

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANA CLÁUDIA PEREIRA CARVALHO

**Integração de atributos morfométricos e geotécnicos para definição de
zonas sujeitas à inundação na Bacia do Ribeirão Bocaina (MG)**

São Carlos

2017

ANA CLÁUDIA PEREIRA CARVALHO

Integração de atributos morfométricos e geotécnicos para definição de zonas sujeitas à inundação na Bacia do Ribeirão Bocaina (MG)

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C257i Carvalho, Ana Cláudia Pereira
Integração de atributos morfométricos e geotécnicos
para definição de zonas sujeitas à inundação na Bacia
do Ribeirão Bocaina (MG) / Ana Cláudia Pereira
Carvalho; orientador Prof. Dr. Osni José Pejon. São
Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2017.

1. Bacia hidrográfica. 2. Escoamento superficial.
3. Inundação. 4. Morfometria. 5. HAND. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharela **ANA CLAUDIA PEREIRA CARVALHO**.

Título da dissertação: "Integração de atributos morfométricos e geotécnicos para definição de zonas sujeitas à inundação na Bacia do Ribeirão Bocaína (MG)".

Data da defesa: 05/05/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Osni José Pejon**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Prof. Dr. **Eduardo Goulart Collares**
(Universidade do Estado de Minas Gerais/UEMG)

Aprovado

Profa. Dra. **Marcilene Dantas Ferreira**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Dr. **Edmundo Rogério Esquivel**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, que está sempre presente na minha vida, me abençoando com sabedoria, tranquilidade, força, coragem. A Vitória pertence a DEUS.

Aos meus pais, Antonio e Rejane, que sempre me apoiaram e incentivaram com muito amor nesta caminhada, meus exemplos de vida. As minhas irmãs, Ana Paula e Núbia, que floresceram todos os meus dias, deixando cada um deles mais animados e divertidos. A presença de vocês é essencial.

Ao meu orientador Professor Osni José Pejon, pelo convívio, pela amizade, pela paciência, pela experiência transmitida, muito obrigada!

Ao Professor Eduardo Goulart Collares e a Professora Ana Carina Collares, por confiarem no meu trabalho durante o período da minha graduação, por me mostrar as oportunidades, proporcionando o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos professores e funcionários do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, pela amizade, pelos ensinamentos, pela convivência.

A todos os alunos do Departamento de Geotecnia, em especial, os da Turma de Mestrado do ano de 2015, Ana Paula, Cahio, Denis, Gabriel, Jacqueline, Jailto, Monique, Sérgio, Yara, Zorany. A Bia, Claudinha, Lucas, Maiuly, Moisés e a todos do mapeamento. Agradeço pela amizade e pela convivência diária, sempre um ajudando o outro, nas trocas de experiência.

A equipe do Projeto Grande Minas, na qual me orgulho muito de fazer parte e sou muito feliz de terem vocês sempre por perto, em especial, a Ana Paula Jacó, que desenvolveu o seu projeto de iniciação científica na mesma área de estudo, e sempre esteve disposta em ajudar.

A Professora Valeria Guimarães, pela amizade, pelas brincadeiras, pelo que aprendi durante a monitoria dada aos alunos da Engenharia Ambiental.

Ao Professor Lázaro Zuquette, com quem muito aprendi, pelas conversas referentes aos mais variados assuntos, não só da área geotécnica.

Ao Engenheiro Urias Nivaldo da Empresa SV Engenharia Fundações e Sondagens que disponibilizou os relatórios dos ensaios SPT para a realização deste trabalho.

Ao Camilo Rennó que foi muito solícito no esclarecimento de dúvidas.

A minha família e amigos, que torceram durante toda a caminhada.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A todos, que apoiaram, torceram, e me motivaram, para que esta conquista se concretizasse, o meu muito obrigada!!

Confie a Javé o que você faz e seus projetos se realizarão.

Provérbios 16:3

RESUMO

CARVALHO, A. C. P. **Integração de atributos morfométricos e geotécnicos para definição de zonas sujeitas à inundação na Bacia do Ribeirão Bocaina (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

A área de estudo foi a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina que abrange totalmente a área urbana de Passos (MG) que há muito tempo vem sofrendo com problemas de inundações. O trabalho teve como objetivo principal determinar e analisar a potencialidade à inundação da bacia hidrográfica e da área urbana, integrando atributos morfométricos e geotécnicos. Para isso adotou-se duas escalas de trabalho, 1:50.000 para a bacia hidrográfica e 1:10.000 para a área urbana. Ressalta-se que para a execução dos procedimentos metodológicos foi necessário a utilização dos softwares ArcGIS10[®] e o TerraHidroView 0.4.5[®] e também de dados e mapas básicos disponibilizados pelo Projeto Grande Minas. Neste trabalho foram elaborados os seguintes documentos interpretativos: a Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao escoamento Superficial, desenvolvida por meio da ponderação de atributos com a técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process*); a Carta de Suscetibilidade Morfométrica à Inundação que classificou as sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Bocaina com base em cinco parâmetros morfométricos; a Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima, obtida com auxílio do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) e a Carta de Predisposição Topográfica à Inundação para a bacia hidrográfica e para a área urbana, obtida a partir da correlação entre a suscetibilidade morfométrica à inundação e o modelo HAND. Além destes produtos cartográficos interpretativos, foi realizada também uma análise detalhada do potencial à inundação considerando as bacias hidrográficas urbanas, identificando os pontos de confluência críticos que demandam maiores cuidados e os locais que apresentam forte tendência ao crescimento urbano e que poderão proporcionar aumento da taxa de impermeabilização a montante da área urbana e potencializar as inundações. Os produtos interpretativos elaborados servirão de aporte para os gestores e planejadores em suas tomadas de decisão, visando à atenuação dos impactos frente à ocorrência do processo.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Escoamento superficial. Inundação. Morfometria. HAND.

ABSTRACT

CARVALHO, A. C. P. **Integration of morphometric attributes and geotechnical for definition of areas subject to flood in the basin of Ribeirão Bocaina (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

The study area was the basin of Ribeirão Bocaina covering the entire urban area of Passos (MG) that has long been suffering with flood problems. The work had as main objective to determine and analyze the potential for flooding of the watershed and of the urban area, integrating morphometric attributes and geotechnical. To that adopted two working scales, 1:50.000 for the watershed and 1:10.000 for the urban area. It should be noted that for the implementation of the methodological procedures was necessary the use of ArcGIS10[®] software and TerraHidroView 0.4.5[®] and also basic maps and data provided by Projeto Grande Minas. In this work the following interpretative documents were prepared: the Runoff Potential Map to the Physical and Anthropic Environment, developed through weighting of attributes with the AHP technique (Analytical Hierarchy Process); the Morphometric Susceptibility to Flood Map classified the sub-basins of the Ribeirão Bocaina based on morphometric parameters five; the Vertical Distance of the nearest Drainage Map, obtained with the aid of HAND model (Height Above the Nearest Drainage) and the Topographical Predisposition to the flood Map for the watershed and for the urban area, obtained from the correlation among the morphometric susceptibility to flood and the HAND model. In addition to these interpretative cartographic products, a detailed analysis of the flood potential considering the urban watersheds has been made, identifying the critical points of convergence that demand greater care and those places that have a strong tendency to urban growth and that may increase the waterproofing rate upstream of the urban area and increase flooding. The interpretive products developed will serve as a contribution for managers and planners in their decision-making, aimed at attenuating at the mitigation of the impacts against the occurrence of the process.

Key-words: Watershed. Runoff. Flood. Morphometry. HAND.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico no balanço hídrico.	34
Figura 2 - Esquema de balanço hídrico em bacia hidrográfica com características rurais e urbanas.....	35
Figura 3 - Distribuição de precipitação de entrada e a vazão de saída.....	35
Figura 4 - Esquema de balanço hídrico em uma bacia hidrográfica.	36
Figura 5 - Comparação entre os hidrogramas de cheia em áreas urbanizadas e não-urbanizadas.....	42
Figura 6 - Esquema diferenciando os tipos de inundações.....	45
Figura 7 - Representação dos fenômenos hidrológicos: enchentes, inundações e alagamentos.	46
Figura 8 - Características das alterações de uma área rural em área urbana.	48
Figura 9 - Procedimentos para a geração e fatiamento do modelo HAND.	58
Figura 10 - Marcos da Lei Complementar nº 261/2008.	64
Figura 11 - Tipos de Cartas Geotécnicas.....	67
Figura 12 - Mapa de localização da área de estudo.....	77
Figura 13 - Delimitação do município de Passos-MG e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	78
Figura 14 - Distribuição da rede de drenagem na Bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina. ...	79
Figura 15 - Principais cursos d'água da área urbana de Passos-MG.	80
Figura 16 - Evolução da população residente do município de Passos-MG.	81
Figura 17 - Taxa de crescimento da população residente do município de Passos-MG.	81
Figura 18 - Produto Interno Bruto do município Passos-MG, no período de 2009 a 2013.....	82
Figura 19 - Índice de Desenvolvimento Humano do município de Passos-MG nos anos de 1991, 2000, 2010.	82
Figura 20 - Mapas de Biomas da área de estudo.	83
Figura 21 - Vegetação nos anos de 2003, 2005, 2007 e 2009.	84
Figura 22 - Mapa do Clima da área de estudo.	85
Figura 23 - Classificação das sub-bacias quanto aos seus níveis pluviométricos totais anuais médios.....	86
Figura 24 - Análise pluviométrica total mensal para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	87

Figura 25 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	88
Figura 26 - Mapa de Materiais Inconsolidados da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina. 90	
Figura 27 - Etapas desenvolvidas neste trabalho.	95
Figura 28 - Mosaico das imagens georreferenciadas para a área de estudo.	97
Figura 29 - Croqui de localização de um dos relatórios de sondagem.	100
Figura 30 - Entrada de dados em formato de pontos e como saída a obtenção de um raster. 102	
Figura 31 - Etapas utilizadas para a execução da Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial.....	103
Figura 32 - Geração do Modelo HAND.....	109
Figura 33 - Mapa Hipsométrico- Sombreado da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina....	113
Figura 34 - Percentual de abrangência das classes hipsométricas na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.....	114
Figura 35 - Mapa Hipsométrico- Sombreado da área urbana.	114
Figura 36 - Percentual de abrangência das classes hipsométricas na área urbana.	115
Figura 37 - Percentual de abrangência das classes de declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.....	115
Figura 38 - Carta de Declividades para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	116
Figura 39 - Carta de Declividades para área urbana.	117
Figura 40 - Percentual de abrangência das classes de declividade na área urbana.	117
Figura 41 - Mapa de Uso e Ocupação do solo na área urbana de Passos-MG.....	118
Figura 42 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na área urbana.....	119
Figura 43 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina. .	120
Figura 44 - Carta de Profundidade do Nível Freático para a área urbana.....	123
Figura 45 - Percentual de área ocupada pelas classes de profundidade do lençol freático na área urbana.	124
Figura 46 - Relação das classes de declividade e o potencial ao escoamento superficial.	126
Figura 47 - Relação das classes de densidade hidrográfica e o potencial ao escoamento superficial.....	128
Figura 48 - Percentual de área ocupada pelas classes de densidade hidrográfica da bacia. ..	128
Figura 49 - Carta da Densidade Hidrográfica para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	129
Figura 50 - Relação das classes de materiais inconsolidados e o potencial ao escoamento superficial.....	131

Figura 51 - Relação entre as classes de uso e ocupação do solo e o potencial ao escoamento superficial.	132
Figura 52 - Relação das classes de geologia e o potencial ao escoamento superficial.....	133
Figura 53 - Percentual de área ocupada pelas classes de potencial do meio físico ao escoamento superficial na bacia hidrográfica.....	136
Figura 54 - Cartas de Potencial ao Escoamento Superficial (A) - Meio Físico; (B) - Meios Físico e Antrópico.	137
Figura 55 - Carta de Suscetibilidade Morfométrica à Inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina.	145
Figura 56 - Perfis de linha de água obtidos nas simulações para o período de retorno de 10 anos.....	149
Figura 57 - Perfis de linha de água obtidos nas simulações para o período de retorno de 50 anos.....	149
Figura 58 - Seção dos perfis topográficos na área urbana.	150
Figura 59 - Perfil topográfico referente à seção 1.	151
Figura 60 - Perfil topográfico referente à seção 2.	151
Figura 61 - Perfil topográfico referente à seção 3.	151
Figura 62 - Perfil topográfico referente à seção 4.	152
Figura 63 - Perfil topográfico referente à seção 5.	152
Figura 64 - Perfil topográfico referente à seção 6.	152
Figura 65 - Percentual de área ocupada pelas classes do modelo HAND para a bacia hidrográfica.....	154
Figura 66 - Percentual de área ocupada pelas classes do modelo HAND para a área urbana.	154
Figura 67 - Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	155
Figura 68 - Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima da área urbana.	157
Figura 69 - Ocorrência de drenagem não existente elaborado pelo modelo HAND.....	159
Figura 70 - Percentual da área ocupada pelas classes de predisposição topográfica na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.....	160
Figura 71 - Percentual da área ocupada pelas classes de predisposição topográfica na área urbana de Passos-MG.	160
Figura 72 - Carta de Predisposição Topográfica à Inundação para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	161

Figura 73 - Carta de Predisposição Topográfica à Inundação para a área urbana.	163
Figura 74 - Mapa das Bacias hidrográficas urbanas.	165
Figura 75 - Inundação na área urbana de Passos-MG.....	166
Figura 76 - Área de expansão urbana e área urbana atual.	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica representado por expressões matemáticas.	36
Tabela 2 - Valores de coeficiente de escoamento considerando diversas características de bacias hidrográficas.	37
Tabela 3 - Descrição que envolve as áreas das bacias tributárias em áreas urbanas com o seu coeficiente de deflúvio.	38
Tabela 4 - Tipo de superfície com os respectivos coeficientes de deflúvio.	39
Tabela 5 - Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e suas capacidades de infiltração por meio do Método do SCS.	39
Tabela 6 - Características dos modelos de escoamento.	43
Tabela 7 - Etapas necessárias para realizar estudos relacionados com o processo de inundação.	49
Tabela 8 - Ações adequadas para o plano de gestão de inundação.	50
Tabela 9 - Características das medidas estruturais.	52
Tabela 10 - Estudos mais recentes de caracterização morfométrica em bacias hidrográficas.	56
Tabela 11 - Estudos recentes relacionados à inundação que utilizaram o método HAND.	59
Tabela 12 - Estudos de inundação realizados utilizando de técnicas e recursos da cartografia e mapeamento geotécnico.	68
Tabela 13 - Etapas de implementação adotadas em um projeto de SIG.	73
Tabela 14 - Formações geológicas com as respectivas unidades geológicas presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	89
Tabela 15 - Descrição, área e percentual de área de cada unidade de materiais inconsolidados com relação à área total da bacia hidrográfica.	91
Tabela 16 - Escala de valores.	104
Tabela 17 - Valores de consistência randômica em função da ordem da matriz.	105
Tabela 18 - Descrição das variáveis para o cálculo dos índices morfométricos.	107
Tabela 19 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.	119
Tabela 20 - Informações quanto a gênese, textura e espessura dos materiais caracterizados por meio das sondagens.	121
Tabela 21 - Parâmetros morfométricos e sua relação com o processo de inundação.	139

Tabela 22 - Ordem de ramificação, número de sub-bacia por ordem de ramificação, número de sub-bacias classificadas quanto à suscetibilidade morfométrica à inundação.	140
Tabela 23 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 1ª ordem do Ribeirão Bocaina.....	141
Tabela 24 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 2ª ordem do Ribeirão Bocaina.....	142
Tabela 25 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 3ª ordem do Ribeirão Bocaina.....	143
Tabela 26 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem do Ribeirão Bocaina.....	144
Tabela 27 - Classificação da suscetibilidade morfométrica à inundação para cada sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.	147
Tabela 28 - Matriz de ponderação entre o modelo HAND e a morfometria.	158
Tabela 29 - Número de bacias hidrográficas por ordem de ramificação.	163
Tabela 30 - Nomenclatura e área das respectivas bacias hidrográficas urbanas.....	164
Tabela 31 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação da área urbana nas bacias hidrográficas.....	168
Tabela 32 - Percentual de área ocupada pelas classes de potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento nas bacias hidrográficas.....	169
Tabela 33 - Percentual de área ocupada pelas classes da Profundidade do Nível Freático nas bacias hidrográficas.....	170
Tabela 34 - Percentual de área ocupada pela Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor nas bacias hidrográficas.....	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz AHP de atribuição de pesos para atributos do meio físico.....	125
Quadro 2 - Matriz AHP de atribuição de pesos para atributos do meio físico e uso e ocupação.	125
Quadro 3 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de declividade.	127
Quadro 4 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de densidade hidrográfica. ..	130
Quadro 5 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de materiais inconsolidados.	131
Quadro 6 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de uso e ocupação do solo...	132
Quadro 7 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de geologia.	134

LISTA DE SIGLAS

BH	Bacia Hidrográfica
GSf	Grau de Suscetibilidade final
IC	Índice de Consistência
IR	Índice de Consistência Randômico
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
HAND	Height Above the Nearest Drainage
RC	Razão de Consistência
SIG	Sistemas de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	29
1.1 OBJETIVOS	30
1.1.1 Objetivo Geral	30
1.1.2 Objetivos Específicos.....	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1 Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento	31
2.2 Balanço Hídrico	33
2.3 Estimativa de potencialidade de escoamento superficial e infiltração.....	37
2.3.1 A importância do estudo de escoamento superficial.....	41
2.3.1.1 Modelos Hidrológicos de escoamento.....	43
2.3.1.2 Fatores que influenciam no escoamento superficial e infiltração.....	44
2.4 Inundações	45
2.4.1 Mapa de Inundação	50
2.4.2 Medidas de controle das inundações.....	51
2.5 Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas	53
2.5.1 Índices morfométricos.....	54
2.6 Modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage)	57
2.7 Ensaio de Sondagem à Percussão	60
2.8 Planejamento Urbano.....	61
2.8.1 Estatuto da cidade e Plano Diretor	62
2.9 Cartografia e Mapeamento Geotécnico	64
2.10 Geotecnologias aplicadas ao mapeamento geotécnico	70
2.10.1 Sensoriamento Remoto	71
2.10.2 Sistemas de Informações Geográficas.....	72
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	77
3.1 Localização	77
3.2 Socioeconomia.....	80

3.3	Clima e vegetação	82
3.4	Geologia	87
3.5	Materiais Inconsolidados.....	89
3.6	Recursos hídricos	92
4	MATERIAIS E MÉTODOS	93
4.1	Materiais	93
4.2	Métodos	95
4.2.1	Levantamento de dados e construção de um banco de dados digital, com informações referentes à situação do Ribeirão Bocaina	95
4.2.2	Quantificação das informações referentes à área de estudo	96
4.2.3	Georreferenciamento das imagens de satélite obtidas pelo Google Earth Pro®	96
4.2.4	Atualização do mapa de uso e ocupação do solo.....	98
4.2.5	Elaboração de documentos cartográficos	99
4.2.5.1	Mapa de espacialização dos furos de sondagem na área urbana.....	99
4.2.5.1.1	Interpolação da profundidade do nível freático.....	101
4.2.5.2	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente	101
4.2.5.3	Carta de Declividades	102
4.2.5.4	Carta de Densidade hidrográfica.....	102
4.2.5.5	Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial	103
4.2.5.6	Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina.....	106
4.2.5.7	Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima.....	109
4.2.5.8	Carta de Predisposição Topográfica à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e da área urbana.....	110
4.2.5.9	Elaboração do Mapa das bacias hidrográficas urbanas.....	110
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
5.1	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e Carta de Declividades	113
5.2	Mapa de Uso e Ocupação do solo	118
5.3	Mapa de Espacialização dos furos de sondagem na área urbana	121
5.3.1	Profundidade do Nível Freático	122

5.4 Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial	124
5.4.1 Análise realizada para cada plano de informação	126
5.4.1.1 Declividade	126
5.4.1.2 Densidade hidrográfica	127
5.4.1.3 Materiais Inconsolidados	130
5.4.1.4 Uso e ocupação do solo	132
5.4.1.5 Geologia	133
5.4.2 Sobreposição dos planos de informação e quantificação das classes de potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial	135
5.5 Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina	139
5.6 Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima.....	147
5.7 Carta de Predisposição Topográfica à Inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e da área urbana de Passos-MG	157
5.8 Análise para verificação de ocorrência de inundação no Córrego São Francisco	163
6 CONCLUSÕES	173
6.1 Quanto aos métodos utilizados	173
6.2 Quanto aos produtos obtidos.....	173
6.3 Recomendações para estudos futuros	174
REFERÊNCIAS	175
APÊNDICE A	191
Mapa de Espacialização dos furos de sondagem na área urbana de Passos-MG e Informações referentes aos furos de sondagem analisados.....	191

1 INTRODUÇÃO

A acelerada expansão urbana, sem a existência ou com um inadequado planejamento territorial, tende a acarretar indesejados reflexos na qualidade de vida de boa parte da população, isto acontece em muitos municípios brasileiros. Existem inúmeros exemplos da mal sucedida ocupação, bem como dos prejuízos ocasionados pela escolha errada de locais para o crescimento das cidades, ocasionando graves desequilíbrios ambientais.

Um dos grandes desequilíbrios que ocorrem nas cidades está relacionado com o período de chuvas intensas, que conseqüentemente, acarreta perdas por causa da ocorrência de inundação nas áreas mais baixas. Com a intensa urbanização, é normal que ocorra um aumento da vazão em toda a área urbana, cuja causa principal é o processo de impermeabilização do solo, assim, locais que antes constituíam o leito natural de inundação do rio são gradativamente ocupados por edificações (GUIMARÃES; PENHA, 2009).

Com a finalidade de evitar ou minimizar os efeitos causados pelo processo de inundação é necessário obter conhecimento específico do espaço físico e o meio ambiente que nos cerca, sendo essencial a realização de estudos que permitem obter diagnósticos e prognósticos para áreas já urbanizadas, além de analisar a viabilidade de ocupação para locais ainda não ocupados.

Diante deste contexto, o mapeamento geotécnico torna-se imprescindível na identificação do uso racional e controle do meio físico para o planejamento regional e urbano. Este trabalho baseou-se em técnicas de mapeamento a fim de estabelecer a identificação de áreas sujeitas à inundação, integrando atributos morfométricos e geotécnicos. A análise considerando toda a bacia hidrográfica é fundamental, pois o crescimento da área urbana pode afetar ou ser afetado pelos processos da geodinâmica superficial que ocorrem na bacia. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, que envolve completamente a área urbana do município de Passos-MG.

Neste contexto, os produtos elaborados, como as Cartas de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial, a Carta de Suscetibilidade Morfométrica à Inundação das Sub-bacias hidrográficas, a Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima e a Carta de Predisposição Topográfica à Inundação, serão úteis para auxiliar em um melhor planejamento urbano, visando servir de aporte para as tomadas de decisões dos gestores públicos e planejadores.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho foi determinar e analisar a potencialidade à inundação do Ribeirão Bocaina e da área urbana de Passos-MG, integrando atributos morfométricos e geotécnicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, citam-se:

- Gerar as Cartas de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial para a bacia hidrográfica;
- Elaborar o modelo HAND para a bacia hidrográfica e para área urbana, com a finalidade de analisar a distância vertical da drenagem mais próxima;
- Elaborar a Carta de Suscetibilidade Morfométrica   Inundação das Sub-bacias do Ribeirão Bocaina;
- Avaliar a predisposição topográfica quanto a ocorrência do processo de inundação na bacia hidrográfica e na área urbana;
- Analisar o potencial   inundação na área urbana.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento

A sociedade ao longo de sua história passou a intensificar suas ações sobre a natureza e conseqüentemente acelerar a geração de impactos ambientais, de tal forma que começou a influenciar sua qualidade de vida. Desse modo, o homem determinou que fosse necessário agir para recuperar o meio natural, planejando suas intervenções e buscando conhecer melhor os aspectos da natureza, para promover de forma coordenada, o uso, a proteção e a conservação dos recursos naturais presentes num determinado espaço no qual pretende intervir (TAKEDA et al., 2013).

No ano de 1981, foi proclamada a Lei de Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6938/1981), juntamente com a criação do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente) e o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), e a partir deste momento foram estabelecidas diretrizes de avaliação de impactos, planejamento e gerenciamento, de zoneamentos ambientais. Neste contexto, foi criada em âmbito nacional, a proposta de planejamento ambiental como maneira de orientar o ordenamento territorial.

A Lei Federal 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos que, dentre seus princípios básicos, utiliza a Bacia Hidrográfica (BH) como unidade de estudo considerando uma correlação entre a rede de drenagem de um rio e as populações locais, o que abrange o uso desses recursos e os impactos das atividades humanas para os diversos usos atuais e futuros da água (SILVEIRA, 2008). Neste contexto, a compreensão do conceito de BH e de suas subdivisões é de essencial importância para o planejamento e ordenamento dos recursos naturais, bem como, dos usos e ocupações dos solos (BIANCHI, 2012).

A escolha de uma BH como uma unidade de planejamento é de aceitação internacional que se justifica não somente por ser uma área física bem caracterizada, mas também porque não existe qualquer área de terra que considerada por menor que seja não esteja integrada em uma bacia hidrográfica (SIQUEIRA, 2001).

De acordo com Van Dyne (1971 apud Tundisi 2003) o conceito de BH como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental tem sido empregado há bem mais de 30 anos, apesar de que na França as experiências de gerenciamento por meio delas são bem mais

antigas (século XVIII). A BH é amplamente aceita para planejamento do desenvolvimento da área e dos recursos hídricos. Na Índia, desde o ano de 1974, vários projetos de desenvolvimento como Drought Prone Area Programme (DPAP), Desert Development Programme (DDP), Hill Area Development Programme (HADP), são exemplos que consideram as bacias hidrográficas como unidade básica para o desenvolvimento (BABAR, 2005).

Segundo Christofolletti (1980), a BH é entendida como uma unidade funcional, o seu comportamento é função de suas características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas, da cobertura vegetal, etc., abarcando a influência da atividade humana. Obter uma visão de forma integrada de uma BH possibilita compreender as relações que existem entre seus componentes, e em consequência, a resposta do sistema de drenagem de acordo com as condições ambientais. De acordo com o autor é possível e conveniente adotar a bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental.

Para Espinoza (2013), a BH é adotada como uma unidade regional de planejamento e gerenciamento das águas, permitindo a contribuição participativa de municípios e da sociedade local, entendida como uma concepção de gestão pública caracterizada por interesses de negociação cuja legislação dos recursos hídricos cede à sociedade civil a responsabilidade de participar da gestão das águas.

A escolha de uma BH para gestão dos recursos naturais envolve estabelecê-la como unidade de desenvolvimento humano que aborda um ambiente sustentável. Diante disto, se faz necessário planejar o uso dos recursos da bacia hidrográfica em um nível intermunicipal, interestadual e em alguns casos, internacional, visto que os limites físicos da bacia não são compatíveis com os limites administrativos, nem com suas atividades econômicas. A gestão da BH necessita ser desmembrada por diversos municípios com vários interesses sociais e econômicos, ponderando uma política pública de uso da bacia escolhida para uma gestão justa, múltipla e equitativa dos benefícios e dos prejuízos pelo uso dos recursos (BEZERRA, 2007).

A BH deve englobar todos seus elementos como água, litologia, relevo, solo, flora, fauna, agropecuária, indústrias, urbanização, entre outros, e deve ser entendida como um conjunto composto por elementos naturais e sociais, inter-relacionados e dinâmicos (DIBIESO, 2013). A adoção de uma BH como unidade de estudo em uma pesquisa permite

analisar e interpretar as diversas alterações físicas ambientais que possibilitam realizar os diagnósticos e prognósticos do uso do solo, para o planejamento e zoneamento de uma área (CHUEH, 2004).

Segundo Carmo e Silva (2010), a BH é constituída por um sistema natural bem delimitado geograficamente, onde os fenômenos e interações permitem ser interligados a priori pelo input e output, neste contexto, os autores definem que as bacias hidrográficas podem ser abordadas como unidades geográficas, onde os recursos naturais se integram. Além disso, compõem uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização.

Devido a sua importância histórica e, além disso, entendidas como locais de intensa ocupação urbana, as BHs que contemplam o meio urbano estabelecem um recorte espacial de enorme importância para o planejamento urbano. Geralmente, o uso e ocupação do solo, são realizados de forma espontânea, raramente baseados nas questões ambientais. Os preceitos de uso e ocupação de bacias hidrográficas urbanas restringem-se aos zoneamentos urbanos e apresentam-se de acordo com intenções político-administrativas de expansão territorial. Esta ocorrência proporciona conflitos de ordem ambiental e, em vários casos, a ocupação acontece de maneira desordenada (SEBUSIANI; BETTINE, 2011).

2.2 Balanço Hídrico

Em meio às regiões hidrológicas de importância prática para os hidrologistas sobressaem as Bacias Hidrográficas ou Bacias de Drenagem, devido à simplicidade que proporcionam na aplicação do balanço de água. Assim, muitos modelos de estudos de recursos hídricos têm sido conduzidos em BHs (VILLELA; MATTOS, 1975).

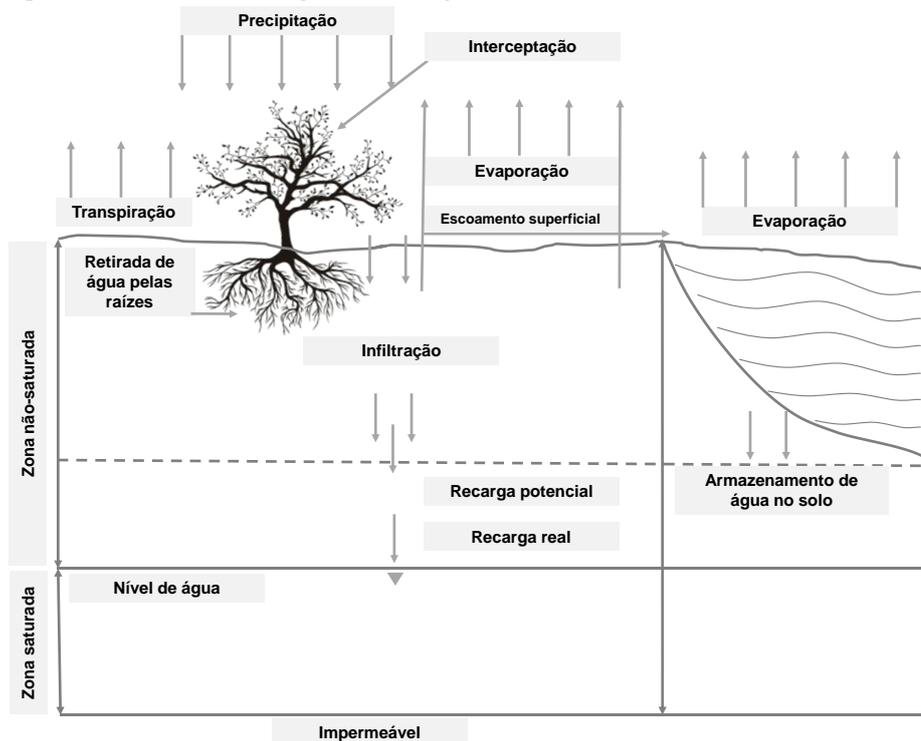
O conceito de ciclo hidrológico pode ser demonstrado de maneira quantitativa através de uma relação matemática nomeada de equação hidrológica ou equação do balanço hídrico. Essa equação permite representar a quantificação da água existente nas fases do ciclo, para um período de tempo determinado, o qual se denomina de balanço hídrico. Faz-se necessário para a elaboração do balanço hídrico a definição do espaço físico onde se realiza este balanço que assim, fica conhecido como sistema hidrológico (FREIRE; OMENA, 2005).

A técnica de balanço hídrico analisa os processos hidrológicos importantes como entradas e saídas de um balanço volumétrico. Estas variáveis são fundamentadas nos acontecimentos hidrológicos de maior relevância, controlando o conteúdo volumétrico de um

determinado volume de controle em um dado período de tempo (BARRETO; WENDLAND; GOMES, 2007).

Existem fatores que atuam diretamente no comportamento do balanço hídrico, sendo eles: evaporação e evapotranspiração; precipitação; interceptação; armazenamento em depressões; escoamento superficial e infiltração. A Figura 1 demonstra os componentes do ciclo hidrológico que atuam no balanço hídrico.

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico no balanço hídrico.

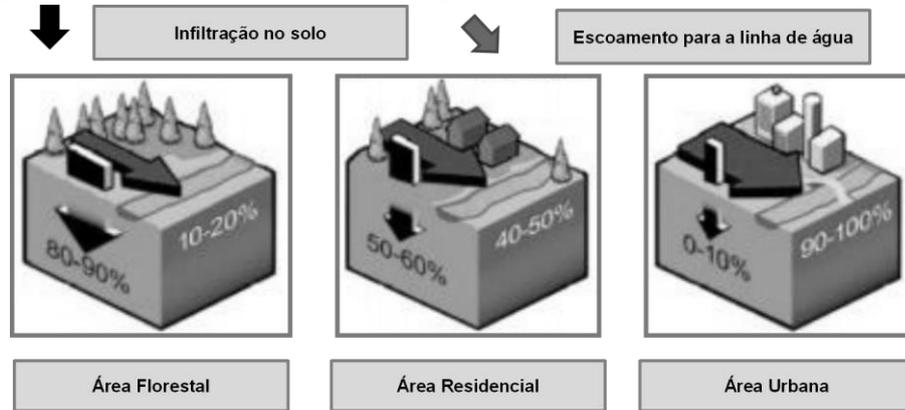


Fonte: Adaptado de Peruchi (2009).

Considerando o método do balanço hídrico, pode-se dizer que o solo atua como um reservatório, delimitado pela região da zona de raízes, abastecido pelas precipitações e com volumes máximos dados pela capacidade de campo, ou seja, o teor de água presente no solo capaz de ser aproveitada pela planta. A retirada de água depositada nesse reservatório ocorre através da evaporação direta e transpiração vegetal, por meio da absorção radicular. No decorrer dos períodos onde o solo se encontra na capacidade de campo, os excedentes de infiltração podem fluir profundamente, promovendo a recarga, enquanto que os excedentes superficiais podem fluir de forma direta para a rede de drenagem fluvial (BERTOL et al., 2006).

A Figura 2 exemplifica o processo de balanço hídrico, em locais diferenciados, como áreas florestais, residenciais e urbanas. Pode-se afirmar que todo este método ocorre de forma distinta em decorrência da área.

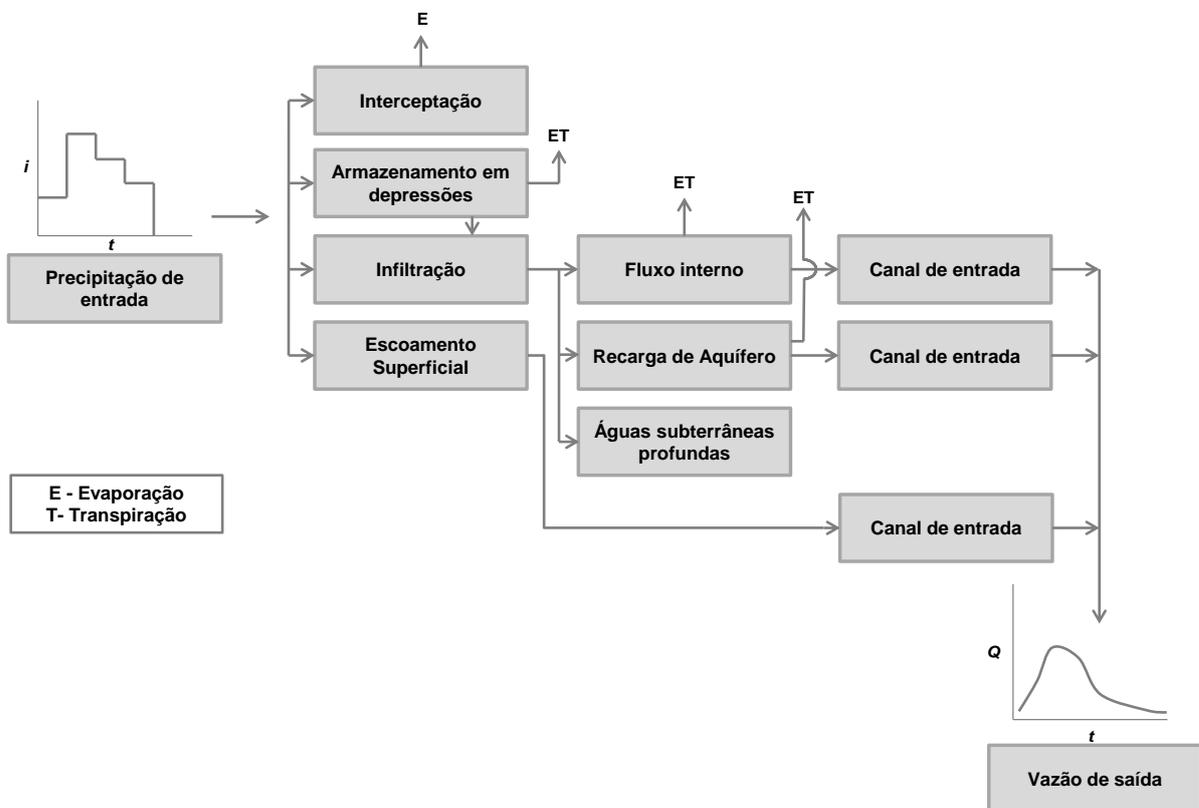
Figura 2 - Esquema de balanço hídrico em bacia hidrográfica com características rurais e urbanas.



Fonte: Adaptado de Horn (2012).

A Figura 3 exemplifica o modelo, envolvendo a distribuição de precipitação de entrada e a vazão de saída.

Figura 3 - Distribuição de precipitação de entrada e a vazão de saída.



Fonte: Adaptado de Viessman; Lewis (1995).

O método do balanço hídrico surgiu da necessidade de se contabilizar a precipitação e a evapotranspiração que incide em um ecossistema, com a finalidade de se conhecer a disponibilidade de água para as plantas, no decorrer do ano. Buscando equacionar esta relação, foram criados inúmeros métodos de se calcular o balanço hídrico (D'ANGIOLELLA; VASCONCELLOS; ROSA, 2005).

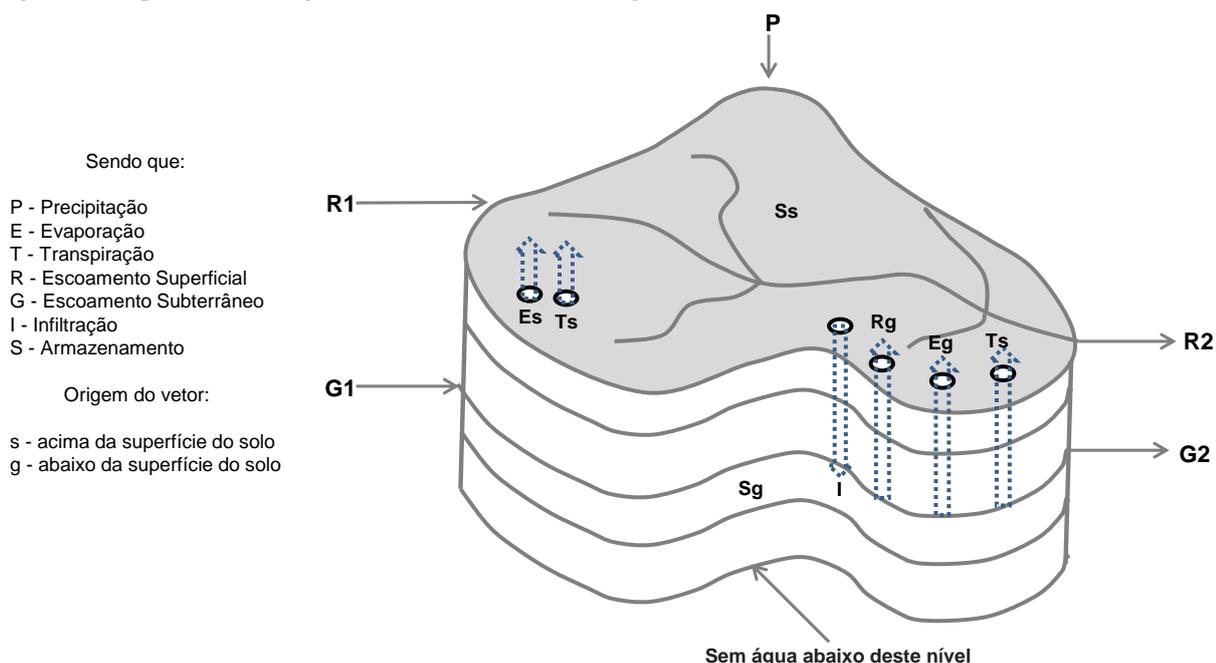
Este processo envolve, de um lado a precipitação como entrada e por outro, como saída, o escoamento superficial, a infiltração e a evapotranspiração. Segundo Villela e Mattos (1975) e Viessman e Lewis (1995) o balanço hídrico em uma bacia hidrográfica pode ser representado pelas expressões matemáticas definidas na Tabela 1. As equações mencionadas podem ser melhor entendidas pelo esquema de balanço hídrico em uma bacia hidrográfica, apresentado na Figura 4.

Tabela 1 - Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica representado por expressões matemáticas.

Esquema de balanço hídrico em uma bacia hidrográfica	
Balanço hídrico	Equações
<i>Balanço hídrico acima da superfície</i>	$P - R + RG - ES - TS - I = S_s$
<i>Balanço hídrico abaixo da superfície</i>	$I + G_1 - G_2 - R_g - E_g - T_g = S_g$
<i>Balanço hídrico na bacia hidrográfica</i>	$P - R - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) - (G_2 - G_1) = (S_s + S_g)$

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975) e Viessman e Lewis (1995).

Figura 4 - Esquema de balanço hídrico em uma bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de Viessman e Lewis (1995).

2.3 Estimativa de potencialidade de escoamento superficial e infiltração

Estimar o escoamento superficial em bacias hidrográficas é de extrema importância visando conservar e preservar os recursos naturais; contudo, pode-se declarar que este é um processo complexo e dinâmico, especialmente quando se refere a sua variabilidade espacial (BESKOW et al., 2009).

Os autores Pejon e Zuquette (1993) ressaltam que as informações que envolvem o escoamento superficial são essenciais para se obter coeficientes de deflúvios mais realistas. O coeficiente propriamente dito corresponde à razão entre o volume de água do escoamento superficial e o volume de água da chuva. Villela e Mattos (1975) exibem uma série de valores de coeficiente de escoamento para distintas características de bacias hidrográficas, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de coeficiente de escoamento considerando diversas características de bacias hidrográficas.

Características das Bacias Hidrográficas	C (%)
Superfícies impermeáveis	90-95
Terreno estéril montanhoso: material rochoso ou geralmente não-poroso, com reduzida ou nenhuma vegetação e altas declividades	80-90
Terreno estéril ondulado: material rochoso ou geralmente não-poroso, com reduzida ou nenhuma vegetação em relevo ondulado e com declividades moderadas	60-80
Terreno estéril plano: material rochoso ou geralmente não-poroso, com reduzida ou nenhuma vegetação e baixas declividades	50-70
Áreas de declividades moderadas (terreno ondulado), grandes porções de gramados, flores silvestres ou bosques, sobre um manto fino de material poroso que cobre o material não-poroso	40-65
Matas e florestas de árvores decíduas em terreno de declividades variadas	35-60
Florestas e matas de árvores de folhagem permanente em terreno de declividades variadas	5-50
Pomares: plantações de árvores frutíferas com áreas abertas cultivadas ou livres de qualquer planta, a não ser grammas	15-40
Terrenos cultivados em plantações de cereais ou legumes, em zonas altas (fora de zonas baixas e várzeas)	15-40
Terrenos cultivados em plantações de cereais ou legumes, localizadas em zonas baixas e várzeas	10-30

Fonte: Villela e Mattos (1975).

De acordo com o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem deve-se considerar, no caso de aplicação em drenagem urbana, a precipitação de 5 e 10 anos de tempo de recorrência (DNIT, 2005). As Tabelas 3 e 4 apresentam os coeficientes de escoamento superficial ou run-off para as bacias em áreas urbanas.

Tabela 3 - Descrição que envolve as áreas das bacias tributárias em áreas urbanas com o seu coeficiente de deflúvio.

Descrição das áreas das bacias tributárias	Coeficiente de Deflúvio “c”
Comércio	
<i>Áreas centrais</i>	0,70 a 0,95
<i>Áreas da periferia do centro</i>	0,50 a 0,70
Residencial	
<i>Áreas de uma única família</i>	0,30 a 0,50
<i>Multi-unidades, isoladas</i>	0,40 a 0,60
<i>Multi-unidades, ligadas</i>	0,60 a 0,75
<i>Residencial (suburbana)</i>	0,25 a 0,40
<i>Área de apartamentos</i>	0,50 a 0,70
Industrial	
<i>Áreas leves</i>	0,50 a 0,80
<i>Áreas densas</i>	0,60 a 0,90
<i>Parques, cemitérios</i>	0,10 a 0,25
<i>Playgrounds</i>	0,20 a 0,35
<i>Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro</i>	0,20 a 0,40

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005).

Às vezes é conveniente conseguir o coeficiente de deflúvio de uma bacia por meio da média ponderada dos coeficientes das várias superfícies que a compõem, sendo os pesos proporcionais às áreas dessas superfícies (BRASIL, 2005).

Quanto à estimativa para a Capacidade de Infiltração, é necessário analisar os valores que são tabelados de acordo com o do tipo de solo e do uso e ocupação presentes na área de interesse. A Tabela 5 exemplifica os grupos hidrológicos dos solos com suas respectivas capacidades de infiltração segundo o Método de SCS (*Soil Conservation Service*).

Tabela 4 - Tipo de superfície com os respectivos coeficientes de deflúvio.

Tipo de superfície	Coefficiente de Deflúvio “c”
Ruas	
<i>Asfalto</i>	0,70 a 0,95
<i>Concreto</i>	0,80 a 0,95
<i>Tijolos</i>	0,70 a 0,85
Ruas	
<i>Trajeto de acesso a calçados</i>	0,75 a 0,85
<i>Telhados</i>	0,75 a 0,95
Gramados; solo arenoso	
<i>Plano, 2%</i>	0,05 a 0,10
<i>Médio, 2 a 7%</i>	0,10 a 0,15
<i>Íngreme, 7%</i>	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto	
<i>Plano, 2%</i>	0,13 a 0,17
<i>Médio, 2 a 7%</i>	0,18 a 0,22
<i>Íngreme, 7%</i>	0,15 a 0,35

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005).

Tabela 5 - Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e suas capacidades de infiltração por meio do Método do SCS.

Grupo hidrológico do solo	Descrição do solo	Capacidade de infiltração (cm/h)
<i>A</i>	Areias e cascalhos profundos (h>1,50m), muito permeáveis. Possuem alta taxa de infiltração mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%.	1,20-0,80
<i>B</i>	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos (h<1,50m) e permeáveis. Teor de argila 10%-20%.	0,80-0,40
<i>C</i>	Solos pouco profundos com camadas subsuperficial que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%).	0,40-0,15
<i>D</i>	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis.	0,15-0,00

Fonte: Adaptado de Canholi (2005).

Um trabalho realizado pelos autores Dias, Pejon e Collares (2013) apresenta como um dos produtos finais a Carta de Potencial ao Escoamento Superficial para a área da bacia do Médio Rio Grande. Os autores utilizaram para a elaboração deste tipo de carta, a técnica de

sobreposição, onde são atribuídos pesos aos diversos atributos e planos de informações considerados como intervenientes no processo. Como planos de informação considerados como principais citam-se: relevo, materiais inconsolidados, geologia, permeabilidade dos solos, feições favoráveis ao armazenamento superficial e densidade hidrográfica.

O estudo realizado por Nunes, Fiori e Firpo (2011) teve por objetivo principal aplicar o método de Soil Conservation Service (SCS), em conjunto com a utilização de técnicas de tratamento de dados em ambiente SIG, para avaliar a variação temporal e espacial do coeficiente de escoamento superficial por meio da quantificação da impermeabilização do solo, ao longo do processo de adensamento urbano na bacia hidrográfica do Rio Atuba que envolve os municípios Almirante Tamandaré, Colombo, Curitiba, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais, além de visualizar as regiões mais críticas ao escoamento das águas superficiais. Com os resultados, pôde-se perceber que o coeficiente de escoamento superficial nesta bacia hidrográfica é dependente dos tipos e das variações, que ocorrem ao longo do tempo e do espaço, da cobertura superficial do terreno e de outros elementos físicos que o envolvem como: capacidade de armazenamento, infiltração e condições de umidade antecedente dos solos.

Os autores Reis et al. (2012) realizaram um estudo na bacia do Córrego do Leitão no município de Belo Horizonte - MG que vem sofrendo com a ocorrência de desastres relacionados a inundações. Os problemas são devidos ao fato do relevo acidentado e ondulado, além de bastante impermeabilizado onde se localiza a cidade. O objetivo do trabalho foi aplicar métodos para avaliação da susceptibilidade à formação de enxurradas em área urbana. O método usado foi à análise de multicritérios que permitiu a elaboração de um produto cartográfico que demonstra que o escoamento superficial nas áreas urbanas é um forte condicionante das inundações, enchentes e alagamentos. Os resultados permitem auxiliar na compreensão da causa do fenômeno da inundação e permitem o planejamento de intervenções mitigadoras por meio da atenuação de seus condicionantes (GUTIERREZ et al., 2011).

Outro estudo relacionado com o tema proposto foi desenvolvido por Garotti e Barbassa (2010) onde foi elaborada a caracterização do uso e ocupação do solo na cidade de Ribeirão Preto (SP), bem como uma análise detalhada da impermeabilização urbana e conectividade hidráulica dos lotes. Além disso, foi analisado para seis sub-bacias hidrográficas, o coeficiente de escoamento superficial (C), utilizando-se três métodos com distintos níveis de precisão. Por meio do Método Racional com os valores estimados de C, foi

possível calcular os picos de vazão para as sub-bacias. Foi verificado que a impermeabilização cresce à medida que se reduz a área do lote.

2.3.1 A importância do estudo de escoamento superficial

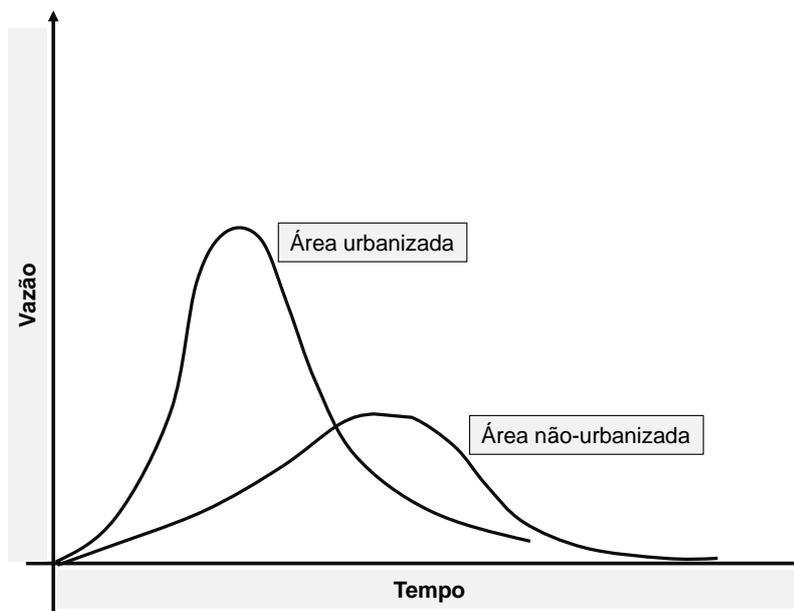
Considerar que a precipitação é a responsável pela reposição da água tanto nos rios como no subsolo é básico para a sustentabilidade do ciclo hidrológico. Ao ocorrer à precipitação na área rural, as gotas de chuva são interceptadas pelas folhas das plantas, esse processo faz com que diminua o impacto com o solo, promovendo a infiltração e a retenção no local, por conseguinte diminui o volume do escoamento superficial, já nos espaços urbanos, onde o solo é acobertado por materiais impermeáveis, a consequência é a diminuição do volume retido e que infiltra (SUMAI; OLIVEIRA, 2011).

A etapa do escoamento superficial envolve a ocorrência e transporte da água na superfície terrestre e na maioria dos estudos hidrológicos está relacionada ao seu aproveitamento e à proteção contra fenômenos gerados pelo seu deslocamento. O escoamento superficial envolve o excesso de precipitação que acontece depois de uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, recarregado tanto pelo excesso de precipitação quanto pelas águas subterrâneas (PEIXOTO, 2002).

Conforme os autores, Wolman (1967), Archibold et al. (2003), Busnelli et al. (2006), Bouchnak et al. (2009), Samani, Wasson e Malekian (2011) o crescimento das áreas urbanas evidencia-se como um dos vetores básicos de mudanças da superfície terrestre, que vem demonstrando estar cada vez mais intensificado nas últimas décadas em decorrência do crescimento populacional.

Diante do contexto, segundo vários autores (HOLLIS, 1975; LAZARO, 1979; SANDERS, 1986, AKAN; HOUGHTALEN, 2003), o processo de urbanização modifica os regimes fluviais das bacias hidrográficas, provocando uma série de efeitos, como: acréscimo na quantidade total de escoamento superficial; aumento da constância das inundações; redução global do fluxo de base; e as alterações de hidrogramas que exibem um aumento na vazão de pico em um menor intervalo de tempo (como demonstrado na Figura 5).

Figura 5 - Comparação entre os hidrogramas de cheia em áreas urbanizadas e não-urbanizadas.



Fonte: Adaptado de Tucci (1995).

Conforme Pereira et al. (2015), qualquer mudança ocorrida na bacia hidrográfica tende a modificar o ciclo hidrológico, que refletirá nos valores de perdas de solo. Com a expansão urbana, a impermeabilização acontece em grande escala e, deste modo, incide menos infiltração e, em consequência, tem-se um maior volume e velocidade do escoamento superficial.

Targa (2012) também evidencia que a crescente urbanização implica diretamente em alterações da superfície, ocasionando o desequilíbrio na fase terrestre do ciclo hidrológico. Com o aumento da impermeabilização ocorre à diminuição das áreas de recarga e aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, o valor do coeficiente de escoamento.

Levando em consideração o processo de urbanização, para determinar a aptidão da área frente aos processos hidrológicos é essencial que se considere a necessidade de se executar a simulação dos cenários atuais e tendenciais de inundação, permitindo, deste modo, obter cenários alternativos de planejamento, seja transformando a área em inapta a ocupação, seja com a proposição de intervenções para que o local seja classificado como hábil com restrições (SOUZA; SOBREIRA, 2014).

2.3.1.1 Modelos Hidrológicos de escoamento

Segundo Tucci (2005), os modelos que se referem ao escoamento têm como embasamento as equações definidas por Saint Vénant. Tais equações mostram relação com a continuidade, ou conservação das massas e à conservação da quantidade de movimento, esta última quando completa considera as principais forças que agem sobre o escoamento: gravidade, atrito, pressão e inércia ao fluxo.

- Modelo de Armazenamento: Analisa somente o efeito do armazenamento no escoamento, abandonando os efeitos da equação de quantidade de movimento. Esse tipo de modelo de armazenamento usa a equação da continuidade concentrada, bem como utiliza uma relação entre o armazenamento e a vazão de saída e entrada do trecho. Considera pequeno volume de dados e simples formulação, assim destaca sua larga utilização em estudos hidrológicos.

- Modelo de Onda Cinética: Emprega a equação de continuidade e quantidade de movimento abandonando os conceitos de pressão e de inércia. Além disto, utiliza a equação de continuidade distribuída e a expressão simplificada da equação de quantidade de movimento.

- Modelo de Difusão: Desprezando o conceito de inércia usa a equação de continuidade e quantidade de movimento. Destaca a aplicabilidade mais frequente do que o modelo de onda cinética, pois leva em consideração o termo de pressão. Tal modelo pode ser aplicado em rios e canais que sofrem efeitos de jusante e com velocidade com ausência de gradientes significativos.

- Modelo Hidrodinâmico: Leva em consideração a equação de continuidade e quantidade de movimento de forma completa. Necessita de uma maior quantidade de dados que os demais. Atinge maior precisão e a melhor representação física do escoamento, possibilitando simular deformações do sistema estudado.

A Tabela 6 evidencia as características de cada modelo descrito anteriormente.

Tabela 6 - Características dos modelos de escoamento.

	Distribuído	Efeito de jusante	Termos de pressão	Termos de inércia	Dados físicos
<i>Armazenamento</i>	Não	Não	Não	Não	Não
<i>Onda Cinemática</i>	Sim	Não	Não	Não	Opcional
<i>Difusão</i>	Sim	Sim	Sim	Não	Opcional
<i>Hidrodinâmico</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de Tucci (2005).

2.3.1.2 Fatores que influenciam no escoamento superficial e infiltração

O escoamento superficial é compreendido como a parte do ciclo hidrológico que se desloca na superfície da BH até se deparar com uma calha definitiva. Conhecer o processo do escoamento superficial é de uma grande importância para projetos de obras de engenharia, visto que grande parte dos estudos hidrológicos estão relacionados ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos instigados pelo seu deslocamento. Padilla (2007) descreve os principais fatores que influenciam no escoamento superficial, que são: a topografia; o tipo do material do solo de cobertura; a morfologia do solo de cobertura; e a vegetação.

Os fatores que atuam no escoamento superficial podem ser de natureza climática, com relação à precipitação ou de natureza fisiográfica interligados às características físicas da bacia hidrográfica. Dentre os fatores climáticos pode-se evidenciar a intensidade e a duração da precipitação, visto que quanto maior a intensidade, breve o solo chega a sua capacidade de infiltração gerando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração da precipitação também é proporcional ao escoamento, porque para precipitação com intensidade constante, há maior oportunidade de escoamento quanto maior for à sua duração (LIMA JÚNIOR, 2014).

Quanto os fatores fisiográficos, vale ressaltar que são: a área; a forma; a permeabilidade e a capacidade de infiltração; e, a topografia da bacia. A área também tem uma influência clara, visto que sua extensão se relaciona com uma maior ou menor quantidade de água que a mesma consegue captar. A questão da permeabilidade do solo está diretamente ligada na capacidade de infiltração, pois, quanto maior a permeabilidade do solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, abatendo o potencial de ocorrência de escoamento superficial (LIMA JÚNIOR, 2014). Já a porosidade do solo também se relaciona diretamente com a capacidade de infiltração, quanto mais poroso é o solo, maior é a quantidade de água absorvida e, deste modo, os escoamentos superficiais diminuem ou até mesmo deixam de ocorrer (CHIERICE JÚNIOR, 2013).

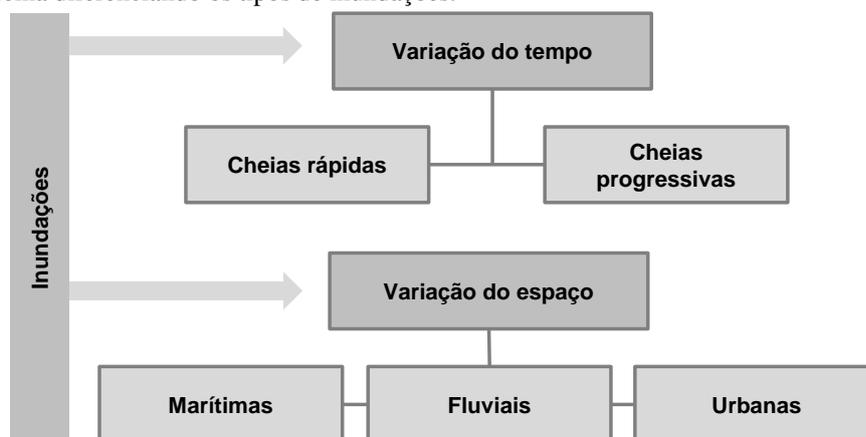
2.4 Inundações

De início deve-se separar os termos que são usados como sinônimos tais como: cheias/enchentes, inundações e alagamentos, estes correspondem a fenômenos hidrológicos variados e necessitam ser distinguidos quando empregados em estudos acadêmicos e técnicos.

