

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriel Abelim da Silveira

**INEFICIÊNCIAS NO SISTEMA DE DRENAGEM: ANÁLISE
DE UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS FLAP EM SÃO
LEOPOLDO, RS**

Porto Alegre
dezembro 2015

GABRIEL ABELIM DA SILVEIRA

**INIFICIÊNCIAS NO SISTEMA DE DRENAGEM: ANÁLISE
DE UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS FLAP EM SÃO
LEOPOLDO, RS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Carlos André Bulhões Mendes
Coorientadora: Bárbara Maria Giacom Ribeiro

Porto Alegre
dezembro 2015

GABRIEL ABELIM DA SILVEIRA

**INEFICIÊNCIAS NO SISTEMA DE DRENAGEM: ANÁLISE
DE UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS FLAP EM SÃO
LEOPOLDO, RS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015

Prof. Carlos André Bulhões Mendes
Dr. pela BRISTOL – Universidade de Bristol
Orientador

Bárbara Maria Giaccomm Ribeiro
Me. pelo INPE – Instituto Nacional de
Pesquisas Espaciais
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos André Bulhões Mendes
(UFRGS)
Dr. pela universidade de BRISTOL –
Universidade de Bristol

Bárbara Maria Giaccomm Ribeiro
Me. pelo INPE – Instituto de Pesquisas
Espaciais

Alexandre Belluco
(UFRGS)
Dr. pela UFRGS –
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Francisco Carlos Bragança de Souza
(UFRGS)
Dr. pela UFSC –
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a meus pais, Paulo e Jane, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, especialmente aos meus fantásticos pais e ao meu incrível irmão por todo amor, esforço, dedicação e atenção dedicados a mim.

Agradeço a minha incansável e, sempre atenta, coorientadora Bárbara Giaccom pela grande ajuda para realização deste trabalho.

Agradeço ao professor Carlos André, idealizador do trabalho, pela oportunidade e orientações pertinentes.

Agradeço ao professor Alfonso Rizzo pelos conselhos e revisão de meu trabalho.

Agradeço a todos os colegas de graduação, que de alguma forma contribuíram para minha formação, especialmente aos amigos William Mizushima, Allan Baptista, Márcio Narvaez, Lucca Parmeggiani, Felipe Kozminski, Leonardo Cabrera, Pedro Grala, Gustavo Cabral, Émerson Madruga, Fernanda Mota, Fernanda Anzolin e Luísa Lucchese.

Agradeço, também, a todos os colegas do grupo de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos pelas dicas e experiências passadas.

Os que se encantam com a prática sem a ciência são como
os timoneiros que entram no navio sem timão nem
bússola, nunca tendo certeza do seu destino.

Leonardo da Vinci

RESUMO

A ocupação do bairro Feitoria é fruto de um crescimento urbano rápido e desordenado que se deu no Brasil a partir da industrialização, na segunda metade do século XX. O planejamento urbano não acompanhou o crescimento desta região a qual não cumpre o zoneamento de uso e ocupação do solo previsto no Plano Diretor de São Leopoldo, havendo, moradias no bairro Feitoria que ocupam as várzeas do Rio do Sinos, como, por exemplo, o conjunto habitacional Minha Casa Minha Vida, proposto pelo Governo Federal. Este bairro vem sofrendo com frequentes alagamentos que são intensificados pelo refluxo da drenagem pluvial. Neste refluxo, quando a seção do conduto da Rua Carlos Bier, que apresenta ligação com o Sinos, encontra-se afogada, a água retorna à grandes pressões como um conduto forçado, extravasando nas ruas. Isso ocorre pelo princípio de vasos comunicantes, em que, o sistema de drenagem intercomunicado e com seções abertas para o rio e para as bocas de lobo, busca o equilíbrio de pressões, regulando os níveis de montante com os de jusante. Foi feito um estudo buscando elencar os fatores que levam a alagamentos na Feitoria. Para isso, realizou-se, primeiramente, uma análise global da Bacia do Sinos por meio de dados SRTM, buscando determinar fatores que propiciam o refluxo, assim como as inundações ribeirinhas nas áreas mais baixas. Em sequência, realizou-se uma análise localizada no bairro Feitoria, com ênfase na região que sofre impacto direto de refluxos, por meio de curvas de nível que possibilitaram a geração de um MDT mais refinado. Dentre estes fatores, destacam-se as formas de terreno do bairro que apresentam características propícias a acumulação de água. Além disso, os solos da região são saturados e muito mal drenados, facilitando o acúmulo de águas. Os resultados gerados indicam como principais motivos aos alagamentos no bairro Feitoria as formas de terreno, com características predominantemente côncavas e convergentes; os solos que possuem uma má drenagem e as baixas declividades. Além disso, a rede atual apresenta deficiências para esgotar o escoamento gerado e, não obstante, o plano diretor prevê o adensamento do bairro Feitoria. Neste cenário, como alternativa para reduzir os alagamentos, propõe-se a instalação de uma válvula flap a qual impede o refluxo pluvial, mantendo um sentido de fluxo unidirecional, tendo como pressuposto que, os alagamentos que possam ser gerados em virtude incapacidade do escoamento entrar no conduto, devido ao acúmulo de água pelo fechamento de válvula flap, é menor que o gerado por refluxo.

Palavras-chave: alagamento; inundação; planície de inundação; geoprocessamento; refluxo de drenagem pluvial; válvula *flap*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proporção entre população residente em zona rural e zona urbana, de 1950 a 2010, no Brasil	26
Figura 2 – Impactos ambientais devido ao processo acelerado de urbanização e a adoção de medidas tradicionais de drenagem urbana, baseadas, apenas, no aumento de canalizações.....	34
Figura 3 – Definições de enchente, inundação e alagamento.....	35
Figura 4 – Inundação ribeirinha.....	37
Figura 5 – Escoamento superficial mínimo, no balanço hídrico, em áreas pré-urbanizadas e dominante em áreas pós-urbanizadas	38
Figura 6 – Tendência de ocupação urbana e impacto gerado.....	38
Figura 7 – Zoneamento de áreas inundáveis	42
Figura 8 – Sugestão de ocupação compatível com o zoneamento de áreas inundáveis	43
Figura 9 – Acumulo de lixo em córrego urbano.....	44
Figura 10 – Revestimento de taludes com enrocamento (a), gabiões (b) e enrocamento com argamassa (c).....	45
Figura 11 – Pôlder protegido por dique.....	46
Figura 12 – Configuração do bombeamento do escoamento, necessário quando o nível do rio é superior ao das áreas laterais, na presença de diques	46
Figura 13 – Efeito do Reservatório.....	47
Figura 14 – Pavimento permeável	49
Figura 15 – Telhado verde	50
Figura 16 – Vala de Infiltração – (a) vista em Planta e (b) vista em corte	51
Figura 17 – Reservatório em lote	51
Figura 18 – Reservatório de retenção aberto, incorporada a paisagem, em Belo Horizonte....	52
Figura 19 – Reservatório de detenção fechado, incorporada a paisagem, na Praça Júlio Andreata, em Porto Alegre	53
Figura 20 – Reservatório <i>on-line</i>	54
Figura 21 – Reservatório <i>off-line</i>	54
Figura 22 – Sistema de drenagem sujeito a entupimento, por lixo acumulado nas sarjetas....	55
Figura 23 – Vala de infiltração – (a) vista em Planta e (b) vista em corte	56
Figura 24 – Válvula <i>flap</i>	57
Figura 25 – Representação de válvula <i>Flap</i> da Hydrostec em corte (a), em planta para embutimento (b) e em planta, com flange (c)	58
Figura 26 – Bacia de retenção proposta, na cidade de Mesquita (RJ), com presença de comporta (válvula) <i>flap</i> no canal projetado, entre a bacia e o Rio Sarapuí.....	60
Figura 27 – Relação entre geoprocessamento e as geotecnologias	68

Figura 28 – Infraestrutura de um Sistema de Informações Geográficas	70
Figura 29 – Estrutura <i>raster</i> (matricial) para representação do espaço geográfico.....	73
Figura 30 – Sobreposição de mapas temáticos representativos da realidade	74
Figura 31 – Grade regular SRTM, <i>Void Filled</i> , de um arco segundo de resolução	78
Figura 32 – Declividade das vertentes relaciona aos processos morfogenéticos e pedogenéticos	80
Figura 33 – Ação da declividade sobre a hidrologia da superfície.....	81
Figura 34 – Medida da declividade em carta e em campo	82
Figura 35 – Orientação das vertentes, baseada em curvas de nível.....	83
Figura 36 – Variáveis geomorfométricas locais, derivadas da altimetria, e suas possíveis combinações, representando as diferentes formas de relevo.....	84
Figura 37 – Ação da curvatura vertical sobre a hidrologia da superfície	85
Figura 38 – Identificação das curvas verticais de acordo com as curvas de nível do terreno ..	85
Figura 39 – Relação dos fluxos de água conforme as formas de vertente, segundo análise em perfil do terreno	86
Figura 40 – Identificação das curvas horizontais de acordo com as curvas de nível do terreno	87
Figura 41 – Mesma pressão exercida, há uma dada altura h , pelo mesmo fluido, ocupando diferentes volumes em recipientes de formatos distintos	89
Figura 42 – Sistema de vasos comunicantes	90
Figura 43 – Pressões num líquido em recipiente aberto	91
Figura 44 – Representação gráfica da relação linear entre Pressão Absoluta (P) e Profundida (h), a partir de superfície livre	92
Figura 45 – Diferentes Conformações de Canais de Macrodrenagem Urbana	93
Figura 46 – Concepção de Canal de Macrodrenagem Aberto e Avenidas Sanitárias Marginais	94
Figura 47 – Canais de Macrodrenagem Urbana em Situações de Enchentes.....	95
Figura 48 – Potencialização das Enchentes Urbanas em Canais de Macrodrenagem Fechados (Galerias Circulares).....	96
Figura 49 – Refluxo de galerias pluviais na Rua Raul López, em Teresina.....	97
Figura 50 – Refluxo de drenagem, baseado no Princípio de Vasos Comunicantes, em Santarém, no Pará, nas cheias do Rio Tapajós	99
Figura 51 – Diagrama do delineamento do trabalho	103
Figura 52 – Grade regular de altimetria, SRTM1S30W051V3, a qual engloba a maior parte da Bacia do Sinos	104
Figura 53 – Grade regular de altimetria, SRTM1S30W052V3, a qual engloba uma menor porção da Bacia do Sinos, nas proximidades de seu exutório	104
Figura 54 – Rede de drenagem, com destaque para o exutório da Bacia do Sinos	110
Figura 55 – Compartimentação da Bacia do Sinos.....	129
Figura 56 – Mapa Exploratório de Solos do Rio Grande do Sul	132

