionados, como por exemplo, com os tipos de solo.
- Sugere-se a operação booleana entre os cenários de suscetibilidade, demonstrados neste estudo, para geração de uma carta final de suscetibilidade a alagamento e inundação,

considerando as seguintes regras principais, nesta ordem: (i) se 5 ou mais cenários apresentarem zonas de alta e muito alta suscetibilidade essas devem ser classificadas como de alta suscetibilidade, (ii) se 5 ou mais cenários apresentarem zonas de baixa e muito baixa suscetibilidade essas devem ser classificadas como baixa suscetibilidade e (iii) as zonas restantes devem ser classificadas como de moderada suscetibilidade. Visando a tomada de decisão as zonas de alta suscetibilidade são reclassificadas como inaptas, as zonas de baixa suscetibilidade como aptas e as moderadas como aptas com restrições de uso urbanístico. As áreas aptas e aptas com restrições devem ser verificadas em campo para o reconhecimento de processos geodinâmicos nessas regiões.

- Recomenda-se a construção de um novo cenário de alagamento e inundação utilizando o MAH em uma matriz de comparação pareada com mais atributos e na seguinte ordem de importância de decrescente: β , FT, Q e FDD. Na equação final dos cenários deve-se multiplicar pelo *HAND* e/ou a hipsometria (h).
- É necessária a aplicação de análises de incertezas quanto aos modelos de suscetibilidade. Isso é visto com muita clareza nos trabalhos de Fernández & Lutz (2010) quanto à propagação de erros dos atributos de terreno de entrada, por meio da aplicação do método de propagação de erros da série de Taylor (erros de truncamento), e também para análise dos erros do modelo final, verificando quanto cada atributo tem de responsabilidade na incerteza, por meio dos métodos Monte Carlo e *FAST* (*Fourier Amplitude Sensitivity Test*) para análises de sensibilidade das incertezas.
- Sugere-se aos jornalistas que cobrem matérias sobre desastres, principalmente quanto a alagamentos e inundações inserir alguns ou todos esses elementos no seu texto, somente quando permitido ou possível: (i) localização precisa, com uso de logradouro, e abrangência espacial da(s) ocorrência(s); (ii) citar a cota d'água estimada do local alagado ou inundado; (iii) exemplificar os danos aos elementos em risco, com clareza, observados no momento do evento, especialmente se valores monetários puderem ser citados; (iv) coletar informações, por meio de entrevistas, quanto à duração do evento de precipitação pluviométrica; (v) coletar informações de estações meteorológicas próximas a ocorrência apurada, com o órgão responsável, e sempre cita-las na unidade métrica adequada para chuva (mm/h, mm/dia ou mm/s) (lembrando que 1 mm de chuva é igual a 1 L de água por m², uma vez que 1.000.000 mm³ corresponde a 1 L de água e 1.000.000 mm² é 1 m², são 1.000.000 mm³ chovendo em 1.000.000 mm² de área, que dá uma altura de 1 mm de chuva); e (vi) limitar-se ao uso dos termos risco, alagamento, deslizamento, erosão, colapso

e prejuízos para facilitar o entendimento de todos os leitores, desprezando aqueles que sabidamente são conceitualmente diferentes para somente o ramo técnico, não agregando em nada para a leitura do leigo.

- Realizar estudo profundo aplicando testes de hipótese estatística e análises *kernel* para a separação dos grupos de pontos de ocorrência (Fig. 4.24), conforme características dos atributos geoambientais da região que influenciam ou não os alagamentos e inundações, para a definição de limiares de chuva para o DF.
- Manter o inventário de alagamento e inundações para o DF atualizado a cada 8 anos, utilizando a mesma metodologia aqui empregada, e ao completar 30 anos de inventário avaliar novamente sua relação estatística com os atributos do meio físico, as precipitações deflagrantes e antecedentes e o padrão de acontecimento de eventos e ocorrências.
- Sugere-se ao atualizar o inventário fazer o mesmo para as cartas de perigo e risco, pois podem ocorrer mudanças no padrão espacial da carta de perigo. Também, deve-se utilizar o inventário para derivar novas análises de perigo, por exemplo, por meio da aplicação de redes neurais artificiais.
- Deve-se aplicar a metodologia de análise de perigo em cidades que possuam jornal de grande circulação acessível, para embasar o inventário, e, de preferência, que sejam mais influenciadas por inundações para contrapor os resultados deste estudo. E em conjunto devem-se realizar análises do escoamento superficial em rios e canais pelas equações de conservação de massa e quantidade de movimento (equações de Saint-Venant), definindo o tempo de retorno das linhas de limite de cota de inundação.
- Para definir melhor as consequências ou perdas potenciais (C_m), quando infraestruturas são atingidas por alagamentos e inundações, sugere-se elaboração de questionários e visitas aos locais do DF onde houve ocorrências, buscando acessar valores de danos, orientado teoricamente por métodos de valoração econômica e da curva nível-prejuízo (Tucci, 2004a).
- Sugere-se melhorar a definição das fragilidades (F) dos elementos estruturais, que embasam o cálculo da vulnerabilidade (V_i), por meio da análise do padrão das construções, desenvolvendo nova metodologia, com verificações de campo e até auxiliado pelo *Google Street View*© na visita a locais atingidos anteriormente por alagamentos e inundações destacados no inventário do DF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, L.S. (2002). Caracterização geológica-geotécnica do solo de Laulane para fundações de edifícios. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 195 p.

ACSELRAD, H. (2006). Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. *In: Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações, Sociais, Econômicas e Territoriais*, 2, Rio de Janeiro, RJ, 2006. Anais... Rio de Janeiro, RJ, IBGE, 2006. 5 p.

AGÊNCIA GOIANA DE MEIO AMBIENTE (AGMA). (2006). Mapa de Vegetação - Determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação. Goiânia, GO, Imagem/WWF-Brasil/Embrapa/IBGE/SGM-GO/SIC-GO, Escala 1:250.000, Formato digital. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2010). Sistema de Informações Hidrológicas Versão 1.2 (Compilação 1.2.1.280). Brasília, DF, ANA, 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 31 ago. 2012.

_____. (2009). Implementação do enquadramento em bacias hidrográficas no Brasil; Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH: arquitetura computacional e sistêmica. Brasília, DF, ANA, 2009. [Caderno de Recursos Hídricos 6].

ALMEIDA, L., RESENDE, L., RODRIGUES, A.P. & CAMPOS, J.E.G. (2006). Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia, GO, SIC/SGM, n. 1, 236 p.

ANG, A. H-S. & TANG, W. H. (1975). Probability Concepts in Engineering Planning and Design. New York, US, John Wiley & Sons, Inc., v. I, p. 114-120.

BARBOSA, F.L.R. (2012). Metodologia de delimitação das unidades hidrográficas no âmbito do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 134 p.

BARRETO, R. (2008). Identificação de áreas suscetíveis a eventos extremos de chuva no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 162 p.

BATISTA, P.H.L., JESUS, A.S., MENDES, M.J.A., SOUZA, N.M. & CARVALHO, J.C. (2012a). Análises de cenários de suscetibilidade a inundações e alagamentos. *In: CARVALHO, J.C., GITIRANA Jr. & CARVALHO, E.T.L. (Org.). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais*. Brasília, DF, 1 ed., p. 183-205.

_____. (2012b). Metodologia de mapeamento do uso e cobertura do solo aplicado à cartografia geotécnica: estudo de caso em Anápolis/GO. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16, Foz do Iguaçu, PR, 2012. Anais... São José dos Campos, SP, MCT/INPE, p. 1045-1052.

BEAVIS, F. C. (1985). Engineering geology. Blackwell Scientific Publications, Melbourne, AUS, 1 v., 231 p.

BELL, F.G. (2007). *Engineering Geology*. Oxford, UK, Elsevier Butterworth-Heinemann, 581 p.

_____. (1999). *Geological Hazards: Their Assessment, Avoidance and Mitigation*. New York, US, E & FN Spon an Imprint of Routledge, 632 p.

BEVEN, K.J. & KIRKBY, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24, 1 ed., p. 43-69.

BRASIL. (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), e dá outras providências. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF, 11 abr. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 02 ago. 2012.

BRESSANI, L.A. (2013). Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS. *In: Reunião Técnica - A Cartografia Geotécnica como Prevenção de Desastres Naturais - Balanço dos Trabalhos em Andamento*, nov. 2013. Brasília, DF, Ministério das Cidades/UFRGS, 78 slides, color, 2013.

BRITISH GEOLOGICAL SOCIETY. (1972). The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 5, p. 297-367.

BURROUGH, P.A. & McDONNELL, R.A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford, England. 333 p.

CÂMARA, G., DAVIS, C. & MONTEIRO, A.M.V. (org.). (2001). *Introdução a Ciência da Geoinformação*. MCT/INPE [INPE-10506-RPQ/249], São José dos Campos, SP, 345 p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso: 14 mar. 2009.

CÂMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M., GARRIDO, J. & IT, F.M. (1996). Spring: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modeling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403.

CAMPOS, J.E.G. (2010). Meio Físico. *In: Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal*. Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano (Sedhab), vol. II, Subproduto 3.1, 2010. Disponível em: <<http://www.zee-df.com.br/>>. Acesso em: 01 abr. 2012.

CARVALHO, C.S. (1998). Risco geotécnico em favelas. *In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 11, Brasília, DF, 1998. Anais... Brasília, DF, ABMS, v. 4, p. 123-141.

CARVALHO, C.S., MACEDO, E.S. & OGURA, A.T. (Org.). (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasília, DF, Min. das Cidades/IPT, 176 p.

CARVALHO, P.S.R. (2012). *Estudo da propagação de ondas de cheia no ribeirão José Pereira, em Itajubá, utilizando o HEC-RAS*. Dissertação de Mestrado [em Meio Ambiente e Recursos Hídricos], Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 107 p.

- CASCINI, L. (2009). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scale. *Engineering Geology*, v. 102, p. 164-177.
- CASTRO, C.M., PEIXOTO, M.N.O. & RIO, G.A.P. (2005). Riscos ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. Rio de Janeiro, RJ, Anuário do Instituto de Geociências, 2005. v. 28-2, p. 11-30.
- CERRI, L.E.S. & AMARAL, C. P. (1998). Riscos Geológicos. *In: Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo, SP, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p. 301-310.*
- CHIDAMBARATHANU, N. & RETNAN, R. (2013). Vulnerability of reinforced concrete structures subjected to flood. *In: PETRUCCI, O. (Ed.). Natural disasters: multifaceted aspects in management and impact assessment, InTech, Chapter 1, p. 1-30.*
- CHORLEY, R.J. (1969). The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. *In: CHORLEY, R.J. (Ed.). Introduction to fluvial processes. Suffolk, UK, Richard Clay (The Chaucer Press) Ltd., Methuen & Co Ltd., 1 reprint, p. 30-51.*
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. & MAYS, L.W. (1988). *Applied Hydrology. New York, USA, McGraw-Hill, 1988. 572 p.*
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). *Geomorfologia. São Paulo, SP, Ed. Edgard Blücher, 1980. p. 1-127.*
- _____. (1999). *Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo, SP, Edgard Blücher, 1 ed., 4 reimp., 236 p.*
- COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (CODEPLAN). (1976). *Projeto do sistema cartográfico do Distrito Federal - SICAD. Brasília, DF, GDF/Codeplan, 213 p.*
- COOK, A. & MERWADE, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, v. 377, p. 131-142.
- DEARMAN, W.R. (1991). *Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd., London, UK, v. 1, 137 p.*
- DINIZ, N.C. (2012). Cartografia Geotécnica por Classificação de Unidades de Terreno e Avaliação de Suscetibilidade e Aptidão. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, SP, v. 2, n. 1, p. 29-77.*
- DUTTA, D., HERATH, S. & MUSIAKE, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, n. 277, p. 24-49.
- EMERGENCY EVENTS DATABASE (EM-DAT). (2012). *EM-DAT: The Office of U.S. Foreign Disaster Assistance (OFDA) and Center for Research on the Epidemiology of*

Disaster (CRED) International Disaster Database. Brussels, BE, Université Catholique de Louvain. Disponível em: <<http://www.emdat.be>>. Acesso em: 06 set. 2012.

EINSTEIN, H.H. (1996). Risk and Risk Analysis in Rock Engineering. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 11, n. 2, p. 141-155.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (2009). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, RJ, CNPS/Embrapa, 2 ed., 421 p.

ESKESEN, S.D., TENBORG, P., KAMPMANN, J., VEICHERTS, T.H. (2004). Guidelines for tunneling risk management: International Tunnelling Association, Working Group n° 2. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 9, p. 217-237.

FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E. & SAVAGE, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard, and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, v. 102, p. 85-98.

FELL, R., HO, K.K.S., LACASSE, S. & LEROI, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. *In: HUNGR, O., FELL, R., COUTURE, R. & EBERHARDT, E. (Ed.). Landslide Risk Management*. London, UK, A.A. Balkema Publishers (Taylor & Francis Group plc), Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. 31 mai. - 3 jun., 2005. Vancouver (CA). (State of the Art Papers #1), p. 3-25.

FERNANDES, F.M. (2008). Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial do trecho KM 215 ao 249 da Rodovia Marechal Rondon - SP - 300. Dissertação de Mestrado [em Geociências e Meio Ambiente], Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 200 p.

FERNÁNDEZ, D.S. & LUTZ, M.A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, v. 111, p. 90-98.

FRAGA, T.C., NADAL, C.A. & GIUSTI, D.A. (2003). Uma aplicação do reconhecimento automatizado de redes de drenagem utilizando modelo digital de terreno. *In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, 3, Curitiba, PR, 2003. Anais... Curitiba, PR, UFPR, v.1, 6 p.

FREITAS-SILVA, F.H. & CAMPOS, J.E.G. (1998). Geologia do Distrito Federal. *In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília, DF, Governo do Distrito Federal (GDF/SEMATEC/IEMA/UnB), cap. 1, 52 p.

FORKUOR, G. & MAATHUIS, B. (2012). Comparison of SRTM and ASTER derived elevation models over two regions in Ghana – implications for hydrological and environmental modeling. *In: PIACENTINI, T. (Ed.). Studies on environmental and applied geomorphology*. Rijeka, HRV, InTech, p. 219-240.

FORMIGA, K.T.M., SEIBT, A.C., CASTRO, T.G. & BERNARDES, R.S. (2012). A infiltração e o escoamento superficial. *In: CARVALHO, J.C., GITIRANA Jr., G.F.N. &*

CARVALHO, E.T.L. (Org.). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília, DF, FT/UnB, Série Geotecnia – UnB, v. 4, p. 101-116.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL (FBB) (2008). Diagnóstico socioeconômico e ambiental da bacia do rio São Bartolomeu. Brasília, DF, Funatura/FBB, Relatório final, 100 p.

GHARARI, S., HRACHOWITZ, M., FENICIA, F. & SAVENIJE, H.H.G. (2011). Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment. *Hydrology and Earth System Sciences (HESS)*, v. 15, 3275-3291.

GRUBER, S. & PECKHAM, S. (2009). Land-surface parameters and objects in hydrology. *In: HENGL, T. & REUTER, H.I. (Ed.). Geomorphometry. Amsterdam, NL, Elsevier B.V., Developments in soil science, v. 33, 1 ed., p. 171-194.*

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (GDF). (2010). Mapa índice articulação SICAD 1:10.000 – SIRGAS. Secretária de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano (SEDHAB/DF), Brasília, DF, Escala 1:10.000. Formato digital. Disponível em: <http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index2.htm>. Acesso em: 01 ago. 2010.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (GDF). (2008). Plano diretor de drenagem urbana do Distrito Federal: relatório de produto 2. Brasília, DF, Concremat Engenharia, GDF/NOVACAP, v. 4, T.01/03, 157 p.

GONÇALVES, T.D. (2007). Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão de recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado [em Geociências], Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, DF, 88 p.

GRIFFITHS, J.S. (2002). Mapping and Engineering Geology: Introduction. London, UK, Geological Society, Key Issues in Earth Sciences, v. 1, p. 1-5.

_____. (2001). Engineering geological mapping. London, UK, Geological Society, Engineering Geology Special Publications, v. 18, p. 39-42.

GUERRA, A.T & GUERRA, A.J.T. (2008). Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro, RJ, Ed. Bertrand Brasil Ltda., 6 ed., 652 p.

GUHA-SAPIR, D. & LECHAT, M.F. (1986). The Impact of Natural Disasters: A brief analysis of characteristics and trends. *Journal of the World Association of Emergency and Disaster Medicine, Wisconsin, USA*, v. 2, n. 1-4, p. 221-223.

GUHA-SAPIR, D., VOS, F., BELOW, R., & PONSERRE, S. (2012). Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends. Brussels, BE, Université Catholique de Louvain, Center for Research on the Epidemiology of Disaster (CRED), 52 p.

HAWKESBURY-NEPEAN FLOODPLAIN MANAGEMENT STEERING COMMITTEE (HNFMSC) (2006). Reducing vulnerability of buildings to flood damage: guidance on building in flood prone areas. Parramatta, AU, HNFMSC/CSIRO, 162 p.

HERWIJNEN, M. & JANSSEN, R. (2001). Evaluation methods to support the comparison of maps for environmental decision making. *In*: HALLS, P.J. (Ed.). Spatial information and the environment. London, UK, Taylor & Francis, Innovations in GIS 8, p. 263-275.

HORN, B.K.P. (1981). Hill shading and the reflectance map. *Proceeding of the IEEE*, 69 vol., n. 1, p. 13-47.

HUNTER, N.M., BATES, P.D., HORRITT, M.S. & WILSON, M.D. (2007). Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: a review. *Geomorphology*, v. 90, p. 208-225.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2012). Projeto Base Contínua Escala 1:100.000 do Estado de Goiás e Distrito Federal. Rio de Janeiro, RJ, DGC/CCAR/IBGE, JAXA, Escala 1:100.000, Formato digital. Disponível em: <<ftp://ftp.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 06 set. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) (2010a). Distância vertical à drenagem mais próxima. Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE), Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade, Variáveis Ambientais para a Modelagem de Distribuição de Espécies (AmbData). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>>. Acesso em: 18 ago. 2012.

_____. (INPE) (2010b). TerraView 4.1.0. São José dos Campos, SP, INPE, 2010. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/terraview>. Acesso em: 31 jul. 2012.

INFANTI Jr., N. & FORNASARI FILHO, N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. *In*: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, SP, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p. 131-152.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG). (1976). Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris, FRA, the Unesco Press, v. 15, 79 p.

JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O. (1988). Extracting topographic structures from digital elevation data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600.

JAISSWAL, P. & van WESTEN, C.J. (2009). Rainfall-based temporal probability for landslide initiation along transportation routes in Southern India. *In*: MALET, J.P., REMAITRE, A. & BOGAARD, T. (ed.) (2009). Landslide processes: from geomorphologic mapping to dynamic modelling. *Proceedings of the landslide processes conference*. European Centre on Geomorphological Hazards (CERG), Strasbourg, France, p. 139-143.

JONKMAN, S.N., BOČKARJOVA, M., KOK, M. & BERNARDINI, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics*, n. 66, p. 77-90.

KRAVCHENKO, A. (1998). Aerofotointerpretação. (polígrafo). Goiânia, GO, Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de Agronomia, 1998. 125 p.

- KELMAN, I. (2002). Physical flood vulnerability of residential properties in Coastal, Eastern England. PhD Dissertation [Risk in the Built Environment], Department of Architecture, University of Cambridge, Cambridge, UK, 324 p.
- KELMAN, I. & SPENCE, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, v. 73, p. 297-309.
- _____. (2003). A flood failure flowchart for buildings. *Municipal Engineer* 156, ed. ME3, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, p. 207-214.
- LATRUBESSE, E.M. & CARVALHO, T.M. (2006). Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. *Goiânia, GO, SIC/SGM*, n. 2, 132 p.
- LAWRENCE, C.J. (1972). Terrain evaluation in West Malaysia Part 1. Terrain classification and survey methods. Berkshire, UK, Depart. of Environment/TRRL, LR 506, 36 p.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc., 4 ed., 1994. 724 p.
- LOLLO, J.A. (1995). O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. Tese de Doutorado [em Geotecnia], Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, SP, 267 p.
- LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J. & RHIND, D.W. (2005). Geographical information system and science. London, UK, John Wiley & Sons Ltd., 2 ed., 537 p.
- MALAGODI, C.C. & PELOGGIA, A.U.G. (2013). Análise de vulnerabilidade aplicada à Gestão de Recursos Hídricos: estudo de um assentamento urbano na planície do Rio Tietê no município de São Paulo (SP). *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 13, Rio de Janeiro, RJ, 2013. Anais... Rio de Janeiro, RJ, ABGE, 10 p.
- MARCELINO, E.V. (2008). Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria, RS, CSR/INPE, Caderno didático nº 1, INPE-15208-PUD/193, 40 p.
- MARCELINO, E.V., NUNES, L.H. & KOBİYAMA, M. (2006). Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, MG, v. 6, n. 19, p. 130-149.
- MARTINI Jr., L.C. (1995). Comunicação de riscos tecnológicos ambientais. *Revista Produção*, São Paulo, SP, ABEPRO, v. 5, n. 2, p. 135-143.
- MARTINS, E.S. & BAPTISTA, G.M.M. (1998). Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília, DF, Governo do Distrito Federal (GDF/SEMATEC/IEMA/UnB), cap. 1, 52 p.

- MEIRELLES, M.S.P., MOREIRA, F.R. & CÂMARA, G. (2007). Técnicas de inferência espacial. *In*: MEIRELLES, M.S.P., CÂMARA, G. & ALMEIDA, C.M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, p. 105-189.
- MILLER, V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage-basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. USA, 3 ed., Technical report, Columbia University, Dept. of Geology, U.S. Office of Naval Research Geography Branch, 51 p.
- MOREIRA, M.L.O., MORETON, L.C., ARAÚJO, V.A., LACERDA FILHO, J.V. & COSTA, H.F. (2008). *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Escala 1:500.000. Goiânia, GO, CPRM/SIC/FUNMINERAL, 2008, 143 p.
- NELSON, A., REUTER, H.I. & GESSLER, P. (2009). DEM Production Methods and Sources. *In*: HENGL, T. & REUTER, H. I. (Ed.). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam, NL, Developments in Soil Science, c. 3, v. 33, Elsevier B.V., 65-85 p.
- NETTO, S.P. & FLOR, H.M. (1972). Carta florestal do Distrito Federal 1972. Brasília, DF, GDF/FZDF/UFPR, 1972. 1 mapa, color, 841 mm x 1189 mm. Escala 1:155.000.
- NIKOLAKOPOULOS, K.G., KAMARATAKIS, E.K. & CHRYSOULAKIS, N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, n. 21, p. 4819-4838.
- NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNET, M., RENNÓ C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., WATERLOO, M. & SALESKA, S. (2011). Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, v. 404, p. 13-29.
- NOVAES PINTO, M. (1994) Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. *In*: NOVAES PINTO, M. (org). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília, DF, Editora UnB. 2ª ed. p. 285-320. 1994.
- NOVO, E.M.L.M. (2008) *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, SP, Ed. Blucher, 3 ed., 2008. p. 1-10, 217-339.
- OLIVEIRA, A. M. S. & CORRÊA FILHO, D. (1996). Ensaio de permeabilidade em solos orientações para sua execução no campo. São Paulo, SP, ABGE, nº 4, 3 ed., 34 p.
- O'CALLAGHAN, J.F. & MARK, D.M. (1984). The extraction of drainage network from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, v. 28, issue 3, p. 323-344.
- REATTO, A., MARTINS, E.S., FARIAS, M.F.R., SILVA, A.V. & CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina, DF, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Cerrados, Documentos 120, 1 ed., 29 p.

- RENNÓ, C.D. & SOARES, J.V. (2003). Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11, Belo Horizonte, MG, 2003. Anais... São José dos Campos, SP, INPE, p. 2579-2588.
- RENNÓ, C.D., NOBRE, A.D., CUARTA, L.A., SOARES, J.V., HODNETT, M.G., TOMASELLA, J. & WATERLOO, M.J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3469-3481.
- RICHARDS, J.A. & JIA, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Berlin, DE, Springer-Verlag, 4. ed.. 454 p.
- RIGHI, E. & ROBAINA, L.E.S. (2012). Risco à inundação no médio curso do Rio Uruguai: estudo de caso no município de São Borja/RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, nº 3, p. 279-286.
- RODRÍGUEZ, E., MORRIS, C.S., BELZ, J.E., CHAPIN, E.C., MARTIN, J.M., DAFFER, W. & HENSLEY, S. (2005). An assessment of the SRTM topographic products. Pasadena, CA, USA, Jet Propulsion Laboratory (JPL), Technical Report JPL D-31639, 143 p.
- ROMÃO, A.P. (2006). Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas – região de Goiânia – GO. Tese de doutorado [em Geotecnia], Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 166 p.
- ROMÃO, P.A. & SOUZA, N.M. (2004). Informações morfométricas na compartimentação do terreno - Goiânia (GO). *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, São Carlos, SP, 2004. Anais... São Carlos, SP, ABGE, p. 41-50.
- ROQUE, W.V. (2006). Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus – AM. Dissertação de mestrado [em Geotecnia], Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 179 p.
- ROSS, J.L.S. (2006). Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. *In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro, RJ, Bertrand Brasil, p. 291 – 336.
- _____. (1995). Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, v. 9, p. 65-75.
- SAATY, T.L. (1991). *Método de análise hierárquica*. São Paulo, SP: McGraw-Hill. 367 p.
- SAATY, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, issue 3, p. 234-281.
- SALOMÃO, F.X.T. & ANTUNES, F.S. (1998). Solos. *In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia*. São Paulo, SP, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p. 87-99.

SANTOS, K.R. (2010). Distribuição espacial das inundações em Goiânia (GO) e análise desse fenômeno na bacia do Córrego Pedreira. Dissertação de Mestrado [em Geografia - Natureza e Produção do Espaço], IESA/UFG, 2010. 100 p.

SAUSEN, T.M. & NARVAES, I.S. (2013). Desastres naturais e geotecnologias: Inundação. Santa Maria, RS, CRS/INPE, Caderno didático nº 7, INPE-17155-PUD/199, 38 p.

SARTORI, A., LOMBARDI NETO, F. & GENOVEZ, A.M. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solos dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v. 10, n. 4, p. 5-18.

SECRETÁRIA DE FAZENDA DO ESTADO DO GOIÁS (SEFAZ-GO). (2007). Mapa de pivôs centrais existentes no Estado de Goiás e Distrito Federal, no ano de 2006. Goiânia, GO, Geaf/Sefaz-GO, Escala 1:250.000, Formato digital. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

SHOENEBERGER, P.J. & WYSOCKI, D.A. (Ed.). (2008). Geomorphic description system. Lincoln, NE, USA, NRCS, NSSC, USDA, v. 4.1, 73 p.

SINGH, V.P. & WOOLHISER, D.A. (2002). Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of Hydrologic Engineering, v. 7, n. 4, p. 270-292.

SILVA, J.X. (2007). Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. In: MEIRELLES, M.S.P., CÂMARA, G. & ALMEIDA, C.M. (Ed.). Geomática: modelos e aplicações ambientais. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, p. 23-53.

SLATER, A.C. (1963). Geologia para engenheiros. São Paulo, SP, Editora LEP S.A., v. 2, cap. 1, p. 11-23.

SOBREIRA, F.G. & SOUZA, L.A. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, SP, v. 2, n. 1, p. 79-97.

SOULE, J.M. (1980). Engineering Geological Mapping and Potential Geologic Hazards in Colorado. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n. 21, p. 121-131.

SOUZA, M.T. & CAMPOS, J.E.G. (2001). O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do DF. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, MG, v. 54, n. 3, p. 191-198.

SUPERINTENDÊNCIA DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO DO GOIÁS (SGM-GO). (2007). Mapa de pivôs centrais existentes no Estado de Goiás e Distrito Federal, no ano de 2001 e 2003. Goiânia, GO, SGM-GO/SIC-GO, Escala 1:250.000, Formato digital. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

_____. (2005). Mapa de Solos 1:250.000 - Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba. Goiânia, GO, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Ruralminas, SGM-GO/SIC-GO, Escala

1:250.000, Formato digital. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

TARBOTON, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, v. 33, n. 2, p. 309-319.

TARBOTON, D.G. & MOHAMMED, I.N. (2013). Quick start guide to using TauDEM ArcGIS Toolbox. Logan, UT, USA, Utah State University, Water Research Lab., Department of Civil and Environmental Engineering, Software manual, 37 p.

TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL) (1978). Terrain evaluation for highway engineering and transport planning: a technique with particular value for developing countries. Berkshire, UK, Depart. of Environment/TRRL, Report 448, 25 p.

TUCCI, C.E.M. (2004a). Controle de Enchentes. *In*: TUCCI, C.E.M. (org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, RS, Ed. UFRGS/ABRH, 3. ed., 1ª reimp., p. 621-658.

_____. (2004b). Escoamento Superficial. *In*: TUCCI, C.E.M. (org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, RS, Ed. UFRGS/ABRH, 3. ed., 1ª reimp. p. 391-441.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR) (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva, CH, UNISDR, 2009, 35 p. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) (1985). Urban hydrology for small watersheds. Washington, DC, USA, CED/NRCS/USDA, TR-55, 2 ed., 164 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). (2012). Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Florianópolis, SC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), UFSC, 94 p.

_____. (2011). Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Goiás e Distrito Federal. Florianópolis, SC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), UFSC, 59 p.

VALERIANO, M.M. (2008a). Dados topográficos. *In*: FLORENZANO, T.G. (org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo, SP, Oficina de Textos, 318 p.

_____. (2008b). Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP, INPE, INPE-15318-RPQ/818, 75 p.

VALERIANO, M.M. & ALBUQUERQUE, P.C.G. (2010). Topodata: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos, SP, INPE, INPE-16702-RPQ/854, 81 p.

VALERIANO, M.M. & ROSSETI, D.F. (2011). Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, v. 32, p. 300-309.

VARNES, D.J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Paris, FRA, Unesco Press, 60 p.

_____. (1974). *The logic of geological maps, with reference to their interpretation and use for engineering purposes*. Washington, US: USGS, n. 837, 54 p.

VEDOVELLO, R. (2000). *Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs*. Tese de Doutorado, UNESP, Rio Claro, São Paulo, 154 p.

VEDOVELLO, R., BROLLO, M.J., TOMINAGA, L.K., RIEDEL, P.S., CARDOSO, D. & TERRELL, D. (2002). *Compartimentação fisiográfica do litoral norte do estado de São Paulo voltada para a avaliação de terrenos*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, Ouro Preto, MG, 2002. Anais... Ouro Preto, MG, ABGE, p. 1-14.

ZÁRUBA, Q. & MENCL, V. (1976). Chapter 2 – Geological maps and sections. In: ZÁRUBA, Q. & MENCL, V. (Eds.). *Engineering geology*. Prague, CSHH, Elsevier Scientific Publishing Company, Inc., *Developments in Geotechnical Engineering*, v. 10, p. 19-34.

ZĂVOIANU, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins*. *Developments in water science*, v. 20, Bucharest, Elsevier Science Publishers, 2 ed., p. 103-113.