- Cheia ou enchente: se trata do aumento da vazão em consequência de um aumento no escoamento superficial, normalmente provocado por precipitação, porém existem outras causas como o derretimento da neve acumulada em montanhas com a vinda das estações mais quentes. Este fenômeno hidrológico natural possibilita ou não a ocorrência de inundação.

- Inundação: consiste no extravasamento do canal para as áreas marginais, de maneira que o escoamento alcança o leito maior do canal. Jacinto (2011) apud Sousa (2012) demonstra a representação de vários tipos de inundações com relação a sua variação no espaço e no tempo (Figura 6).

Figura 6 - Esquema diferenciando os tipos de inundações.



Fonte: Adaptado de Jacinto (2011) apud Sousa (2012).

- Alagamento: se define como o extravasamento das galerias da rede de drenagem sem que ocorra inundação no canal principal. Os alagamentos são provenientes do subdimensionamento da rede de drenagem, entupimento das galerias por resíduos e entulho, das ligações inadequadas de esgoto com a rede de drenagem pluvial provocando vazão afluyente superior à determinada em projeto.

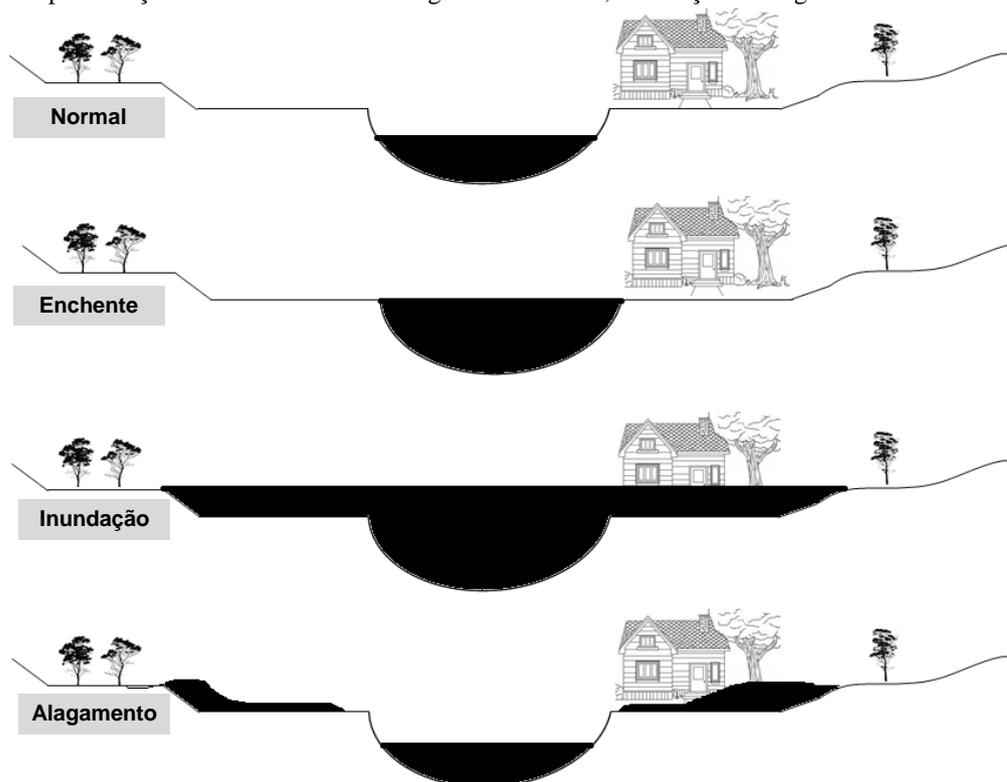
De acordo com os autores Amaral e Ribeiro (2009), a combinação de condicionantes naturais e antrópicos permitem analisar a probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e alagamento. Entre os condicionantes naturais citam-se: formas de relevo; características do

solo e teor de umidade; características da rede de drenagem; existência ou falta de cobertura vegetal; intensidade, duração e frequência das precipitações. Já os fatores antrópicos são evidenciados pelo uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, pela disposição inadequada de resíduos sólidos próximos a rede de drenagem, mudanças nas características da bacia hidrográfica e dos canais de drenagem, como vazão, canalização de canais, impermeabilização do solo.

Em áreas urbanas um sério problema que ocorre em grande escala nos municípios brasileiros são as inundações, especialmente quando atingem áreas densamente ocupadas, onde pode se considerar que há prejuízos muitas vezes irreparáveis (VALÉRIO FILHO et al., 2005).

A Figura 7 demonstra como estes conceitos são dispostos em uma determinada área.

Figura 7 - Representação dos fenômenos hidrológicos: enchentes, inundações e alagamentos.



Fonte: Adaptado de Goerl e Kobiyama (2005).

Segundo Tucci (1995), a urbanização tende a acontecer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, de acordo com as características de relevo. Por exemplo, quando um loteamento é projetado, os municípios decretam que somente o projeto de esgotos pluviais seja hábil no sentido de drenar a água do loteamento, porém quando o poder público não domina essa urbanização ou não expande a capacidade da macrodrenagem,

a existência das enchentes cresce, gerando perdas sociais e econômicas. Geralmente, o impacto recorrente ao aumento da vazão máxima sobre todo o resto da bacia hidrográfica não é analisado pelo projetista ou ordenado pelo município. O processo acontece por meio da sobrecarga da drenagem secundária como os condutos sobre a macrodrenagem sendo os próprios riachos e canais, que atravessam as cidades. Os locais que são mais afetados, devido à construção das novas habitações a montante, são as situadas à jusante.

Segundo Marques e Magalhães Junior (2014), as inundações atuam como processos que participam da ação natural dos rios. Acontecem com certa constância e são ocasionadas, principalmente por eventos pluviométricos intensos de pequena duração, ou momentos de chuvas contínuas. Porém, apesar de serem eventos naturais, as inundações podem ser intensificadas pela ação antrópica, em consequência, principalmente, das modificações nos usos das superfícies das bacias hidrográficas que influenciam no balanço entre as taxas de infiltração e as taxas de escoamento superficial.

Ao considerar o ponto de vista hidrológico, o local que apresenta maior risco de inundação admite uma dinâmica de enchente que depende de como se encontra o modo de ocupação e conservação da bacia hidrográfica. As enchentes em áreas urbanas acontecem por meio de dois processos, que existem isoladamente ou de forma integrada (TUCCI, 1997):

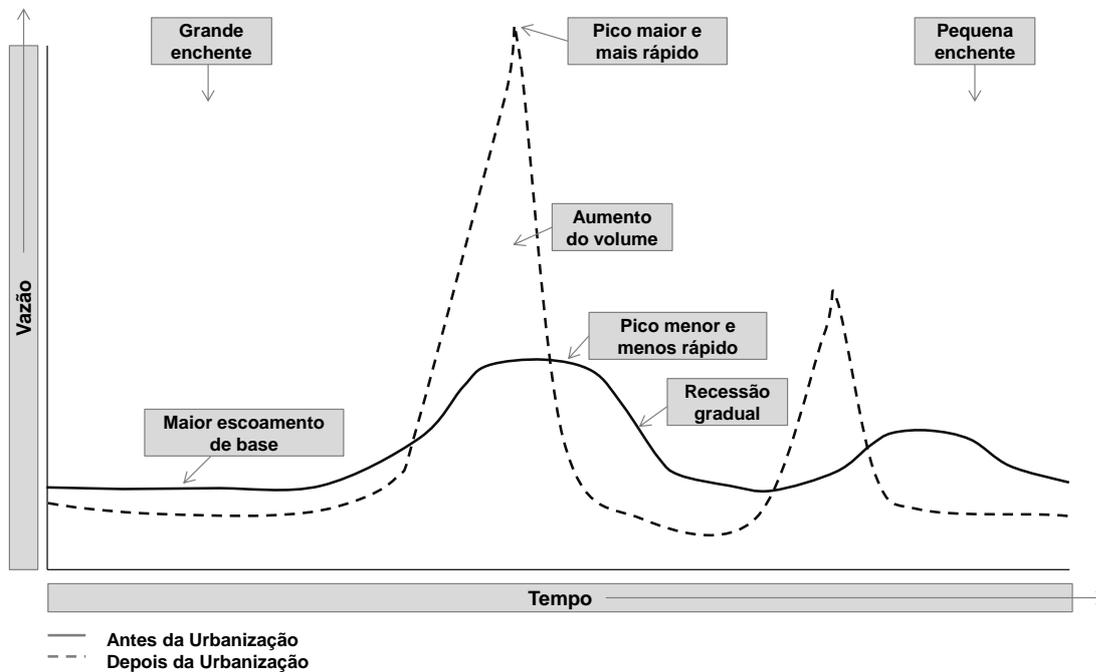
- enchentes devido à urbanização: que são compreendidas como o aumento da frequência e magnitude das enchentes de acordo com a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. Com o desenvolvimento urbano pode causar obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inapropriadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento;

- enchentes em áreas ribeirinhas: são entendidas como enchentes naturais que alcançam a população que ocupa o leito maior dos rios. Tais enchentes acontecem, através do processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, com relação aos eventos extremos, apresentando um tempo de retorno da ordem de 2 anos.

De acordo com o mesmo autor citado anteriormente, o impacto das áreas urbanas é mais expressivo no caso de precipitações de maior frequência onde o efeito da infiltração se expressa como mais importante. Já para as precipitações de baixa frequência, ou seja, com alto tempo de retorno, a interação entre as condições naturais e o processo de urbanização é considerada menor.

A Figura 8 demonstra as alterações no uso do solo devido à urbanização e seu efeito sobre o histograma.

Figura 8 - Características das alterações de uma área rural em área urbana.



Fonte: Adaptado de Schueler (1987).

Segundo Tucci (1997), o desenvolvimento do meio urbano modifica a cobertura vegetal promovendo inúmeros efeitos que modificam os componentes do ciclo hidrológico natural. Com o processo de urbanização, a cobertura da bacia hidrográfica é transformada e dá lugar aos pavimentos impermeáveis, além de introduzir condutos para escoamento pluvial, provocando as seguintes alterações no ciclo:

- Diminuição da infiltração da água no solo;
- O volume que não infiltrar permanece na superfície, aumentando o escoamento superficial. Outro fato a se considerar, é a construção de condutos pluviais para o escoamento superficial, deixando-o mais rápido, assim, conseqüentemente ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta maneira as vazões máximas também crescem, antecipando seus picos no tempo;
- Com a diminuição da infiltração, o aquífero apresenta a tendência de diminuir o nível do lençol freático por ausência de alimentação, ainda mais se a área urbana for muito extensa, diminuindo o escoamento subterrâneo.

- De acordo com a substituição da cobertura natural acontece uma diminuição da evapotranspiração, visto que a superfície urbana não armazena água como a cobertura vegetal e não possibilita a evapotranspiração das folhagens e do solo.

A seguir estão elencadas algumas etapas para a realização de estudos relacionados com o processo de inundação (Tabela 7), modificado de Souza e Sobreira (2014).

Tabela 7 - Etapas necessárias para realizar estudos relacionados com o processo de inundação.

Etapas para estudo relacionado ao processo de inundação
<ul style="list-style-type: none"> • Assimilar a equação de chuvas intensas com avaliações das relações intensidade-duração-frequência das chuvas máximas.
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar o tempo de concentração. É importante para definir a vazão máxima a que está sujeita uma bacia. As fórmulas para a elaboração do cálculo são adquiridas, de maneira geral, considerando as características da bacia hidrográfica como área, comprimento do talvegue, rugosidade do córrego ou canal e a declividade dos mesmos.
<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer os limites do canal a ser avaliado visando as áreas de expansão urbana e as áreas já ocupadas, de maneira que se possa determinar a área de estudo para formulação dos modelos de inundação, além de ser necessário gerar dados na escala de detalhe.
<ul style="list-style-type: none"> • Apropriar os valores de vazões máximas para as sub-bacias que integram a bacia hidrográfica principal.
<ul style="list-style-type: none"> • Classificar o uso e ocupação do solo através de um sistema de informação geográfica com o auxílio de imagens de satélite ou de ortofotomosaicos, e realizar visitas de campo para a validação de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica mapeada.
<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar uma Carta de Suscetibilidade a Inundação com os limites das áreas determinadas a serem inundadas por cheias com períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 30, 50 e 100 anos.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar modelagem hidráulica do canal com o cenário atual e tendencial, para estabelecer a área de inundação de rios e ações de proteção contra enchentes. Nesta etapa é essencial que sejam feitas análises na escala compatível a fim de estabelecer a aptidão a urbanização, com a elaboração de perfis transversais ao longo do canal.
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar os limites e classes da aptidão a urbanização, embasando nos períodos de retorno com diretrizes para ocupação.

Fonte: Modificado de Souza e Sobreira (2014).

As inundações podem ser abrandadas, com base em uma política adequada de uso e proteção do leito dos cursos de água e das margens adjacentes, de forma que determine a construção de infraestruturas hidráulicas que cumpram, de fato, às exigências ambientais, estando de acordo para não modificar as dinâmicas naturais nem alterar a finalidade que se destaca como o bom aproveitamento dos recursos hídricos. As ações que podem ser consideradas em um plano de gestão de inundação para a bacia em estudo podem ser

resumidas na Tabela 8. É de extrema importância obter o conhecimento das características hidrológicas e hidráulicas do sistema fluvial da bacia hidrográfica para a adoção de um plano de controle de inundação.

De acordo com o Barbosa (2006) existem três fatores que apresentam relação com o processo na tomada de decisão que pode resultar em soluções mais adequadas para a bacia hidrográfica: o clima, as características da bacia hidrográfica e as condições socioeconômicas da área.

Tabela 8 - Ações adequadas para o plano de gestão de inundação.

Estratégia	Opções
<i>Redução de inundação</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Barragens - Diques e obras de contenção - Gestão de bacias - Melhoria de canais
<i>Redução da vulnerabilidade para os danos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Regulação das planícies de inundação - Políticas de desenvolvimento - Projeto e locação dos equipamentos - Código de obras e construção - Estruturas a prova de enchentes - Previsão e alerta de enchentes
<i>Mitigação dos efeitos das inundações</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Informação e educação - Preparação em caso de desastres - Medidas de recuperação - Seguro contra inundação
<i>Preservação dos recursos naturais e das planícies de inundação</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Zoneamento e regulamentação das planícies de inundação

Fonte: Adaptado de Barbosa (2006).

2.4.1 Mapa de Inundação

Conforme afirmativa de Sousa (2012) o mapeamento de inundação não adota uma única metodologia, pois há várias abordagens apresentando características mais ou menos distintas, e é elaborado por diferentes entidades. Já os mapas de risco de inundação são estruturados normalmente por organizações governamentais e muito usados no planejamento

de emergências. Podem ser elaborados também por comissões internacionais de rios ou pela indústria das seguradoras a fim de determinar a insegurança e caracterizar seguros.

De acordo com o mesmo autor existem inúmeros tipos de mapas de inundação, sendo o mapa de amplitude da inundação, o mais comum, cita-se também o mapa de profundidades de águas onde as mesmas são cotadas topograficamente levando em consideração o nível médio da superfície das águas.

- Mapas de amplitude da inundação: são usados para apresentar as regiões de inundação de um evento específico, que pode ser histórico, representando a área de inundação provocada por um fenômeno extremo, ou pode ser um evento hipotético com um determinado período de retorno. Quanto à escala, utiliza-se para áreas urbanas as escalas mais detalhadas (1: 2.000), enquanto que para as áreas rurais as escalas são menores (1: 100.000). Os mapas são bases para elaborar as cartas de risco de inundação e são muito utilizados no planejamento de gestão de risco.

- Mapas de profundidade da água: este critério de profundidade do nível de água permite ser representado para períodos de retorno específicos interligado com a amplitude de inundação ou até mesmo pode ser representado num mapa separado. Consegue-se obter os níveis de profundidade de água por meio de modelos hidráulicos ou através de observações locais.

De acordo com Tucci (2005) os mapas de inundação de cidades são caracterizados por dois tipos, os mapas de planejamento e de alerta. O primeiro destaca os locais atingidos por cheias de tempo de retorno escolhidos, já o segundo são elaborados com valores de cotas em cada esquina do local de risco possibilitando através dos moradores o acompanhamento da inundação, por meio da observação do nível de água com relação às réguas instaladas na área.

2.4.2 Medidas de controle das inundações

Controlar totalmente as inundações não é possível, as medidas buscam minimizar as consequências deste processo, elas podem ser de dois tipos: estrutural e não-estrutural. As estruturais consistem naquelas medidas que transformam o sistema fluvial impedindo os prejuízos originados pelas enchentes, já as não-estruturais tratam-se daquelas em que os danos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. Estas ações de controle integram medidas de engenharia e devem considerar os âmbitos social, econômico e administrativo (TUCCI, 2005).

- **Medidas estruturais:** consistem em obras de engenharia implementadas com o intuito de diminuir o risco de enchentes. Elas podem ser caracterizadas de extensivas ou intensivas. As extensivas procuram realizar a modificação entre a relação precipitação e vazão, como exemplo, a mudança de cobertura vegetal no solo, que permite reduzir os picos de enchente, bem como, possibilita o controle de processo erosivo na bacia hidrográfica.

A Tabela 9 apresenta as características das medidas estruturais.

Tabela 9 - Características das medidas estruturais.

<i>Medida</i>	<i>Vantagem</i>	<i>Desvantagem</i>	<i>Aplicação</i>
<i>Medidas extensivas</i>			
Cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda	Redução do assoreamento	Igual ao anterior	Pequenas bacias
<i>Medidas intensivas</i>			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios
<i>Melhoria do canal</i>			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatórios</i>			
Todos reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com o mínimo de rochas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal</i>			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Igual ao anterior	Bacias médias e grandes

Fonte: Adaptado de Simons et al. (1977) apud Tucci (2005).

As intensivas são de três tipos e atuam diretamente no rio (SIMONS et al., (1977) apud TUCCI (2005)):

- 1-) Acelera o processo de escoamento: construção de diques e *polders*;
- 2-) Desacelera o processo escoamento: reservatórios e as bacias de amortecimento;
- 3-) Desvia o escoamento: obras de engenharia como canais de desvios.

- **Medidas não estruturais:** este tipo de medidas consta do zoneamento de locais de inundação por meio de regulamentação do uso do solo, construções à prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta de inundação (TUCCI, 2005).

2.5 Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas

A análise morfométrica de bacia hidrográfica consiste em um estudo de caráter quantitativo relacionado tanto com a sua fisiografia como a sua dinâmica hidrológica, sendo assim, através desta abordagem quantitativa é possível que se conheça melhor o comportamento hidrológico, pois os índices morfométricos podem ser entendidos como indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES; RIBEIRO; FIORI, 2006).

Segundo Almeida, Bayer e Ferreira Júnior (2016) a relação entre a análise morfométrica e a geografia é bem próxima, visto que por meio de um conjunto de índices morfométricos, é possível compreender as características geográficas de determinada região, o que facilita conhecer a dinâmica da bacia hidrográfica como um todo.

Goudie (2004) afirma que os atributos quantitativos da paisagem, originados do terreno, da superfície de elevação e da rede de drenagem, incluindo os atributos de tamanho, relevo, forma e textura tratam-se de propriedades morfométricas de uma bacia hidrográfica.

De acordo com Soares et al. (2016) as informações que são obtidas através dos índices morfométricos são muito importantes no processo de planejamento, visto que podem proporcionar a criação de estratégias de gerenciamento ambiental, pois apresentam facilidade em correlacionar o uso e ocupação do solo, a erosão, a qualidade das águas, bem como avaliar o meio socioeconômico de uma determinada localidade, assim, fornece aporte ao planejamento ambiental integrado de bacias hidrográficas.

Analisar as características físicas da bacia hidrográfica é de fundamental observação, visto que são parâmetros que permitem apontar indicadores específicos para determinado local, de maneira a qualificar as alterações ambientais ocorridas. (ALVES; CASTRO, 2003).

Os autores Lindner, Gomig e Kobiyama (2007) ressaltam que a utilização dos índices morfométricos são importantes para prevenir eventos hidrometeorológicos, como é o caso de estiagens e inundações, assim consistem em essenciais instrumentos que auxiliam no planejamento e gestão do território tanto em espaço urbano como rural, podendo colaborar para obtenção de um melhor aproveitamento de recursos naturais.

Collares (2000) realizou um estudo cujo objetivo foi realizar a aplicação de uma proposta metodológica baseada na análise morfométrica temporal das redes de drenagem de microbacias, com a finalidade de avaliar as alterações e realizar um zoneamento regional para a bacia hidrográfica do Rio Capivari. O trabalho envolveu o uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para caracterizar as atividades antrópicas e levantar os parâmetros morfométricos em dois períodos, com um intervalo de tempo de 23 anos. Os resultados comprovaram significativamente as alterações ocorridas na composição da rede de drenagem no período analisado.

2.5.1 Índices morfométricos

Conforme cita Cherem (2008) os atributos da bacia hidrográfica usados na definição dos parâmetros morfométricos são: área da bacia; perímetro da bacia; comprimento da bacia; comprimento dos canais fluviais; comprimento vetorial dos canais fluviais; número de canais de drenagem; declividade da bacia hidrográfica e dos canais; e altimetria. De acordo com Christofoletti (1980) a relação entre os atributos envolvidos e o relevo de uma bacia hidrográfica correspondem aos parâmetros que podem ser agrupados em quatro tópicos:

- ordenação ou hierarquização da rede de drenagem;
- análise linear dos canais de drenagem envolvendo as medições feitas ao longo das linhas de escoamento;
- análise areal da bacia hidrográfica, em conjunto, com múltiplos índices que usam medições planimétricas, além das lineares; e,
- análise hipsométrica considerando a distribuição altimétrica da bacia hidrográfica.

Os índices morfométricos utilizados para a realização deste trabalho estão descritos a seguir.

- **Área:** consiste na área da bacia hidrográfica.
- **Densidade de Drenagem:** é a relação entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica, definida por Horton (1945) (Equação 1).

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

Onde:

Dd é a densidade da drenagem;

$\sum L$ é o comprimento total dos canais (km); e,

A é a área da bacia (km^2).

- **Índice de Circularidade:** corresponde a relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro (MILLER, 1953) (Equação 2).

$$Ic = \frac{A}{A_c} \quad (2)$$

Sendo:

Ic o Índice de circularidade;

A é a área da bacia hidrográfica; e,

A_c é a área do círculo cujo perímetro é igual ao da bacia.

- **Relação de Relevo:** consiste na relação entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem (SCHUMM, 1963) (Equação 3).

$$Rr = \frac{H_m}{L_b} \quad (3)$$

Assim,

Rr é a relação de relevo;

H_m é a amplitude topográfica máxima;

L_b é o comprimento da bacia - Maior comprimento linear medido paralelamente ao curso principal.

- **Sinuosidade:** Foi definida por Schumm (1956) este índice trata-se da relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois pontos extremos do canal principal (Equação 4).

$$S = \frac{L_{talvegue}}{L_{vet}} \quad (4)$$

Sendo:

S é a sinuosidade;

$L_{talvegue}$ é o comprimento total do rio principal;

L_{vet} é o comprimento vetorial do rio principal.

A Tabela 10 apresenta alguns estudos mais recentes de caracterização morfométrica em bacias hidrográficas realizados no Brasil e seus principais objetivos.

Tabela 10 - Estudos mais recentes de caracterização morfométrica em bacias hidrográficas.

Autores	Ano	Localização	Objetivo
<i>Pereira, Gomes e Teixeira</i>	2012	Bacia do Córrego do Yung, localizada à Zona Leste da cidade de Juiz de Fora - MG	Baseou-se em realizar a análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica associada a um diagnóstico sócio-ambiental a fim de verificar se as características da bacia sofreram transformações com o processo de urbanização.
<i>Lima</i>	2014	Bacia do Rio Mamuaba e Bacia do Rio Gramame	Verificou evidências de neotectônica na área da carta topográfica Rio Mamuaba, escala 1:25.000, através da análise morfotectônica e morfométrica aplicada na rede de drenagem da área de estudo.
<i>Franco e Santo</i>	2015	Sub-bacia do Rio Luís Alves/SC	Analisou a morfometria a fim de investigar as características físicas da bacia e avaliou a mesma quanto a suscetibilidade ao desenvolvimento de inundações.
<i>Knierin e Trentin</i>	2015	Bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Grande	Realizou análise dos parâmetros morfométricos para compreender os processos de dinâmica superficial da bacia hidrográfica.
<i>Dias, Vieira e Gramani</i>	2016	Bacias hidrográficas na Serra do Mar Paulista	Avaliou a influência dos parâmetros morfológicos e morfométricos na magnitude de corridas de detritos nas bacias hidrográficas na Serra do Mar Paulista.
<i>Franco e Souza</i>	2016	Bacia Hidrográfica do Riacho Jucurutu	O estudo embasou nos cálculos de parâmetros morfométricos, com a finalidade de analisar a fisiografia da bacia hidrográfica que contempla um ambiente semiárido, apresentando apenas riachos intermitentes e efêmeros.
<i>Marinho e Silva</i>	2016	Bacia do Mindú e Bacia dos Franceses	Foi analisado a caracterização morfométrica de áreas inundadas e possibilitou identificar a localização de áreas planas com baixa elevação, além de áreas com maior convergência e alta velocidade dos fluxos de água.

Tabela 10 - Estudos mais recentes de caracterização morfométrica em bacias hidrográficas (continuação).

Autores	Ano	Localização	Objetivo
<i>Moreira e Dias</i>	2016	Microbacia do Córrego Manoel João, Porto Nacional (TO)	Avaliou as características morfométricas da microbacia hidrográfica, a fim de obter conhecimento quanto a sua dinâmica e suas características físicas.
<i>Roza et al.</i>	2016	Bacia Hidrográfica do Rio Lonqueador	Foram calculados alguns índices morfométricos que permitiram realizar uma análise das características físicas da superfície do relevo da bacia a fim de entender as causas que provocam alagamentos na área.
<i>Soares et al.</i>	2016	Sub-bacias hidrográficas do baixo curso do Rio Itapecuru, Maranhão	Caracterizou e analisou a morfometria de bacias hidrográficas, indicando as regiões prioritárias para implementação das ações de conservação, preservação do solo e dos recursos hídricos.

2.6 Modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*)

O método HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) foi desenvolvido por Rennó et al. (2008) e se trata de uma grade de distância vertical que se refere ao desnível vertical de cada pixel do modelo digital de elevação com relação a drenagem mais próxima, levando em consideração a direção superficial de fluxo que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem. A ferramenta é de acesso livre, funciona no software TerraHydroView, de fácil utilização.

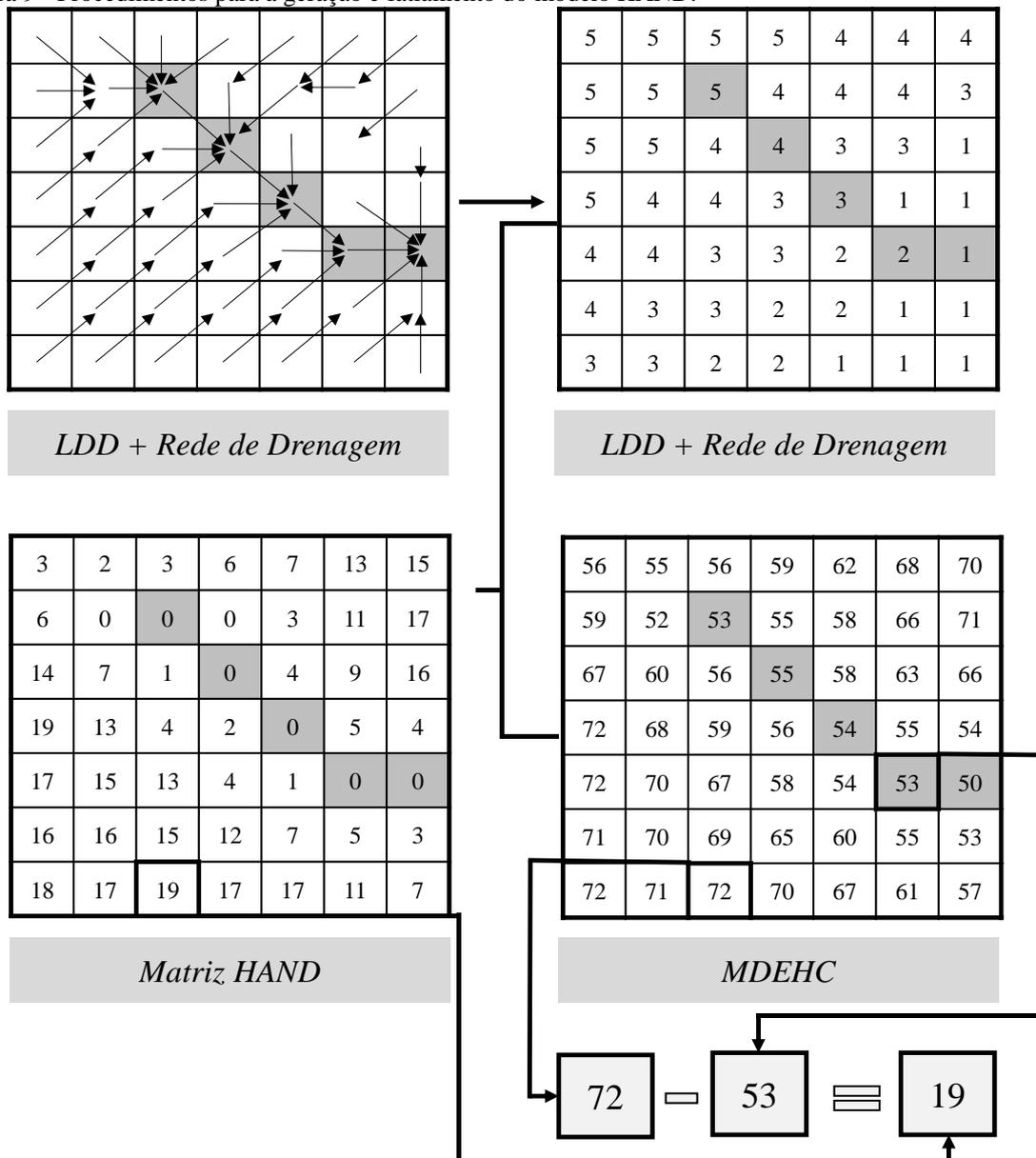
De acordo com Silva et al. (2011) o HAND pode ser considerado como um dos modelos matemáticos adequado para análises dos modelos digitais de terreno. O método possui a capacidade de estimar a profundidade do lençol freático por meio da topografia digital ou modelo de elevação. Vários testes feitos para muitos terrenos no Brasil manifestaram grande acurácia desse modelo de terreno (HAND), auxiliando na indicação de terrenos e do lençol freático, sem correlacionar diretamente com a geologia, a geomorfologia e os solos. Portanto, consiste um meio inovador do ponto de vista técnico e científico e que pode ser aplicado a baixo custo, de maneira ágil.

Quanto maior os valores da distância vertical da drenagem mais próxima indica locais que possivelmente apresentam lençol freático profundo, entende-se que as áreas são bem drenadas, já os menores valores (próximos a zero) identificam locais que apresentam o lençol freático bem próximo da superfície (INPE, 2015).

Santos (2015) afirma que o aplicativo HAND é um método barato e simples para identificar localidades de desastres como áreas de riscos de inundação. O modelo compreende que desníveis relativos de até 5 m são locais que apresentam maior probabilidade de inundação. Localidades com desníveis entre 5 e 15 m são entendidos como de risco médio.

A ferramenta HAND vem sendo muito utilizada por diversos autores, para a realização de modelagem hidrológica, voltado a estudos de inundação. A Figura 9 apresenta os procedimentos necessários para a geração e o fatiamento do modelo HAND. A Tabela 11 apresenta alguns estudos recentes que foram realizados no Brasil utilizando o método.

Figura 9 - Procedimentos para a geração e fatiamento do modelo HAND.



Fonte: Adaptado de Rennó et al. (2008).

Tabela 11 - Estudos recentes relacionados à inundação que utilizaram o método HAND.

Autor	Ano	Localização	Descrição do estudo
<i>Mengue et al</i>	2016	Área do rio Uruguai e afluentes próximos ao município de Itaqui - RS	Foi realizada a classificação de uma imagem Landsat 5 para elaborar um mapa de referência a fim de comparar com o mapa elaborado pela ferramenta <i>HAND</i> . As simulações do <i>HAND</i> e do mapa de referência foram analisados pela similaridade <i>fuzzy</i> , o índice de concordância Kappa e exatidão global.
<i>Momo et al</i>	2016	Blumenau - SC e Brusque - SC	Avaliou o desempenho da ferramenta <i>HAND contour</i> no mapeamento de locais que apresentam risco hidrológico, tomando como base os levantamentos topográficos e os mapas de inundações pré-existentes para os municípios estudados.
<i>Campos et al</i>	2015	-	Utilizou-se o método <i>HAND</i> para a classificação e zoneamento das suscetibilidades às inundações.
<i>Chaves et al</i>	2015	Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS abrange os municípios de Lavras do Sul, Santana do Livramento, São Gabriel, Rosário do Sul, Cacequi e Dom Pedrito	O objetivo do estudo funda-se em delimitar e quantificar a área da planície de inundação da bacia hidrográfica. Assim foi necessária a utilização do Modelo Digital de Elevação que permitir extrair os cursos d'água e delimitação da bacia. Com o método <i>HAND</i> foi possível obter informações de altitude em relação à drenagem.
<i>Santos</i>	2015	Bacia Hidrográfica Ribeirão Anicuns no município de Goiânia - GO	Foi realizada a criação de vários cenários de inundação nos tempos de retorno de 15, 25, 50 e 100 anos com auxílio do modelo hidrodinâmico HEC - RAS. Foi realizada a modelagem hidrodinâmica que considerou a equação completa de Saint Venant, além desta modelagem foram geradas simulações do método <i>HAND</i> .
<i>Speckhann</i>	2015	Blumenau - SC, Gaspar - SC e Ilhota - SC	Foi feito um estudo estatístico de vazões máximas com base em séries históricas. As análises estatísticas foram feitas usando as distribuições de extremo Normal, Log Normal, Gumbel e Log Pearson tipo 3, todas essas foram avaliadas pelo processo de Jackknife de validação cruzada. A área de estudo foi mapeada em locais de alta, média ou baixa susceptibilidade a inundação referente com os resultados encontrados por meio das distribuições e do modelo <i>HAND</i> .

Tabela 11 - Estudos recentes relacionados à inundação que utilizaram o método HAND (continuação).

Autor	Ano	Localização	Descrição do estudo
<i>Dias</i>	2014	Planície de inundação da região do Médio Araguaia (estende-se desde Registro do Araguaia - GO até Conceição do Araguaia - TO)	Utilizou-se a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em imagens multitemporais do sensor TM do satélite LANDSAT 5. Através dos índices gerados pela transformação <i>Tasseled Cap</i> (TC), foram extraídas as amostras de treinamento que possibilitaram realizar uma classificação supervisionada através do algoritmo <i>Support Vector Machine</i> (SVM). Logo foi gerado o modelo HAND. O cruzamento das informações extraídas pela classificação com o modelo HAND possibilitou estimar as áreas úmidas não vistas pela classificação, como locais alagados sob densa cobertura vegetal.
<i>Rosim et al</i>	2014	Região Nordeste do Brasil	Disponibilização de informações de como obter drenagem superficial e delimitação de bacias hidrográficas sem que seja necessário realizar a digitalização manual, além disto, apresenta o método HAND para identificar a potencialidade das áreas de inundação.
<i>Alfaya et al</i>	2013	Codajás - AM e Óbidos - PA	Avaliou a utilização da mineração de dados como procedimento técnico para mapear as áreas úmidas na planície de inundação do Rio Amazonas, usando dados SRTM e HAND.
<i>Pires e Borma</i>	2013	Bacias hidrográficas Ribeirão do Taquaruçu e Córrego do Buritizal ambas localizadas no município de Palmas - TO	Foi aplicado para as duas bacias hidrográficas o método HAND, a sua validação ocorreu com base na drenagem e nas medições de águas subterrâneas feitas <i>in loco</i> . Foram instalados piezômetros para monitoramento da água subterrânea.

2.7 Ensaio de Sondagem à Percussão

A finalidade do ensaio de sondagem a percussão, conhecido também como simples reconhecimento, baseia-se na obtenção de testemunhos (amostras pouco deformadas) e as características condizentes com a resistência dos solos através de ensaios padronizados, definidos ensaios de penetração ou SPT (*Standard Penetration Test*) (SOUZA; SILVA; IYOMASA, 1998).

De acordo com Queiroz (2013) este tipo de ensaio utiliza-se um equipamento simples e relativamente de baixo custo, muito útil para a obtenção de perfis do subsolo e a realização do teste tátil-visual das diferentes camadas encontradas durante o ensaio. As normas nas quais estabelecem os procedimentos para sua realização são ASTM (*American Society for*

Testing and Materials - D 1586/92) e a norma brasileira NBR- (ABNT - Associação Brasileiras de Normas Técnicas - NBR 6484/2001).

O ensaio de sondagem à percussão trata-se de um procedimento geotécnico realizado no campo considerado com um método direto de investigação, que apresenta a capacidade de realizar amostragem do subsolo (HACHICH et al., 1998). De acordo com o mesmo autor, o intuito de realizar a sondagem à percussão é obter informações como:

- o tipo de solo (identificação e classificação segundo a nomenclatura da ABNT) com a retirada de uma amostra deformada a cada metro perfurado;

- a resistência do solo quanto a cravação do amostrador-padrão a cada metro perfurado;

- a profundidade do nível d'água, se encontrados durante a perfuração.

Souza (2013) afirma que em casos de ocorrência de substratos rochosos, as sondagens percussivas são trocadas por sondagens rotativas ou complementadas com o uso de sondagens mistas que consiste na sondagem percussiva e rotativa. Essas sondagens rotativas permitem a extração de amostragem de rocha e sua respectiva classificação quanto as características estabelecidas de coerência, grau de fraturamento e RQD (*Rock Quality Designation*).

As sondagens à percussão são realizadas com frequência em áreas urbanas e podem fornecer informações importantes para estudos de mapeamento geotécnico, como a profundidade do nível d'água, atributo relevante em estudos de inundação.

2.8 Planejamento Urbano

O processo de urbanização é entendido particularmente como a intensiva ocupação da paisagem. Tal ocupação se reflete na transferência de elementos naturais por elementos construídos num processo de modificação que implica no equilíbrio da paisagem e a sua forma, ou seja, suas características visuais. Assim, a ocorrência de problemas ambientais, está pertinente à maior ou menor sensibilidade da paisagem e à forma como acontece à ocupação (BORMANN, 1987).

O acelerado processo de expansão urbana tem provocado impactos degradantes ao ambiente, instigando instabilidades que afetam diretamente a qualidade de vida da população. Tais impactos podem ser relacionados à poluição, inundações, escorregamento de encostas,

entre outros, que demandam para a correção dos problemas o conhecimento apropriado das características do meio físico para o seu uso e ocupação de maneira sustentável pela sociedade (NASCIMENTO, 2009).

Segundo afirmativa de Xavier (2010), o planejamento urbano exerce um papel essencial para a adequada orientação do território municipal, sendo sua finalidade vocacionar as várias áreas do território, demonstrando a destinação adequada destas áreas, segundo as características físicas e ambientais. Sendo assim, é fundamental a utilização de instrumentos que permitem identificar as potencialidades, vocações e fragilidades do meio planejado, de maneira que os planos, diretrizes e outros documentos que originam do processo de planejamento apresentem capacidade de promover o uso racional do solo.

Tinós (2011) afirma que para se obter um adequado planejamento urbano é fundamental ter conhecimento básico do meio físico, e isso é possível através de um processo de mapeamento que permite analisar em conjunto e avaliar o comportamento dos seus componentes em termos de geotecnia e apresentar as características de interesse ao implementar as formas de ocupação. Considerando as várias ferramentas para obter, representar e interpretar os aspectos de meio físico, temos o mapeamento geotécnico como sendo uma das mais importantes, quando se refere ao planejamento territorial urbano (XAVIER, 2010).

De acordo com Xavier (2010), sem considerar o campo da modelagem e simulação de cenários futuros, o desenvolvimento urbano é analisado por meio da integração e interpretação de dados do progresso temporal da malha urbana e de sua situação presente, em contraposição os vazios urbanos e aos condicionantes físicos e legais do crescimento. Assim, as imagens, os mapas e os dados cadastrais integrados e analisados em ambiente SIG possibilitam estabelecer de modo simples os padrões de crescimento e os locais possíveis para a expansão urbana.

Neste contexto, o item 2.9 da revisão bibliográfica trata em maiores detalhes sobre o mapeamento em termos geotécnicos.

2.8.1 Estatuto da cidade e Plano Diretor

Para coordenar o desenvolvimento de uma cidade o poder público tem o papel de conduzir as várias forças que a constroem; estabelecer limites e definir objetivos. Com o

crescimento das sociedades, os conhecimentos empregados para planejar o local foram sendo sistematizados e as interferências do poder público passaram a ser indiretas, aparecendo então às primeiras leis com a finalidade de organizar o uso do território (CUSTÓDIO; PEREIRA NETO; CAUDURO, 2013).

De acordo com a Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada de Estatuto da Cidade, é estabelecido no inciso IV do artigo 2º, que deve ser feito o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de maneira a se impedir e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus impactos negativos sobre o meio ambiente (BRASIL, 2004).

Segundo as autoras Santin e Marangon (2008) o Estatuto da Cidade, também é conhecido com a Lei do Meio Ambiente Artificial, que apresenta a finalidade de formular diretrizes gerais de administração do ambiente urbano. Ressalta-se que o mesmo serve para regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal diante dos reclames de ordem pública, interesse social, bem estar dos cidadãos e equilíbrio ambiental, constituindo normas gerais para a política de desenvolvimento urbano.

O Estatuto da Cidade foi criado como uma iniciativa para diminuir os sérios problemas observados, que são consequências da acelerada e desordenada ocupação do espaço, além de ser também uma tentativa de democratizar a gestão das cidades brasileiras. Esse Estatuto é a expectativa para a mudança do cenário urbano brasileiro, pois por meio de seus instrumentos, ele robustece a atuação do poder público, visando obter cidades mais democráticas, equitativas e sustentáveis (MALDANER; SANTIN, 2015).

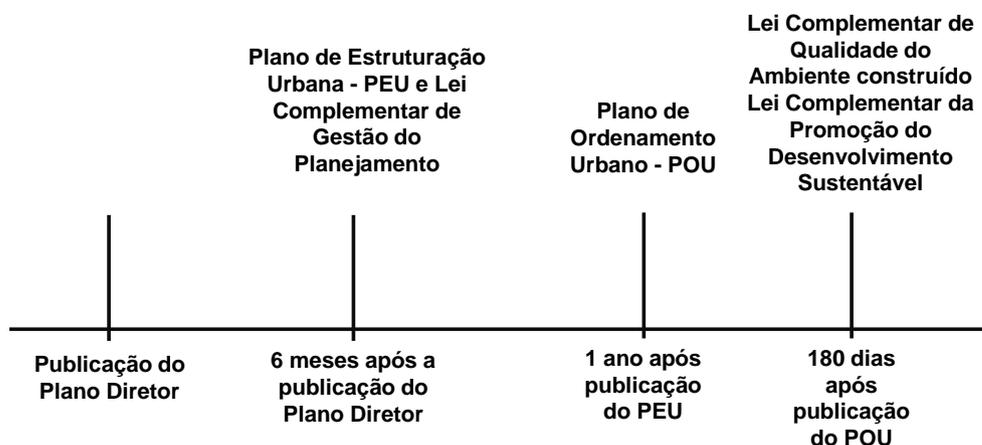
Rezende e Ultramari (2007) evidenciam que a administração pública que compete ao município necessita ser efetiva por meio do papel dos gestores, que trabalham com a finalidade de remodelar e atuar através de instrumentos técnicos de planejamento e gestão. Diante do contexto, a elaboração de um plano diretor municipal pode ser compreendida como um instrumento de gestão, que deve ser combinada com leis de ordem superior, onde cita-se a Constituição Federal, a Lei de Responsabilidade Fiscal e o Estatuto da Cidade.

A urbanização acelerada no Brasil, evidenciada a partir da década de 1950, provocou uma conjuntura urbana que induziu à intensificação da influência direta do poder governamental na área urbana, referente a planos mais abrangentes, o que proporcionou obter diversos instrumentos governamentais de intervenção em áreas. A elaboração de planos

diretores, por meio do movimento de mudança sócio-espacial urbana, ganhou importância, no final dos anos de 1970 e durante os anos de 1980. A importância desses planos diretores é técnica e apresenta a expectativa de controlar as alterações do espaço urbano, ou seja, o plano busca o ordenamento físico-espacial que envolve toda a área urbana e o conjunto das atividades da população. Diante disto, a reorganização do espaço urbano necessita ser traçada nos princípios de uma ordem lógico-ideal guiada no pressuposto positivista-cientificista (ANTONELLO, 2013).

A Lei Complementar nº 261/2008, que instituiu o Plano Diretor, estabeleceu os marcos, indicados na Figura 10.

Figura 10 - Marcos da Lei Complementar nº 261/2008.



Fonte: Adaptado de Müller (2011).

2.9 Cartografia e Mapeamento Geotécnico

Com o crescimento desordenado das cidades e as ações antropogênicas que alteram o meio ambiente, pode-se ressaltar que trazem consigo impactos negativos de natureza física e socioeconômica. Diante disto, o desenvolvimento sustentável está cada vez mais sendo procurado pelos municípios, assim, foram criados os instrumentos de planejamento e gestão de políticas públicas e um destes instrumentos que amparam o planejamento é o mapeamento geotécnico.

A representação cartográfica de um determinado espaço é uma etapa instrumental executada em várias vertentes do planejamento territorial. Deve-se considerar que o tipo de informação fornecida por esses documentos cartográficos permite apoiar a fase de diagnóstico

de um ou mais tipos de planejamento como o urbano, o turístico, o rural, entre outros (CONCEIÇÃO; COSTA, 2010).

A definição da cartografia geoambiental ou geotécnica baseia-se na elaboração de mapas ou cartas que abordem os problemas geoambientais ou geotécnicos, comumente causados por um desequilíbrio do meio físico ou geoambiente. Estes problemas estão relacionados a ações que atuam diretamente no meio físico, que no Brasil se tratam de fenômenos como a erosão, o escorregamento, o assoreamento, as enchentes, as inundações e a circulação de águas, associados ou não à ocupação antrópica (FIORI, 2004).

A conscientização dos planejadores e o emprego crescente das informações do meio físico induziram à necessidade de procurar a sistematização, visando desenvolver metodologias que norteassem a obtenção, manipulação e apresentação destas informações. Os efeitos dos mapeamentos geotécnicos passaram a ter grande importância nos estudos do meio físico, com a finalidade de reunir, interpretar e apresentar as informações geológico-geotécnicas de maneira acessível aos profissionais não familiarizados com a área (PEJON, 1992).

As pesquisas que contemplam os componentes do meio físico podem atender a variados objetivos, com base em várias associações de procedimentos e métodos. No entanto, o mapeamento geotécnico distingue-se como um processo proposto à investigação e avaliação geológica-geotécnica, sendo assim, não está interligado a uma finalidade isolada, o que necessita de um conjunto de atributos ligados a um fim específico (BOURSCHEID, 2013).

Compreender as características do meio físico é de grande importância na análise e avaliação da implantação das obras de engenharia, inclusive no planejamento territorial e na exploração dos recursos naturais, pois isso possibilita obter o entendimento prévio das limitações e das potencialidades de um determinado local (ROQUE, 2006).

Os atributos geotécnicos são empregados em distintas etapas do processo de mapeamento e, portanto, determinam que este não necessita de interpretações específicas de cada profissional. Para Bourscheid (2013), o mapeamento pode ser compreendido como o processo que visa avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, além dos prováveis comportamentos de acordo com as diferentes formas de uso do solo, processos naturais e até induzidos, destacando a finalidade de avaliar limitações e potencialidades.

Buscando a compilação de informações, as bases de dados tornam-se imprescindíveis quando se avalia um enorme volume de informação, principalmente em grandes áreas, para a realização de cartas geotécnicas. As cartas geotécnicas municipais auxiliam para o crescimento e a gestão adequada do território, bem como, fornecem informação geotécnica orientativa para as empresas que trabalham neste campo. Os dados geotécnicos geralmente são originários de relatórios dos trabalhos de prospecção geotécnicos de empresas que trabalham com essa especialidade, pois apresentam informações sob a forma gráfica, em tabelas e memorial descritivo. Considera-se um grande número de informação, contendo parâmetros e critérios de classificação que muitas das vezes não são objetivos e uniformes. Deste modo, a elaboração de uma base de dados inclui a uniformizar e categorizar a informação geotécnica (PINHO, 2010).

Nos países desenvolvidos como França, Estados Unidos, Austrália e Canadá, a realização do mapeamento geotécnico é considerada como um dos processos essenciais para realização de análise que envolve as condições do meio físico, cujo papel é dar subsídios aos planejadores e órgãos ligados ao planejamento e a fiscalização no ordenamento do uso e ocupação do meio físico, em nível local, regional ou territorial (ANDRADE, 2005).

De acordo com Coelho (1980) apud Maciel Filho (1994) as primeiras experiências de se realizar uma representação cartográfica em geotecnia, podem ter surgido em 1913, na Exposição Técnica de Leipzig, em forma de plantas anexas aos planos de construção de algumas cidades alemãs, demonstrando as características das fundações. Inclusive até a década de 1950 foram elaboradas outras cartas, todas apresentando como preocupação quase específica as condições de fundações para edifícios.

Para Costa e Nishiyama (2011) o mapeamento geotécnico contribui de várias formas e com diferentes finalidades, as quais pode-se citar: a produção de documentos voltados à disposição de resíduos (domésticos, hospitalares, e industriais); à escavabilidade de terrenos; as estocagens subterrâneas; as fundações; à extração de materiais para construção civil; as obras viárias; à vulnerabilidade das águas subterrâneas, as áreas passíveis de crescimento urbano e planejamento em diversas escalas, de um modo geral ou específico.

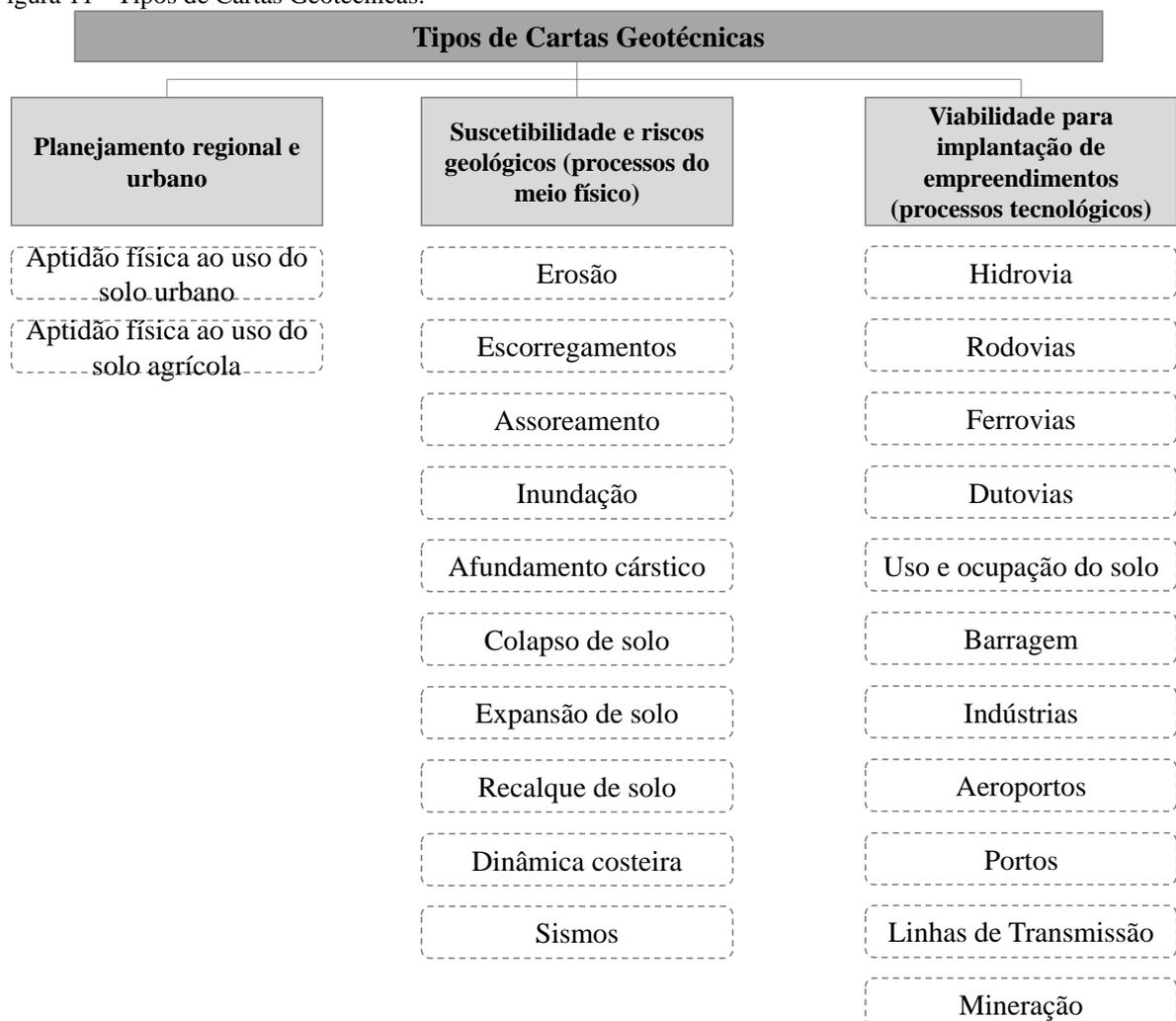
Segundo Rodrigues e Augusto Filho (2009) a cartografia geotécnica fornece informações ao planejamento urbano e regional definindo o melhor uso e ocupação possível ao local de estudo o que ressalta uma das suas grandes utilidades, além de promover a

sustentabilidade ambiental, adaptando as atividades antrópicas ao meio físico com os menores danos possíveis.

Pode-se considerar que a cartografia geotécnica tem se apresentado como uma importante ferramenta na avaliação de potencialidades e de limitações do meio físico, possibilitando a obtenção de informações para o planejamento urbano e regional, além de ressaltar que a tecnologia de geoprocessamento colaborou para o aprimoramento e a confecção de documentos complexos e confiáveis, proporcionando manipular um grande volume de dados (FRANCO et al., 2010).

De acordo com Diniz (1998) as cartas geotécnicas são classificadas em três tipos gerais, sendo para: aplicação em ordenamento territorial; avaliação de processos do meio físico; estudos de implantação de empreendimentos. A Figura 11 apresenta os tipos de Cartas Geotécnicas, que podem ser elaboradas para diversos fins.

Figura 11 - Tipos de Cartas Geotécnicas.



Fonte: Adaptado de Diniz (1998).

A Tabela 12 apresenta estudos realizados em diferentes regiões do país, abordando diferentes metodologias a fim de tentar minimizar ou extinguir a ocorrência das inundações utilizando das técnicas e dos recursos oferecidos pela cartografia e pelo mapeamento geotécnico.

Tabela 12 - Estudos de inundação realizados utilizando de técnicas e recursos da cartografia e mapeamento geotécnico.

Autores	Ano	Localização	Descrição do estudo
<i>Aimon et al.</i>	2015	Uruguaiana - RS	Foi elaborado o mapeamento da área de inundação ocorrida no mês de Julho de 2014, empregando técnicas de Classificação Digital de Imagens.
<i>Alves et al.</i>	2016	Manaus - AM	Foi realizado com base em levantamentos bibliográficos, cartográficos, climatológicos e de campo. O levantamento cartográfico e de campo permitiu o diagnóstico do uso e ocupação do solo e a identificação das áreas suscetíveis a inundações. Com o uso de imagens de satélite e do SIG foi feita a caracterização morfométrica da área. Outro levantamento realizado foi o do número de ocorrências de inundações na área da bacia, bem como o levantamento de dados pluviométricos.
<i>Andrade; Silva</i>	2015	Guaratinguetá - SP	O trabalho foi realizado por meio das seguintes etapas: levantamento de dados e inventário de eventos; definição de áreas-alvo; trabalhos de campo; análise, setorização e modelagem numérica de perigo, de vulnerabilidade e de risco; produção cartográfica e recomendações técnicas.
<i>Benso et al.</i>	2015	O Rio do Mel afluente do Rio Uruguai	Foi realizada uma análise na série histórica de inundações em Iraí-RS e comparou-as com os níveis do Rio Uruguai no período de 1950 a 2014, além disso, foram calculadas a frequência e o tempo de retorno das inundações.
<i>Brubacher et al.</i>	2015	Encantado - RS	Analisou a relação entre a morfologia nas sub-bacias da Bacia hidrográfica de Taquari-Antas e a suscetibilidade a inundações na cidade de Encantado.
<i>Chaves; Peixoto Filho</i>	2015	Região Administrativa Fercal	Realizou o cruzamento espacial das informações das camadas de altimetria e declividade, com a finalidade de analisar os locais mais suscetíveis à inundação.
<i>Fernandes; Prina</i>	2015	São Gabriel - RS	Foram modeladas diferentes bases altimétricas com variados padrões clinográficos, com a finalidade de verificar os resultados pertinentes a suscetibilidade à inundação.
<i>Ferreira; Santos</i>	2016	Ferreira Gomes - AP	Elaborou quatro mapas do perímetro urbano de Ferreira Gomes, referentes à localização, curvas de nível do terreno, MDE e modelagem das áreas com níveis de suscetibilidade à inundação.
<i>Lamberty; Kepel Filho; Noronha</i>	2015	Porto Alegre - RS	Elaborou a carta de risco através da soma das cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e à inundação e da carta de vulnerabilidade em matriz 3 x 4.

Tabela 12 - Estudos de inundação realizados utilizando de técnicas e recursos da cartografia e mapeamento geotécnico (continuação).

Autores	Ano	Localização	Descrição do estudo
<i>Morais et al.</i>	2016	Marialva - PR	Avaliação se as inundações restringem-se à APP em um trecho do ribeirão Pinguim, situado em uma zona de expansão urbana do município de Marialva. Essas avaliações foram feitas com base em levantamentos cartográficos, seções topo-batimétricas e estimativas de vazões.
<i>Nogueira; Machado</i>	2015	Santarém - PA	Geração da Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações por meio da modelagem espacial onde considerou parâmetros morfométricos de altura, declividade e curvatura dos terrenos, em conjunto com as informações referentes aos distintos compartimentos de relevo incluindo as características geológicas e pedológicas e a validação <i>in loco</i> .
<i>Paulino; Goerl</i>	2015	Joinville -SC	Foi elaborado o mapa de perigo de inundação com base nos fatores determinantes que afetam diretamente o nível da água alcançado por uma inundação, que independente da precipitação incidente. Tais fatores são: declividade, altitude e uso do solo.
<i>Pinto et al.</i>	2016	Região noroeste do município de Juiz de Fora - MG	Avaliou a suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo (BHRES) através da caracterização morfométrica utilizando-se duas, três e cinco classes de vulnerabilidade. A bacia foi subdividida considerando dois níveis de detalhamento: menos detalhado, foram geradas três sub-bacias e no segundo, mais detalhado, foram geradas 65 sub-bacias. Os resultados foram comparados utilizando-se as técnicas de agrupamento “K-means e Fuzzy C-means”.
<i>Prina; Trentin</i>	2016	Jaguari - RS	Realizou o mapeamento detalhado das áreas suscetíveis à inundação no município de Jaguari/RS. Para uma análise precisa e acurada da área de estudo, foi gerado um Modelo Digital do Terreno (MDT), com base nos dados obtidos por fotogrametria e coletados com receptor de sinal GNSS.
<i>Santos; Vitte</i>	2016	Anápolis - GO	Demonstrou como as características do relevo contribuem para a ocorrência de inundações em Anápolis.
<i>Simões; Conceição; Vasconcelos</i>	2015	Oriximiná-PA	Analizou a contribuição da classificação do relevo para a elaboração da Carta de Suscetibilidade à inundação no município de Oriximiná-PA, pois a Carta de Padrões de Relevo além de ser usada para confirmar o mapeamento de suscetibilidade a inundação e movimentos de massa no trabalho de campo, foi também um dos dados para a produção da modelagem de inundação.
<i>Souza et al.</i>	2015	42% da área do município de São Desidério -BA	Foi realizado uma análise morfométrica do Rio Fêmeas, utilizando os métodos de SIG, a fim de caracterizar a área quanto a suscetibilidade à inundação.