Figura 57 – Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos, na época das cheias, com imagem LANDSAT 8, de 30 de agosto de 2013.....	134
Figura 58 – Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos, na época das secas, com imagem LANDSAT 8, de 5 de janeiro de 2014	135
Figura 59 – Localização geográfica de São Leopoldo	137
Figura 60 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico	139
Figura 61 – Planossolo Háplico Eutrófico solódico, em Pelotas (RS)	140
Figura 62 – Áreas de risco de inundação em São Leopoldo, conforme a planície de inundação do Rio do Sinos	141
Figura 63 – Áreas de risco de inundação em São Leopoldo, conforme a planície de inundação do Rio do Sinos	142
Figura 64 – Áreas de risco de inundações no bairro Feitoria de São Leopoldo	143
Figura 65 – Áreas de risco de inundação em São Leopoldo, conforme a planície de inundação do Rio do Sinos	145
Figura 66 – Mosaico de altimetria, formado por imagens SRTM de 1 arco segundo de resolução.....	148
Figura 67 – Mosaico em projeção SIRGAS2000 UTM Zone-22S	149
Figura 68 – Mosaico sem falhas ou sem informações faltantes	150
Figura 69 – Comparação de trecho do terreno, entre o mosaico original e o mosaico com falhas preenchidas	151
Figura 70 – Mapa de localização de depressões do mosaico	152
Figura 71 – Mosaico sem falhas e sem depressões	153
Figura 72 – Mapa de localização de depressões do mosaico, após execução de comando para removê-las	154
Figura 73 – Mapa de área de fluxo acumulado, com destaque para a região nas proximidades do bairro feitoria de São Leopoldo.....	155
Figura 74 – Shapefile da rede de canais de drenagem.....	157
Figura 75 – Mapa com as direções de fluxos nos canais da rede de drenagem.....	158
Figura 76 – Mapa de delimitação da Bacia do Sinos	159
Figura 77 – <i>Shapefile</i> da rede de canais sobreposto ao mapa de delimitação da Bacia do Sinos	160
Figura 78 – MDT da altimetria com o contorno da Bacia do Sinos	161
Figura 79 – Mapa de declividade da Bacia do Sinos, com destaque para a região do bairro Feitoria de São Leopoldo	163
Figura 80 – Mapa de aspectos da Bacia do Sinos, com destaque para a região do bairro Feitoria de São Leopoldo	165
Figura 81 – Mapa de curvatura vertical da Bacia do Sinos	167
Figura 82 – Classificação do mapa de curvatura vertical da Bacia do Sinos	168
Figura 83 – Mapa de curvatura horizontal da Bacia do Sinos	169
Figura 84 – Classificação do mapa de curvatura horizontal da Bacia do Sinos	170

Figura 85 – Classificação do mapa de formas de terreno da Bacia do Sinos, com destaque para o bairro Feitoria de São Leopoldo	172
Figura 86 – Mapa de índice de umidade da Bacia do Sinos.....	174
Figura 87 – Mapa de índice de classificação de planícies da Bacia do Sinos	175
Figura 88 – Mapa de índice de umidade da Bacia do Sinos sobreposto às curvas de nível de 5 em 5 metros, com destaque para a curva de cota 15 m	176
Figura 89 – Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos, baseada no mapa de índice de umidade, sobreposta a este mesmo mapa	177
Figura 90 – Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos, baseada no índice de umidade, sobreposta ao mapa de índice de classificação de planícies	178
Figura 91 – Planície de inundação do Rio dos Sinos delimitada, com destaque para o bairro Feitoria, em São Leopoldo	180
Figura 92 – Corte AA'	181
Figura 93 – Perfil longitudinal do corte AA'	182
Figura 94 – característica de convergência do terreno	183
Figura 95 – Perfil longitudinal do corte BB' dos dados SRTM	183
Figura 96 – Corte BB'	184
Figura 97 – Perfis longitudinais BB' com dados SRTM e MDT refinado	185
Figura 98 – Delimitação de áreas de estimadas para inundações com T = 100 anos	187
Figura 99 – Planície de inundação a partir de dados SRTM sobreposta a área de inundação estimadas por série histórica.....	188
Figura 100 – Cotas na planície de inundação gerada por dados SRTM	189
Figura 101 – Área mais afetada pelo refluxo pluvial	190
Figura 102 – Série histórica de cotas de terreno de cheias máximas em São Leopoldo, no período de 1973 a 2015	191
Figura 103 – Representação de válvula <i>Flap</i> da Hydrostec em corte (a) e em planta para embutimento (b)	192
Figura 104 – Local de instalação da válvula <i>flap</i> no conduto em que ocorre refluxo de drenagem pluvial, conforme a altimetria do terreno	194

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de especificação de dimensões de válvulas <i>flap</i> da Hydrostec	59
Tabela 2 – Parâmetro CNi de característica do solo em zona urbana e suburbana	66
Tabela 3 – Cotas fluviométricas máximas de cheias históricas de São Leopoldo.....	120
Tabela 4 – Elementos hidráulicos característicos e diferentes tipos de seções transversais	125
Tabela 5 – Declividades mínimas, conforme os diâmetros	126
Tabela 6 – Coeficiente de rugosidade de Manning (n)	126
Tabela 7 – Cotas topográficas correspondentes as cotas fluviométricas máximas de série de cheias históricas de São Leopoldo.....	186
Tabela 8 – Cota média estimada para inundação com $T = 100$	187
Tabela 9 – Tempo de retorno para cota de 7 m.....	191
Tabela 10 – Dimensões de válvula <i>flap</i> e de formas de concreto necessários para o seu embutimento	192
Tabela 11 – Grandezas para o cálculo de vazão de escoamento	193

LISTA DE SIGLAS

ASI – *Agenzia Spaziale Italiana*

CN – Curva Número (Curve Number)

EGM96 – *Earth Gravitational Model 1996*

EROS – *Earth Resources Observation Systems*

ESD – Escoamento Superficial Direto

DLR – *Deutsches Zentrum für Luft*

GIS – *Geographic Information System*

GPS – *Global Position System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

JPL – *Jet Propulsion Laboratory*

MDT – Modelo Digital de Terreno

MNT – Modelo Numérico de Terreno

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NGA – *National Geospatial-Intelligence Agency*

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

SAGA – *System for Automated Geoscientific Analyses*

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SCS – *Soil Conservation Service*

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TCI – Terrain Classification Index

TWI – Topographic Wetness Index

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USGS – United States Geological Survey

WGS – World Geodetic System

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área da bacia em (km^2)

A_i – área de cada grupo quanto ao uso e tipo do solo na bacia, em km^2

A_{imp} – área impermeável da bacia (km^2)

A_m – área molhada (m^2)

A_p – área permeável da bacia (km^2)

$A_{\text{recipiente}}$ – área do fundo do recipiente (m^2)

C – coeficiente de escoamento ou coeficiente de *runoff* (adimensional)

C_i – coeficiente de escoamento de área impermeável (adimensional)

CN – curva número (adimensional)

CN_i – valor para grupo, pertencente à bacia hidrográfica, em relação ao uso e tipo do solo (adimensional)

CN_p – curva número ponderada (adimensional)

C_p – coeficiente de escoamento de área permeável (adimensional)

D – diâmetro do canal (m)

g – aceleração da gravidade (m/s^2)

h – profundidade, de um dado ponto, em relação à superfície livre de um líquido (m)

i – declividade (m/m)

I – intensidade média de chuva, para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da bacia (mm/h);

m – massa de um corpo (Kg)

n – coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)

N.A. – nível d'água

p – precipitação total do evento (mm)

P – Pressão exercida por um corpo em um recipiente (N/m³)

P₀ – pressão atmosférica (N/m²)

P_B – pressão exercida por um líquido, em recipiente aberto, em um ponto B (N/m²)

P_i – pressão exercida por um líquido, em recipiente aberto, em um ponto i qualquer (N/m²)

Q – vazão de escoamento no canal (m³/s)

Q_P – vazão de pico de escoamento (m³/s)

R_H – raio hidráulico (m)

S – coeficiente de armazenamento de água por infiltração (mm)

SCA – área específica de fluxo acumulado

SCA_M – área específica de fluxo acumulado modificada

SCA_{max} – área específica máxima de fluxo acumulado da vizinhança

T – período de retorno, em anos

t_c – tempo de concentração da bacia (horas)

TWI – índice de umidade topográfico

V – velocidade de escoamento no canal (m/s)