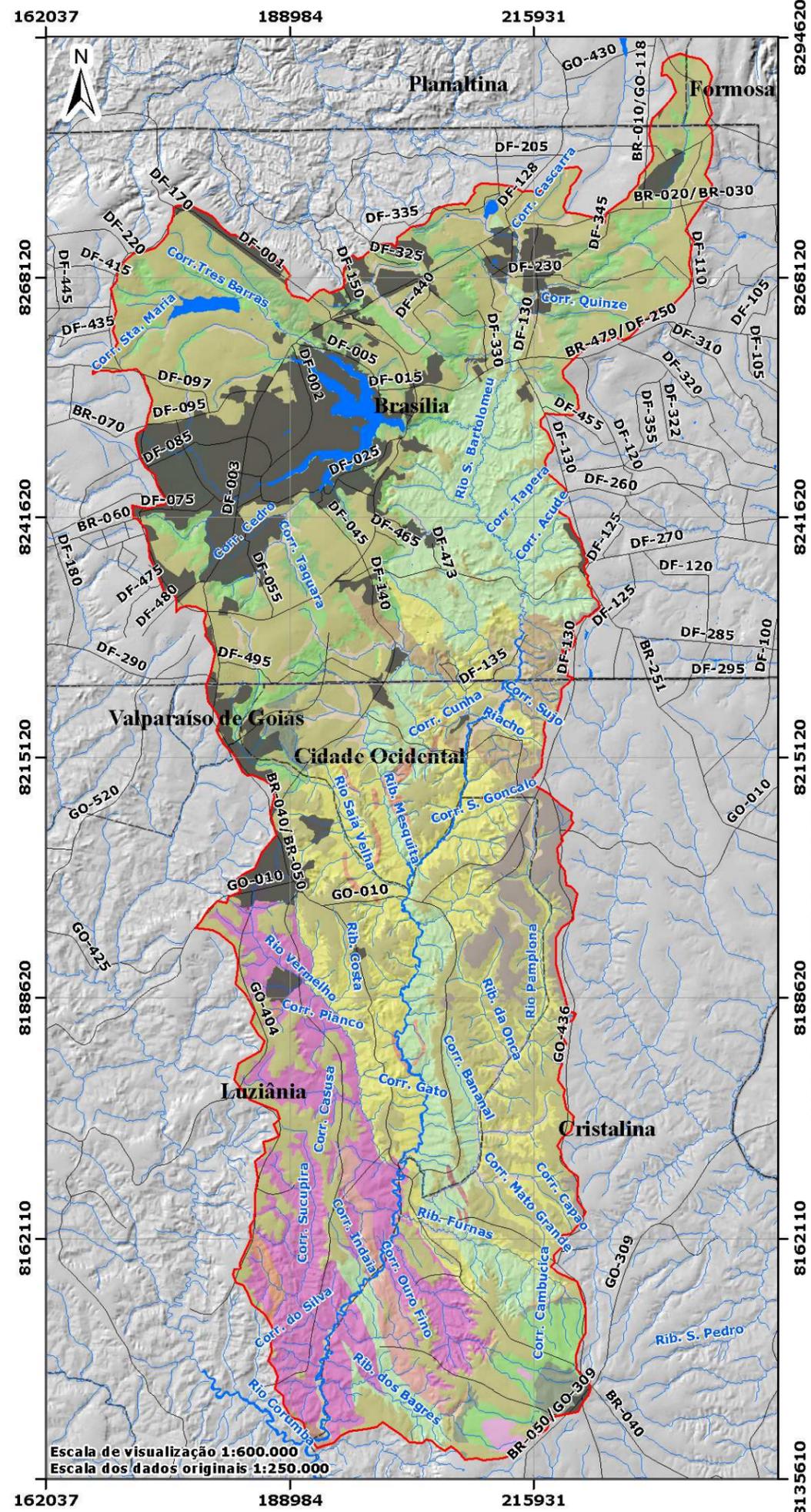
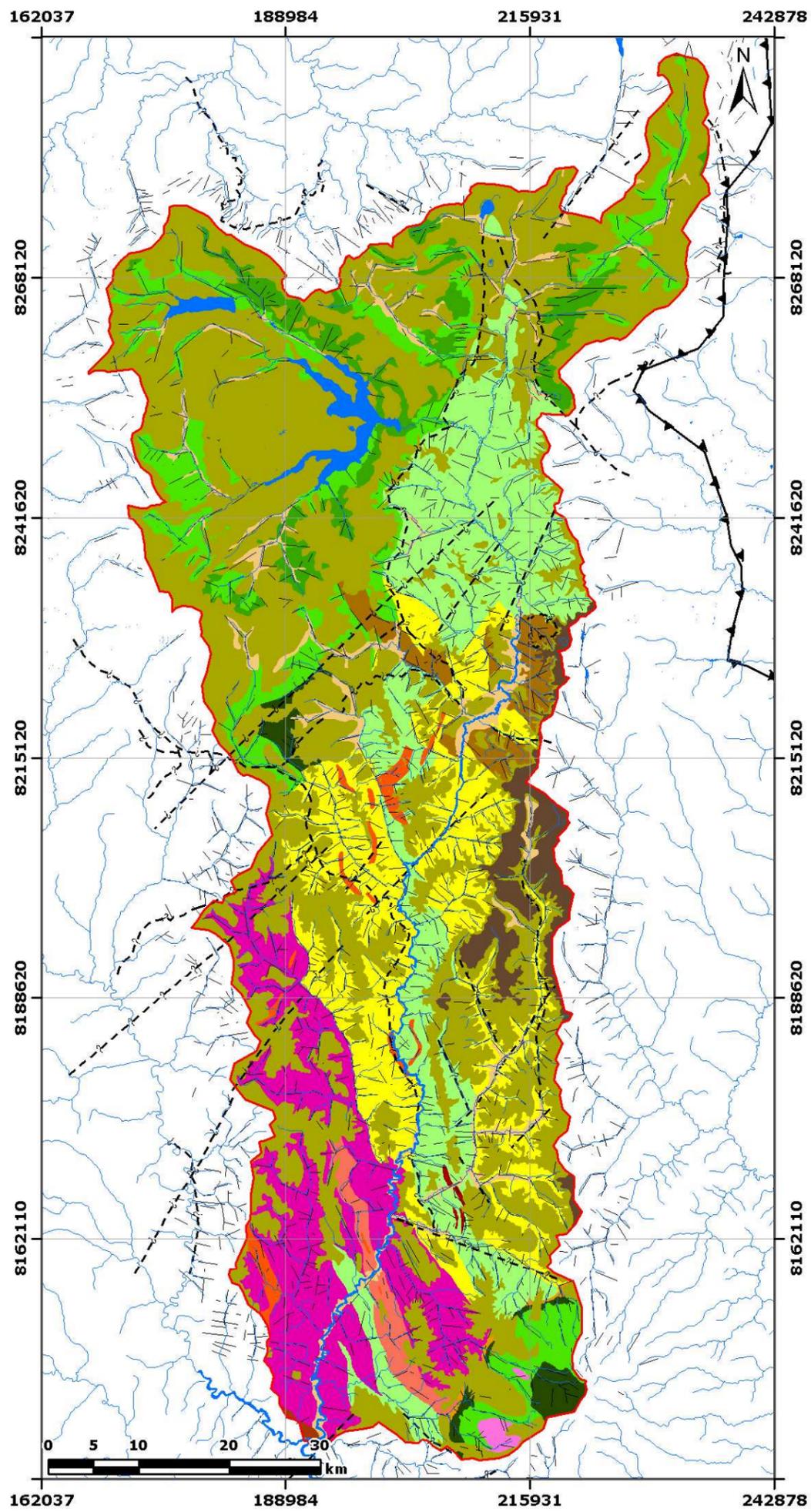
ZEVENBERGEN, L.W. & THORNE, C.R. (1987). *Quantitative analysis of land surface topography*. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 12, p. 47-56

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. (2004). *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, v. 1, 190 p.

ZUQUETTE, L.V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. Tese de Doutorado [em Geotecnia], Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, SP, 657 p.

APÊNDICE

A – CARTA DE GEOLOGIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU



Legenda

Área de estudo	MPpa3qt
Perímetro urbano	MPpa4
Geologia	
Unidade litológica	
MPcp	MPsl
MPcp1	N1dl
MPcp2	NP2ss
MPcp2qt	NPrv
MPcpqt	NPto
MPp	Q2a
MPpa3	Qdi
	Não divulgado

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual
- Lineamento estrutural
- Falha geotectônica
- Falha de empurrão ou reversa
- Falha ou zona de cisalhamento ou transcorrente

MPcp - Gr. Canastra Formação Chapada dos Pilões
 MPcp1 - Litofácia 1 do MPcp
 MPcp2 - Litofácia 2 do MPcp
 MPcp2qt - Litofácia 2 do MPcp (ortoquartzitos)
 MPcpqt - Litofácia 2 do MPcp (ortoquartzitos com quartzo-sericitá-clorita xistos)
 MPp - Formação Paracatu
 MPpa3 - Gr. Paranoá Unidade 3 rítmica quartzítica intermediária
 MPpa3qt - Quartzitos da base do MPpa3
 MPpa4 - Gr. Paranoá Unidade 4 rítmica pelito-carbonatada
 MPsl - Formação Serra do Landim
 N1dl - Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas aluviais e colúviais
 NP2ss - Gr. Bambuí Formação Serra da Saudade
 NPrv - Gr. Ibiá Formação Rio Verde
 NPto - Gr. Bambuí Formação Topázios
 Q2a - Depósitos aluvionares de areia, cascalho, lentes silto-argilosas e turfa
 Qdi - Coberturas arenosas indiferenciadas residuais ou transportadas



Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23 Sul - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000



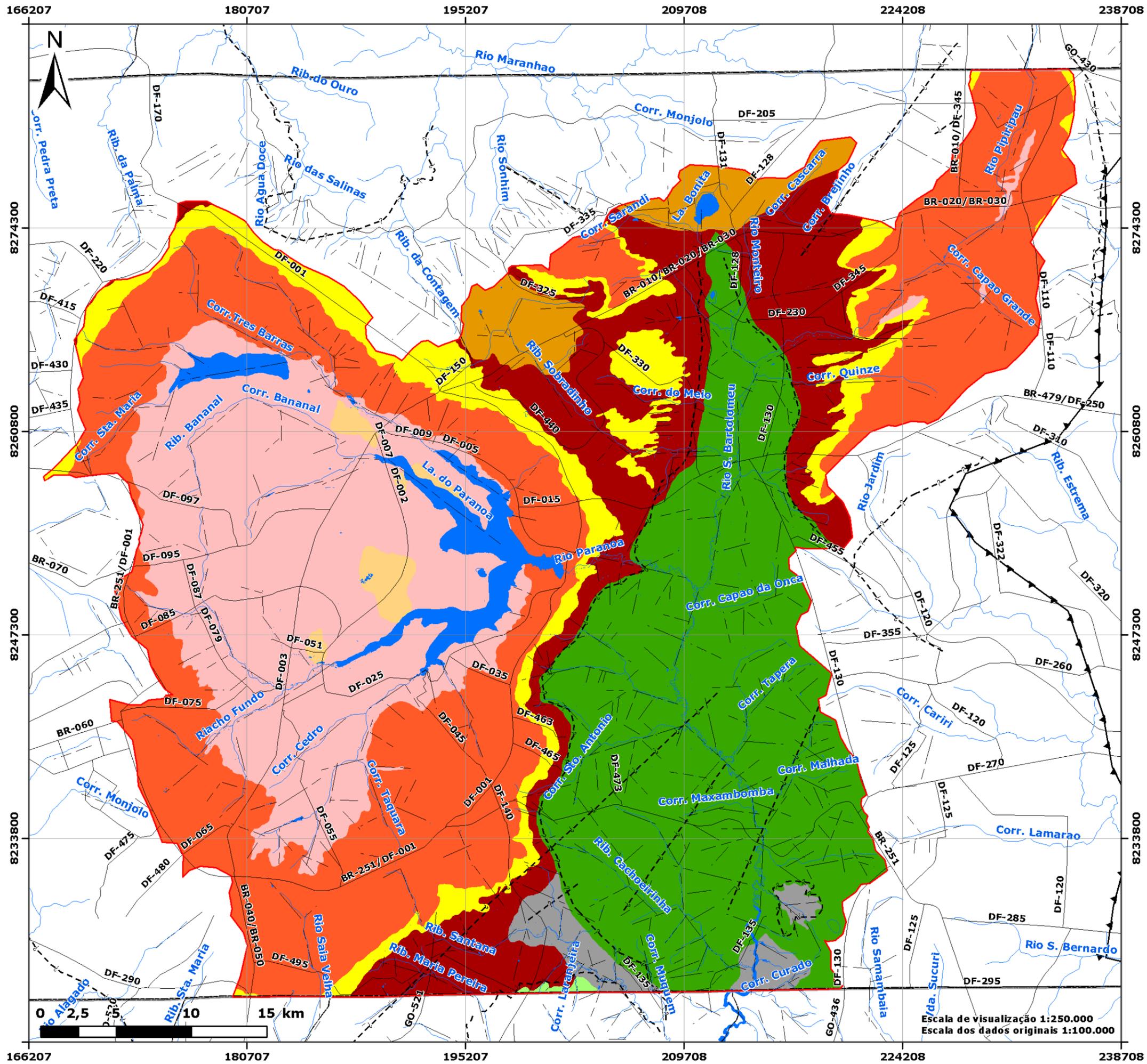
Carta de Geologia da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista Orientador: Newton M. de Souza	Data: Fevereiro, 2014. Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008).
--	--

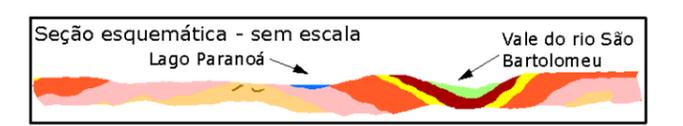
Escala de visualização 1:600.000
 Escala dos dados originais 1:250.000

**B – CARTA DE GEOLOGIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU – PORÇÃO
DF**



Legenda

Área de estudo
 Geologia
 Não divulgado
 Unidade, Litologia
 MNPccf, clorita carbonato filito
 MNPcf, carbonato filito
 NPb, Bambuí
 MNPPa, Unidade Ardósia
 MNPPr3, Unidade Metarritmito arenoso
 MNPPr4, Unidade Metarritmito argiloso
 MNPPs, Unidade Metassiltito argiloso
 MNPPpc, Unidade Psamo pelito carbonatada
 MNPPq3, Unidade Quartzito médio
 Convenções Cartográficas
— Drenagem
— Rodovia
 Limite intermunicipal
 Limite interestadual
— Lineamento estrutural
 Falha geotectônica
— Falha de empurrão ou reversa
- - - Falha ou zona de cisalhamento ou transcorrente



Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Geologia da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

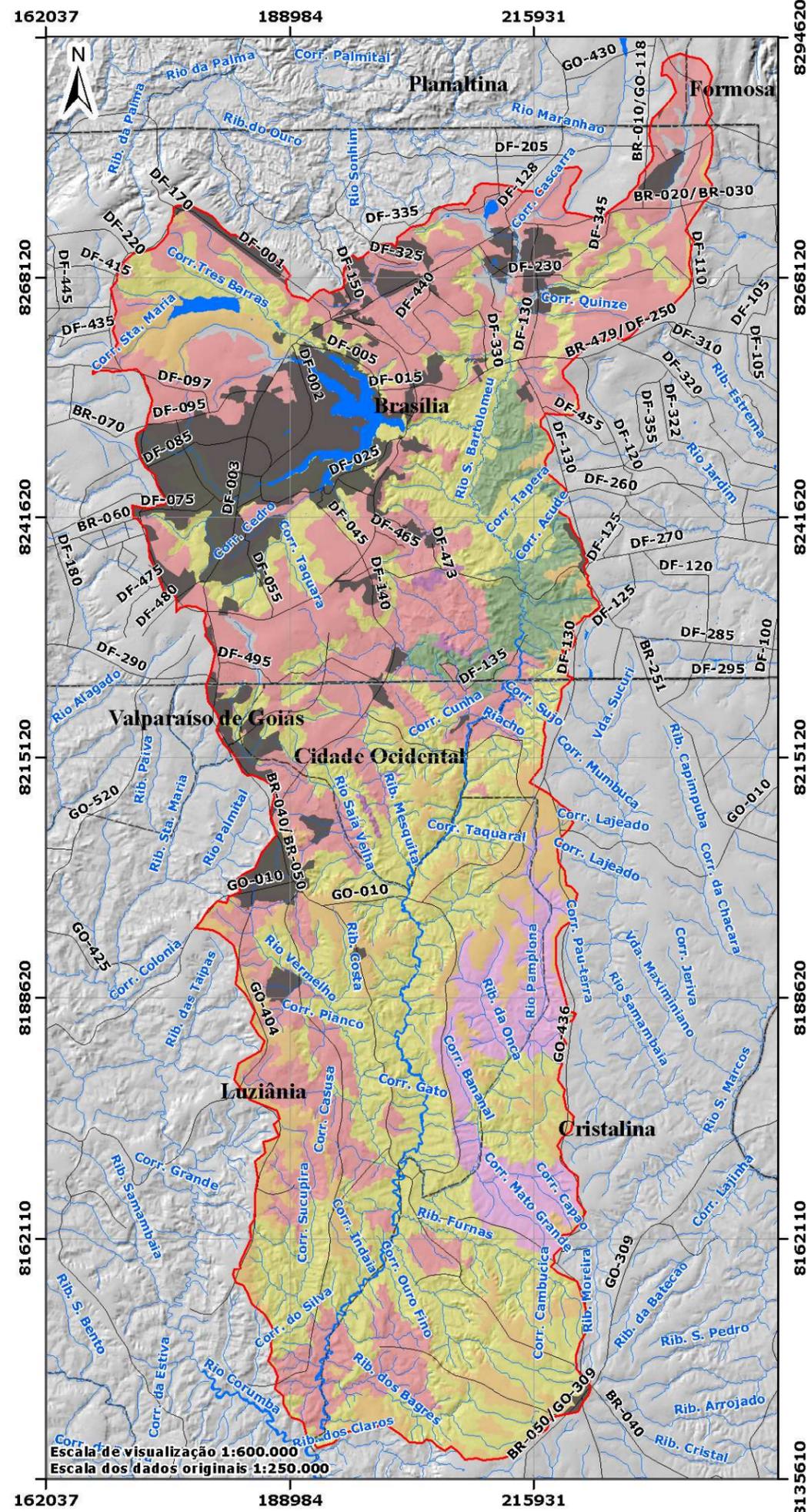
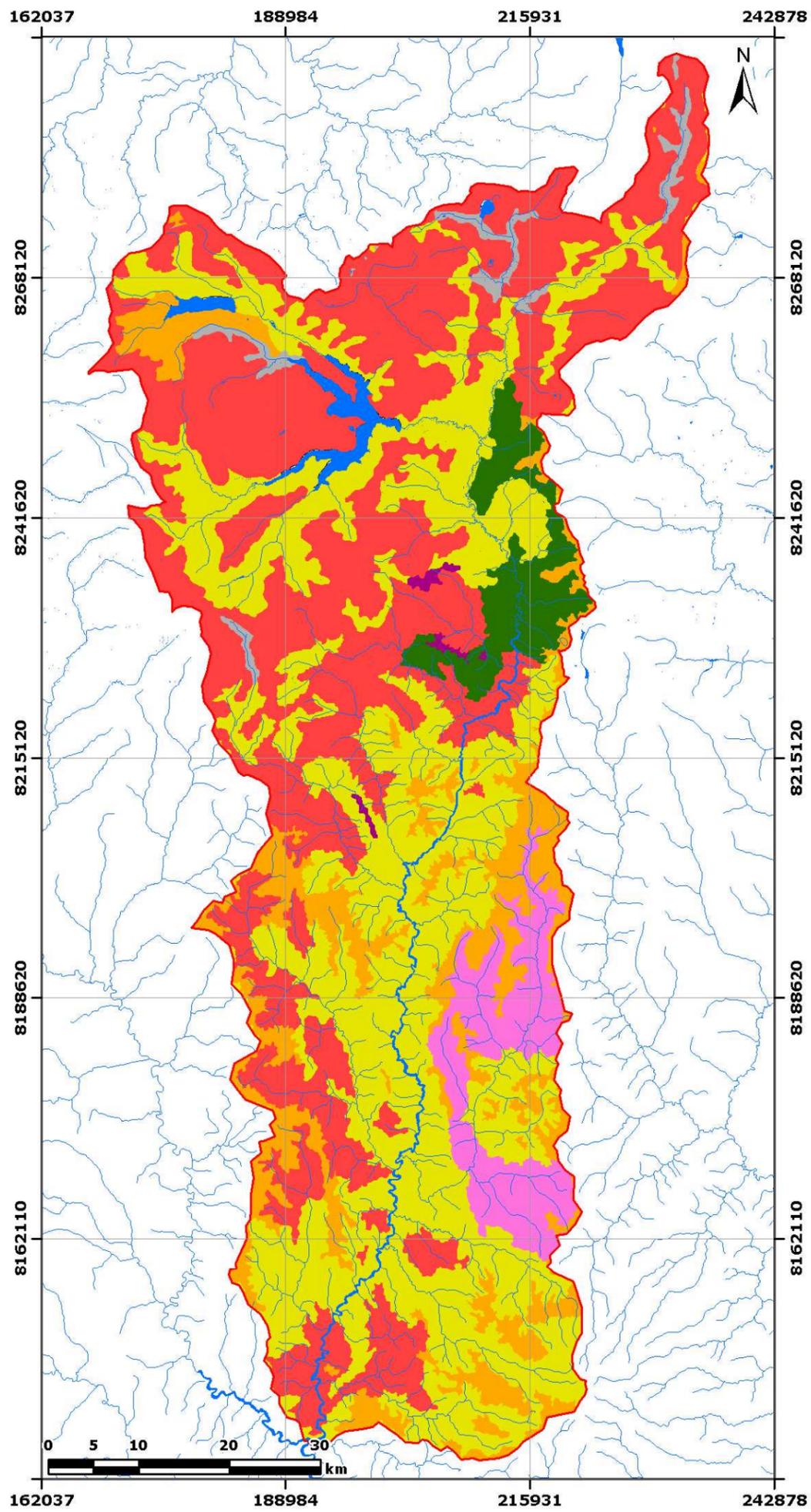
Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista Orientador: Newton M. de Souza	Data: Fevereiro, 2014. Fonte dos Dados Originais: 1) Freitas-Silva & Campos (1998); 2) IBGE (2010); 3) Moreira et al. (2008).
--	---



Escala de visualização 1:250.000
 Escala dos dados originais 1:100.000

C – CARTA DE SOLOS (PEDOLOGIA) DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU



Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano

Solo

- Não divulgado
- Cambissolo (C)
- Solo hidromórfico (HGP)
- Latossolo vermelho-escuro (LE)
- Latossolo vermelho-amarelo (LV)
- Latossolo petroplíntico (LP)
- Petroplintossolo (PP)
- Solo litólico (R)

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

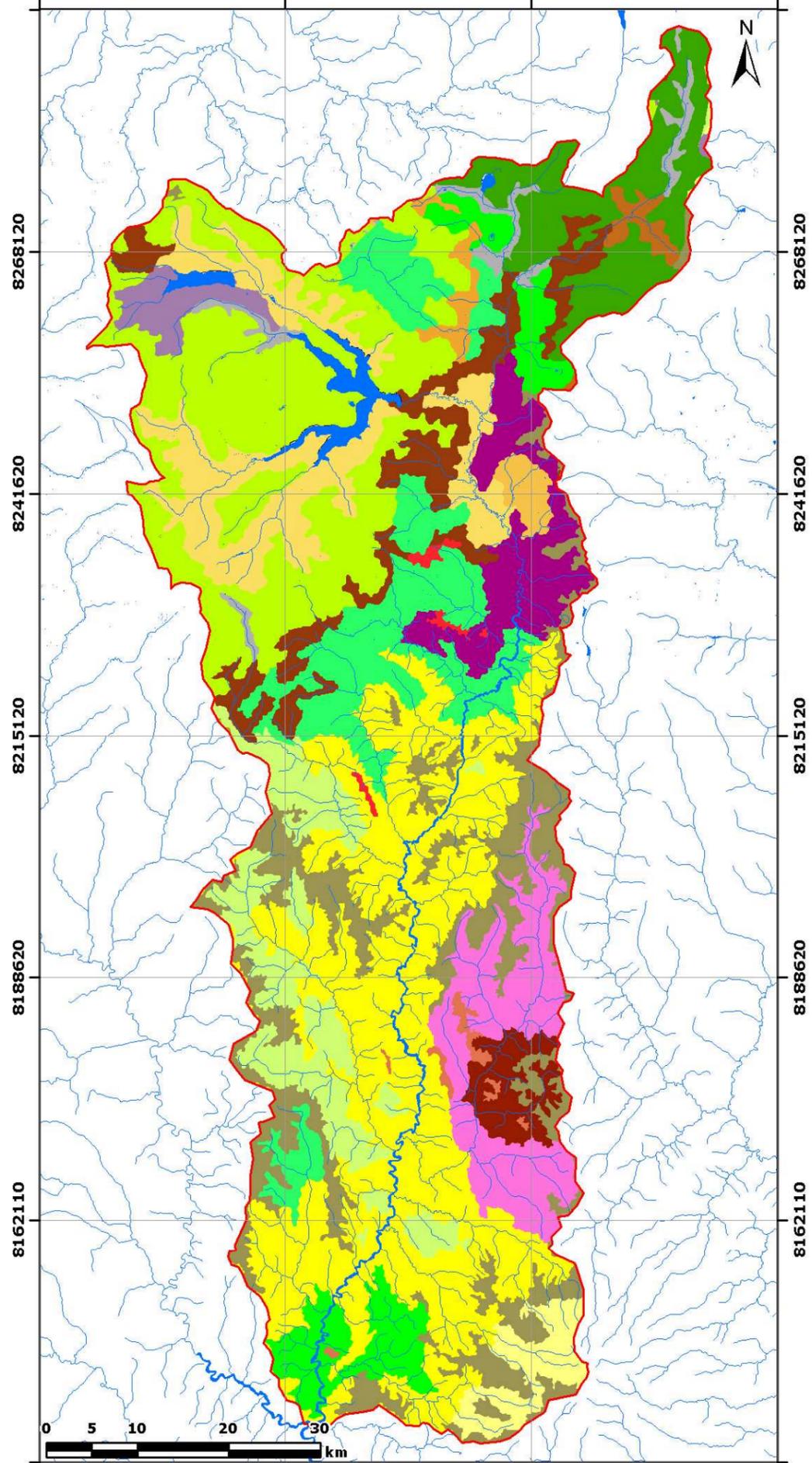
Carta de Solos (Pedologia) da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) SGM-GO/SIC-GO (2005).

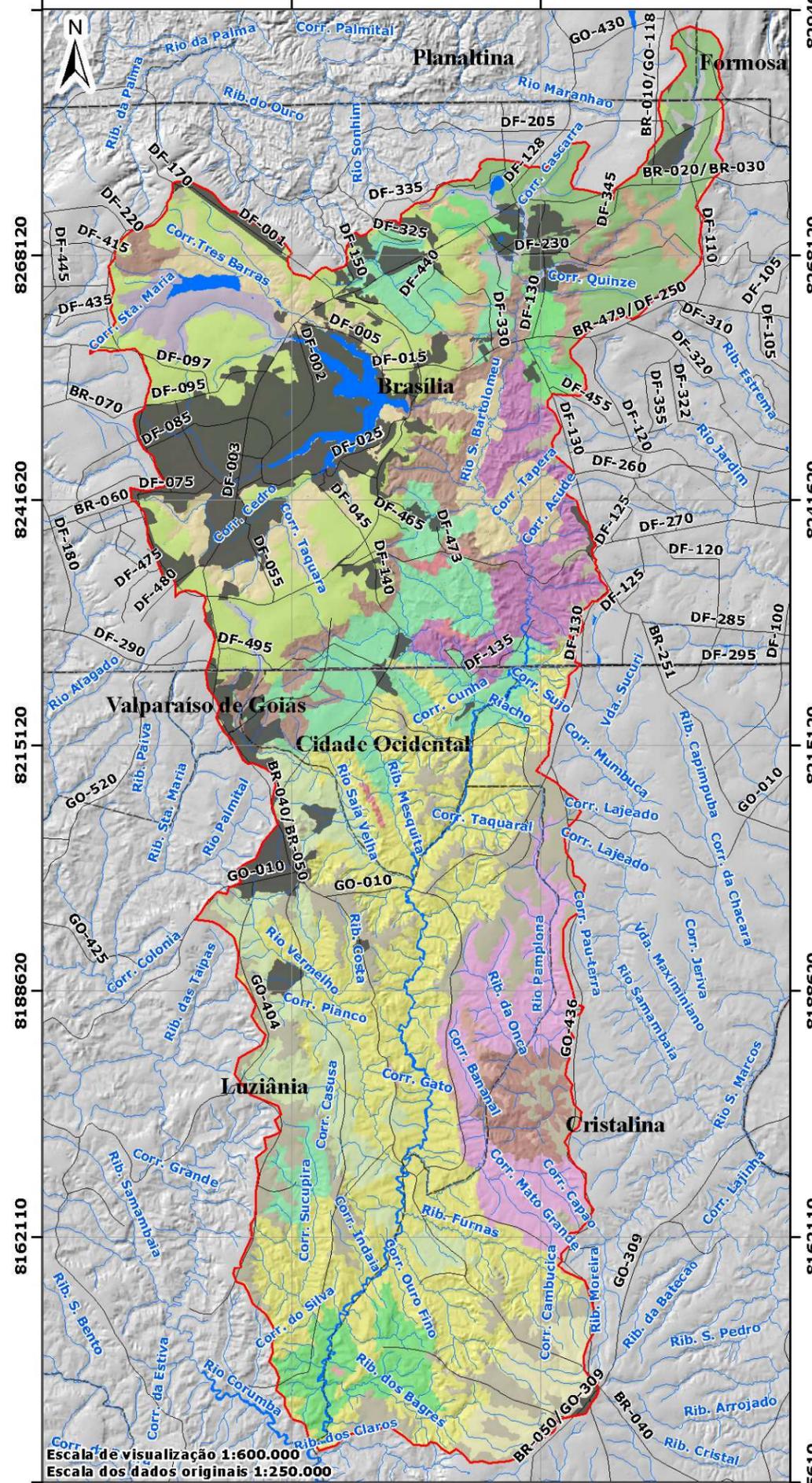
**D – CARTA DE CLASSES PEDOLÓGICAS DA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU**

162037 188984 215931 242878



162037 188984 215931 242878

162037 188984 215931 242878



162037 188984 215931 242878

Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano
- Solo
- Não divulgado
- Classe pedológica
- Ca15
- Ca21
- Ca22
- Ca23
- Ca24
- Ca25
- Ca8
- Cd3
- Cd8
- HGPa
- LEa10
- LEa11
- LEa8
- LEd1
- LEd2
- LPd
- LVa1
- LVD1
- LVD7
- PPd
- Ra1

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual



Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000



Carta de Classes Pedológicas da Bacia do Rio São Bartolomeu

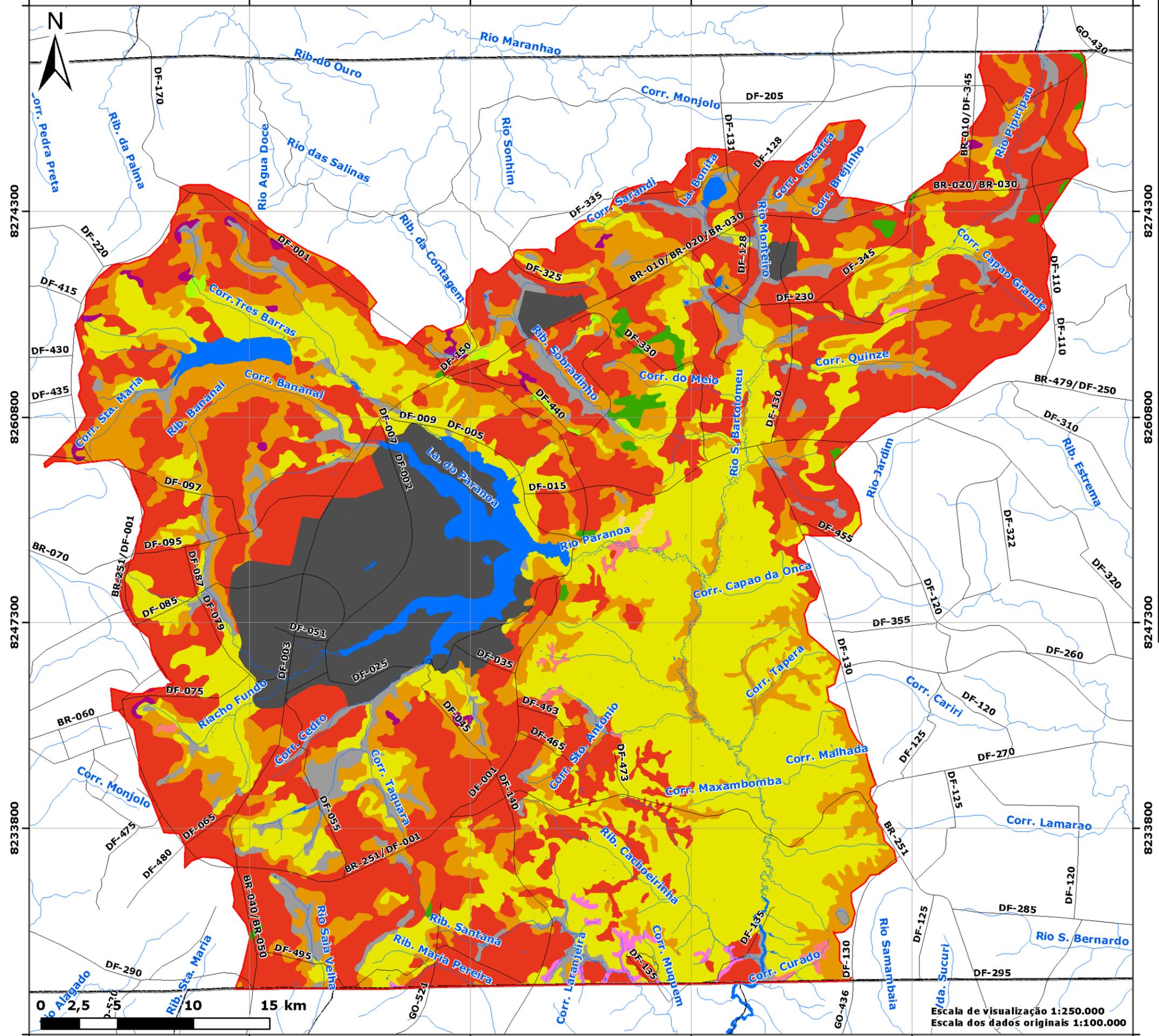
Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor:
Pedro H. L. Batista
Orientador:
Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.
Fonte dos Dados Originais:
1) IBGE (2010);
2) Moreira et al. (2008);
3) SGM-GO/SIC-GO (2005).