2.10 Geotecnologias aplicadas ao mapeamento geotécnico

A utilização de geotecnologias para avaliação temporal de intervenção dos processos urbanos em variáveis ambientais, modificadas pela remoção da cobertura vegetal e uso desordenado do solo, auxilia na tomada de decisão nos âmbitos de planejamento e gestão ambiental urbana (TUCCI, 1997).

As geotecnologias também denominadas de geoprocessamento, são compreendidas como um conjunto de tecnologias que visam coletar, processar, analisar e ofertar informações com referência geográfica. As mesmas são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que em conjunto instituem ferramentas para a tomada de decisões. Em meio as geotecnologias pode-se ressaltar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (ROSA, 2005).

Visando obter o melhor aproveitamento das geotecnologias, se faz necessário conseguir boas fontes de dados, e o conhecimento do problema a ser estudado, de maneira a idealizar análises que estabeleçam resultados mais expressivos. Ao mesmo tempo, é essencial ter um conhecimento em informática, sensoriamento remoto, geomática e geografia (MENDONÇA et al., 2011).

As técnicas da geotecnologia podem colaborar na criação de produtos para fins de planejamentos regionais, abrangendo pesquisadores de várias especialidades do conhecimento, em uma perspectiva interligada, agrupando dados físicos a dados socioeconômicos dos municípios de uma determinada região. Ressalta-se que o resultado de um estudo que utiliza destas técnicas, possibilita que programas de desenvolvimento sejam constituídos para toda a região, de forma harmônica, atendendo as necessidades dos municípios e sua vulnerabilidade com relação ao meio ambiente físico (AQUINO; VALLADARES, 2013).

De acordo com Gomes e Vestena (2013) a vantagem da geotecnologia está em proporcionar um grupo de ferramentas, especialmente o Sistema de Informação Geográfica, que permite a relação de dados de naturezas e escalas diversas, além de apresentar, dentre a sua série de potencialidades, ferramentas para a elaboração de cartas temáticas, o tratamento e a estimação de dados.

2.10.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto possibilita obter o monitoramento da superfície terrestre, permitindo que se possa fiscalizar a execução das leis, a fim de que o planejamento não seja conhecido por um acúmulo de papéis que não apresentam função prática. As informações de sensoriamento remoto, implantados nos Sistemas de Informação Geográfica, se destacam por ser de grande importância no diagnóstico do meio urbano, essencialmente porque associam e especializam os diversos tipos de dados, permitindo realizar avaliações de inúmeras abordagens, através de bancos de dados georreferenciados que permitem ser frequentemente atualizados. O desenvolvimento tecnológico relacionado aos produtos de sensoriamento remoto, considerando a resolução espectral como espacial, sendo esta última de essencial importância para delimitação da área urbana, tem acrescentado a precisão dos dados adquiridos sobre o fenômeno urbano (DURAND et al., 2007).

Desde 1972 o lançamento do primeiro satélite de sensoriamento remoto alterou consideravelmente os estudos referentes aos recursos naturais, assim permitiu novas perspectivas às análises ambientais (AQUINO; VALLADARES, 2013).

De acordo com os autores Hoff, Leite e Zouain (2010), as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são essenciais para a interligação de dados de mapeamento geológico-geotécnico a fim de gerenciamento e planejamento regional.

Rosa (2005) destaca que os métodos necessários para a produção de mapas, bem como para atualização da cartografia evoluíram gradativamente com o aparecimento de outros processos tecnológicos, especialmente na área da informática, considerando o mapeamento digital, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), tratamento digital de imagens e Sistemas de Informação Geográfica. Diante desta prerrogativa, é de indubitável importância o sensoriamento remoto para a cartografia.

O sensoriamento remoto permite obter uma visão ampla da cidade e dos processos que provocam alterações e que atingem o meio ambiente e em consequência, os impactos que prejudicam a qualidade de vida urbanística, provendo informações para facilitar a tomada de decisão no planejamento urbano.

2.10.2 Sistemas de Informações Geográficas

O conceito de geoprocessamento é compreendido como a área do conhecimento que usa processamentos matemáticos e computacionais para a manipulação da informação geográfica e que vem se tornando reconhecida nas áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, denominadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), proporcionam a elaboração de análises complexas, ao integrar dados de várias fontes, e, além disto, é possível criar bancos de dados georreferenciados, permitindo automatizar a geração de documentos cartográficos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Para Takeda et al. (2013) o SIG permite a obtenção de informações de várias fontes, manipulando e combinando dados, efetuando variados tipos de avaliações de maneira simples e eficiente, além de proporcionar economia de custos e tempo, mostra-se como um instrumento eficaz para diversos estudos inclusive o de bacias hidrográficas.

De acordo com Rodríguez (2005) os SIG's apareceram nos anos 60 por meio de um grupo de pesquisadores canadenses atrelados ao governo com finalidade de gerenciar informações referentes aos recursos naturais e ambientais.

Para Matias (2001) o aparecimento e o desenvolvimento do SIG, sucedido em países do capitalismo central no período da segunda metade dos anos 60, iniciado pelo Canadá e logo pelos Estados Unidos da América e Europa, permite conferir os avanços alcançados na área da informática, o que é entendido pela necessidade da sociedade buscar novas tecnologias gradativamente reforçadas e eficientes visando o tratamento e avaliação da progressiva complexidade geográfica encontrada atualmente.

Na década de 1970, a cartografia geotécnica passou a ser adotada no Brasil, sendo firmada a partir de 1980, através do desenvolvimento de metodologias com os diversos objetivos, finalidades e escalas de trabalho, sendo praticada por instituições de pesquisa e universidades. O avanço tecnológico do processamento eletrônico para dados cartográficos se desenvolveu propiciando a criação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) no qual é permitido capturar, gerenciar, manipular e analisar um conjunto de dados de distintas fontes, promovendo agilidade nas análises e na criação de produtos derivados, sendo aplicados de forma diversificada como no planejamento ambiental e urbano, gestão e ordenamento

territorial, estudos de processos geodinâmicos, zoneamentos ambientais, entre outros (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

De acordo com Pina e Santos (2000) um projeto de SIG pode ser dividido nas etapas de implementação como é demonstrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Etapas de implementação adotadas em um projeto de SIG.

Etapas de implementação	Descrição
<i>Especificação do Problema</i>	Definição clara de quais problemas se espera solucionar com o SIG, os motivos do desenvolvimento e que tipo de informações precisam ser geradas através do Sistema.
<i>Definição das Bases de Dados</i>	Listar o tipo de dado necessário para atender aos objetivos expostos e as formas de obtenção dos mesmos.
<i>Especificação do Sistema</i>	Definição de qual equipamento e quais programas necessários para atingir os objetivos.
<i>Aquisição do Sistema e início da Implementação</i>	Com a obtenção e a instalação do Sistema, a equipe técnica começa a gerar as bases de dados e assim iniciam-se os procedimentos de desenvolvimento do SIG.
<i>Aquisição de Dados</i>	A geração das bases de dados é considerada a etapa mais onerosa do processo de implementação, assim necessita de atenção especial para assegurar a qualidade da coleta de dados.
<i>Pré-processamento dos Dados</i>	Precisa ser realizado um pré-processamento nos dados provindos de várias fontes, com escalas e sistemas de projeção diferentes, a fim de torná-los compatíveis.
<i>Análise dos Dados</i>	Posterior, a compatibilização dos dados é admissível realizar as análises, que por meio das mesmas os dados se transformam em informações úteis.
<i>Gerenciamento dos Dados</i>	É essencial a organização e a atualização das bases já existentes e a inclusão de novas bases e metodologias.
<i>Saídas Gráficas</i>	Divulgação das informações obtidas por meio de várias maneiras de apresentação como: mapas, relatórios, tabelas, etc.
<i>Avaliação dos Erros</i>	Verificação dos resultados, para se ter a certeza que os mesmos fazem sentido. Visto que o computador realiza as tarefas, porém a análise crítica dos resultados depende da equipe técnica.
<i>Fase Operacional</i>	Considera esta fase quando os usuários finais estão usando efetivamente o Sistema.
<i>Tomada de Decisões</i>	Com o cumprimento de todas as etapas anteriores, pode-se considerar que a informação originada torna-se um fundamental instrumento de auxílio à tomada de decisão.

Fonte: Adaptado de Pina e Santos (2000).

Na cartografia geotécnica, os SIGs integram informações gráficas georreferenciadas que representam o território físico como cartas, plantas, mapas com os dados alfanuméricos

que compõem a base de dados, como as caracterizações numéricas ou descritivas dos atributos. Esta associação ou sobreposição de informação possibilita realizar a geração de mapas, modelar e projetar, bem como avaliar a realidade do meio de uma maneira rápida e eficiente, considerando uma grande quantidade de dados (PINHO, 2010).

Os SIG's apresentam mecanismos para combinação de muitas informações por meio de algoritmos de manipulação e análise, para consulta, recuperação e visualização de conteúdos de Bases de Dados Geográficos, através dele os fundamentos teóricos, conceituais e práticos se mesclam às experiências dos projetistas, expressando à razão em base matemática na forma de mapas que retratam as diversas variáveis verificadas em muitas questões ambientais (GOLUBEFF, 2012).

De acordo com Rosa (2005), Aquino e Valladares (2013) existem softwares disponíveis e de fácil acesso para a realização de estudos em várias áreas, assim citam-se os SIG's: ArcView GIS, Autodesk Map, Envi, Grass, Saga, Idrisi, Mapinfo, Spring, GVSIG, TerraView, Kosmo, Quantum GIS.

Os estudos utilizando o SIG podem considerar que o conjunto de dados seja concentrado em um único projeto referente a uma área de abrangência, visto que esta é georreferenciada. No entanto, o projeto é desmembrado em planos de informação, relacionados com a natureza da informação da qual são representantes. Exemplifica-se, que um determinado projeto pode desenvolver-se por meio de planos de informações, como a cobertura e uso do solo, a declividade, a geologia, entre outros (HOFF, 1996). Tais planos de informação podem ser caracterizados entre as seguintes categorias:

- temática, contendo informações planialtimétricas, de origem bidimensional, sendo agrupados em temas ou classes, como drenagem, geologia, cobertura e uso do solo;
- Modelo Numérico do Terreno (MNT), havendo informações tridimensionais, como curvas de nível, dados geoquímicos, etc;
- imagem, contendo informações temáticas, como imagens de satélite, e fotografias aéreas.

Conforme Souza (2011), os SIG's são muito utilizados por profissionais de diversas áreas do conhecimento: marketing, planejamento urbano, ecologia, saúde pública, geografia, transporte, etc. O seu desempenho depende basicamente de dois elementos principais: a base cartográfica que é formada por arquivos vetoriais compreendidos como pontos, linhas e

polígonos e a segunda, por dados alfanuméricos, contidos em planilhas eletrônicas. O estabelecimento de relações entre os atributos espaciais contidos em banco de dados alfanuméricos (tabelas) e as feições topológicas (base cartográfica - mapas) corresponde a sua principal característica. Outro fator importante e essencial é o fato de os dados serem armazenados em formato digital o que facilita também a atualização dos mesmos.

Um SIG em nível intermediário deve apresentar mecanismos de processamento de dados espaciais como entrada, edição, análise, visualização e saída. Em nível mais interno, o sistema gerencia bancos de dados geográficos e proporciona armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. Numa visão geral, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes que se relacionam de forma hierárquica em um banco de dados geográficos: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de consulta e análise espacial; visualização e plotagem; armazenamento e recuperação de dados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Os planejadores urbanos utilizam o SIG tanto como um banco de dados espacial, como instrumento de análise e modelagem. Suas aplicações variam de acordo com as diferentes fases, níveis, setores e funções de planejamento. Com a facilidade de uso e a diminuição acentuada no preço desses softwares, tornou-se um sistema operacional acessível para o planejamento. Conforme Yeh (1999) as principais restrições do uso de SIG no planejamento urbano, não são questões técnicas, mas a disponibilidade de dados, mudança organizacional e pessoal.

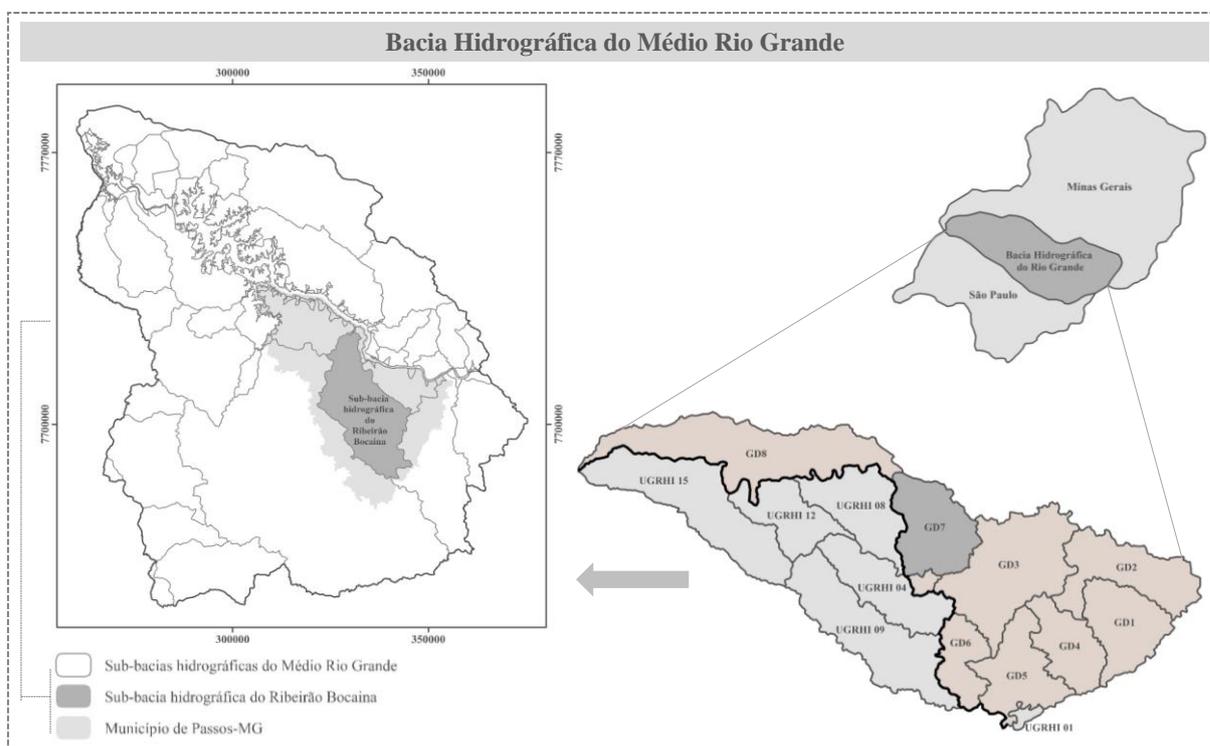
A capacidade de processar grandes quantidades de dados, e permitir integrar várias camadas de informações para obter resultados adicionais, são uma das funcionalidades do SIG.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área estudada neste trabalho é a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, considerada uma das 34 sub-bacias hidrográficas que compõem a Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande, denominada de GD7 (Figura 12). Localiza-se entre as coordenadas UTM 320000 - 3450000mE e 7688000 - 7720000mN, no município de Passos-MG, ocupando 34% da área total do mesmo, com uma área de abrangência de 457,9 km².

Figura 12 - Mapa de localização da área de estudo.



As vias de acesso para a área estudada são as rodovias federais BR-265 e BR-146 e a rodovia estadual MG-050. Na Figura 13 observa-se a localização da área estudada em relação ao município e a cidade de Passos. A distribuição da rede de drenagem na área estudada está apresentada na Figura 14.

Figura 13 - Delimitação do município de Passos-MG e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

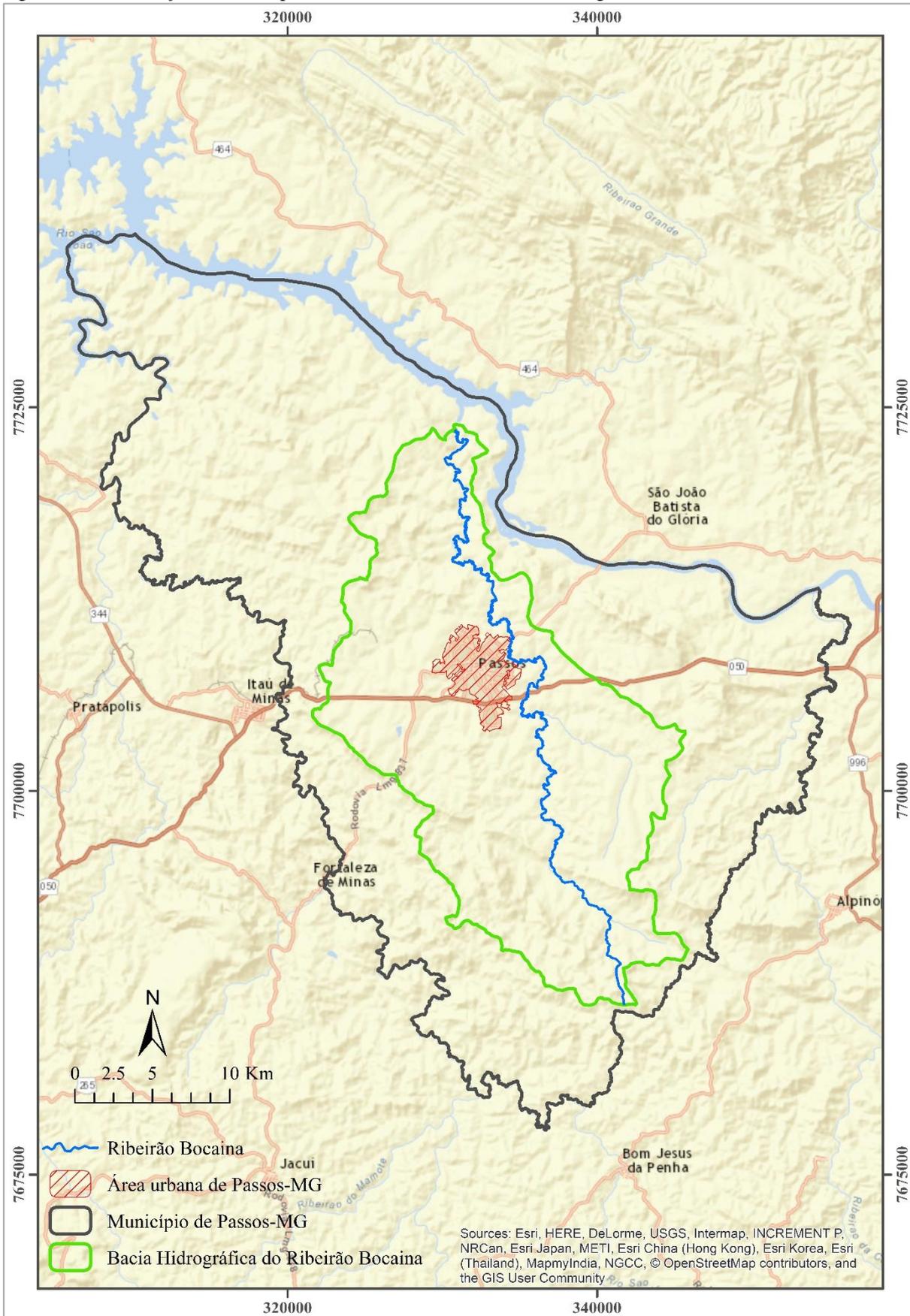
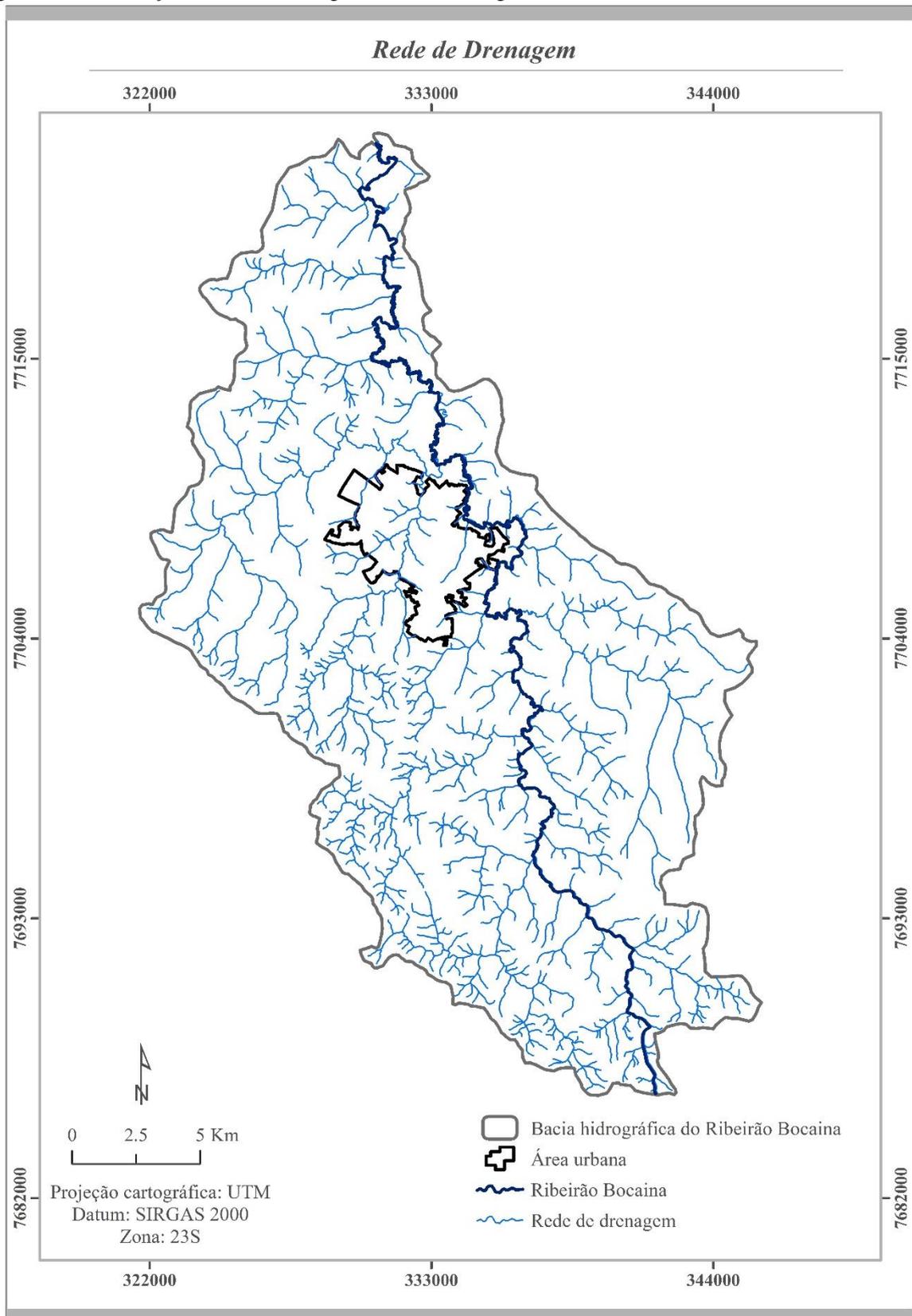


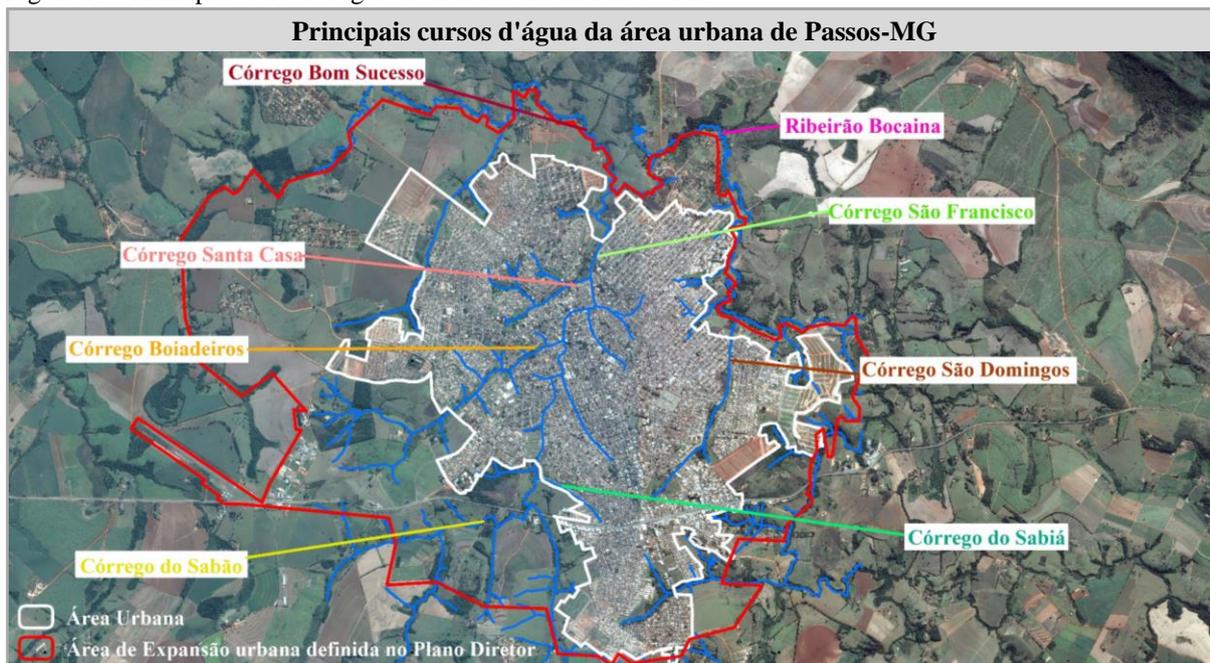
Figura 14 - Distribuição da rede de drenagem na Bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Fonte: Adaptado de Collares, Gomes e Santos (2013).

A área urbana de Passos é banhada por vários córregos, que desembocam em três cursos d'água principais, sendo: Ribeirão Bocaina, e os córregos Bom Sucesso e São Francisco, estes dois últimos confluem no norte da cidade, percorrendo cerca de 1300 m até desembocarem no Ribeirão Bocaina, que deságua no Rio Grande. A Figura 15 apresenta a distribuição dos cursos d'água principais localizados na área urbana de Passos-MG.

Figura 15 - Principais cursos d'água da área urbana de Passos-MG.



O Córrego São Francisco tem um papel fundamental na rede de macrodrenagem da cidade. Ele nasce ao extremo sul do município, na serra da Fortaleza e recebe o nome de córrego do Sabão, percorre a zona rural a montante, estendendo-se pela região urbana, de sul a norte, até encontrar com o córrego Bom Sucesso, na porção norte da área urbana. Seus afluentes mais importantes são os córregos do Parque, do Sabiá, e Boiadeiros. Diante disto, é fácil perceber que este córrego recolhe a maior parte das águas pluviais, que a ele afluem através de talwegues canalizados sob avenidas ou por cursos de água naturais (PINHEIRO et al., 2006).

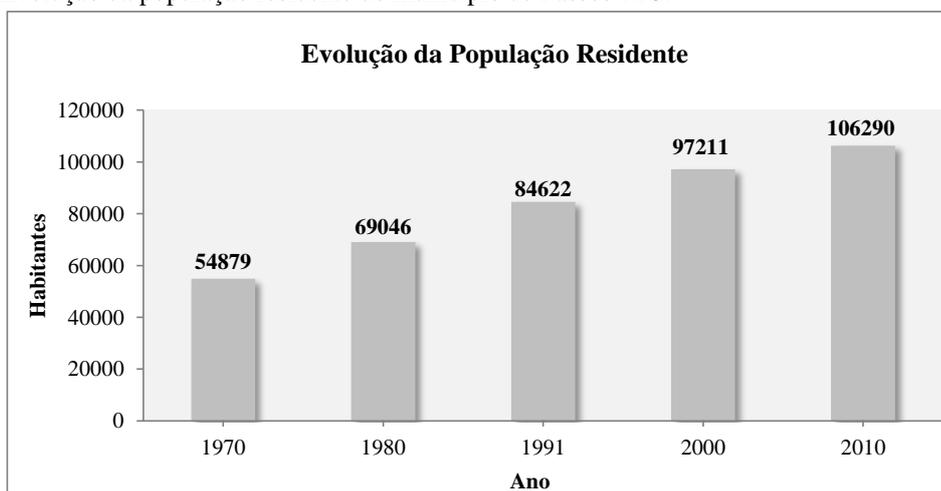
3.2 Socioeconomia

A bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina contempla totalmente a área urbana do município de Passos-MG, com uma população total de 106.290 habitantes, de acordo com o senso do IBGE referente ao ano de 2010. Embora, o município de Passos-MG não se

apresente tão grande, é considerado como a maior cidade da Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande e em consequência, se destaca como polo regional. Segundo dados do Sistema FIRJAN (2016), adotando o ano-base de 2013, o município se destaca com um índice consolidado (educação, saúde, emprego e renda) de 0,778, o que caracteriza o mesmo com um desenvolvimento moderado.

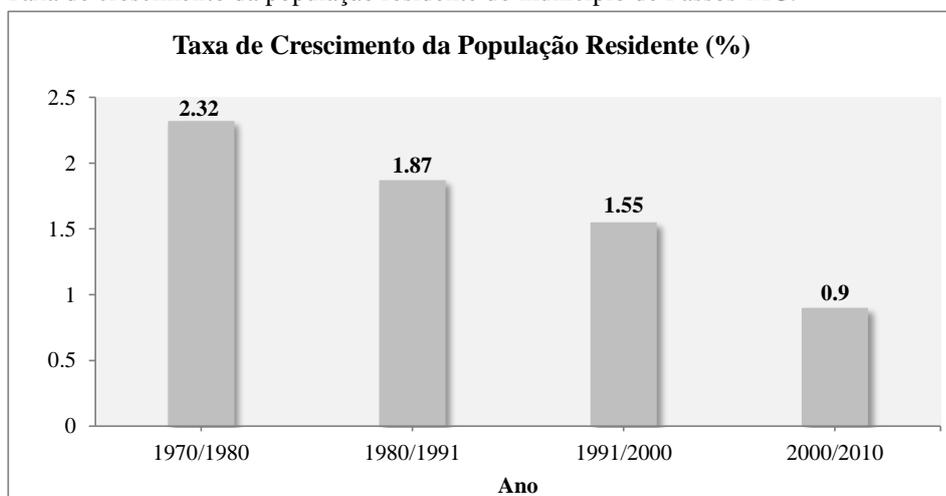
A Figura 16 mostra a evolução da população residente no município, comparando-se os dados no período de 1970 a 2010, no qual se observa que ela quase dobrou neste intervalo de tempo. No entanto, percebe-se que a taxa de crescimento da população residente se mostra decrescente (Figura 17).

Figura 16 - Evolução da população residente do município de Passos-MG.



Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

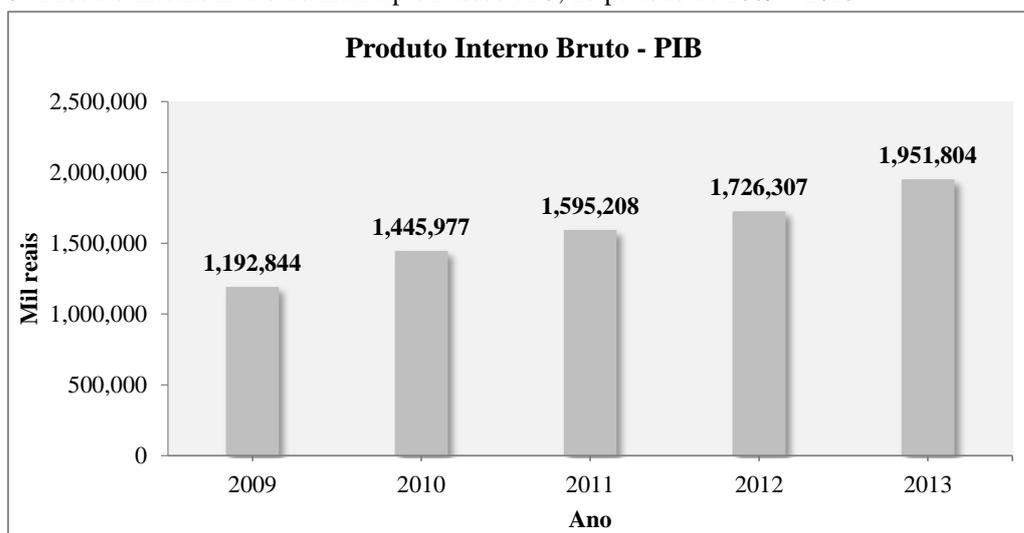
Figura 17 - Taxa de crescimento da população residente do município de Passos-MG.



Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

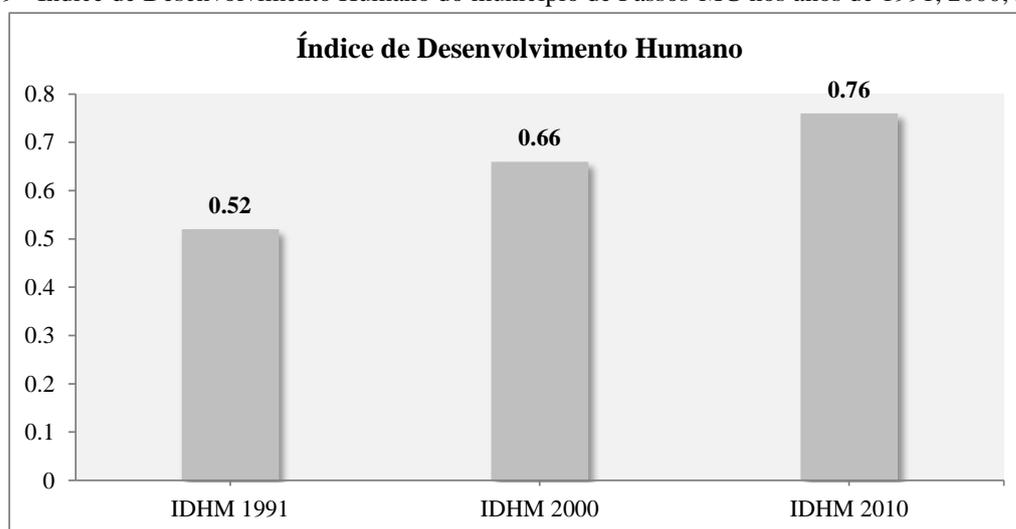
Quanto à economia, o Produto Interno Bruto a preços correntes no ano de 2013 equivaleu a R\$ 1.951.804.000, o que mostra uma evolução quando comparado com o ano de 2009 (Figura 18). A Figura 19 destaca que o Índice de Desenvolvimento Humano de Passos-MG foi crescente nos anos de 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2016).

Figura 18 - Produto Interno Bruto do município Passos-MG, no período de 2009 a 2013.



Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

Figura 19 - Índice de Desenvolvimento Humano do município de Passos-MG nos anos de 1991, 2000, 2010.



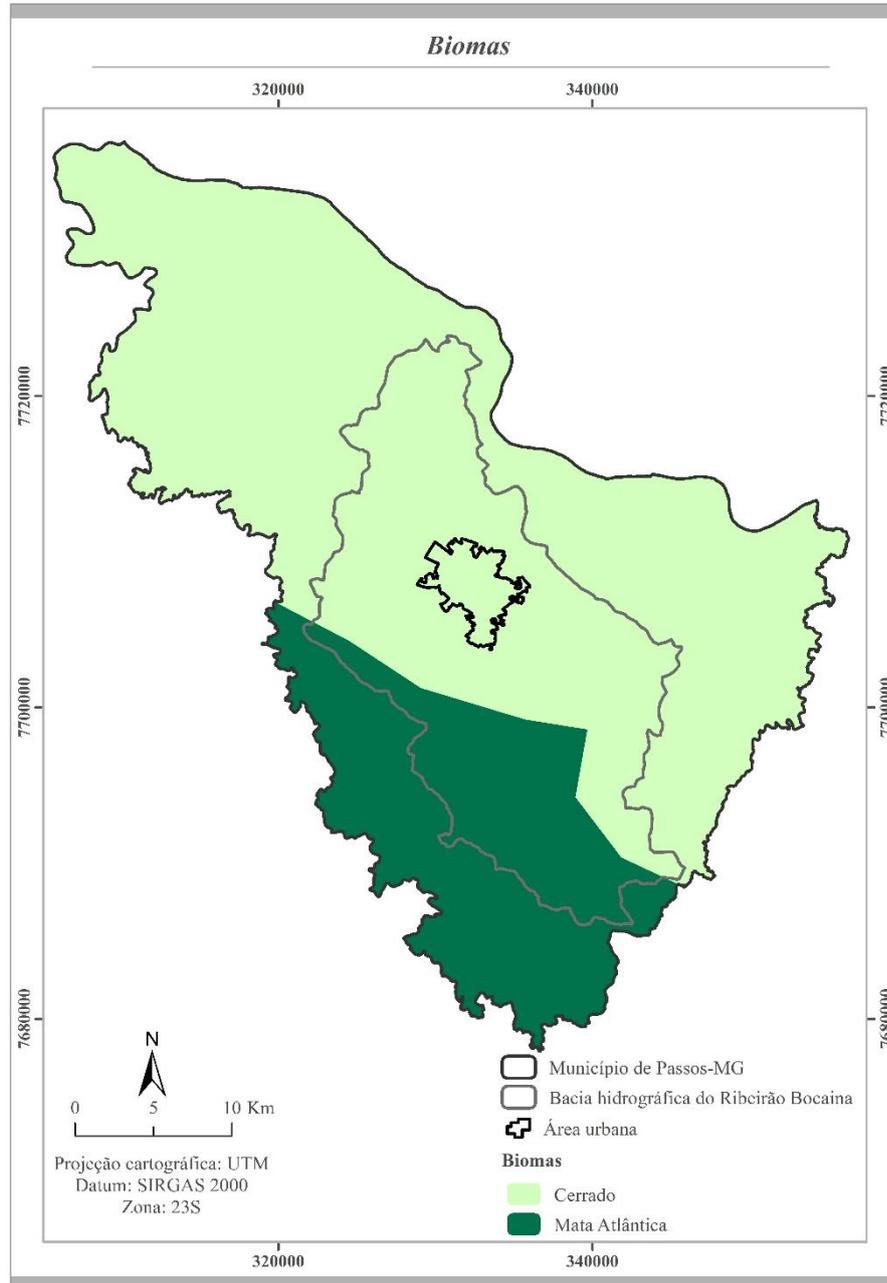
Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

3.3 Clima e vegetação

De acordo com dados do IBGE (2016) a área em estudo é caracterizada pelos biomas Cerrado e Mata Atlântica (Figura 20). Segundo o Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2017) o Cerrado se caracteriza por apresentar as estações seca e chuvosa bem definidas, a vegetação

em si é apresentada por gramíneas, arbustos e árvores. Já a Mata Atlântica evidencia uma vegetação mais densa composta por muitas bromélias, cipós, samambaias, orquídeas e líquens, além disto, ressalta-se que o índice pluviométrico nessas áreas é alto.

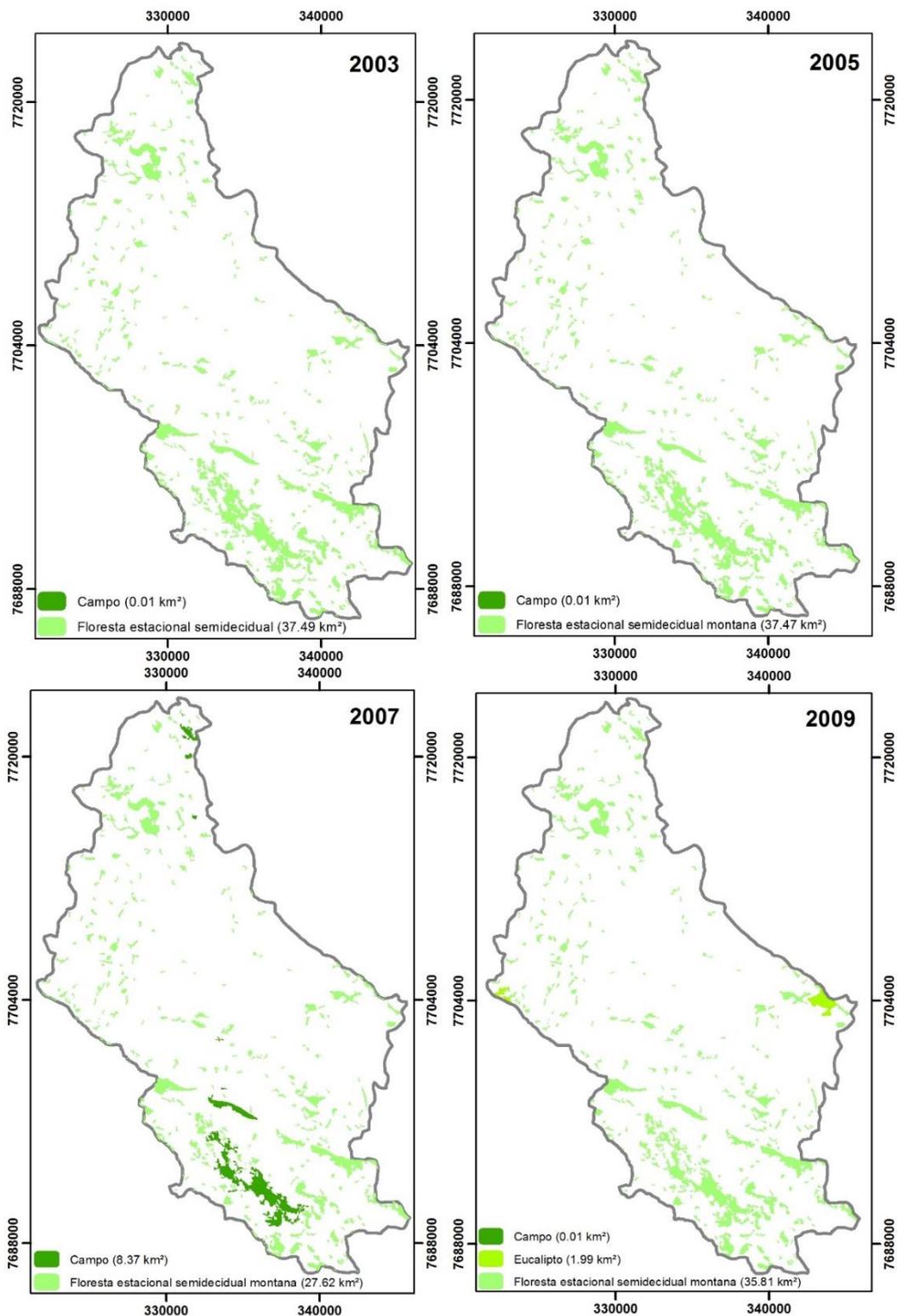
Figura 20 - Mapas de Biomas da área de estudo.



Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

O Sistema digital do Inventário Florestal de Minas Gerais disponibiliza o mapeamento da cobertura florestal nos anos de 2003, 2005, 2007 e 2009, como apresenta a Figura 21. A maior parte da área é composta por floresta estacional semidecidual.

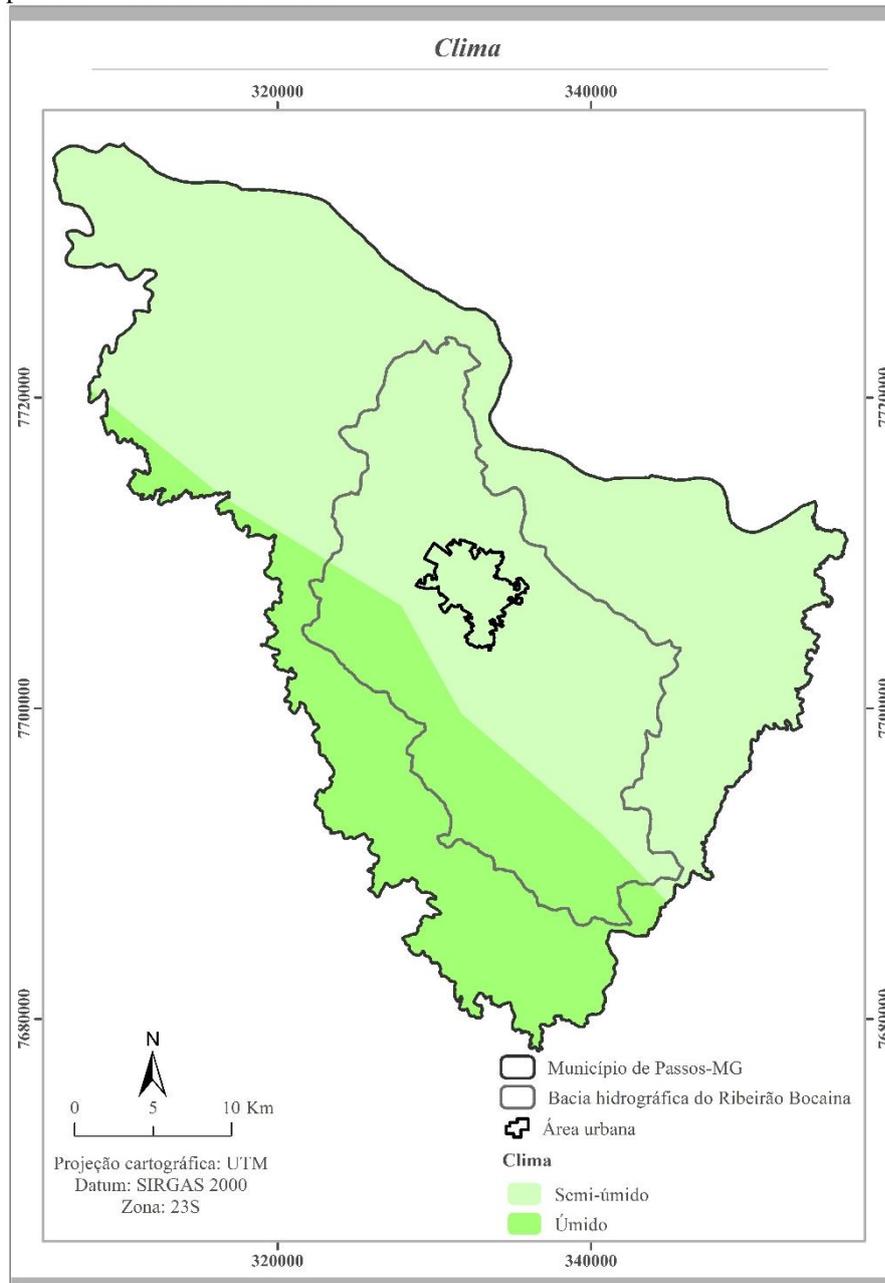
Figura 21 - Vegetação nos anos de 2003, 2005, 2007 e 2009.



Fonte: Adaptado de Inventário Florestal de Minas Gerais (2017).

Segundo dados do IBGE (1978) o clima da região se enquadra como subquente úmido (3 meses secos) e subquente semi-úmido (4 a 5 meses secos). A Figura 22 ilustra o tipo de clima da área estudada.

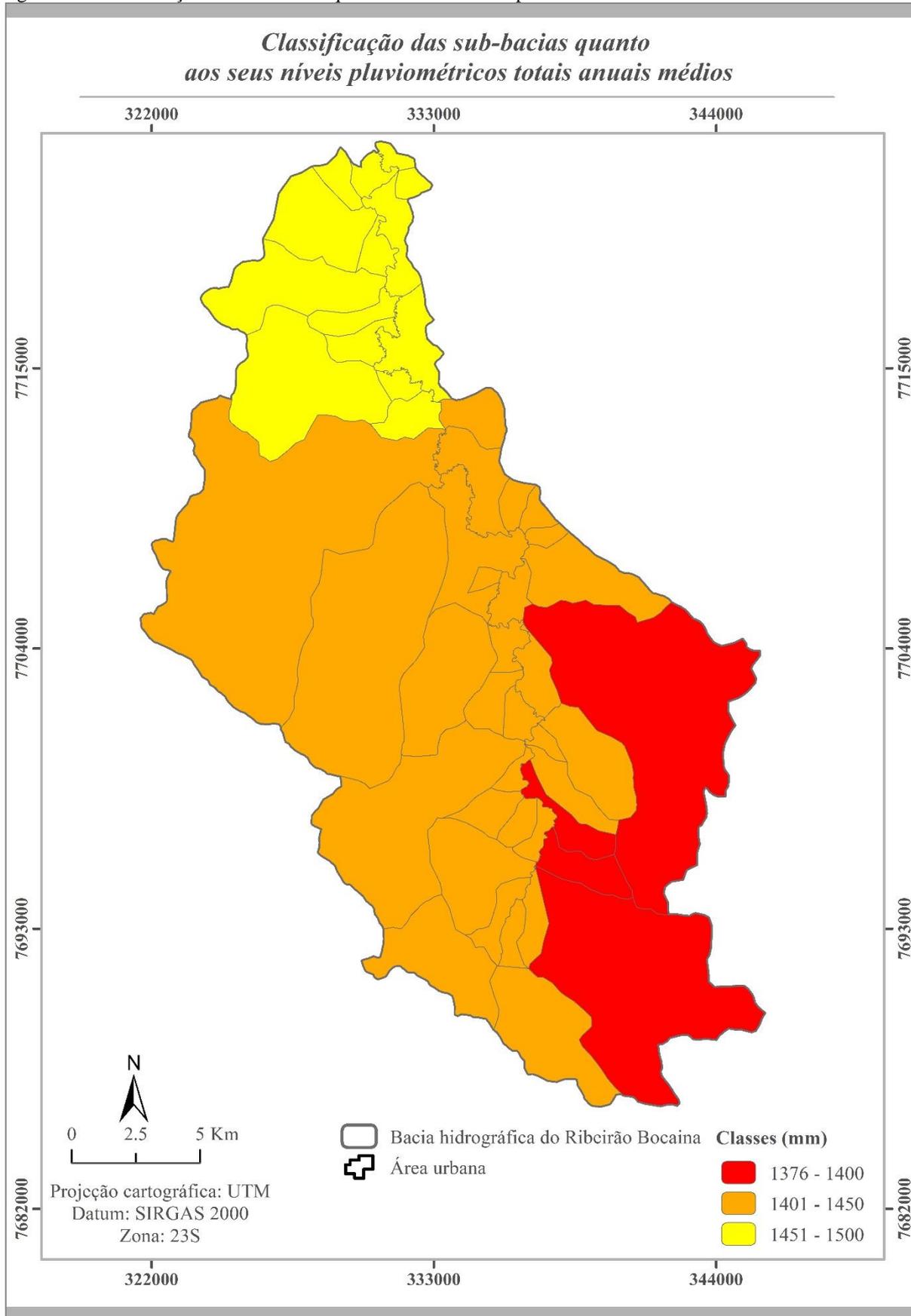
Figura 22 - Mapa do Clima da área de estudo.



Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

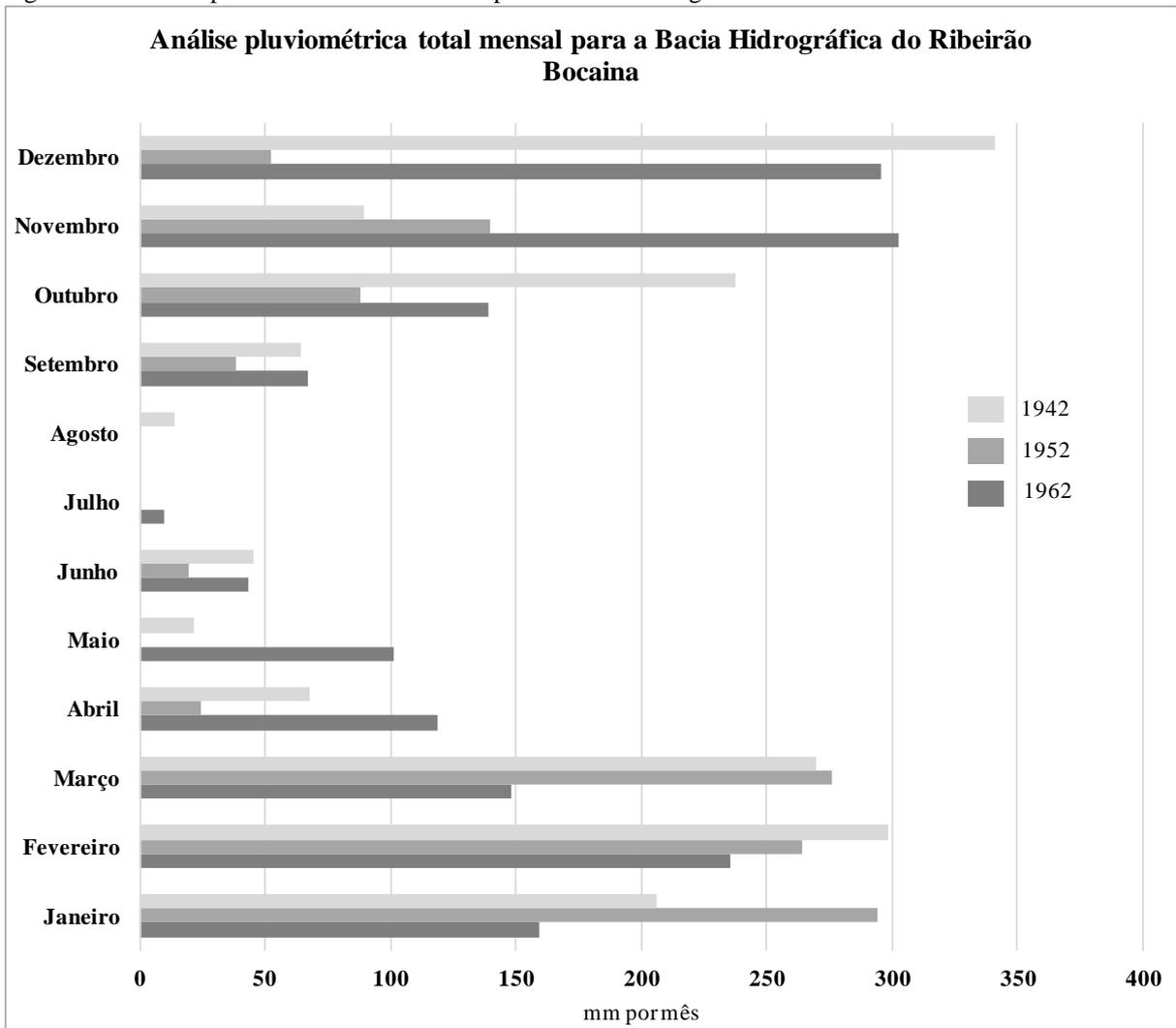
De acordo com Dias et al. (2013) o regime pluviométrico da região apresenta sazonalidade anual com a presença de períodos úmidos e secos bem definidos. O trimestre chuvoso corresponde os meses dezembro, janeiro e fevereiro, o trimestre seco aos meses de junho, julho e agosto. A Figura 23 apresenta a classificação das sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Bocaina, quanto aos seus níveis pluviométricos totais anuais médios que considerou o período de 1980 a 2009, variando de 1376 mm a 1500 mm. A Figura 24 apresenta a análise pluviométrica total mensal registrada pela estação pluviométrica Passos (02046000) no período de 1942, 1952 e 1962.

Figura 23 - Classificação das sub-bacias quanto aos seus níveis pluviométricos totais anuais médios.



Fonte: Adaptado de Dias et al. (2013).

Figura 24 - Análise pluviométrica total mensal para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

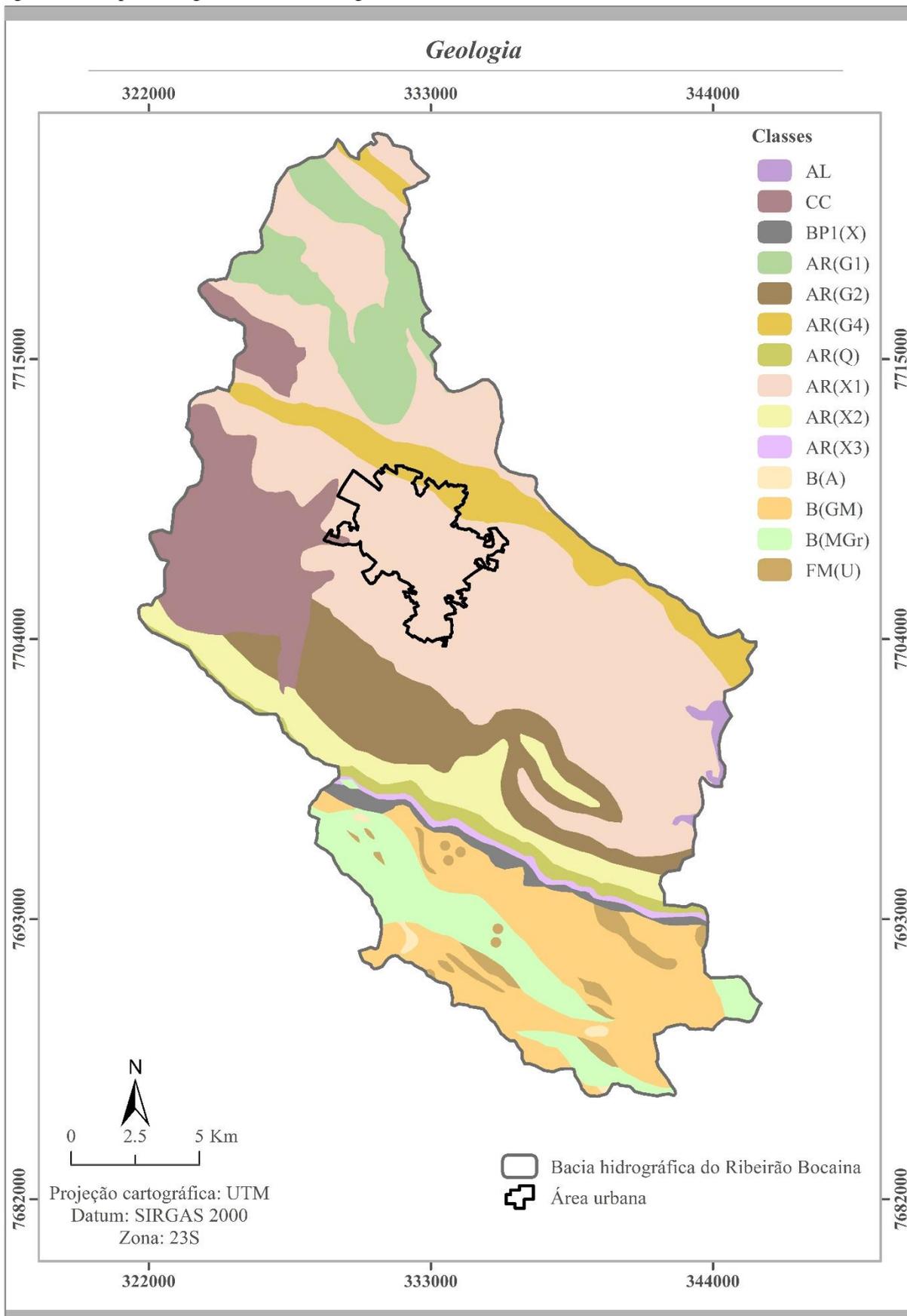


Fonte: Adaptado de ANA (2017).

3.4 Geologia

O mapeamento geológico elaborado por Collares e Gomes (2013), na escala de 1:50.000 (Figura 25), retrata as unidades geológicas bem como as suas litologias descritas na Tabela 14. Como pode ser observado a maior parte da área é composta de rochas metamórficas, com o predomínio de mica-xistos intercalados com gnaisses e quartzitos e secundariamente por rochas ultramáficas e granitoides.

Figura 25 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Fonte: Adaptado de Collares e Gomes (2013).