WIs – *wetness index SAGA*

α – área de contribuição de montante por unidade de comprimento de contorno

β – declividade local

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	23
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	23
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	23
2.2.1 Objetivo principal.....	23
2.2.2 Objetivos secundários.....	23
2.3 PRESSUPOSTO	24
2.4 PREMISSA.....	24
2.5 DELIMITAÇÕES	24
2.6 LIMITAÇÕES	24
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1 URBANIZAÇÃO NO BRASIL	25
3.1.1 Êxodo rural	25
3.1.2 Infraestrutura	27
3.1.3 Planejamento urbano	28
3.1.4 Política urbana	29
3.1.5 Programa Minha Casa Minha Vida.....	31
3.2 GERENCIAMENTO URBANO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	32
3.2.1 Componentes de um sistema de drenagem urbana	35
3.2.2 Inundações e alagamentos em zonas urbanas	36
3.2.2.1 Inundações ribeirinhas	36
3.2.2.2 Inundações e alagamentos devido à urbanização	37
3.2.3 Princípios de gestão sustentável de drenagem urbana	39
3.2.4 Controle de inundações ribeirinhas	41
3.2.4.1 Medidas não estruturais	41
3.2.4.1.1 Zoneamento de áreas inundáveis	41
3.2.4.1.2 Sistemas de previsão de cheias e de alerta.....	43
3.2.4.1.3 Seguros contra enchentes	43
3.2.4.1.4 Educação ambiental	43
3.2.4.2 Medidas estruturais.....	44
3.2.4.2.1 Controle da cobertura vegetal da bacia.....	44
3.2.4.2.2 Controle de erosão do solo.....	45
3.2.4.2.3 Diques ou pôlders.....	45

3.2.4.2.4 Modificações no rio	46
3.2.4.2.5 Reservatórios para controle de enchentes.....	47
3.2.5 Controle de inundações e de alagamentos devido à urbanização	48
3.2.5.1 Medidas de controle na fonte.....	49
3.2.5.2 Medidas de controle na micro e macrodrenagem	52
3.2.6 Válvulas <i>flap</i>	56
3.2.6.1 Características.....	57
3.2.6.2 Casos possíveis de emprego de válvulas <i>flap</i>	59
3.2.6.2.1 <i>Vila Residencial da Universidade Federal do Rio de Janeiro</i>	59
3.2.6.2.2 <i>Proposta de bacia de detenção em Mesquita (RJ)</i>	60
3.2.7 Quantificação de escoamento em bacias hidrográficas urbanas.....	61
3.2.7.1 Modelos concentrados	61
3.2.7.2 Modelos distribuídos	62
3.2.7.3. Método Racional.....	63
3.3 GEOPROCESSAMENTO.....	66
3.3.1 Sistema de Informações Geográficas	68
3.3.1.1 Projeto.....	69
3.3.1.2 Infraestrutura	70
3.3.2 Modelos de dados.....	71
3.3.2.1 Dados geográficos	71
3.3.2.3 Dados geométricos	72
3.3.2.3.1 <i>Estrutura raster</i>	72
3.3.2.3.2 <i>Estrutura vetorial</i>	74
3.3.2.4 Modelo Numérico de Terreno	75
3.3.2.5 Modelo Digital de Terreno	76
3.3.2.6 Dados SRTM	77
3.3.2.7 Software SAGA-GIS	79
3.4 VERTENTES DE UM TERRENO	80
3.4.1 Declividade	81
3.4.2 Aspecto ou orientação de vertentes	82
3.4.3 Formas de terreno	83
3.4.3.1 Curvatura vertical	84
3.4.3.2 Curvatura horizontal	87
3.5 PRINCÍPIO DE VASOS COMUNICANTES	88
3.5.1 Princípio da Solidificação	88

3.5.2 Teorema de Stevin	90
3.6 REFLUXO DE DRENAGEM PLUVIAL.....	92
3.6.1 Macrodrrenagem urbana: canais abertos e canais fechados	92
3.6.2 Ocorrência de refluxo em sistemas de drenagem pluvial	96
3.6.2.1 Teresina (Piauí).....	96
3.6.2.2 São Leopoldo (Rio Grande do Sul)	98
3.6.3 Relação entre o “Princípio de Vasos Comunicantes” e o refluxo de drenagem pluvial.....	98
4 METODOLOGIA.....	100
4.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO SINOS COM O USO DE DADOS SRTM	103
4.1.1 Formação de mosaico (“mosaicagem”)	105
4.1.2 Reprojeção Cartográfica.....	105
4.1.3 Pré-processamento.....	106
4.1.3.1 Preenchimento de falhas ou de informações faltantes	106
4.1.3.2 Preenchimento de depressões	106
4.1.4 Área de fluxo acumulado	107
4.1.5 Rede de canais e fluxo de canais.....	108
4.1.6 Delimitação de bacia hidrográfica	108
4.2 VERTENTES	111
4.2.1 Declividade	111
4.2.2 Aspecto ou orientação de vertentes	112
4.2.3 Curvatura vertical	112
4.2.4 Curvatura horizontal	112
4.2.5 Formas de terreno identificadas na Bacia do Sinos.....	113
4.3 PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	113
4.3.1 Índice de umidade do terreno.....	114
4.3.2 Índice de classificação de planícies.....	116
4.3.3 Determinação da planície de inundação do Rio dos Sinos	117
4.4 USO DE DADOS DE MAIOR ACURÁCIA APLICADOS NA ÁREA RELATIVA AO ESTUDO DE CASO.....	118
4.4.1 Características do terreno.....	118
4.4.2 Estimativa de áreas inundáveis	119
4.5 PRINCÍPIO DE VASOS COMUNICANTES	123
4.6 DIMENSIONAMENTO DE VÁLVULA FLAP	123
4.6 ALOCAÇÃO DA VÁLVULA FLAP	127
5 ESTUDO DE CASO	128

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS	128
5.1.1 Pedologia.....	129
5.1.1.1 Levantamentos pedológicos	129
5.1.1.2 Principais solos	131
5.1.2 Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos por imagens LANDSAT	133
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO	135
5.2.1 Pedologia de São Leopoldo	138
5.2.1.1 Gleissolos.....	138
5.2.1.2 Planossolos	139
5.2.2 Áreas de risco de inundação em São Leopoldo	140
5.2.3 Ineficiências na drenagem da área de estudo.....	143
5.2.4 Legislação incidente a área de estudo	144
6 ANÁLISES E RESULTADOS	147
6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO SINOS COM O USO DE IMAGENS SRTM	147
6.1.1 Formação de mosaico	147
6.1.2 Reprojeção cartográfica.....	149
6.1.3 Pré-processamento.....	150
6.1.3.1 Preenchimento de falhas ou informações faltantes.....	150
6.1.3.2 Remoção de depressões	151
6.1.4 Área de fluxo acumulado	155
6.1.5 Rede de canais e fluxo de canais.....	156
6.1.6 Delimitação da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos	159
6.2 INFLUÊNCIAS DO TIPO DE SOLO EM ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO	162
6.3 VERTENTES	162
6.3.1 Declividade	162
6.3.2 Aspecto ou orientação de vertentes	164
6.3.3 Curvatura vertical	166
6.3.4 Curvatura horizontal	169
6.3.5 Formas de terreno identificadas ao longo da Bacia do Sinos, com destaque para o Bairro Feitoria, em São Leopoldo	171
6.4 PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	173
6.4.1 Índice de umidade do terreno.....	173
6.4.2 Índice de classificação de planícies.....	174
6.4.3 Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos	175
6.5 USO DE DADOS DE MAIOR ACURÁCIA APLICADOS A ÁREA DE ESTUDO	181

6.5.1 Características do terreno.....	181
6.5.2 Estimativa de Áreas inundáveis	185
6.5 SOLUÇÃO PROPOSTA – VÁLVULA FLAP	191
7 CONCLUSÕES.....	195
REFERÊNCIAS.....	200

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, no Brasil, tem ocorrido uma ampla migração de pessoas da zona rural para a urbana, em busca de melhores condições de vida. Entretanto, “[...] esta acelerada migração ocasionou o crescimento desordenado das cidades que não possuíam o devido planejamento, desencadeando graves problemas ambientais e desequilíbrios sociais.” (OLIVEIRA; SANTOS, 2012, p. 1). Em virtude disto, é cada vez maior a necessidade de investimentos em infraestrutura nos centros urbanos. Contudo, a falta de estudos técnicos que viabilizem a realização de obras em dada localidade e que proporcionem baixo impacto ambiental tem resultado na construção de habitações irregulares, construídas em locais impróprios (VIEIRA FILHO et al., 2013, p. 21,24).

A precipitação de grandes volumes de chuvas, muitas vezes, acarreta inundações, as quais constituem um dos principais impactos ambientais negativos de que sofre o território brasileiro. Esse fator é devido, principalmente, à falta de planejamento para a construção de cidades, deixando comunidades assoladas (OLIVEIRA et al., 2009, p. 20; SOARES et al., 2014, p. 1007). Neste cenário estão inseridas muitas habitações do bairro Feitoria, em São Leopoldo, nas proximidades do Rio dos Sinos, construídas em uma área que é uma planície de inundação. Então, na época das cheias, ocorre um problema com a drenagem pluvial que acaba por alagar diversas moradias, colocando em risco a vida e o patrimônio de inúmeras pessoas. Dentre as residências que fazem parte desta região, destacam-se aquelas pertencentes ao programa de moradias populares “Programa Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV), o qual tem sido implementado pelo Governo Federal desde 2009 (ROMAGNOLI, 2012, p. 1, 3). Desta forma, devido à gravidade dos fatos e à quantidade de elementos envolvidos (população, Governo Federal, planejamento e engenharia), este assunto despertou a atenção do autor que terá, portanto, o seu Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido a respeito desta situação.

Sendo assim, o presente trabalho tratará a respeito dos alagamentos do Bairro Feitoria, em São Leopoldo, em face do problema de drenagem pluvial, buscando apontar suas causas e possíveis soluções. Será feita a análise da drenagem pluvial, com a ajuda de técnicas de geoprocessamento aplicadas à região de estudo.