**E – CARTA DE SOLOS (PEDOLOGIA) DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DF**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

- Área de estudo
- Solo**
- Não divulgado
- Argissolo vermelho (PVAe)
- Argissolo vermelho-amarelo (PVAd)
- Cambissolo (CX)
- Espodossolo (EKg)
- Latossolo vermelho (LV)
- Latossolo vermelho-amarelo (LVA)
- Neossolo quartzarênico (RQ)
- Nitossolo vermelho (NV)
- Plintossolo (FX)
- Solo hidromórfico indiscriminado (Hi)
- Área urbana (1978)
- Água

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Solos (Pedologia) da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Reatto et al. (2004).

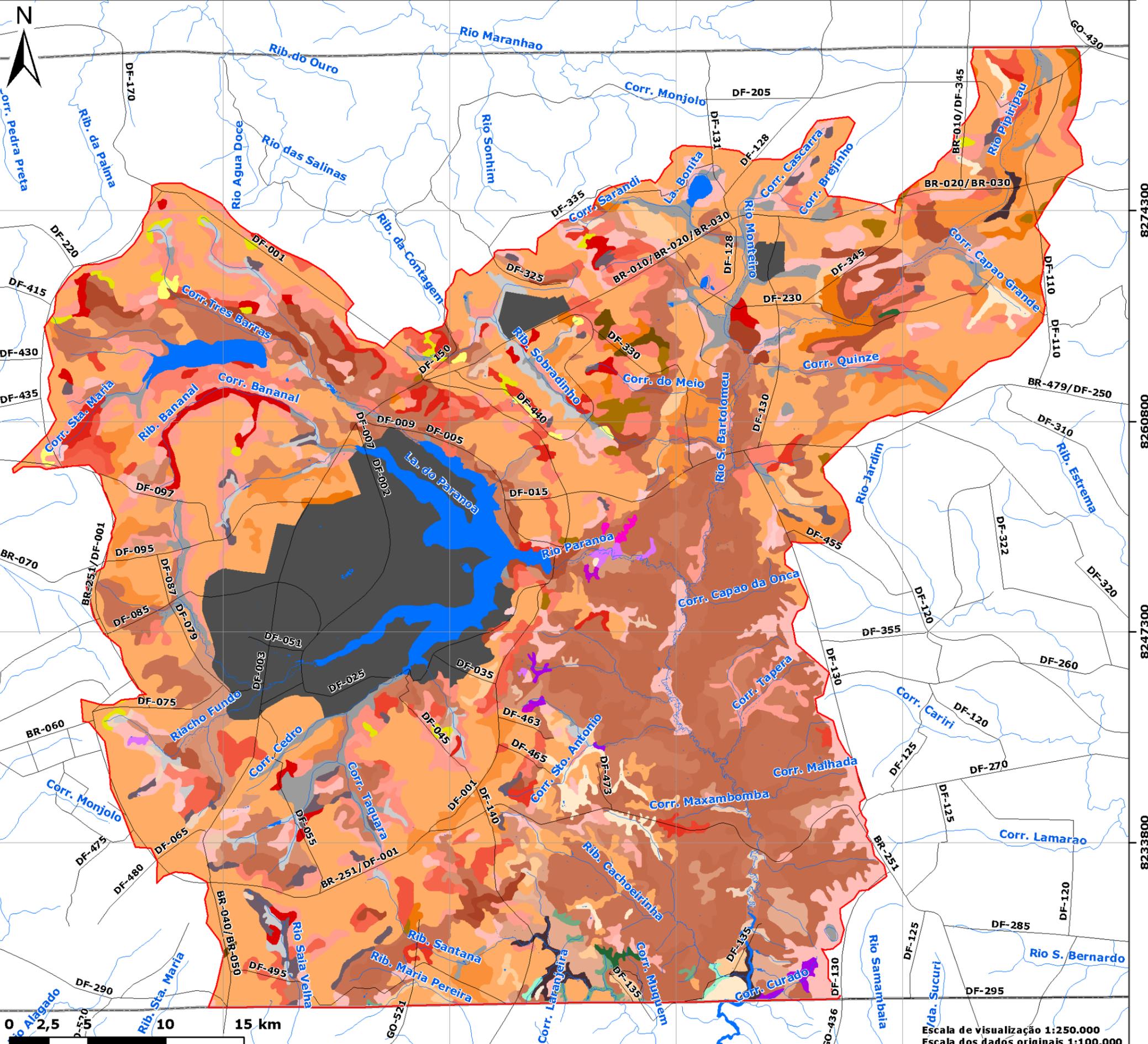
166207 180707 195207 209708 224208 238708



Escala de visualização 1:250.000
Escala dos dados originais 1:100.000

**F – CARTA DE CLASSES PEDOLÓGICAS DA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU – PORÇÃO DE**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

	Área de estudo		LVA d1
	Solo		LVA d2
	Não divulgado		LVA d3
	Classe pedológica		LVA d4
		LVA d5	
		LVA d6	
		LVA d8	
		LVA d9	
		LVA d10	
		LVA d11	
		LVA d12	
		LVA d13	
		LVA d14	
		Lvd1	
		Lvd2	
		Lvd3	
		Lvd4	
		Lvd6	
		NVe1	
		NVe2	
		NVe3	
		PVA e2	
	PVA e1		
	PVA e3		
	EKg		RQd1
	FX		RQd2
	Hi1		Água
	Hi2		Área urbana (1978)
	Hi3		
	Hi4		

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Classes Pedológicas da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	
Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Reatto et al. (2004).	

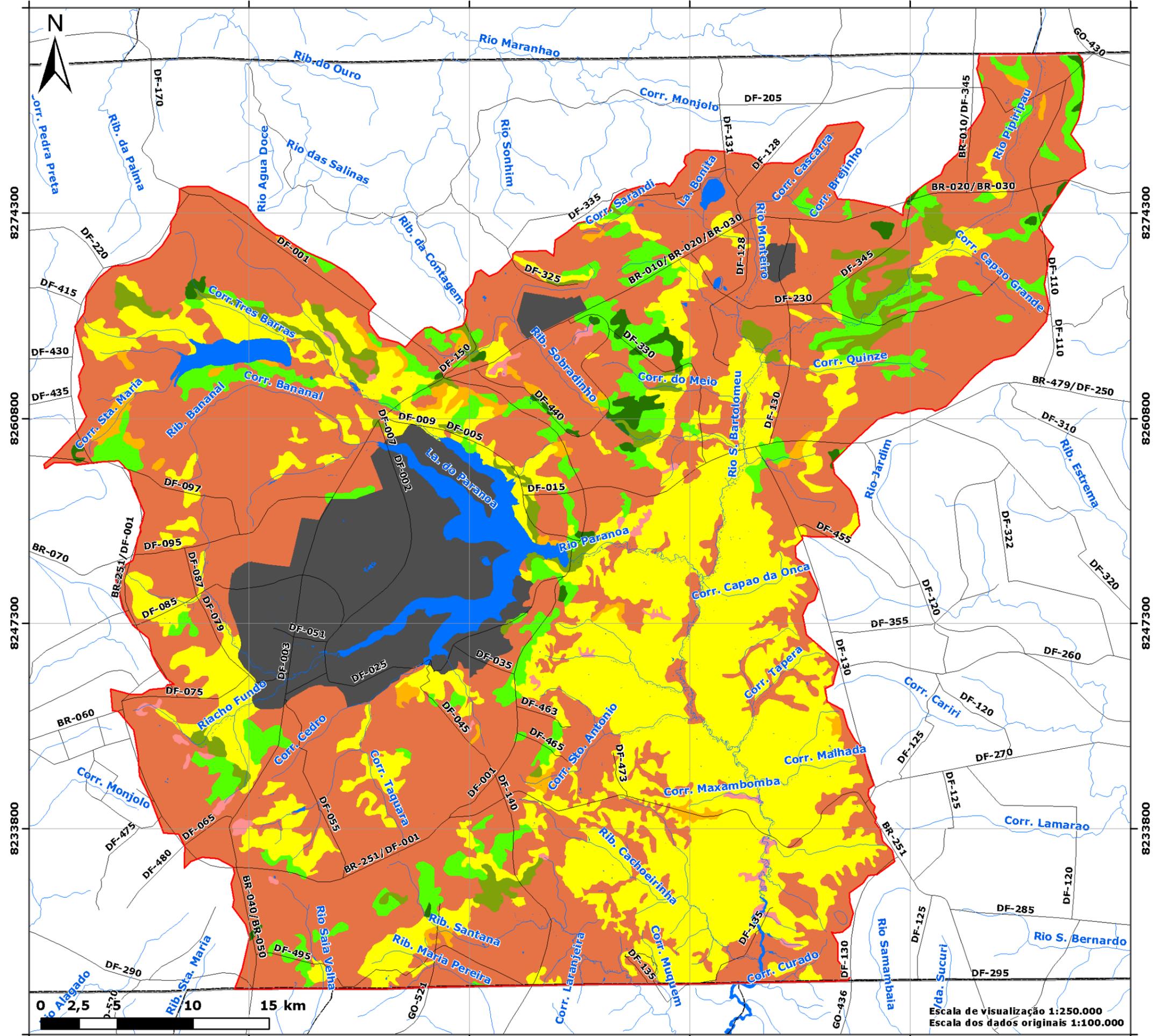
166207 180707 195207 209708 224208 238708



Escala de visualização 1:250.000
 Escala dos dados originais 1:100.000

**G - CARTA DE TEXTURA DOS SOLOS DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DF**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

- Área de estudo
 - Solo
 - Não divulgado
 - Textura
 - Arenosa
 - Média cascalhenta
 - Média
 - Argiloso cascalhento concrecionário
 - Argiloso muito cascalhento
 - Argiloso cascalhento
 - Argiloso
 - Água
 - Área urbana (1978)
- Convenções Cartográficas**
- Drenagem
 - Rodovia
 - Limite intermunicipal
 - Limite interestadual

- Nota sobre as classes texturais (% ou g.kg⁻¹) da legenda:**
- Arenosa ($\leq 15\%$ argila e $> 70\%$ areia)
 - Média cascalhenta ($\leq 35\%$ argila, $> 15\%$ areia, $\geq 15\%$ cascalho e $< 50\%$ cascalho)
 - Média ($\leq 35\%$ argila e $> 15\%$ areia)
 - Argiloso cascalhento concrecionário ($> 35\%$ argila e $\leq 60\%$ argila, $\geq 15\%$ cascalho e $< 50\%$ cascalho e $\geq 15\%$ concreções e $< 40\%$ concreções)
 - Argiloso muito cascalhento ($> 35\%$ argila e $\leq 60\%$ argila, $\geq 50\%$ cascalho)
 - Argiloso cascalhento ($> 35\%$ argila e $\leq 60\%$ argila e $\geq 15\%$ cascalho e $< 50\%$ cascalho)
 - Argiloso ($> 35\%$ argila e $\leq 60\%$ argila)



Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Textura dos Solos da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

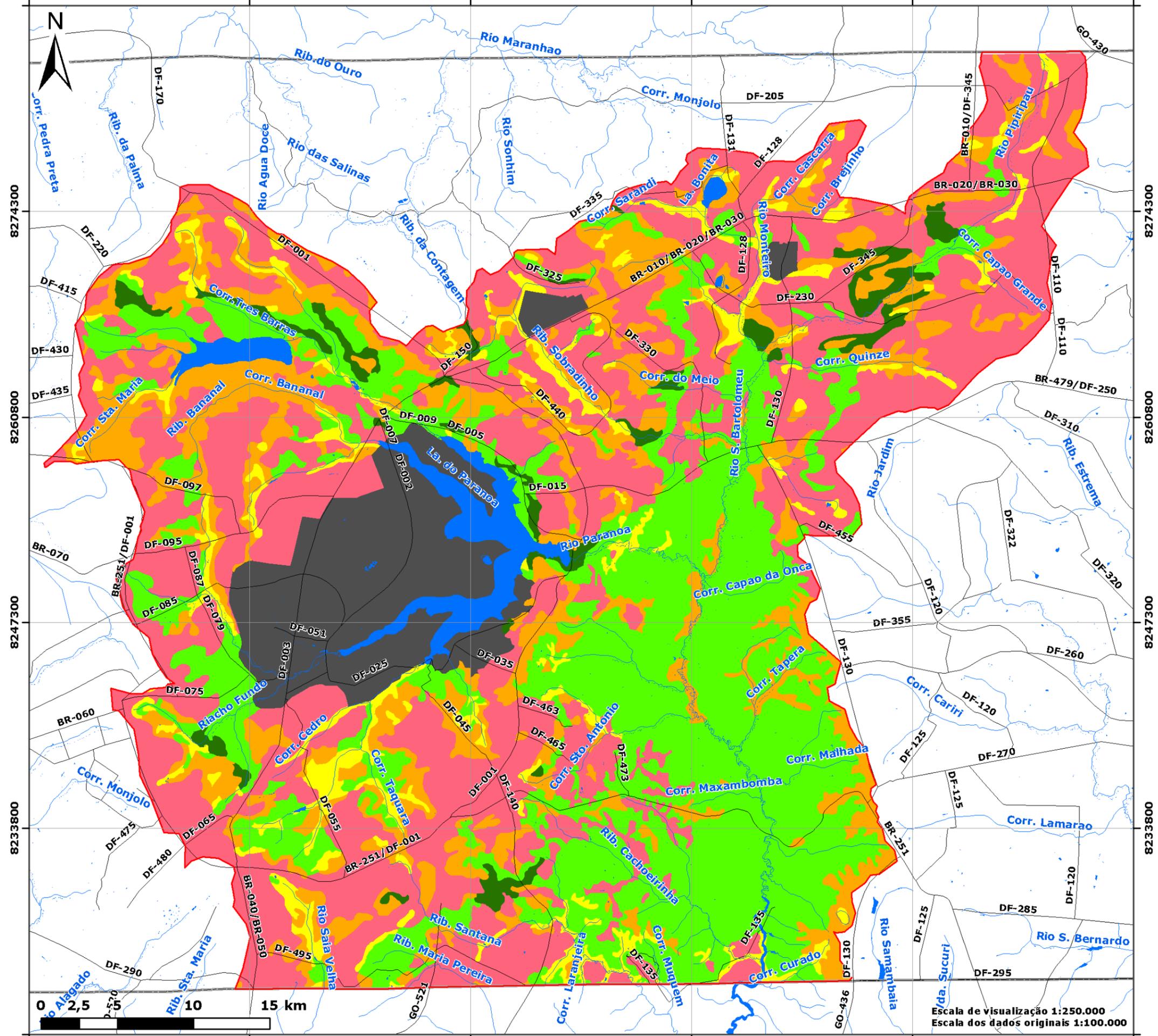
Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Reatto et al. (2004).

166207 180707 195207 209708 224208 238708

**H – CARTA DE PROFUNDIDADE DOS SOLOS DA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU – PORÇÃO DE**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

- Área de estudo
- Solo
 - Não disponível
- Profundidade
 - Muito raso
 - Raso
 - Pouco profundo
 - Profundo
 - Muito profundo
 - Água
 - Área urbana (1978)
- Convenções Cartográficas**
 - Drenagem
 - Rodovia
 - Limite intermunicipal
 - Limite interestadual

Nota sobre as classes de profundidade (cm) da legenda:

- Muito raso (0 a 20 cm)
- Raso (20 a 50 cm)
- Pouco profundo (50 a 100 cm)
- Profundo (100 a 200 cm)
- Muito profundo (maior que 200 cm)

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Profundidade dos Solos da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

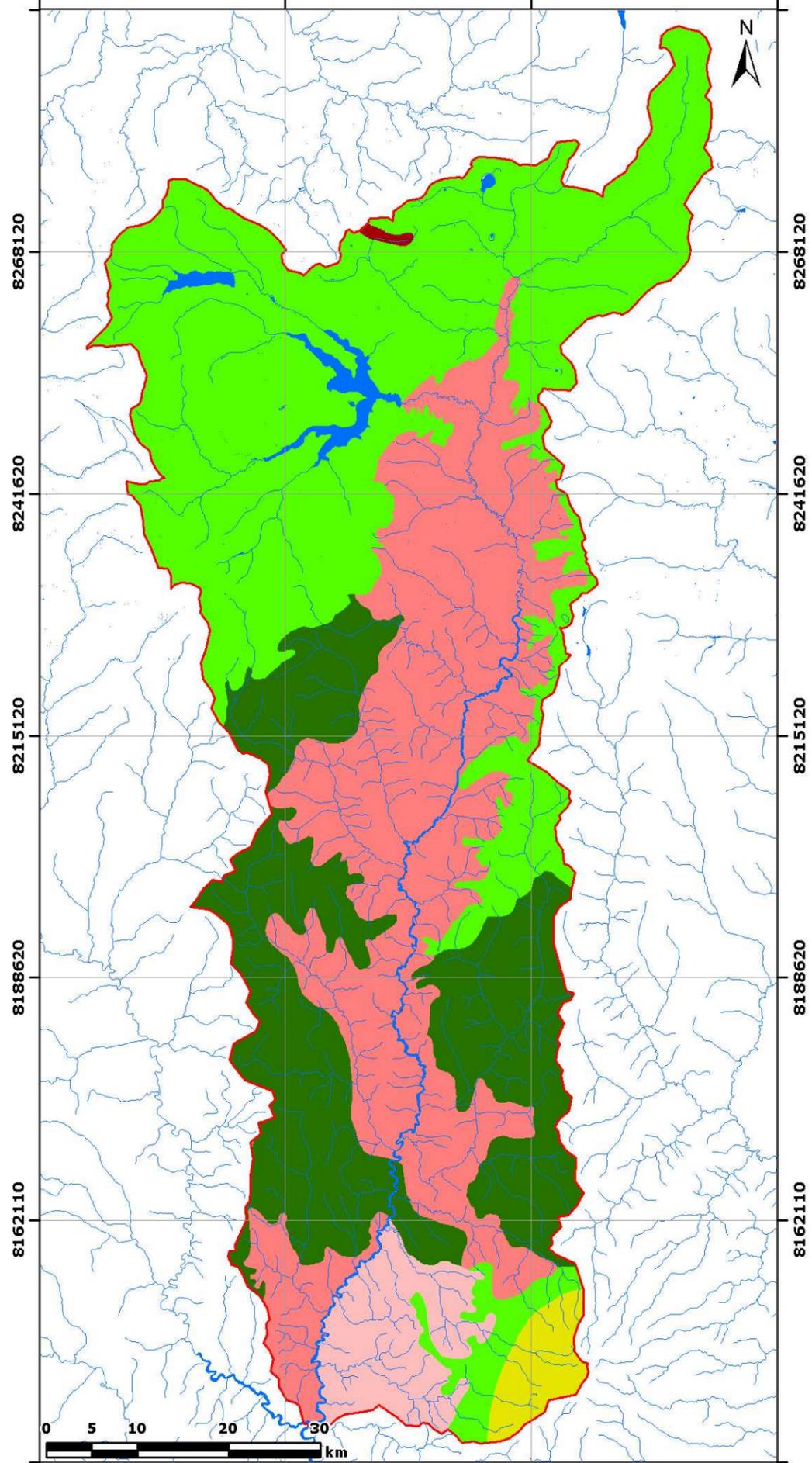
Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Reatto et al. (2004).

166207 180707 195207 209708 224208 238708

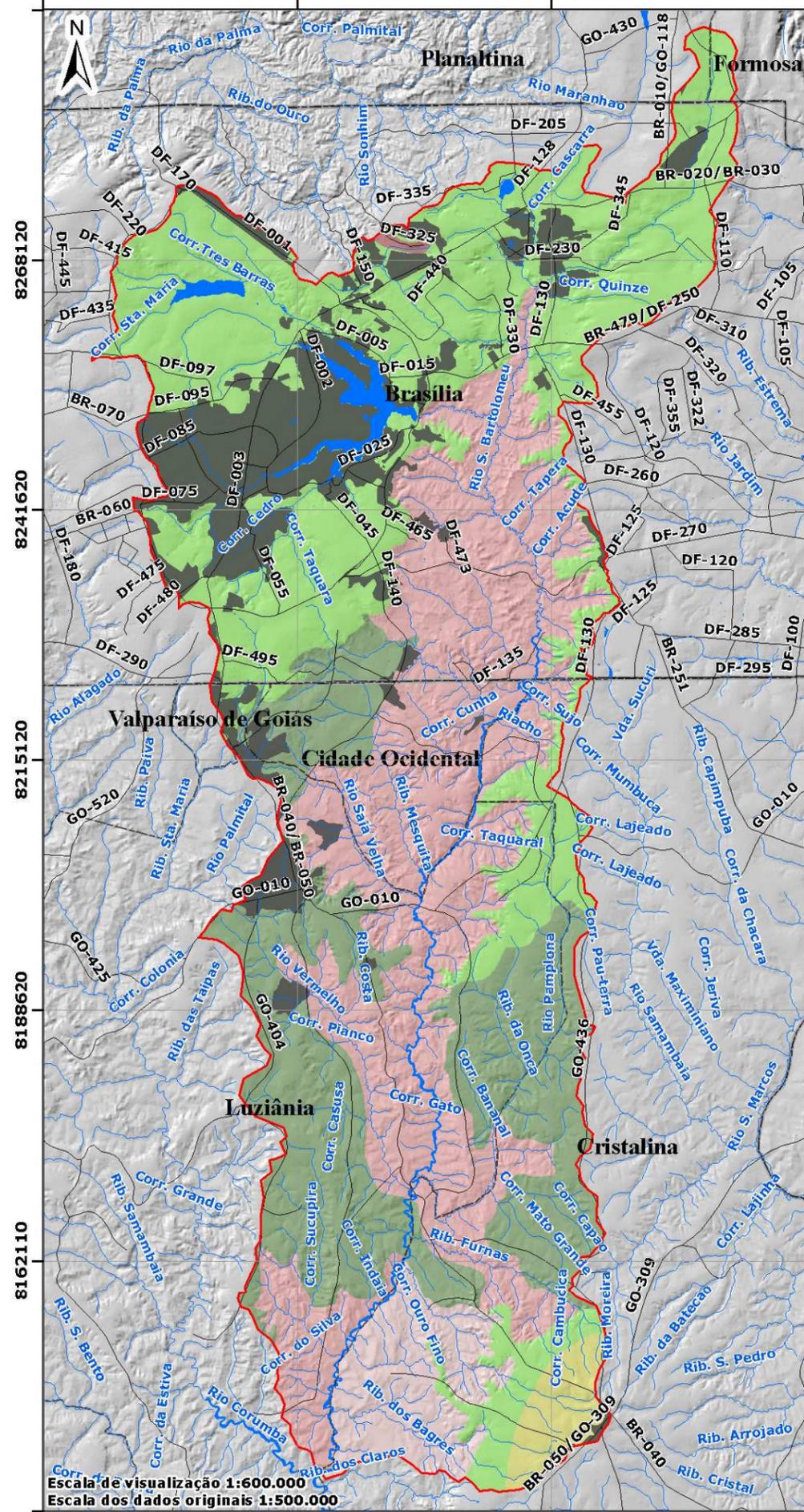
I – CARTA DE GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU

162037 188984 215931 242878



162037 188984 215931 242878

162037 188984 215931



162037 188984 215931

Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano
- Geoforma**
- Não divulgado
- DM-BF(fr)
- SRAIIA(fr)
- SRAIIA(m)
- ZER-SRAIIIA-MC-FCE/IIA(mfo)
- ZER/IIA(fo)
- ZER/IIA(m)
- Convenções Cartográficas**
- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Classes:

- DM-BF(fr) - Formas dômicas de dissecação fraca geradas por blocos falhados
- SRAIIA(fr) - Superfície de Aplainamento II A, em cotas entre 900 e 1.100 m
- SRAIIA(m) - Superfície de Aplainamento II A, em cotas entre 900 e 1.250 m
- ZER-SRAIIIA-MC-FCE/IIA(mfo) - Zona de Erosão Recuante com dissecação muito forte associada a Morros e Colinas e com Forte Controle Estrutural
- ZER/IIA(fo) - Zona de Erosão Recuante com dissecação forte
- ZER/IIA(m) - Zona de Erosão Recuante com dissecação média

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

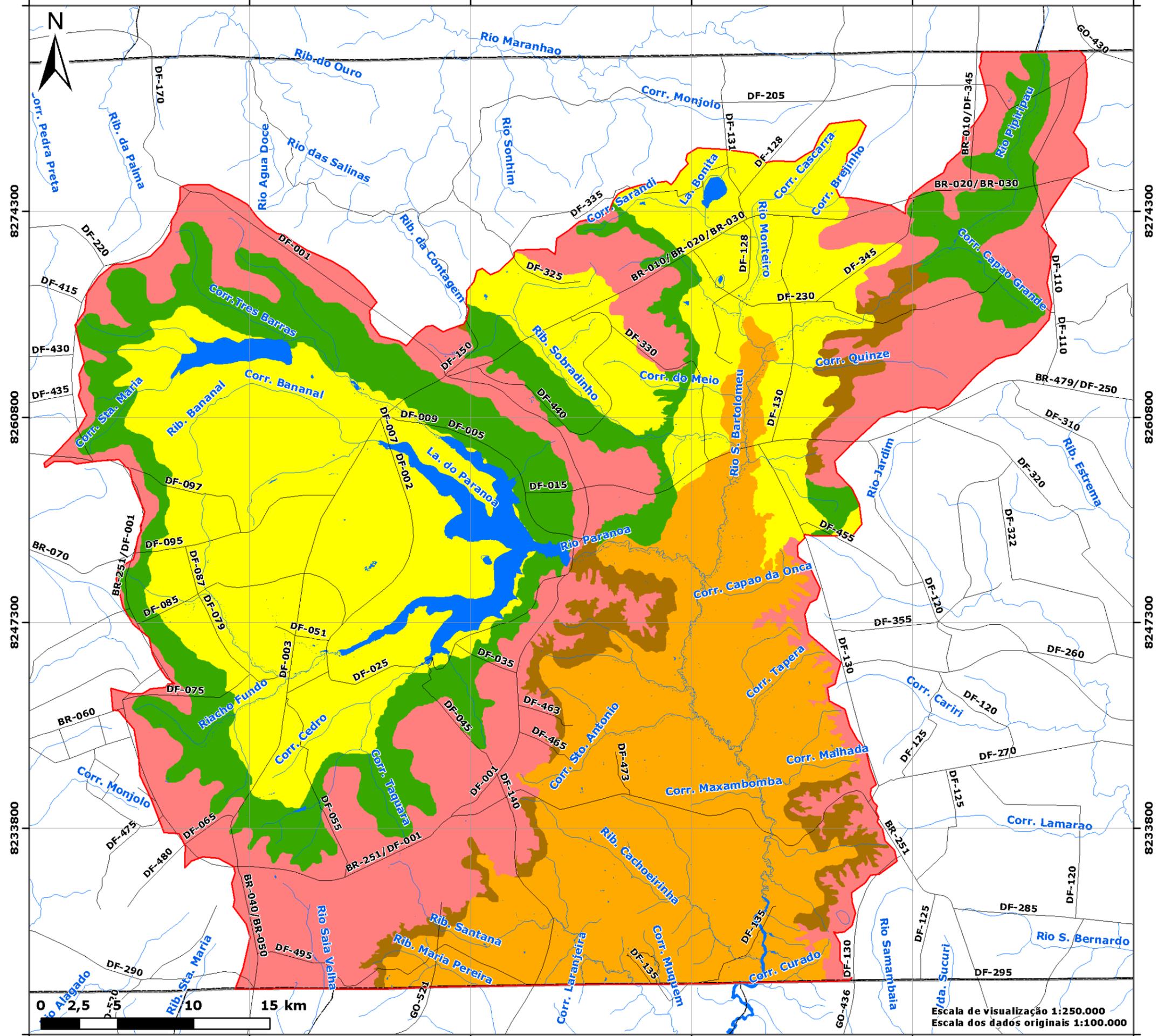
Carta de Geomorfologia da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Latrubesse & Carvalho (2006); 3) Moreira et al. (2008).