Tabela 14 - Formações geológicas com as respectivas unidades geológicas presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

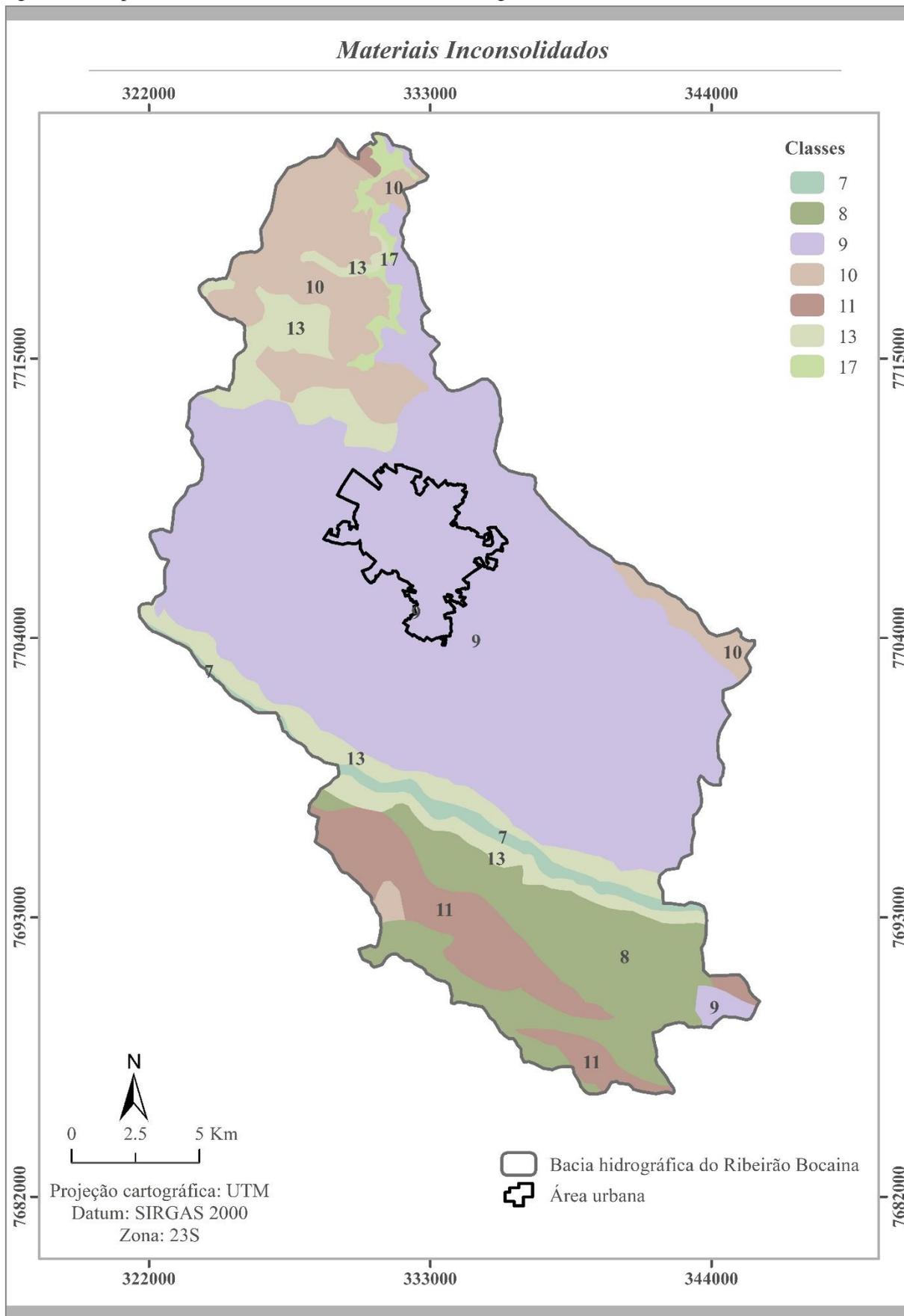
Formações Geológicas	Unidades Geológicas	Código das Unidades Geológicas	Área (km²)	%
<i>Coberturas Aluvionares</i>	Coberturas aluvionares	AL	2,0	0,4
<i>Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas</i>	Coberturas cenozóicas indiferenciadas	CC	48,0	10,5
<i>Grupo Bambuí</i>	Xisto e filito com ocorrência local de gnaiss e mármore	BP1(X)	5,6	1,2
<i>Grupo Araxá</i>	Gnaisses com intercalações de xisto, quartzo-xisto, quartzito e anfibolito	AR(G1)	29,2	6,4
	Mica-xisto com intercalações de quartzo-xisto, quartzito, anfibolito e gnaiss	AR(X1)	174,4	38,1
	Gnaiss migmatítico	AR(G4)	27,8	6,1
	Gnaiss com intercalações de xisto, quartzito e anfibolito	AR(G2)	41,2	9,0
	Mica-xisto com intercalações comuns de quartzito	AR(X2)	27,0	5,9
	Quartzito com intercalações de mica-xisto	AR(Q)	8,4	1,8
	Mica-xisto com ocorrências ocasionais de quartzito e lentes de mármore	AR(X3)	3,5	0,8
<i>Complexo Barbacena e Sequência Greenstone Morro de Ferro</i>	Migmatitos e granitóides gnaissificados, graníticos a granodioríticos, localmente com lentes dioríticas, anfibolíticas e ultramáficas	B(MGr)	29,5	6,5
	Rochas ultramáficas com intercalações de gnaiss e metassedimentos	FM(U)	6,8	1,5
	Anfibolitos e gnaiss dioríticos	B(A)	1,1	0,2
	Gnaiss e migmatitos com intercalações de anfibolitos ultramáficas e metassedimentos	B(GM)	53,4	11,7

Fonte: Adaptado de Collares e Gomes (2013).

3.5 Materiais Inconsolidados

De acordo com Magri et al. (2013), os materiais inconsolidados presentes na área de abrangência contemplam 7 unidades, as quais estão descritas na Tabela 15, com a quantificação em área (km² e %) de cada uma. Vale ressaltar que mais da metade da área é classificada como unidade 9, ocupando 265,4 km² da bacia hidrográfica. A Figura 26 apresenta como as unidades de materiais inconsolidados estão distribuídas na bacia hidrográfica em estudo.

Figura 26 - Mapa de Materiais Inconsolidados da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Fonte: Adaptado de Magri et al. (2013).

Tabela 15 - Descrição, área e percentual de área de cada unidade de materiais inconsolidados com relação à área total da bacia hidrográfica.

Unidades	Descrição	Área (km ²)	%
7	Apresenta uma camada de solo laterítico composta por areia com pouca argila, com espessura inferior a meio metro. Sotoposto a este material, estão os quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá associados a relevos compostos por serras e escarpas.	8,4	1,8
8	Prevalece o horizonte de saprolito formado por um silte arenoso. A este horizonte está sobreposto o solo laterítico com textura argilo-arenosa e espessura não superior a dois metros. Incide em relevos de morros e morrotes sustentados por gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo de Barbacena.	55,4	12,1
9	O horizonte de solo laterítico possui espessura entre 1 e 15 metros e é formado por uma areia argilosa. Sotoposto a este horizonte, apresenta-se o solo saprolítico constituído por uma argila areno-siltosa e, por fim, o horizonte de saprolito (silte arenoso). Acontece em relevos colinosos, sustentados por gnaisses e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá.	265,4	57,9
10	O horizonte de solo laterítico tem textura argilo-silto-arenosa, e espessura inferior a 10 metros, apresenta-se sobreposto ao saprolítico areno-siltoso, com espessura máxima de 7 metros, seguido pelo saprolito, composto por um silte arenoso. Com associação a platôs, morrotes e nas regiões de morros que apresentam declividades inferiores a 15%, esta unidade exibe como substrato rochoso gnaisses e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá.	48,1	10,5
11	Há predomínio do horizonte de solo saprolítico com espessura entre 0,5 e 4 metros, e textura areno-siltosa, sotoposto ao solo saprolito composto por silte arenoso. Sobreposto ao solo saprolítico, ocorre o horizonte de solo laterítico silto-argiloso com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade acontece em morros com declividades superiores que 15%, associados a gnaisses do Grupo Araxá e Complexo Barbacena.	32,3	7,1
13	Predominam os horizontes de solo saprolítico (silto-argiloso), com espessura entre 1 e 3 metros, e saprolito (siltoso), com espessura inferior a 6 metros, sobrepostos a xistos com intercalações ocasionais de quartzito. Sobreposto a estes horizontes, ocorre o solo laterítico (silte argiloso), com espessura inferior a 2 metros. Esta unidade está relacionada a declividades menores que 30% em relevos de serras e escarpas e, em morros e morrotes com declividades maiores que 15%.	43,0	9,4
17	Condiz a depósitos aluvionares das áreas de inundação adjacentes ao Rio Grande, e de áreas adjacentes a outros canais de drenagem da área de estudo. A textura destes materiais é bastante variável, conseqüente dos processos de deposição fluvial.	5,3	1,2

Fonte: Adaptado de Magri et al. (2013).

3.6 Recursos hídricos

Grande parte das nascentes que compõem a área estudada nasce nas serras do Fundão, Jaú, Ventania, Água Azul e da Conquista, e pertencem à Unidade Geomorfológica da Serra da Canastra (PEREIRA et al., 2013 apud MILANEZ, 2014).

De acordo com Pereira et al. (2013) apud Milanez (2014) a área de estudo apresenta uma rede de drenagem caracteristicamente densa, que abrange o Ribeirão das Ninfas, os Córregos das Cocotas, Fundão, Sertãozinho, Santo Antônio, Mumbuca, Mata, Barreiro, Lacrimal, Delfina, Matinha e Angola e seus tributários, bem como o próprio Ribeirão Bocaina.

Rigolin-Sá (2015) realizou três coletas para amostras de água bruta no Ribeirão Bocaina no período de junho, julho e agosto de 2015. A análise contempla 16 variáveis: cor, condutividade, pH, turbidez, alumínio, amônia, cianeto, demanda química de oxigênio (DQO), ferro total, manganês, nitrato, nitrito, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, coliformes totais e termotolerantes. Os resultados da análise realizada pela autora anteriormente citada mostraram que os parâmetros cor, pH, turbidez, alumínio, amônia, nitrato, nitrito, nitrogênio total e oxigênio dissolvido se enquadraram no limite estabelecido para água de classe II, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. No período de julho, o cianeto e nos meses de junho e julho, o manganês, apresentaram concentrações que classificaram as águas como de classe III. O ferro total durante todo o ano permaneceu como variável que caracterizou a água de classe III.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais que foram utilizados neste trabalho estão listados a seguir e correspondem a mapas básicos, imagem de satélite, softwares e informações complementares da área de estudo.

- Mapas:

Os mapas utilizados neste trabalho foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Passos-MG e pela equipe do Projeto Grande Minas (COLLARES, 2013) que realizou o zoneamento ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande, na escala de 1:50.000. Os documentos cartográficos utilizados foram:

- Curvas de nível na escala de 1:2.000 que contemplam a área urbana, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Passos-MG;
- Delimitação da área urbana do município de Passos-MG;
- Delimitação da bacia hidrográfica e das sub-bacias hidrográficas (COLLARES; GOMES, 2013);
- Geologia (COLLARES; GOMES; 2013);
- Materiais Inconsolidados (MAGRI, et al., 2013);
- Rede de Drenagem (COLLARES; GOMES; SANTOS, 2013);
- Rede de Drenagem na escala de 1:6.000 (fotointerpretação das fotografias aéreas coloridas datadas de 2000 e fotointerpretação das imagens da CEMIG de 1989) (COLLARES; 2000);
- Uso e ocupação do solo (DIAS et al., 2013).

- Imagem de Satélite:

- 39 imagens do GoogleTM Earth Pro, disponibilizada pela CNES/Astrium datadas de 2016.

- Softwares utilizados para os processamentos dos dados e para a criação de produtos cartográficos:

- ArcGIS10[®];

- TerraViewHidro 0.4.5[®].

- Informações complementares:

- Plano Diretor do município de Passos-MG;

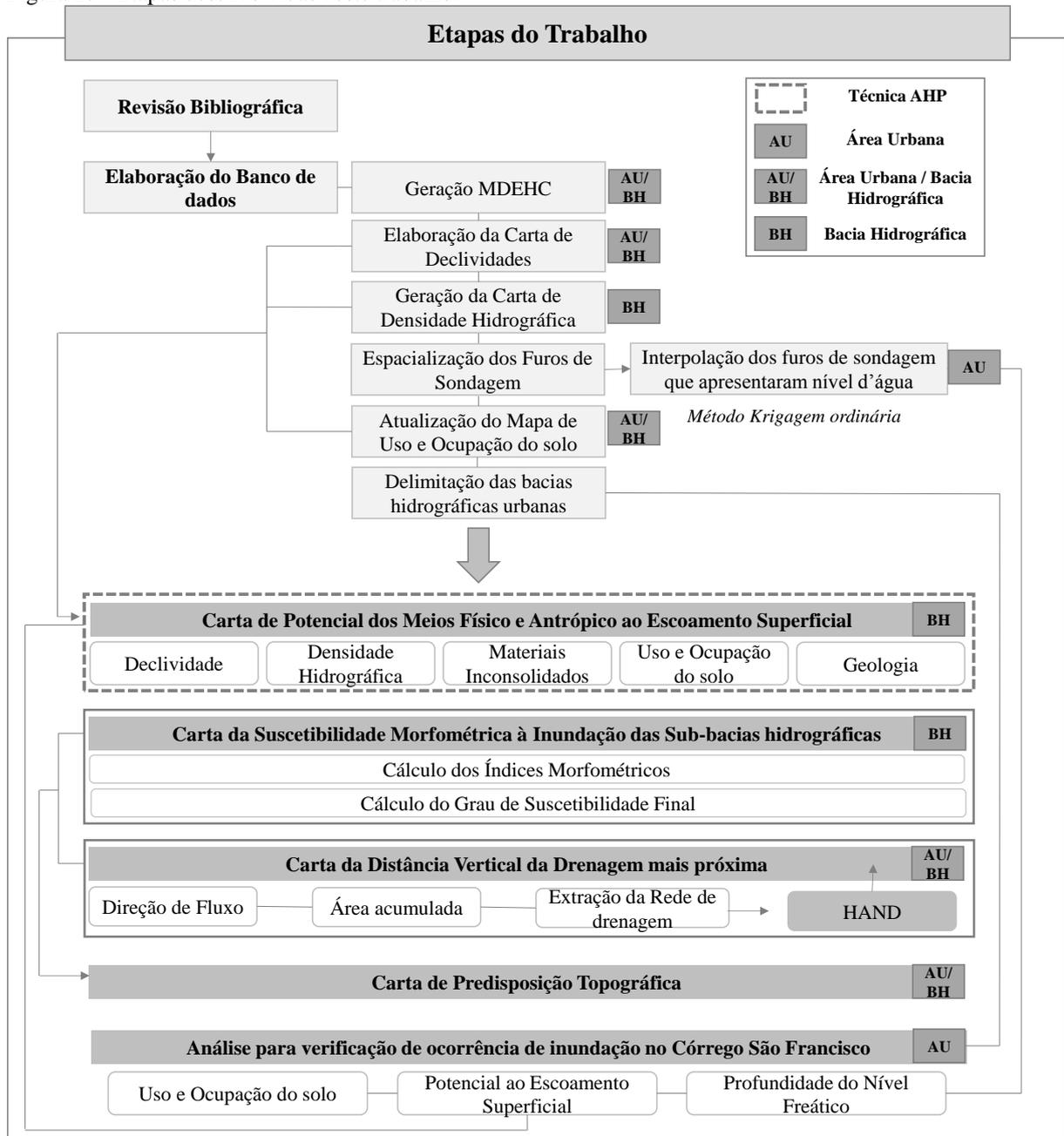
- Estudo de cheias realizado para o município de Passos-MG na escala 1:50.000 (PINHEIRO et al., 2006);

- Dados de ensaios SPT realizados na área urbana de Passos-MG (SV Engenharia-Fundações e Sondagens Ltda).

4.2 Métodos

A sistemática do trabalho envolveu as seguintes etapas descritas na Figura 27.

Figura 27 - Etapas desenvolvidas neste trabalho.



4.2.1 Levantamento de dados e construção de um banco de dados digital, com informações referentes à situação do Ribeirão Bocaina

Esta etapa constou na busca e no agrupamento de dados e informações referentes ao meio físico que contempla a área de estudo, como mapas temáticos em formato digital que

abrangem diferentes escalas de trabalho. Além disto, foram utilizados dados do Projeto Grande Minas (COLLARES, 2013) que realizou o zoneamento ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande.

O zoneamento ambiental do Médio Rio Grande produziu um conjunto de dados dos meios físico, biótico e socioeconômico que estão disponibilizados em livros, artigos científicos e em formato digital. Para este trabalho foi necessário capturar as informações específicas referentes à bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e estruturá-las. Foi produzida uma nova base de dados digital georreferenciada, integrando estas informações, que permite a correlação dos dados e a análise dos atributos ambientais da bacia do Ribeirão Bocaina, bem como da área urbana do município de Passos.

Para isso, foi utilizado o software ArcGIS 10[®], que permitiu realizar o ‘recorte’ dos mapas existentes no formato vetorial (linhas, pontos e polígonos), através da ferramenta *Geoprocessing - Clip*. Já para a obtenção dos mapas em formato matricial, as ferramentas utilizadas se encontram no *ArcToolbox* e são denominadas de *Raster Processing - Clip*.

Vale ressaltar que toda a base de dados que foi utilizada do Projeto Grande Minas se encontra na escala 1:50.000, que é a escala de análise da bacia do Ribeirão Bocaina. No entanto, na área urbana do município de Passos, a escala de trabalho é 1:10.000, compatível com detalhamento necessário em estudos realizados em ambientes urbanos.

4.2.2 Quantificação das informações referentes à área de estudo

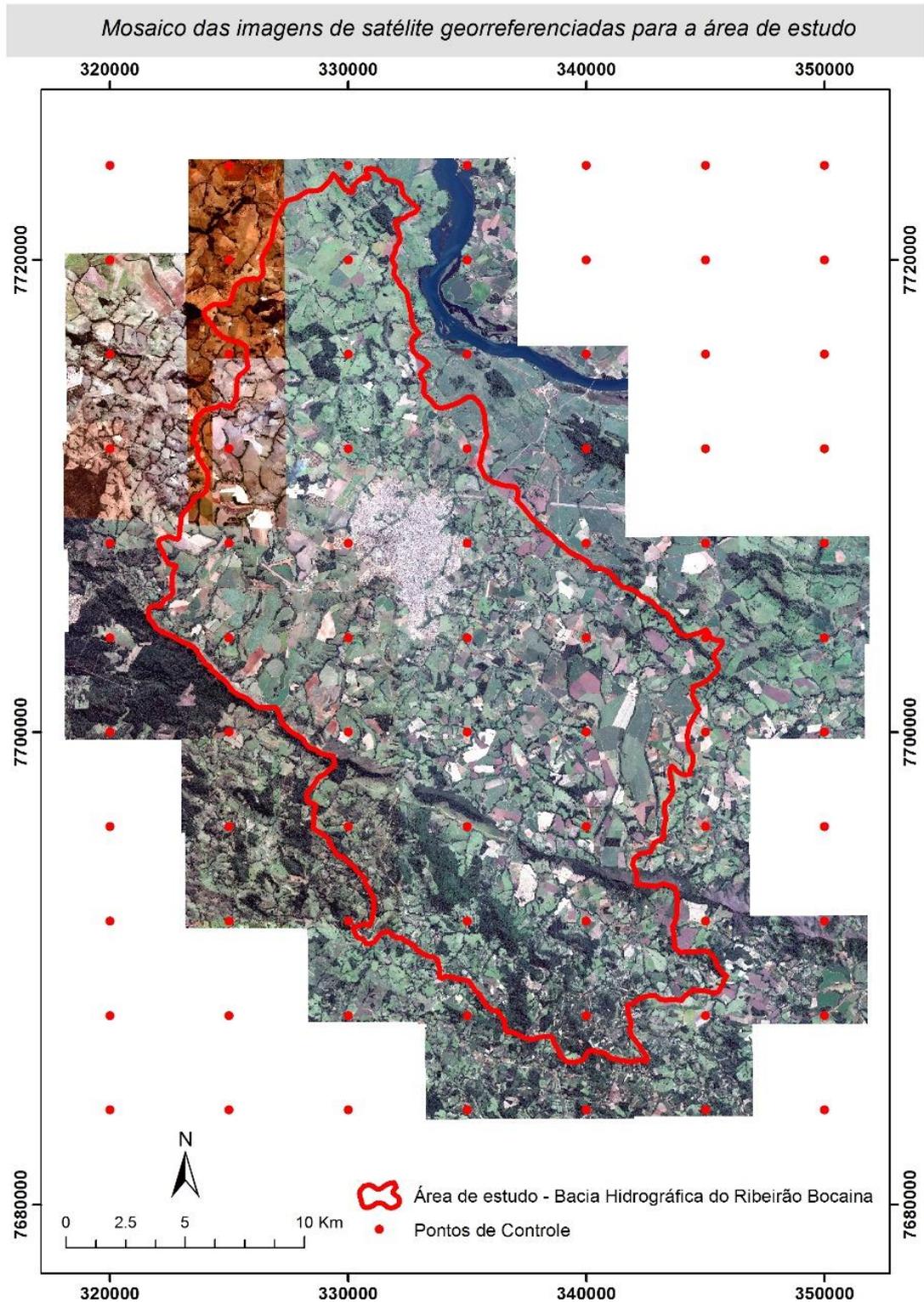
Após a realização da etapa anterior (item 4.2.1) foi necessário quantificar cada uma das classes de cada mapa que foi utilizado, a fim de analisar as informações presentes na área de estudo. Este procedimento também contou com o auxílio do software ArcGIS 10[®]. No caso de dados vetoriais, na *Table* de cada *shapefile*, o cálculo foi realizado por meio da ferramenta *Calculate Geometry*. Quando o dado se encontra na forma matricial, as ferramentas utilizadas constam no *ArcToolbox* (*Spatial Analyst Tools - Zonal - Tabulate Area*).

4.2.3 Georreferenciamento das imagens de satélite obtidas pelo Google Earth Pro[®]

Para a atualização e geração de informações foram georreferenciadas as imagens de satélite que são disponibilizadas de forma gratuita e acessível pelo Google Earth Pro[®], todas

as imagens estão datadas do ano de 2016. A Figura 28 apresenta o mosaico das imagens utilizadas neste trabalho.

Figura 28 - Mosaico das imagens georreferenciadas para a área de estudo.



Para a realização do processo foi necessária a elaboração de uma malha para obtenção dos pontos de controle. Utilizou-se o recurso *Grids* do ArcGIS10[®] para definição desta malha. Posteriormente, foi criado um *shapefile* com formato de pontos para marcar as coordenadas desta malha, em seguida, esse *shapefile* foi transformado em formato *KML* para a inserção na plataforma do Google Earth Pro[®], através das ferramentas do ArcGIS10[®] (*Arc Tool Box - Conversion Tools - To KML - Layer to KML*).

Para o recobrimento de toda área de estudo, levando em consideração a melhor visualização, atendendo a escala de trabalho, foi necessária a aquisição de 39 imagens. O processamento de georreferenciamento foi realizado utilizando-se os seguintes comandos do software ArcGIS10[®]: *Georeferencing - Uptade Georeferencing*.

O georreferenciamento das imagens foi de essencial importância para a atualização do mapa de uso e ocupação do solo, sendo que este foi elaborado no ano de 2009. Além disto, auxiliou na interpretação das novas informações geradas, como a potencialidade à inundação.

4.2.4 Atualização do mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado na escala de 1:50.000 por Dias et al. (2013), para a Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande, utilizando imagens de satélite Alos com resolução espacial de 2,5 x 2,5 m datadas de 2009. Neste trabalho, foi feita uma atualização do uso e ocupação para a área da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina na escala de 1:50.000 e a para área urbana em escala de maior detalhe (1:10.000).

Para os dois mapas de uso e ocupação foi realizada uma edição utilizando as ferramentas básicas do comando *Editor* do ArcGIS10[®]. Os mapas de uso e ocupação foram sobrepostos nas 39 imagens de satélite adquiridas do Google Earth Pro[®], disponibilizadas pela CNES/Astrium datadas de junho de 2016 (citadas no item 4.2.3), onde foram verificadas as áreas onde ocorreram mudanças de classes, sendo portanto, reclassificadas considerando as classes de uso e ocupação atual.

Para a malha urbana foi realizado um maior detalhamento das classes área urbana, expansão urbana e vazio urbano extraídas do mesmo mapa de Dias et al. (2013). Considerando a escala de mapeamento foram identificadas desde áreas densas ocupadas por edificações, locais com loteamentos implantados, porém ainda não edificados e regiões que não apresentam indícios que serão ocupados.

Estes mapas foram utilizados como planos de informação para a geração de documentos interpretativos como a Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial para a bacia hidrográfica e a análise do potencial à inundação na área urbana.

4.2.5 Elaboração de documentos cartográficos

4.2.5.1 Mapa de espacialização dos furos de sondagem na área urbana

A Empresa SV Engenharia de Fundações Ltda situada na cidade de Passos disponibilizou 132 relatórios de sondagem a percussão para a realização deste trabalho, especializados em toda área urbana.

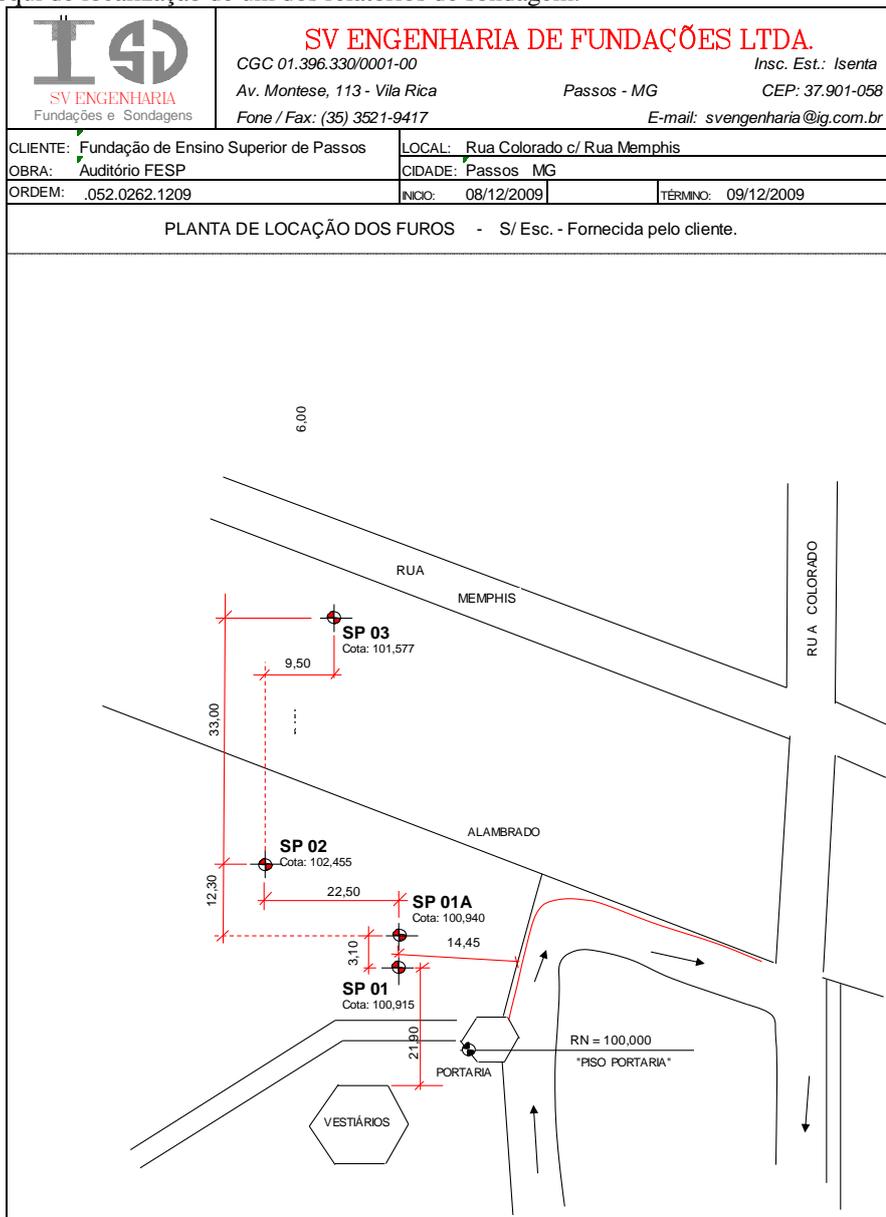
Para utilização da informação foi necessário realizar uma seleção dos furos de sondagem, visto que para cada relatório, o número de furos de sondagem varia bastante, em alguns lotes foi feito apenas um furo, enquanto que em outros mais de 10 furos de sondagem. Para esta seleção foi considerado, a profundidade do furo, os que atingiram o impenetrável a percussão e os que encontram o nível d'água.

Realizou-se a verificação da localização de cada um dos furos de sondagem por meio do croqui anexado em cada relatório como mostra o exemplo da Figura 29. Para confirmar a localização utilizou-se o Google Earth Pro[®], pois os relatórios das sondagens não apresentam as coordenadas (x, y) de cada local.

Para melhor organização das informações das sondagens foi elaborado no Programa Excel[®] um banco de dados do qual constam o número da sondagem, a espessura de cada camada em metros, a espessura total de cada furo, se foi ou não encontrado o nível d'água, se foi encontrado o saprolito (impenetrável). Informações adicionais como a rocha presente no local e a altitude aproximada de cada furo, considerando os dados altimétricos disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Passos na escala de 1:2.000, também foram anexados neste banco de dados.

Posteriormente à tabulação destas informações, foi necessária a generalização de cada perfil de sondagem, a fim de estabelecer uma análise setorizada, neste sentido, os materiais inconsolidados descritos nos perfis foram classificados quanto à gênese (retrabalhado/residual/ saprolito), a textura e a espessura.

Figura 29 - Croqui de localização de um dos relatórios de sondagem.



Fonte: SV Engenharia de Fundações Ltda (2009).

Para a classificação dos materiais inconsolidados foram estabelecidos critérios para a distinção, como: número elevado de golpes diferenciando as camadas de solo retrabalhado e residual; mudança de granulometria como camada arenosa sobreposta a camada argilosa definindo o solo retrabalho e residual; as sondagens que atingiram a rocha foram definidos como saprolito.

Um dos dados essenciais para este trabalho são os furos de sondagem que atingiram o nível d'água, uma vez que foram utilizados como plano de informação para análise do potencial à inundação na área urbana. O modo como foram utilizados está descrito no próximo item.

4.2.5.1.1 Interpolação da profundidade do nível freático

Para a geração deste produto foi necessário realizar uma separação dos furos de sondagens onde foi localizado o nível d'água, sendo assim, foi confeccionada uma planilha no programa Excel[®] contendo as coordenadas x e y, desses furos de sondagem e a profundidade do nível d'água.

Após este procedimento, foi utilizado o software ArcGIS10[®] para realizar a interpolação dos dados, cuja ferramenta utilizada foi *Kriging (ArcToolBox - 3D Analyst Tools - Raster Interpolation - Kriging)*. Ressalta-se que o método geoestatístico utilizado para a elaboração do documento foi a krigagem ordinária, considerando o modelo de semivariograma esférico.

A Krigagem é entendida como um processo que visa estimar valores de variáveis distribuídas no espaço baseado em valores adjacentes enquanto compreendidos como interdependentes pelo semivariograma. Assim, pode ser compreendido como um método de estimação por médias móveis (LANDIM, 1998).

A informação da superfície do nível d'água, obtida com a interpolação, foi utilizada na análise do potencial à inundação na área urbana.

4.2.5.2 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) foi feito para duas áreas distintas, que corresponde a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e a área urbana de Passos.

Para a bacia hidrográfica, o modelo foi elaborado com base nas curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados do mapa topográfico do IBGE na escala de 1:50.000, com auxílio da ferramenta *Topo to raster* do software ArcGIS10[®], com pixel de saída de 10 metros. Posteriormente, foi aplicado ao modelo gerado o filtro (*Fill*) do próprio ArcGIS10[®] a fim de suavizar os efeitos provenientes do processo de elaboração.

Para a elaboração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente Sombreado foi necessário utilizar o modelo gerado como descrito anteriormente e realizar processamentos utilizando a sequência de ferramentas localizadas no *ArcToolBox (Spatial Analyst Tools - Surface - Hillshade)*.

Os mesmos procedimentos descritos anteriormente foram realizados para a geração do MDEHC na área urbana, porém, os dados de entrada correspondem uma escala de detalhe maior. A escala da rede de drenagem utilizada é 1:6.000, as curvas de nível e pontos cotados 1:2.000. Vale ressaltar que estes dados não estão disponíveis para toda a área urbana.

Ambos os modelos foram fundamentais para a geração do modelo HAND como descrito no item 4.2.5.7.

4.2.5.3 Carta de Declividades

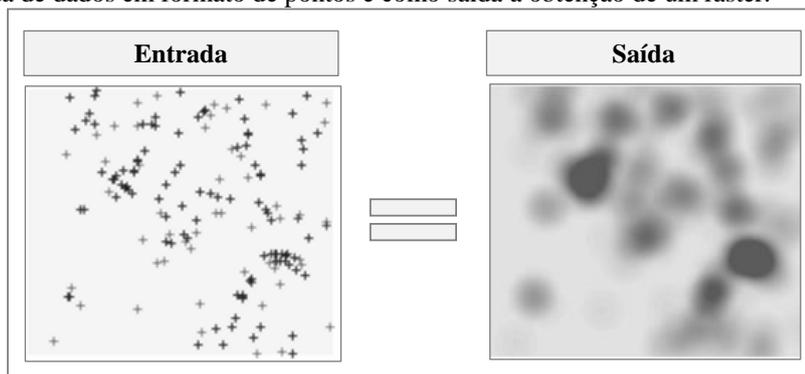
Para a elaboração da Carta de Declividades foram utilizadas as ferramentas do software ArcGIS10[®] localizadas no *ArcToolBox (Spatial Analyst Tools - Surface - Slope)*. Todo o processamento envolveu o MDEHC, cujo processo de elaboração foi descrito na etapa anterior (4.2.5.2). Foram elaboradas duas cartas de declividades, uma para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e uma para a área urbana.

4.2.5.4 Carta de Densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica é considerada uma informação essencial para a definição do potencial de escoamento superficial, pois é proporcional à velocidade com que a água precipitada irá atingir os canais permanentes de escoamento da bacia (DIAS, 2013).

Para a elaboração deste atributo foi utilizada a ferramenta *Kernel Density* do software ArcGIS10[®]. De acordo com ESRI (2017), esta ferramenta tem a função de calcular uma área de grandeza por unidade de ponto ou polilinha utilizando recursos da função do *Kernel* para ajustar uma superfície suavemente cônica para cada ponto ou polilinha (Figura 30).

Figura 30 - Entrada de dados em formato de pontos e como saída a obtenção de um raster.



Fonte: Adaptado de ESRI (2017).

Como dado de entrada para a realização do processamento foi utilizada a rede de drenagem em formato vetorial (*shapefile*). De acordo com Dias (2013), utilizou-se o raio de 1128, e o tamanho do pixel de saída de 10 metros.

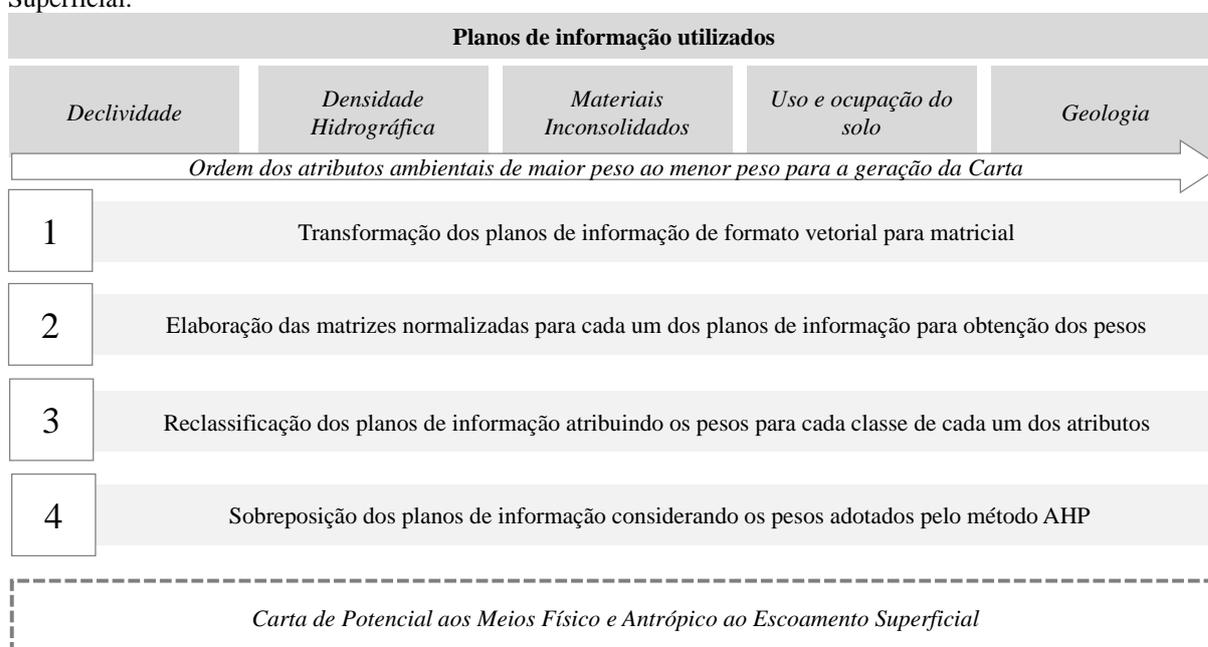
Esta carta foi elaborada como um dos planos de informação para gerar a Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial.

4.2.5.5 Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial

Esta carta foi elaborada com o intuito de apresentar as áreas com maior ou menor potencialidade ao escoamento superficial na bacia hidrográfica. Vale ressaltar que existem diversas maneiras para a elaboração deste produto interpretativo, neste trabalho foi utilizado o método de atribuição de pesos aos planos de informação relacionados ao meio físico, adotados conforme metodologia de Pejon e Zuquette (1993).

A Figura 31 apresenta um fluxograma das etapas executadas para a elaboração do documento final.

Figura 31 - Etapas utilizadas para a execução da Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial.



Além do meio físico foram acrescentadas informações que retratam o meio antrópico que é caracterizado pelo uso e ocupação do solo, deste modo foram elaboradas duas cartas,

uma que considera apenas atributos naturais do meio e outra que além do meio físico leva em consideração o ambiente alterado por ações humanas.

Os planos de informação utilizados para a elaboração das cartas foram:

- declividade, cujos procedimentos de obtenção estão descritos no item 4.2.5.3;
- densidade hidrográfica, cujas etapas de elaboração estão descritas no item 4.2.5.4;
- geologia (COLLARES; GOMES, 2013);
- materiais inconsolidados (MAGRI et al., 2013) considerando apenas o aspecto textural;
- uso e ocupação de solo atualizado (item 4.2.4).

Para a atribuição de pesos aos atributos considerados na geração da carta utilizou-se o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) definido por Saaty (1980), levando em consideração uma escala de valores hierárquicos (Tabela 16). Assim, foram realizados procedimentos que envolveram a comparação par a par das classes de cada plano de informação, bem como, a comparação entre os próprios planos de informação, atribuindo pesos com base na mesma escala de valores, de maneira a refletir a importância de cada classe em relação a outra quanto ao processo de escoamento superficial. A adoção de pesos adequados para os planos de informação e suas respectivas classes dependem de se obter conhecimento da área que se está estudando, e também do conhecimento do processo analisado.

Tabela 16 - Escala de valores.

Escala de Valores			
<i>Valores</i>	<i>Importância</i>	<i>Valores</i>	<i>Importância</i>
<i>1/9</i>	Extremamente menos importante	<i>3</i>	Moderadamente mais importante
<i>1/7</i>	Muito menos fortemente importante	<i>5</i>	Fortemente mais importante
<i>1/5</i>	Fortemente menos importante	<i>7</i>	Muito mais fortemente importante
<i>1/3</i>	Moderadamente menos importante	<i>9</i>	Extremamente mais importante
<i>1</i>	Igualmente importante	<i>2, 4, 6 e 8</i>	Valores intermediários

Fonte: Saaty (1980).

Logo depois da atribuição de pesos, foram calculados os auto vetores para cada classe dos atributos, bem como para os planos de informação. Para obtê-los, as matrizes de

comparação par a par foram normalizadas, ou seja, foi realizada uma divisão de cada elemento pela soma dos elementos da coluna a que se referem. Posteriormente, foi realizada uma média aritmética de cada linha da matriz normalizada, resultando nos auto vetores.

Em seguida, foi necessário realizar uma análise de consistência dos pesos adotados aos planos de informação, deste modo, calculou-se a Razão de Consistência (RC), e o Índice de Consistência, conforme proposto por Saaty (1980). Os pesos adotados podem ser considerados coerentes se a $RC \leq 0,10$. A RC é dada pela Equação 5:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5)$$

sendo,

RC = Razão de consistência;

IR = Índice de Consistência Randômico, apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores de consistência randômica em função da ordem da matriz.

Ordem da matriz (n)	Valores de Consistência Randômica (IR)	Ordem da matriz (n)	Valores de Consistência Randômica (IR)
1	0,00	8	1,41
2	0,00	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56
7	1,32	14	1,57

IC = Índice de Consistência, calculado pela Equação 6;

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) \div (n - 1) \quad (6)$$

sendo,

n = número que representa a ordem da raiz;

$\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo, calculado pela Equação 7.

$$\lambda_{\text{máx}} = T \times W \quad (7)$$

sendo,

T = auto vetor normalizado;

W = soma das colunas da matriz de comparações para cada atributo.

Posteriormente aos cálculos, inicia-se a etapa de elaboração da carta no sistema de informação geográfica (ArcGIS10[®]). Para cada um dos planos de informação (arquivo matricial) foi adicionada na tabela de atributos uma coluna específica do tipo *double* nomeada de “Peso” onde foram inseridos os auto vetores para cada uma de suas classes.

Para a sobreposição foi necessário à utilização da ferramenta *Weighted Sum (Spatial Analyst Tools - Overlay - Weighted Sum)* que realiza a multiplicação da importância relativa de cada classe dos planos de informação (Peso) pelo auto vetor do plano de informação. Deste modo, posteriormente à multiplicação, foi gerado o arquivo matricial de saída.

O arquivo matricial de saída necessita ser classificado, o software ArcGIS 10[®] disponibiliza uma série de métodos de classificação que foram testados um a um. O método escolhido foi o *Natural Breaks* que se baseia em agrupamentos naturais inerentes aos dados, onde são identificados os melhores grupos de valores semelhantes e que permite maximizar as diferenças entre as classes. Os recursos são divididos em classes cujos limites são definidos onde há diferenças relativamente grandes nos valores de dados. Assim, este método de classificação representou melhor o que condiz a realidade.

4.2.5.6 Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina

Os procedimentos metodológicos realizados para a elaboração desta carta interpretativa baseou-se no trabalho desenvolvido pelos autores Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2014) que estabeleceram um índice que classifica as bacias hidrográficas quanto ao grau de suscetibilidade à inundação, através de seus parâmetros morfométricos.

Os parâmetros morfométricos considerados para a elaboração do documento foram: área de contribuição, densidade de drenagem, índice de circularidade, sinuosidade e relação de relevo. A Tabela 18 apresenta as equações utilizadas para a obtenção dos índices.

Tabela 18 - Descrição das variáveis para o cálculo dos índices morfométricos.

Análise	Variável	Fórmula	Descrição	Autores
<i>Análise areal</i>	Área	A	Área da sub-bacia hidrográfica	-
	<i>Densidade de Drenagem</i>	$Dd = \frac{\sum L}{A}$	Relação entre o comprimento total dos canais de uma bacia e a área total da bacia	Horton, 1945
	<i>Índice de Circularidade</i>	$Ic = \frac{A}{A_c}$	Relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro	Miller, 1953
<i>Análise linear</i>	<i>Sinuosidade</i>	$S = \frac{L_{talvegue}}{L_{vet}}$	Relação entre o comprimento do curso d'água principal e o comprimento vetorial entre os extremos do curso d'água	Schumm, 1963
<i>Análise hipsométrica</i>	<i>Relação de Relevo</i>	$Rr = \frac{H_m}{L_b}$	Relação entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, paralelamente à linha principal de drenagem	Schumm, 1956

Legenda

A - Área da bacia hidrográfica;

A_c - Área do círculo cujo perímetro é igual ao da bacia considerada;

$\sum L$ - Comprimento total dos canais da bacia;

H_m - Diferença máxima de altitude entre a desembocadura e o ponto mais alto do divisor de águas;

L_b - Comprimento da bacia - Maior comprimento linear medido paralelamente ao curso principal;

$L_{talvegue}$ - Comprimento total do rio principal;

L_{vet} - Comprimento vetorial do rio principal.

Como dado básico para a realização desta etapa do trabalho foi utilizado o mapa das sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Bocaina na escala de 1:50.000 desenvolvido pelo Projeto Grande Minas (COLLARES; GOMES; SANTOS, 2015). As sub-bacias foram delimitadas por ordem de ramificação segundo metodologia de Strahler (1957). A área de estudo contempla bacias hidrográficas de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordem, que correspondem, respectivamente, a 16, 16, 7, e 9 bacias.

Para a classificação do grau de suscetibilidade à inundação foram aplicadas duas fórmulas, propostas por Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2014) correspondentes aos parâmetros morfométricos que apresentam relação direta com o fenômeno de inundação (área de contribuição, densidade de drenagem, índice de circularidade, sinuosidade) (Equação 8), e que apresenta relação inversa com o fenômeno (relação de relevo) (Equação 9).

$$GS = \frac{4(X - X_{mín})}{(X_{máx} - X_{mín})} + 1 \quad (8)$$

$$GS = \frac{4(X - X_{m\acute{a}x})}{(X_{m\acute{m}n} - X_{m\acute{a}x})} + 1 \quad (9)$$

Onde,

GS: trata-se do grau de suscetibilidade a inundação;

X: corresponde o valor do ndice morfométrico a ser avaliado para cada sub-bacia;

$X_{m\acute{m}n}$ e $X_{m\acute{a}x}$: corresponde ao valor máximo e mínimo do ndice morfométrico avaliado.

Vale ressaltar que esta metodologia foi adotada para todas as sub-bacias respeitando sua ordem de ramificação, ou seja, os cálculos para a análise do grau de suscetibilidade  inundação foram realizados de forma separada para as sub-bacias de ordem de ramificação diferentes.

Posteriormente, foi calculado o grau de suscetibilidade  inundação final (Equaao 10), onde foi realizado um somatório dos GS's (rea de contribuiao, densidade de drenagem, ndice de circularidade, sinuosidade, e relaao de relevo) entendido como a variável Y. As variáveis $Y_{m\acute{m}n}$ e $Y_{m\acute{a}x}$ correspondem ao valor mínimo e máximo do resultado do somatório entre todas as sub-bacias de mesma ordem de ramificação. O grau de suscetibilidade final varia de 1 a 3 (onde, 1 - baixa suscetibilidade, 2 - média suscetibilidade e 3 - alta suscetibilidade), conforme proposto por Campos et al. (2015).

$$GSf = \frac{2(Y - Y_{m\acute{m}n})}{(Y_{m\acute{a}x} - Y_{m\acute{m}n})} + 1 \quad (10)$$

Sendo,

GSf: grau de suscetibilidade  inundação final;

Y: corresponde ao somatório dos GS's para cada uma das sub-bacias;

$Y_{m\acute{m}n}$ e $Y_{m\acute{a}x}$: valor mínimo e máximo do resultado do somatório entre todas as sub-bacias de mesma ordem de ramificação.

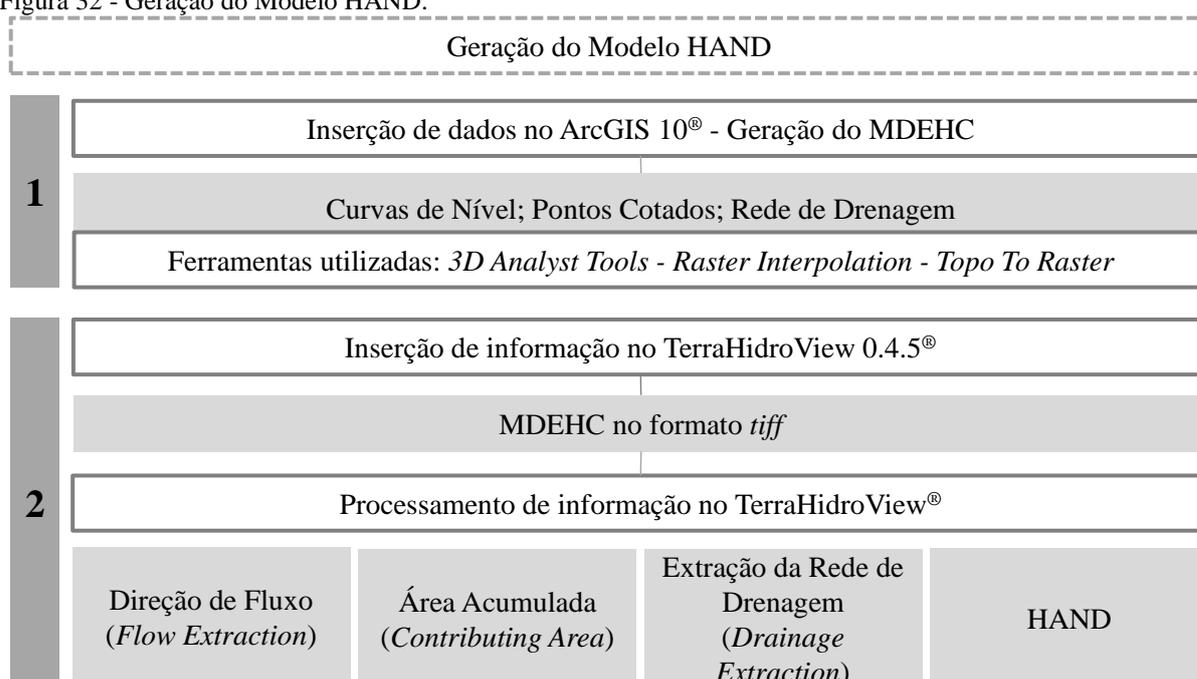
Com o GSf já estabelecido, foi criada uma planilha no software Excel[®] com a classificação do grau de suscetibilidade final para cada uma das sub-bacias hidrográficas, esta foi acoplada no *shapefile* da delimitaao das sub-bacias por meio do recurso *join* do ArcGIS10[®], posteriormente foi feita a classificação das mesmas através da *Symbology - Classified*.

4.2.5.7 Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima

Para a elaboração da carta foi necessário utilizar o algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), desenvolvido por Rennó et al. (2008). O Modelo HAND foi utilizado como plano de informação para a geração da Carta de Predisposição Topográfica à inundações da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e da área urbana. Para sua elaboração foi utilizado o software TerraViewHidro 0.4.5[®], que se trata de um SIG livre e de fácil utilização. Como dado de entrada para a geração do modelo foi necessário a utilização do MDEHC no formato *tiff* elaborado pelo software ArcGIS10[®].

A Figura 32 apresenta as etapas para a obtenção do modelo HAND, que foi criado tanto para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina (1:50.000) como para área urbana do município de Passos (1:10.000).

Figura 32 - Geração do Modelo HAND.



No software TerraViewHidro 0.4.5[®] foi gerado a direção de fluxo e área acumulada, além da extração da rede de drenagem com limiar de 700 para a bacia hidrográfica e para a área urbana. Deve-se levar em consideração que o limiar foi escolhido após vários testes, e definiu-se o que melhor representa a rede de drenagem digitalizada da carta topográfica quando refere-se a bacia hidrográfica, e a rede de drenagem proveniente da fotointerpretação de fotografias aéreas coloridas datadas de 2001 e fotointerpretação de imagens da CEMIG de

1989 quando se trata da área urbana. Essas informações são essenciais para a elaboração do modelo HAND, uma vez que são os dados de entrada para o processamento.

Após a geração do modelo realizou-se o fatiamento do mesmo, considerando o número de classes e intervalos que se deseja representar a área. É importante que se conheça a área em estudo, para evitar a criação de modelos que não representem a realidade do local.

4.2.5.8 Carta de Predisposição Topográfica à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e da área urbana

Esta etapa do trabalho foi realizada com base na Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação das sub-bacias hidrográficas e na Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima, cujos procedimentos metodológicos estão apresentados respectivamente, nos itens 4.2.5.6 e 4.2.5.7. Vale ressaltar que esta carta foi elaborada duas vezes, uma considerando o modelo HAND em escala de maior detalhe (1:10.000) e outra, de menor detalhe (1:50.000).

Realizou-se uma matriz de correlação entre estas duas cartas, posteriormente, os procedimentos foram realizados no software ArcGIS10[®], utilizando a técnica de álgebra booleana. Para cada correlação considerada foi gerado um *raster*. Cada *raster* foi reclassificado (*Reclassify*) conforme a sua classe de correlação e por fim, foi realizada a soma de todos os arquivos matriciais gerados através da ferramenta *Raster calculator*.

4.2.5.9 Elaboração do Mapa das bacias hidrográficas urbanas

Para uma análise específica sobre o potencial ao escoamento superficial, uso e ocupação do solo e a profundidade do nível freático, foi elaborado um mapa de bacias hidrográficas que permitiu quantificar o percentual de ocorrência das classes destes produtos cartográficos em cada bacia. A delimitação das bacias hidrográficas urbanas seguiu os conceitos de Strahler (1957).

Para delimitar as bacias utilizou a rede de drenagem na escala de 1:6.000 e as curvas de nível na escala de 1:2.000. Para as áreas que ultrapassam os limites das curvas de nível 1:2.000 foi utilizada as curvas de nível na escala de 1:50.000 (Magri, 2013), para definir o divisor topográfico.

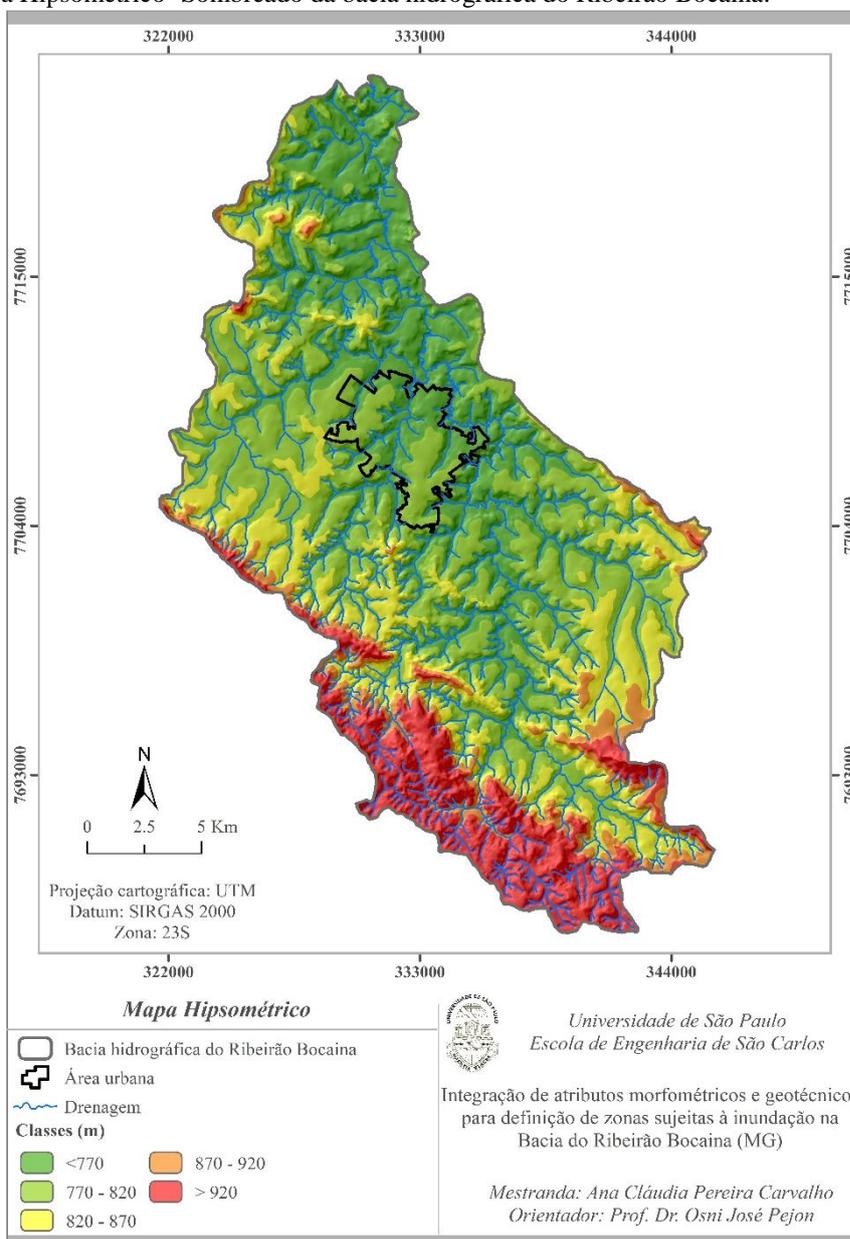
O software utilizado para a elaboração do mapa foi o ArcGIS10[®], a quantificação do percentual de área das classes destas cartas interpretativas foi obtida através do comando *zonal - tabulate area* presente no mesmo software.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e Carta de Declividades

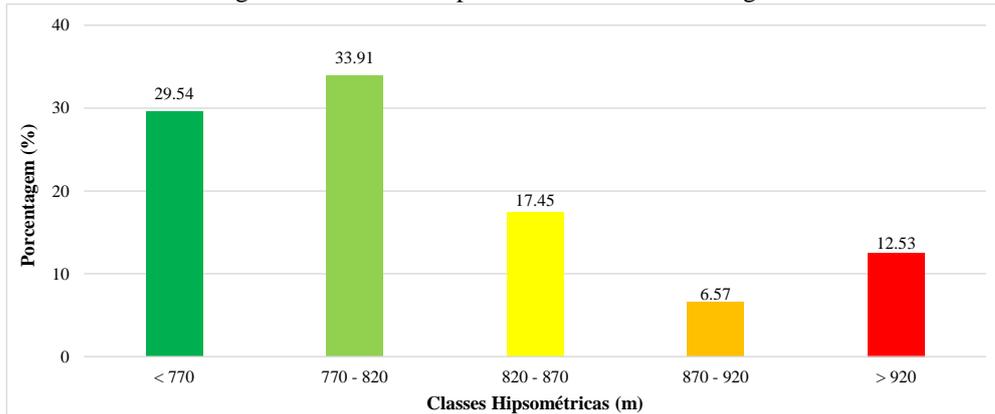
Foram elaborados dois MDEHC, um para a bacia hidrográfica e outro para a área urbana, ambos foram classificados com 5 classes. Com base no MDEHC, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica possui uma variação altimétrica de 667 metros a 1210 metros (Figura 33). O percentual de cada classe que compõem a área da bacia está apresentado na Figura 34.

Figura 33 - Mapa Hipsométrico- Sombreado da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



As regiões com altitude acima de 920 metros correspondem um percentual de área de 12,53%, em destaque estão às serras das Posses, do Jaú e da Ventania. As regiões com altitudes entre 820 a 920 metros correspondem a uma área de abrangência de 24,02%. Já os locais com altitudes inferiores a 820 metros equivalem a 63,45% da área total da bacia hidrográfica em estudo.

Figura 34 - Percentual de abrangência das classes hipsométricas na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Especificamente na área urbana, o MDEHC evidencia as classes de maiores altitudes nos extremos sul e oeste. As menores altitudes estão presentes no centro da área urbana (Figura 35). A quantificação das classes correspondente ao MDEHC na área urbana está apresentada na Figura 36.

Figura 35 - Mapa Hipsométrico- Sombreado da área urbana.