A metodologia proposta consiste no estudo da Bacia do Sinos por meio de análise de um modelo numérico do terreno desta região, com auxílio do *software* SAGA-GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses-Geographic Information System*) (CONRAD, et al., 2015), utilizado para aplicação de técnicas de geoprocessamento, visando um melhor entendimento do relevo e hidrografia da área em questão. Desta forma, serão gerados dados que propiciarão analisar o comportamento da drenagem pluvial do bairro Feitoria, nas áreas próximas ao Rio dos Sinos, observando o problema recorrente de alagamentos, nos períodos em que o nível do rio está alto. Assim, por meio dos resultados obtidos através de ferramentas de geoprocessamento e do estudo da drenagem, serão verificadas quais as causas de frequentes alagamentos no bairro Feitoria, em São Leopoldo, sendo apontadas possíveis soluções para esta situação.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais são as causas e possível solução ao problema de refluxo pluvial existente, para a redução dos frequentes alagamentos, no bairro Feitoria, em São Leopoldo?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é analisar a ineficiência da drenagem pluvial da área em questão, baseado em sua topografia, características de solos e em dados de série histórica de cotas fluviométricas máximas, com o intuito de apontar quais as causas dos frequentes alagamentos a que é acometida, indicando uma possível solução para a redução dos alagamentos frente ao problema de refluxo pluvial existente.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) geração de mapas temáticos por meio de técnicas de geoprocessamento, cada qual contendo diferentes características da região de estudo;
- b) determinação das linhas de escoamento da área analisada;
- c) delimitação da bacia do Sinos, a partir de dado ponto definido como sendo seu exutório;
- d) extração das formas de terreno da Bacia do Sinos;
- e) delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos.
- f) delimitação da área suscetível a inundações, no bairro Feitoria

g) extração das características do relevo da área de estudo.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem os seguintes pressupostos:

- a) o problema identificado e que será tratado no trabalho é o refluxo na drenagem pluvial;
- b) alagamentos devido ao refluxo pluvial, acarretam em mais consequências negativas à área de impacto direto do que os alagamentos causados pela impossibilidade da água de chuva de escoar até o rio pelo sistema de esgoto pluvial

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a ocupação de regiões planas, próximas ao leito de rios, está sujeita a inundações, em virtude das cheias naturais dos rios, e a alagamentos, à medida que ocorre a impermeabilização do solo e a retirada de sua vegetação natural.

2.5 DELIMITAÇÕES

- a) a estudo de caso delimita-se ao bairro Feitoria, em São Leopoldo;
- b) a solução apontada para redução de alagamentos em função do refluxo pluvial é a válvula flap.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) o trabalho é focado na drenagem pluvial, no período de cheias;
- b) as informações extraídas a partir de modelos digitais de terreno é feita por meio do *software* SAGA-GIS, o qual tem suas limitações (vide o item 3.3.2.7);
- c) não são conhecidos detalhes sobre a rede de drenagem pluvial ;
- d) dados SRTM não identificam as minúcias da topografia devido a sua resolução;
- e) a qualidade dos dados SRTM utilizados, de 1 arco-segundo, não é suficiente para uma análise localizada, no contexto de um bairro, conforme os objetivos do trabalho (vide o item 3.3.2.6).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 URBANIZAÇÃO NO BRASIL

A urbanização no Brasil se deu de maneira muito acelerada, especialmente a partir da segunda metade do século XX com constates movimentos migratórios do campo para a cidade (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011; UGEDA JÚNIOR, 2009). Entretanto, o despreparo e a falta de planejamento urbano, propiciou escassez de infraestrutura, em vista do aumento populacional nas cidades (VIEIRA FILHO et al., 2013). Neste cenário, desenvolveu-se a política urbana brasileira, baseada em interesses políticos e imobiliários, que acentuou as desigualdades sociais no país, marginalizando as populações de mais baixas rendas às periferias das grandes cidades (AKAISHI, 2011; BRITO; PINHO, 2012; UGEDA JÚNIOR, 2009). Essa política reflete-se em programas habitacionais de moradias populares como o Minha Casa Minha Vida, que oferece habitações de má qualidade, localizadas em regiões com precária infraestrutura (NASCIMENTO; TOSTES, 2011; ROLNIK; KLINK, 2011).

3.1.1 Êxodo rural

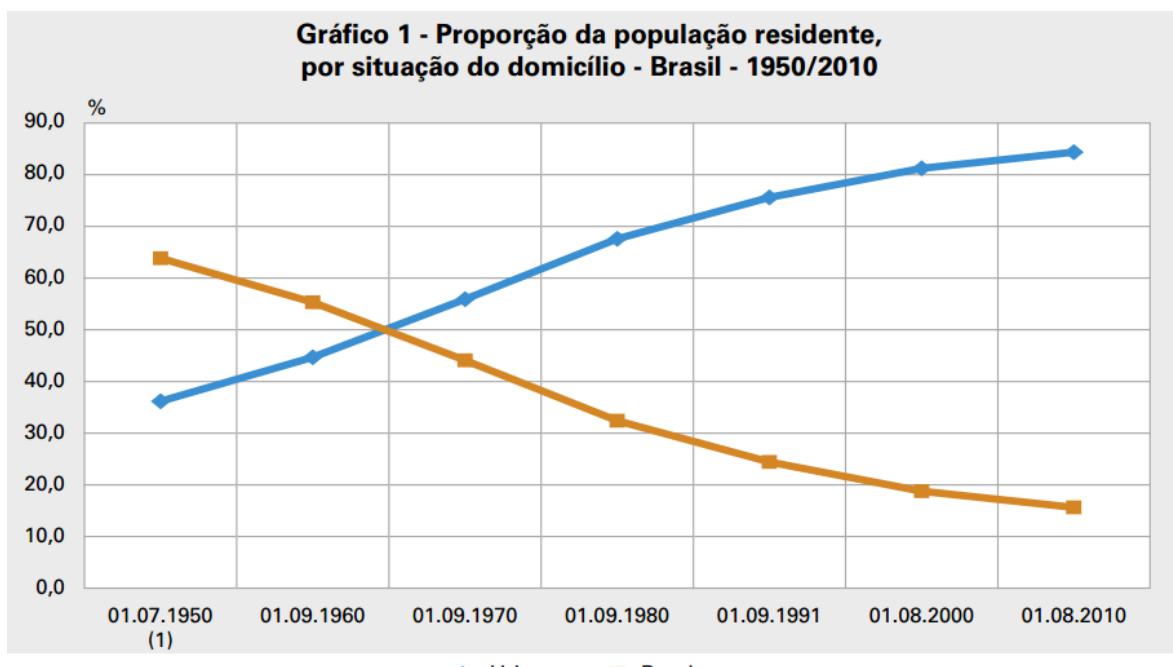
Em virtude da industrialização, do aumento de relações comerciais e necessidade de mão de obra nos centros urbanos, nos últimos dois séculos presenciou-se um grande aumento da população que vive no meio urbano em relação ao meio rural. Este fenômeno aconteceu na grande maioria dos países, sendo denominado êxodo rural, no qual as pessoas partiam em direção às cidades em busca de emprego e melhores condições de vida. (OLIVEIRA; SANTOS, 2012).

No Brasil, no início do século XX, a expansão de sua industrialização e o grande crescimento da economia cafeeira, foram os principais fatores que possibilitaram um crescimento das cidades e maior articulação entre suas regiões. No entanto, esse processo de transformação socioeconômica pelo qual passava o território brasileiro, só se afirmou com a ampliação dos sistemas de comunicação e transporte e com o crescimento da economia gerada pelo meio urbano-industrial, a partir da década de cinquenta, principalmente com a implantação do

Plano de Metas, proposto pelo governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961). (BRITO; PINHO, 2012).

Assim, na segunda metade do século XX, começaram uma série de ondas migratórias da zona rural para a zona urbana, dando início ao processo de urbanização no território brasileiro. De 1960 a 1980 foi o período mais acentuado dessas migrações as quais foram motivadas, especialmente, devido “[...] à falta de políticas de fixação do homem no campo; à concentração de terras, com monocultura e mecanização; ao crescimento da industrialização, com necessidade de mão de obra; à ilusão de ‘progresso’ e à melhoria de qualidade de vida na cidade.” (PERES, c2011, p. 173). Segundo o Censo Demográfico de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011), em meados dos anos sessenta, a população brasileira, residente em zona urbana, era aproximadamente igual àquela residente no campo. Contudo, ao final da década de 1990, mais de 80% da população residia nas cidades, conforme a figura 1.

Figura 1 – Proporção entre população residente em zona rural e zona urbana, de 1950 a 2010, no Brasil



Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1950/2010.

(1) Para o cálculo da taxa foi utilizada a população presente em 1950, enquanto para os anos seguintes foi utilizada a população residente.

(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011, p. 44)

3.1.2 Infraestrutura

Com o crescimento das cidades, houve uma grande necessidade de investimentos em infraestrutura para comportar o aumento populacional nos centros urbanos. Segundo Zmitrowicz e Angelis Neto (1997, p. 2, grifo do autor):

A infraestrutura urbana pode ser conceituada como um sistema técnico de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas, podendo estas funções serem vistas sob os aspectos social, econômico e institucional. Sob o **aspecto social**, a infraestrutura urbana visa promover adequadas condições de moradia, trabalho, saúde, educação, lazer e segurança. No que se refere ao **aspecto econômico**, a infraestrutura urbana deve propiciar o desenvolvimento das atividades produtivas, isto é, a produção e comercialização de bens e serviços. E sob o **aspecto institucional**, entende-se que a infraestrutura urbana deva propiciar os meios necessários ao desenvolvimento das atividades político-administrativas, entre os quais se inclui a gerência da própria cidade.