**J – CARTA DE GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DF**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

Área de estudo

Geomorfologia

- Não divulgado

Geoforma

- Plano elevado
- Plano intermediário
- Rebordo
- Rampa íngreme
- Vale dissecado

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Escala de visualização 1:250.000
Escala dos dados originais 1:100.000

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Geomorfologia da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

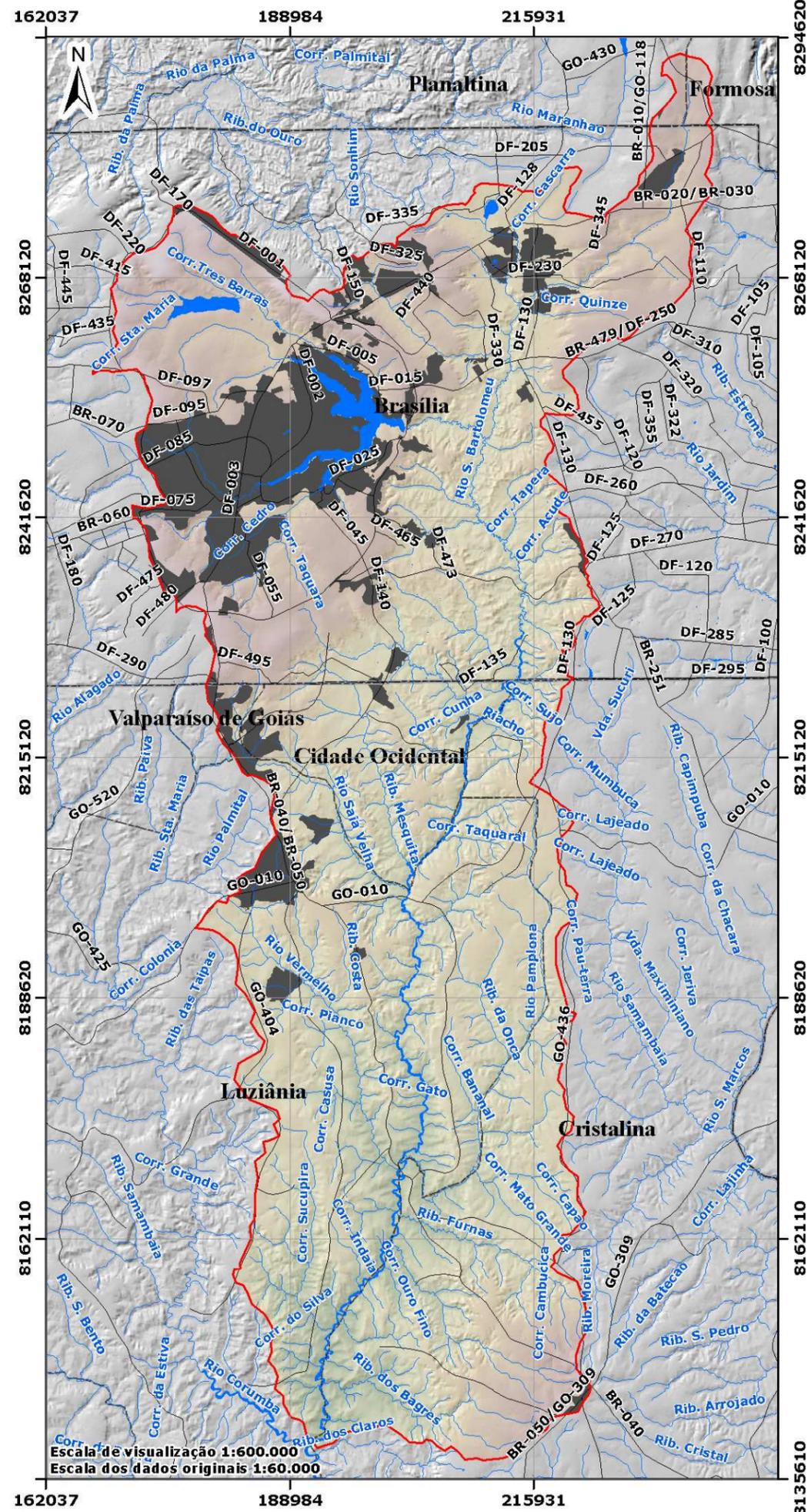
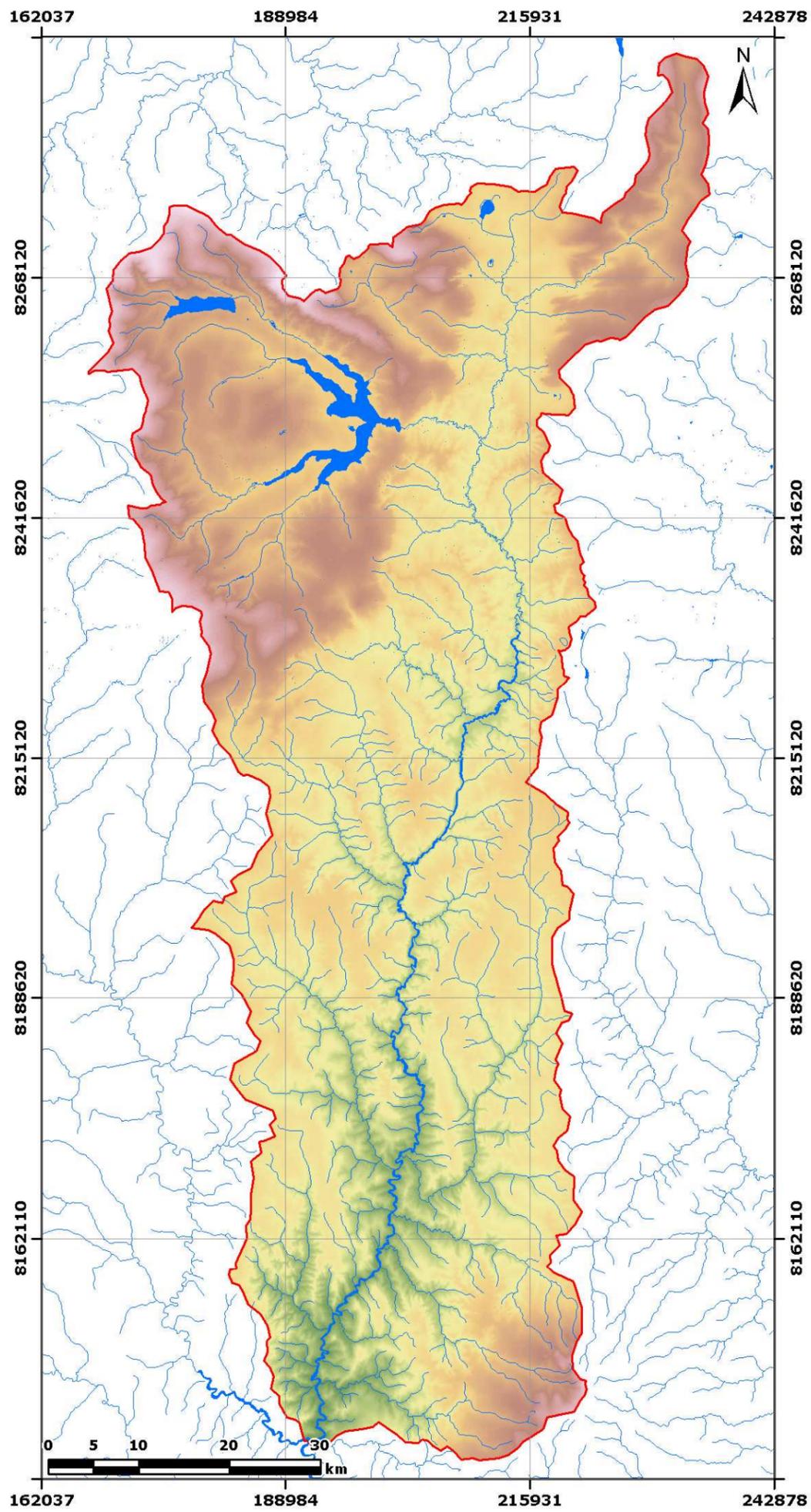
Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.

Fonte dos Dados Originais:
1) Campos (2010);
2) IBGE (2010);
3) Moreira et al. (2008).

K – CARTA DE HIPSOMETRIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU



Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano

Hipsometria (m)

735 - 745	905 - 915	1.105 - 1.115
745 - 755	915 - 925	1.115 - 1.125
755 - 765	925 - 935	1.125 - 1.135
765 - 775	935 - 945	1.135 - 1.145
775 - 785	945 - 955	1.145 - 1.155
785 - 795	955 - 965	1.155 - 1.165
795 - 805	965 - 975	1.165 - 1.175
805 - 815	975 - 985	1.175 - 1.185
815 - 825	985 - 995	1.185 - 1.195
825 - 835	995 - 1.005	1.195 - 1.205
835 - 845	1.005 - 1.015	1.205 - 1.215
845 - 855	1.015 - 1.025	1.215 - 1.225
855 - 865	1.025 - 1.035	1.225 - 1.235
865 - 875	1.035 - 1.045	1.235 - 1.245
875 - 885	1.045 - 1.055	1.245 - 1.255
885 - 895	1.055 - 1.065	1.255 - 1.265
895 - 905	1.065 - 1.075	1.265 - 1.275
	1.075 - 1.085	1.275 - 1.285
	1.085 - 1.095	1.285 - 1.295
	1.095 - 1.105	1.295 - 1.305
		1.305 - 1.308

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Hipsometria da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

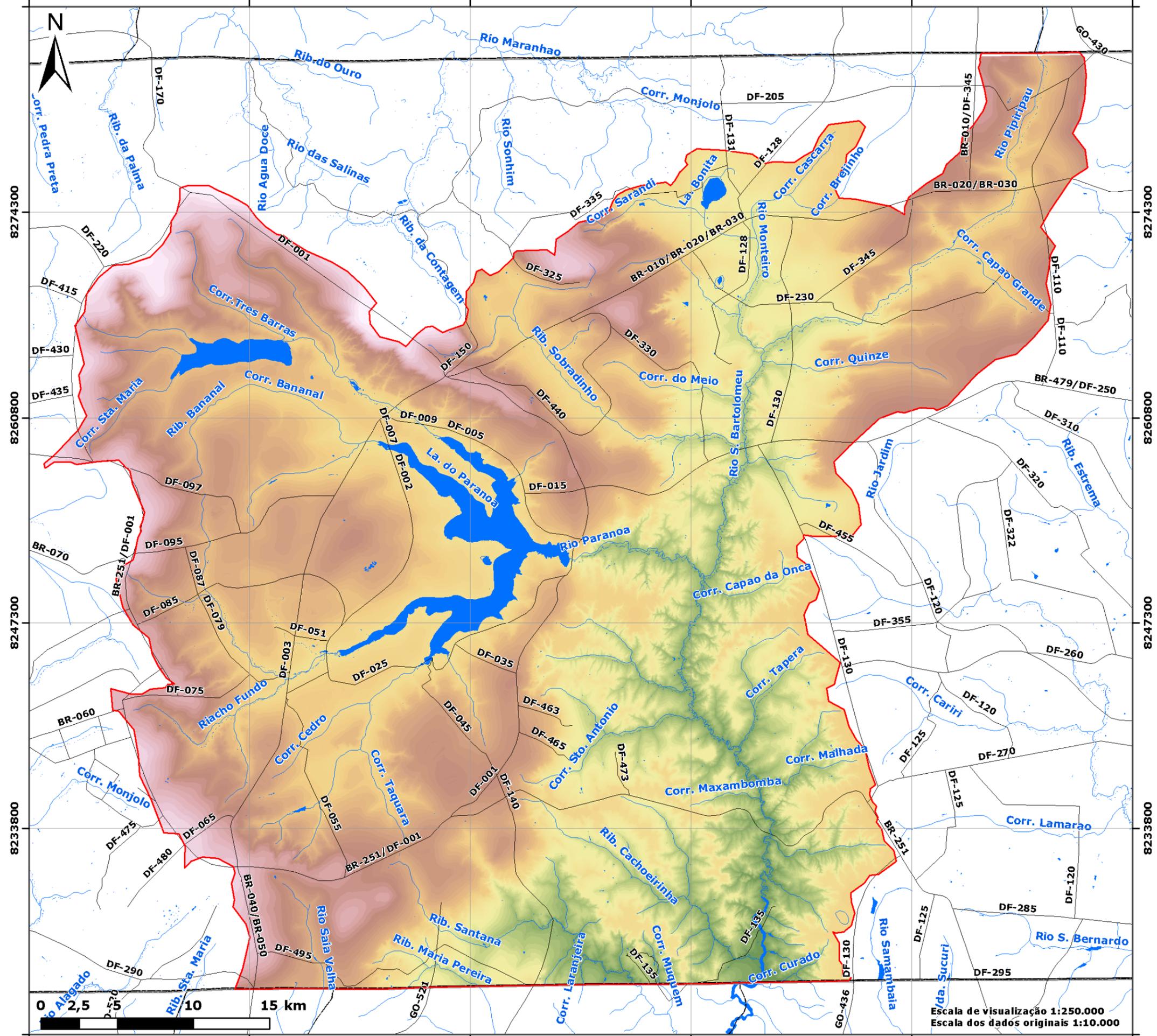
Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.

Fonte dos Dados Originais:
 1) IBGE (2010);
 2) Moreira et al. (2008);
 3) Valeriano (2008) (TOPODATA).

**L – CARTA DE HIPSOMETRIA DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DE**

166207 180707 195207 209708 224208 238708

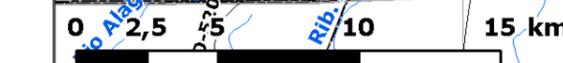


Legenda

	Área de estudo		1.050 - 1.060
Hipsometria (m)			1.060 - 1.070
	830 - 840		1.070 - 1.080
	840 - 850		1.080 - 1.090
	850 - 860		1.090 - 1.100
	860 - 870		1.100 - 1.110
	870 - 880		1.110 - 1.120
	880 - 890		1.120 - 1.130
	890 - 900		1.130 - 1.140
	900 - 910		1.140 - 1.150
	910 - 920		1.150 - 1.160
	920 - 930		1.160 - 1.170
	930 - 940		1.170 - 1.180
	940 - 950		1.180 - 1.190
	950 - 960		1.190 - 1.200
	960 - 970		1.200 - 1.210
	970 - 980		1.210 - 1.220
	980 - 990		1.220 - 1.230
	990 - 1,000		1.230 - 1.240
	1.000 - 1.010		1.240 - 1.250
	1.010 - 1.020		1.250 - 1.260
	1.020 - 1.030		1.260 - 1.270
	1.030 - 1.040		1.270 - 1.280
	1.040 - 1.050		1.280 - 1.285

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual



166207 180707 195207 209708 224208 238708

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Hipsometria da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

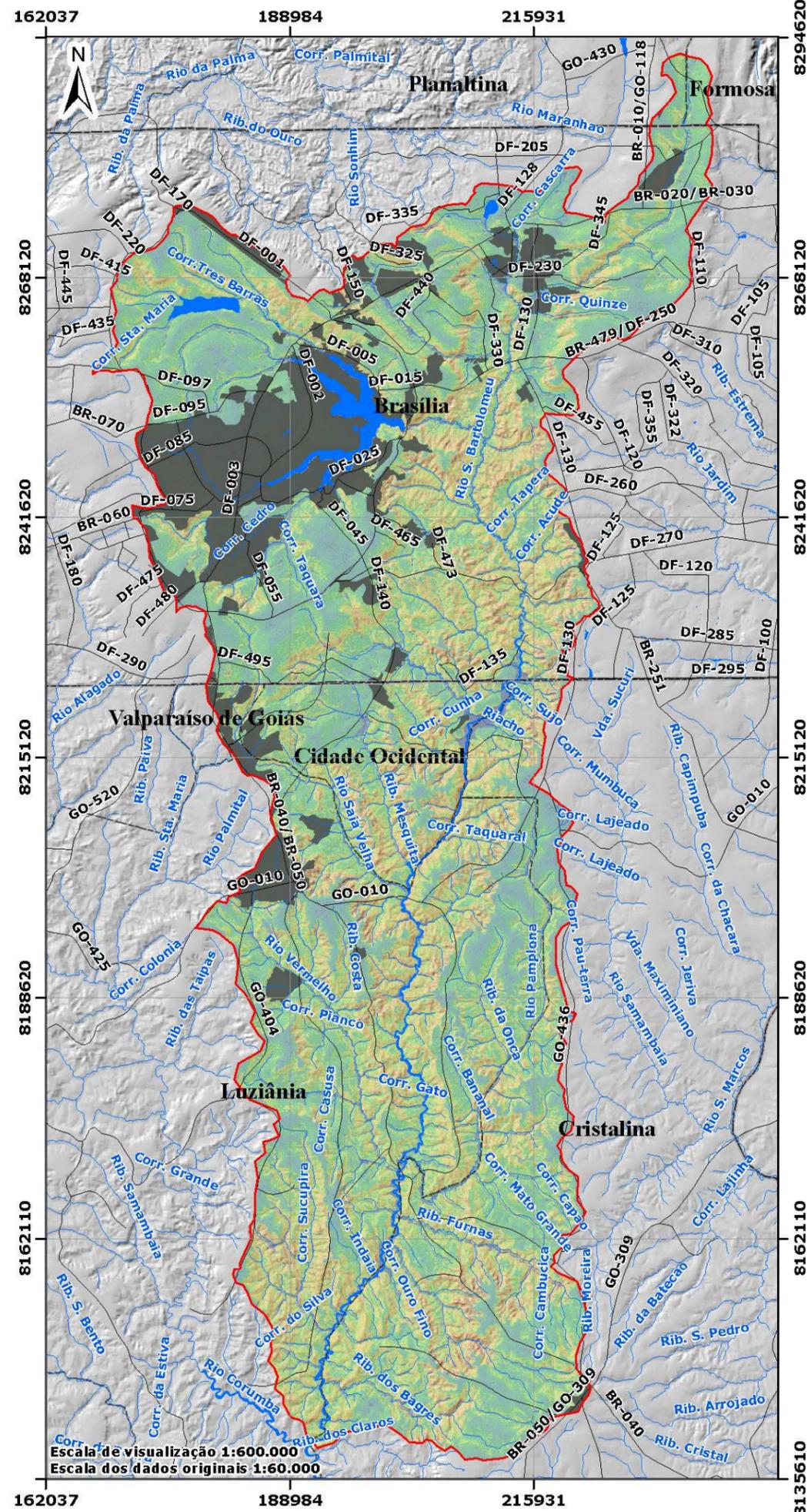
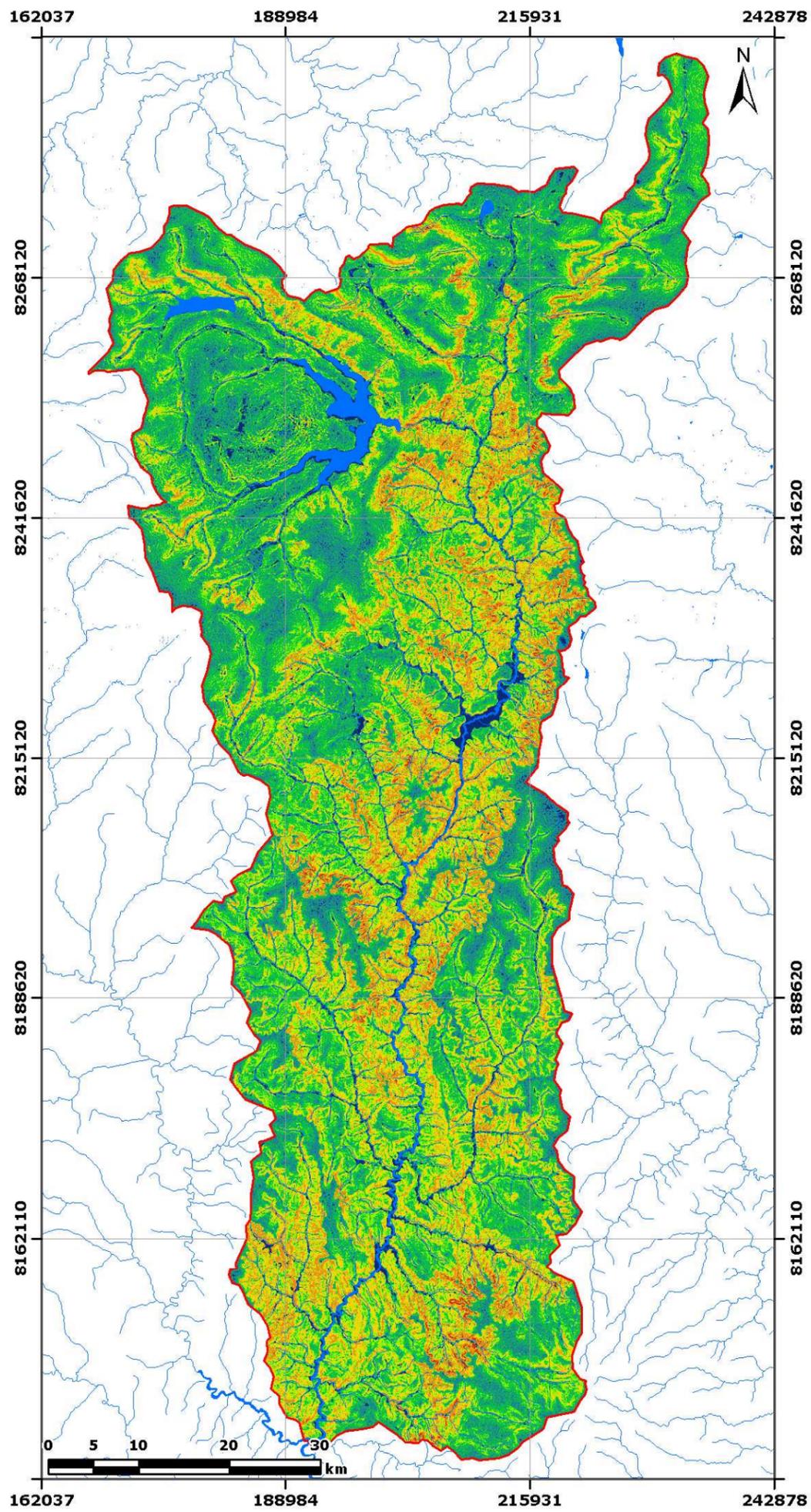
Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.
 Fonte dos Dados Originais:
 1) GDF (2010);
 2) IBGE (2010);
 3) Moreira et al. (2008).

Escala de visualização 1:250.000
Escala dos dados originais 1:10.000

M – CARTA DE DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU



Legenda

Área de estudo
 Perímetro urbano

Declividade (%) (°)

	< 1		< 0,6
	1 - 2		0,6 - 1,2
	2 - 5		1,2 - 2,9
	5 - 8		2,9 - 4,6
	8 - 15		4,6 - 8,5
	15 - 35		8,5 - 19,3
	35 - 90		19,3 - 42,0

Convenções Cartográficas

Drenagem
 Rodovia
 Limite intermunicipal
 Limite interestadual

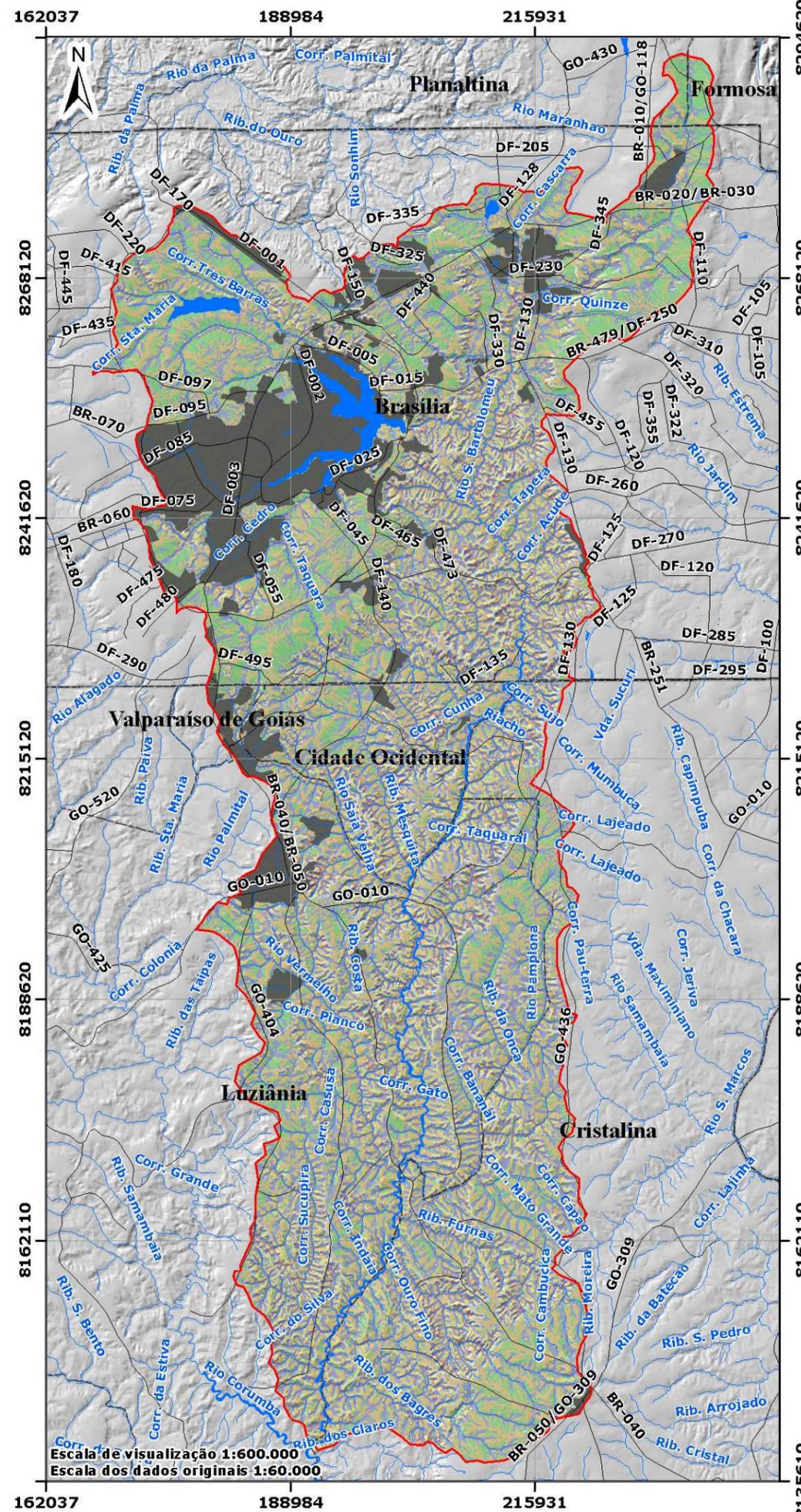
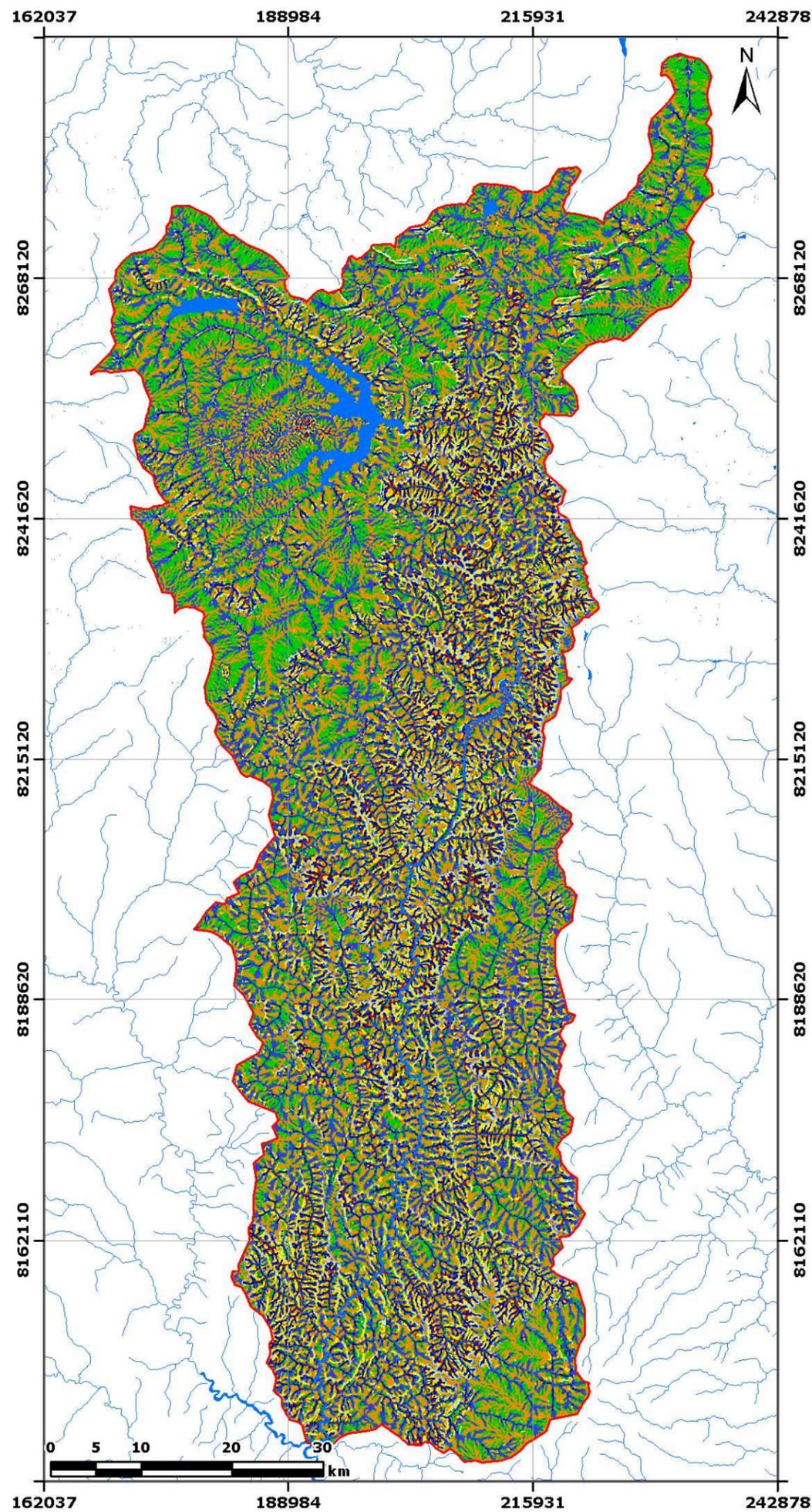
Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Declividade da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

<p>Autor: Pedro H. L. Batista</p> <p>Orientador: Newton M. de Souza</p>	<p>Data: Fevereiro, 2014.</p> <p>Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Valeriano (2008) (TOPODATA).</p>
---	---

**N – CARTA DE CURVATURA DAS VERTENTES DA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU**



Legenda

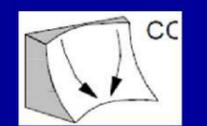
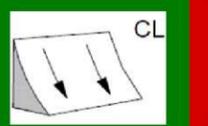
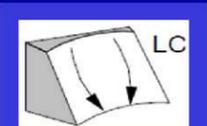
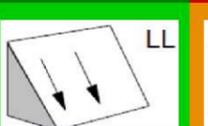
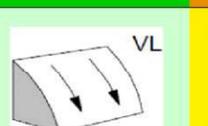
- Área de estudo
- Perímetro urbano

Curvatura (vertical-horizontal)

- Côncava-convergente (CC)
- Retilínea-convergente (LC)
- Convexa-convergente (VC)
- Côncava-planar (CL)
- Retilínea-planar (LL)
- Convexa-planar (VL)
- Côncava-divergente (CV)
- Retilínea-divergente (LV)
- Convexa-divergente (VV)

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Figuras modificadas de Shoeneberger & Wysocki (2008).