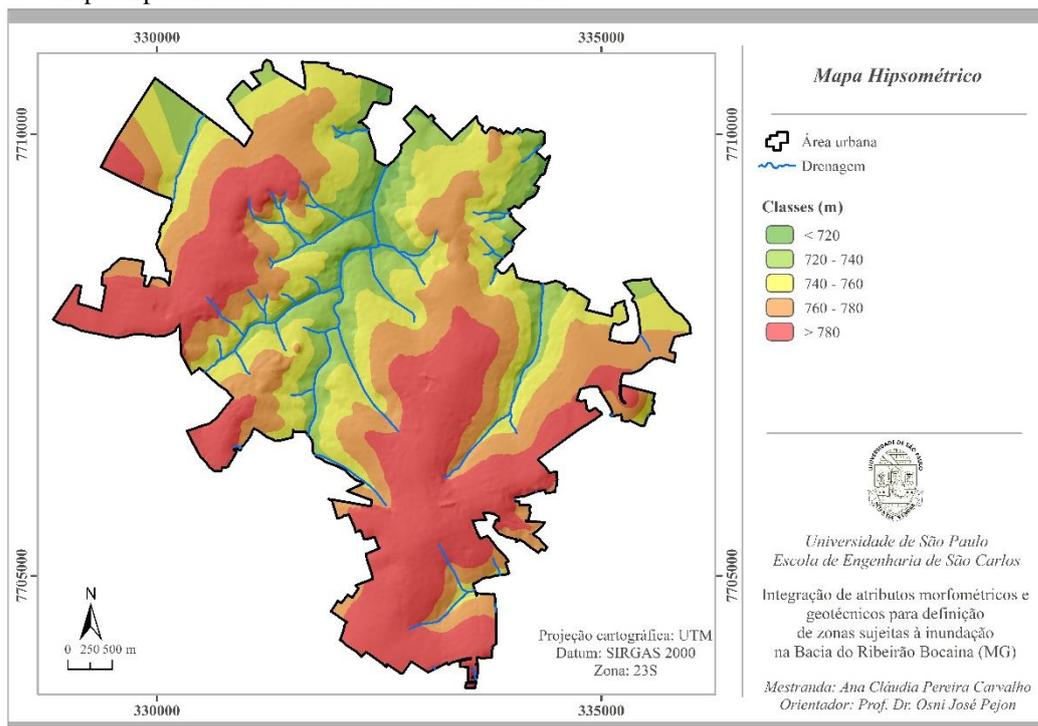
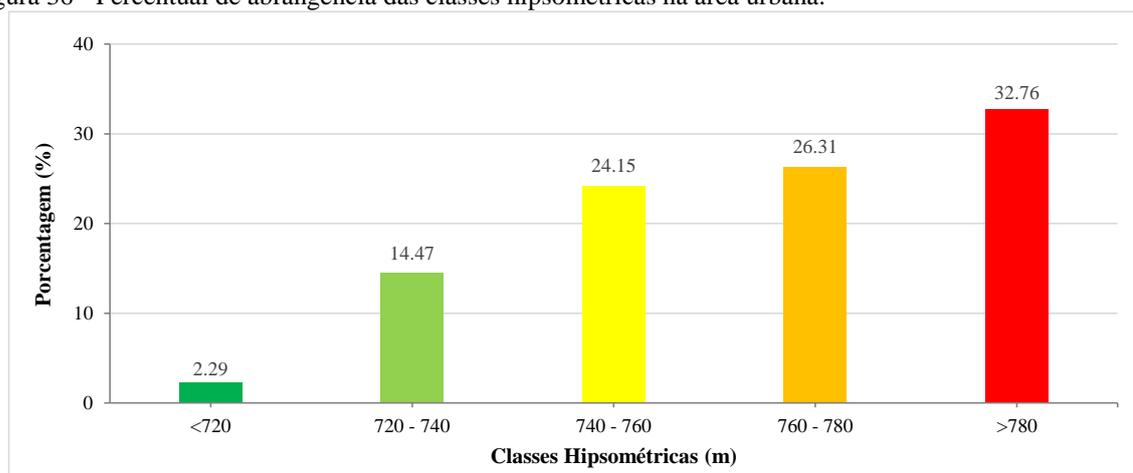
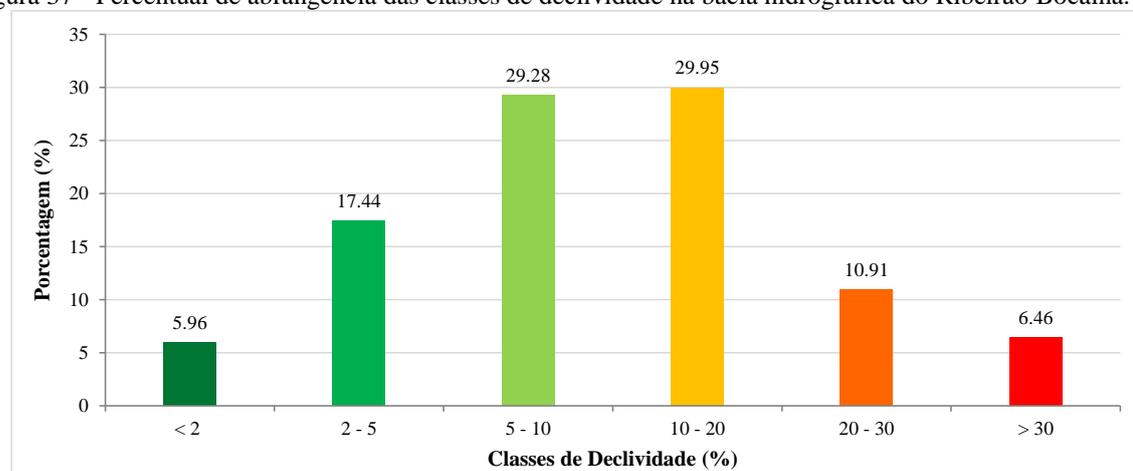


Figura 36 - Percentual de abrangência das classes hipsométricas na área urbana.



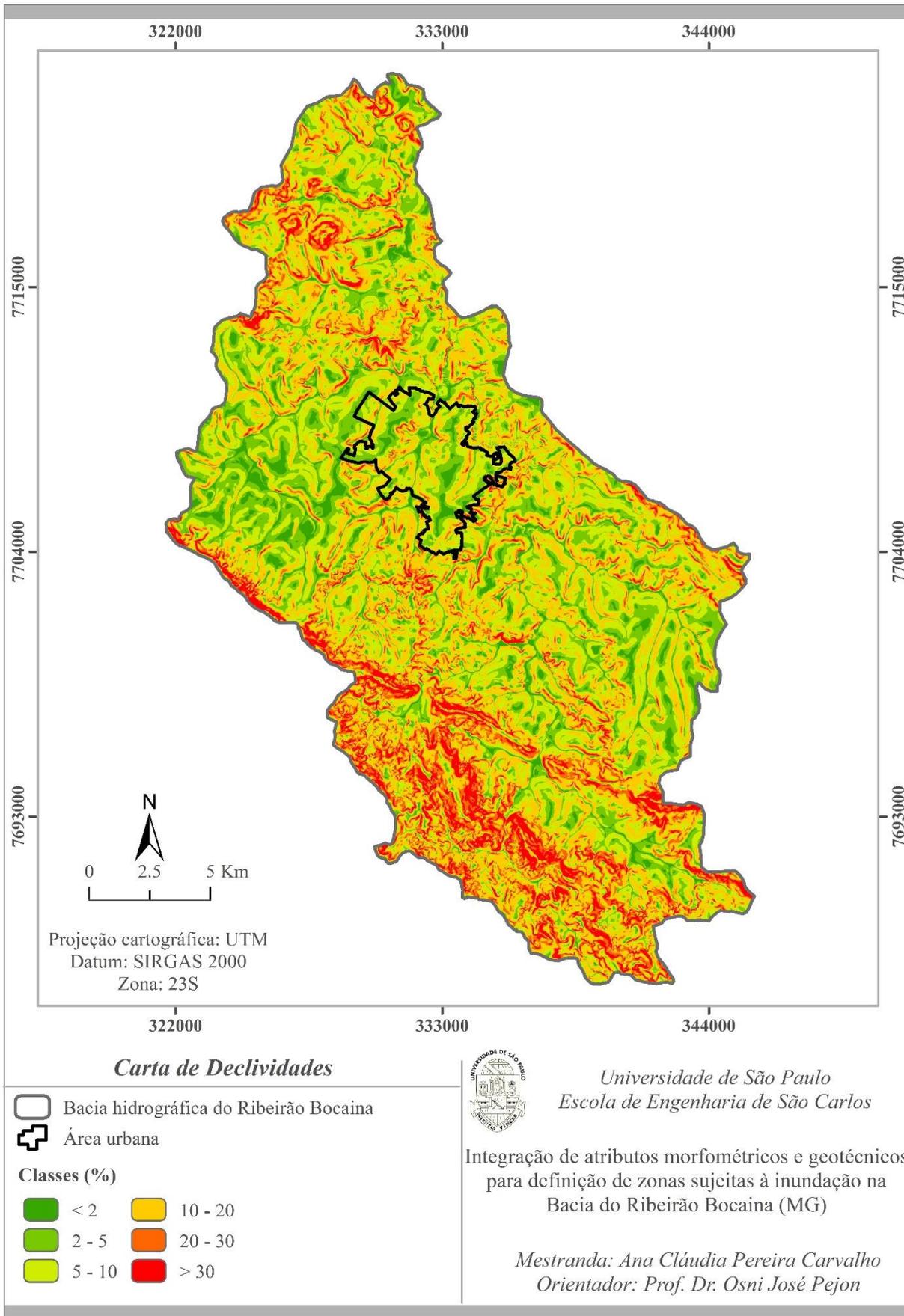
Ressalta-se que as duas cartas de declividades foram classificadas segundo a definição do Instituto Geológico (1993). A Figura 37 apresenta as porcentagens de cada classe referente a declividade da bacia hidrográfica. As áreas com menor declividade (< 2% e 2 a 5%) correspondem em número 23,4%, se tratam de locais de terrenos planos a suaves, onde o escoamento superficial é muito lento a médio, sendo locais com forte tendência a inundações.

Figura 37 - Percentual de abrangência das classes de declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Os locais inclinados a muito inclinados correspondem às classes de 5 a 10% e 10 a 20%, caracterizados por apresentar relevo ondulado a colinoso, onde o escoamento superficial é de médio a rápido. Nos terrenos fortemente inclinados a íngremes, a declividade de 20 a 30% e acima de 30% correspondem a 17,37% da área total da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, onde o processo de escoamento superficial se caracteriza por ser muito rápido. A Figura 38 apresenta a Carta de Declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

Figura 38 - Carta de Declividades para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



A declividade na área urbana mantém em evidência as classes de 5 a 10% e de 10 a 20%, que correspondem a 74,17% da área urbana total. A classe acima de 30% é a de menor destaque, correspondendo a 0,12% da área. A Carta de Declividades para área urbana está apresentada na Figura 39, e a quantificação de suas respectivas classes se encontra na Figura 40.

Figura 39 - Carta de Declividades para área urbana.

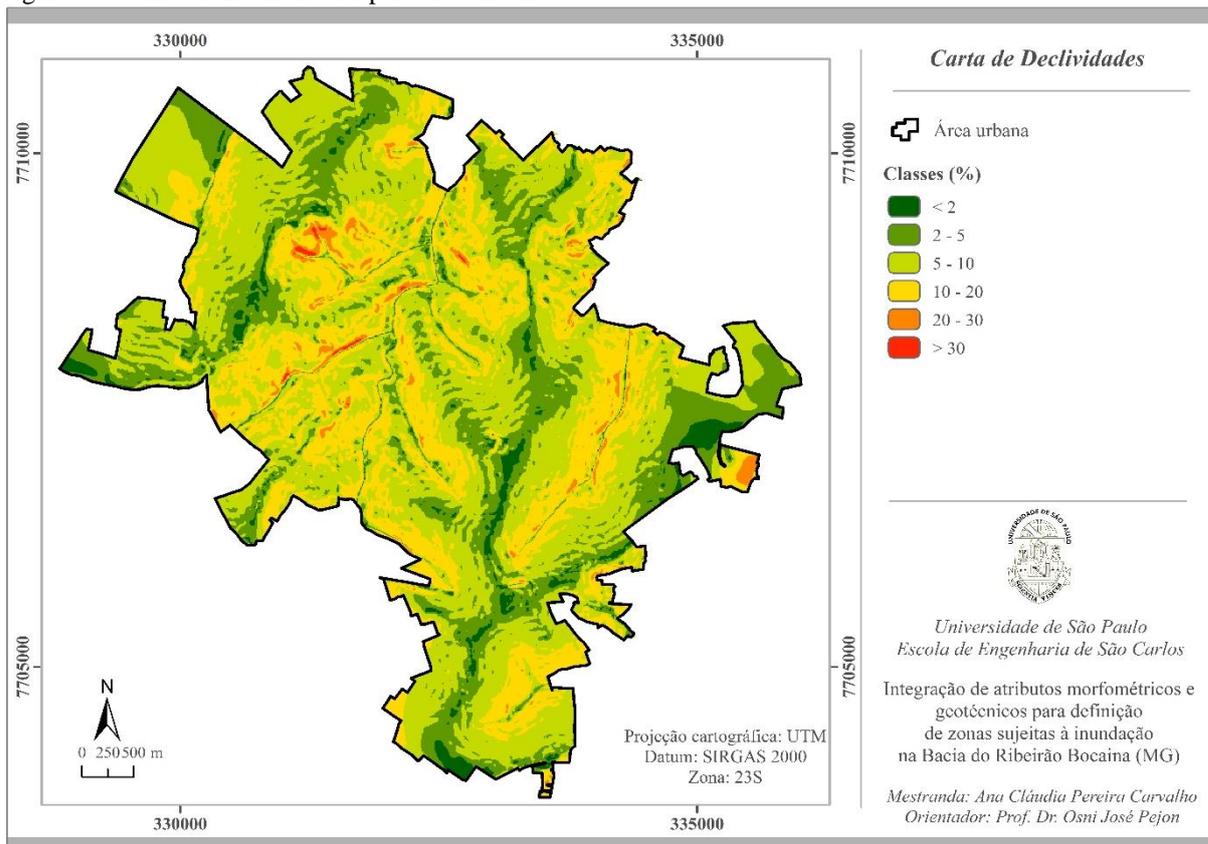
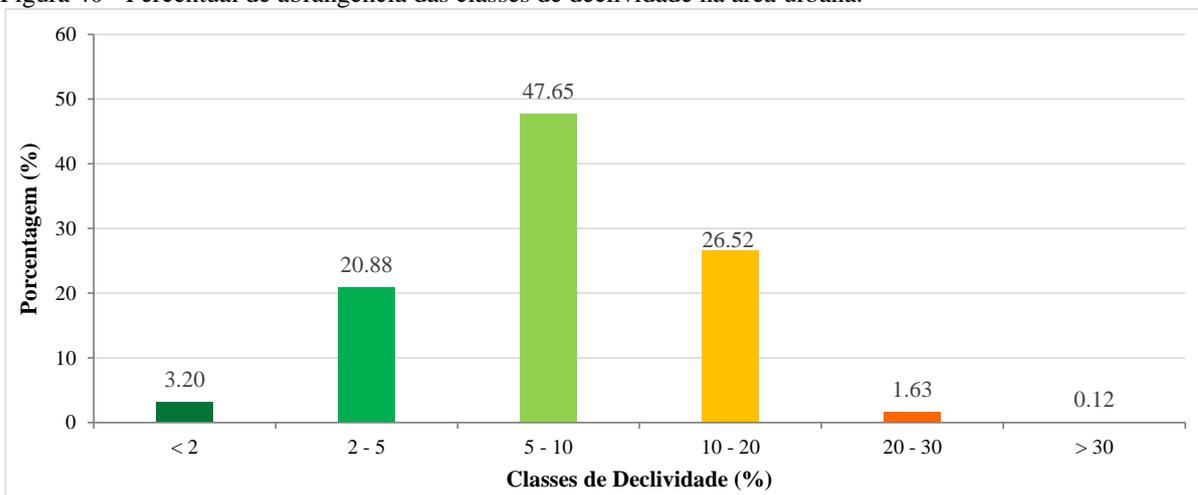


Figura 40 - Percentual de abrangência das classes de declividade na área urbana.



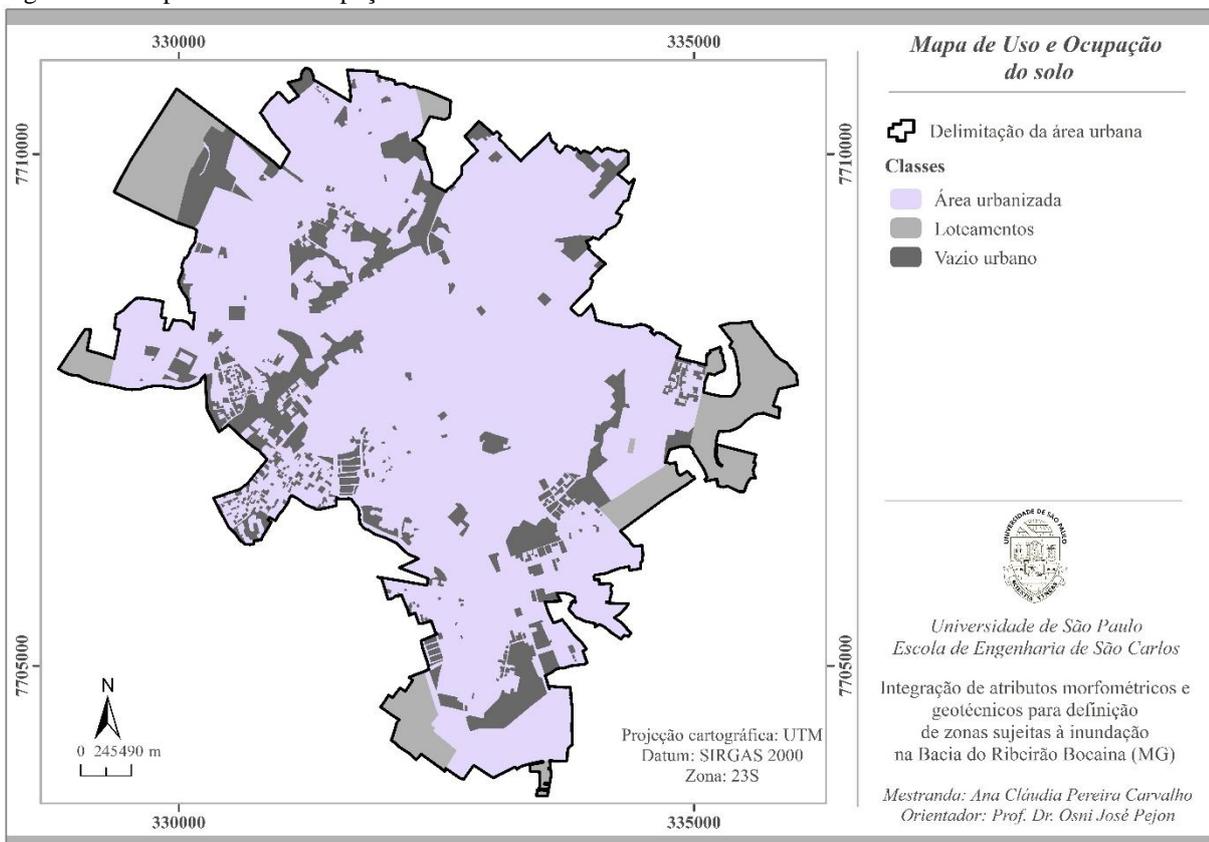
5.2 Mapa de Uso e Ocupação do solo

Com base na edição do mapa de uso e ocupação elaborado por Dias et al. (2013) foi possível obter o mapa atualizado com base nas imagens datadas de 2016. Este mapa foi elaborado para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina na escala de 1:50.000 (Figura 43) e para a área urbana do município de Passos na escala de 1:10.000 (Figura 41).

Ambos os mapas foram essenciais na elaboração da Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial. As classes de uso e ocupação do solo na área urbana, foram consideradas da seguinte forma:

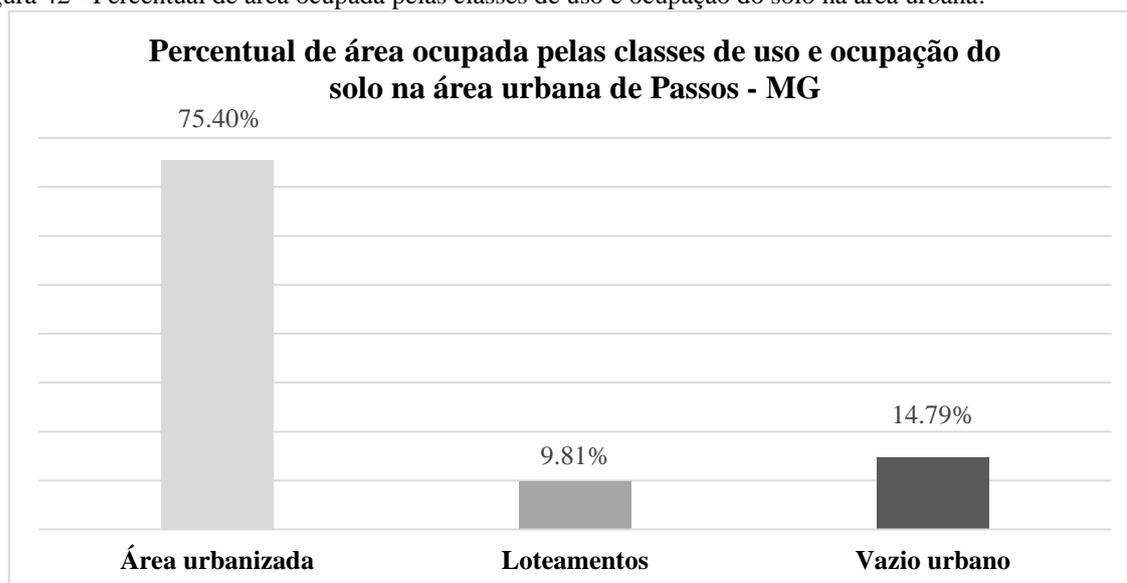
- área urbanizada: correspondente à área edificada;
- loteamentos: área ainda não edificada, mais que apresenta a implantação de novos loteamentos;
- vazio urbano: áreas em que não há previsão de ocupação urbana, como parque ecológico.

Figura 41 - Mapa de Uso e Ocupação do solo na área urbana de Passos-MG.



A Figura 42 apresenta o percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na área urbana. A área edificada corresponde a 75,40% da área total da mancha urbana, acrescida de 9,81% correspondente a locais onde foram implantados novos loteamentos, e 14,79% definem a área ocupada por vazios urbanos, caracterizados por parque e locais vazios na área urbana sem nenhuma edificação.

Figura 42 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na área urbana.

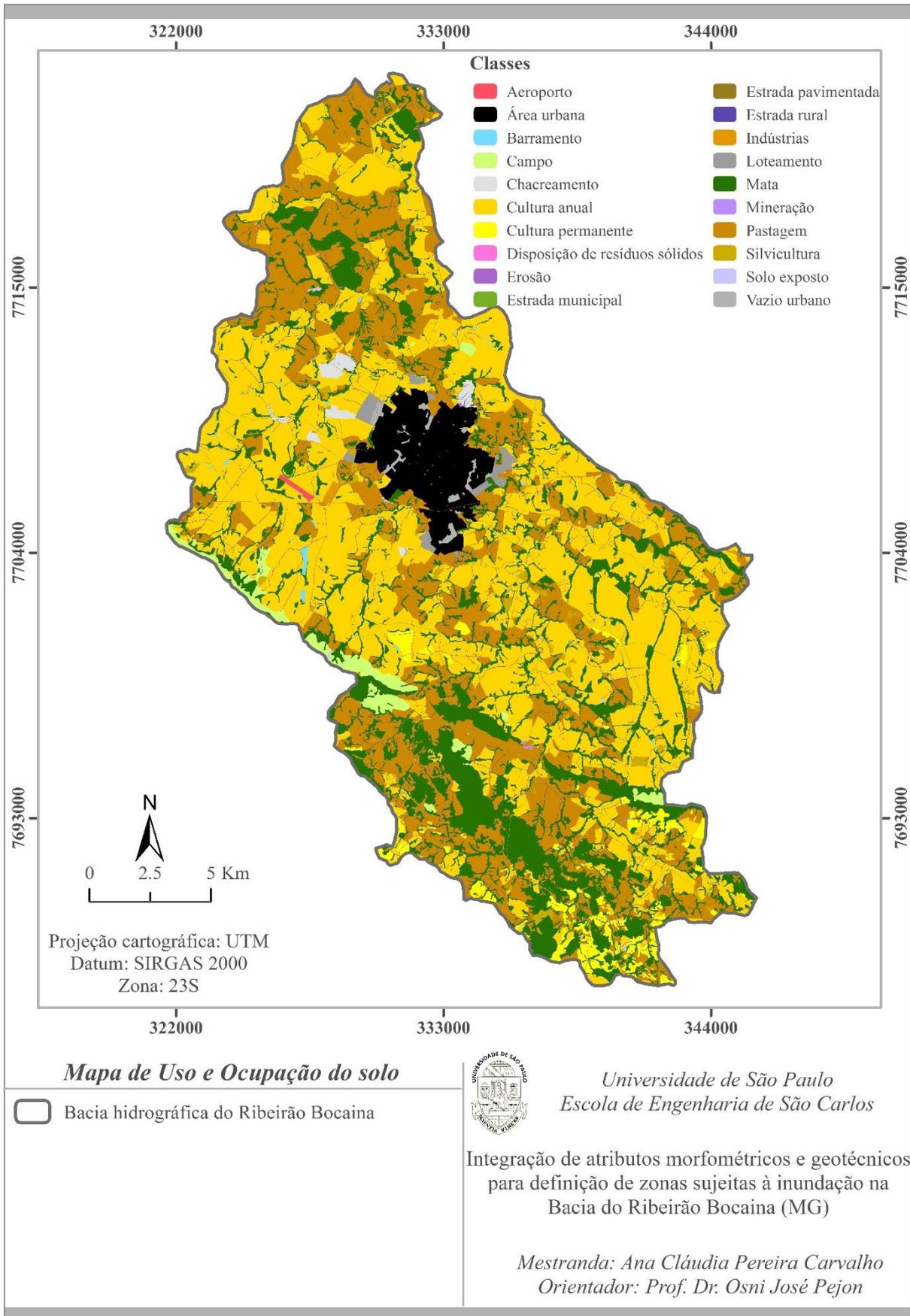


Quando se trata da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, o mapa de uso e ocupação foi classificado em 20 classes, as quais estão apresentadas e quantificadas quanto ao percentual de cada classe na Tabela 19.

Tabela 19 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

<i>Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica</i>			
Classes	%	Classes	%
<i>Aeroporto</i>	0,07	<i>Estrada pavimentada</i>	0,10
<i>Área urbana</i>	4,20	<i>Estrada rural</i>	1,01
<i>Barramento</i>	0,20	<i>Expansão urbana</i>	0,54
<i>Campo</i>	1,62	<i>Indústrias</i>	0,14
<i>Chacreamento</i>	0,53	<i>Mata</i>	20,23
<i>Cultura anual</i>	41,88	<i>Mineração</i>	0,02
<i>Cultura permanente</i>	2,06	<i>Pastagem</i>	25,55
<i>Disposição de resíduos sólidos</i>	0,01	<i>Silvicultura</i>	0,80
<i>Erosão</i>	0,01	<i>Solo exposto</i>	0,06
<i>Estrada municipal</i>	0,66	<i>Vazio urbano</i>	0,31

Figura 43 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



Fonte: Atualizado de Dias et al. (2013).

As classes do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em destaque trata-se da cultura anual (41,88%) composta basicamente por cana-de-açúcar, seguida da pastagem (25,55%) e de mata (20,23%).

5.3 Mapa de Espacialização dos furos de sondagem na área urbana

Este mapa foi elaborado com intuito de auxiliar os gestores e planejadores em suas futuras tomadas de decisão, na implantação de futuras obras na área urbana de Passos, uma vez que permite obter um conhecimento do tipo de solo com base nas informações dos furos de sondagens realizados na cidade. Neste trabalho, as sondagens que apresentaram importância na análise quanto a inundação foram aquelas que apresentaram o nível d'água.

Todas as informações coletadas nos relatórios de sondagens foram analisadas e tabuladas, bem como foi realizada a generalização dos perfis de sondagem quanto à gênese (retrabalhado/residual/saprolito), a textura e a espessura.

A Tabela 20 apresenta a setorização das sondagens realizada conforme esta generalização. A tabulação das informações referente às sondagens e o mapa de espacialização dos furos de sondagem se encontra no Apêndice A. Devido alguns furos de sondagem constarem as mesmas características físicas por estarem bem próximos, está sendo apresentado no Apêndice A, 99 sondagens dos 132 relatórios analisados.

Nota-se que a maioria dos furos de sondagens trata-se de solos residuais com a textura variando de silte arenoso a argiloso em camadas de 2 a 5 metros ou maiores que 5 metros de espessura. Há também uma presença marcante de solos residuais argilo-siltosos com camadas de 2 a 5 metros.

Tabela 20 - Informações quanto a gênese, textura e espessura dos materiais caracterizados por meio das sondagens.

<i>Gênese</i>	<i>Textura</i>		<i>Espessura (m)</i>	<i>Sondagens</i>
<i>Retrabalhado</i>	Areia		< 2	11
			2 - 5	1; 64
	Silte	arenoso	< 2	36; 64; 87
			2 - 5	11; 13; 37; 55; 93
		argiloso	3	1
	Argila siltosa		< 2	11; 64
<i>Residual</i>	Areia		< 2	10; 21; 30; 40; 47; 96
			2 - 5	3; 36; 43
			> 5	74

Tabela 20 - Informações quanto à gênese, textura e espessura dos materiais caracterizados por meio das sondagens (continuação).

<i>Gênese</i>	<i>Textura</i>		<i>Espessura (m)</i>	<i>Sondagens</i>
	Areia siltosa		< 2	28; 34; 69
			2 - 5	52; 57; 68; 79; 80; 89; 97
			> 5	59
	Silte		< 2	81
			2 - 5	31; 68; 89
	Silte	arenoso	< 2	2; 5; 7; 11; 14; 15; 19; 21; 24; 28; 32; 39; 41; 43; 52; 56; 63; 76; 83; 91; 96
			2 - 5	1; 4; 5; 6; 8; 9; 10; 13; 15; 16; 17; 18; 20; 25; 26; 27; 28; 30; 32; 35; 36; 38; 39; 40; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 50; 52; 53; 54; 55; 58; 59; 61; 65; 69; 70; 71; 75; 78; 79; 82; 83; 84; 85; 87; 88; 90; 92; 93; 94; 95
			> 5	22; 31; 34; 35; 37; 49; 51; 62; 66; 67; 68; 69; 72; 73; 77; 80; 91; 98; 99
		argiloso	< 2	6; 12; 21; 35; 43; 60; 77; 78; 83
			2 - 5	4; 11; 15; 22; 23; 25; 26; 37; 39; 42; 46; 51; 55; 56; 57; 61; 65; 66; 67; 69; 72; 80; 85; 90; 91; 93; 97; 99
			> 5	52; 53; 73; 79; 95
	Argila		< 2	32; 55
			2 - 5	5; 28; 31; 33; 36; 39; 64
			> 5	45; 49
	Argila	arenosa	2 - 5	85
		siltosa	< 2	28; 30; 56; 87
				2 - 5
	<i>Saprolito</i>	Areia		< 2
2 - 5				5; 12; 19; 98
Areia siltosa		< 2	2; 83; 84	
		2 - 5	9; 95	
Silte		arenoso	< 2	8; 23; 33; 71
			2 - 5	16; 44; 47; 53; 81
			> 5	14; 86
		argiloso	> 5	56

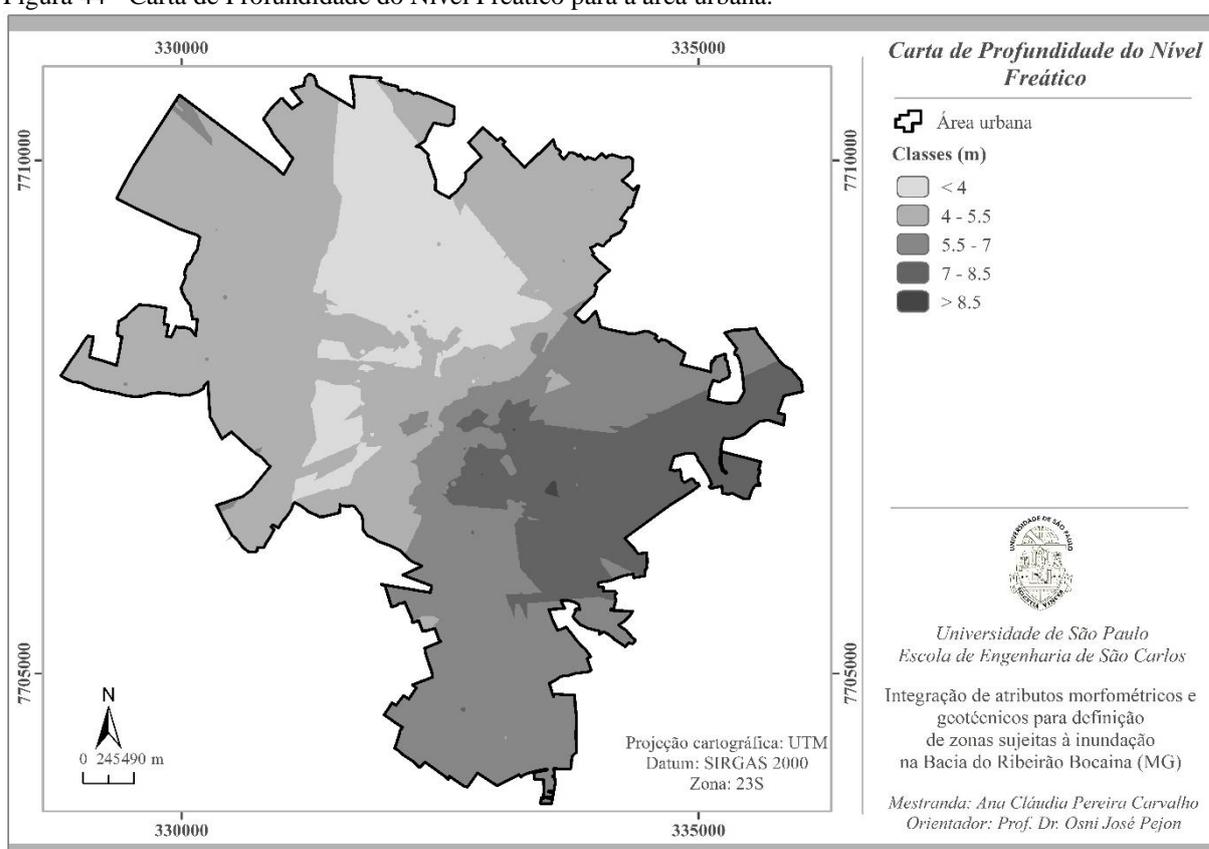
5.3.1 Profundidade do Nível Freático

A relação entre a profundidade do lençol freático e o processo de inundação baseia-se no tempo de retenção e na capacidade de infiltração do solo, pois dependendo do tipo e da espessura de camada do solo, é possível ou não que ocorra inundação. Neste trabalho, foi

considerado que quanto mais profundo for o lençol freático, menor é a condição de que a área inunde, o processo inverso ocorre caso o lençol freático esteja mais superficial.

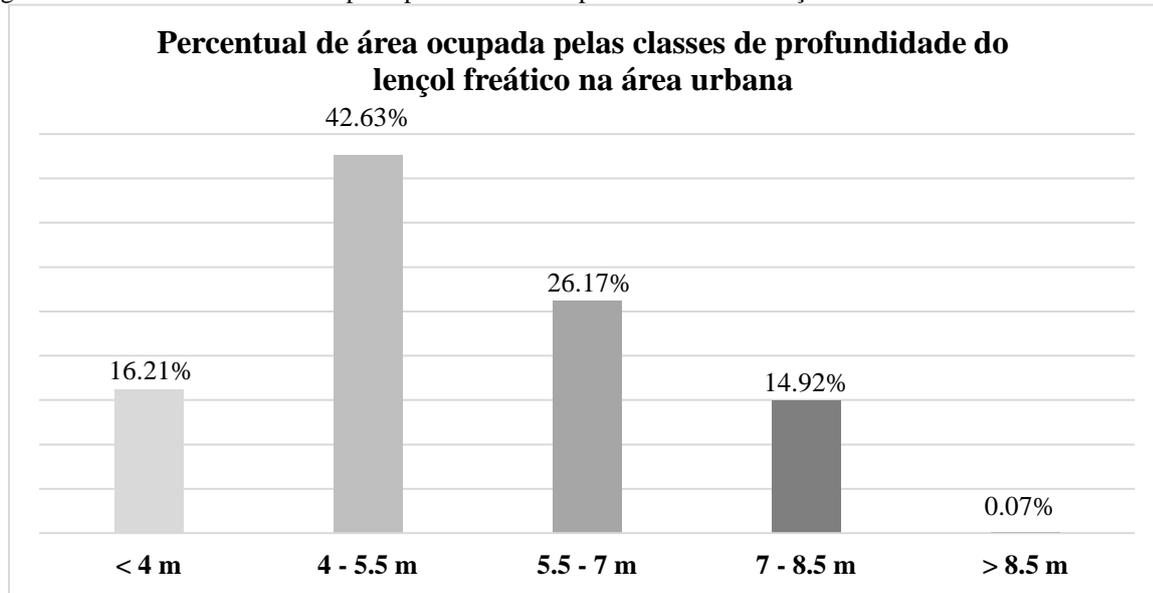
A Figura 44 apresenta a Carta de Profundidade do Nível Freático cujos procedimentos metodológicos estão descritos no item 4.2.5.1.1. Para essa interpolação foram utilizados 68 furos de sondagem que atingiram o nível d'água, antes mesmo de realizar a setorização descrita no item 4.2.5.1. Vale ressaltar que não foi considerado o período (seco ou chuvoso) que foi realizado os ensaios de sondagem a percussão.

Figura 44 - Carta de Profundidade do Nível Freático para a área urbana.



A quantificação da área ocupada pelas classes consideradas na interpolação está apresentada na Figura 45. Diante dos pontos de sondagem analisados pode-se verificar que o nível freático predominante na área urbana varia de 4 a 5,5 metros de profundidade.

Figura 45 - Percentual de área ocupada pelas classes de profundidade do lençol freático na área urbana.



5.4 Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial

As Cartas de Potencial ao Escoamento superficial foram geradas com base nos pesos atribuídos para cada plano de informação utilizado (item 4.2.5.5). O resultado deste procedimento caracteriza o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina de forma qualitativa, assim, quanto menor for o valor de cada pixel, conseqüentemente, menor é a velocidade do escoamento superficial e maior será a infiltração. Foram geradas duas cartas, uma considera apenas aspectos do meio físico, enquanto que a outra considera não só o meio físico, mas também o antrópico.

As matrizes AHP elaboradas estão apresentadas nos Quadros 1 e 2 e apresentam os pesos atribuídos aos planos de informação utilizados para a elaboração deste documento final. As demais matrizes que foram elaboradas para cada um dos planos de informação se encontram nos itens 5.4.1.1 a 5.4.1.5.

Considerando apenas o meio físico, a declividade foi considerada como o atributo de maior importância no escoamento superficial, o peso calculado com a matriz AHP foi de 48%, os outros atributos, materiais inconsolidados, densidade hidrográfica e geologia, representam respectivamente os pesos de 23%, 17,5% e 11,5%. Ao analisar o uso e ocupação do solo em conjunto com os atributos do meio físico, nota-se que os fatores que apresentam maior influência no processo de escoamento são a declividade (36%) e o próprio uso do solo (25%). Aos materiais inconsolidados, à densidade hidrográfica, e à geologia, foram considerados respectivamente, os pesos 17%, 13% e 9%.

Quadro 1 - Matriz AHP de atribuição de pesos para atributos do meio físico.

	<i>Geologia</i>	<i>Densidade hidrográfica</i>	<i>Materiais inconsolidados</i>	<i>Declividade</i>	
<i>Geologia</i>	1	2/3	1/2	1/4	
<i>Densidade hidrográfica</i>	1,5	1	5/6	1/3	
<i>Materiais inconsolidados</i>	2,0	1,2	1	1/2	
<i>Declividade</i>	4,0	3,0	2,0	1	
SOMA	8,50	5,87	4,33	2,08	
<i>Matriz normalizada</i>					<i>Auto Vetor</i>
<i>Geologia</i>	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12
<i>Densidade hidrográfica</i>	0,18	0,17	0,19	0,16	0,17
<i>Materiais inconsolidados</i>	0,24	0,20	0,23	0,24	0,23
<i>Declividade</i>	0,47	0,51	0,46	0,48	0,48
<i>Número de atributos</i>				4	
<i>$\lambda_{\text{máx}}$</i>				4,006	
<i>IC</i>				0,0018	
<i>R</i>				0,0020 (0,20%)	
<i>IR</i>				0,90	

Quadro 2 - Matriz AHP de atribuição de pesos para atributos do meio físico e uso e ocupação.

	<i>Geologia</i>	<i>Densidade hidrográfica</i>	<i>Materiais inconsolidados</i>	<i>Uso e ocupação</i>	<i>Declividade</i>
<i>Geologia</i>	1	2/3	1/2	1/3	1/4
<i>Densidade hidrográfica</i>	1,5	1	5/6	1/2	1/3
<i>Materiais inconsolidados</i>	2	1,2	1	2/3	1/2
<i>Uso e ocupação</i>	3	2	1,5	1	2/3
<i>Declividade</i>	4	3	2	1,5	1
SOMA	11,50	7,87	5,83	4,00	2,75
<i>Matriz normalizada</i>					<i>Auto Vetor</i>
<i>Geologia</i>	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09
<i>Densidade hidrográfica</i>	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13
<i>Materiais inconsolidados</i>	0,17	0,15	0,17	0,17	0,17
<i>Uso e ocupação</i>	0,26	0,25	0,26	0,25	0,25
<i>Declividade</i>	0,35	0,38	0,34	0,38	0,36
<i>Número de atributos</i>				5	
<i>$\lambda_{\text{máx}}$</i>				5,005	
<i>IC</i>				0,0013	
<i>R</i>				0,0012 (0,12%)	
<i>IR</i>				1,12	

5.4.1 Análise realizada para cada plano de informação

Neste item está apresentada a análise para cada plano de informação utilizado para a elaboração destas cartas, que são: declividade; densidade de drenagem; geologia; materiais inconsolidados considerando apenas a textura; e, uso e ocupação de solo.

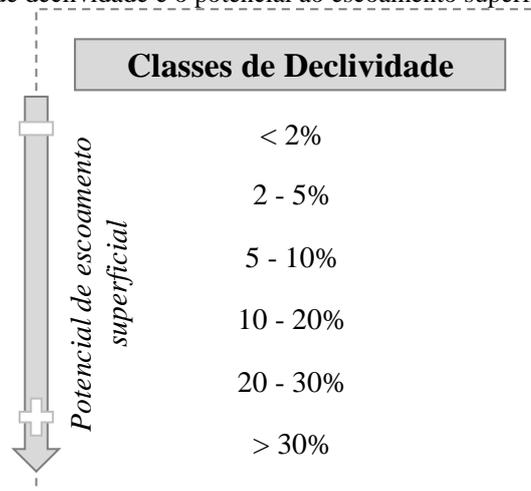
5.4.1.1 Declividade

Segundo Tonello et al. (2006) conhecer a declividade de uma bacia hidrográfica é essencial para planejar, a fim de garantir não só o cumprimento da legislação, pois esta atua também em um papel importante na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, além de outros processos. Fatores como a falta de cobertura vegetal, tipo de solo, intensidade e duração de chuvas, em associação com alta declividade, permite a obtenção de uma maior velocidade de escoamento, conseqüentemente, menor quantidade de água armazenada no solo, o resultado disto são inundações mais evidentes, onde a tendência é a degradação da bacia.

Os mesmos autores evidenciam que a magnitude dos picos de inundação ou menor capacidade de infiltração de água no solo dependem diretamente do quão rápido se dá o escoamento superficial, visto que este apresenta relação direta com o relevo.

A Figura 46 apresenta a relação das classes de declividade utilizadas com o potencial ao escoamento superficial. Para este trabalho, a carta de declividade foi classificada em seis classes que variam de < 2% a > 30%.

Figura 46 - Relação das classes de declividade e o potencial ao escoamento superficial.



O Quadro 3 apresenta a atribuição de pesos para essas seis classes de declividade levando em consideração a ocorrência do processo natural de escoamento superficial.

Quadro 3 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de declividade.

Declividade	<2%	2-5%	5-10%	10-20%	20-30%	>30%
<2%	1	1/2	1/3	1/5	1/8	0,1
2-5%	2	1	2/3	2/5	1/4	1/5
5-10%	3	1,5	1	2/3	2/5	1/3
10-20%	5	2,5	1,5	1	2/3	1/2
20-30%	8	4	2,5	1,5	1	2/3
>30%	10	5	3	2	1,5	1
SOMA	29,00	14,50	9,00	5,77	3,94	2,80

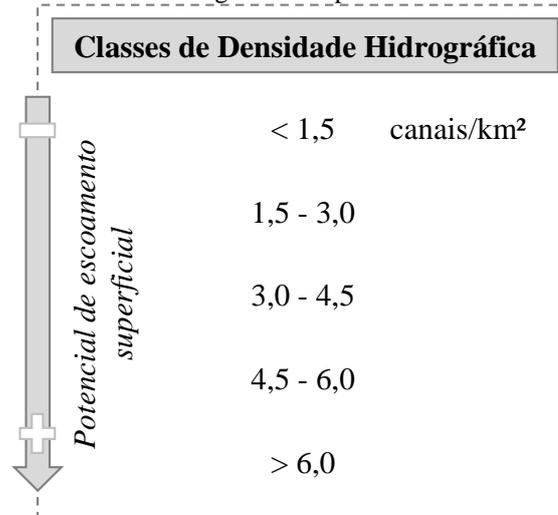
Matriz Normalizada							
Declividade	<2%	2-5%	5-10%	10-20%	20-30%	>30%	Auto Vetor
<2%	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,035
2-5%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,068
5-10%	0,11	0,10	0,11	0,12	0,10	0,12	0,110
10-20%	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,173
20-30%	0,29	0,28	0,28	0,26	0,25	0,24	0,267
>30%	0,32	0,34	0,33	0,35	0,38	0,36	0,347
Número de atributos							6
$\lambda_{m\acute{a}x}$							6,008
IC							0,002
R							0,0013 (0,13%)
IR							1,24

5.4.1.2 Densidade hidrográfica

Um parâmetro de grande importância sobre o potencial de escoamento superficial é a densidade hidrográfica, que conceitua o grau de dissecação topográfica e a quantidade de canais de drenagem com disponibilidade ao escoamento superficial. Deste modo, a densidade hidrográfica apresenta o controle sobre a capacidade de infiltração de água na área considerando os vários tipos de litologia, uso e ocupação do solo, clima (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A Figura 47 apresenta a relação das classes de densidade hidrográfica e o processo de escoamento superficial.

Figura 47 - Relação das classes de densidade hidrográfica e o potencial ao escoamento superficial.



A Figura 48 apresenta a quantificação de área ocupada pelas classes de densidade hidrográfica. Na bacia, a densidade hidrográfica que se apresenta em evidência é de 1,5 a 3,0 canais por quilômetro quadrado, com um percentual em área de 44,09%. A Figura 49 apresenta a Carta de Densidade Hidrográfica elaborada para a geração da Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial.

Figura 48 - Percentual de área ocupada pelas classes de densidade hidrográfica da bacia.

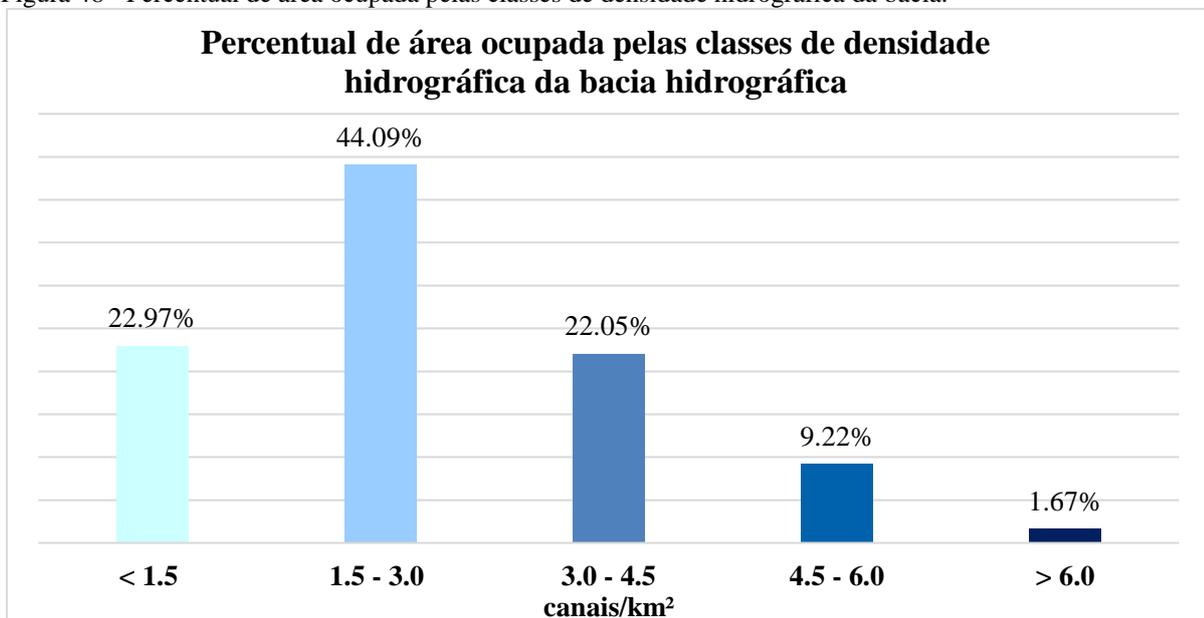
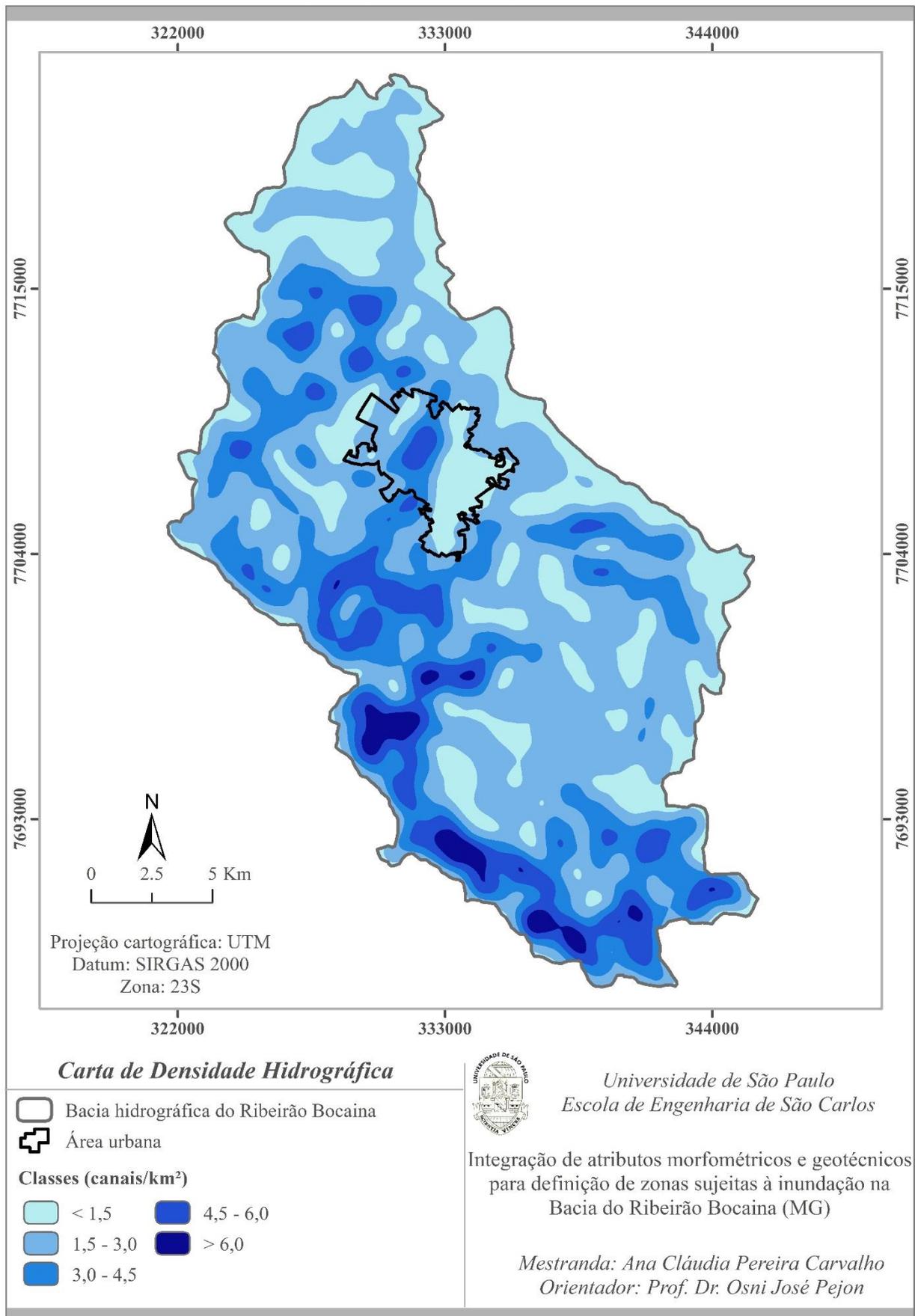


Figura 49 - Carta da Densidade Hidrográfica para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.



O Quadro 4 apresenta a atribuição de pesos para cada classe referente a densidade hidrográfica, que varia de < 1,5 a > 6 canais por km².

Quadro 4 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de densidade hidrográfica.

Densidade hidrográfica	< 1,50	1,5 - 3,0	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	> 6,0
< 1,50	1	1/2	1/3	1/6	1/7
1,5 - 3,0	2	1	2/3	1/3	2/7
3,0 - 4,5	3	1,5	1	1/2	2/5
4,5 - 6,0	6	3	2	1	2/3
> 6,0	7	3,50	2,5	1,5	1
SOMA	19,00	9,50	6,50	3,50	2,50

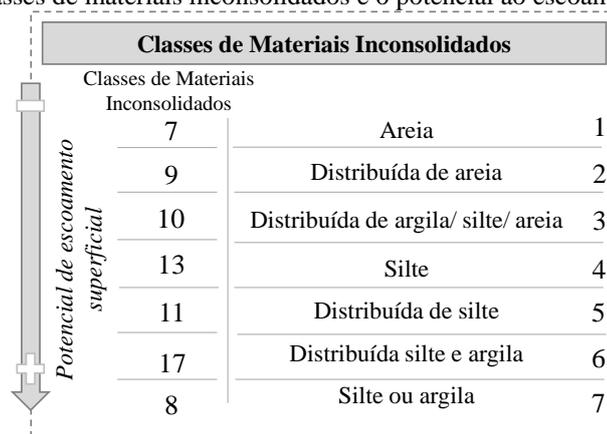
Matriz Normalizada						
Densidade hidrográfica	< 1,5	1,5 - 3,0	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	Auto Vetor
< 1,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
1,5 - 3,0	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11
3,0 - 4,5	0,16	0,16	0,15	0,14	0,16	0,15
4,5 - 6,0	0,32	0,32	0,31	0,29	0,27	0,30
> 6,0	0,37	0,37	0,38	0,43	0,40	0,39
Número de atributos						5
$\lambda_{\text{máx}}$						5,009
IC						0,002
R						0,0021 (0,21%)
IR						1,12

5.4.1.3 Materiais Inconsolidados

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004), os materiais inconsolidados são considerados materiais geológicos residuais e retrabalhados, presentes desde a rocha são até aflorar na superfície. O tipo de solo atua diretamente tanto na capacidade de infiltração como no processo de escoamento superficial da água (MAGALHÃES et al., 2011), ou seja, quanto mais argiloso for o solo maior a tendência ao escoamento superficial.

Collares (2013) utilizou o Mapa de Materiais Inconsolidados (Figura 26) elaborado por Magri et al. (2013) para definir as unidades texturais. A Figura 50 apresenta a relação entre as unidades texturais presentes na área de estudo e o potencial ao escoamento superficial.

Figura 50 - Relação das classes de materiais inconsolidados e o potencial ao escoamento superficial.



O Quadro 5 apresenta as classes de materiais inconsolidados levando em consideração apenas a textura. Vale ressaltar que as classes que apresentam a palavra “Distribuída”, conforme o Mapa de Materiais Inconsolidados de Magri et al. (2013), indicam a predominância da fração granulométrica referida primeiro sobre as demais.

Quadro 5 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de materiais inconsolidados.

Materiais Inconsolidados	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1/2	1/3	1/5	1/7	1/7	1/9
2	2	1	1/3	1/3	1/5	1/6	1/9
3	3	3	1	1/3	1/3	1/3	1/5
4	5	3	3	1	1/3	1/3	1/6
5	7	5	3	3	1	1	1/3
6	7	6	3	3	1	1	1
7	9	9	5	6	3	1	1
SOMA	34,00	27,50	15,67	13,87	6,01	3,98	2,92

Matriz Normalizada								
Materiais Incons.	1	2	3	4	5	6	7	Auto Vetor
1	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	0,026
2	0,06	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,036
3	0,09	0,11	0,06	0,02	0,06	0,08	0,07	0,070
4	0,15	0,11	0,19	0,07	0,06	0,08	0,06	0,103
5	0,21	0,18	0,19	0,22	0,17	0,25	0,11	0,190
6	0,21	0,22	0,19	0,22	0,17	0,25	0,34	0,228
7	0,26	0,33	0,32	0,43	0,50	0,25	0,34	0,347
Número de atributos					7			
$\lambda_{\text{máx}}$					7,4590			
IC					0,076			
R					0,058 (5,8%)			
IR					1,32			

5.4.1.4 Uso e ocupação do solo

O escoamento superficial pode sofrer influência de uma série de fatores, dentre eles o uso e ocupação do solo. Um alto grau de compactação do solo ou a falta de cobertura vegetal propiciará uma maior taxa de escoamento. Tanto em áreas urbanas como rurais, as ações antrópicas no uso e ocupação do solo também apresentam interferência direta na quantidade do escoamento, podendo alterar as vazões mínimas e máximas dos mananciais (MAUS; RIGHES; BURIOL, 2007).

O Quadro 6 apresenta a atribuição de pesos para as classes de uso e ocupação do solo da área de estudo. Para facilitar a adoção de pesos foram agrupadas algumas classes, como mostra a Figura 51.

Figura 51 - Relação entre as classes de uso e ocupação do solo e o potencial ao escoamento superficial.

Classes de Uso e ocupação do solo	
Barramento	1
Mata e Silvicultura	2
Campo e Pastagem	3
Cultura Anual e Permanente	4
Disposição de resíduos sólidos, Erosão, Estradas (municipal, pavimentada e rural), Mineração e Solo exposto	5
Vazio urbano, Chacreamento e Expansão urbana	6
Aeroporto, Área urbana, Indústrias	7

Quadro 6 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de uso e ocupação do solo.

Uso e Ocupação	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1/3	1/4	1/6	1/7	1/9
2	1	1	1/2	1/4	1/5	1/6	1/9
3	3	2	1	1/3	1/5	1/6	1/9
4	4	4	3	1	1/2	1/4	1/5
5	6	5	5	2	1	1/2	1/3
6	7	6	6	4	2	1	2
7	9	9	9	5	3	1/2	1
SOMA	31,00	28,00	24,83	12,83	7,07	2,73	3,87

Quadro 6 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de uso e ocupação do solo (continuação).

<i>Matriz Normalizada</i>								
<i>Uso e Ocupação</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>Auto Vetor</i>
<i>1</i>	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,05	0,03	0,029
<i>2</i>	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,033
<i>3</i>	0,10	0,07	0,04	0,03	0,03	0,06	0,03	0,051
<i>4</i>	0,13	0,14	0,12	0,08	0,07	0,09	0,05	0,097
<i>5</i>	0,19	0,18	0,20	0,16	0,14	0,18	0,09	0,163
<i>6</i>	0,23	0,21	0,24	0,31	0,28	0,37	0,52	0,310
<i>7</i>	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,18	0,26	0,317
<i>Número de atributos</i>						<i>7</i>		
<i>$\lambda_{máx}$</i>						<i>7,5447</i>		
<i>IC</i>						<i>0,091</i>		
<i>R</i>						<i>0,069 (6,9%)</i>		
<i>IR</i>						<i>1,32</i>		

5.4.1.5 Geologia

A distribuição de como se encontram as rochas e o solo é de grande importância para se analisar e avaliar o processo de escoamento superficial, bem como, a capacidade de infiltração de cada local, pois cada região pode responder de forma diferente frente as suas especificidades. Diante disto, pode-se afirmar que de uma maneira geral as rochas sedimentares tendem a apresentar uma capacidade de infiltração maior quando comparadas com rochas ígneas e metamórficas. A Figura 52 mostra a relação das 11 unidades geológicas presentes na área de estudo com o potencial ao escoamento superficial.