Ainda, segundo esses autores, o sistema de infraestrutura urbana é formado por diversos subsistemas, sendo cada qual responsável pela prestação de um dado serviço. Além disso, Zmitrowicz e Angelis Neto (1997) atribuem duas definições a um sistema técnico: a primeira, como sendo uma rede de suporte (uma estrutura física), e a segunda, como sendo uma rede de serviços. Assim, pode-se classificar o sistema de infraestrutura como um conjunto de subsistemas técnico setoriais, sendo os subsistemas:

- a) viário: é formado pelas redes de circulação, sendo elas de pedestres, automóveis, bicicletas. É complementado pelo sistema de drenagem pluvial, o qual permite a utilização do sistema viário independentemente da condição climática;
- b) de drenagem pluvial: visa à prevenção contra enchentes, de forma a permitir o trânsito público e preservar as edificações, por meio do escoamento propício das precipitações em áreas urbanas;
- c) de abastecimento de água: tem por objetivo levar água potável à população, que envolve as etapas de captação, adução, tratamento e distribuição da água;
- d) esgotos sanitários: é o sistema complementar ao sistema de abastecimento de água, o qual objetiva levar para longe da população as águas servidas, prejudicando minimamente o meio ambiente quando laçadas nos corpos receptores (após receberem tratamento adequado em estações de tratamento de esgoto);
- e) energético: é aquele cuja função é atender a demanda energética da população. Neste subsistema também estão inclusos os processos de geração e conversão de energia, bem como as etapas de transmissão e distribuição ao usuário final;
- f) de comunicações: engloba a rede de telefonia e a rede de televisão a cabo, e a internet (rede virtual). As informações são conduzidas por meio de fios metálicos, fibra-ótica, satélites, cabos terrestres ou submersos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), no ano de 2010, o Brasil apresentava apenas 52,5% de seus domicílios em condições adequadas (abastecimento de água por rede geral, esgotamento sanitário por rede geral ou fossa séptica, coleta de lixo direta e indireta, e até dois moradores por dormitório), indicando uma grande precariedade nas condições de moradia das habitações brasileiras. Além disso, de acordo com Bruno e Silva (2009), o Brasil apresenta grandes déficits de infraestrutura, especialmente nos setores de transporte. Isso implica em obstruções para o crescimento econômico do Estado, pois há dificuldades para se escoar a produção, com estradas em más condições e poucas ferrovias e hidrovias. Segundo Rolnik e Klink (2011), a falta de terrenos com infraestrutura adequada tem dificultado o desenvolvimento de programas governamentais de moradias populares como o Minha Casa Minha Vida (PMCMV), dificultando o acesso à moradia às populações de mais baixa renda e evidenciando a falta de planejamento para o crescimento urbano brasileiro.

3.1.3 Planejamento urbano

A urbanização acelerada foi uma característica de muitos países emergentes. O ato de planejar não foi rápido o suficiente para acompanhar o crescimento desmedido dos centros urbanos. No Brasil, esse processo não foi diferente, mesmo em regiões como o Nordeste, onde a industrialização não se deu de maneira tão acentuada, em comparação às regiões Sul e Sudeste, por exemplo. Assim, este cenário acabou acarretando uma série de problemas sociais e ambientais que vêm assolando a população brasileira (UGEDA JÚNIOR, 2009).

A falta de planejamento resultou em uma infraestrutura escassa e ineficiente, incapaz de acompanhar o aumento populacional dos centros urbanos (VIEIRA FILHO et al., 2013). Então, de acordo com Ugeda Júnior (2009), fazem-se presentes, no Brasil, inúmeros problemas como, a insuficiência de moradias; a formação de favelas; o aumento de trânsito; a ocupação de zonas irregulares como as encostas de morros ou planícies de inundações de rios; a marginalização das classes mais pobres, as quais tendem a ocupar as periferias das cidades; o desenvolvimento da economia informal; o incremento na geração de poluição, entre outros, os quais põem em risco a vida de inúmeras pessoas. Essa situação, consequentemente, foi de grande contribuição para o clima de caos instaurado nas principais cidades brasileiras e suas respectivas regiões metropolitanas, nas quais houve um grande aumento de pobreza e violência. Segundo Ugeda Júnior (2009, p. 7):

Dessa forma se desenvolve a trama, ou talvez o drama da urbanização nos países periféricos, um processo muito acelerado que ocorre sem que as condições mínimas necessárias para o seu desenvolvimento sejam respeitadas, como infraestrutura e planejamento, o que implica em consequências graves.

Assim, as situações de desigualdades sociais e contradições no Brasil cada vez se intensificam mais, à proporção que cidades rurais vão se transformando em ambientes urbanos, devido ao rápido e desordenado crescimento das cidades brasileiras. Além disso, verifica-se a ausência de arcabouço jurídico-institucional que aborde estes pequenos municípios de acordo com suas características e contexto no qual estão inseridos, para uma correta elaboração de diretrizes e ferramentas capazes de coordenar seu desenvolvimento (AKAISHI, 2011, p. 45). No mesmo trecho, “Cabe registrar que as cidades, como alvo de políticas públicas, são tratadas de forma ampla, quando deveriam ser encaradas em suas especificidades e complexidades”.

3.1.4 Política urbana

Ao final do século XX, a partir da década de 1980, o Estado brasileiro começou a erguer os primeiros alicerces de uma política urbana destinada a proporcionar um crescimento dos centros urbanos, de maneira menos impactante possível, sendo este controlado mediante arcabouços jurídicos. Essa evolução política brasileira deu seu primeiro passo por meio da Constituição Federal de 1988, na qual, a partir dos artigos 182 e 183, foram introduzidos os fundamentos para uma nova ordem jurídico-urbanística, dentre os quais, a obrigatoriedade de implantação de Plano Diretor para cidades com mais de vinte mil habitantes (BRASIL, 1988; FERNANDES, 2010).

No início do século XXI, no ano de 2001, mais uma etapa no desenvolvimento de uma política urbana sólida é atingida com a aprovação do Estatuto das Cidades, que é a denominação dada à Lei 10.257 de 10 de julho de 2001, a qual regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988. Este estatuto enfatizou e ampliou o papel dos municípios, em âmbito jurídico-político, visando uma gestão urbana planejada, por meio da elaboração de diretrizes. Além disso, contribuiu para a afirmação da ordem constitucional no território brasileiro frente ao processo de expansão urbana (BRASIL, 2001; FERNANDES, 2010).

O ano de 2003 foi marcado por uma grande conquista quanto à política urbana brasileira, sendo esta o estabelecimento do Ministério das Cidades. Este ministério tem como objetivo a

integração de diversos setores de infraestrutura (habitação, saneamento, transporte) em vista de melhor uso e ocupação do solo. Em acréscimo, o Ministério das Cidades pretende contribuir para o consenso entre os três poderes do Estado (executivo, legislativo e judiciário) no que tange à definição de uma política nacional de desenvolvimento urbano (AKAISHI, 2011; BRASIL, 2015).

Os avanços ocorridos na década passada em relação às normas, institucionalização e política de planejamento urbano, contudo, não se refletiram em grandes transformações quanto à função social das cidades, onde as desigualdades sociais têm se intensificado. Em relação ao Estatuto das Cidades, por exemplo, as pequenas cidades acabam ficando alijadas de sua aplicabilidade, à medida que se direciona principalmente a combater a especulação imobiliária, inverter o padrão do mercado imobiliário formal que é excludente e corrigir as distorções do crescimento urbano. Essas características são típicas de cidades de alto ou médio porte, as quais apresentam alta especulação imobiliária, com grande valorização e demanda de terras e com urbanização em sua periferia (AKAISHI, 2011).

Entretanto, apesar da regulamentação do Plano Diretor, sua aprovação e aplicação estão encontrando grandes dificuldades mesmo nos municípios com maiores recursos financeiros e maior organização institucional para adotar as medidas necessárias no processo de planejamento urbano. Para os municípios menores, menos abastados financeiramente e com restrita condição institucional, a aplicabilidade do Plano Diretor torna-se uma tarefa ainda mais complexa, pois muitos desses pequenos municípios não têm um montante mínimo de informações, a respeito de suas próprias características, que seja capaz de dar início ao desenvolvimento de políticas para seu planejamento urbano (AKAISHI, 2011).

Em adição a isso, destaca-se o fato de que importantes instrumentos para a elaboração de um planejamento urbano adequado, por meio de uma correta disposição territorial, como a Lei de Ocupação e Uso do Solo, Lei de Perímetro Urbano, Lei de Zoneamento, Código de Obras, entre outros, também estão ausentes em muitos dos municípios de menor porte. A inexistência de Lei de Perímetro Urbano, por exemplo, implica em aumento da área na qual se faz necessária a existência de redes de infraestrutura urbana e disponibilidade de serviços públicos para dada cidade, ao passo que, o perímetro que delimita a área de ocupação desta cidade expande-se indefinidamente. Isso, no cenário brasileiro, no qual são evidentes as

dificuldades em atender às demandas populacionais de serviços e infraestrutura, acaba por atravancar ainda mais o processo de planejamento urbano (AKAISHI, 2011).

Portanto, segundo Akaishi (2011, p. 49), os principais entraves para a realização de dispositivos que possibilitem guiar o planejamento urbano, nessa conjuntura brasileira, estão relacionados “[...] à absoluta falta de estrutura administrativa (o que envolve pessoal qualificado), ao conhecimento insuficiente dos problemas urbanos (inclusive da precariedade habitacional), e os marcos regulatórios que nem sempre se aplicam à realidade”.

3.1.5 Programa Minha Casa Minha Vida

No ano de 2009, por meio da Medida Provisória Nº 459 de 2009, foi criado o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). No mesmo ano, após uma série de modificações propostas pela Câmara dos deputados, essa Medida Provisória foi aprovada pelo senado e sancionada pelo presidente, passando a viger na forma da Lei nº 11.977 de 2009 (BRASIL, 2009).