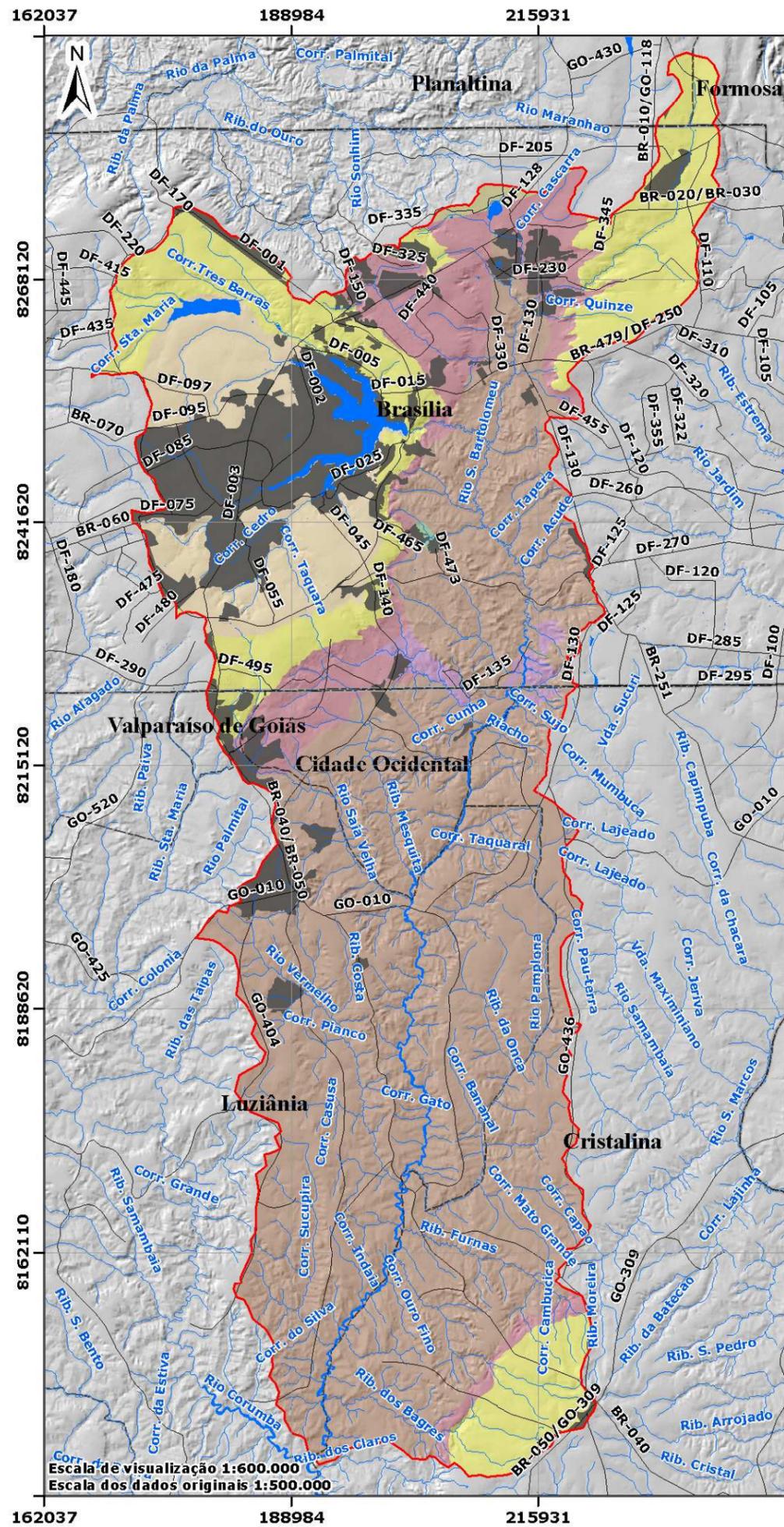
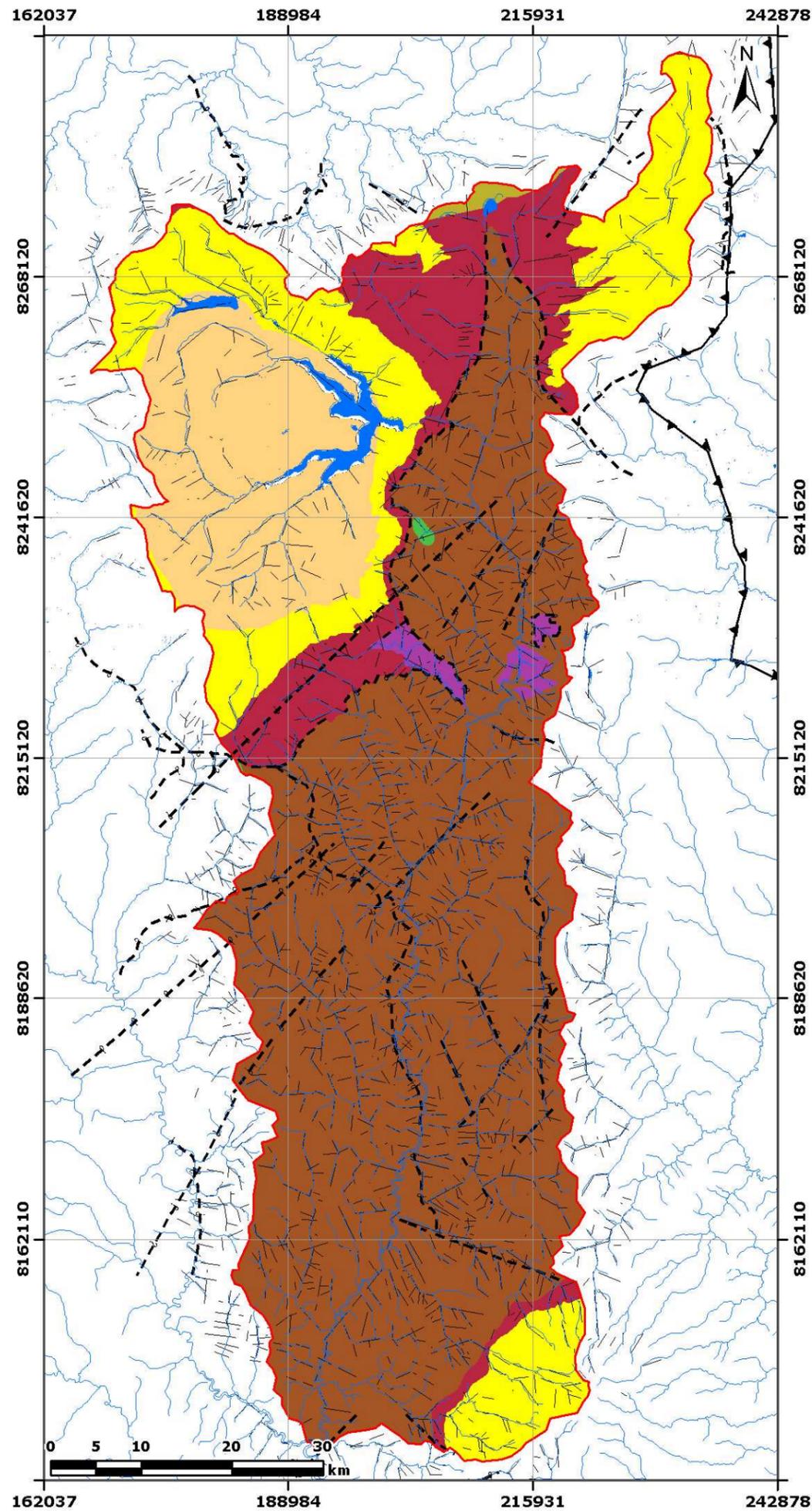
Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Curvatura das Vertentes da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2010); 2) Moreira et al. (2008); 3) Valeriano (2008) (TOPODATA).

**O – CARTA DE HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS PROFUNDOS DA BACIA
DO RIO SÃO BARTOLOMEU**



Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano
- Aquífero profundo
- Não divulgado
- Sistema, Domínio
- SACcf, Físuro-Cárstico
- SACf, Fraturado
- SAPa, Fraturado
- SAPppc, Físuro-Cárstico
- SAPr3q3, Fraturado
- SAPr4, Fraturado

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual
- Lineamento estrutural
- Falha geotectônica
- Falha de empurrão ou reversa
- Falha ou zona de cisalhamento ou transcorrente

Sistema	$Q_{\text{médio}}$ (m ³ /h)
SABf	6,5
SACcf	> 30
SACf	7,5
SAPa	4
SAPppc	9
SAPr3q3	12
SAPr4	6

Sistema aquífero (SA):

- SABf - Bambuí fraturado
- SACcf - Canastra fissuro-cárstico
- SACf - Canastra fraturado
- SAPa - Paranoá, subsistema A (ardósia)
- SAPppc - Paranoá, subsistema PPC (psamo-pelito-carbonatado)
- SAPr3q3 - Paranoá, subsistema R3/Q3 (metarrilito e quartzito)
- SAPr4 - Paranoá, subsistema R4 (metarrilito argiloso)

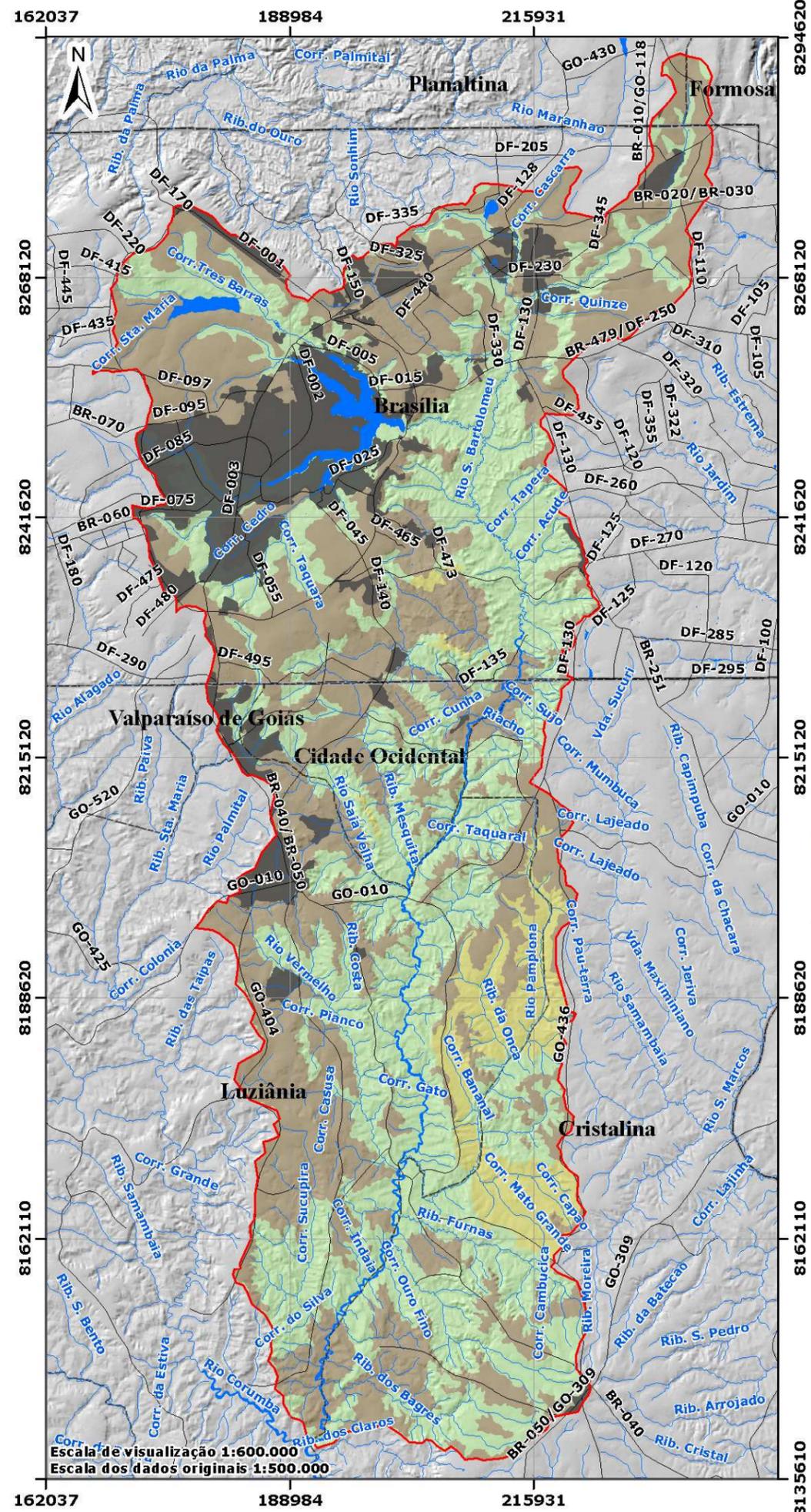
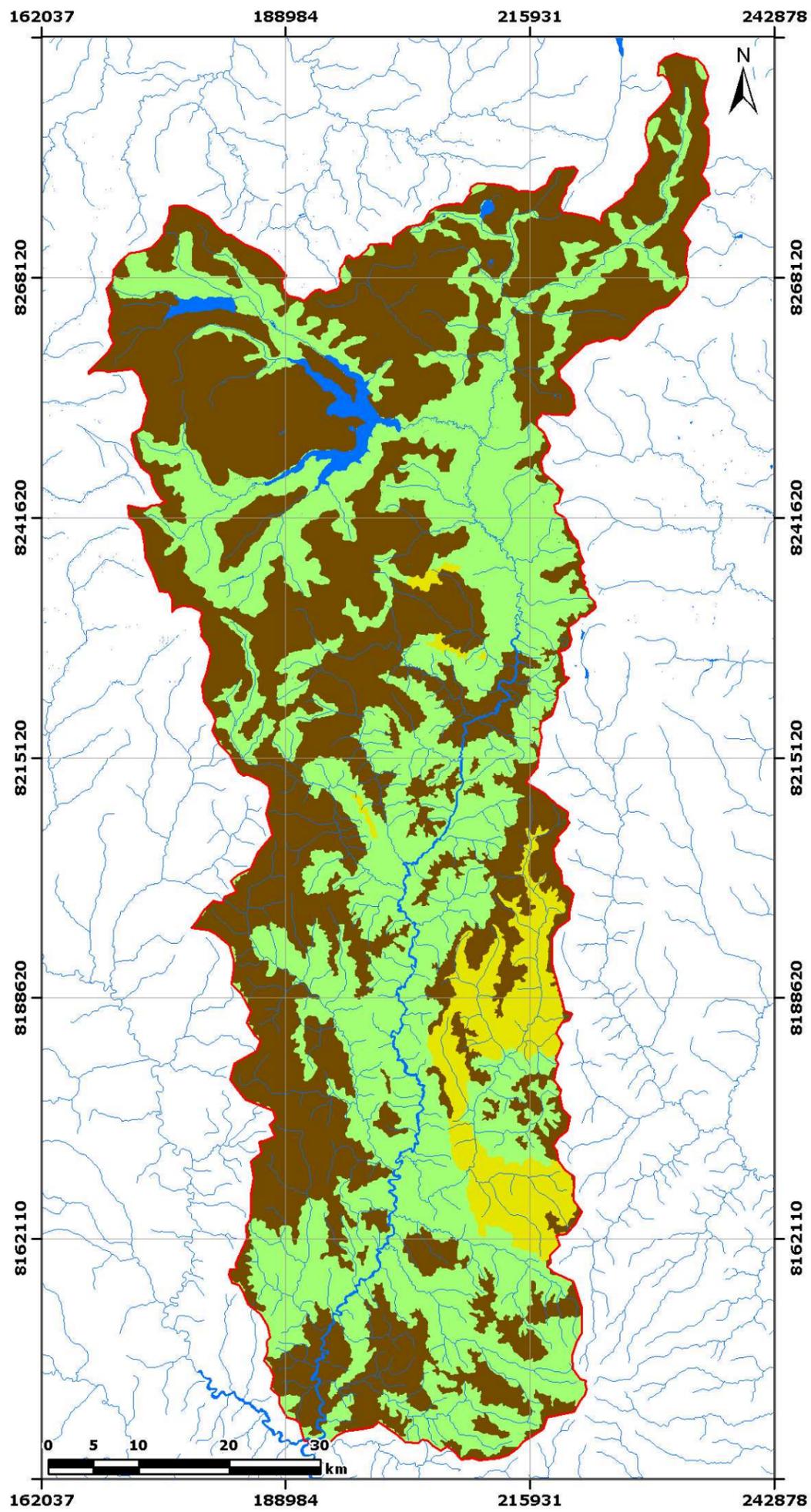
Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Hidrogeologia dos Aquíferos Profundos da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) Almeida et al. (2006); 2) IBGE (2010); 3) Moreira et al. (2008).

**P – CARTA DE HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS RASOS DA BACIA DO RIO
SÃO BARTOLOMEU**



Legenda

- Área de estudo
- Perímetro urbano

Aquífero raso

- Não divulgado
- Inexistente
- Sistema Poroso II
- Sistema Poroso III

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Ersaio - método (m/s)					
Superfície - Anel Concêntrico					
Sistema	k_v máx	k_v mín	k_v médio	n_e médio (%)	Espessura
Poroso II (F ₂)	10^{-4}	10^{-7}	$3,3 \cdot 10^{-5}$	8	20 m
Poroso III (F ₃)	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-7}	$1,4 \cdot 10^{-5}$	6	15 m
Profundo - open end hole					
Sistema	k_v máx	k_v mín	k_v médio	n_e médio (%)	Espessura
Poroso II (F ₂)	10^{-4}	10^{-9}	$4,0 \cdot 10^{-6}$	-	-
Poroso III (F ₃)	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	6	10 m

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

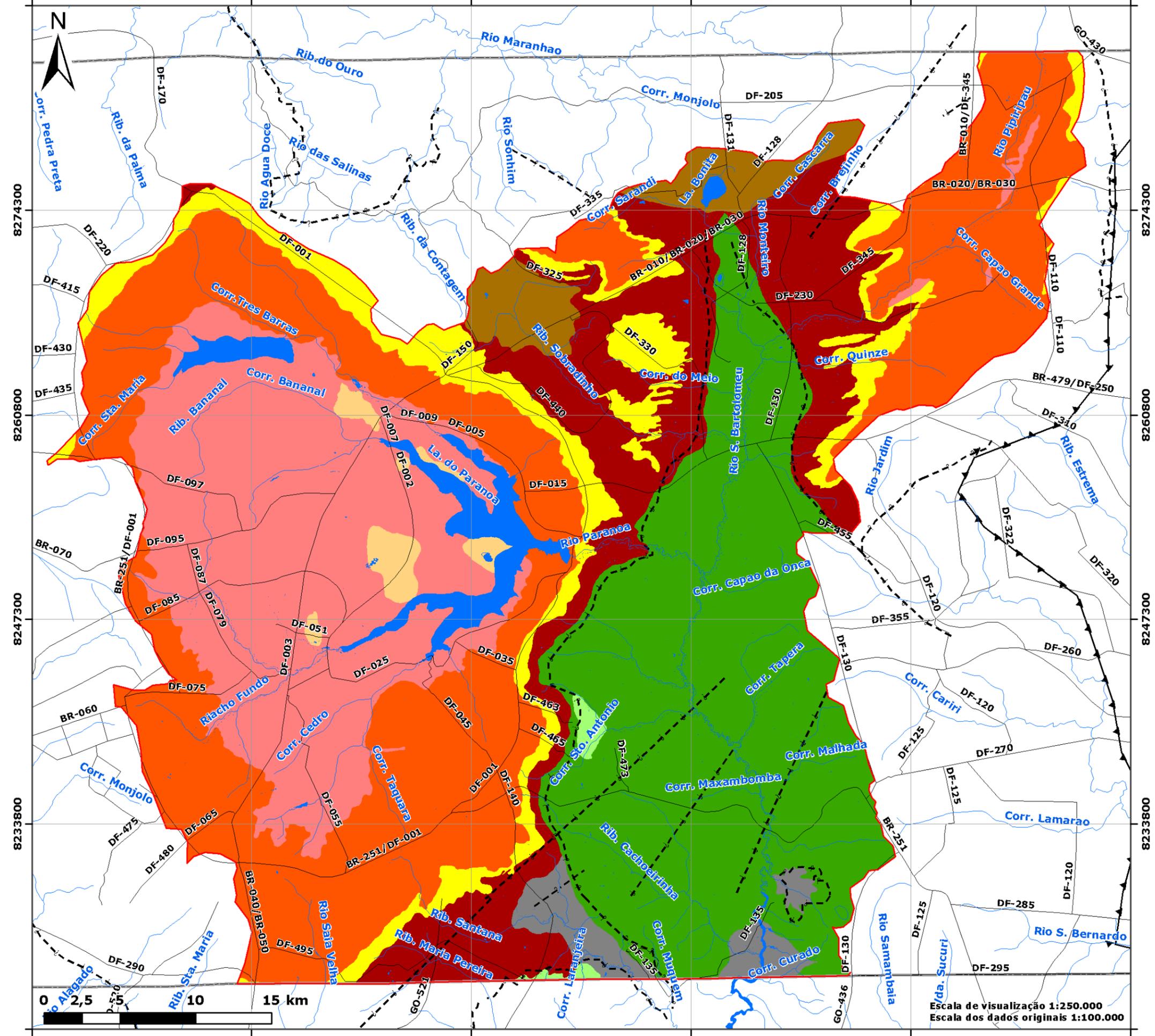
Carta de Hidrogeologia dos Aquíferos Rasos da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) Almeida et al. (2006); 2) IBGE (2010); 3) Moreira et al. (2008).

**Q – CARTA DE HIDROGEOLOGIA DO DOMÍNIO FRATURADO DA BACIA DO
RIO SÃO BARTOLOMEU – PORÇÃO DF**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

- Área de estudo
- Hidrogeologia
 - Não divulgado
 - Subsistema, Domínio fraturado
 - F/Q/M, MNPccf (Mármore, calcifilito e quartzito)
 - F, MNPcf (Filito e arcóseo)
 - BambuÍ, NPb (Material pelítico)
 - A, MNPpa (Ardósia)
 - R3/Q3, MNPpr3 (Material psamítico)
 - R3/Q3, MNPpq3 (Material psamítico)
 - R4, MNPpr4 (Metarritmito argiloso)
 - S/A, MNPps (Metassilito)
 - PPC, MNPppc (Psamo-pelito carbonatado)
- Convenções Cartográficas
 - Drenagem
 - Rodovia
 - Limite intermunicipal
 - Limite interestadual
 - Lineamento estrutural
 - Falha geotectônica
 - Falha de empurrão ou reversa
 - Falha ou zona de cisalhamento ou transcorrente

Subsistema	$Q_{\text{m\u00e9dio}}$ (L/h)	$Q_{\text{m\u00e9dio}}$ (m ³ /h)
F/Q/M	33.000	33,00
F	7.500	7,50
BambuÍ	5.210	5,21
A	4.390	4,39
R3/Q3	12.200	12,20
R4	6.150	6,15
S/A	12.700	12,70
PPC	9.100	9,10

Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Hidrogeologia (Fraturado) da Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

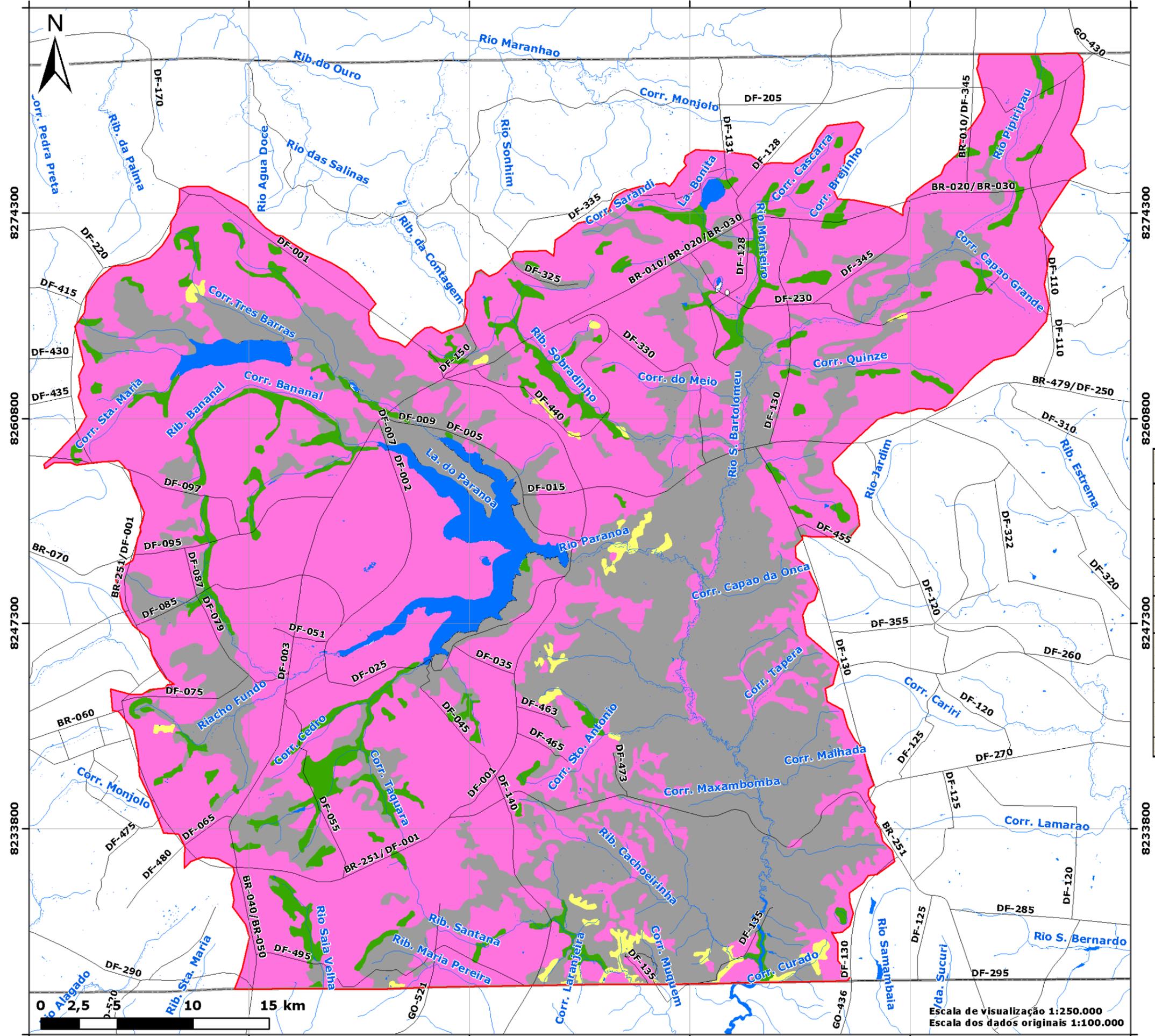
Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

<p>Autor: Pedro H. L. Batista</p> <p>Orientador: Newton M. de Souza</p>	<p>Data: Fevereiro, 2014.</p> <p>Fonte dos Dados Originais: 1) Freitas-Silva & Campos (1998); 2) IBGE (2010); 3) Moreira et al. (2008).</p>
---	---

166207 180707 195207 209708 224208 238708

**R – CARTA DE HIDROGEOLOGIA DO DOMÍNIO POROSO DA BACIA DO RIO
SÃO BARTOLOMEU – PORÇÃO DF**

166207 180707 195207 209708 224208 238708



Legenda

Área de estudo

Hidrogeologia

Não divulgado

Domínio poroso

P1

P2

P3

P4

Convenções Cartográficas

Drenagem

Rodovia

Limite intermunicipal

Limite interestadual

Souza & Campos (2001)						
Profundidade do ensaio	Superfície	0,5m	1,0m	1,5m	2,0m	h(octa saturada - m)
Domínio poroso	k_v (m/s)					
P1	1,60E-04	7,50E-04	2,70E-04	1,20E-04	9,90E-05	10m
P2	6,00E-05	1,40E-04	1,60E-04	1,40E-04	4,00E-05	>10m
P3	8,20E-05	4,00E-04	3,10E-04	6,90E-05	6,50E-06	<15m
P4	2,20E-05	6,10E-05	4,30E-05	1,20E-05	1,60E-05	Solos rasos
Freitas-Silva & Campos (1998)						
Domínio poroso	k_v (m/s)	T (m/s)				
P1	entre 1,73E-05 a 2,84E-06	entre 1,73E-04 a 2,84E-05				
P2	entre 1,00E-07 a 1,00E-08	-				
P3	entre 1,43E-08 a 2,34E-09	entre 5,70E-08 a 10,4E-09				
P4	-	-				

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Hidrogeologia (Poroso) da
Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.
Fonte dos Dados Originais:
1) Campos (2010);
2) IBGE (2010);
3) Moreira et al. (2008).