Figura 52 - Relação das classes de geologia e o potencial ao escoamento superficial.

Classes de Geologia	
11 Unidades Geológicas	
1	Coberturas Aluvionares
2	Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas associadas aos solos latossolo vermelho e vermelho amarelo*
3	Quartzito com intercalações de mica-xisto
4	Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas associadas aos solos argissolos vermelhos amarelos*
5	Xisto com intercalações de quartzito, gnaiss e lentes de mármore
6	Anfibolitos e gnaiss dioríticos
7	Migmatitos e granitóides gnaissificados, graníticos e granodioríticos, localmente com lentes dioríticas, anfíbolíticas e ultramáficas
8	Gnaiss com intercalações de xisto, quartzito, anfíbolito
9	Gnaiss e migmatitos com intercalações de anfíbolitos ultramáficas e metassedimentos
10	Gnaiss migmatítico
11	Rochas ultramáficas com intercalações de gnaiss e metassedimentos

Para atribuição dos pesos considerou-se as classes dos planos de informação que contribuem mais ou menos para a ocorrência do escoamento superficial, além disso, foram agrupadas algumas dessas classes para facilitar a adoção dos pesos como apresenta o Quadro 7.

Quadro 7 - Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de geologia.

Geologia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>1</i>	1	1	1	2/3	1/2	1/2	1/2	2/5	2/5	2/5	2/5
<i>2</i>	1	1	1	2/3	1/2	1/2	1/2	2/5	2/5	2/5	2/5
<i>3</i>	1	1	1	2/3	1/2	1/2	1/2	2/5	2/5	2/5	2/5
<i>4</i>	1,5	1,5	1,5	1	2/3	2/3	2/3	1/2	1/2	1/2	1/2
<i>5</i>	2	2	2	1,5	1	1	1	2/3	2/3	2/3	2/3
<i>6</i>	2	2	2	1,5	1	1	1	2/3	2/3	2/3	2/3
<i>7</i>	2	2	2	1,5	1	1	1	2/3	2/3	2/3	2/3
<i>8</i>	2,5	2,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1
<i>9</i>	2,5	2,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1
<i>10</i>	2,5	2,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1
<i>11</i>	2,5	2,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1
SOMA	20,50	20,50	20,50	15,50	11,17	11,17	11,17	7,70	7,70	7,70	7,70

Matriz Normalizada												
Geologia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Auto Vetor
<i>1</i>	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>2</i>	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>3</i>	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>4</i>	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
<i>5</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<i>6</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<i>7</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<i>8</i>	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
<i>9</i>	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
<i>10</i>	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
<i>11</i>	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Número de atributos								11				
$\lambda_{máx}$								11,018				
IC								0,002				
R								0,0012 (0,12%)				
IR								1,51				

5.4.2 Sobreposição dos planos de informação e quantificação das classes de potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento superficial

Após a avaliação e atribuição de pesos para cada um dos planos de informação, foi realizada a sobreposição destes de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2.5.5. Para a classificação das cartas foi utilizado o método Natural Breaks que visa buscar diferenças estatisticamente relevantes entre os pares adjacentes aos dados, assim, baseia-se em agrupamentos naturais inerentes aos dados (ESRI, 2016). A Figura 54 apresenta tanto a carta que considerou apenas o meio físico quanto a que considerou em conjunto o meio físico e o antrópico.

A Carta de Potencial dos Meios Físico e Antrópico apresenta claramente a influência de uma área impermeabilizada no processo de escoamento superficial, perceptível onde está destacada a área urbana do município de Passos. Sem a adição do uso e ocupação o local onde está situada a área urbana é classificado como muito baixo a baixo potencial, com pequena ocorrência da classe médio e alto potencial, já quando se considera o meio antrópico ficam evidenciadas as classes de médio a um potencial muito alto ao escoamento superficial.

No espaço urbano, a concentração de edificações e pavimentações alteram significativamente tanto a superfície topográfica, como a dinâmica hidrológica (GURNELL; LEE; SOUCH, 2007, POFF; BLEDSOE; CUHACIYAN, 2006). Devido ao processo de urbanização, a impermeabilização do solo pode acontecer de maneira total ou parcial, assim, não possibilita a infiltração da água da chuva de forma eficiente, resultando no acréscimo de volume e o aumento da velocidade do escoamento superficial, que se agrupam nos arruamentos e galerias de águas pluviais (ARNOLD; GIBBONS, 1996).

A Figura 53 apresenta o percentual de áreas em cada classe, distribuídas na bacia hidrográfica, considerando tanto os atributos do meio físico como do meio antrópico. As classes muito baixo a baixo potencial ocorrem em 46,13% da área, considerando apenas aspectos do meio físico e 51,60% quando se considera também o meio antrópico. A classe médio potencial não variou muito, ao levar em consideração somente o meio físico (26,82%) e a adição do meio antrópico (24,43%).

Por outro lado, na cabeceira da bacia, em que as altas declividades tendem a aumentar o potencial de escoamento superficial, a consideração do uso do terreno, principalmente devido à presença de vegetação, promoveu uma diminuição nos potenciais alto e muito alto, sem considerar o uso do solo o percentual de área ocupada por essas classes era de 27,05%,

com o uso e ocupação diminuiu para 23,97%. Assim sendo, apesar da influência em áreas localizadas, não houve modificações significativas nos percentuais das diversas classes de escoamento superficial na bacia como um todo.

Figura 53 - Percentual de área ocupada pelas classes de potencial do meio físico ao escoamento superficial na bacia hidrográfica.

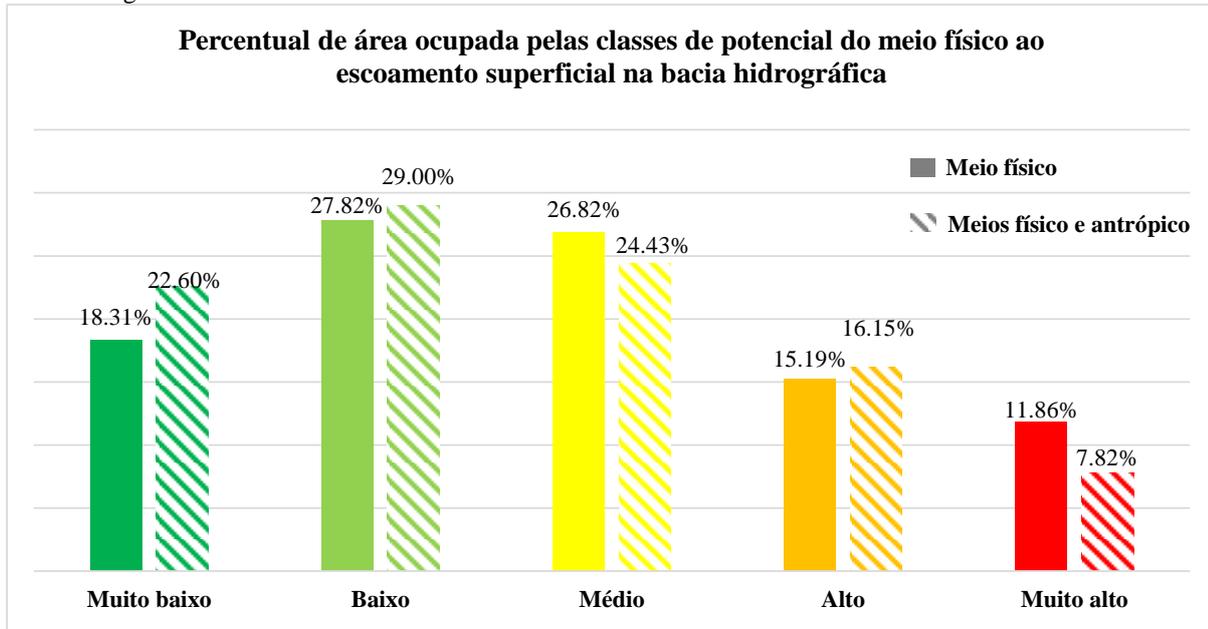
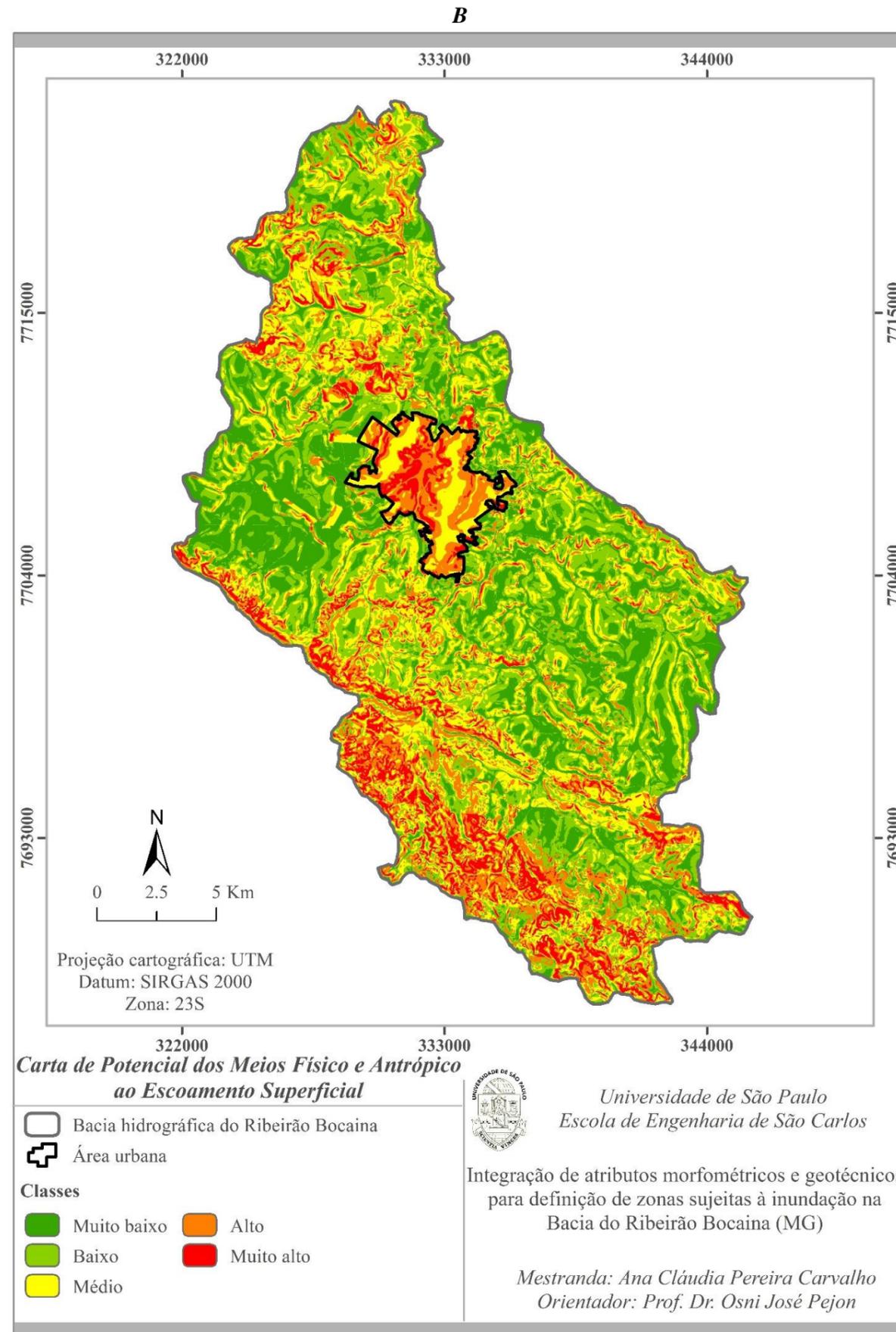
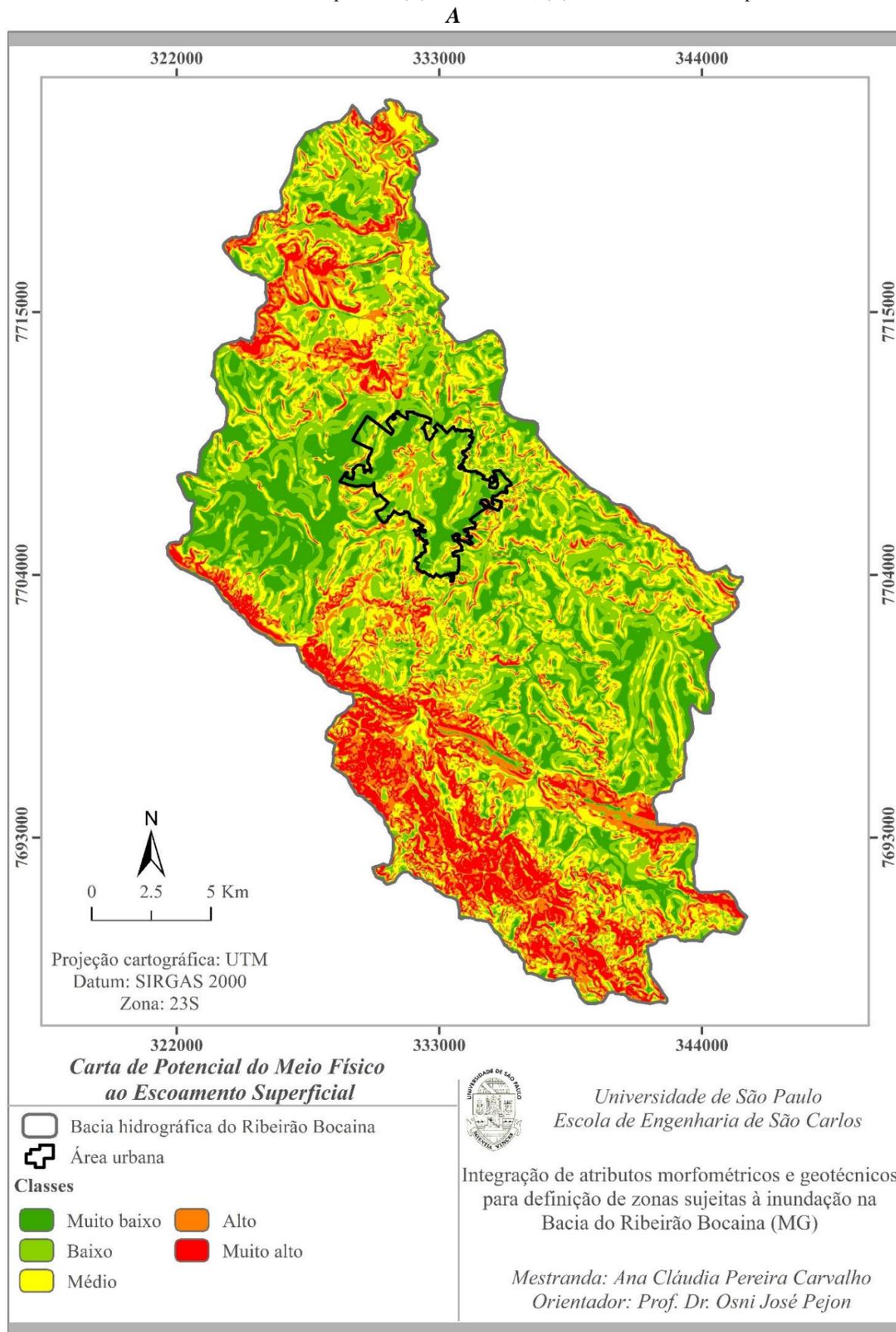


Figura 54 - Cartas de Potencial ao Escoamento Superficial (A) - Meio Físico; (B) - Meios Físico e Antrópico.



5.5 Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina

Souza (2005) define a suscetibilidade morfométrica de bacias hidrográficas como responsável pelo comportamento geométrico das bacias nas ocorrências de problemas, como por exemplo, as inundações, entre tantos outros. Um dos processos mais usuais que são realizados em bacias hidrográficas para análises hidrológicas e ambientais é a caracterização morfométrica que apresenta a finalidade de esclarecer as diversas questões referentes ao entendimento da dinâmica ambiental tanto local e como regional (TEODORO et al., 2007).

Os parâmetros morfométricos tem forte influência no processo de inundação uma vez que correlacionam as características físicas da bacia hidrográfica. Os autores Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011) exprimem a relação dos índices morfométricos com o processo de inundação como está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros morfométricos e sua relação com o processo de inundação.

Parâmetros morfométricos	Relação com o processo de inundação
<i>Área</i>	Consiste em uma variável de extrema importância, pois é através dela que se pode medir o volume de água que é escoado pela bacia. Assim, quanto maior for a área da bacia maior será o volume de água que fluirá até atingir o exutório, aumentando o efeito das inundações no seu interior e a sua jusante.
<i>Densidade de Drenagem</i>	Quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, favorecendo as inundações a jusante da bacia. Em áreas cujo substrato rochoso é permeável, a capacidade de formação de canais é pequena, conseqüentemente, menor é a densidade de drenagem.
<i>Índice de circularidade</i>	Este parâmetro indica que quanto mais circular for a forma da bacia, maior a retenção de água na mesma, favorecendo a suscetibilidade às inundações na bacia, bem como, a redução dos efeitos a jusante.
<i>Relação de Relevô</i>	Quanto maior for a relação de relevô, mais rápido é o escoamento, reduzindo o acúmulo de água na bacia. Pois, o fluxo de água em alta velocidade pode intensificar os efeitos a jusante da bacia.
<i>Sinuosidade</i>	Quanto maior for este parâmetro, menor é a velocidade do escoamento superficial e, assim, menor é a interferência nas inundações a jusante da bacia, porém maior é a retenção de água no interior da mesma.

Fonte: Adaptado de Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011).

A bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina foi compartimentada pelo Projeto Grande Minas em 48 sub-bacias hidrográficas, as quais foram classificadas quanto à suscetibilidade morfométrica à inundação (Figura 55). Para obter a classificação foi necessário realizar o cálculo de cinco parâmetros morfométricos (área de contribuição, densidade de drenagem, índice de circularidade, sinuosidade, e relação de relevô).

Após a realização da classificação, pode-se afirmar que das 48 sub-bacias hidrográficas, 15 apresentam baixa suscetibilidade morfométrica à inundação, 22 estão classificadas com média suscetibilidade morfométrica e a classe de alta suscetibilidade morfométrica caracteriza 11 sub-bacias hidrográficas. A Tabela 22 apresenta a ordem de ramificação, o número de sub-bacias por ordem de ramificação, bem como o número de sub-bacias classificadas quanto à suscetibilidade morfométrica à inundação. Os índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Bocaina bem como o grau de suscetibilidade final estão apresentados nas Tabelas 23 a 26.

Tabela 22 - Ordem de ramificação, número de sub-bacia por ordem de ramificação, número de sub-bacias classificadas quanto à suscetibilidade morfométrica à inundação.

Ordem de ramificação das sub-bacias	Número de sub-bacias por ordem de ramificação	Número de sub-bacias classificadas quanto à suscetibilidade morfométrica	Classes de suscetibilidade morfométrica (GSf)
1 ^a	16	6	Baixa
		6	Média
		4	Alta
2 ^a	16	4	Baixa
		10	Média
		2	Alta
3 ^a	7	3	Baixa
		1	Média
		3	Alta
4 ^a	9	2	Baixa
		5	Média
		2	Alta
Total			48

Tabela 23 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 1º ordem do Ribeirão Bocaina.

S-Bh	AC	DD	IC	S	RR	GS - AC	GS - DD	GS - IC	GS - S	GS - RR	Soma dos parâmetros (GS)	GSf	
1	0,97	0,63	0,37	1,01	0,06	1,00	2,13	3,80	3,46	4,56	14,96	2	
2	1,85	0,85	0,34	1,01	0,13	1,39	2,68	3,41	2,38	3,76	13,62	2	
3	4,51	0,55	0,23	1,00	0,13	2,57	1,94	2,05	1,85	3,71	12,12	1	
4	2,01	0,52	0,36	1,00	0,09	1,46	1,88	3,63	1,16	4,28	12,40	1	
5	1,45	0,78	0,35	1,00	0,10	1,21	2,51	3,49	1,99	4,04	13,24	2	
6	6,46	0,90	0,21	1,00	0,06	3,44	2,82	1,80	1,77	4,59	14,41	2	
7	9,99	0,90	0,15	1,01	0,03	5,00	2,81	0,99	2,17	4,96	15,93	3	
8	2,73	0,50	0,31	1,00	0,11	1,78	1,82	2,97	1,20	3,94	11,71	1	
9	2,17	0,17	0,30	1,02	0,13	1,53	1,00	2,93	5,95	3,73	15,13	2	
10	3,56	0,84	0,34	1,01	0,07	2,15	2,67	3,36	3,29	4,53	16,00	3	
11	2,05	0,53	0,47	1,00	0,06	1,48	1,89	5,05	1,85	4,58	14,84	2	
12	1,01	1,17	0,43	1,01	0,05	1,02	3,48	4,47	3,22	4,70	16,88	3	
13	1,21	1,78	0,39	1,01	0,06	1,11	4,99	4,02	2,24	4,59	16,95	3	
14	1,61	0,86	0,35	1,00	0,15	1,28	2,70	3,49	1,71	3,42	12,61	1	
15	2,70	0,74	0,32	1,01	0,24	1,77	2,41	3,15	2,31	2,35	11,99	1	
16	1,87	1,08	0,43	1,01	0,34	1,40	3,27	4,54	2,70	0,97	12,88	1	
Legenda													
S-Bh	Sub-bacia hidrográfica											GS-AC	Grau de Suscetibilidade calculado para a área de contribuição
AC	Área de Contribuição											GS-DD	Grau de Suscetibilidade calculado para a densidade de drenagem
DD	Densidade de Drenagem											GS-IC	Grau de Suscetibilidade calculado para a índice de circularidade
IC	Índice de Circularidade											GS-S	Grau de Suscetibilidade calculado para a sinuosidade
S	Sinuosidade											GS-RR	Grau de Suscetibilidade calculado para a relação de relevo
RR	Relação de Relevo											GSf	Grau de Suscetibilidade final

Xmáx	AC	DD	IC	S	RR	GS
	9,99	1,78	0,47	1,02	0,34	11,71
Xmín	0,97	0,17	0,15	1,00	0,03	16,95

Tabela 25 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 3ª ordem do Ribeirão Bocaina.

3ª ORDEM		S-Bh	AC	DD	IC	S	RR	GS - AC	GS - DD	GS - IC	GS - S	GS - RR	Soma dos parâmetros (GS)	GSf	
	33		10,31	1,24	0,67	1,03	0,04	3,80	1,89	5,05	2,33	4,32	17,38	3	
	34		13,44	1,46	0,46	1,05	0,03	5,00	2,89	1,34	4,39	4,75	18,37	3	
	35		10,02	1,05	0,51	1,02	0,04	3,69	1,02	2,20	1,34	4,36	12,60	1	
	36		9,02	1,68	0,64	1,03	0,03	3,30	3,92	4,53	2,55	5,03	19,35	3	
	37		3,00	1,91	0,57	1,02	0,07	1,00	4,98	3,29	0,80	0,77	10,85	1	
	38		4,55	1,67	0,44	1,02	0,05	1,60	3,90	1,01	1,00	3,09	10,59	1	
	39		10,78	1,71	0,65	1,02	0,07	3,98	4,08	4,71	1,30	0,85	14,93	2	
Legenda															
S-Bh	Sub-bacia hidrográfica							GS-AC	Grau de Suscetibilidade calculado para a área de contribuição						
AC	Área de Contribuição							GS-DD	Grau de Suscetibilidade calculado para a densidade de drenagem						
DD	Densidade de Drenagem							GS-IC	Grau de Suscetibilidade calculado para a índice de circularidade						
IC	Índice de Circularidade							GS-S	Grau de Suscetibilidade calculado para a sinuosidade						
S	Sinuosidade							GS-RR	Grau de Suscetibilidade calculado para a relação de relevo						
RR	Relação de Relevo							GSf	Grau de Suscetibilidade final						

Xmáx	AC	DD	IC	S	RR	GS
Xmín	13,44	1,91	0,67	1,05	0,07	10,59
	3,00	1,05	0,44	1,02	0,03	19,35
						Y mín
						Y máx

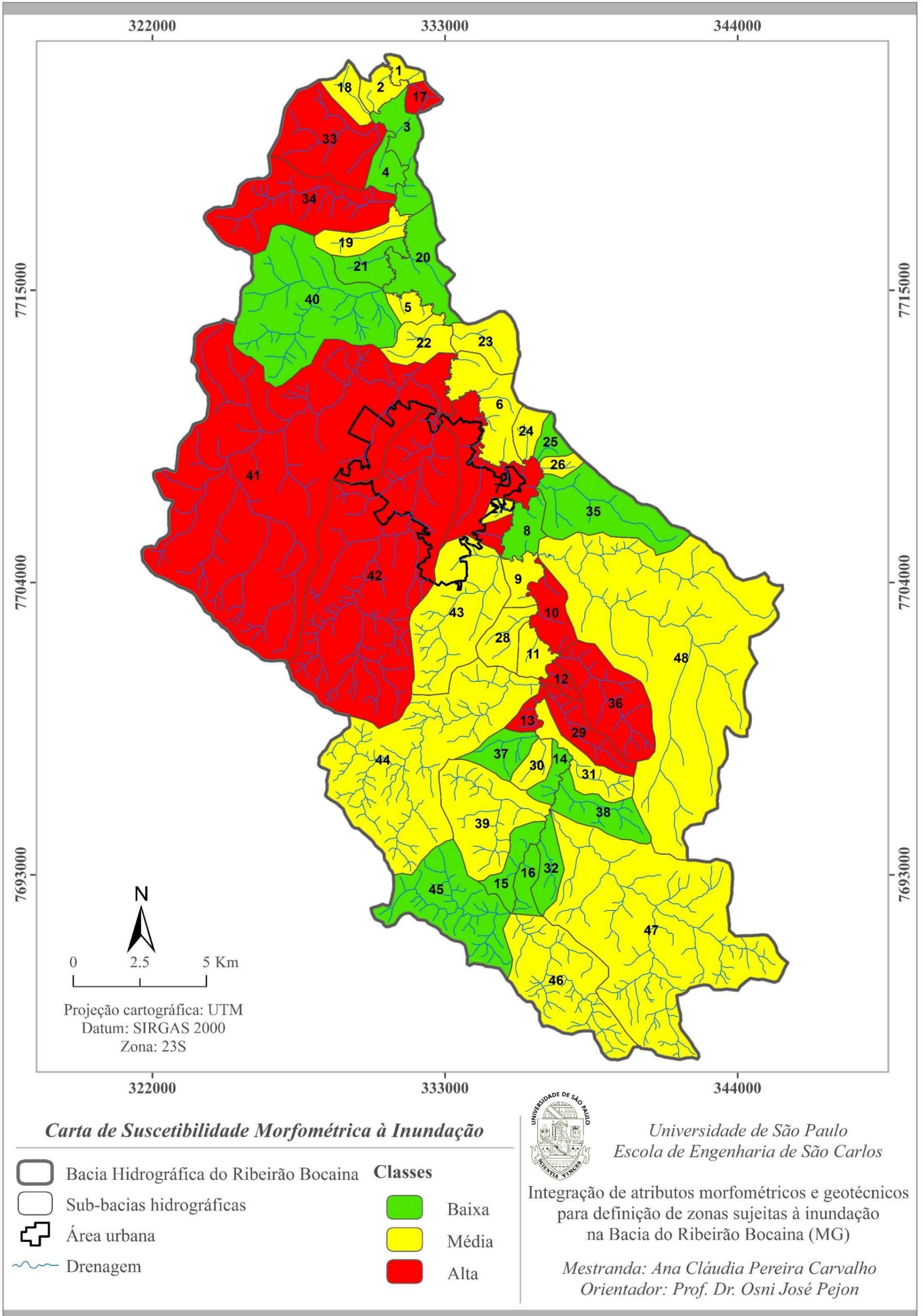
Tabela 26 - Índices morfométricos e grau de suscetibilidade final à inundação para as sub-bacias hidrográficas de 4º ordem do Ribeirão Bocaina.

4º ORDEM	S-Bh	AC	DD	IC	S	RR	GS - AC	GS - DD	GS - IC	GS - S	GS - RR	Soma dos parâmetros (GS)	GSf
	40	21,43	1,65	0,62	1,03	0,04	0,04	1,59	2,61	4,17	1,58	2,36	12,31
41	73,91	1,30	0,37	1,12	0,01	0,01	5,00	1,46	1,04	5,10	4,60	17,20	3
42	45,09	1,74	0,60	1,11	0,02	0,02	3,13	2,91	3,91	4,57	4,17	18,69	3
43	14,27	1,49	0,68	1,02	0,03	0,03	1,13	2,07	5,03	1,11	3,74	13,07	2
44	29,99	2,09	0,48	1,05	0,03	0,03	2,15	4,06	2,36	2,23	3,58	14,38	2
45	12,26	2,36	0,46	1,03	0,06	0,06	1,00	4,95	2,17	1,39	1,27	10,77	1
46	13,81	2,38	0,55	1,03	0,04	0,04	1,10	5,02	3,33	1,42	2,56	13,43	2
47	42,06	1,79	0,45	1,04	0,03	0,03	2,93	3,05	2,09	1,80	3,07	12,94	2
48	54,67	1,16	0,42	1,07	0,02	0,02	3,75	1,02	1,68	3,06	3,91	13,42	2

Legenda	
S-Bh	Sub-bacia hidrográfica
AC	Área de Contribuição
DD	Densidade de Drenagem
IC	Índice de Circularidade
S	Sinuosidade
RR	Relação de Relevo
GS-AC	Grau de Suscetibilidade calculado para a área de contribuição
GS-DD	Grau de Suscetibilidade calculado para a densidade de drenagem
GS-IC	Grau de Suscetibilidade calculado para a índice de circularidade
GS-S	Grau de Suscetibilidade calculado para a sinuosidade
GS-RR	Grau de Suscetibilidade calculado para a relação de relevo
GSf	Grau de Suscetibilidade final

	AC	DD	IC	S	RR	GS
Xmáx	73,91	2,38	0,68	1,12	0,06	10,77
Xmín	12,26	1,16	0,37	1,02	0,01	18,69

Figura 55 - Carta de Suscetibilidade Morfométrica à Inundação das sub-bacias do Ribeirão Bocaina.



A Tabela 27 apresenta a nomenclatura, a área e a classificação quanto à suscetibilidade morfométrica à inundação de cada uma das sub-bacias hidrográficas que compõem a área de estudo.

Tabela 27 - Classificação da suscetibilidade morfométrica à inundação para cada sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

	Sub-bacia	Área (km ²)	Classes de suscetibilidade morfométrica		Sub-bacia	Área (km ²)	Classes de suscetibilidade morfométrica
<i>1ª ordem</i>	1	0,97	Média	<i>2ª ordem</i>	25	1,35	Baixa
	2	1,85	Média		26	1,02	Média
	3	4,51	Baixa		27	0,78	Média
	4	2,01	Baixa		28	3,14	Média
	5	1,45	Média		29	4,06	Alta
	6	6,46	Média		30	1,88	Média
	7	9,99	Alta		31	3,96	Média
	8	2,73	Baixa		32	2,65	Baixa
	9	2,17	Média	<i>3ª ordem</i>	33	10,31	Alta
	10	3,56	Alta		34	13,44	Alta
	11	2,05	Média		35	10,02	Baixa
	12	1,01	Alta		36	9,02	Alta
	13	1,21	Alta		37	3,00	Baixa
	14	1,61	Baixa		38	4,55	Baixa
	15	2,71	Baixa		39	10,78	Média
	16	1,87	Baixa		40	21,42	Baixa
<i>2ª ordem</i>	17	1,21	Alta	<i>4ª ordem</i>	41	73,91	Alta
	18	2,08	Média		42	45,09	Alta
	19	2,92	Média		43	14,26	Média
	20	6,06	Baixa		44	29,99	Média
	21	2,92	Baixa		45	12,24	Baixa
	22	3,33	Média		46	13,82	Média
	23	3,97	Média		47	42,06	Média
	24	1,78	Média		48	54,67	Média

5.6 Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima

A Carta de Distância Vertical da Drenagem mais próxima trata-se do próprio modelo HAND gerado e fatiado conforme a realidade da área de estudo. Neste trabalho foram geradas duas cartas de Distância Vertical da Drenagem mais próxima, uma para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e outra para área urbana (Figuras 67 e 68). Vale destacar que o modelo HAND usa informações topográficas do MDEHC, para obter informações hidrológicamente consistentes de uma área (RENNÓ et al., 2008).

Após a geração do modelo HAND, foi necessário a sua classificação de maneira condizente com a realidade da área estudada (bacia hidrográfica e área urbana), assim, as classes consideradas neste trabalho foram: < 2 metros, 2 a 5 metros, 5 a 10 metros e > 10 metros.

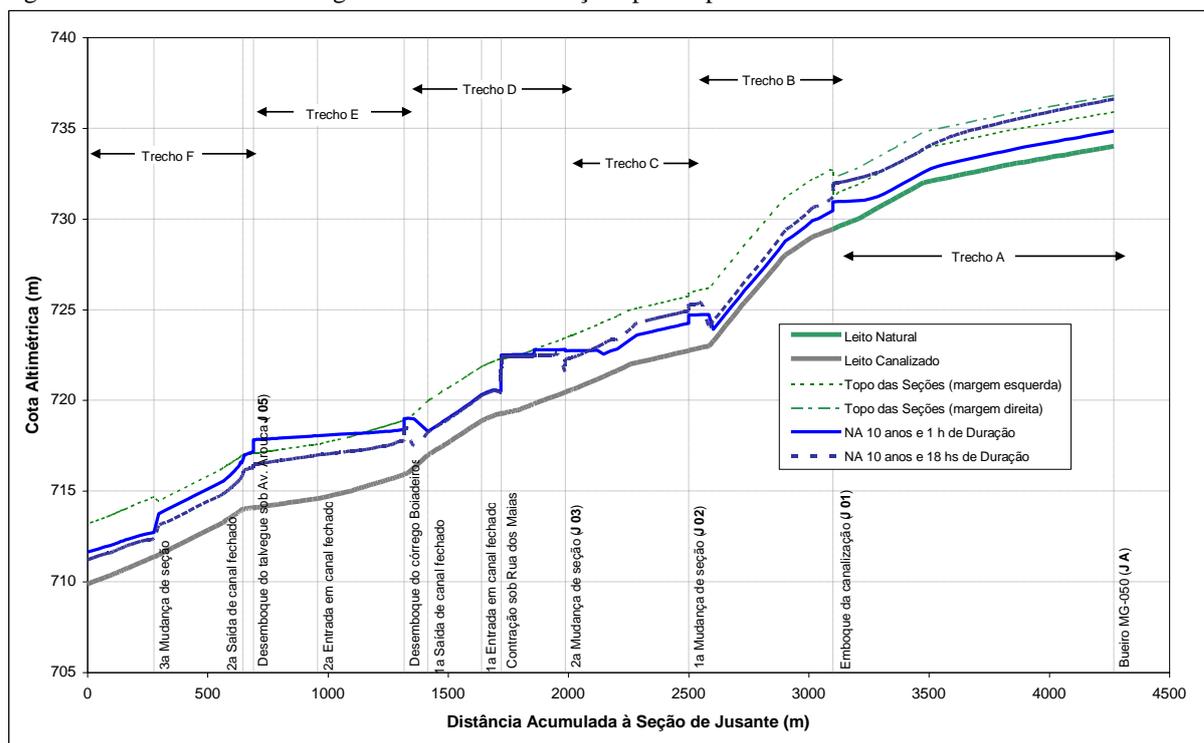
A caracterização dos ambientes topográficos foi definida pelas seguintes classes:

- Fundos de vale com distância vertical da drenagem mais próxima inferior a 2 metros;
- Baixos topográficos circundantes aos fundos de vales com distância vertical da drenagem mais próxima entre 2 a 5 metros;
- Vertentes de colinas, morros e serras e topos de colinas com distância vertical da drenagem mais próxima entre 5 a 10 metros;
- Vertentes de morros e serras e topos de morros com distância vertical da drenagem mais próxima acima de 10 metros.

Para definir este fatiamento do modelo HAND foi utilizado um estudo elaborado por Pinheiro et al. (2006) que realizaram simulações hidrológicas para a área urbana de Passos. Estas simulações foram elaboradas para um período de retorno de 10 anos e 50 anos. As Figuras 56 e 57 apresentam perfis de linha d'água elaborados pelos autores para o Córrego São Francisco que atravessa a cidade, cujos pontos críticos de inundação estão no decorrer de sua canalização. Pode-se notar que com base nessas simulações considerando esses períodos de retorno, a elevação máxima do nível d'água não ultrapassa 5 metros de altura. Como foi analisado o estudo hidrológico para a área urbana, considerou o mesmo fatiamento para a bacia hidrográfica.

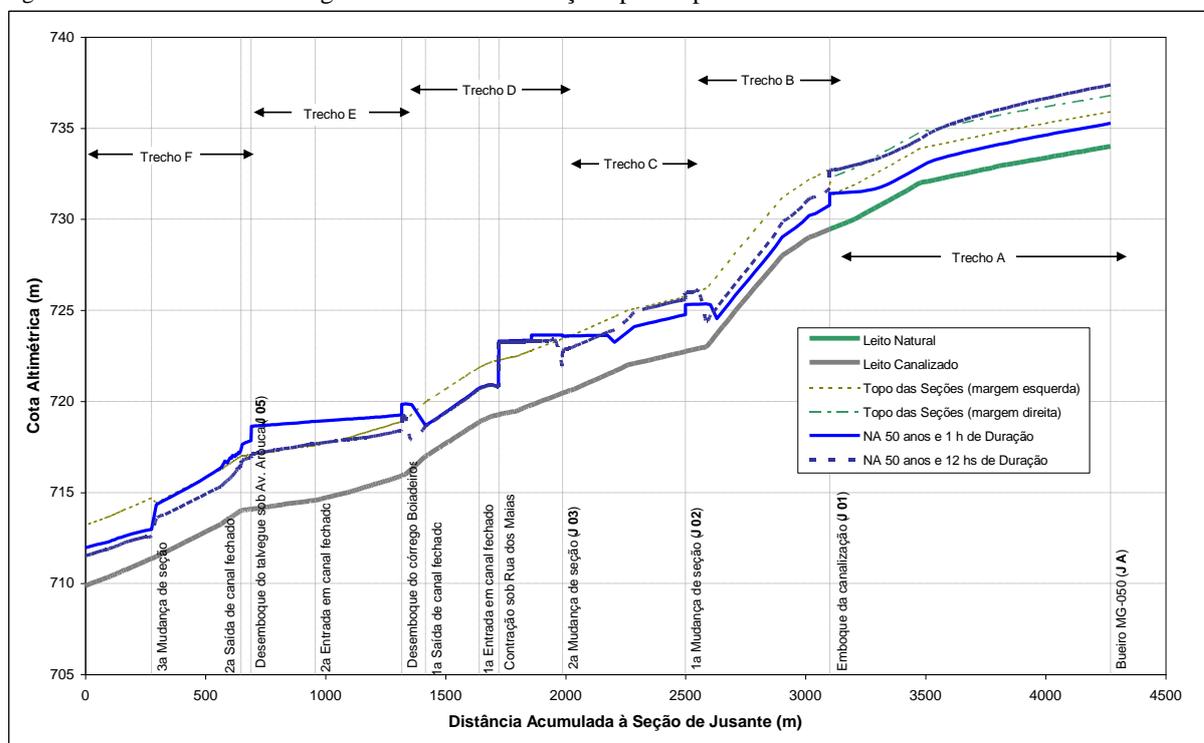
Além deste estudo hidrológico, foram utilizados 6 perfis topográficos que auxiliaram também na escolha dos intervalos para fatiamento dos modelos HAND. Os perfis foram traçados de forma automatizada no software ArcGIS10[®] utilizando o MDEHC da área urbana, cujas seções estão apresentadas na Figura 58. As Figuras 59 a 64 apresentam os perfis topográficos, onde estão nomeadas as respectivas drenagens.

Figura 56 - Perfis de linha de água obtidos nas simulações para o período de retorno de 10 anos.



Fonte: Pinheiro et al. (2006).

Figura 57 - Perfis de linha de água obtidos nas simulações para o período de retorno de 50 anos.



Fonte: Pinheiro et al. (2006).

Figura 58 - Seção dos perfis topográficos na área urbana.

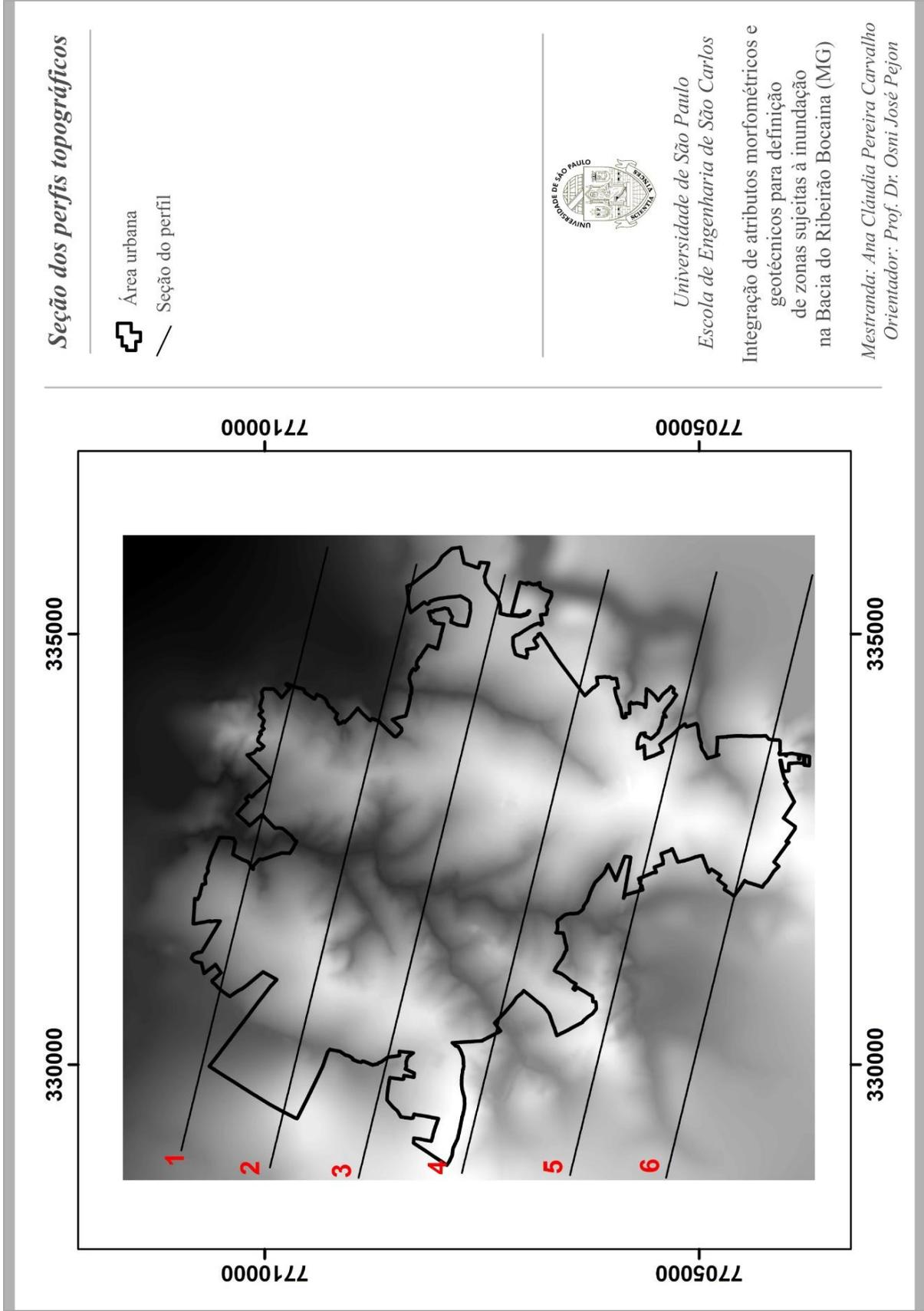


Figura 59 - Perfil topográfico referente à seção 1.

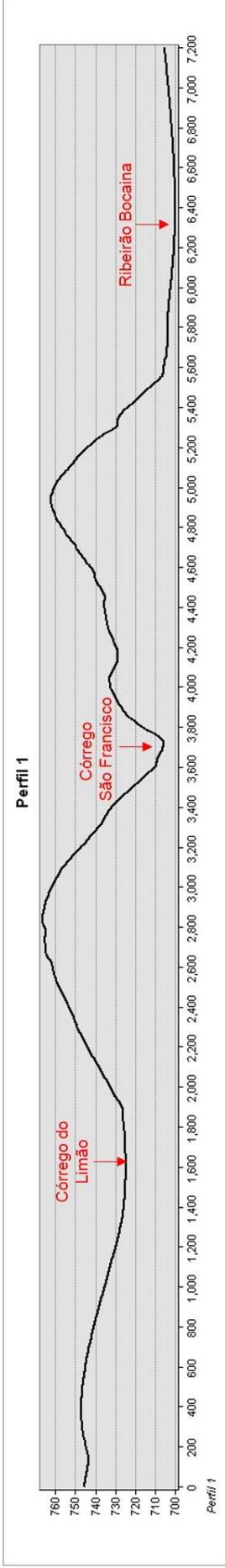


Figura 60 - Perfil topográfico referente à seção 2.

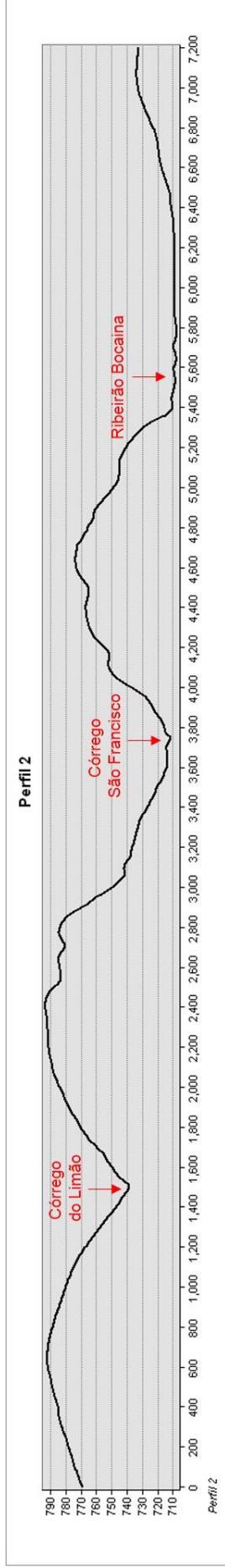


Figura 61 - Perfil topográfico referente à seção 3.

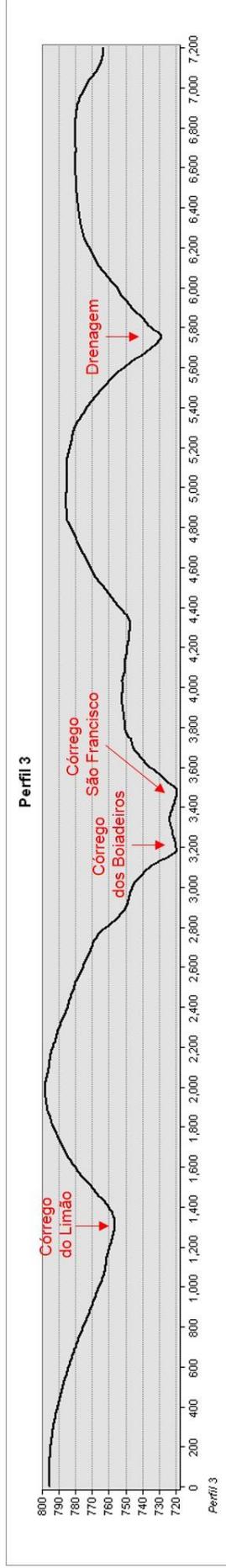


Figura 62 - Perfil topográfico referente à seção 4.

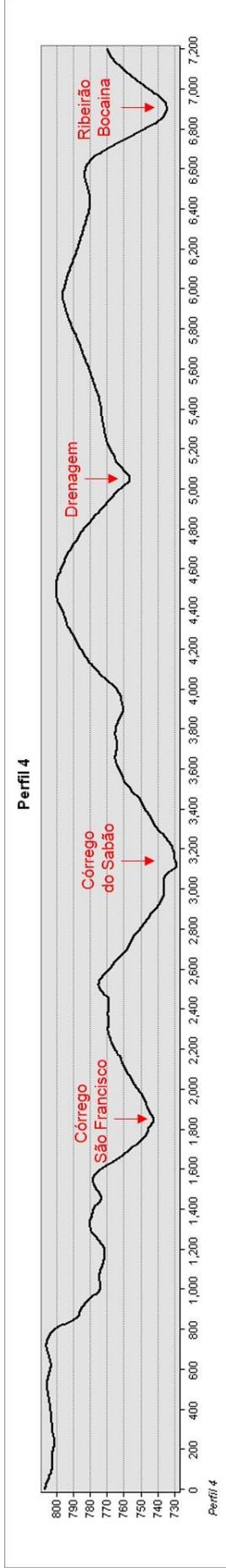


Figura 63 - Perfil topográfico referente à seção 5.

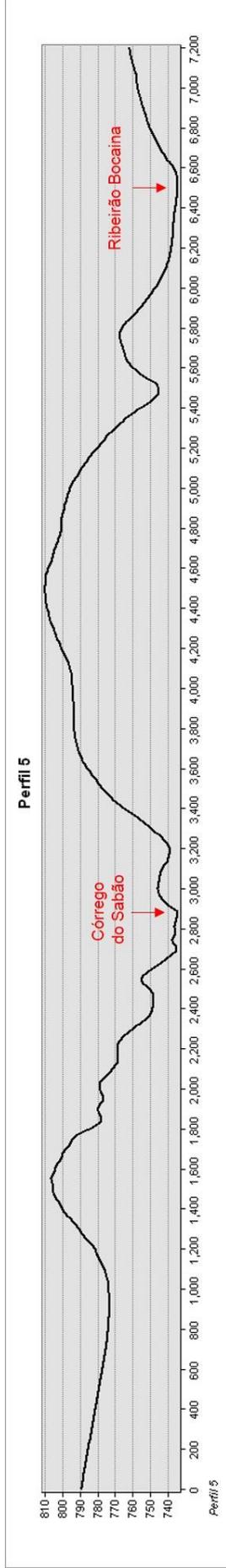
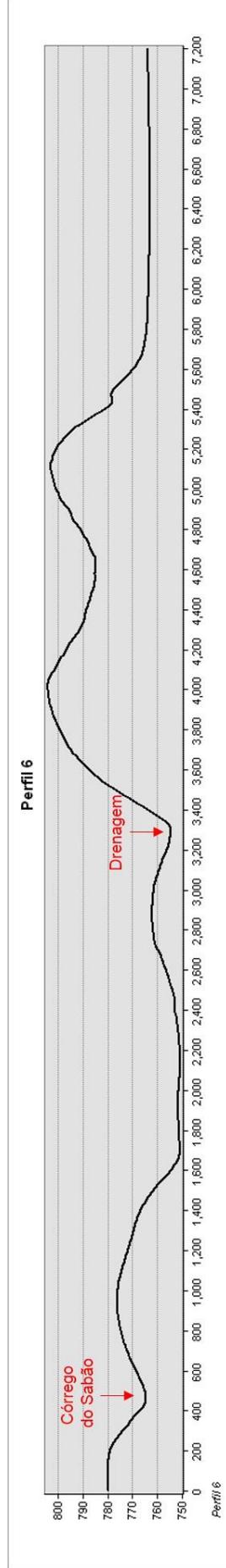


Figura 64 - Perfil topográfico referente à seção 6.



Os perfis permitiram visualizar as drenagens e as encostas do terreno e analisar a variação altimétrica da área, realizando a interpretação de até onde possivelmente a água pode atingir com a ocorrência de inundação.

As Figuras 65 e 66 apresentam respectivamente a quantificação das classes do modelo HAND, para a bacia hidrográfica e para a área urbana.

O percentual da classe >10 metros é o mais evidente na área urbana e na bacia hidrográfica, que correspondem a áreas onde a ocorrência do processo de inundação é pouco provável, conforme demonstrou o estudo hidrológico anteriormente referido. A classe de 5 a 10 metros caracteriza áreas que podem apresentar uma baixa tendência à propagação do evento, na bacia hidrográfica corresponde um percentual de área de 11,19%, enquanto que na área urbana 11,77%.

Na modelagem do HAND foram definidas estas duas classes de distância vertical de drenagem (5 a 10 metros e > 10 metros) como forma de segurança. Pois, não existem registros, nem laudos técnicos que comprovem um processo de inundação desse nível na cidade.

A classe de < 2 metros corresponde aos locais que realmente são considerados como planícies de inundação, passíveis para que ocorra o processo de inundação, na área urbana esta classe ocupa um percentual de área de 6,92% e na bacia hidrográfica 14,03%. Nos perfis topográficos é possível verificar as drenagem que contribuem para o aumento de volume e vazão no Córrego São Francisco, favorecendo assim o processo de inundação.

Em ambas as Cartas de Distância Vertical da Drenagem mais próxima, caracteriza também áreas de baixos topográficos circundantes aos fundos de vales com distância vertical da drenagem mais próxima entre 2 a 5 metros, cujo percentual de área urbana corresponde a 6,22% e na bacia hidrográfica 8,06%.

Figura 65 - Percentual de área ocupada pelas classes do modelo HAND para a bacia hidrográfica.

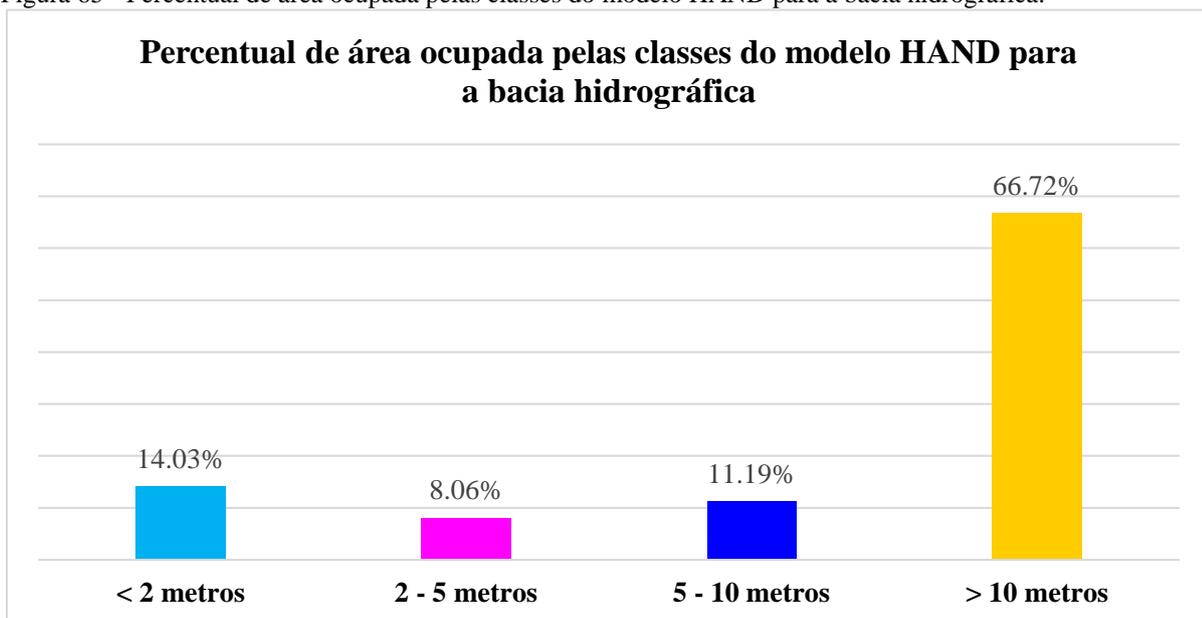


Figura 66 - Percentual de área ocupada pelas classes do modelo HAND para a área urbana.