Este programa foi criado com o intuito de garantir o acesso à moradia aquelas populações com mais baixa renda, de maneira a combater a carência de infraestrutura no Estado brasileiro, mais precisamente quanto ao déficit habitacional, oriundo do aumento de habitantes nas grandes cidades, ocasionado pelo processo de urbanização acelerada que se intensificou na segunda metade do século XX. (NASCIMENTO; TOSTES, 2011; UGEDA JÚNIOR, 2009; VIEIRA FILHO et al., 2013). Assim, o Programa Minha Casa Minha Vida, destinou-se a criação de ferramentas de incentivo à construção e ao financiamento de unidades habitacionais novas por famílias cujo montante total da renda não superasse dez salários mínimos (BRASIL, 2009; NASCIMENTO; TOSTES, 2011). O PMCMV, além disso, serviu como combate à crise financeira de 2008, gerando empregos. (BRASIL, 2009; NASCIMENTO; TOSTES, 2011).

Após o grande aumento populacional urbano brasileiro, durante a segunda metade do século XX, deu-se início ao processo de segregação da sociedade brasileira, onde os grandes centros urbanos foram enriquecendo, passando a serem responsáveis pelas principais e mais importantes atividades de produção econômica, à medida que foram servidos de melhor infraestrutura para acompanhar o crescimento gerado pela ocupação dessas regiões. Dessa forma, as populações de menores recursos financeiros foram compelidas às áreas mais

afastadas das cidades, as quais apresentam imóveis mais baratos a custo de uma maior precariedade de infraestrutura e serviços (NASCIMENTO; TOSTES, 2011; UGEDA JÚNIOR, 2009). Assim, segundo Nascimento e Tostes (2011):

Este processo periférico de crescimento é sustentado pela demanda especulativa: o solo urbano só será acessível à população mais pobre enquanto a ausência ou precariedade da infraestrutura e de serviços sustentar os baixos preços, e é por isso que na medida em que melhorias vão sendo implementadas, os valores do solo urbanizado aumentam, a pressão especulativa se faz notar e o processo de expansão das periferias recomeça. Desta maneira a expansão contínua da mancha urbana se constitui no padrão geral da urbanização brasileira, sustentando e sendo sustentado pela segregação sócio espacial.

Em relação ao Programa Minha Casa Minha Vida, Nascimento e Tostes (2011) comentam que as moradias populares do PMCMV poderiam ser construídas em boas localidades, direcionando os recursos financeiros, disponibilizados ao programa, nessa direção. Contudo, na prática, isso não ocorre. O setor imobiliário é nutrido pelo governo, dado que fica por responsabilidade das construtoras a definição do terreno em que será executado o projeto (tipologia e localização), bem como a aprovação legal do negócio.

As contribuições proporcionadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, de acordo com a análise tanto das especificações definidas para os interiores dos conjuntos habitacionais, quanto das definições adotadas para os espaços externos das edificações e de seus impactos na configuração das cidades, são praticamente nulas (NASCIMENTO; TOSTES, 2011). Por fim, os mesmos autores, na mesma obra, concluem seu raciocínio indicando que, o PMCMV não apresenta, de maneira nítida, caminhos capazes de mudar a realidade das cidades brasileiras. Ao contrário, contribui para a propagação dos problemas que assolam nossa sociedade.

3.2 GERENCIAMENTO URBANO DE ÁGUAS PLUVIAIS

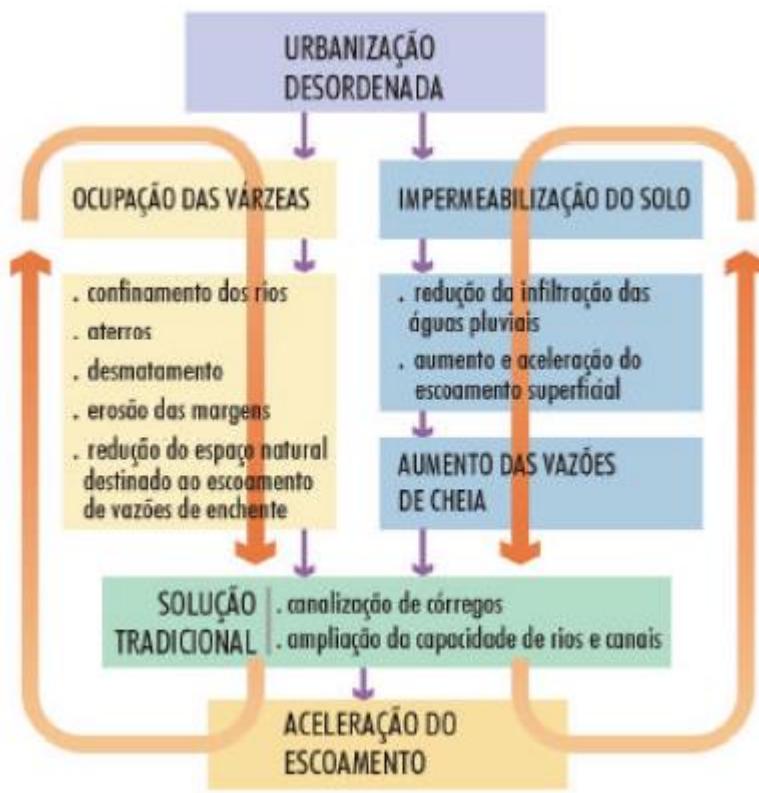
A água é um bem indispensável para a vida. É extremamente importante o seu adequado manejo, com a utilização de técnicas eficientes e sustentáveis. Com o aumento populacional e o crescimento das cidades, o gerenciamento de águas pluviais em conjunto com o planejamento e ocupação do solo são tarefas fundamentais para proporcionar qualidade de vida, organizando o espaço físico ocupado e preservando os ecossistemas, de forma a gerar os menores impactos ambientais, econômicos e sociais possíveis. Neste cenário, são imprescindíveis estudos técnicos que garantam um sistema de drenagem urbano adequado, de

forma a evitar um dos maiores problemas gerados pelo processo de urbanização: os desastres causados por alagamentos e inundações (VIOLA, 2008). Esses problemas, em geral tem origem num processo de urbanização acelerado que impacta diretamente na drenagem urbana, desencadeando diversos fatores causadores de alagamentos e inundações, ilustrados pela figura 2, como por exemplo: a ocupação indevida do leito menor dos rios (planície de inundaçāo) e de suas margens; o aumento da área impermeável do solo devido a urbanização, que gera maior volume de escoamento superficial, ou seja, eleva o coeficiente de escoamento superficial também chamado de coeficiente de *runoff*, prejudicando o balanço hídrico das bacias hidrográficas; ausência de dispositivos ou de sistemas de alertas para atenuar os efeitos causados pelas enchentes dos rios ou por eventos de grande precipitações; excesso de canalização à montante, transferindo os impactos para jusante; falta de políticas educacionais para um melhor manejo dos resíduos sólidos; entre outros (CURITIBA [2014], TUCCI 2003, 2005; [2015?]). Além disso, a maioria das soluções apontadas para combater as inundações e os alagamentos é baseada, apenas, no aumento de canalizações, o que transfere a inundaçāo para montante. Sendo assim, de acordo com Paraná (2002b, p. [50])

Por se tratar também de intervenções que melhoram o aspecto sanitário e urbanístico de uma região e que abrem novos espaços, muitas vezes utilizados para a implantação de vias de fundo de vale, a canalização de córregos acaba por se transformar também em um indutor de crescimento urbano. Há então o adensamento da urbanização, e por consequência, o aumento da impermeabilização da bacia alimentando o ciclo vicioso das inundações [...]

Este ciclo vicioso relatado por Paraná (2002b) é ilustrado, também, pela figura 2. No entanto, deve-se buscar um gerenciamento sustentável de drenagem, aliando medidas estruturais e não estruturais, conforme o planejamento urbano proposto às cidades (CURITIBA, [2014]; TUCCI, 2005).

Figura 2 – Impactos ambientais devido ao processo acelerado de urbanização e a adoção de medidas tradicionais de drenagem urbana, baseadas, apenas, no aumento de canalizações



(fonte: PARANÁ, 2002b, p. [51])

Para um melhor entendimento dos fenômenos hídricos, naturais e antrópicos, pertinentes a um sistema de drenagem, Dornelles ([2015?]) e São Bernardo do Campo ([2015?]), propõem definições aos termos inundações, alagamentos e enchentes. A inundaçāo é o fenômeno natural de transbordamento das águas dos rios para seu leito maior (planície de inundaçāo), associado a desastres em uma grande área, ocorrendo em bacias médias ou pequenas. O termo alagamento refere-se à acumulação de água pluvial nas ruas por falhas no sistema de drenagem, tendo influência, basicamente, antrópica, estando associado a desastres localizados, em bacias pequenas. Já o termo enchente refere-se apenas ao fenômeno natural de elevação do nível dos rios, atingindo a cota máxima em seu leito menor, conforme indicado pela figura 3.

Figura 3 – Definições de enchente, inundação e alagamento

✓ Enchente, inundação e alagamento;

SÃO PREOCUPANTES PORQUE
CAUSAM EFEITOS IMEDIATOS (DIRETOS) E EFEITOS POSTERIORES (INDIRETOS)
À SAÚDE HUMANA;

Enchente ou cheia é o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão*, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento.



Inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais (planície de inundação ou área de várzea)



Alagamento é o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por problemas de drenagem

(fonte: SÃO BERNARDO DO CAMPO, [2015?])