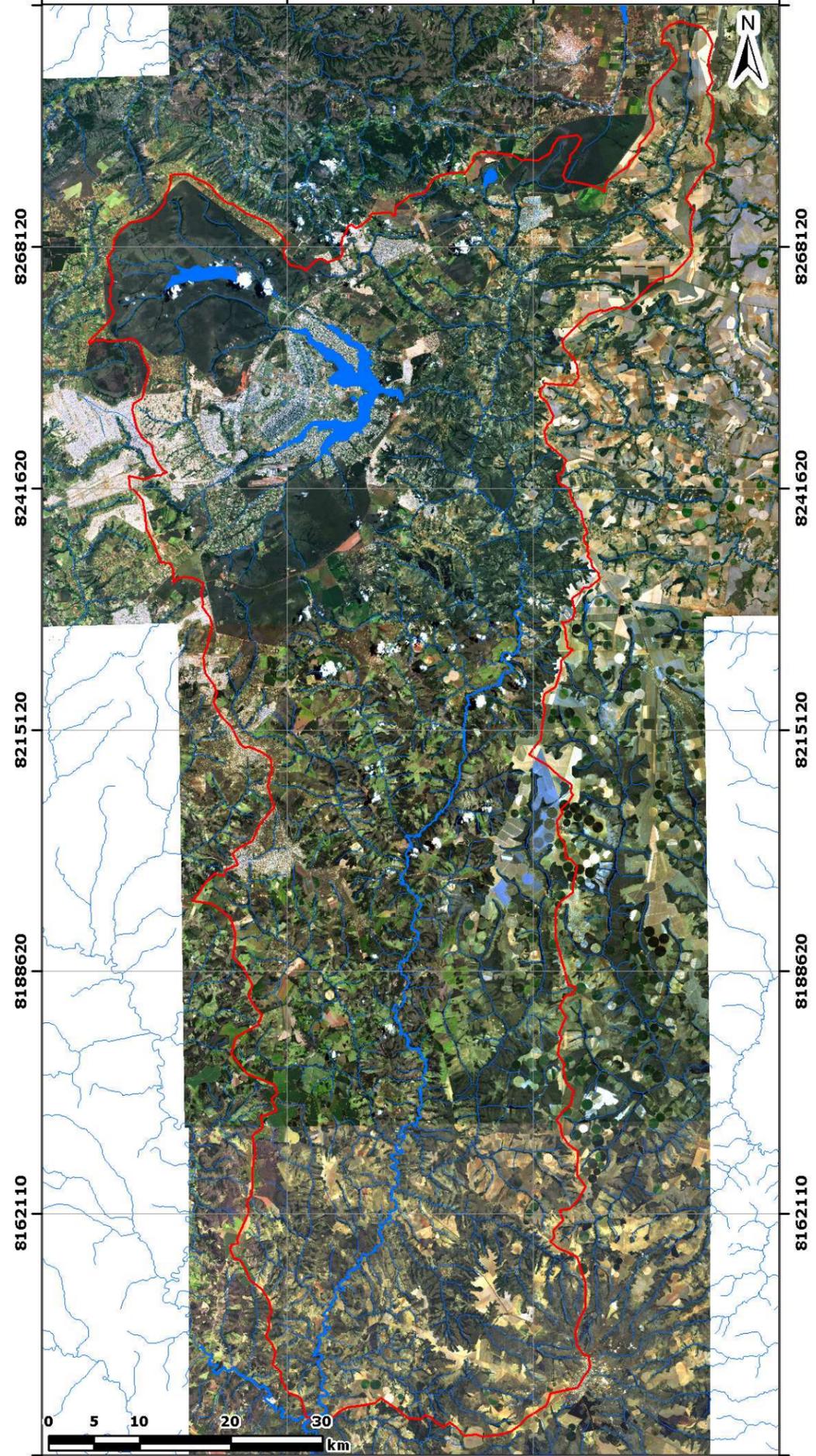
Escala de visualização 1:250.000
Escala dos dados originais 1:100.000

166207 180707 195207 209708 224208 238708

**S – CARTA DE DISTÂNCIA DE DRENAGEM DA BACIA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU**

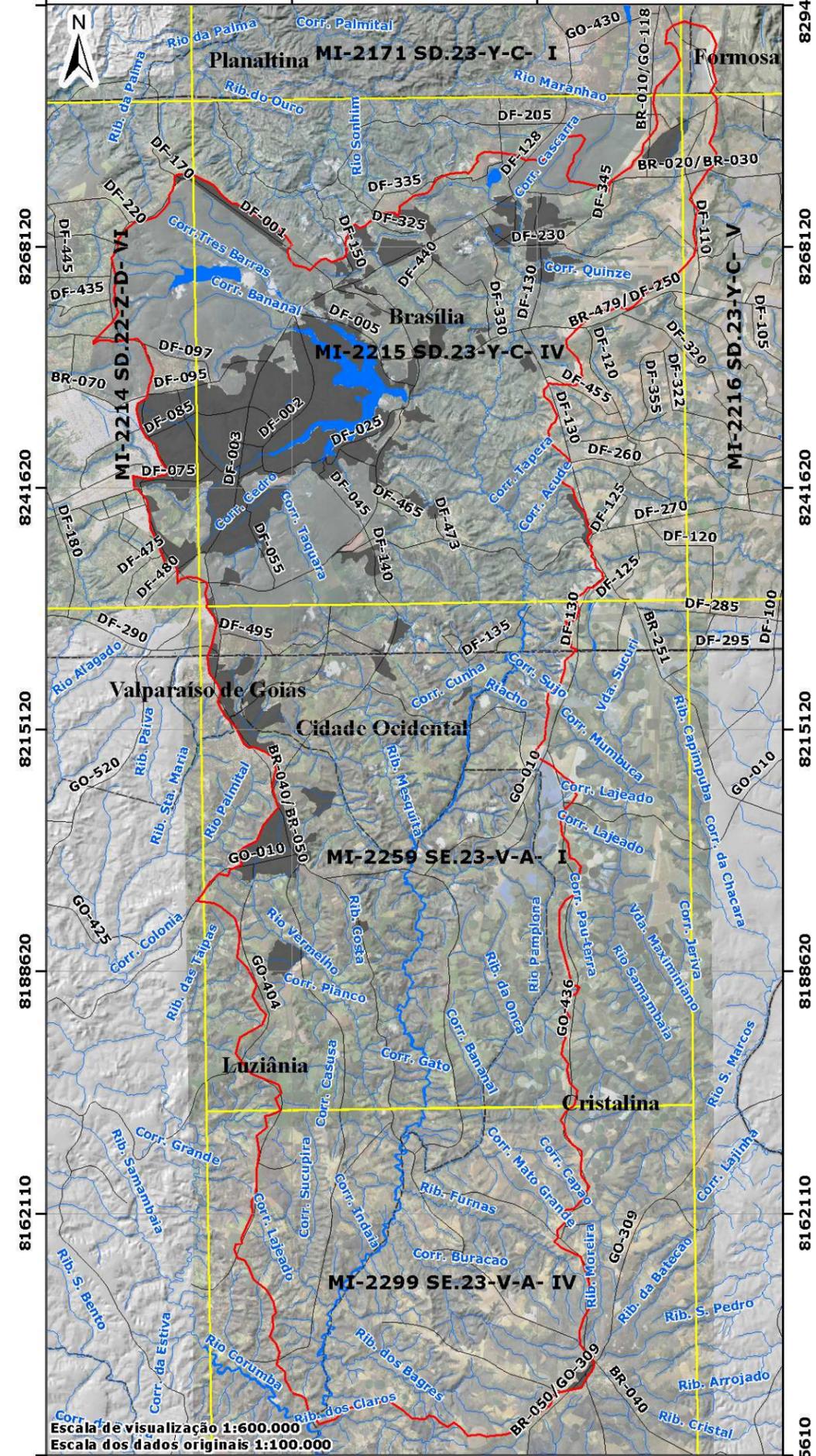
T – CARTA IMAGEM DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU

162037 188984 215931 242878



162037 188984 215931 242878

162037 188984 215931



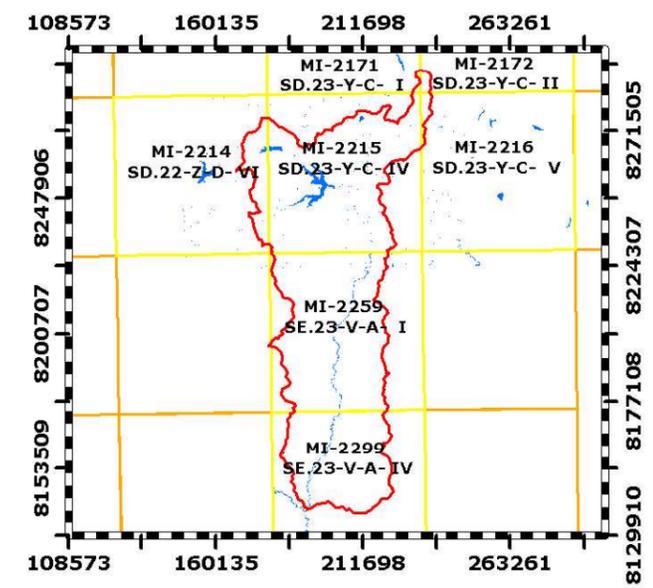
162037 188984 215931

Legenda

- Área de estudo
- Folha
- Folha (área de estudo)

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual





Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

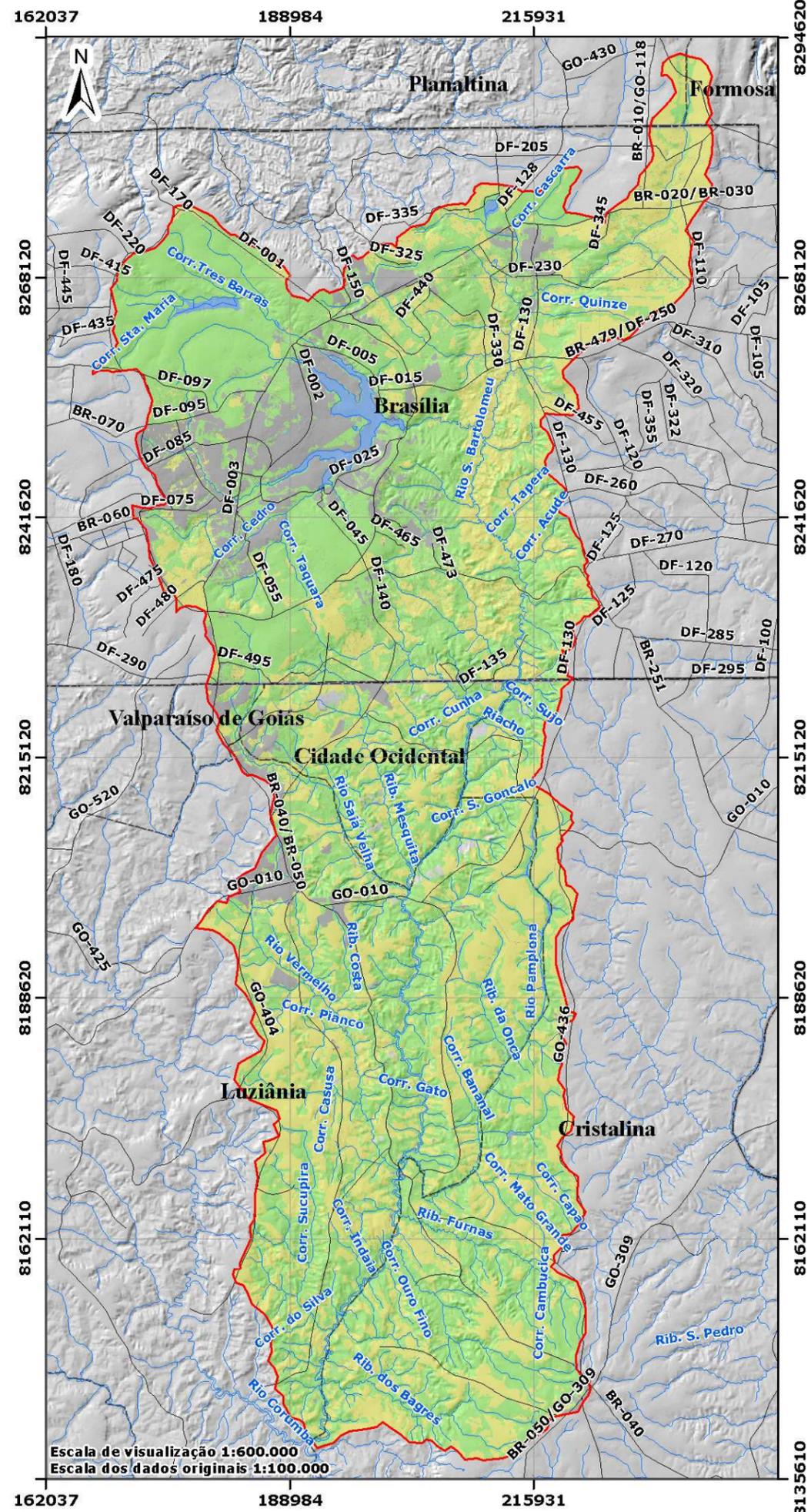
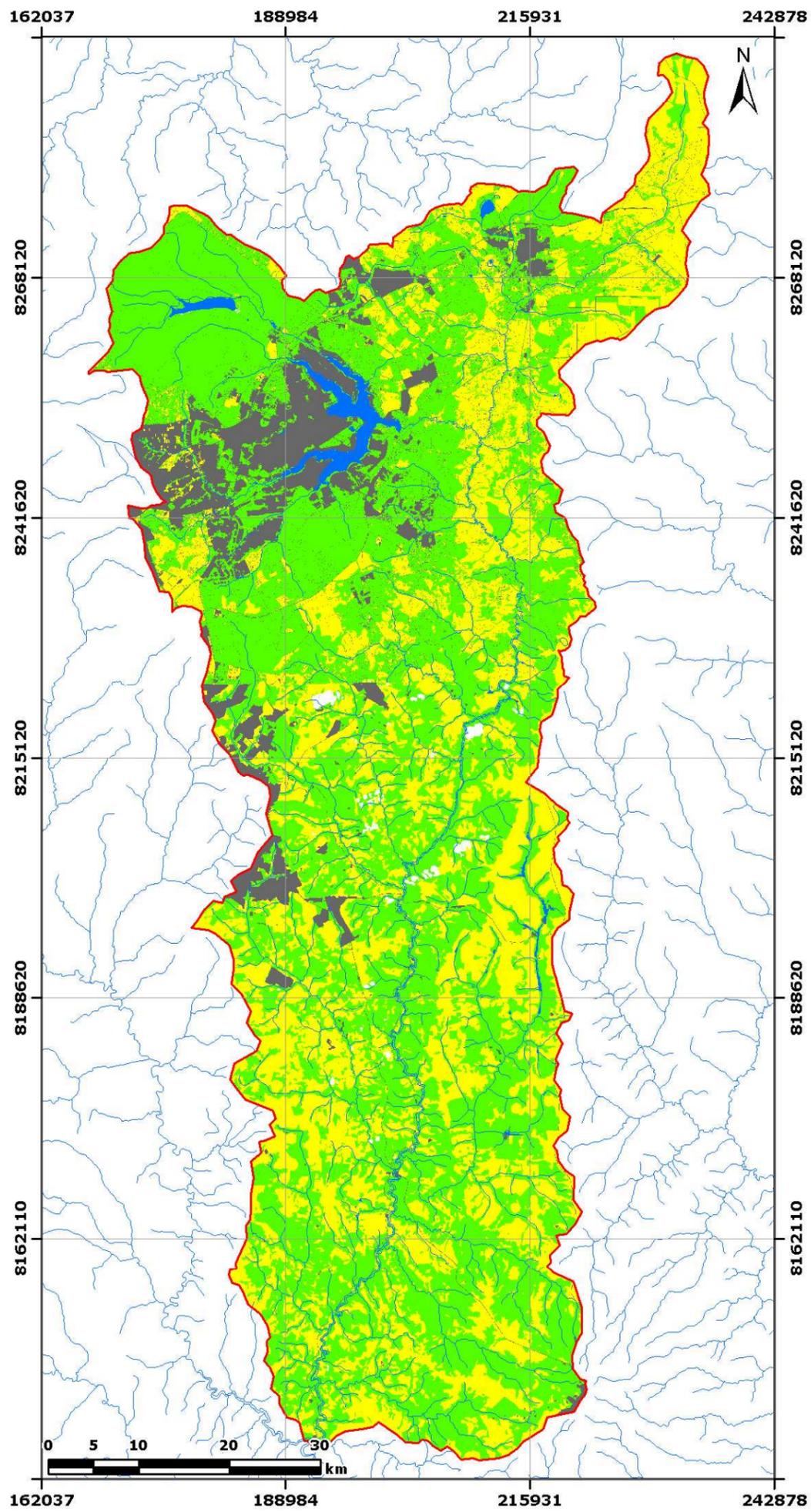
Carta Imagem da Bacia do Rio São Bartolomeu

Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) IBGE (2012); 2) IBGE (2010); 3) Moreira et al. (2008).

U – CARTA IMAGEM DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU – PORÇÃO DE

V – CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 4º NÍVEL



Legenda

 Área de estudo
 Classe de Uso & Cobertura do Solo
 Nuvem
 Agrícola ou periurbana
 Não agrícola
 Área natural
 Água, lago, lagoa e rio

Convenções Cartográficas

 Drenagem
 Rodovia
 Limite intermunicipal
 Limite interestadual



Universal Transversa de Mercator - UTM
 Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
 Datum horizontal: SIRGAS 2000

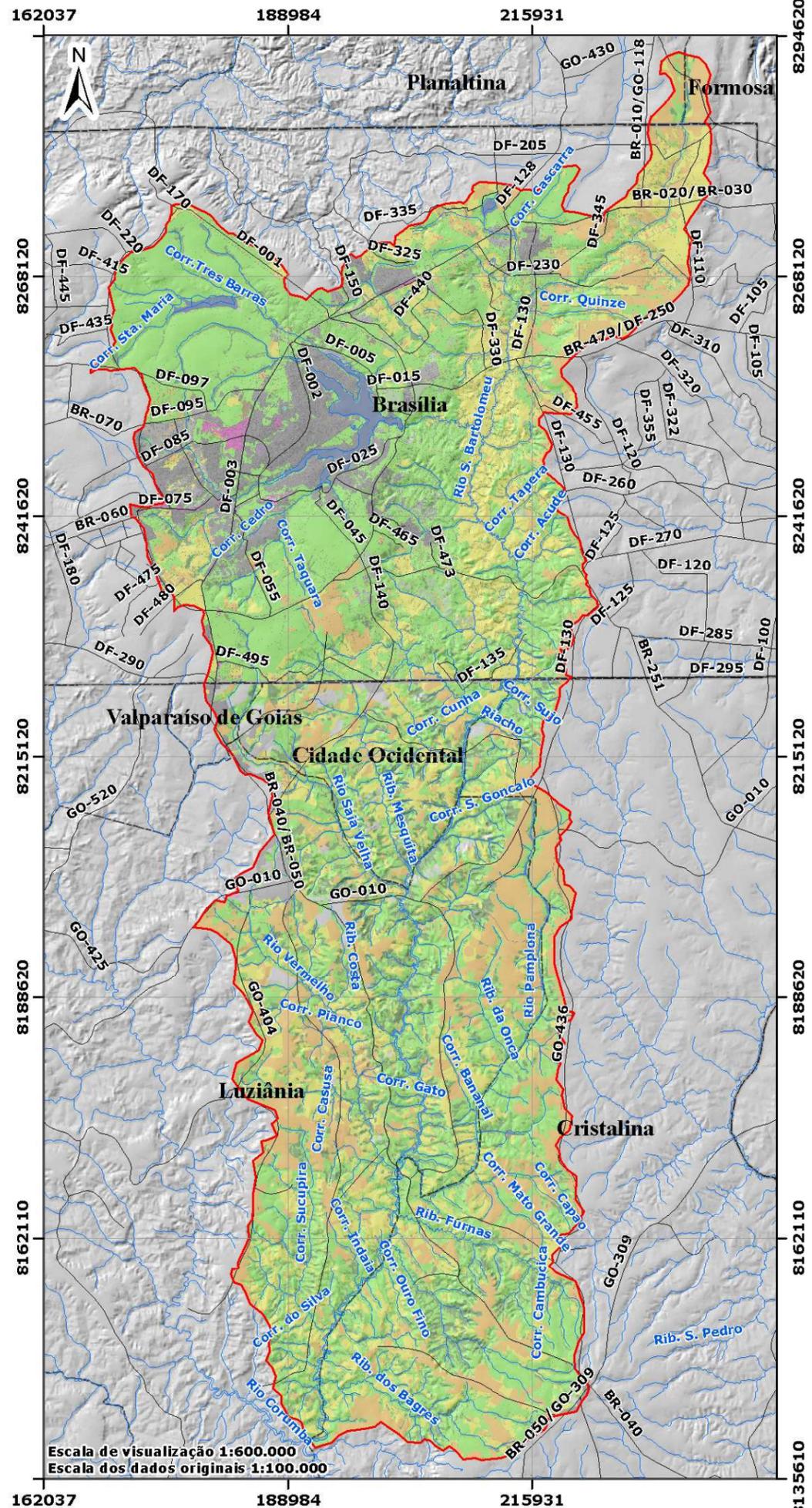
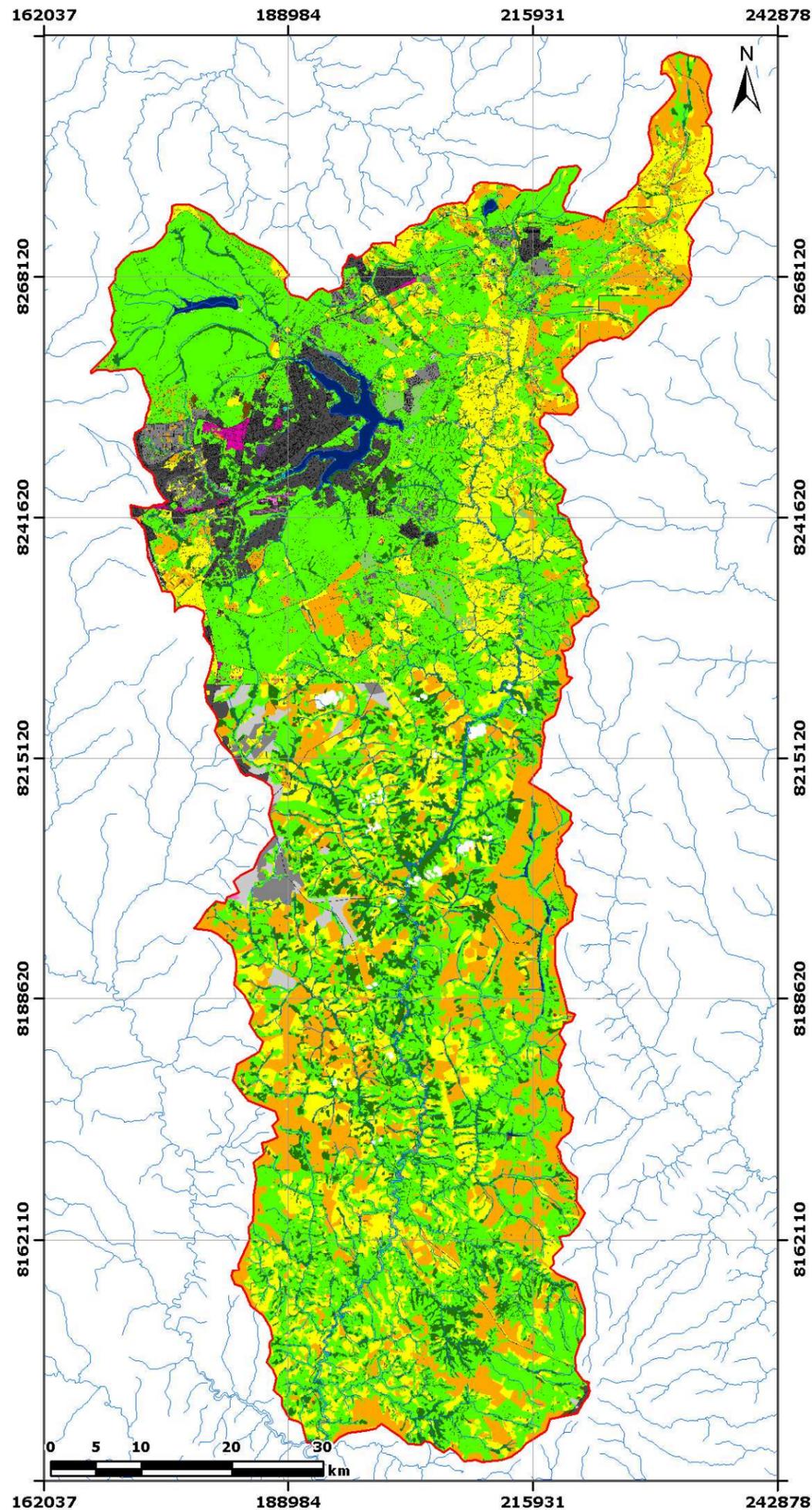
Carta de Uso e Cobertura do Solo 4º nível
 Universidade de Brasília - UnB
 Faculdade de Tecnologia - FT
 Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
 Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Data: Fevereiro, 2014.

Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

Fonte dos Dados Originais:
 1) AGMA (2006);
 2) GDF (2010);
 3) IBGE (2012);
 4) Sefaz-GO (2007);
 5) SGM-GO (2007).

W – CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 5º NÍVEL



Legenda

- Área de estudo
- Classe de Uso & Cobertura do Solo
- Nuvem
- Cultura temporária e perene
- Infraestrutura rural e periurbana
- Área urbana consolidada
- Área urbana em consolidação
- Área urbana parcelada
- Área urbana industrial
- Sistema viário
- Solo exposto
- Base aérea
- Formação florestal
- Formação savânica
- Água (Lêntico)
- Água (Lótico)
- Reflorestamento
- Pasto
- Estação de tratamento
- Cemitério
- Convenções Cartográficas
- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Uso e Cobertura do Solo 5º nível

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor:
Pedro H. L. Batista

Orientador:
Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.

Fonte dos Dados Originais:
1) AGMA (2006);
2) GDF (2010);
3) IBGE (2012);
4) Sefaz-GO (2007);
5) SGM-GO (2007).

X – CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 6º NÍVEL

162037 188984 215931 242878

8268120

8241620

8215120

8188620

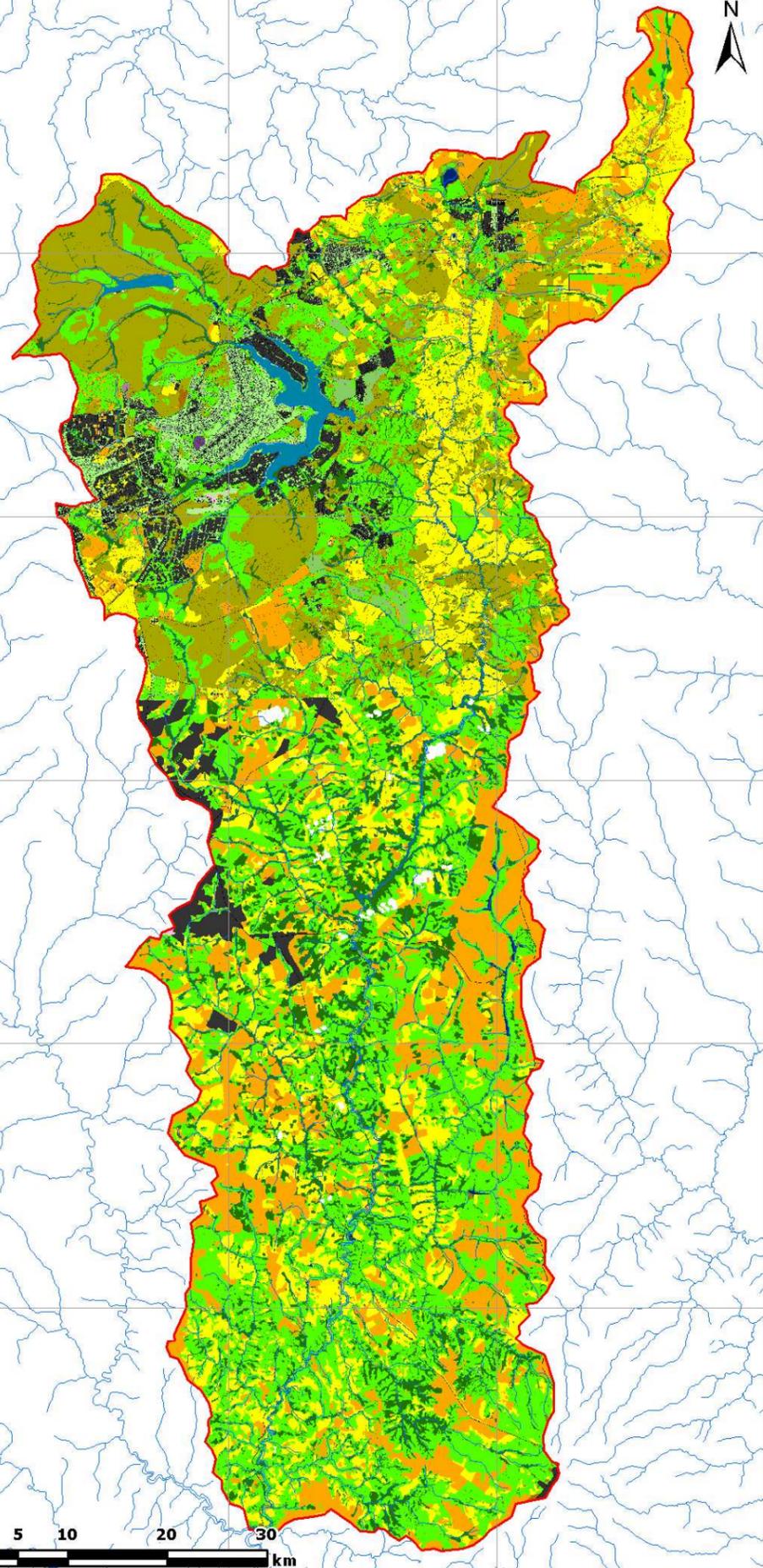
8162110

162037

188984

215931

242878



162037 188984 215931

8268120

8241620

8215120

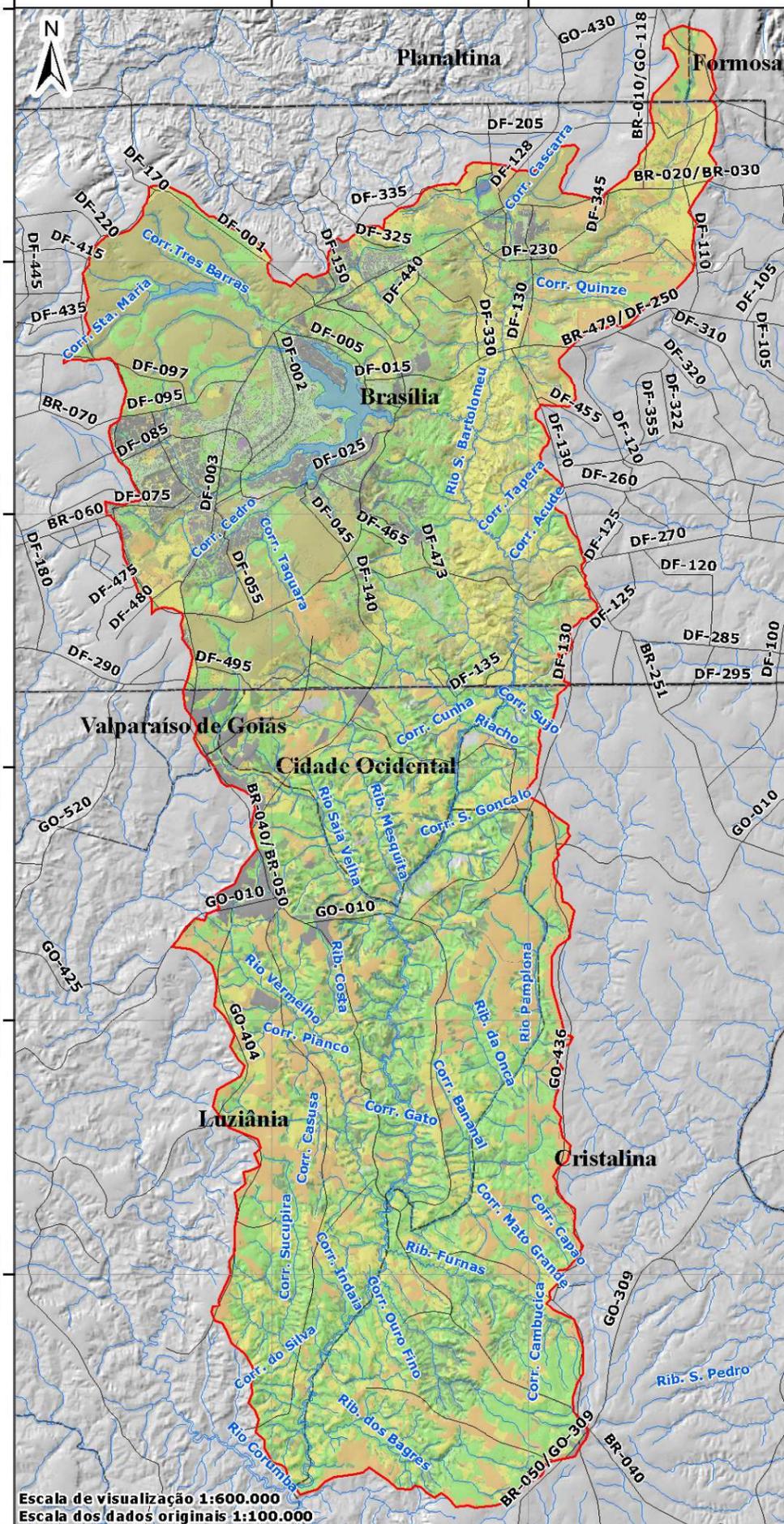
8188620

8162110

162037

188984

215931



8294620
8268120
8241620
8215120
8188620
8162110
8135610

Legenda

- Área de estudo
- Classe de Uso & Cobertura do Solo
 - Nuvem
 - Pomar
 - Conjunto de edificações
 - Construção
 - Edificação de grande porte
 - Ruína
 - Arquibancada
 - Campo de futebol
 - Estufa
 - Piscina
 - Tanque
 - Rodovia pavimentada
 - Rodovia não pavimentada
 - Área minerada
 - Aterro de resíduos
 - Área limpa
 - Bacia de contenção
 - Aeroporto
 - Pista de pouso
 - Aeroporto
 - Árvore
 - Mata
 - Campo cerrado ou savana parque
 - Cerrado ou savana arborizada
 - Alagado
 - Lago
 - Lagoa
 - Rio
 - Cultura
 - Reflorestamento
 - Pasto
 - Reservatório
 - Área e lote aberto, gramado ou ocioso
 - Cemitério
- Convenções Cartográficas
 - Drenagem
 - Rodovia
 - Limite intermunicipal
 - Limite interestadual



Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23S - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000



Carta de Uso e Cobertura do Solo 6º nível

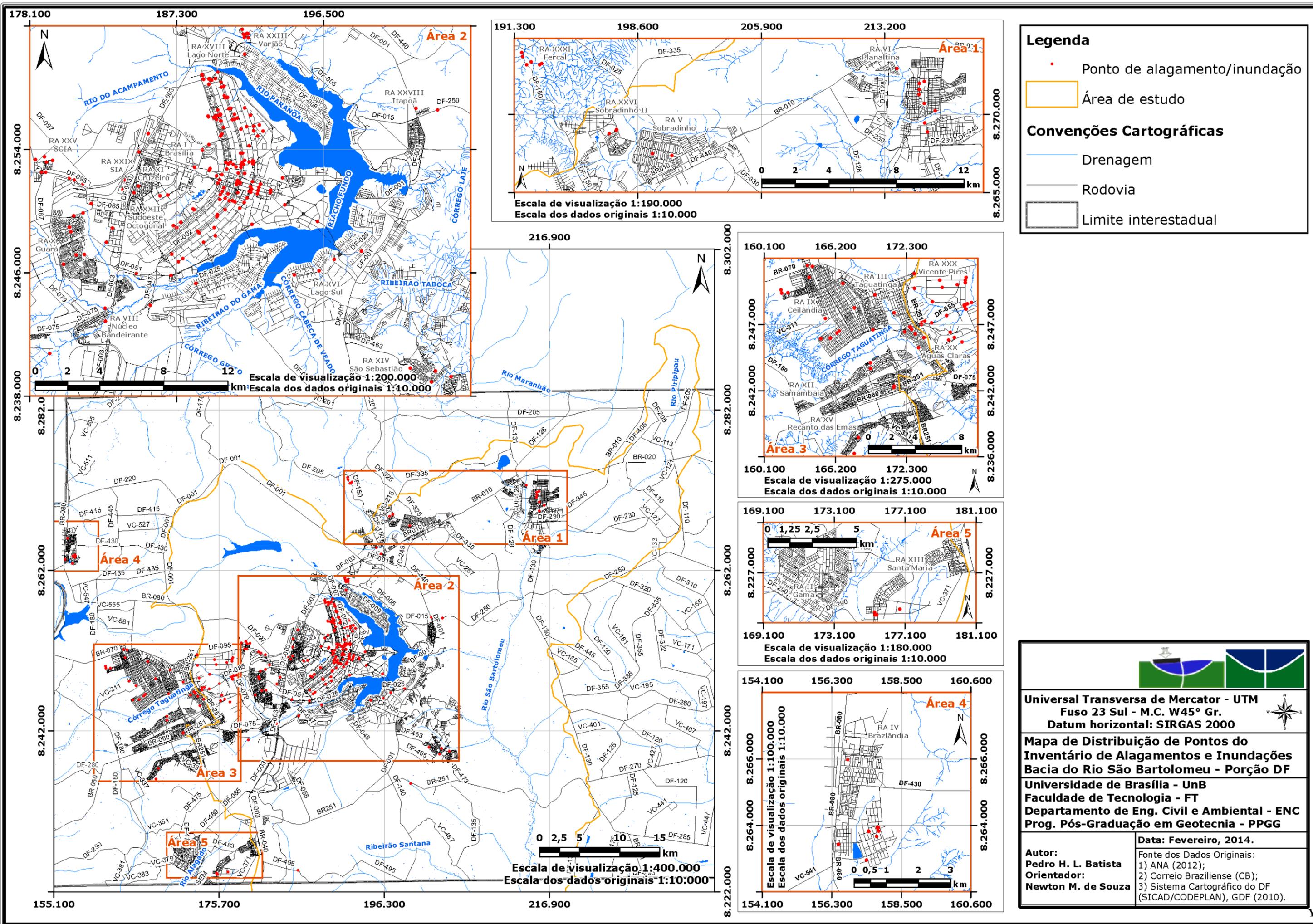
Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor:
Pedro H. L. Batista
Orientador:
Newton M. de Souza

Data: Fevereiro, 2014.
Fonte dos Dados Originais:
1) AGMA (2006);
2) GDF (2010);
3) IBGE (2012);
4) Sefaz-GO (2007);
5) SGM-GO (2007).

Escala de visualização 1:600.000
Escala dos dados originais 1:100.000

**Y – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DO INVENTÁRIO DE
ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DF**



Legenda

- Ponto de alagamento/inundação
- Área de estudo

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite interestadual

Área 1

Escala de visualização 1:190.000
Escala dos dados originais 1:10.000

0 2 4 8 12 km

Área 3

Escala de visualização 1:275.000
Escala dos dados originais 1:10.000

0 2 4 8 km

Área 5

Escala de visualização 1:180.000
Escala dos dados originais 1:10.000

0 1,25 2,5 5 km

Área 4

Escala de visualização 1:100.000
Escala dos dados originais 1:10.000

0 0,5 1 2 3 km

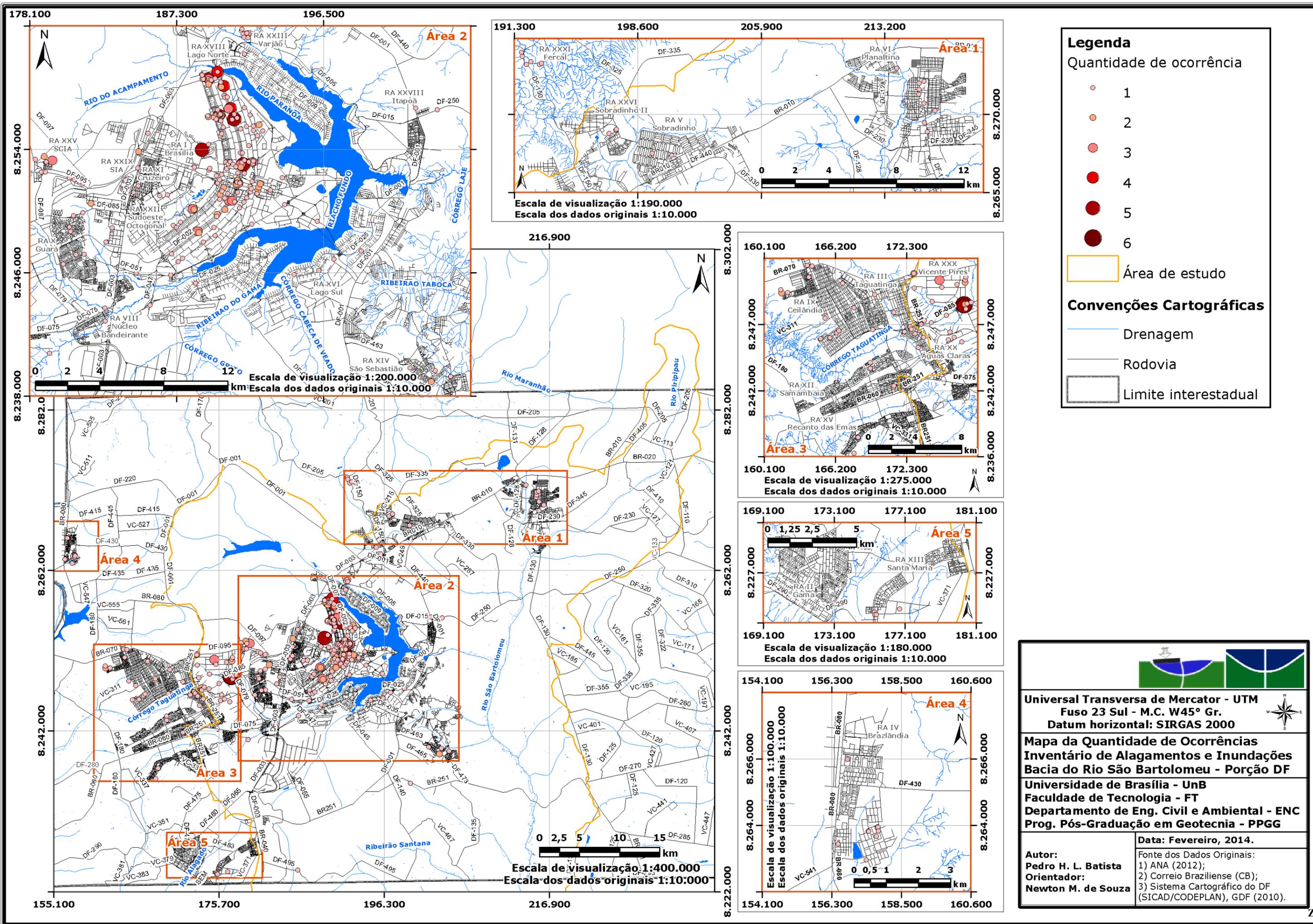
Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23 Sul - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Mapa de Distribuição de Pontos do Inventário de Alagamentos e Inundações
Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) ANA (2012); 2) Correio Braziliense (CB); 3) Sistema Cartográfico do DF (SICAD/CODEPLAN), GDF (2010).

**Z – MAPA DA QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DO INVENTÁRIO DE
ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU –
PORÇÃO DE**



Legenda

Quantidade de ocorrência

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Área de estudo

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite interestadual

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23 Sul - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

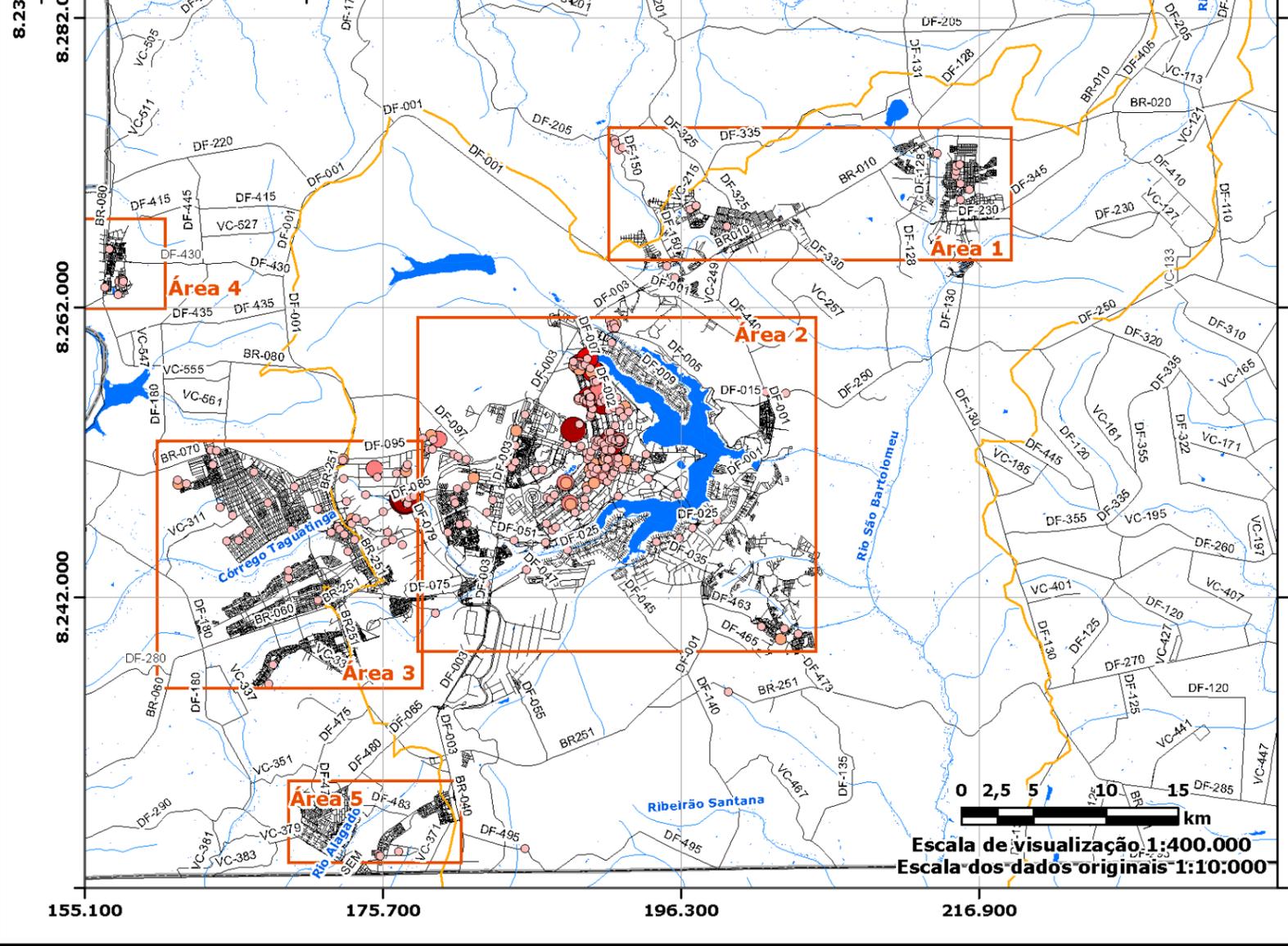
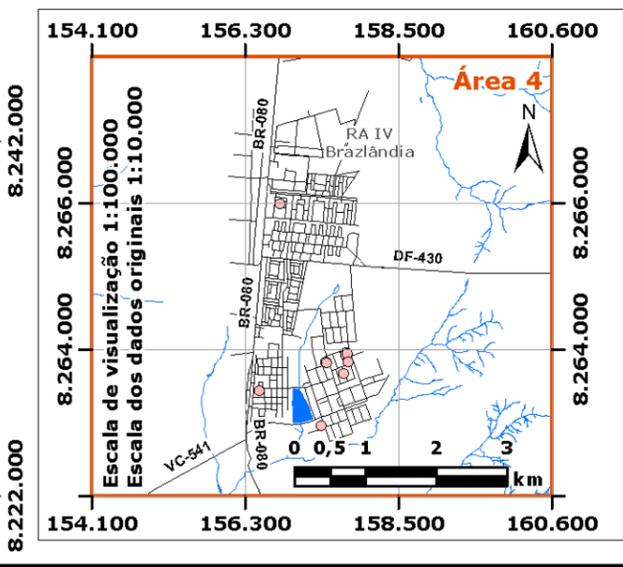
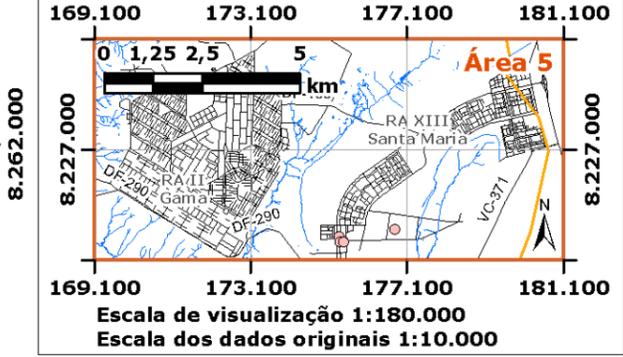
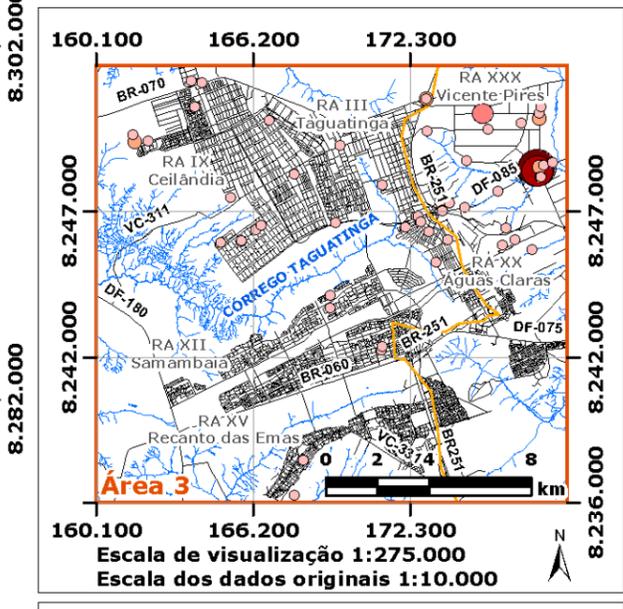
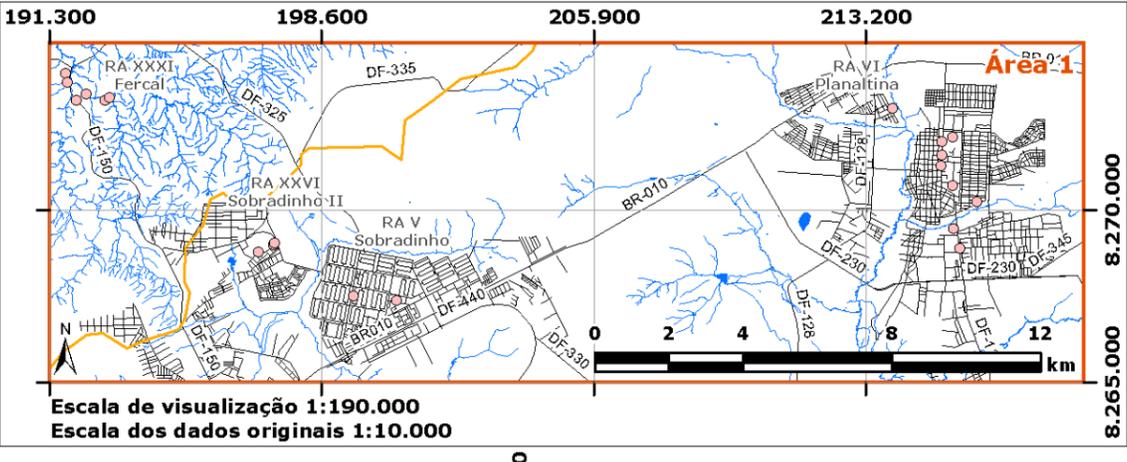
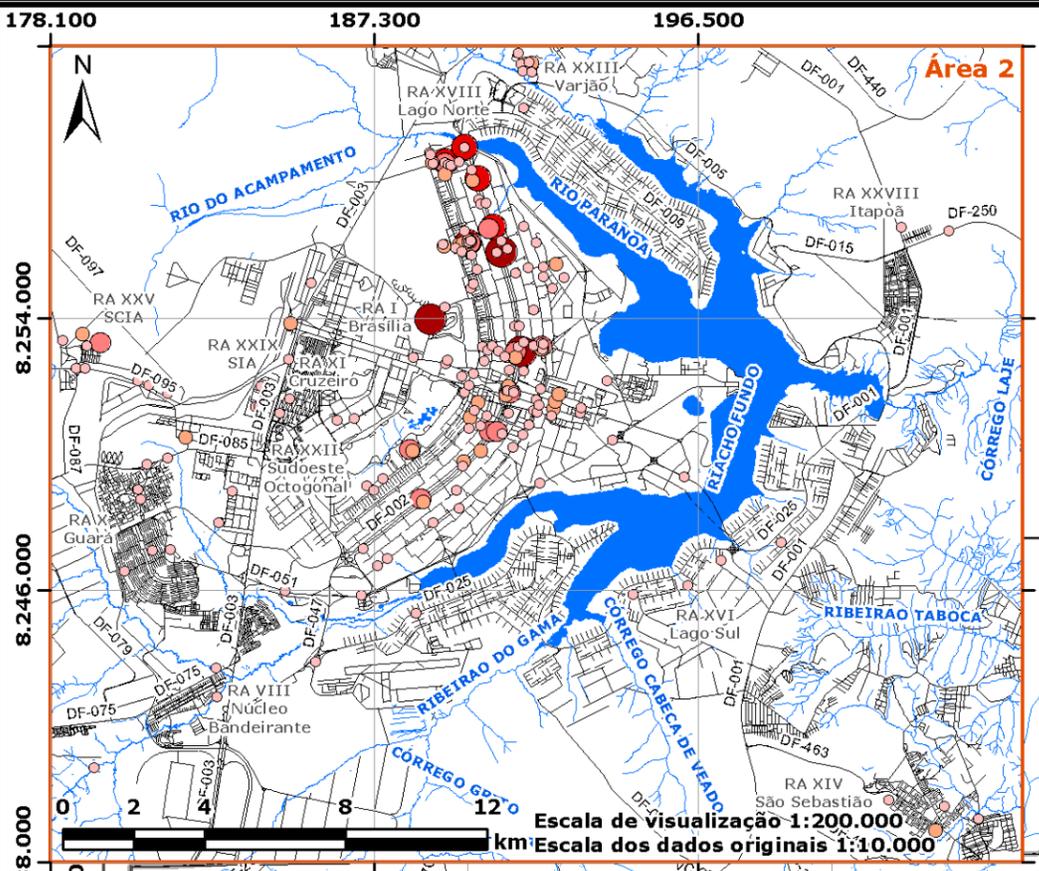
Mapa da Quantidade de Ocorrências
Inventário de Alagamentos e Inundações
Bacia do Rio São Bartolomeu - Porção DF

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista
Orientador: Newton M. de Souza

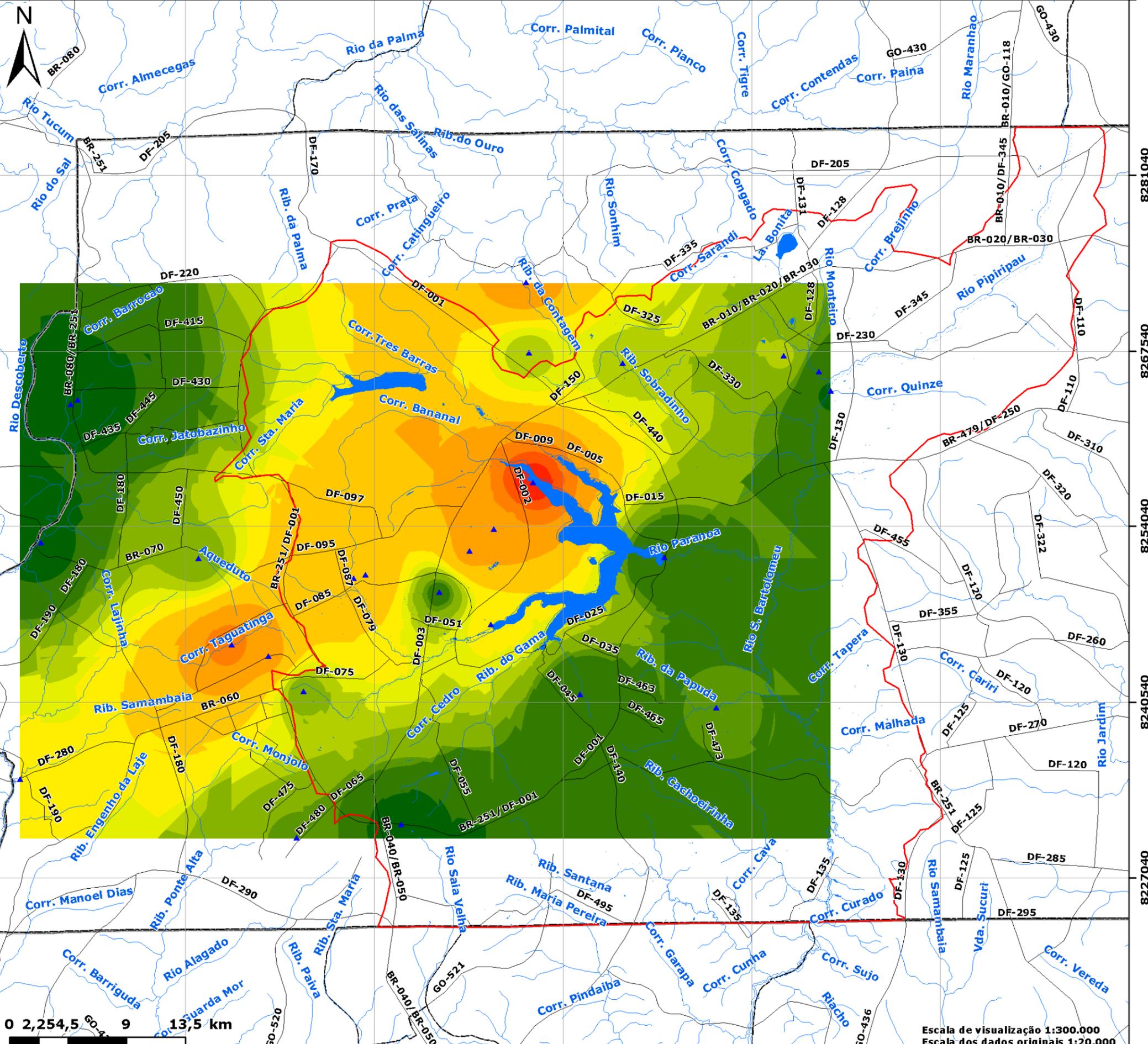
Data: Fevereiro, 2014.

Fonte dos Dados Originais:
1) ANA (2012);
2) Correio Braziliense (CB);
3) Sistema Cartográfico do DF (SICAD/CODEPLAN), GDF (2010).



AA – CARTA DE PERIGO A ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO

150487 164987 179488 193988 208488 222988 237488



Legenda

- Estação pluviométrica
- Área de estudo
- Perigo (%/ano.100m²)
 - 0,07 - 1
 - 1 - 4
 - 4 - 5
 - 5 - 8
 - 8 - 10
 - 10 - 12
 - 12 - 15
 - 15 - 20
 - 20 - 25
 - 25 - 28
 - 28 - 30
 - 30 - 32

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Rodovia
- Limite intermunicipal
- Limite interestadual



Escala de visualização 1:300.000
Escala dos dados originais 1:20.000

Universal Transversa de Mercator - UTM
Fuso 23 Sul - M.C. W45° Gr.
Datum horizontal: SIRGAS 2000

Carta de Perigo a Alagamento e Inundação

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Eng. Civil e Ambiental - ENC
Prog. Pós-Graduação em Geotecnia - PPGG

Autor: Pedro H. L. Batista	Data: Fevereiro, 2014.
Orientador: Newton M. de Souza	Fonte dos Dados Originais: 1) GDF (2010); 2) IBGE (2010).