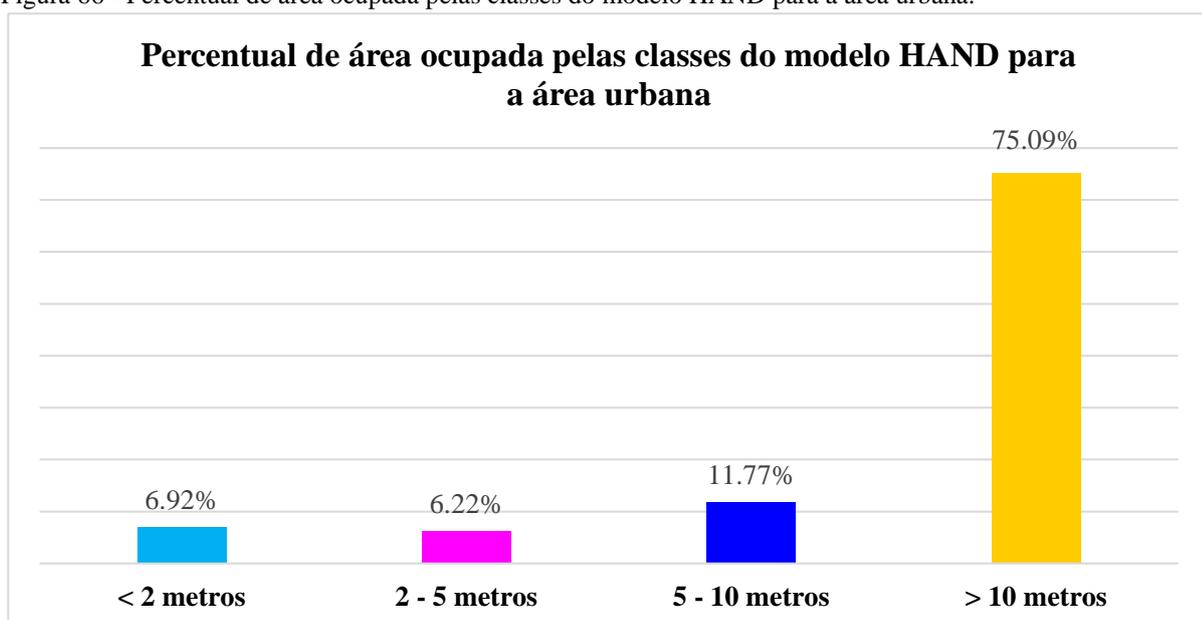


Figura 67 - Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

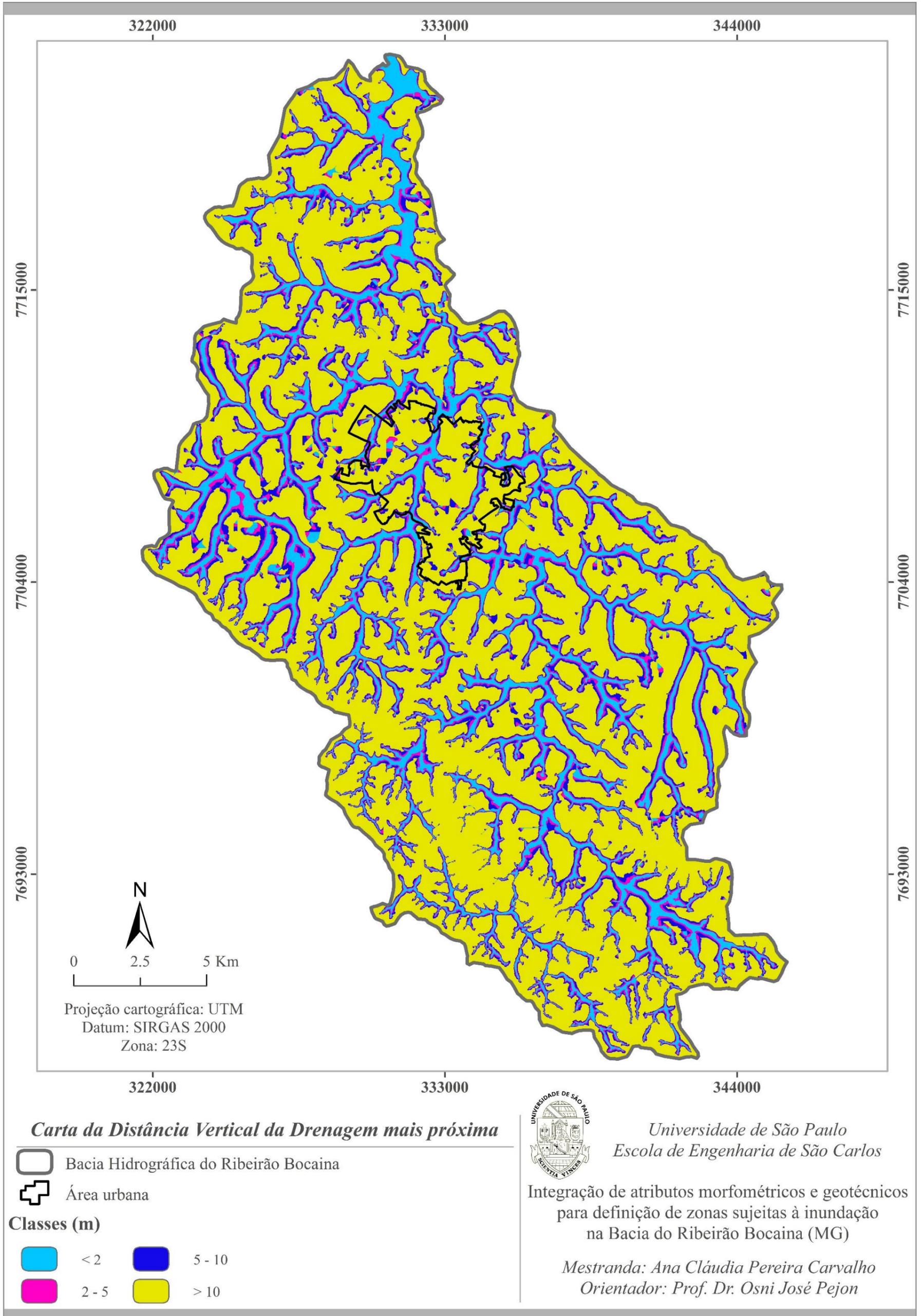
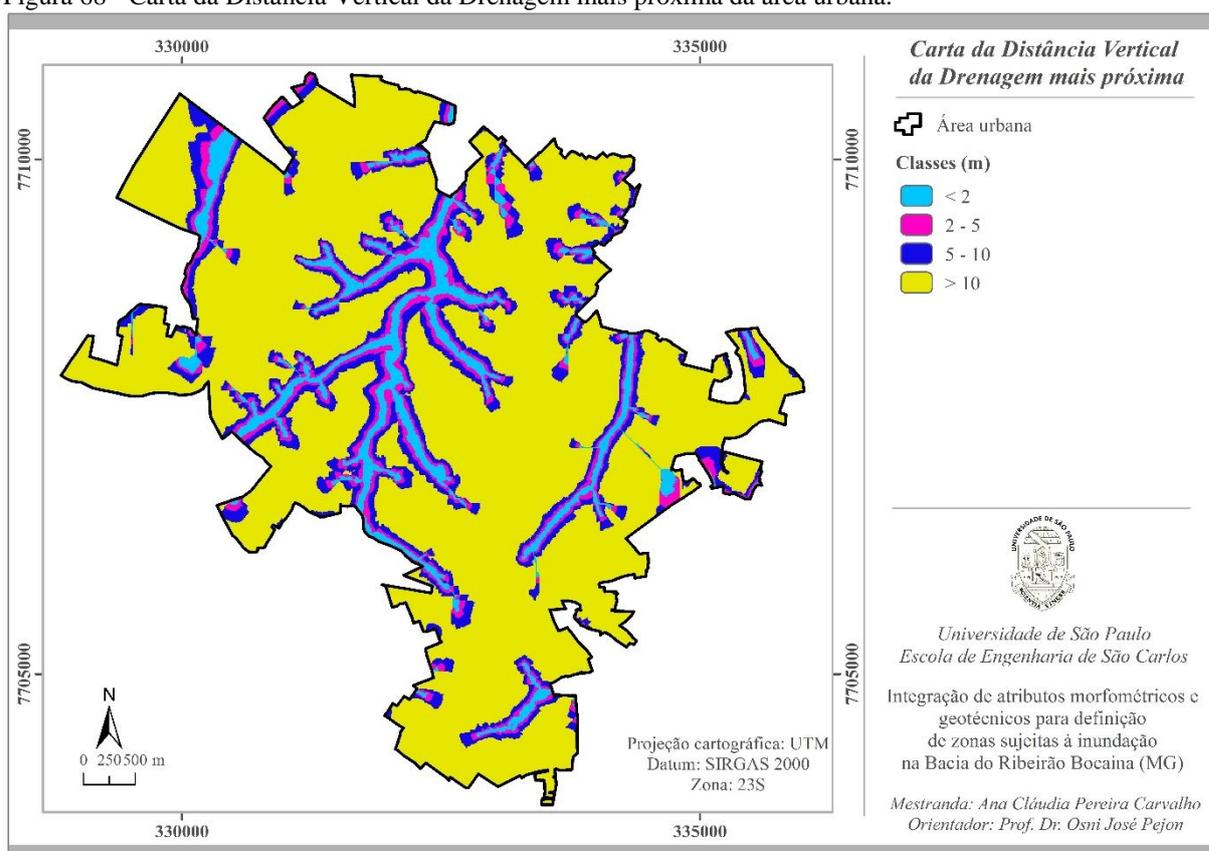


Figura 68 - Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima da área urbana.



5.7 Carta de Predisposição Topográfica à Inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e da área urbana de Passos-MG

Esta carta tem como finalidade apresentar a suscetibilidade à inundação gradual na escala de 1:50.000 (bacia hidrográfica) e 1:10.000 (área urbana). Esses tipos de inundação caracterizam-se pela elevação gradual do nível d'água do canal de drenagem, onde a tendência é que haja um escoamento gradual logo após um período de tempo, ocorrendo de maneira sazonal ou cíclica, alcançando as margens, chamadas de planícies de inundação (CAMPOS et al., 2015).

Este documento foi realizado utilizando a Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação e o modelo HAND, cujos procedimentos estão descritos respectivamente, nos itens 4.2.5.6 a 4.2.5.7.

A Tabela 28 apresenta a matriz de ponderação entre os planos de informação utilizados. Vale ressaltar que a classe “muito baixa” consiste em uma possibilidade rara, ou seja, pouco provável topograficamente que ocorra o processo de inundação.

Tabela 28 - Matriz de ponderação entre o modelo HAND e a morfometria.

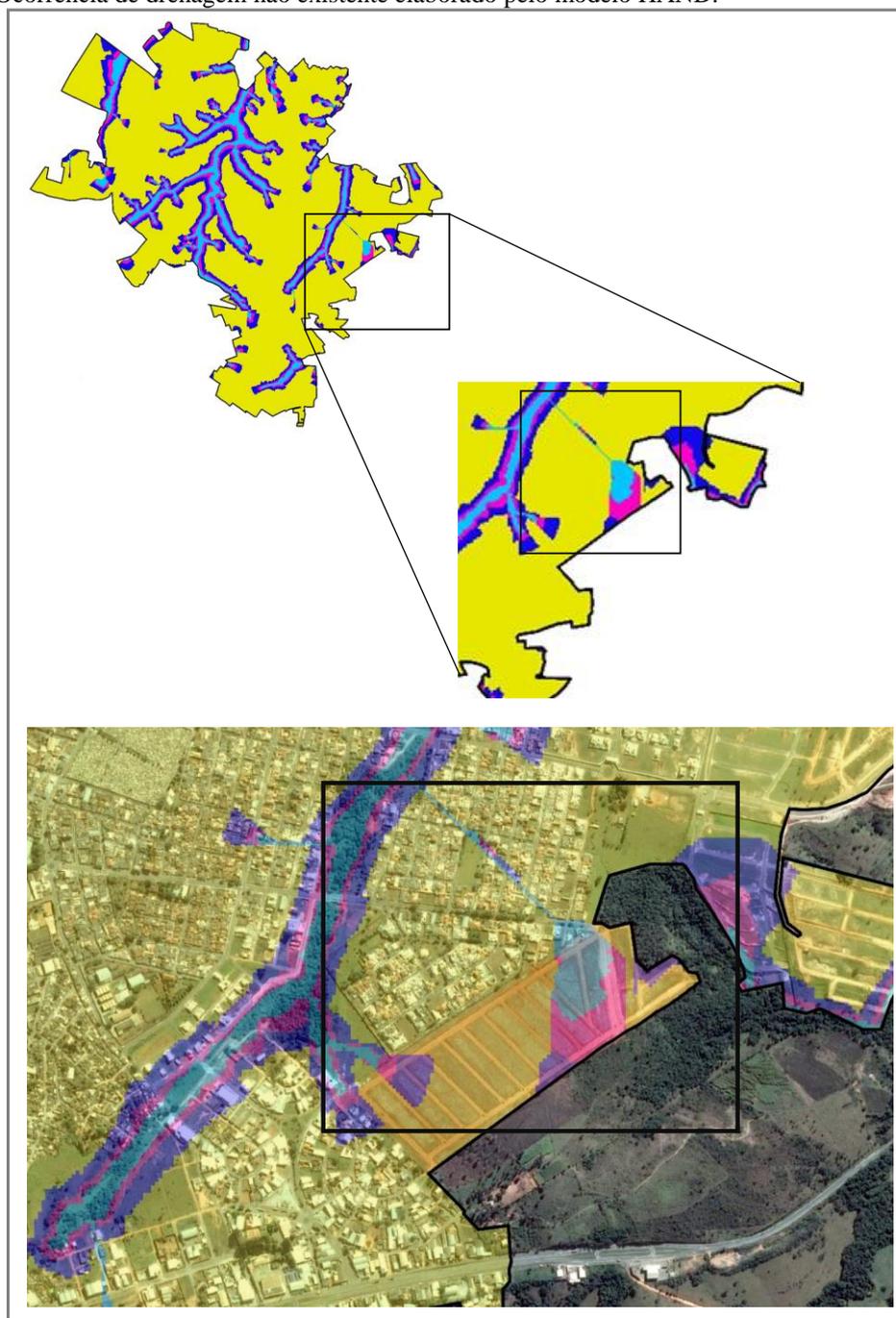
Índices Morfométricos	HAND			
	<i>Alto (<2m)</i>	<i>Médio (2-5m)</i>	<i>Baixo (5-10m)</i>	<i>Muito baixa (>10m)</i>
<i>Alto</i>	Alta	Alta	Média	Muito baixa
<i>Médio</i>	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
<i>Baixo</i>	Média	Baixa	Baixa	Muito baixa

Campos et al. (2015) ressaltam que a suscetibilidade a inundações em regiões externas as de planícies e terraços tem a tendência de ser rara ou insignificante, diante disto, justificase a classe “muito baixa” adotada na Carta de Predisposição Topográfica. Também não exclui a possibilidade de ocorrer dentro do contexto de planícies e terraços, a existência de outros tipos de relevo, como as colinas e morros baixos, onde a suscetibilidade da área também tende a ser pouco provável.

Um ponto importante a ser considerado é a ocorrência de áreas mapeadas como alta ou média predisposição que podem não estar em associação com o extravasamento dos canais de drenagem, visto que o modelo HAND cria drenagens a partir do modelo digital de elevação, ou seja, linhas de fluxo intermitente ou regiões de alagamento, que também podem ser geradas no modelo. Incluir ou não estas regiões na carta final fica a critério das análises e avaliações realizadas *in loco* e das informações de ocorrências no local.

A Figura 69 apresenta um local na área urbana, no qual não há drenagem. Em locais como este, foi realizado um refinamento do modelo HAND a fim de garantir a representação mais próxima da realidade da área de estudo. Este refinamento baseia-se na reclassificação dos pixels, cuja classe adotada corresponde aquela que melhor enquadra na condição real, podendo ser classificados como muito baixa ou com alguma predisposição topográfica.

Figura 69 - Ocorrência de drenagem não existente elaborado pelo modelo HAND.



O percentual da área ocupada pelas classes de muito baixa, baixa, média, alta na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina e na área urbana estão apresentadas nas Figuras 70 e 71. As Figuras 72 e 73 mostram as Cartas de Predisposição Topográfica, para a bacia hidrográfica e para a área urbana, respectivamente.

A classe muito baixa tanto na bacia hidrográfica como na área urbana se enquadra como a de maior evidência, correspondendo respectivamente, em porcentagem de área 74,53% e 77,63%, esta classe indica a rara probabilidade da topografia condicionar o processo

de inundação. A classe alta para ambas as cartas indica que a possibilidade da topografia contribuir para que ocorra este fenômeno é grande. Para a bacia hidrográfica o percentual de área ocupada por essa classe é de 5,70%, enquanto que considerando apenas a área urbana é de 6,25%. Em algumas áreas, o relevo não apresenta características que predisõem à ocorrência de inundação, na bacia hidrográfica 10,53% de sua área se caracteriza como baixa predisposição topográfica, enquanto que na área urbana corresponde 10,39%.

Figura 70 - Percentual da área ocupada pelas classes de predisposição topográfica na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

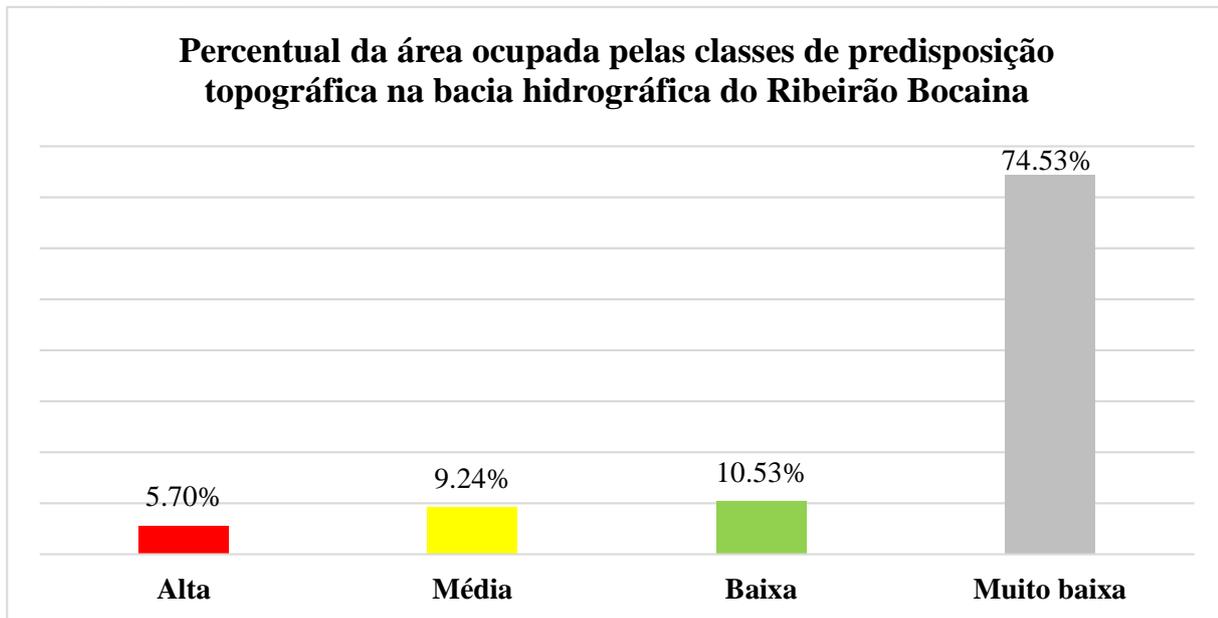


Figura 71 - Percentual da área ocupada pelas classes de predisposição topográfica na área urbana de Passos-MG.

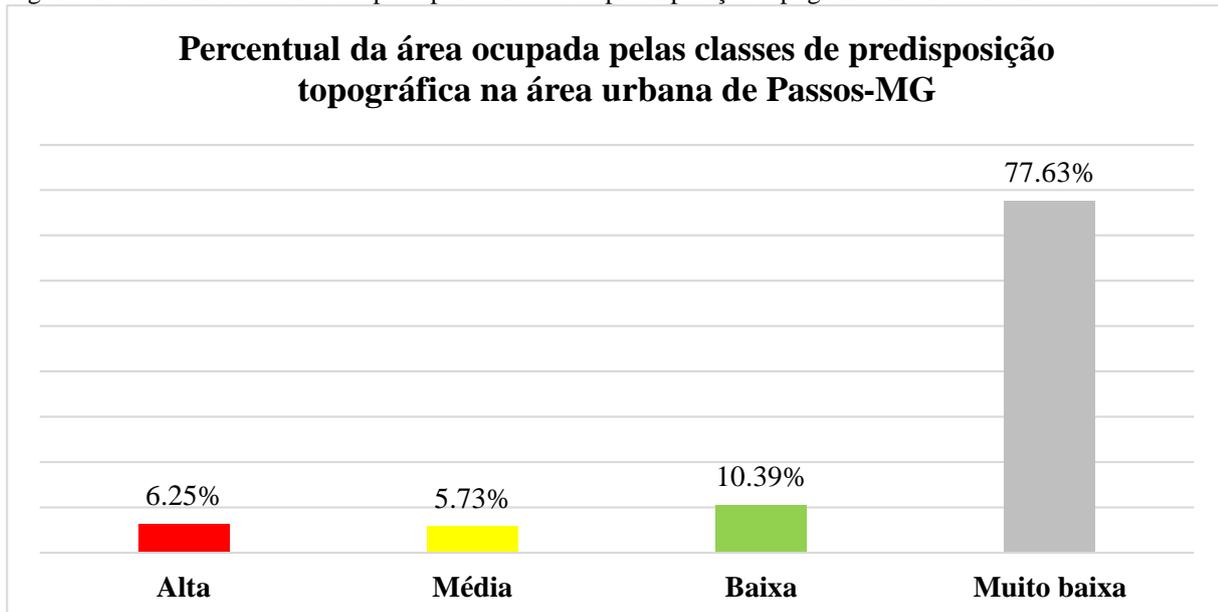


Figura 72 - Carta de Predisposição Topográfica à Inundação para a bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

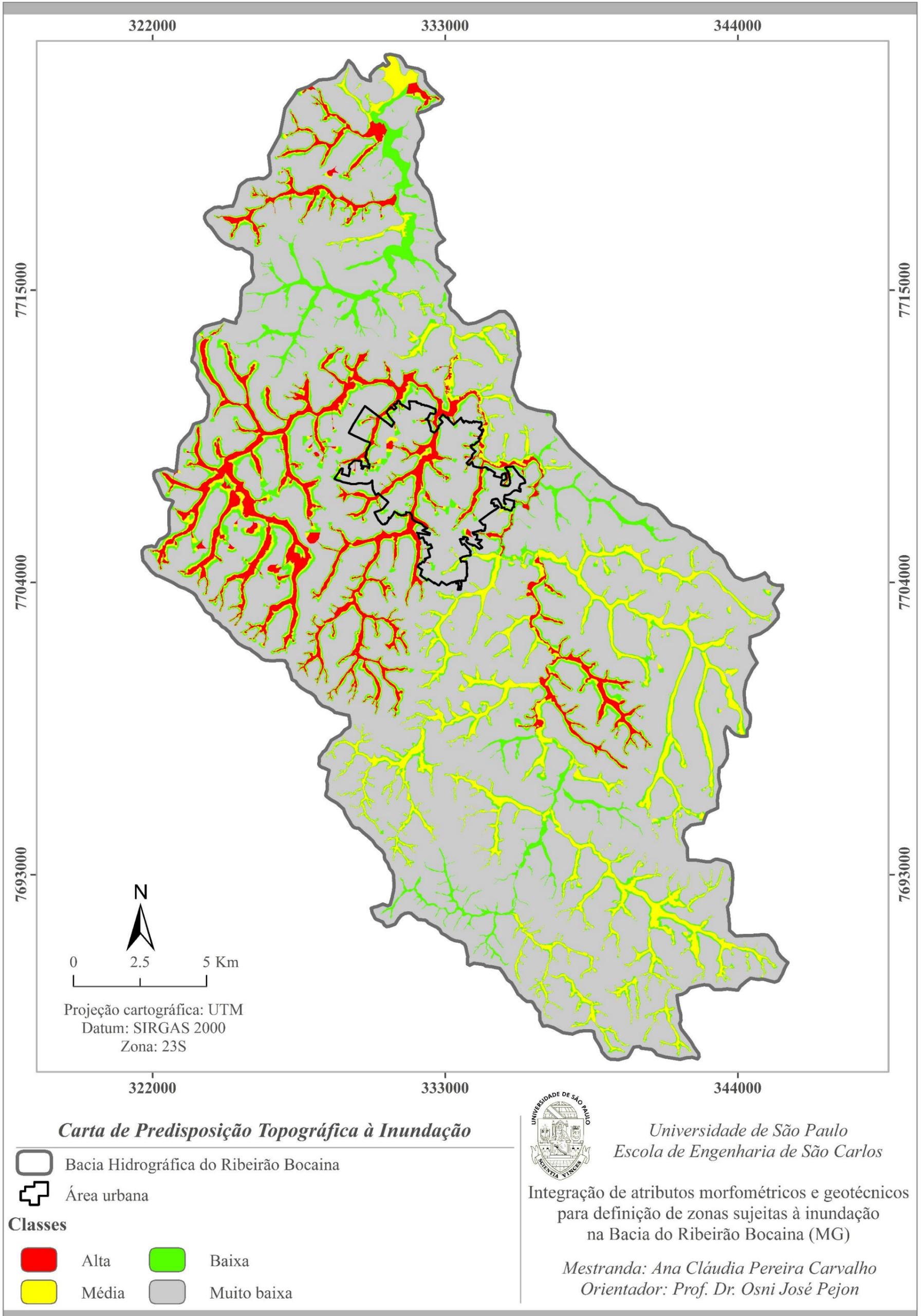
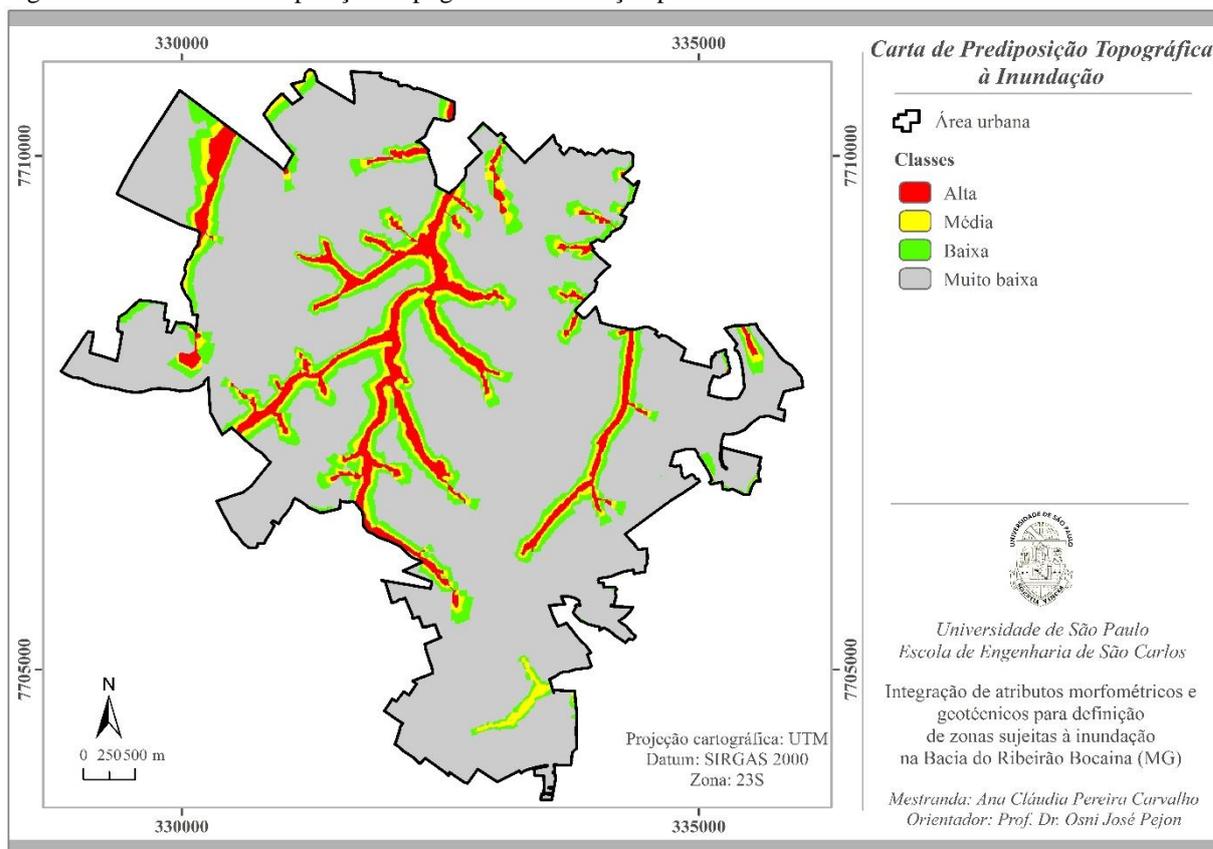


Figura 73 - Carta de Predisposição Topográfica à Inundação para a área urbana.



5.8 Análise para verificação de ocorrência de inundação no Córrego São Francisco

Para uma análise detalhada sobre o potencial à inundação na área urbana foram delimitadas 22 bacias hidrográficas, que foram analisadas quanto a distribuição das classes do Uso e Ocupação do solo, do Potencial aos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial, da Profundidade do Nível Freático e a Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor. A Tabela 29 apresenta o número de bacias hidrográficas por ordem de ramificação. A nomenclatura e a área de cada uma das bacias hidrográficas estão apresentadas na Tabela 30.

Tabela 29 - Número de bacias hidrográficas por ordem de ramificação.

Ordem de ramificação	Número de bacias hidrográficas
1ª ordem	4
2ª ordem	12
3ª ordem	5
4ª ordem	1
Total	22

Tabela 30 - Nomenclatura e área das respectivas bacias hidrográficas urbanas.

Ordem de ramificação	Nomenclatura	Área (km²)	Ordem de ramificação	Nomenclatura	Área (km²)
<i>1ª ordem</i>	<i>A</i>	0,18	<i>2ª ordem</i>	<i>L</i>	0,72
	<i>B</i>	1,04		<i>M</i>	0,24
	<i>C</i>	1,16		<i>N</i>	0,16
	<i>D - Córrego Sabiá</i>	0,95		<i>O</i>	0,67
<i>2ª ordem</i>	<i>E</i>	0,65		<i>P - Córrego do Parque</i>	0,43
	<i>F - Córrego do Limão</i>	6,17	<i>3ª ordem</i>	<i>Q</i>	0,89
	<i>G</i>	0,16		<i>R</i>	2,67
	<i>H</i>	0,44		<i>S</i>	3,15
	<i>I</i>	0,47		<i>T - Córrego Santa Casa</i>	1,25
	<i>J</i>	0,79		<i>U - Córrego Boiadeiros</i>	4,71
	<i>K - Córrego São Domingos</i>	3,13	<i>4ª ordem</i>	<i>V</i>	27,36

A Figura 74 apresenta a delimitação das bacias hidrográficas e os pontos de confluência entre o exutório das bacias com o Córrego São Francisco. Esses locais podem ser considerados críticos, pois dependendo da intensidade da precipitação que ocorrer na área pode aumentar significativamente o fluxo de água no Córrego São Francisco, provocando a inundação que está associada ao pico de cheia. As áreas próximas ao Córrego São Francisco já foram identificadas em estudos anteriores (PINHEIRO et al., 2006) como áreas sujeitas a ocorrências de inundações.

A Figura 75 mostra a inundação ocorrida na área urbana de Passos, trecho onde se encontra retificado o Córrego São Francisco, esse evento foi registrado em novembro de 2014.

Figura 74 - Mapa das Bacias hidrográficas urbanas.

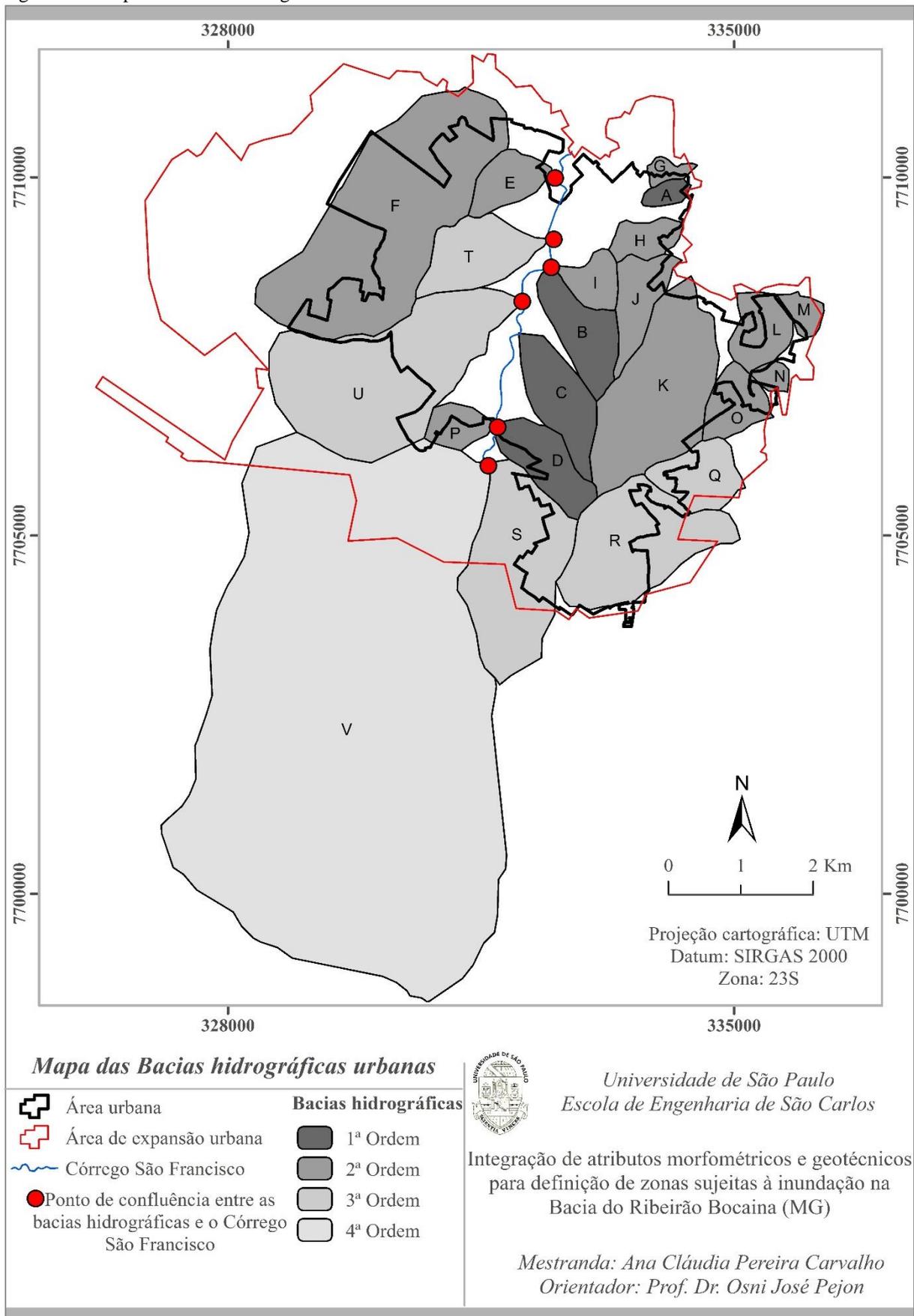


Figura 75 - Inundação na área urbana de Passos-MG.



Fonte: EPTV (2017).

A seguir são apresentadas as análises realizadas nas bacias hidrográficas urbanas, ou que mesmo tendo áreas ainda sem urbanização tem seu fluxo de drenagem direcionado para a área urbana. Ressalta-se que as bacias A, F, G, H, J, K, L, M, N, O, Q e R drenam suas águas diretamente para o Ribeirão Bocaina e não influenciam na ocorrência do processo de inundação na área urbana. Deste modo, as análises concentraram-se nas bacias B, C, D, E, I, P, S, T, U e V que, dependendo de suas características físicas e de uso e ocupação do solo, pode influenciar no potencial à inundação na região urbana.

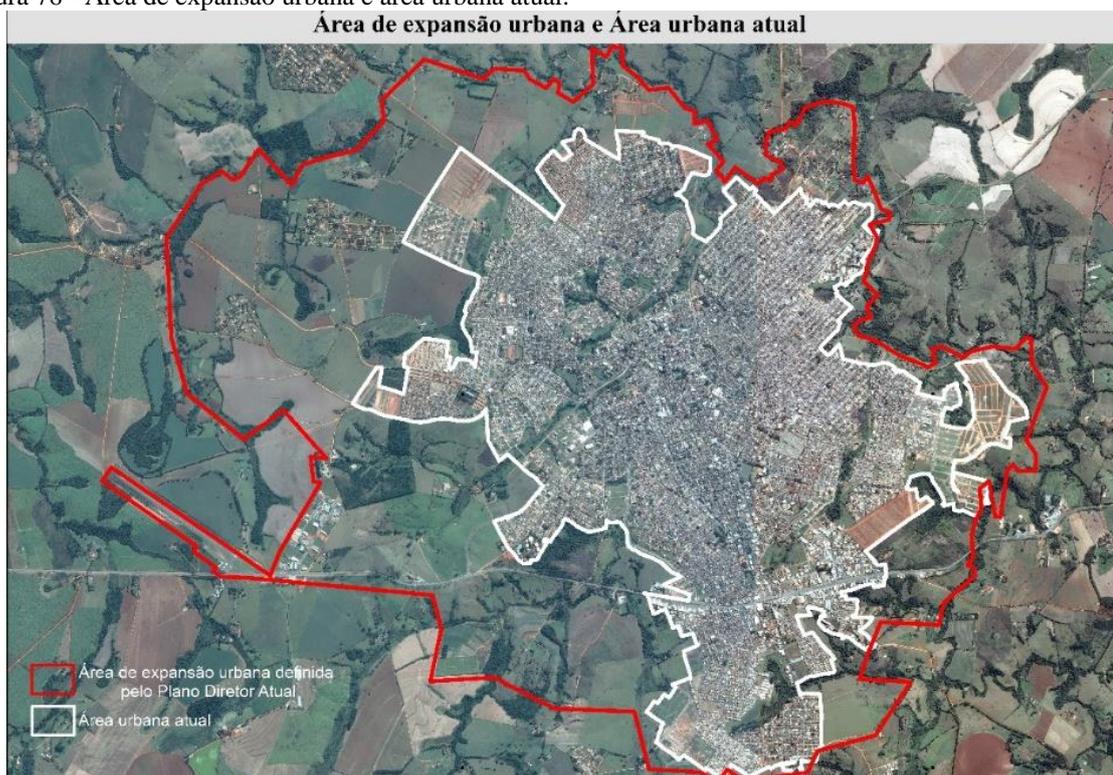
- Uso e Ocupação do solo

De acordo com Pinheiro et al. (2006), a causa das inundações ocorridas na área urbana do município, não é proveniente das zonas rurais a montante. A forma como procedeu o processo de urbanização evidencia em parte o problema das inundações, que ocorrem num período frequente, na área banhada pelo Córrego São Francisco.

A Tabela 31 apresenta o percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação da área urbana nas bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas P, S, U e V contemplam a área a montante da cidade na região sul, sendo a P, S e U, parcialmente urbanizadas, ocupando respectivamente, uma área impermeabilizada de 37,3%, 10,3% e 25,2%. A bacia V

não está ocupada por edificações, porém tem grande tendência de crescimento urbano na área que a envolve. A Figura 76 deixa claro esta tendência de crescimento nas porções sul e sudoeste da cidade, visto que o plano diretor atual da cidade evidencia que a área de expansão urbana poderá crescer aproximadamente o dobro da área atual.

Figura 76 - Área de expansão urbana e área urbana atual.



Neste contexto, o aumento exagerado da impermeabilização do solo pode vir acarretar forte impacto no processo de inundação, agravando os pontos críticos existentes. Como foi analisado na Carta de Suscetibilidade Morfométrica à inundação, as sub-bacias hidrográficas (41 e 42) que compõem essa área estão classificadas como alta suscetibilidade morfométrica à inundação, ou seja, essas áreas apresentam características físicas favoráveis a ocorrência do processo de inundação.

As bacias B, C, e I estão densamente ocupadas por edificações, ou seja, impermeabilizadas, o que favorece o fluxo de água com uma maior velocidade para seu exutório. As bacias D, E e T, também apresentam alto percentual de impermeabilização sendo respectivamente 77,1%, 81,4%, 71%, porém apresentam ainda alguns vazios urbanos, ocupando respectivamente, 7,7%, 14,6%, 29%.

Desta forma, estes vazios urbanos, presentes nestas bacias deveriam ser preservados ou ter sua ocupação realizada com os devidos cuidados para não aumentar o escoamento superficial, o que viria a agravar o potencial a inundação a jusante destas áreas.

Tabela 31 - Percentual de área ocupada pelas classes de uso e ocupação da área urbana nas bacias hidrográficas.

Bacias Hidrográficas Urbanas	Uso e Ocupação da área urbana (%)		
	Área Urbanizada	Área de Expansão urbana	Vazio Urbano
A	62,6	-	31,5
B	95,9	-	4,1
C	96,7	-	3,3
D	77,1	-	7,7
E	81,4	-	14,6
F	37,9	11,6	8,5
G	21,5	-	9,7
H	75,9	-	12,0
I	98,0	-	2,0
J	87,0	-	1,6
K	76,7	4,9	14,7
L	5,4	64,1	3,6
M	-	8,5	-
N	-	16,4	-
O	2,3	42,2	5,0
P	37,3	-	12,4
Q	24,1	-	-
R	50,5	0,4	14,5
S	10,3	9,5	2,4
T	71,0	-	29,0
U	25,2	0,2	14,0
V	-	-	0,1

- *Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial*

O Potencial dos Meios físico e Antrópico ao Escoamento Superficial foi analisado devido à sua importância na definição das características naturais que associadas ao uso e ocupação podem potencializar o processo de inundação. De forma a avaliar o potencial ao escoamento superficial, nas bacias que drenam para a área urbana de Passos, elaborou-se a Tabela 32 que apresenta o percentual de área ocupada por cada classe de potencial ao escoamento destas bacias hidrográficas.

Diante deste contexto, as bacias hidrográficas B, C, e I não apresentam áreas com potencial ao escoamento superficial muito baixo a baixo, pois tratam-se basicamente de áreas com alta densidade de edificações. Nos períodos de chuvas aumentam consideravelmente o

fluxo de água no seu exutório, como consequência aumenta o volume e a vazão do curso d'água receptor (Córrego São Francisco).

As bacias hidrográficas que influenciam na ocorrência do processo de inundação quando considerado o seu potencial ao escoamento superficial de alto a muito alto são as bacias D, E, T, que em percentual de área correspondem respectivamente a 62%, 41,1%, 72,2%.

Tabela 32 - Percentual de área ocupada pelas classes de potencial dos meios físico e antrópico ao escoamento nas bacias hidrográficas.

Bacias Hidrográficas Urbanas	Potencial dos Meios Físico e Antrópico ao Escoamento Superficial (%)				
	<i>Muito baixo</i>	<i>Baixo</i>	<i>Médio</i>	<i>Alto</i>	<i>Muito Alto</i>
A	0,4	1,4	14,7	78,2	5,3
B	-	-	44,6	41,1	14,3
C	-	-	33,0	51,4	15,6
D	3,4	3,4	31,2	37,8	24,2
E	-	1,7	57,2	24,7	16,4
F	20,1	14,4	31,5	25,2	8,8
G	8,3	9,0	11,3	54,4	17,0
H	1,5	9,3	32,0	42,0	15,2
I	-	-	27,1	43,0	29,9
J	5,8	4,8	53,8	32,0	3,6
K	2,5	1,2	35,6	57,5	3,2
L	20,0	6,4	27,4	43,8	2,4
M	45,9	37,7	7,6	8,8	-
N	21,6	46,1	12,6	11,2	8,5
O	22,4	13,7	27,2	23,2	13,5
P	16,7	26,9	16,9	21,1	18,4
Q	28,2	24,0	23,3	21,1	3,4
R	9,4	15,6	24,4	38,5	12,1
S	14,5	19,0	39,4	20,2	6,9
T	-	-	27,8	27,8	44,4
U	30,3	18,2	13,6	18,2	19,7
V	11,4	30,5	30,1	18,8	9,2

As bacias P, U, S e V apresentam áreas tanto edificadas (que aceleram o processo de escoamento superficial) quanto áreas sem construções (que diminuem a velocidade do escoamento superficial), isso justifica o potencial de suas áreas quanto ao escoamento superficial, que variam de muito baixo a muito alto. Este aspecto reforça a percepção que a ocupação das áreas ainda sem urbanização, se for feita de maneira inadequada poderá agravar, sobremaneira, os problemas de inundação na área urbana.

- *Profundidade do Nível Freático*

Na análise da Profundidade do Nível Freático considera-se que quanto mais raso o lençol freático maior é a sua contribuição no processo de inundação, pois o solo se encontra na sua condição saturada mais próximo a superfície. Deve-se ressaltar que a carta de profundidade do lençol freático foi elaborada somente para a área urbana, conforme descrito no item 4.2.5.1.1. Assim sendo, os percentuais apresentados na Tabela 33 referem-se somente a parte das bacias localizada em área urbana. Considerando que estas áreas são aquelas onde a situação de potencial a inundação é maior, a presença do lençol freático próximo à superfície pode acentuar o problema.

Percebe-se que há variação de Profundidade do Nível Freático no curso do Córrego São Francisco, podendo ser notada da montante para a jusante na área urbana, apresentando a tendência de ficar cada vez mais próximo da superfície, permitindo favorecer na ocorrência de inundação.

Tabela 33 - Percentual de área ocupada pelas classes da Profundidade do Nível Freático nas bacias hidrográficas.

Bacias Hidrográficas Urbanas	Profundidade do Nível Freático (%)				
	< 4 m	4 - 5,5 m	5,5 - 7,0 m	7,0 - 8,5 m	> 8,5 m
A	-	99,9	0,1	-	-
B	18,6	33,9	26,0	21,5	-
C	-	23,6	57,5	18,9	-
D	-	22,3	77,7	-	-
E	88,1	11,9	-	-	-
F	4,7	93,6	1,7	-	-
G	-	100	-	-	-
H	-	99,9	0,1	-	-
I	85,5	14,5	-	-	-
J	4,3	39,8	51,2	4,7	-
K	-	-	35,9	63,6	0,5
L	-	-	37,3	62,7	-
M	-	-	-	100	-
N	-	-	-	100	-
O	-	-	-	100	-
P	12,2	87,8	-	-	-
Q	-	-	35,1	64,9	-
R	-	-	97,5	2,5	-
S	-	3,2	96,8	-	-
T	50,8	49,2	-	-	-
U	10,2	88,9	0,9	-	-
V	-	100	-	-	-

A Profundidade do Nível Freático inferior ou igual a 4 metros é perceptível nas bacias E, I e T correspondendo o percentual de área respectivamente, 88,1%, 85,5% e 50,8%. Nas bacias hidrográficas B, P, U e V está evidente a profundidade variando de 4 a 5,5 metros, cujo percentual de área ocupada são respectivamente, 33,9%, 87,8%, 88,9% e 100%. Para as bacias C, D, e S o nível d'água é alcançado entre 5,5 a 7,0 m de profundidade, abrangendo respectivamente o percentual de área de 57,5%, 77,7% e 96,8%.

- Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor

Nesta análise levou em consideração a Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor de Passos, assim, permitiu verificar quais das bacias hidrográficas urbanas demandam maiores restrições a ocupação, a fim de minimizar os problemas provocados pelas inundações na área urbana. O percentual de área ocupada das bacias hidrográficas na área de expansão urbana está apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 - Percentual de área ocupada pela Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor nas bacias hidrográficas.

Bacias Hidrográficas Urbanas	Área de Expansão Urbana definida no Plano Diretor (%)
A	5,3
B	-
C	-
D	15,2
E	4,1
F	41,8
G	64,9
H	12,1
I	-
J	11,4
K	3,7
L	28,1
M	81,8
N	83,3
O	49,8
P	50,3
Q	64,5
R	23,1
S	38,2
T	-
U	60,6
V	10,7

As bacias hidrográficas que demandam de maior atenção quanto a expansão da área urbana são a P e a U, cujo percentual de área ocupada são respectivamente de, 50,3% e 60,6%. Vale destacar as bacias S (38,2%) e V (10,7%), que embora não apresentem alto percentual de área ocupada pelo raio de expansão urbana definido no Plano Diretor, sofre fortes influências para o crescimento urbano. Com a impermeabilização a montante do Córrego São Francisco, poderá intensificar os danos provindos das inundações.

As bacias hidrográficas que não ocupam a área de expansão urbana definida no Plano Diretor são a B, C, I e T, pois, já se encontram totalmente inseridas na área urbana consolidada. As bacias D e E também apresentam a maior parte da sua área ocupada por edificações, porém apresentam um percentual de área que insere na faixa de expansão urbana respectivamente de, 15,2% e 4,1%.

- Pontos de confluência críticos

Diante da análise realizada, pode-se perceber que o exutório das bacias B, I, T e U são os pontos de confluência críticos que demandam de maiores cuidados na área urbana, pois estas áreas estão parcialmente (bacia U) e totalmente (bacia B, I e T) impermeabilizadas, permitindo o aumento de velocidade do escoamento superficial da água até fluir para o Córrego São Francisco, possibilitando seu aumento de volume e vazão.

As bacias hidrográficas S, U e V apresentam forte tendência ao crescimento urbano, que proporcionará a impermeabilização do local a montante da área urbana, diante disto, é necessário que os planejadores busquem medidas estruturais que impeçam o agravamento das inundações.

6 CONCLUSÕES

6.1 Quanto aos métodos utilizados

A integração de informações morfométricas e geotécnicas permitiu a definição das potencialidades à inundação na bacia do Ribeirão Bocaina. A sua composi o com as informa es das distâncias verticais das drenagens, propiciadas pela análise do HAND, conduziu a identifica o das zonas favoráveis   inunda o, tanto na bacia como um todo como na área urbana da cidade de Passos.

A metodologia utilizada para a elabora o da Carta de Suscetibilidade Morfométrica   inunda o das sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Bocaina foi satisfatória, pois a correla o entre os índices morfométricos analisados e a aplica o das equa es que determinam o grau de suscetibilidade final, evidenciaram as sub-bacias hidrográficas que apresentam características físicas que as classificam como mais ou menos suscetíveis a ocorrência do processo de inunda o.

A utiliza o da técnica AHP para a gera o da Carta de Potencial ao Escoamento Superficial, analisando o meio físico em conjunto com o antrópico apresentou consistência no resultado, condizente com a realidade da área estudada.

6.2 Quanto aos produtos obtidos

As Cartas de Potencial ao Escoamento Superficial, considerando somente o meio físico e os meios físico e antrópico, permitiram visualizar qualitativamente as áreas que apresentam muito baixo a muito alto potencial ao escoamento. Evidencia-se que a adi o do uso e ocupa o na carta demonstrou influência direta no aumento da ocorrência e velocidade deste processo principalmente na área urbana da cidade de Passos.

A Carta da Distância Vertical da Drenagem mais próxima, obtida a partir da análise do HAND, permitiu verificar que a percentagem de área com forte tendência a ocorrência do processo de inunda o na área urbana   de 6,92%, e na bacia hidrográfica de 14,03%. Os percentuais de área na bacia hidrográfica e área urbana de locais que apresentam condi es que não predispõem a área para que o ocorra o evento são respectivamente, 66,72% e 75,09%.

A predisposição topográfica à inundação refletiu a potencialidade natural da área a ocorrência de inundação, pois está associada às características físicas do local e a distância vertical da drenagem mais próxima. Pode-se perceber que tanto na bacia hidrográfica como na área urbana há destaque na classe muito baixa, que respectivamente ocupa 74,53% e 77,63%. O percentual de área ocupado pelas classes baixa, média e alta na bacia são respectivamente, 10,53%, 9,24%, 5,70%, já na área urbana são 10,39%, 5,73%, 6,25%. Apesar de a classe alta não ocupar áreas extensas, concentra-se, no caso da área urbana, em regiões densamente ocupadas ao longo do Córrego São Francisco, nas quais as inundações têm ocorrido regularmente.

A análise realizada nas bacias hidrográficas urbanas, levando em consideração o uso e ocupação do solo, o potencial ao escoamento superficial e a profundidade do nível freático, permitiu identificar os pontos de confluência que agravam o problema de inundações, deixando claro que as bacias B, I, T e U apresentam condições físicas que favorecem a ocorrência do processo de inundação, pois se tratam de áreas praticamente impermeabilizadas, que aceleram a velocidade do escoamento e o volume superficial da água afluente para o Córrego São Francisco.

A realização deste estudo mostrou também que algumas bacias hidrográficas (P, S, U e V) que contemplam a área de drenagem a montante da cidade na região sul, tem ainda grandes áreas não urbanizadas, que necessitam de planejamento em sua ocupação para evitar o agravamento dos problemas de inundação na área urbana.

6.3 Recomendações para estudos futuros

Gerar o modelo HAND para cada uma das sub-bacias hidrográficas, com a finalidade de definir o limiar de área acumulada que condiz com a drenagem de cada uma, evitando assim a geração de canais de drenagem não existentes.

Utilizar os dados obtidos nas sondagens realizadas na área urbana de Passos não apenas para obtenção de informações da profundidade do lençol com o viés do tema inundação, mas também aproveitar as demais informações geotécnicas em estudos para futuras instalações de obras civis na cidade.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Dados Convencionais - estação pluviométrica**. 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 31 mar. 2017.
- AIMON, J. G. da S. et al. Caracterização da mancha de inundação no município de Uruguaiana utilizando imagens do Google Earth. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves. **Anais...**. Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 7.
- AKAN, A. O.; HOUGHTALEN, R. J. **Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality**. Hoboken, NJ: John Willey & Sons. 2003.
- ALFAYA, F. A. V. da S. et al. Classificação de áreas alagáveis da planície do rio Amazonas utilizando mineração de dados e GEOBIA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**. Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 2306 - 2313.
- ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 4, p.83-94, out./dez. 2016.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p.117-127, 2003.
- ALVES, N. S. et al. Fatores Condicionantes do Risco de Inundações na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu, ManausAM. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...**. Maringá: UEM, 2016. p. 1 - 5.
- AMARAL, R. do; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2009. p. 39-52.
- ANDRADE, E.; SILVA, P. C. F. Aplicação de método semiquantitativo no mapeamento de perigos e riscos de inundação em escala local (1:3.000) no município de Guaratinguetá (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...**. Bento Gonçalves: Abge, 2015. p. 1 - 11.
- ANDRADE, R. F. **Mapeamento Geotécnico Preliminar em escala de semi-detalle (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- ANTONELLO, I. T. Potencialidade do Planejamento Participativo no Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p.239-254, maio/ago. 2013.

AQUINO, C. M. S. de; VALLADARES, G. S. Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p.117-138, jan./abr. 2013.

ARCHIBOLD, O. W.; LEVESQUE, L. M. J.; DE BOER, D. H.; AITKEN, A.E.; DELANOY, L. Gully retreat in a semi-urban catchment in Saskatoon, Saskatchewan. *Applied Geography*, v. 23, p. 261-279, 2003.

ARNOLD, C. L. Jr; GIBBONS, C J. Impervious Surface Coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal Of The American Planning Association**, Chicago, v. 62, n. 2, p.243-258, jan./dez. 1996.

BABAR, M. **Hydrogeomorphology: Fundamentals Applications and Techniques**. Nova Delhi: NIPA, 2005, 274p.

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; AL-AMRI, N.. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). **Arabian Journal Of Geosciences**, v. 7, n. 6, p.2469-2481, jun. 2014.

BARBOSA, F. de A. dos R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

BARRETO, C. E.A. G.; WENDLAND, E.; GOMES, L. H. Definição de um modelo de Balanço Hídrico para uma bacia representativa localizada em Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: ABRH, 2007. p. 1 - 20.

BENSO, M. R. et al. Análise de inundações do Rio do Mel, afluente do Rio Uruguai (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: Abge, 2015. p. 1 - 9.

BERTOL, G. A. et al. Aplicação do método do cálculo do balanço hídrico na avaliação da recarga no aquífero Bauru em Araguari - MG. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 0, n. 0, p.1-19, jan./dez. 2006.

BESKOW, S. et al. Estimativa do Escoamento Superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p.169-178, jan./fev. 2009.

BEZERRA, M. G. **Análise sócio-ambiental da porção urbana do Rio Mutum, Santo Antonio de Jesus, Bahia**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Cultura, Memória e Desenvolvimento Regional, Universidade do Estado da Bahia, Santo Antonio de Jesus, 2007.

BIANCHI, R. de C. **Análise hidrológica temporal do escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Canguiri, região metropolitana de Curitiba, PR**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BORMANN, N. P. **Análise de paisagem em áreas de expansão urbana**: Estudo de caso: Águas Claras - Distrito Federal. 1987. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Urbano, Universidade de Brasília, Brasília, 1987.

BOUCHNAK, H., SFAR PELFOUL, M., BOUSSEMA, M. R., & SNARE, M. H. Slope and rainfall effect on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia). *Catena*, v. 78, p. 170-171, 2009.

BOURSCHEID, C. Z. **Geração de Base cartográfica para apoio ao mapeamento geotécnico**: Estudo de caso do Morro de Santana, Porto Alegre/ RS. 2013. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartógrafa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRASIL. **Estatuto da Cidade e Legislação Correlata**. Brasília, Câmara dos Deputados, 2004, 2ª Edição.

_____. Lei Federal nº 6.938, de 31 de janeiro de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981.

_____. Ministério dos Transportes. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2. ed. Brasília: Ministério dos Transportes, 2005.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. de; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: INPE, 2011. p. 1279 - 1286.

BRUBACHER, J. P. et al. Suscetibilidade a inundações no município de Encantado/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: INPE, 2015. p. 2790 - 2797.

BUSNELLI, J.; NEDER, L.V.; SAYAGO, J.M. Temporal dynamics of soil erosion and rainfall erosivity as geoindicators of land degradation in Northwestern Argentina. **Quaternary International**, v. 158 p. 147-161. 2006.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: 17 de julho de 2015. Pag.1-5.

CAMPOS, S. J. A. M. et al. Cartas de suscetibilidade à inundação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 8.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARMO, J. P. de A. do; SILVA, P. D. D. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEOGRÁFICOS, 16., 2010, Porto Alegre. **Anais...** . Porto Alegre: AGB, 2010. p. 1 - 9.

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Mapa de Geomorfologia do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1981.

CHAVES, R. D. et al. Delimitação da planície de inundação da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria - RS com base em Modelo Digital de Elevação em ambiente SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais...** . Brasília: ABRH, 2015. p. 1 - 8.

CHAVES, I. S. B.; PEIXOTO FILHO, G. E. Identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Administrativa Fercal (RA XXXI). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: INPE, 2015. p. 7036 - 7043.

CHEREM, Luis Felipe Soares. **Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas - MG**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHIERICE JÚNIOR, N. **Análise da chuva e vazão na bacia hidrográfica do Rio Pardo**. 2013. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 1980.

CHUEH, A. M. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno - São José dos Pinhais/PR, por meio do diagnóstico físico-conservacionista - DFC**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: Aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP. 2000. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COLLARES, E. G. **Caracterização geotécnica de solos e zoneamento de declividades da área peri-urbana de Passos-MG**. Passos. 2000. 108 p.

COLLARES, E. G. Mapas de Unidades Texturais. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos meios físico e biótico. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 9. p. 188-190.

COLLARES, E. G. (Org.). **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**. Passos: Edifesp, 2013. 4 v.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Geologia. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos Meios Físico e Biótico. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 6. p. 154-164.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M.; SANTOS, B. M. Aspectos metodológicos: Compartimentação em macrounidades e unidades ambientais. In: COLLARES, E.

G. Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos metodológicos. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 4. p. 49-62.

CONCEIÇÃO, R. S. da; COSTA, V. C. da. A representação da informação geográfica e sua importância para o planejamento do território. In: CONCEIÇÃO, Rodrigo Silva da; COSTA, Vivian Castilho da. **Cartografia e Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2010. p. 51-70.

COSTA, R. A.; NISHIYAMA, L. Caracterização Geotécnica dos materiais inconsolidados das áreas urbana e de expansão urbana da cidade de Caldas Novas (GO). **Revista Eletrônica Georaguaiá**, Barra do Garças, v. 1, n. 2, p.40-51, ago./dez. 2011.

CUSTÓDIO, A. M.; PEREIRA NETO, O. C.; CAUDURO, R. F. **Uso do Geoprocessamento no planejamento da expansão urbana na microbacia Água da Saúde - Londrina - PR**. Campo Mourão: Fecilcam, 2013. 19 p.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D.; ROSA, J. W. C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: Inpe, 2005. p. 83 - 90.

DIAS, A. P. **Análise espacial aplicada à delimitação de áreas úmidas da planície de inundação do Médio**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

DIAS, C. C. et al. Diagnóstico do uso e ocupação do solo. In: COLLARES, E. **G. Zoneamento Ambiental das Sub-bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande:** Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 3. p. 138-153.

DIAS, C. C.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. Uso de geotecnologias para produção de carta de potencial geomorfológico ao escoamento superficial. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 6252 - 6259.

DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. **Confins [on Line]**, São Paulo, v. 29, p.1-18, nov. 2016.

DIBIESO, E. P. **Planejamento Ambiental e Gestão dos Recursos Hídricos:** Estudo Aplicado à Bacia Hidrográfica do Manancial do Alto Curso do Rio Santo Anastácio - São Paulo/Brasil. 2013. 283 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

DINIZ, N C. **Automação da cartografia geotécnica:** uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. 1998. 2 v. Tese (Doutorado) - Curso de Transporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 2005.

DURAND, C. et al. Análise da correlação entre população e área urbana (km²) visando a inferência populacional por meio do uso de imagens orbitais. **Geografia**, Londrina, v. 16, n. 2, p.113-142, jul./dez. 2007.

EPTV. **Córrego volta a transbordar e a inundar ruas em Passos (MG)**. 2017. Disponível em:

<[ESPINOZA, R. de F. **Desafios e avanços na governança das águas: apontamentos da literatura sobre a gestão descentralizada de recursos hídricos no Brasil**. Caderno Eletrônico de Ciências Sociais, Vitória, v. 1, n. 1, p.121-139, jun. 2013.](https://www.google.com.br/search?q=inundação+em+passos+mg&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi3toD6hbvUAhXFFZAKHRbTCACQ_AUICygC&biw=1366&bih=613#imgdii=vcBrt4tzwnecM:&imgsrc=mAxKgwfa0w0HWM:> . Acesso em: 13 jun. 2017.</p></div><div data-bbox=)

ESRI. **Kernel Density**. 2017. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/kernel-density.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

FERNANDES, N. S.; PRINA, B. Z. Utilização de distintas bases cartográficas para análise da suscetibilidade à inundação: Estudo de caso para o município de São Gabriel/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 10.

FERREIRA, R. S.; SANTOS, R. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação no perímetro urbano de Ferreira Gomes - AP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** . Maringá: UEM, 2016. p. 1 - 7.

FIORI, A. P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5., 2004, São Carlos. **Anais...** . São Carlos, 2004. p. 1 - 4.

FIRJAN. **IFDM 2015 - Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/ifdm/downloads/>> . Acesso em: 06 de abril de 2016.

FRANCO, G. B. et al. Cartografia Geotécnica: Estágio atual do conhecimento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 5, p.158-172, set. 2010.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves/SC. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p.151-167, set./dez. 2015.

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. de. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Riacho Jucurutu. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 2, n. 1, p.252-261, jan./dez. 2016.

FREIRE, C. C.; OMENA, S. P. F. de. **Princípios de hidrologia ambiental**. UFSC/UFAL, 2005.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p.19-28, jan./mar. 2010.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M (2005). Considerações sobre as inundações no Brasil. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB.

GOLUBEFF, N. **Proposta Metodológica de uso do Sistema de Informações Geográficas destinado à otimização da escolha do melhor lugar para construção de uma wetland**. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GOMES, E. de S.; VESTENA, L. R. O uso de geotecnologias para a análise espaço-temporal da expansão urbana de Guarapuava-PR entre 1995 e 2011. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 898 - 904.