3.2.1 Componentes de um sistema de drenagem urbana

Um sistema de drenagem urbana é composto por diversos elementos. Segundo Viola (2008), os principais componentes deste sistema podem ser assim descritos:

- pista de rolamento: está a cima do nível das calçadas e é direcionada a circulação dos veículos
- meio-fio: têm aproximadamente 15 cm em relação à sarjeta. Em geral, é feito de concreto pré-moldado, estando paralelo ao eixo da rua, entre o passeio e a calçada;
- coletores: fazem a ligação das canalizações de escoamento das bocas de lobo, podendo ser localizada sob o meio fio ou sob o eixo da via;
- galerias: canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas. O diâmetro mínimo das galerias de seção circular deve ser de 0,30 m. Os diâmetros correntes são: 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 1,00; 1,20; 1,50 m;
- poço de visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudanças de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações;
- trecho: porção da galeria que compreende o trecho entre dois poços de visita;

- g) bocas-de-lobo: dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação das águas pluviais;
- h) tubos de ligação: são tubulações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou poços de visita;
- i) meios-fios: elementos de pedra ou concreto colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;
- j) sarjetas: faixas de via pública paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas;
- k) sarjetões: calhas localizadas no cruzamento de vias públicas formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o escoamento das águas sobre as sarjetas;
- l) condutos forçados: obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas de maneira segura e eficiente, preenchendo completamente a seção transversal do conduto;
- m) estações de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem quando não mais houver condições de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final da drenagem em estudo.
- n) caixa de ligação: as caixas de ligação são utilizadas quando se faz necessária a locação de bocas-de-lobo intermediárias ou para se evitar a chegada em um mesmo poço de visita de mais de quatro tubulações. Sua função é similar à do poço de visita, dele diferenciando-se por não serem visitáveis.

3.2.2 Inundações e alagamentos em zonas urbanas

As inundações de zonas urbanas se dão em consequência de dois fenômenos: a ocupação de áreas ribeirinhas e o processo de urbanização. Esses fenômenos podem ocorrer de maneira simultânea ou de forma independente (TUCCI, [2015?]).

3.2.2.1 Inundações ribeirinhas

Segundo Tucci ([2015?]), as inundações ribeirinhas são aquelas causadas pela ocupação indevida do leito maior dos rios, causando desastres nos períodos de cheias dos rios, conforme a figura 4. A ausência de ferramenta no Plano Direto que restrinja o loteamento de áreas sujeitas a enchentes e inundações é um dos principais fatores que leva a este processo. Também podem ser originadas pela invasão de áreas (de posse do Governo Federal, Estadual, Municipal ou privada) pelas populações de mais baixa renda. É típica de bacias grandes, com mais de 1000 km², ou médias, com um tempo de retorno dos eventos extremos de no mínimo dois anos, em média.

Figura 4 – Inundação ribeirinha

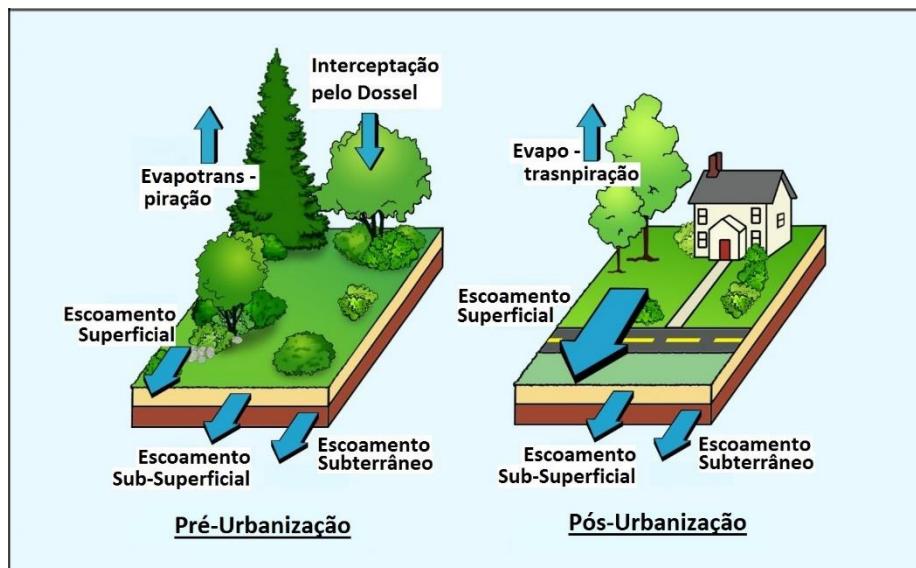


(fonte: DORNELLES, [2015?])

3.2.2.2 Inundações e alagamentos devido à urbanização

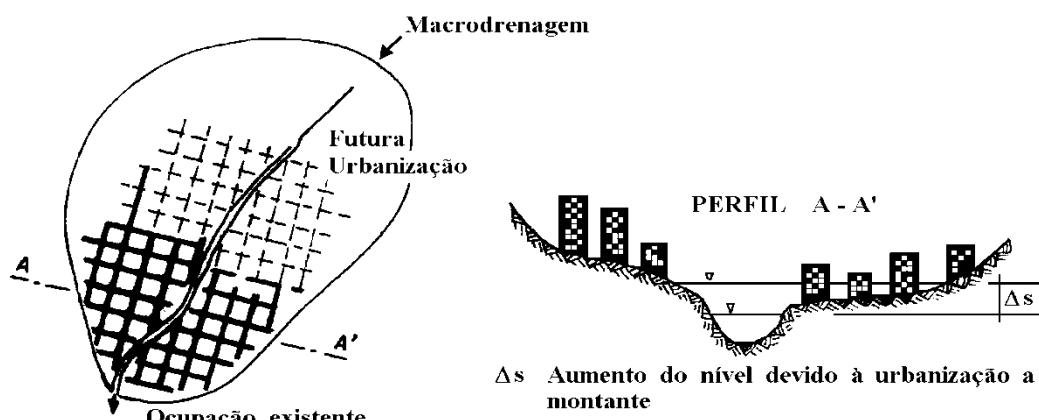
Essas inundações e alagamentos são aqueles gerados pelo processo de urbanização. O aumento de áreas de solo impermeável é um dos fatores que mais contribui para ocorrência de enchentes urbanas, pois um menor volume de água percola no solo, ficando retida uma menor quantidade na vegetação. Assim, o volume escoado superficialmente torna-se maior, modificando o balanço hídrico, conforme a figura 5, de forma a provocar um aumento da vazão máxima que é atingida antecipadamente, sendo necessários condutos pluviais de maior capacidade de escoamento. Esse aumento da vazão máxima, não é previsto pelo projetista quando da execução do projeto. Dessa forma ocorre uma sobrecarga na drenagem secundária (condutos) que afeta diretamente a macrodrenagem (a qual engloba os riachos e canais que cortam as cidades), à medida que vão se somando os efeitos de vazão oriundos de cada novo lote de habitações construídas à montante do rio. Sendo assim, as inundações e alagamentos ocorrem, principalmente, nas áreas de jusante (mais antigas, de maior proximidade aos rios), as quais, na maioria das vezes, são ocupadas pelas populações de mais baixa renda (TUCCI, 2005; [2015?]). Esta situação é demonstrada na figura 6.

Figura 5 – Escoamento superficial mínimo, no balanço hídrico, em áreas pré-urbanizadas e dominante em áreas pós-urbanizadas



(fonte: adaptado de SCHULER¹, 1987 apud MONTGOMERY, [2015?])

Figura 6 – Tendência de ocupação urbana e impacto gerado



(fonte: TUCCI, [2015?], pg. 20)

Em acréscimo, o autor, na mesma obra, ressalta que a falta de planejamento por parte do poder público acaba sendo responsável pelo aumento das inundações nas cidades, desencadeando diversos outros problemas de caráter econômico e social. Após a ocupação de todo espaço de uma região que sofra com essas inundações, as soluções possíveis são muito caras (canalizações, diques com sistema de bombeamento de água, barragens, reversões, etc.).

¹ SCHUELER, T. **Controlling Urban Runoff**: a practical manual for planning and designing urban BMPs. 1th. ed. Washington, DC: MWCOG, 1987.

causando grandes despesas ao poder público, cujo dinheiro é proveniente dos impostos pagos pela população.

3.2.3 Princípios de gestão sustentável de drenagem urbana

O controle de inundações devido a ocupação de áreas ribeirinhas e de alagamentos em virtude da urbanização, devem ser feitos baseado num sistema de gerenciamento sustentável de drenagem urbana, o qual envolve diversos princípios. Estes princípios são assim definidos (TUCCI, 2005):

- a) a bacia como um sistema: os planos de gestão e controle de uma bacia deve compreendê-la como um todo, considerando a influência de suas sub-bacias sob toda a rede drenagem. Não se deve pensar as áreas da bacia de forma isolada, resolvendo o problema em dada região e transferindo-o para outra.
- b) as medidas de controle no conjunto da bacia: as medidas de controle de inundações podem ser de ordem estrutural e não estrutural. Deve-se optar por medidas de não-estruturais (de mais baixo custo) ou pela combinação de ambas, conforme o planejamento urbano da cidade, considerando-se, pensando sempre nos impactos que elas podem causar em todas as regiões da bacia.
- c) os meios: o plano diretor, a legislação dos municípios e do estado e o manual de drenagem são os meios para o estabelecimento de um sistema de controle de inundações e alagamentos. Eles são responsáveis, respectivamente, pela definição das diretrizes principais, pelo controle, fiscalização e pela orientação desses sistemas de controle.
- d) o horizonte de expansão: é necessário um planejamento prévio, pelo poder público, juntamente a delimitação de um plano diretor, para organizar a ocupação e uso do solo de uma bacia, antes que a mesma seja ocupada. Assim, evitam-se futuros transtornos à população e à administração pública, que implicam em gastos muito mais elevados que o necessário para a elaboração do planejamento prévio à ocupação das áreas da bacia.
- e) os critérios sustentáveis: um dos principais critérios sustentáveis é que os habitantes de uma bacia, assim como as obras executadas sobre as mesmas (estradas, pontes e especialmente impermeabilizações) não devem proporcionar aumento significativo no processo natural de

cheias. Outro importante critério é que os processos de urbanização devem ser acompanhados por um sistema de drenagem que privilegie o escoamento de maneiro natural, por exemplo, com a adoção de mecanismos de infiltração de água no solo.