150487 164987 179488 193988 208488 222988 237488

AB – CARTA DE VULNERABILIDADE & CONSEQUÊNCIA

AC – CARTA DE RISCO A ALAGAMENTO E INUNDAÇÃO

AD – AMOSTRAS PARA O CÁLCULO DO FATOR DE CORREÇÃO DE ÁREA (f)

	Estação de tratamento (1): $f = 0,74$		
	Estação de tratamento (2): $f = 0,53$		
			
$f_1 = 0,28$	$f_2 = 0,90$	$f_3 = 0,82$	
Área industrial: $f = 0,667$			
			
$f_1 = 0,07$	$f_2 = 0,15$	$f_3 = 0,10$	
Área urbana parcelada - Itapoã: $f = 0,11$			
			
$f_1 = 0,77$	$f_2 = 0,68$	$f_1 = 0,20$	$f_2 = 0,16$
Área urbana parcelada - Planaltina (1): $f = 0,73$		Área urbana parcelada - Planaltina (2): $f = 0,18$	

		
$f_1 = 0,59$	$f_2 = 0,63$	$f_3 = 0,60$
Área urbana em consolidação – Vicente Pires: $f = 0,61$		
		
$f_1 = 0,16$	$f_2 = 0,49$	$f_3 = 0,27$
Área urbana em consolidação – Águas Claras/Arniqueiras: $f = 0,31$		
		
$f_1 = 0,76$	$f_2 = 0,22$	$f_3 = 0,25$
Área urbana em consolidação – Riacho Fundo: $f = 0,49$		
		
$f_1 = 0,70$	$f_2 = 0,51$	$f_3 = 0,51$
Área urbana em consolidação – Riacho Fundo/Col. Agrícola Sucupira: $f = 0,57$		

		
$f_1 = 0,29$	$f_2 = 0,46$	$f_3 = 0,65$
Área urbana em consolidação – Riacho Fundo/Condomínios Portal do Sol, Fortaleza e Califórnia: $f = 0,46$		
		
$f_1 = 0,15$	$f_2 = 0,34$	$f_3 = 0,11$
Área urbana em consolidação – Park Way/Riacho Fundo: $f = 0,20$		
		
$f_1 = 0,61$	$f_2 = 0,50$	$f_3 = 0,56$
Área urbana em consolidação – Vila Cauhy/Núcleo Bandeirante: $f = 0,56$		



$f_1 = 0,52$

$f_2 = 0,42$

$f_3 = 0,74$

Área urbana em consolidação – Colônia Agrícola Águas Claras: $f = 0,56$



$f_1 = 0,54$



$f_2 = 0,52$



$f_3 = 0,57$

Área urbana em consolidação – Colônia Agrícola IAPI: $f = 0,54$



Área urbana em consolidação – Condomínio Mini Granja do Torto: $f = 0,22$



$f_1 = 0,95$



$f_2 = 0,83$

Área urbana em consolidação – Granja do Torto (1): $f = 0,89$

		
$f_1 = 0,55$	$f_2 = 0,42$	
Área urbana em consolidação – Granja do Torto (2): $f = 0,49$		
		
$f_1 = 0,21$	$f_2 = 0,34$	$f_3 = 0,24$
Área urbana em consolidação – Setor Habitacional Taquari: $f = 0,26$		
		
$f_1 = 0,20$	$f_2 = 0,15$	$f_3 = 0,11$
Área urbana em consolidação – Condomínio Privê I: $f = 0,15$		
		
$f_1 = 0,19$	$f_2 = 0,10$	
Área urbana em consolidação – Setor de Mansões do Lago Norte: $f = 0,14$		
		
Área urbana em consolidação – Jardim ABC (1): $f = 0,07$		

			
<p>Área urbana em consolidação – Jardim ABC (2): $f_1 = 0,41$</p>		<p>Área urbana em consolidação – Jardim ABC (2): $f_2 = 0,27$</p>	
<p>Área urbana em consolidação – Jardim ABC (2): $f = 0,34$</p>			
			
<p>$f_1 = 0,33$</p>	<p>$f_2 = 0,46$</p>	<p>$f_3 = 0,45$</p>	
<p>Área urbana em consolidação – Condomínio Privê Residencial Mônaco: $f = 0,41$</p>			
			
<p>$f_1 = 0,78$</p>	<p>$f_2 = 0,74$</p>	<p>$f_3 = 0,60$</p>	
<p>Área urbana em consolidação – Condomínio Residencial Vitória: $f = 0,71$</p>			
			
<p>$f_1 = 0,14$</p>	<p>$f_2 = 0,69$</p>	<p>$f_3 = 0,28$</p>	
			
<p>$f_4 = 0,30$</p>	<p>$f_5 = 0,33$</p>		
<p>Área urbana em consolidação – Setor Habitacional Tororó: $f = 0,35$</p>			

			
$f_1 = 0,85$		$f_2 = 0,80$	
Área urbana em consolidação – São Sebastião/Bairro João Cândido: $f = 0,83$			
			
$f_1 = 0,12$		$f_2 = 0,58$	
Área urbana em consolidação – São Sebastião/Vila do Boa (1): $f = 0,35$			
			
$f_1 = 0,79$	$f_2 = 0,75$	$f_3 = 0,80$	
Área urbana em consolidação – São Sebastião/Vila do Boa (2): $f = 0,78$			
			
$f_1 = 0,65$	$f_2 = 0,64$	$f_3 = 0,62$	
Área urbana em consolidação – Lago Sul/Setor Habitacional Dom Bosco: $f = 0,64$			

				
$f_1 = 0,22$	$f_2 = 0,22$	$f_3 = 0,18$		
Área urbana em consolidação – Paranoá/Condomínio La Font: $f = 0,21$				
				
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,98$	$f_3 = 0,85$	$f_4 = 0,92$	$f_5 = 0,94$
Área urbana em consolidação – Paranoá: $f = 0,93$				
				
$f_1 = 0,87$	$f_2 = 0,86$	$f_3 = 0,79$		
Área urbana em consolidação – Itapoã: $f = 0,84$				
				
$f_1 = 0,24$	$f_2 = 0,14$	$f_3 = 0,29$		
Área urbana em consolidação – Itapoã/Condomínio Del Lago: $f = 0,22$				

				
$f_1 = 0,80$	$f_2 = 0,69$	$f_3 = 0,70$		
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Colorado: $f = 0,73$				
				
$f_1 = 0,34$	$f_2 = 0,75$	$f_3 = 0,78$	$f_4 = 0,55$	$f_5 = 0,82$
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Setor Habitacional Boa Vista: $f = 0,65$				
				
$f_1 = 0,62$	$f_2 = 0,85$	$f_3 = 0,81$		
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Grande Colorado (1): $f = 0,76$				
				
$f_1 = 0,74$	$f_2 = 0,72$	$f_3 = 0,58$		
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Grande Colorado (2): $f = 0,68$				
				
$f_1 = 0,80$	$f_2 = 0,84$	$f_3 = 0,85$		
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Setor Habitacional Nova Colina (1): $f = 0,83$				

		
$f_1 = 0,29$	$f_2 = 0,40$	$f_3 = 0,27$
Área urbana em consolidação – Sobradinho II/Setor Habitacional Nova Colina (2): $f = 0,32$		
		
$f_1 = 0,51$	$f_2 = 0,18$	$f_3 = 0,29$
Área urbana em consolidação – Planaltina/Condomínio Nova Petrópolis: $f = 0,33$		
		
$f_1 = 0,66$	$f_2 = 0,67$	$f_3 = 0,67$
Área urbana em consolidação – Planaltina/Setor Habitacional Mestre Darmas (1): $f = 0,67$		
		
$f_1 = 0,82$	$f_2 = 0,55$	$f_3 = 0,69$
Área urbana em consolidação – Planaltina/Setor Habitacional Mestre Darmas (2): $f = 0,69$		

				
$f_1 = 0,82$	$f_2 = 0,55$	$f_3 = 0,69$		
Área urbana em consolidação – Planaltina/Setor Habitacional Mestre Darmas (3): $f = 0,69$				
				
$f_1 = 0,62$	$f_2 = 0,54$	$f_3 = 0,76$		
Área urbana em consolidação – Planaltina/Setor Habitacional Mestre Darmas (4): $f = 0,64$				
				
$f_1 = 0,62$	$f_2 = 0,88$	$f_3 = 0,60$		
Área urbana em consolidação – Planaltina/Arapoanga (1): $f = 0,70$				
				
$f_1 = 0,88$	$f_2 = 0,33$	$f_3 = 0,75$	$f_4 = 0,42$	$f_5 = 0,83$
Área urbana em consolidação – Planaltina/Arapoanga (2): $f = 0,64$				

				
$f_1 = 0,48$	$f_2 = 0,14$	$f_3 = 0,26$	$f_4 = 0,34$	$f_5 = 0,11$
Área urbana em consolidação – Jardim Botânico: $f = 0,27$				
				
$f_1 = 0,90$	$f_2 = 0,88$	$f_3 = 0,91$		
Área urbana em consolidação – Planaltina/Vale do Amanhecer (1): $f = 0,90$				
				
$f_1 = 0,41$	$f_2 = 0,53$	$f_3 = 0,38$		
Área urbana em consolidação – Planaltina/Vale do Amanhecer (2): $f = 0,44$				
				
$f_1 = 0,96$	$f_2 = 0,93$	$f_3 = 0,98$		
Área urbana consolidada – Taguatinga/QNA e QND: $f = 0,96$				
				
$f_1 = 0,47$	$f_2 = 0,53$	$f_3 = 0,61$		
Área urbana consolidada – Samambaia/Setor de Mansões da Samambaia: $f = 0,54$				

			
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,98$	$f_3 = 0,98$	
Área urbana consolidada – Samambaia: $f = 0,98$			
			
$f_1 = 0,88$	$f_2 = 0,91$	$f_3 = 0,80$	
Área urbana consolidada – Riacho Fundo II/QN 16: $f = 0,86$			
			
$f_1 = 0,99$	$f_2 = 0,96$	$f_3 = 0,99$	
Área urbana consolidada – Riacho Fundo II (1): $f = 0,98$			
			
$f_1 = 0,99$	$f_2 = 0,86$	$f_3 = 0,84$	
Área urbana consolidada – Riacho Fundo II (2): $f = 0,90$			
			
$f_1 = 0,59$	$f_2 = 0,90$	$f_3 = 0,85$	$f_4 = 0,92$
Área urbana consolidada – Brasília/Vila Planalto: $f = 0,82$			

		
$f_1 = 0,10$	$f_2 = 0,11$	$f_3 = 0,22$
Área urbana consolidada – Lago Norte/Setor de Mansões: $f = 0,14$		
		
$f_1 = 0,41$	$f_2 = 0,44$	$f_3 = 0,46$
Área urbana consolidada – Lago Norte: $f = 0,44$		
		
$f_1 = 0,95$	$f_2 = 0,82$	$f_3 = 0,95$
Área urbana consolidada – Varjão: $f = 0,91$		
		
$f_1 = 0,52$	$f_2 = 0,74$	$f_3 = 0,69$
Área urbana consolidada – Setor de Mansões de Sobradinho/Sobradinho II: $f = 0,65$		
		
$f_1 = 0,97$	$f_2 = 0,95$	$f_3 = 0,91$
Área urbana consolidada – Setor Oeste/Sobradinho II: $f = 0,94$		

		
$f_1 = 0,87$	$f_2 = 0,81$	$f_3 = 0,93$
Área urbana consolidada – Sobradinho II: $f = 0,87$		
		
$f_1 = 0,87$	$f_2 = 0,93$	$f_3 = 0,89$
Área urbana consolidada – Vila Nossa Senhora de Fátima/Planaltina: $f = 0,90$		
		
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,99$	$f_3 = 0,97$
Área urbana consolidada – Jardim Roriz/Planaltina: $f = 0,98$		
		
$f_1 = 0,97$	$f_2 = 0,96$	$f_3 = 0,95$
Área urbana consolidada – Vila Buritis/Planaltina: $f = 0,96$		

			
$f_1 = 0,91$	$f_2 = 0,95$	$f_3 = 0,86$	
Área urbana consolidada – Vila Buritis II, III e IV/Planaltina: $f = 0,91$			
			
$f_1 = 0,91$	$f_2 = 0,79$	$f_3 = 0,88$	
Área urbana consolidada – Setor Tradicional/Planaltina: $f = 0,86$			
			
$f_1 = 0,93$	$f_2 = 0,77$	$f_3 = 0,95$	
Área urbana consolidada – São Sebastião/Setor Tradicional e Central: $f = 0,88$			
			
$f_1 = 0,96$	$f_2 = 0,95$	$f_3 = 0,78$	$f_4 = 0,92$
Área urbana consolidada – Brasília/Vila Planalto: $f = 0,90$			

				
$f_1 = 0,89$	$f_2 = 0,97$	$f_3 = 0,90$		
Área urbana consolidada – Santa Maria/Setor Norte: $f = 0,92$				
				
$f_1 = 0,90$	$f_2 = 0,78$	$f_3 = 0,82$		
Área urbana consolidada – Santa Maria/Residencial Santos Dumont: $f = 0,83$				
				
$f_1 = 0,16$	$f_2 = 0,33$	$f_3 = 0,29$	$f_4 = 0,13$	$f_5 = 0,11$
Área urbana consolidada – Setor de Mansões do Park Way (1): $f = 0,20$				
				
$f_1 = 0,90$	$f_2 = 0,84$	$f_3 = 0,86$		
Área urbana consolidada – Núcleo Bandeirante/Metropolitana: $f = 0,87$				
				
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,96$	$f_3 = 0,92$		
Área urbana consolidada – Núcleo Bandeirante: $f = 0,95$				

				
$f_1 = 0,95$	$f_2 = 0,98$	$f_3 = 0,96$		
Área urbana consolidada – Riacho Fundo: $f = 0,96$				
				
$f_1 = 0,86$	$f_2 = 0,98$	$f_3 = 0,94$		
Área urbana consolidada – Águas Claras/Areal: $f = 0,93$				
				
$f_1 = 0,82$	$f_2 = 0,90$	$f_3 = 0,97$	$f_4 = 0,91$	
Área urbana consolidada – Guará I: $f = 0,90$				
				
$f_1 = 0,93$	$f_2 = 0,99$	$f_3 = 0,95$	$f_4 = 1,00$	$f_5 = 0,98$
Área urbana consolidada – Guará II: $f = 0,97$				

		
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,97$	$f_3 = 0,97$
Área urbana consolidada – Candangolândia: $f = 0,97$		
		
$f_1 = 0,82$	$f_2 = 0,97$	$f_3 = 0,84$
Área urbana consolidada – Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA) – Cidade do Automóvel: $f = 0,88$		
		
$f_1 = 0,30$	$f_2 = 0,29$	$f_3 = 0,35$
Área urbana consolidada – Brasília/Vila dos Sargentos e Oficiais: $f = 0,31$		
		
$f_1 = 0,85$	$f_2 = 0,89$	$f_3 = 0,97$
Área urbana consolidada – Cruzeiro/Cruzeiro Velho: $f = 0,90$		
		
$f_1 = 0,53$	$f_2 = 0,42$	$f_3 = 0,54$
Área urbana consolidada – Brasília/Setor Militar Urbano: $f = 0,88$		

				
$f_1 = 0,73$	$f_2 = 0,89$	$f_3 = 0,88$	$f_4 = 0,87$	$f_5 = 0,93$
Área urbana consolidada – Brasília/700 Norte: $f = 0,86$				
				
$f_1 = 0,85$	$f_2 = 0,80$	$f_3 = 0,82$		
Área urbana consolidada – Brasília/700 Sul: $f = 0,82$				
				
$f_1 = 0,98$	$f_2 = 0,99$	$f_3 = 0,99$		
Área urbana consolidada – Brasília/Vila Telebrasília: $f = 0,99$				
				
$f_1 = 0,42$	$f_2 = 0,35$	$f_3 = 0,46$	$f_4 = 0,30$	$f_5 = 0,33$
Área urbana consolidada – Lago Sul: $f = 0,37$				



$f_1 = 0,61$

$f_2 = 0,79$

$f_3 = 0,77$

Área urbana consolidada – Jardim Botânico (1): $f = 0,72$



$f_1 = 0,76$

$f_2 = 0,57$

$f_3 = 0,59$

Área urbana consolidada – Jardim Botânico (2): $f = 0,64$



$f_1 = 0,38$

$f_2 = 0,42$

$f_3 = 0,35$

Área urbana consolidada – São Sebastião/Residencial Oeste: $f = 0,38$



$f_1 = 0,98$

$f_2 = 0,95$

$f_3 = 0,90$

Área urbana consolidada – São Sebastião/Residencial Oeste: $f = 0,94$

AE – DEDUÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE COMPACIDADE E O FATOR DE FORMA PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS

Se a correlação perfeita ($R^2=1$) potencial, observada na Fig. 4.7a, entre m e RC pode ser escrita como,

$$m = 0,999 \cdot RC^{-0,5} \quad (1)$$

ou até mesmo,

$$m \cdot \sqrt{RC} = 0,999 \quad (2)$$

uma vez que, m e RC definem as seguintes relações geomorfométricas,

$$m = 0,282 \cdot P_b / \sqrt{A_b} \quad (3)$$

$$RC = 4\pi \cdot A_b / P_b^2 \quad (4)$$

substituindo as Eq. 3 e 4 na Eq. 2 tem-se,

$$\left(0,282 \cdot \frac{P_b}{\sqrt{A_b}} \right) \cdot \sqrt{\left(4\pi \cdot \frac{A_b}{P_b^2} \right)} = 0,999 \quad (5)$$

cancelando P_b e A_b de ambos os lados,

$$0,282 \cdot 2 \cdot \sqrt{\pi} = 0,999 \quad (6)$$

o que confirma que a correlação entre m e RC é igual, independente da origem de ambas as formulações empíricas, ou seja, em se tratando do uso prático de ambos são intercambiáveis.

AF – INVENTÁRIO DE ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES DO DF

P. 120H
18,2
18,2
27,2
49,6
37,6
37,6
37,6
37,6
37,6
10,2
10,2
36,5
86,0
86,0
91,5
91,5
15,3
6,7
12,8
0
0
70,2
24,4
32,7
32,7
32,7
32,7
32,7
135,5
122,5
122,5
122,5
79,6
79,6
40,2
40,2
40,2
40,2
42
42
19,4
19,4
56,2
56,2
56,2
56,2
61,8
61,8
21,5
21,5
11,9
11,9
21,5
21,5
21,5
21,5
21,5
21,5
73,9
45,6
27,8
12
0,3
0,1
63,6
63,6
16,7
1,9
1
1
73,4
73,4
73,4
87
69,1
120,8
75
104,3
146,1
0,2
0,8
0,2
0,2
0
0
0
0
0
54,3
54,3
54,3
3,8
87,5
87,5
87,5
87,5
39,9
39,9
77,2
10,3
44,7
44,7
12,4
12,4
12,1
12,4
68,3
68,3
14,2
40,1
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
39,4
55,6
55,6
39,5
72,9
72,9
20,3
44,8
72,9
72,9
72,9
13,4
13,4
4,2
42,9
25
25
42,9
42,9
42,9
25
62,8
103,9
174,7
86
103,1
145,1
63,3
62,3
78,1
65,9
13
13
57,8
61,6
61,6
36,6
36,6
36,6
36,6
36,6
62,3
40,4
40,4
40,4
40,4
3,6
3,6
31,2
0
0
0
0
0
28,6
41,7
35,3
66,1
106
16,6
32,6
28,8
27,4
147,6
156,6
78,8
75,4
75,4
75,4
54,3
54,3
65,5
65,5
103,2
53
58,3
58,3
85,3
72,2
70
58,3
47
10,4
70,7
21,9
21,9

ANEXO
A – RELATÓRIO DE CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS DO DNIT
(NOVEMBRO/2012)

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura da Transporte
<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/custo-medio-gerencial/custos-medios-ger.novembro-12.pdf>

CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
SAN - QUADRA 3 LOTE "A" EDIF. NÚCLEO DOS TRANSPORTES - CEP 70040-902 - BRASÍLIA DF
CGPLAN / DPP / DNIT

Mês Base (SICRO 2):

nov/12

MODAL RODOVIÁRIO

OBRA / SERVIÇO	INTERVALO		MÉDIA R\$ / Km	OBSERVAÇÕES		
	Lim.Inferior	Lim.Superior		Limite Inferior	Limite Superior	
CONSTRUÇÃO				Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - CGPLAN/COVIDE, (Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)		
IMPLANTAÇÃO/ PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,6m e Acost. 2,5m	2.256.649,77	a	3.152.588,61	2.705.000,00	Solução c/ revestimento em TSD - Pista e Acostamento	
IMPLANTAÇÃO/ PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,6m e Acost. 1,0m (até Classe III)	1.653.971,93	a	2.101.860,47	1.878.000,00	Solução c/ revestimento em TSD - Pista e Acostamento	
ADEQUAÇÃO DE CAPACIDADE	CONSTRUÇÃO DE TERCEIRA FAIXA E RESTAURAÇÃO DA PISTA EXISTENTE	1.533.521,05	a	1.776.808,38	1.655.000,00	Solução 3aFaixa c/revest.CBUQ 10cm, recapeamento na Pista Existente - CBUQ 4cm e no Acostamento - CBUQ 3cm
	DUPLICAÇÃO C/ CONSTR. DE PISTA NOVA (2 Faixas)+RESTAURAÇÃO DE P.EXISTENTE+CANT.CENTRAL	3.197.519,92	a	6.913.893,88	5.056.000,00	Solução Pista Nova c/revest.CBUQ 6 cm, recapeam. Pista Existente CBUQ 3cm e Acostamentos/ Afastamentos CBUQ 3cm.
MANUTENÇÃO				Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - CGPLAN/COVIDE, (Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)		
RESTAURAÇÃO	329.205,58	a	1.018.749,25	674.000,00	Solução c/ revestimento em CBUQ 3cm-Pista e TSD-Acostamento.	
RECONSTRUÇÃO	1.076.492,98	a	1.742.056,97	1.409.000,00	Solução c/ revestimento em CBUQ 3cm-Pista e TSD-Acostamento.	
PROGRAMAS	RESTAURAÇÃO C/MELHORAMENTOS	1.000.000,00	a	1.300.000,00	1.150.000,00	Valores obtidos na Coordenação Geral de Restauração - CGREST, Dr Alex - ramal 4319
	CREMA 1a ETAPA (previsão)	180.000,00	a	250.000,00	215.000,00	
	CREMA 2a ETAPA (previsão)	400.000,00	a	600.000,00	500.000,00	
CONSERVAÇÃO				Km / ano		
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA SIMPLES	18.200,00	a	64.400,00	41.300,00	Valores obtidos utilizando-se a mesma metodologia dos Manuais de Custos Médios Gerenciais. Neste caso específico, utilizou-se os custos das intervenções do Catálogo de Soluções p/ Conserva de uso dos EVTEAs acrescido de mais 40% p/ cobrir as intervenções de pista (selagem de trinças, tapa buracos, quebras de bordo, etc) p/ rodovias pavimentadas e de pontes de madeira p/ rodovias não pavimentadas.- CGPLAN/COVIDE,(Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)	
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA DUPLA	32.200,00	a	116.200,00	74.200,00		
CONSERVAÇÃO ROD. NÃO PAVIMENTADA	37.800,00	a	81.200,00	59.500,00		
OBSERVAÇÕES:				Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - CGPLAN/COVIDE, (Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)		
1) P/ os casos específicos de TRÁFEGO PESADO , considerou-se as soluções:						
PAVIMENTO INVERTIDO - IMPLANTAÇÃO / PAVIMENTAÇÃO (Pista Simples)	3.994.514,43	a	5.218.159,04	4.606.000,00	Solução c/ revest. CBUQ 12cm-Pista e CBUQ 7cm-Acost.(PAV.INVERTIDO)	
PAVIMENTO RÍGIDO - IMPLANTAÇÃO / PAVIMENTAÇÃO (Pista Simples)	3.366.242,49	a	4.967.159,28	4.167.000,00	Solução c/ revest. em Placa de Concreto de Cimento Portland c/ 18cm de espessura - Pista e Acost.	
2) Evidenciamos que os valores obtidos com a utilização dos Manuais de Soluções Técnicas, representam médias nacionais e podem variar de acordo com a abundância de materiais de construção, logística, fatores climáticos, sofisticação do projeto, etc.						
SINALIZAÇÃO				Valores médios obtidos da Tabela SICRO2 e dos Contratos Vigentes de Sinalização da CGPERT - Área Técnica 4074		
HORIZONTAL-emulsionada em solvente (1ANO-0,4mm)	5.895,00			5.900,00	"= R\$13,10 / m2	
HORIZONTAL-emulsionada em água (2ANOS - 0,5mm)	7.915,50			7.900,00	"= R\$17,59/ m2	
HORIZONTAL-emulsionada em solvente(2ANOS-0,6mm)	7.776,00			7.800,00	"= R\$17,28 / m2	
HORIZONTAL-material TERMOPLAST.-HotSpray	16.915,50			16.900,00	"= R\$37,59/ m2	
VERTICAL	5.710,55			5.700,00	"= R\$571,06 / m2	
PROJETOS				Valores obtidos na Coordenação Geral de Estudos e Projetos - CGDESP, (Patrik - ramal 4868)		
RESTAURAÇÃO	29.041,98	a	36.302,47	32.700,00		
IMPLANTAÇÃO/PAVIMENTAÇÃO	36.302,47	a	43.562,97	39.900,00		
MELHORAMENTOS EM RODOVIAS PARA ADEQUAÇÃO DA CAPACIDADE E SEGURANÇA	72.604,94	a	108.907,42	90.800,00		
DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS	108.907,42	a	130.688,90	119.800,00		
EVTEA				Observações: 1) Valores para trechos superiores a 100Km. 2)Em Travessias Urbanas, esses valores médios podem ser substancialmente maiores, dependendo da quantidade de intervenções a serem estudadas dentro da travessia;3) De maneira geral para trechos inferiores a 100Km, quanto menor a extensão, o valor/Km será consideravelmente mais elevado. A medida que aumenta o segmento de estudo, reduz-se o custo por km;4) Valores obtidos na Coordenação de Avaliação de Viabilidade e Desempenho COVIDE/CGPLAN, (Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)		
Estudos de Viabilidade Técnica,Econômica e Ambiental (MODAL-Rodoviário)	2.800,00	a	6.500,00	4.700,00		
MEIO AMBIENTE (Estudos Ambientais e Implementação de Programas Básicos Ambientais, incluindo Compensação Ambiental)						
Percentual médio do valor do empreendimento p/ realização dos estudos =>	2,50%	a	8,00%	5,25%	Índices obtidos na Coordenação Geral de Meio Ambiente - DPP, (Eula - ramal 8404)	
OBS: EIA - Estudos de Impacto Ambiental, RIMA - Relatório de Impacto de Meio Ambiente, PBA - Projeto Básico Ambiental, RCA - Relatório de Controle Ambiental, PCA - Plano de Controle Ambiental, ASV - Autorização p/ Supressão de Vegetação.						
SUPERVISÃO DE OBRAS	% do Valor da Obra =>		5,00%		CGMRR Ramal 4319	

CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
 SAN - QUADRA 3 LOTE "A" EDIF. NÚCLEO DOS TRANSPORTES - CEP 70040-902 - BRASÍLIA DF
 CGPLAN / DPP / DNIT

Mês Base (SICRO 2):

nov/12

DESAPROPRIAÇÃO / REASSENTAMENTO				Custos p/	
Identizações e/ou Construção / Aquisição de Unidades Habitacionais					
Tipologia de Obra	% do Valor da Obra =>			Índice Percentual médio	
Duplicação / Adequação de Capacidade	1,00%	a	5,00%	3,00%	
Implantação	6,00%	a	12,00%	9,00%	
Contorno (área de expansão urbana)	8,00%	a	12,00%	10,00%	
Via Expressa (grandes centros urbanos)	20,00%	a	40,00%	30,00%	

Dados obtidos na Coordenação do Setor de Desapropriação/DPP - (Arthur Monteiro e ou Bruno Marques - Ramal 4359 / 4018)

CUSTOS DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Custo unitário por nível de gravidade =>	C/ MORTOS	C/ FERIDOS	SEM VITIMAS	Fonte: IPR/Manual de Custos de Acidentes Rodoviários - data base: Outubro/2004- (índice de atualização IGP-DI) - http://www.bcb.gov.br/Serviços ao Cidadão/Cálculos, Índices e Cotações/Calculadora do Cidadão/Conheça a Calculadora do Cidadão/Correção de Valores/CGPLAN/COVIDE, (Aline Palmira, ramal 8341 / Paulo Ávila, ramal 4712)
	584.484,51	141.563,36	9.649,64	

OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL	OBRA, considerando infra+meso+superestrutura, sem os acessos e fundações especiais.			PROJETO, considerando os estudos, os levantamentos e as sondagens.	
	Lim. Inferior		Lim. Superior	Média (R\$/m2)	Média do Projeto (R\$/m2)
Concreto Armado/Protendido =>	4.000,00	a	5.000,00	4.500,00	100,00
Balanços Sucessivos =>	7.000,00	a	9.000,00	8.000,00	120,00
Estaiada =>	10.000,00	a	14.000,00	12.000,00	180,00
PASSARELA METÁLICA (2,0m largura x 2,5m altura e rampa 8,33%)	⇔			4.500,00 /m'	

Valores Obtidos na Coordenação de Estruturas/CGDESP, Edimarques Ramal 4331

MODAL FERROVIÁRIO

Valores Informado pela COORDENAÇÃO DE Acompanhamento e Controle/CGOFER/DIF - RAMAL:8342

TIPO DE EMPREENDIMENTO	UTILIDADE DO PREÇO MÉDIO					
	R\$/Km	R\$/Transposição	R\$	R\$/m²	R\$/Mês	R\$/(Mês.Km)
PROJETOS FERROVIÁRIOS						
PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO PARA CONTORNO (< 30km)	143.300,00					
PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO PARA NOVAS FERROVIAS (COM AEROFOTOGRAMETRIA)	90.700,00					
PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO PARA OBRAS DE TRANSPOSIÇÕES (< 30 m)		332.500,00				
OBRAS FERROVIÁRIAS						
OBRAS DE CONTORNOS FERROVIÁRIOS	6.952.000,00					
OBRAS DE TERMINAIS DE CARGA			30.886.000,00			
OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO À VIA FÉRREA				15.000,00		
SERVIÇO DE SUPERVISÃO						
SUPERVISÃO DE EXECUÇÃO DE OBRAS FERROVIÁRIAS	OBRA/ AMBIENTAL/ DESAPROPIAÇÃO	499.400,00			347.300,00	21.400,00
	OBRA/ DESAPROPIAÇÃO	360.200,00			262.100,00	20.000,00
	AMBIENTAL	162.600,00			77.100,00	6.800,00

OBSERVAÇÕES:

- A presente planilha foi elaborada pela CGPLAN/COVIDE.
- Os Valores, utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais, foram atualizados pela CGPLAN/COVIDE, baseados no Índice de Reajustamento de Obras Rodoviárias-Pavimentação, divulgado pela FGV, nos valores atualizados do SICRO 2 (Base: Sudeste - Minas Gerais) e, no caso de materiais betuminosos, nos valores divulgados pela ANP.
- Os demais valores foram obtidos junto às demais Coordenações, conforme consta na coluna de Observações.
- Informações relativas à atualização e alteração dos valores, inclusive que impliquem em alterações significativas de alguns Custos, deverão ser consultadas no site do DNIT/ Custos e Pagamentos / SICRO 2 / Sudeste / Novembro/2012-informativo e, com relação aos valores dos materiais betuminosos, no site na ANP - Base: Novembro/2012
- Modal Ferroviário:** Seguindo Orientação do Memorando N°4301513/2012- 4 fl.54 do Processo N° 50600015043/2012- 41, e ratificada pelo CAC em Reunião ocorrida em 30.08.2012, informou-se que os Custos Médios Gerenciais para EVTEA e Projeto Básico para Novas Ferrovias serão suprimidos, pois não há informação de licitações realizadas pelo DNIT para empreendimentos desse tipo.

B – ATUALIZAÇÃO MONETÁRIA – CALCULADORA DO BANCO CENTRAL DO BRASIL

BANCO CENTRAL DO BRASIL		Calculadora do cidadão	
Calculadora do cidadão		Ajuda	
Início → Calculadora do cidadão → Correção de valores			
Resultado da Correção pelo IGP-DI (FGV)			
Dados básicos da correção pelo IGP-DI (FGV)			
Dados informados			
Data inicial			12/2012
Data final			05/2013
Valor nominal	R\$	1.742.056,97	(REAL)
Dados calculados			
Índice de correção no período			1,0175130
Valor percentual correspondente			1,7513000 %
Valor corrigido na data final	R\$	1.772.565,61	(REAL)
<input type="button" value="Fazer nova pesquisa"/>			

Fonte: Banco Central do Brasil

<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=xibirFormCorrecaoValores>

**C – RELATÓRIO DO CUSTO BÁSICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (CUB/m²) PARA
O DF (JUNHO/2013)**

Fonte: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal (10/07/2013)
<http://www.sinduscondf.org.br/cub/>

Custos Unitários Básicos de Construção (NBR 12.721:2006 - CUB 2006) - Junho/2013

Os valores abaixo referem-se aos Custos Unitários Básicos de Construção (CUB/m²), calculados de acordo com a Lei Fed. nº. 4.591, de 16/12/64 e com a Norma Técnica NBR 12.721:2006 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e são correspondentes ao mês de **Junho/2013**. "Estes custos unitários foram calculados conforme disposto na ABNT NBR 12.721:2006, com base em novos projetos, novos memoriais descritivos e novos critérios de orçamentação e, portanto, constituem nova série histórica de custos unitários, não comparáveis com a anterior, com a designação de CUB/2006".

"Na formação destes custos unitários básicos não foram considerados os seguintes itens, que devem ser levados em conta na determinação dos preços por metro quadrado de construção, de acordo com o estabelecido no

projeto e especificações correspondentes a cada caso particular: fundações, submuramentos, paredes-diafragma, tirantes, rebaixamento de lençol freático; elevador(es); equipamentos e instalações, tais como: fogões, aquecedores, bombas de recalque, incineração, ar-condicionado, calefação, ventilação e exaustão, outros; *playground* (quando não classificado como área construída); obras e serviços complementares; urbanização, recreação (piscinas, campos de esporte), ajardinamento, instalação e regulamentação do condomínio; e outros serviços (que devem ser discriminados no Anexo A - quadro III); impostos, taxas e emolumentos cartoriais, projetos: projetos arquitetônicos, projeto estrutural, projeto de instalação, projetos especiais; remuneração do construtor; remuneração do incorporador."

PROJETOS - PADRÃO RESIDENCIAIS

VALORES EM R\$/m²

PADRÃO BAIXO	
R-1	1.038,10
PP-4	901,94
R-8	855,73
PIS	659,89

PADRÃO NORMAL	
R-1	1.239,76
PP-4	1.168,79
R-8	992,58
R-16	953,02

PADRÃO ALTO	
R-1	1.474,31
R-8	1.180,14
R-16	1.230,42

PROJETOS - PADRÃO COMERCIAIS CAL (Comercial Andares Livres) e CSL (Comercial Salas e Lojas)

PADRÃO NORMAL	
CAL-8	1.125,37
CSL-8	982,11
CSL-16	1.300,51

PADRÃO ALTO	
CAL-8	1.198,99
CSL-8	1.069,34
CSL-16	1.414,47

PROJETOS - PADRÃO GALPÃO INDUSTRIAL (GI) E RESIDÊNCIA POPULAR (RP1Q)

RP1Q	999,35
GI	525,26