GOUDIE A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. New York, Routledge Taylor & Francis, 2004.1.201p.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. da. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de Muriaé-MG, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** . Natal: Inpe, 2009. p. 3875 - 3882.

GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change *Geography Compass* v. 1/5, p. 1118-1137, 2007.

GUTIERREZ, L. A. R. et al. Mapeamento temporal dos índices: Área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbanizada de Campo Grande - MS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 37, p.269-288, mar. 2011.

HACHICH, W. et al. 1998. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed., São Paulo, Pini, 751 p.

HOFF, R. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao mapeamento geológico e geotécnico no município de Três Cachoeiras, Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 1996. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

HOFF, R.; LEITE, J. C.; ZOUAIN, R. N. A. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como apoio a estudos geológicos e geotécnicos para gestão ambiental do município de três cachoeiras, Litoral Norte do RS, Brasil. **Revista Luso-brasileira de Geotecnica**, São Paulo, v. 118, p.89-113, mar. 2010.

HOLLIS, G. E. The effect of urbanization on floods of different recurrence intervals. *Water Resources Research*, v. 11, p. 431-435, 1975.

HORN, J. F. C. **Regime hidrológico de duas microbacias contíguas: Um comparativo entre uso urbano e rural**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 807-813, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass**. 2016. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/>. Acesso em: 01 abr. 2016.

_____. **Geociências - Mapas interativos - Geologia**. 2014. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 11 abr. 2016.

_____. **Informações Estatísticas**. 2016. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314790&search=minas-gerais|passos>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

_____. **Mapa de Clima do Brasil**. 1978. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2016.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. 2017. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/florestas>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

INSTITUTO GEOLÓGICO. **Subsídios do meio físico geológico ao planejamento do município de Campinas - SP**. Programa: cartas geológicas e geotécnicas para planejamento ambiental na região entre Sorocaba e Campinas. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - CINP. (Relatórios Técnicos), 2v. 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE (Brasil). Divisão de Processamento de Imagens. Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade. **HAND Distância Vertical à drenagem mais próxima**. São José dos Campos, SP. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

INVENTÁRIO FLORESTAL DE MINAS GERAIS. **Vegetação**. 2017. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

KNIERIN, I. da S.; TRENTIN, R. Análise de Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande (RS). **Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p.405-421, set./dez. 2015.

LAMBERTY, D.; KEPEL FILHO, J. L.; NORONHA, F. L. Carta de risco a movimentos de massa e inundação do município de Porto Alegre - RS: Uma abordagem preliminar a partir de dados de suscetibilidade e de vulnerabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...**. Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 10.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: Unesp, 1998. 226 p.

LAZARO, T. R. **Urban Hydrology**. Ann Arbor, MI: Arbor Science. 1979.

LIMA, V. F. de. **Caracterização geomorfológica e tectônica da Folha do Rio Mamuaba 1:25.000**. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Paraíba, João Pessoa, 2014.

LIMA JÚNIOR, J. C. de. **Estudo do desempenho de barreiras de geotêxtil para contenção de sedimentos carregados pelo escoamento superficial**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2014.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K; KOBAYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405 - 3412.

MACIEL FILHO, C.L. **Introdução à Geologia de Engenharia**. Santa Maria: Editora da UFSM/ Brasília: CPRM, 1994.

MAGALHÃES, I. A. L. et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, Salvador, v. 8, n. 2, p.63-70, nov. 2011.

MAGRI, R. A. F. et al. Materiais Inconsolidados. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos Meios Físico e Biótico. Passos: Edifesp, 2013. p. 171-187.

MAGRI, R. A. F.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. Caracterização do relevo. In: COLLARES, Eduardo Goulart. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos Meios Físico e Biótico. Passos: Edifesp, 2013. p. 118-153.

MALDANER, T.; SANTIN, J. R.. A importância do Estatuto da cidade na busca por cidades mais justas. In: Seminário Internacional de Demandas Sociais e Políticas Públicas na sociedade contemporânea, 12., 2015, Santa Cruz do Sul. **Anais...** . Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2015. p. 1 - 14.

MARINHO, R. R.; SILVA, E. C. M. da. Análise morfométrica de áreas afetadas por inundação urbana em Manaus (AM). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 59, p.162-176, set. 2016.

MARQUES, C. P. M.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais: reflexões a partir do caso do Ribeirão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 10, n. 2, p.100-117, jul./dez. 2014.

MATIAS, L. F. **Sistema de Informações Geográficas (SIG): Teoria e método para representação do espaço geográfico**. 2001. 58 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais...** .Cuiabá, 2007.p. 1-8.

MENDONÇA, R. A. M. de et al. **Uso das geotecnologias para gestão ambiental:** Cuiabá: Instituto Centro de Vida, 2011. 40 p.

MENGUE, V. P. et al. Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 43, n. 1, p.41-53, jan./abr. 2016.

MILANEZ, L. R. **Avaliação da qualidade de água de abastecimento para o município de Passos-MG.** 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2014.

MILLER, V.C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area.** New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.

MOMO, M. R. et al. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p.200-208, jan./mar. 2016.

MORAIS, e et al. Avaliação da suscetibilidade de inundação em uma área de preservação permanente. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** .Maringá: UEM, 2016. p. 1 - 4.

MOREIRA, L. L.; DIAS, R. R.. Análise morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego Manoel João, Porto Nacional (TO). **Geoambiente On-line**, Jataí, v. 27, p.18-33, jul./dez. 2016.

MÜLLER, A. S. **Aplicabilidade de medidas não-estruturais no controle de cheias urbanas:** Estudo de caso Bacia hidrográfica do Rio Cachoeira - Joinville - SC. 2011. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, M. D. do. **Fragilidade Ambiental e Expansão Urbana da Região Administrativa Nordeste da Sede do Município de Santa Maria - RS.** 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Meio Ambiente e Sociedade da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NOGUEIRA, A. C.; MACHADO, M. F. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do município de Santarém- Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 8.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba e região metropolitana - Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 65, n. 64, p.27-39, jan./dez. 2011.

NUNES, F. G; RIBEIRO, N. C; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba - Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** . Goiânia. 2006. p. 1 - 9.

PADILLA, R. S. **Aplicação de um modelo computacional tridimensional para estimativa de balanço hídrico em aterros sanitários.** 2007. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PAULINO, R B; GOERL, R F. Modelo AHP aplicado ao mapeamento de áreas de risco de inundação nas planícies de Joinville-SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 10.

PEIXOTO, P. P. P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na Região de Dourados - MS.** 2002. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba - SP (Escala 1:100.000):** Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 1992. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Carta de potencial de escoamento superficial da folha de Piracicaba/SP. **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 1015-1023, 1993.

PEREIRA, T. S. R. et al. Determinação e espacialização da perda de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Cascavel, Goiás. **Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p.76-93, jan./dez. 2015.

PEREIRA, T. M.; GOMES, M. H. R.; TEIXEIRA, J. C. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Córrego do Yung: Estudo de Caso. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: ABRH, 2012. p. 1 - 11.

PERUCHI, F. **Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica.** 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PINA, M. de F. de; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Opas, 2000. 122 p.

PINHO, T. N. M. **Geotecnia urbana da zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia:** criação de uma base de dados SIG geotécnica. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2010.

PINHEIRO, M. C. et al. **Elaboração de diagnóstico e proposição de soluções conceituais para o problema das enchentes na área urbana:** Volume 1: Diagnóstico e Apresentação de Soluções Conceituais. Passos: Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda, 2006.

- PINTO, V. G. et al. Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n. 3, p.637-649, jul./set. 2016.
- PIRES, E. G.; BORMA, L. de S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais... .** Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 5568 - 5575.
- POFF, N.L.; BLEDSOE, B.P.; CUHACIYAN, C.O. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*, v. 79, p. 264-285, 2006.
- PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GNSS e Fotogrametria: Integração dos dados no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais... .** Maringá: UEM, 2016. p. 1 - 6.
- QUEIROZ, C. M. **Propriedades geotécnicas de um depósito de argila mole na região de Itaguaí-RJ.** 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- REIS, P. E. et al. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, Bacia do Ribeirão Arrudas. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 1, p.31-46, jan./dez. 2012.
- RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing Of Environment**, v. 112, n. 0, p.3469-3481, 2008.
- REZENDE, D. A.; ULTRAMARI, C. Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teórico-conceitual. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 41, p.255-271, mar./abr. 2007.
- RIGOLIN-SÁ, O. Estudos limnológicos do Ribeirão Bocaina pertencente à Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande-MG. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA & EXTENSÃO DA UEMG, 17., 2015, Carangola. **Anais... .** Carangola: UEMG, 2015.
- RODRIGUES, V. L.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, Rio Claro, v. 39, n. 1, p.1-15, mar. 2009.
- RODRIGUÉZ, A. C. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP).** 2005. 201 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ROQUE, W. V. **Mapeamento Geoambiental da área urbana de Manaus - AM.** 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p.81-90, 2005.

ROSIM, S. et al. Extração da drenagem da região nordeste utilizando o sistema terrahidro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Natal. **Anais...** . Natal: ABRH, 2014. p. 1 - 10.

ROZA, D. A. et al. Análise morfométrica como estudo de tendência a alagamentos na bacia hidrográfica do rio Lonqueador - Francisco Beltrão/PR. In: SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 8., 2016, Marechal Cândido Rondon. **Anais...** . Marechal Cândido Rondon: Unioeste, 2016. p. 590 - 597.

SAATY, T L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: Mcgraw-hil, 1980.

SAMANI, A. N.; WASSON, R. J.; MALEKIAN, A. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: review and case study from Bushehr province, southwestern Iran. *Progress in Physical Geography*, v. 35, n. 3, p. 375-391, 2011.

SANDERS, R.A. **Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio**. *Urban Ecology*, v.9, p. 361-376, 1986.

SANTIN, J. R.; MARANGON, E. G. O Estatuto da Cidade e os instrumentos de política urbana para proteção do patrimônio histórico: outorga onerosa e transferência do direito de construir. **História**, São Paulo, v. 27, n. 2, p.89-109, jan./dez. 2008.

SANTOS, K. A. dos. **Utilização de modelo hidrodinâmico para mapeamento de áreas inundáveis**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2015.

SANTOS, K. R.; VITTE, A. C. Notas sobre o relevo da alta bacia do rio das Antas em Anápolis (GO) e sua relação com as inundações urbanas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** . Maringá: UEM, 2016. p. 1 - 6.

SCHUELER, T.R., 1987. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D. C.

SCHUMM, S.A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. *Geological Society of America Bulletin*, n. 67, p. 597- 646, 1956.

_____. **Disparity between present rates of denudation and orogeny**, US Geological Survey Professional Paper 454, 13. 1963.

SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. do C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 1, p.256-285, jan./abr. 2011.

SILVA, J. A. A. et al. **O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, 2011.

SILVEIRA, S. M. G. **Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão Ipiranga (Pindamonhangaba - SP) vs Educação Ambiental**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2008.

SIMÕES, P.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; VASCONCELOS, K. Contribuição da Carta de Padrões de relevo para o mapeamento de suscetibilidade a inundação e movimentos de massa de Oriximiná-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1 - 10.

SIQUEIRA, A. G. **Avaliação das alterações na rede de drenagem da sub-bacia do Rio Capivari-Mirim-SP**. 2001. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SPECKHANN, G. A. **Mapeamento de áreas de inundação em três municípios localizados na bacia do rio Itajaí**. 2015. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOARES, L. S. et al. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 31, p.82-100, jan./dez. 2016.

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

SOUSA, L. F. N. M. de. **Metodologia para o mapeamento de cheias em zonas de risco. Aplicação a um trecho de um rio do norte de Portugal**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2012.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005. p. 52.

SOUZA, G. A. de. Georreferenciamento de acidentes de trânsito: uma discussão metodológica. **Acta Geográfica**, Boa Vista, Ed.especial. p.31-40, 2011.

SOUZA, L. A. de; SOBREIRA, F. G. **Guia para elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à urbanização frente aos desastres naturais: Estudo de caso de Ouro Preto** - 2013. Brasília: ABGE, 2014. 68 p.

SOUZA, L. A. P.; SILVA, R. F.; IYOMASA, W. S. (1998). Métodos de Investigação. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (1998). **Geologia de Engenharia**. ABGE. CNPq - FAPESP. p 163-196.

SOUZA, M. M. de. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC**. 2013. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, N. S. et al. Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio das Fêmeas, Oeste da Bahia com uso de Geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: INPE, 2015. p. 1884 - 1891.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v38. p. 913-920.

SUMAI, J. de S.; OLIVEIRA, J. N. de. Análise dos efeitos no escoamento superficial gerado por ocupação urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais...** . Maceió: ABRH, 2011. p. 1 - 11.

TAKEDA, M. M. G. et al. **Caracterização Geoambiental da Bacia Urbana Córrego Roseira - Londrina/PR utilizando sistema de informação geográfica (SIG)**. Revista Eletrônica Geoaraguaia, Barra do Garças, Ed. especial, p.56-76, set. 2013.

TARGA, M. dos S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p.120-142, jan./dez. 2012.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007. p. 137.

TINÓS, T. M. **Mapeamento Geológico-geotécnico a partir de metodologia de análise integrada**: Ensaio de aplicação do município de Poços de Caldas - MG. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **R. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p.849-857, jan./dez. 2006.

TUCCI, C. E.M. **Modelos Hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre, 2005.

_____ **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Brasília, 2005.

_____ Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M., PORTO, Rubem L. L., BARROS, Mário T. de. (Org). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS: ABRH. cap. 1, p. 1615- 1629.

_____ **Água no meio urbano**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Livro Água Doce. Porto Alegre: Instituto de Pesquisa Hidráulica (UFRGS), 1997. 40 p.

TUNDISI, J. G. A Bacia Hidrográfica como Laboratório Experimental para o Ensino de Ciências, Geografia e Educação Ambiental. In: SCHIEL, Dietrich et al. **O Estudo de Bacias Hidrográficas**: uma estratégia para educação ambiental. 2. ed. São Carlos: Rima, 2003. p. 3-8.

VALÉRIO FILHO, M. et al. Geotecnologias aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas urbanizadas como subsídios ao plano diretor de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: Inpe, 2005. p. 3919 - 3926.

VISSMAN, W; LEWIS, G L. **Introduction to hydrology**. 4. ed. Nova Iorque: Harpercollins, 1995.

VILLELA, S M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975. 245 p.

WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler Series A, Physical Geography*, v. 49, p. 385-395, 1967.

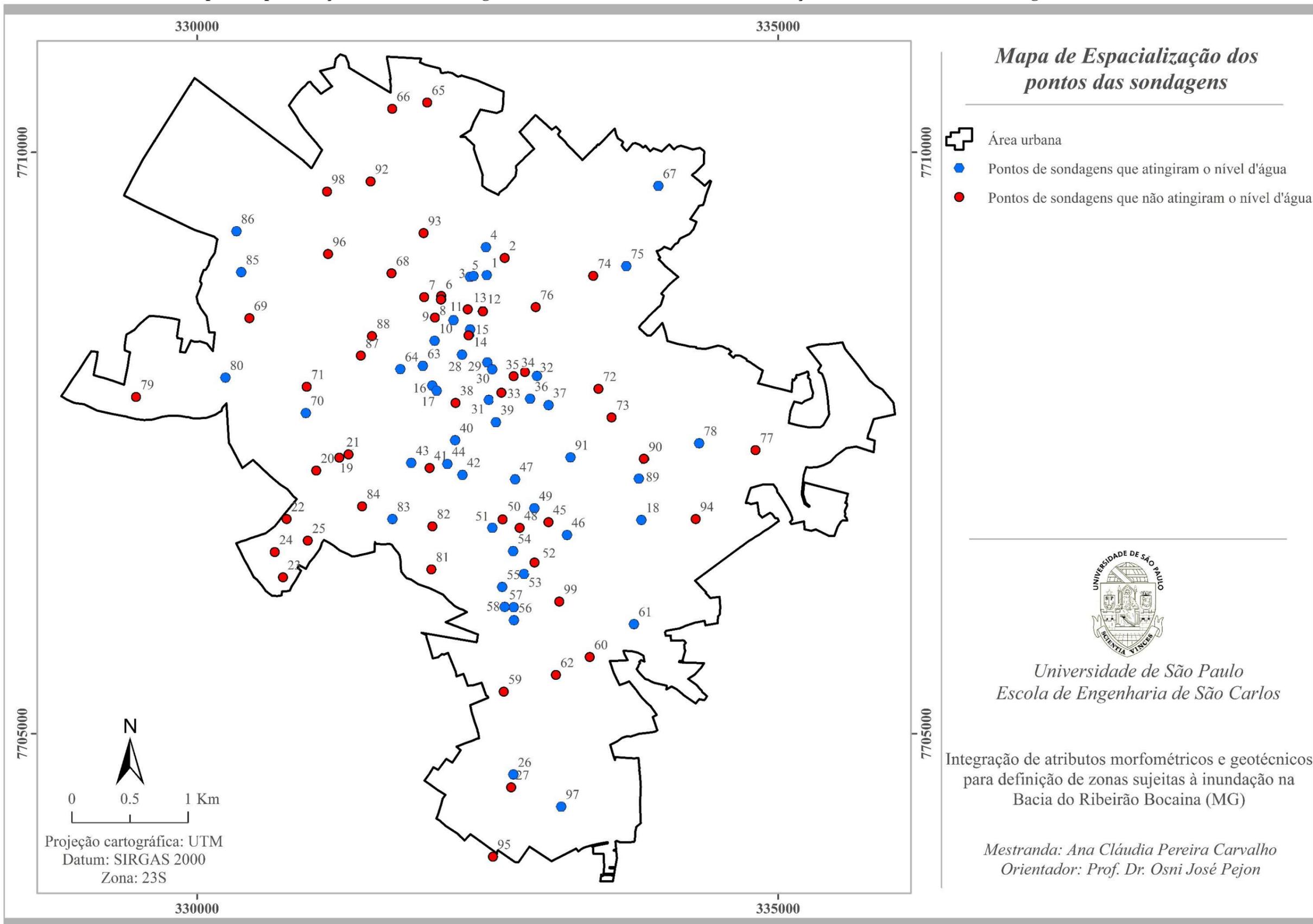
XAVIER, S. C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras**: Estudo de caso para Pelotas (RS). 2010. 256 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

YEH, A. G.-O. Urban planning and GIS. **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management 2nd edition**, Eds PA Longley, M Goodchild, D Maguire, D Rhind (John Wiley, New York). p. 877-888, 1999.

ZUQUETTE, L. V; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**, São Paulo. Oficina de Textos, 2004.

APÊNDICE A

Mapa de Especialização dos furos de sondagem na área urbana de Passos-MG e Informações referentes aos furos de sondagem analisados



As abreviações contidas na Tabela estão descritas a seguir:

Sond. - Número referente a sondagem;

DC - Descrição de cada camada referente a sondagem;

PC - Profundidade de cada camada em metros;

PG - Perfil geral caracterizando as camadas como solo retrabalhado, residual ou saprolito;

PCPG - Profundidade em metros de cada camada referente ao perfil geral;

PT - Profundidade total em metros do furo da sondagem;

NA - Nível d'água;

IP - Impenetrável.

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
1	Silte argilo arenoso, marrom claro e bege, consistência muito mole.	2,7	RT - silte argiloso	2,7	10,5	0,3	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	715
	Areia grossa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho grosso), marrom claro e amarelo, compactidade pouco compacta a muito compacta.	3	RT - areia	3					
	Silte muito arenoso (areia fina), muito micáceo, bege e esverdeado, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	4,8	RES - silte arenoso	4,8					
2	Aterro - silte arenoso com ocorrência de pedriscos, bege e marrom, compactidade fofa.	1,6	RES - silte arenoso	3,5	4,4	-	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito	735
	Silte muito arenoso (areia fina), micáceo, filito, bege, compactidade fofa a muito compacta.	1,9							
	Areia fina siltosa, pouco micácea, formação de rocha (quartzito), bege, muito compacta.	0,9							
3	Argila silto arenosa, marrom avermelhado, consistência mole.	3,8	RES - argila siltosa	3,8	8,45	2,35	-	Gnaisse	720
	Areia média a grossa, com ocorrência de pedriscos, marrom, compactidade fofa a muito compacta.	4,65	RES - areia	4,65					
4	Aterro - Silte areno argiloso, marrom claro, compactidade medianamente compacta a compacta.	3,5	RES - silte arenoso	5,5	10,45	8,15	-	Quartzito com intercalação	715 a 720

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
4	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho fino), marrom claro e bege, compactidade fofa a pouco compacta.	2						de filito e xisto	715 a 720
	Silte argilo arenoso, rosa e marrom claro, consistência mole a média.	2	RES - silte argiloso	2					
	Silte arenoso, muito micáceo, amarelo e bege, compactidade compacta a muito compacta.	2,95	RES - silte arenoso	2,95					
5	Aterro - Materiais diversos, silte arenoso, com ocorrência de pedregulhos, marrom claro, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	1,5	RES - silte arenoso	3	10	2,46	10 (rocha ou matacão)	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	720
	Silte arenoso (areia fina), marrom claro, compactidade fofa.	1,5							
	Argila pouco siltosa, marrom avermelhado, consistência muito mole.	2	RES - argila	2					
	Silte muito arenoso (areia fina), pouco argiloso, amarela, compactidade fofa.	2,5	RES - silte arenoso	2,5					
	Areia média a grossa, com ocorrência de pedregulhos pequenos (cascalho), pouco siltosa, amarela, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	2,5	SAP - areia	2,5					
6	Aterro - Silte argilo arenoso, marrom claro, compactidade fofa.	1,5	RES - silte argiloso	1,5	9,5	-	-	Quartzito com	Pouco acima de 735

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
6	Silte arenoso, micáceo, marrom claro e amarelo, compactidade fofa à medianamente compacta.	5	RES - silte arenoso	8				intercalação de filito ou xisto	Pouco acima de 735
	Silte muito arenoso, micáceo, rosa e pouco esverdeado, compactidade compacta a muito compacta.	3							
7	Silte areno argiloso, marrom claro, compactidade média.	1,5	RES - silte arenoso	5,7	5,7	-	-	Quartzito com intercalação de filito	735
	Silte arenoso, micáceo, bege, compactidade compacta a muito compacta.	4,2							
8	Silte muito arenoso, micáceo, marrom claro e bege, compactidade fofa a pouco compacta.	2,8	RES - silte arenoso	2,8	4,05	-	4.05 (formação de rocha)	Quartzito com intercalação de filito	735
	Silte muito arenoso (filito), formação de rocha, bege, compactidade muito compacta.	1,25	SAP - silte arenoso	1,25					
9	Aterro - Silte areno argiloso, marrom claro e bege, compactidade fofa a pouco compacta.	3,5	RES - silte arenoso	5	7,55	-	7.55 m (formação de rocha - xisto)	Xisto	720
	Silte muito arenoso (areia muito fina), bege e amarelo, compactidade compacta.	1,5							
	Areia fina siltosa, formação de rocha (xisto), bege, compactidade muito compacta.	2,55	SAP - areia siltosa	2,55					
10	Aterro - Materiais diversos.	1,8	-	-	11,45	2,31	-	Gnaisse	720

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
10	Argila silto arenosa, com ocorrência de pedriscos, pouco micácea, marrom escuro, consistência muito mole a mole.	4	RES - argila siltosa	4				com intercalação de filito	720
	Areia média a grossa, com ocorrência de pedregulhos pequenos, siltosa, pouco micácea.	1,7	RES - areia	1,7					
	Silte muito arenoso, micáceo (filito), bege, compactidade compacta a muito compacta.	3,95	RES - silte arenoso	3,95					
11	Silte arenoso, marrom, compactidade fofa.	2,8	RT - silte arenoso	2,8	12,45	4,18	-	Quartzito	720 a 725
	Argila siltosa, marrom avermelhado, consistência muito mole.	1,2	RT - argila siltosa	1,2					
	Areia grossa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), amarelo e rosa, compactidade medianamente compacta a compacta.	1,5	RT - areia	1,5					
	Silte muito arenoso (areia fina), rosa, compactidade medianamente compacta.	1,5	RES - silte arenoso	1,5					
	Argila silto arenosa, amarela e rosa, consistência média.	2	RES - argila siltosa	2					
	Silte argilo arenoso, marrom claro, consistência dura.	3,45	RES - silte argiloso	3,45					
12	Aterro - Silte argiloso, marrom, consistência muito mole.	1,5	RES - silte argiloso	1,5	7	1,38	7.0 (cascalho)	Quartzito	720

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
12	Argila silto arenosa, cinza e amarelo, consistência muito mole a média.	3,3	RES - argila siltosa	3,3			grosso)		720
	Areia fina a grossa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho grosso), bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	2,2	SAP - areia	2,2					
13	Silte muito arenoso, marrom, compactidade medianamente compacta.	2,5	RT - silte arenoso	2,5	10,45	2,4	-	Quartzito	720
	Argila pouco siltosa, marrom, consistência muito mole a mole.	2	RES - argila siltosa	5,5					
	Argila silto arenosa, marrom claro e amarelo, consistência mole a média.	3,5							
	Silte muito arenoso, amarelo e bege, compactidade compacta a muito compacta.	2,45	RES - silte arenoso	2,45					
14	Silte arenoso, marrom claro, compactidade fofa.	1,5	RES - silte arenoso	4	12,5	4,28	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	730
	Silte areno argiloso, amarelo e rosa, micáceo, compactidade fofa a média.	2,5							
	Silte muito arenoso, amarelo e bege, micáceo, com ocorrência de pedregulhos pequenos soltos, compactidade média a muito compacta.	8,5	SAP - silte arenoso	8,5					
15	Aterro - Materiais diversos, entulho, silte arenoso, com ocorrência de pedregulhos, marrom, compactidade fofa.	1,5	RES - silte arenoso	1,5	6,35	3,47	-	Quartzito com intercalação de filito	725 a 730

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
15	Silte muito argiloso, amarelo, consistência muito mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5					725 a 730
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedregulhos pequenos, micáceo, filito, bege e amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	2,35	RES - silte arenoso	2,35					
16	Aterro - Materiais diversos, silte arenoso com pedregulhos (cascalho), variegado, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	3,5	RES - silte arenoso	3,5	9,5	4,1	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito	725
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, micáceo, bege e rosa, compactidade fofa a compacta.	2,5	SAP - silte arenoso	6					
	Silte areno argiloso, com ocorrência de pedriscos, bege e amarelo, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	3,5							
17	Aterro - Materiais diversos.	1	-	-	12,45	5,26	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	720 a 725
	Argila siltosa, marrom, consistência mole.	2	RES - argila siltosa	2					
	Silte arenoso, micáceo, marrom claro e bege, compactidade fofa.	2	RES - silte arenoso	9,45					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), pouco micáceo, variegado (branco, bege e amarelo), compactidade compacta a muito compacta.	7,45							

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
18	Silte areno argiloso, marrom claro e amarelo, compactidade pouco compacta a muito compacta.	5	RES - silte arenoso	10,5	10,5	1,9	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	755
	Silte muito arenoso (areia fina), com ocorrência de pedriscos, micáceo, bege e amarelo, compactidade medianamente compacta a compacta.	3							
	Silte areno argiloso, micáceo, bege, compactidade muito compacta.	2,5							
19	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, marrom claro, compactidade fofa.	1,8	RES - silte arenoso	3,5	6,45	-	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito	770 a 775
	Silte muito arenoso, pouco argiloso (filito), micáceo, com ocorrência de pedregulhos pequenos (cascalho), rosa e amarelo, compactidade média a muito compacta.	1,7							
	Areia fina, pouco micácea (formação quartzito), bege e amarela, compactidade muito compacta.	2,95	SAP - areia	2,95					
20	Silte arenoso (areia muito fina), com ocorrência de pedregulhos (cascalho), bege, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	2,8	RES - silte arenoso	7,5	7,5	-	-	Quartzito com intercalação de filito	760 a 765
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e rosa, compactidade pouco compacta a muito compacta.	4,7							

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
21	Silte argilo arenoso, amarelo e marrom claro, pouco micáceo, consistência dura.	1	RES - silte argiloso	1	3,45	-	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	Pouco acima de 775
	Areia fina, com ocorrência de pedriscos (cascalho), marrom claro e bege, micáceo, compactidade muito compacta.	1,5	RES - areia	1,5					
	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom com manchas beges e brancas, micáceo, compactidade muito compacta.	0,95	RES - silte arenoso	0,95					
22	Silte argilo arenoso, marrom claro, consistência muito mole.	3	RES - silte argiloso	3	9,45	-	-	Quartzito com intercalação de filito	785 a 790
	Silte muito arenoso, micáceo, bege com pontos amarelo, compactidade pouco compacta a muito compacta.	6,45	RES - silte arenoso	6,45					
23	Argila siltosa, marrom, consistência muito mole a mole.	4,5	RES - argila siltosa	4,5	8,5	-	8.50 (formação de rocha)	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	795 a 800
	Silte argilo arenoso, micáceo, amarelo esverdeado, consistência muito mole a média.	2,5	RES - silte argiloso	2,5					
	Silte muito arenoso, micáceo, formação de rocha, amarelo e cinza, compactidade compacta.	1,5	SAP - silte arenoso	1,5					
24	Argila siltosa, marrom claro, consistência muito mole a mole.	4,5	RES - argila siltosa	4,5	11,45	-	-	Quartzito com intercalação	790 a 795

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
24	Silte arenoso (veios de areia grossa), com ocorrência de pedregulhos (cascalho), marrom claro, compactidade pouco compacta.	1	RES - silte arenoso	6,95				de filito ou xisto	790 a 795
	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, bege, medianamente compacta a muito compacta.	5,95							
25	Silte argiloso, com ocorrência de pedriscos, marrom claro, consistência muito mole a mole.	4,5	RES - silte argiloso	6,5	8,5	-	-	Quartzito com intercalação filito ou xisto	780
	Silte pouco arenoso, rosa, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	2							
	Silte muito arenoso, micáceo, bege, compactidade compacta a muito compacta.	2	RES - silte arenoso	2					
26	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	4	RES - silte argiloso	4	12,45	8,79	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	800
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, micáceo, variegado (marrom claro, rosa e amarelo), compactidade fofa a medianamente compacta.	4,5	RES - silte arenoso	8,45					
	Silte muito arenoso (areia fina), pouco micáceo, solo residual, rosa e bege, compactidade compacta a muito compacta.	3,95							
27	Silte arenoso, marrom, compactidade fofa a pouco compacta.	2,5	RES - silte arenoso	10,05	10,05	-	-	Quartzito com	800

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
27	Silte arenoso, micáceo, bege, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	4,5						intercalação de filito ou xisto	800
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho fino), micáceo, bege e marrom claro, compactidade compacta a muito compacta.	3,05							
28	Argila pouco siltosa, vermelha, consistência muito mole a mole.	3,8	RES - argila	3,8	10,5	7,07	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	735 a 740
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedregulhos, bege, compactidade fofa a medianamente compacta.	1,7	RES - silte arenoso	6,7					
	Silte arenoso, micáceo, variegado (bege e amarelo), compactidade compacta a muito compacta.	5							
29	Aterro - Materiais diversos.	0,8	-	-	12,45	3,55	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	735 a 740
	Argila siltosa, cinza e amarela, consistência mole.	1,7	RES - argila siltosa	3,7					
	Argila siltosa, pouco arenosa, cinza escura, consistência mole.	2							
	Areia muito fina, siltosa, cinza escura, compactidade fofa.	1,5	RES - areia siltosa	1,5					
	Argila siltosa, pouco arenosa, amarela e bege, consistência média.	2	RES - argila siltosa	2					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
29	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	4,45	RES - silte arenoso	4,45					735 a 740
30	Argila silto arenosa, marrom claro e bege, consistência muito mole a média.	1,6	RES - argila siltosa	1,6	9,55	2,04	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	740 a 745
	Areia fina, pouco siltosa, bege, compactidade pouco compacta.	1,4	RES - areia	1,4					
	Argila pouco siltosa, bege e cinza claro, consistência média.	2	RES - argila siltosa	2					
	Areia média a grossa, amarela, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	2	RES - areia	2					
	Silte arenoso, micáceo, bege e amarelo, compactidade muito compacta.	2,55	RES - silte arenoso	2,55					
31	Silte pouco argiloso, marrom, com ocorrência de pedriscos, consistência mole.	2	RES - silte	2	14,45	6,7	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	760
	Argila pouco siltosa, com ocorrência de pedriscos, marrom, consistência mole a média.	2	RES - argila	2					
	Silte arenoso (areia muito fina), variegado (amarelo e marrom), micáceo, compactidade fofa a muito compacta.	10,45	RES - silte arenoso	10,45					
32	Argila siltosa, marrom avermelhada, consistência muito mole a média.	3,5	RES - argila siltosa	3,5	10,45	8,15	-	Gnaisse com intercalação	755

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
32	Silte areno argiloso, micáceo, rosa, compactidade medianamente compacta a compacta.	4,2	RES - silte arenoso	4,2				de filito ou xisto	755
	Argila pouco siltosa, amarela, consistência rija.	1,3	RES - argila	1,3					
	Silte arenoso, pouco micáceo, rosa com veios amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	1,45	RES - silte arenoso	1,45					
33	Argila pouco siltosa, marrom claro, consistência muito mole a mole.	2,5	RES - argila	2,5	3,8	-	3,8 impenetrável	Quartzito	755 a 760
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedregulhos pequenos (cascalho), pouco micáceo, bege, compactidade muito compacta.	1,3	SAP - silte arenoso	1,3					
34	Areia fina, siltosa, marrom claro, compactidade fofa.	2	RES - areia siltosa	2	10,45	-	-	Quartzito com intercalação de filito	750
	Silte muito arenoso, pouco argiloso, com ocorrência de pedregulhos finos, micáceo, filito, marrom, compactidade fofa a muito compacta.	8,45	RES - silte arenoso	8,45					
35	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole.	1,5	RES - silte argiloso	1,5	16,5	3,3	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	740
	Silte muito arenoso (areia fina), pouco micáceo, marrom claro e bege, compactidade fofa a pouco compacta.	4,5	RES - silte arenoso	6,5					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
35	Silte arenoso, muito micáceo, esverdeado, compactidade pouco compacta a compacta.	2							740
	Argila silto arenosa, rosa e amarelo claro, consistência média a rija.	3,45	RES - argila siltosa	3,45					
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e esverdeado, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,05	RES - silte arenoso	5,05					
36	Aterro - Materiais diversos, silte arenoso, marrom claro.	0,7	RT - silte arenoso	0,7	12,45	1,25	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	750
	Argila preta (turfa), consistência muito mole.	3,3	RES - argila	3,3					
	Areia fina a média, pouco argilosa, bege, compactidade fofa a medianamente compacta.	5	RES - areia	5					
	Silte muito arenoso (areia fina), micáceo, marrom, compactidade compacta a muito compacta.	3,45	RES - silte arenoso	3,45					
37	Silte arenoso, marrom, compactidade fofa.	3	RT - silte arenoso	3	22,45	7,85	-	Gnaisse com intercalação filito ou xisto	760 a 765
	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a média.	4,5	RES - silte argiloso	7					
	Argila siltosa, rosa, consistência média.	2,5							
	Silte areno argiloso, micáceo, bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	8,5	RES - silte arenoso	12,45					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
37	Silte muito arenoso, micáceo, bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	3,95							760 a 765
38	Silte arenoso, bege, compactidade compacta.	2	RES - silte arenoso	11,5	11,5	-	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	735
	Silte muito arenoso, marrom claro e bege, muito micáceo, compactidade compacta a muito compacta.	9,5							
39	Argila pouco siltosa, marrom claro, consistência muito mole a mole.	3,5	RES - argila	3,5	11,5	5,38	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	770
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedregulhos pequenos (cascalho), marrom claro e bege, compactidade fofa.	1	RES - silte arenoso	1					
	Silte argiloso, micáceo, marrom claro e bege, consistência média.	3	RES - silte argiloso	3					
	Silte muito arenoso (areia fina) micáceo, bege e rosa, compactidade compacta a muito compacta.	4	RES - silte arenoso	4					
40	Argila silto arenosa, marrom claro, consistência muito mole a média.	3,5	RES - argila siltosa	3,5	9,5	8,2	-	Quartzito com intercalação de filito	740
	Areia grossa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), siltosa, bege, compactidade pouco compacta.	1	RES - areia	1					
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e amarelo, compactidade fofa a compacta.	2,5	RES - silte arenoso	5					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
40	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo (filito), rosa, compactidade compacta.	2,5			9,5	8,2	-		740
41	Silte arenoso, marrom claro, compactidade medianamente compacta.	1,5	RES - silte arenoso	8,05	8,05	-	-	Quartzito com intercalação de filito	745
	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, rosa e bege, compactidade fofa a compacta.	5,3							
	Silte arenoso, micáceo (filito), rosa, compactidade muito compacta.	1,25							
42	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), marrom avermelhado, compactidade fofa a pouco compacta.	3	RES - silte arenoso	8	14,45	5,2	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	740 a 745
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, micáceo, marrom claro e amarelo, compactidade fofa.	2							
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e amarelo, compactidade medianamente compacta.	3							
	Silte argilo arenoso, amarelo, consistência rija.	3	RES - silte argiloso	3					
	Silte arenoso, micáceo, bege e amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	3,45	RES - silte arenoso	3,45					
43	Silte arenoso, rosa, compactidade fofa.	1,8	RES - silte arenoso	1,8	12,5	1,76	-	Quartzito com	725 a 730

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
43	Silte argilo arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), cinza e marrom escuro, consistência mole a média.	1,2	RES - silte argiloso	1,2				intercalação de filito ou xisto	725 a 730
	Silte muito arenoso (areia muito fina), com ocorrência de pedregulhos (cascalho), cinza escuro, compactidade fofa a pouco compacta.	3,5	RES - silte arenoso	3,5					
	Areia média a grossa, com ocorrência de cascalho grosso, bege e amarelo, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	3	RES - areia	3					
	Silte arenoso, micáceo, verde e bege, compactidade muito compacta.	3	RES - silte arenoso	3					
44	Silte muito arenoso (areia fina), pouco argiloso, cinza e amarelo, compactidade fofa.	2	RES - silte arenoso	2	8,5	3,2	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito	740 a 745
	Silte arenoso, com ocorrência de pedregulhos, micáceo, filito, amarelo e bege, compactidade pouco compacta a muito compacta.	3,5	SAP - silte arenoso	6,5					
	Silte areno argiloso, bege, compactidade compacta a muito compacta.	3							
45	Argila pouco siltosa, marrom avermelhado e rosa, consistência muito mole a média.	9,5	RES - argila	9,5	15,45	-	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	795 a 800
	Silte muito arenoso, micáceo, rosa, compactidade compacta.	3,5	RES - silte arenoso	5,95					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
45	Silte areno argiloso, pouco micáceo, rosa, compactidade compacta a muito compacta.	2,45			15,45	-	-		795 a 800
46	Silte argiloso, marrom, consistência muito mole a mole.	3,8	RES - silte argiloso	3,8	16,45	11,2	-	Gnaisse com intercalação de filito e xisto	800
	Silte arenoso, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), micáceo, marrom claro e rosa, compactidade fofa a pouco compacta.	4,2	RES - silte arenoso	12,65					
	Silte areno argiloso, micáceo, rosa e bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	8,45							
47	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom avermelhado, compactidade fofa.	3,2	RES - silte arenoso	3,2	13,45	9,18	impenetrável	Gnaisse	785 a 790
	Areia, com ocorrência de pedregulhos (cascalho grosso), pouco siltosa, bege, compactidade medianamente compacta a compacta.	1,6	RES - areia	1,6					
	Silte arenoso, pouco argiloso, amarelo e marrom claro, compactidade fofa a medianamente compacta.	4,2	RES - silte arenoso	4,2					
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, marrom claro, compactidade compacta a muito compacta.	4,45	SAP - silte arenoso	4,45					
48	Silte areno argiloso, marrom, compactidade fofa a pouco compacta.	3,5	RES - silte arenoso	10,5	10,5	-	-	Gnaisse com	780 a 785

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
48	Silte arenoso, pouco micáceo, marrom claro, compactidade pouco compacta.	3,5			10,5	-	-	intercalação de filito e xisto	780 a 785
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e rosa, compactidade compacta a muito compacta.	3,5							
49	Argila siltosa, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	2,5	RES - argila siltosa	2,5	17,45	11,5	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	790 a 795
	Silte arenoso, pouco micáceo, rosa e bege, compactidade fofa a muito compacta.	8,5	RES - silte arenoso	8,5					
	Argila pouco arenosa, marrom claro e bege com veios brancos, consistência rija a dura.	6,45	RES - argila	6,45					
50	Silte arenoso, pouco micáceo, bege, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	3,3	RES - silte arenoso	8,45	8,45	3	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	760 a 765
	Silte arenoso, com ocorrência de pedregulhos (cascalho grosso), micáceo, bege.	0,7							
	Silte arenoso, micáceo, bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	4,45							
51	Aterro - Entulho, silte argilo arenoso, com ocorrência de pedregulhos, marrom claro, consistência mole a média.	3,8	RES - silte argiloso	3,8	14,45	1,35	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	765 a 770
	Argila pouco siltosa, cinza e cinza escuro, consistência muito mole a mole.	2	RES - argila siltosa	5,2					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
51	Argila silto arenosa, pouco micáceo, amarela esverdeada, consistência rija a dura.	3,2							765 a 770
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, pouco micáceo, esverdeado e amarelo, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,45	RES - silte arenoso	5,45					
52	Silte areno argiloso, marrom claro, compactidade pouco compacta.	1,5	RES - silte arenoso	1,5	16,5	-	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	800
	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a média.	8	RES - silte argiloso	8					
	Silte muito arenoso, micáceo, rosa e amarelo, compactidade medianamente compacta.	2,5	RES - silte arenoso	2,5					
	Argila siltosa, rosa e amarela, consistência rija a dura.	2	RES - argila siltosa	2					
	Areia fina, silto argilosa, rosa, compactidade compacta a muito compacta.	2,5	RES - areia siltosa	2,5					
53	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	7,5	RES - silte argiloso	7,5	15,03	10,55	impenetrável	Gnaisse	795 a 800
	Silte arenoso, pouco argiloso, com ocorrência de pedriscos, rosa e amarelo, compactidade fofa a medianamente compacta.	4,5	RES - silte arenoso	4,5					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
53	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), rosa e marrom escuro, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	3,03	SAP - silte arenoso	3,03					795 a 800
54	Argila siltosa, marrom avermelhada, consistência muito mole a média.	3,5	RES - argila siltosa	3,5	14,45	5,9	-	Gnaisse	785
	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom claro e rosa, com ocorrência de pedriscos (cascalho), compactidade medianamente compacta a compacta.	5	RES - silte arenoso	10,95					
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), amarelo e rosa, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,95							
55	Aterro - Entulhos, silte arenoso, marrom claro, compactidade fofa.	2,5	RT - silte arenoso	2,5	12,45	7,8	-	Gnaisse	785 a 790
	Argila pouco siltosa, marrom avermelhada, consistência muito mole a mole.	1,5	RES - argila	1,5					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), pouco argiloso, com ocorrência de pedriscos, variegado (rosa, bege e amarelo), compactidade pouco compacta a compacta.	5	RES - silte arenoso	5					
	Silte argilo arenoso, rosa e roxo, consistência dura.	3,45	RES - silte argiloso	3,45					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
56	Silte argilo arenoso, marrom, consistência muito mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	11,45	6,4	impenetrável	Gnaisse com intercalação de filito e xisto	790
	Argila pouco siltosa, marrom avermelhado, consistência mole.	1	RES - argila siltosa	1					
	Silte muito arenoso (areia fina), com ocorrência de pedregulhos (cascalho), amarelo, compactidade fofa.	1,3	RES - silte arenoso	1,3					
	Silte argiloso, com ocorrência de pedriscos, micáceo, rosa e amarelo, consistência mole a dura.	6,65	SAP - silte argiloso	6,65					
57	Silte argiloso, marrom, consistência muito mole.	3,5	RES - silte argiloso	3,5	9,55	6,45	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	790 a 795
	Areia siltosa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), marrom claro e bege, compactidade fofa.	3,5	RES - areia siltosa	3,5					
	Silte argilo arenoso, micáceo, rosa, consistência média a dura.	2,55	RES - silte argiloso	2,55					
58	Aterro - Entulhos, silte areno argiloso, marrom avermelhado, compactidade fofa.	2,5	RES - silte arenoso	10,5	10,5	6,67	-	Gnaisse	785 a 790
	Silte muito arenoso (areia muito fina), marrom claro e rosa, compactidade pouco compacta a muito compacta.	8							
59	Silte muito arenoso (areia fina), marrom, compactidade fofa a pouco compacta.	5	RES - silte arenoso	5	10,45	-	-	Quartzito	800 a 805

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
59	Areia fina, siltosa, com ocorrência de pedriscos (cascalho), amarelo e bege, compactidade pouco compacta a muito compacta.	5,45	RES - areia siltosa	5,45					800 a 805
60	Aterro - Materiais diversos, entulho, silte argiloso, pouco micáceo, marrom claro, consistência mole.	1,5	RES - silte argiloso	3,45	3,8	-	3.8	Quartzito com intercalação de filito	805 a 810
	Silte argilo arenoso (filito), micáceo, bege, consistência muito mole e rija.	1,95							
	Areia fina, pouco siltosa (arenito), com ocorrência de pedregulhos, bege.	0,35	SAP - areia	0,35					
61	Silte argiloso, marrom claro, consistência muito mole a mole.	4,5	RES - silte argiloso	4,5	12,45	11	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	800 a 805
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, rosa, compactidade fofa a pouco compacta.	2	RES - silte arenoso	7,95					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), micáceo, rosa e amarelo, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,95							
62	Aterro - Materiais diversos, entulho.	1	-	-	9,5	-	-	Gnaisse	810
	Silte arenoso, pouco micáceo, variegado (amarelo, bege e rosa), compactidade fofa a medianamente compacta.	5,8	RES - silte arenoso	8,5					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), rosa, compactidade medianamente compacta a muito compacta	2,7							

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
63	Aterro - Materiais diversos.	0,5	-	-	6,5	0,92	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	720 a 725
	Silte muito arenoso, com ocorrência de cascalho, amarelo, compactidade fofa.	1,5	RES - silte arenoso	6					
	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos, pouco micáceo, marrom e rosa, compactidade pouco compacta a muito compacta.	4,5							
64	Silte muito arenoso (areia fina), marrom claro, compactidade fofa.	1,5	RT - silte arenoso	1,5	10,45	1,8	-	Quartzito com intercalação de filito e xisto	720 a 725
	Argila siltosa, pouco micácea, marrom e preta, consistência muito mole a mole.	2,5	RT - argila siltosa	2,5					
	Areia grossa, com ocorrência de pedregulhos (cascalho grosso), pouco argiloso, amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	4	RT - areia	4					
	Argila pouco siltosa, marrom claro e amarelo, consistência rija a dura.	2,45	RES - argila	2,45					
65	Silte argilo arenoso, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	3,5	RES - silte argiloso	6	14,45	-	-	Gnaisse	760
	Silte argilo arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho fino), marrom avermelhado com manchas brancas, consistência mole a média.	2,5							
	Silte muito arenoso, micáceo, bege, compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	2							

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
65	Silte argilo arenoso, pouco micáceo, rosa, consistência mole a rija.	4	RES - silte argiloso	4					760
	Silte arenoso, micáceo, rosa, compactidade muito compacta.	2,45	RES - silte arenoso	2,45					
66	Silte argilo arenoso, com ocorrência de pedriscos, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	4,5	RES - silte argiloso	4,5	14,45	-	-	Gnaiss	760 a 765
	Silte arenoso, micáceo, bege e roxo, compactidade pouco compacta a muito compacta.	9,95	RES - silte arenoso	9,95					
67	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	5	RES - silte argiloso	5	12,5	9,05	-	Gnaiss	750
	Silte muito arenoso (areia média a grossa), argiloso, amarelo e rosa, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	7,5	RES - silte arenoso	7,5					
68	Silte pouco argiloso, com ocorrência de pedriscos, marrom, consistência mole a média.	3,7	RES - silte	3,7	13,45	-	-	Quartzito com intercalação de filito e xisto	750 a 755
	Silte arenoso, micáceo, amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	6,3	RES - silte arenoso	6,3					
	Areia muito fina, siltosa, pouco micáceo, rosa, compactidade muito compacta.	3,45	RES - areia siltosa	3,45					
69	Silte argiloso, marrom claro, consistência muito mole a mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	14,45	-	-	Quartzito com	790 a 795

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
69	Silte areno argiloso, pouco micáceo, marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	4	RES - silte arenoso	4				intercalação de filito ou xisto	790 a 795
	Areia muito fina, siltosa, bege e amarela, compactidade medianamente compacta.	2	RES - areia siltosa	2					
	Silte arenoso, muito micáceo, rosa, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,95	RES - silte arenoso	5,95					
70	Silte muito arenoso, pouco argiloso, muito micáceo, bege e amarelo, compactidade pouco compacta a compacta.	4	RES - silte arenoso	7,5	7,5	3,58	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	740 a 745
	Silte muito arenoso, muito micáceo, bege e esverdeado, compactidade compacta a muito compacta.	3,5							
71	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	4,5	RES - silte arenoso	4,5	5,45	-	5.45 (filito)	Quartzito com intercalação de filito	760 a 765
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos, micáceo, bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	0,95	SAP - silte arenoso	0,95					
72	Silte argilo arenoso, marrom, consistência muito mole a mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	12,45	-	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	780 a 785
	Argila siltosa, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	3	RES - argila siltosa	3					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
72	Silte muito arenoso, pouco micáceo, bege e rosa, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	6,95	RES - silte arenoso	6,95					780 a 785
73	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência muito mole a média.	8	RES - silte argiloso	8	13,5	-	-	Gnaisse	785
	Silte areno argiloso, amarelo, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5,5	RES - silte arenoso	5,5					
74	Areia muito fina, pouco siltosa, micáceo (filito), variegada (rosa, branca e amarela), compactidade fofa a muito compacta.	5,5	RES - areia	5,5	5,5	-	-	Gnaisse com intercalação de filito	765 a 770
75	Aterro - Materiais diversos, entulho, silte arenoso, compactidade fofa a pouco compacta.	5	RES - silte arenoso	11,45	11,45	8,35	-	Gnaisse com intercalação de filito e xisto	745
	Silte areno argiloso, muito micáceo, esverdeado, compactidade medianamente compacta.	4							
	Silte muito arenoso (areia muito fina), micáceo, esverdeado, compactidade compacta a muito compacta.	2,45							
76	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho fino), micáceo, bege, compactidade medianamente compacta.	1,5	RES - silte arenoso	4,05	4,05	-	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	730
	Silte arenoso, micáceo, amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	2,55							

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
77	Aterro - Silte argiloso, marrom claro e amarelo.	0,7	RES - silte argiloso	6,3	14,5	-	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	775 a 780
	Silte argiloso, pouco arenoso, marrom, consistência mole.	5,6							
	Silte muito arenoso, pouco micáceo, amarelo, compacidade pouco compacta a muito compacta.	8,2	RES - silte arenoso	8,2					
78	Silte argiloso, marrom claro, consistência dura.	1,5	RES - silte argiloso	1,5	8,5	4,35	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	735 a 740
	Argila siltosa, marrom claro, consistência muito mole a mole.	3	RES - argila siltosa	3					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), micáceo, esverdeado, compacidade pouco compacta a muito compacta.	4	RES - silte arenoso	4					
79	Silte argiloso, pouco arenoso, marrom avermelhado, consistência mole a média.	11	RES - silte argiloso	11	17,45	-	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	805 a 810
	Silte muito arenoso, marrom claro e amarelo, compacidade compacta.	3	RES - silte arenoso	3					
	Areia muito fina, siltosa, amarela, compacidade muito compacta.	3,45	RES - areia siltosa	3,45					
80	Silte areno argiloso, marrom avermelhado, compacidade fofa a pouco compacta.	10	RES - silte arenoso	10	16,45	10	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	790
	Areno siltoso, bege e amarelo, compacidade pouco compacta a muito compacta.	4	RES - areia siltosa	4					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
80	Silte argilo arenoso, pouco micáceo, rosa e amarelo, consistência rija a dura.	2,45	RES - silte argiloso	2,45					790
81	Argila siltosa, marrom, consistência mole.	2,5	RES - argila siltosa	2,5	8,45	-	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	750 a 755
	Silte pouco argiloso, com ocorrência de cascalho, marrom, consistência média.	1,5	RES - silte	1,5					
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos, marrom claro, micáceo, compactidade fofa a muito compacta.	4,45	SAP - silte arenoso	4,45					
82	Silte arenoso, marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	2,5	RES - silte arenoso	4,5	4,5	-	-	Quartzito com intercalação de filito	755 a 760
	Silte muito arenoso, micáceo (filito), bege e rosa, compactidade muito compacta.	2							
83	Aterro - Silte areno argiloso, marrom claro, compactidade pouco compacta.	2	RES - silte arenoso	2	5,7	3,63	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	735 a 740
	Silte argiloso, rosa, consistência muito mole a mole.	1,5	RES - silte argiloso	1,5					
	Silte muito arenoso, micáceo, bege e marrom claro, compactidade fofa.	1,5	RES - silte arenoso	1,5					
	Areia siltosa, com ocorrência de pedregulhos (quartzito), cinza escuro e bege, compactidade muito compacta.	0,7	SAP - areia siltosa	0,7					
84	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho fino), micáceo, bege, compactidade fofa a medianamente compacta.	4,5	RES - silte arenoso	4,5	5,5	-	impenetrável	Quartzito com intercalação de filito ou	755 a 760

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
84	Areia fina, siltosa, com ocorrência de pedregulhos (quartzito), micáceo, bege, compactidade muito compacta.	1	SAP - areia siltosa	1				xisto	755 a 760
85	Silte argilo arenoso, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	5	RES - silte argiloso	5	11,45	3,62	-	Gnaisse	770 a 775
	Silte areno argiloso, com ocorrência de canga, marrom avermelhado, compactidade medianamente compacta.	2	RES - silte arenoso	2					
	Argila pouco siltosa, variegada (rosa, amarela e cinza), consistência rija a dura.	2	RES - argila arenosa	4,45					
	Argila arenosa, cinza, compactidade muito compacta.	2,45							
86	Argila silto arenosa, marrom avermelhado, consistência muito mole a mole.	3	RES - argila siltosa	3	8,55	6,6	impenetrável	Gnaisse	755
	Silte muito arenoso (areia muito fina), com ocorrência de pedriscos (cascalho), marrom claro e bege, compactidade fofa a muito compacta.	5,55	SAP - silte arenoso	5,55					
87	Aterro - Silte arenoso, marrom, compactidade medianamente compacta.	1,5	RT - silte arenoso	3,5	9,5	-	-	Quartzito	760
	Silte muito arenoso, marrom claro e bege, compactidade fofa a pouco compacta.	2							
	Argila pouco siltosa, marrom claro, consistência muito mole a mole.	1	RES - argila siltosa	1					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
87	Silte muito arenoso (areia fina), com ocorrência de pedriscos (cascalho), amarelo e bege, compactidade medianamente compacta a muito compacta.	5	RES - silte arenoso	5					760
88	Silte arenoso, marrom, compactidade fofa a pouco compacta.	2,5	RES - silte arenoso	9,45	9,45	-	-	Gnaisse com intercalação de filito	760
	Silte muito arenoso, micáceo, variegado (rosa, bege e amarelo), compactidade fofa.	2,5							
	Silte areno argiloso, muito micáceo, rosa, compactidade compacta a muito compacta.	4,45							
89	Silte pouco argiloso, marrom, consistência mole.	3,5	RES - silte	3,5	11,45	4,65	-	Quartzito	765 a 770
	Argila silto arenosa, rosa com manchas amarelas, consistência média.	3,5	RES - argila siltosa	3,5					
	Areia muito fina, silto argilosa, com ocorrência de pedregulhos pequenos, amarela, compactidade compacta a muito compacta.	4,45	RES - areia siltosa	4,45					
90	Silte argilo arenoso, marrom avermelhado, consistência mole a média.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	12,45	9,15	-	Gnaisse com intercalação de filito e xisto	770 a 775
	Silte muito arenoso (areia fina a média), pouco micáceo, bege e marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	3	RES - silte arenoso	9,95					

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>	
90	Silte areno argiloso, micáceo, variegado (amarelo, bege e roxo), compactidade medianamente compacta a muito compacta.	6,95							770 a 775	
91	Silte argiloso, marrom avermelhado, consistência mole a média.	4,5	RES - silte argiloso	8,5	19,45	13,2	-	Gnaisse com intercalação de filito ou xisto	795	
	Silte argilo arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), pouco micáceo, marrom claro e rosa, consistência muito mole a média.	4								
	Silte areno argiloso, micáceo, variegado (roxo, rosa e amarelo), compactidade pouco compacta a medianamente compacta.	5,5	RES - silte arenoso							5,5
	Silte argiloso, amarelo claro, consistência média a rija.	3,5	RES - silte argiloso							3,5
	Silte arenoso, muito micáceo, esverdeado, compactidade muito compacta.	1,95	RES - silte arenoso							1,95
92	Silte arenoso, marrom, compactidade fofa.	4	RES - silte arenoso	14,45	14,45	-	-	Gnaisse	775 a 780	
	Silte areno argiloso, marrom avermelhado, compactidade fofa a compacta.	7,5								
	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos, pouco micáceo, rosa e amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	2,95								

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
93	Aterro - silte arenoso com ocorrência de pedriscos, pouco micáceo, rosa, compactidade fofa pouco compacta.	2,7	RT - silte arenoso	2,7	9,5	-	-	Quartzito com intercalação de filito ou xisto	745 a 750
	Silte argilo arenoso, marrom claro, consistência mole a rija.	3,3	RES - silte argiloso	3,3					
	Silte muito arenoso (areia muito fina), micáceo, bege e rosa, compactidade fofa a muito compacta.	3,5	RES - silte arenoso	3,5					
94	Silte arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	3	RES - silte arenoso	14,45	14,45	-	-	Gnaisse	770 a 775
	Silte muito arenoso, micáceo, variegado (rosa, amarelo e roxo), compactidade pouco compacta a muito compacta.	11,45							
95	Silte argilo arenoso, com ocorrência de pedregulhos (cascalho), marrom claro, consistência mole a média.	6,5	RES - silte argiloso	6,5	13,5	-	impenetrável	Quartzito	Acima de 810
	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom claro e bege, compactidade fofa a medianamente compacta.	4,5	RES - silte arenoso	4,5					
	Areno siltoso, com pedregulhos (cascalho), bege e marrom claro, compactidade compacta a muito compacta.	2,5	SAP - areia siltosa	2,5					
96	Aterro - Silte arenoso, marrom.	0,9	RES - silte	7	8,5	-	-	Quartzito	780

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
96	Silte muito arenoso, com ocorrência de pedriscos (cascalho), marrom claro, compactidade fofa a pouco compacta.	3,1	arenoso					com intercalação de filito e xisto	780
	Silte areno argiloso, micáceo, bege e esverdeado, compactidade medianamente compacta.	3							
	Areia muito fina, com ocorrência de pedriscos, siltosa, micáceo, verde e bege, compactidade muito compacta.	1,5	RES - areia	1,5					
97	Aterro - silte argiloso, marrom escuro, consistência muito mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	9,5	0,9	-	Gnaisse	780
	Areia muito fina, pouco siltosa, bege e marrom claro, compactidade fofa.	3	RES - areia siltosa	7					
	Areia silto argilosa, bege, compactidade medianamente compacta.	2,5							
	Areno siltoso, amarelo, compactidade compacta a muito compacta.	1,5							
98	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom avermelhado, compactidade fofa a compacta.	7	RES - silte arenoso	7	11,5	-	impenetrável	Quartzito	780
	Areia muito fina, pouco siltosa, com ocorrência de rochas soltas (quartzito), branca e amarela, compactidade compacta a muito compacta.	4,5	SAP - areia	4,5					
99	Silte argiloso, com ocorrência de pedregulhos, marrom, consistência muito mole a mole.	2,5	RES - silte argiloso	2,5	10,5	-	-	Quartzito com intercalação	800

<i>Sond</i>	<i>DC</i>	<i>PC (m)</i>	<i>PG</i>	<i>PCPG (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NA</i>	<i>IP</i>	<i>Rocha</i>	<i>Altitude (m)</i>
99	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, rosa, compactidade pouco compacta a compacta.	8	RES - silte arenoso	8				de filito ou xisto	800