f) o controle permanente: o controle deve ser feito sempre permanentemente, estando atento a possíveis ocupações de áreas de risco, transgredindo a legislação. Além disso, não deve ocorrer desapropriações de áreas de risco sem que haja uma pronta ocupação governamental, de forma a evitar novas ocupações irregulares. Também, deve haver participação popular quanto a confecção dos planos de controle, devendo a população seguir aquilo que foi delimitado.

g) a educação: é imprescindível a consulta a profissionais com qualificação técnica como engenheiros, geólogos, agrônomos, biólogos, geógrafos, entre outras para o suporte e fundamentação teórica nas decisões tomadas, juntamente a população, para a definição os planos de controle de inundações e alagamentos integrados ao sistema de drenagem, sob a análise da bacia como um todo.

h) a administração: é baseado em obras públicas de drenagem e na aprovação de projetos de loteamento que as autoridades públicas devem promover a manutenção e administrar os sistemas de controle de inundações e alagamentos. A administração pública também deve estar atenta ao aspecto ambiental quando na elaboração de um sistema de drenagem.

Para garantir a aplicação das medidas sustentáveis de controle de uma maneira eficiente, é necessária a implantação do Plano Diretor, o qual deve basear-se nos seguintes princípios (TUCCI, 2003, p. 37):

- a) os novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão máxima de jusante;
- b) o planejamento e controle dos impactos existentes devem ser elaborados considerando a bacia como um todo;
- c) o horizonte de planejamento deve ser integrado ao Plano Diretor da cidade;
- d) o controle dos efluentes deve ser avaliado de forma integrada com o esgotamento sanitário e os resíduos sólidos.

3.2.4 Controle de inundações ribeirinhas

De acordo com Tucci (2005, [2015?]), o controle de inundações ribeirinhas pode se dar a partir de dois tipos distintos de medidas. Essas medidas classificam-se em:

- a) estruturais: são as providências mais onerosas de controle de enchentes, por meio de grandes obras hidráulicas como diques, barragens, canalizações, etc.;
- b) não estruturais: são as medidas que envolvem um melhor gerenciamento por parte do governo, como por exemplo, o zoneamento das áreas com risco de inundações, seguros, alertas, entre outras.

Para evitar desastres por inundações ribeirinhas, é fundamental a adoção de alternativas de controle não estruturais, baseado em um planejamento prévio, de forma a evitar a ocupação das planícies de inundação dos rios. Segundo Tucci ([2015?], p. 20), pode-se realizar um zoneamento o qual,

[...] é baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da delimitação da cheia de 100 anos ou maior registrada. Dentro dessa faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. A regulamentação depende das características de escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Diretor Urbano da cidade e regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras.

Já, para as áreas que foram previamente ocupadas, podem-se elaborar programas visando o realojamento das populações ribeirinhas para outras áreas, que deixem as pessoas em segurança. O mesmo autor, na mesma obra, destaca, também, a importância de sinais de alerta quando, em eventos raros, as enchentes atingirem cotas maiores, onde haveria segurança para os eventos menos intensos.

3.2.4.1 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais são aquelas que não envolvem obras, são medidas de caráter mais político e educacional. As principais medidas não estruturais estão apresentadas a seguir.

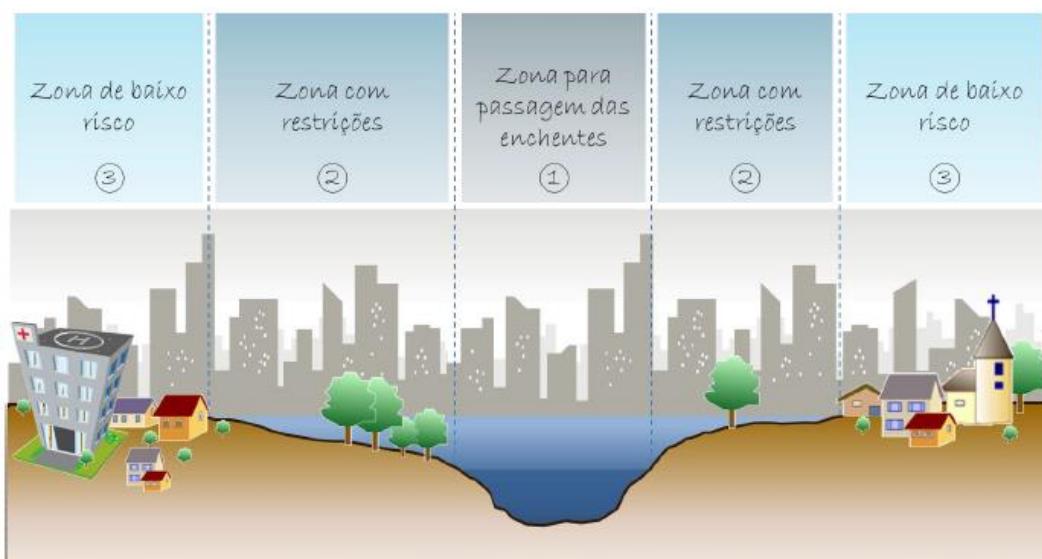
3.2.4.1.1 Zoneamento de áreas inundáveis

O zoneamento de áreas inundáveis é um item fundamental para a confecção de um plano diretor de boa qualidade. Deve ser feito um zoneamento urbano de forma a regulamentar o uso e ocupação do solo da calha menor e o leito maior (planície de inundação) dos rios, conforme os riscos de enchentes. Assim, deve ser feita uma análise dos eventos extremos,

averiguando as áreas de maior propensão a sofrerem efeitos devido às inundações (CURITIBA, [2014]; SILVA, C., 2013).

Tucci (2009), propõe um zoneamento, indicado pela figura 7, em que a zona 1 corresponde a região de passagens de enchentes, ou seja, o leito maior do rio; a zona 2 corresponde ao leito menor do rio, ou seja, sua planície de inundação, na qual há restrições de ocupação de acordo com o uso do solo e o período de retorno de inundações; e a zona 3 corresponde as áreas com baixo risco de inundações, podendo ser atingidas somente para vazões com tempo de retorno de 100 anos. Apenas na zona 3 é que devem ser construídas edificações.

Figura 7 – Zoneamento de áreas inundáveis



(fonte: SILVA, C., 2013, p. 29)

Para a ocupação da zona 2, indicada pela figura 6, segundo Tucci (2009), sugere-se restringir o uso do solo às construções que possam permanecer inundadas durante a época das cheias dos rios, como por exemplo, parques, praças, campos de futebol, ou mesmo bacias de detenção ou retenção incorporadas à paisagem, conforme demonstrado pela figura 8. Assim, aproveita-se o espaço urbano que não deve receber edificações com áreas de lazer e que contribuam para infiltração pluvial.

Figura 8 – Sugestão de ocupação compatível com o zoneamento de áreas inundáveis



(fonte: SILVA, C., 2013, p. 31)

3.2.4.1.2 Sistemas de previsão de cheias e de alerta

Para um sistema de previsão e alerta de é necessário um acompanhamento contínuo sobre uma bacia urbano, com coleta de informações hidrológicas em tempo real para uma correta operacionalização desses sistemas de prevenção e alerta de cheias. Sua aplicabilidade é dificultada em pequenas bacias, pois elas respondem muito rapidamente, complicando o trabalho da Defesa Civil (CURITIBA, [2014]).

3.2.4.1.3 Seguros contra enchentes

Segundo Curitiba ([2014]), essa medida possibilita a população uma indenização frente aos danos causados pelas inundações. É uma alternativa pertinente, especialmente, nos casos em que é impraticável a realocação de habitações localizadas em áreas de risco.

3.2.4.1.4 Educação ambiental

Devem ser propostas atividades para conscientizar a população a respeito da influência negativa ao escoamento superficial proporcionada pela impermeabilização do solo; para alertar sobre os problemas gerados pelo lançamento de lixo em sarjetas ou em rios e córregos, de forma a evitar o entupimento da rede de drenagem, a contaminação dos aquíferos e a diminuição da capacidade de escoamento dos rios e córregos conforme indicado pela figura 9, entre outras atividades educacionais. A educação ambiental deve ser conduzida visando resultados em médio e longo prazo (CURITIBA, [2014]; TUCCI, 2005).

Figura 9 – Acumulo de lixo em córrego urbano



(fonte: CURITIBA, [2014], p. 8)

3.2.4.2 Medidas estruturais

As medidas estruturais englobam obras para atenuar os prejuízos de cheias. Segundo Tucci (2005), essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As extensivas atuam sobre a bacia, podendo alterar relações de precipitação e vasão e agir sobre a cobertura vegetal, a qual auxilia no controle de erosão e que permite uma infiltração, atenuando os picos de vazão. Já, as medidas intensivas atuam nos rios e podem provocar três diferentes efeitos (CURITIBA, [2014], p. 10):

- a) aceleração do escoamento (canalização, corte de meandros, por exemplo), construção de diques ou *pôlders*;
- b) retardamento do escoamento: construção de reservatórios ou bacias de amortecimento;
- c) desvio do escoamento: canais ou desvios.

As medidas estruturais são muito utilizadas nas grandes cidades. A seguir, estão descritas as principais características das medidas estruturais mais comumente empregadas.

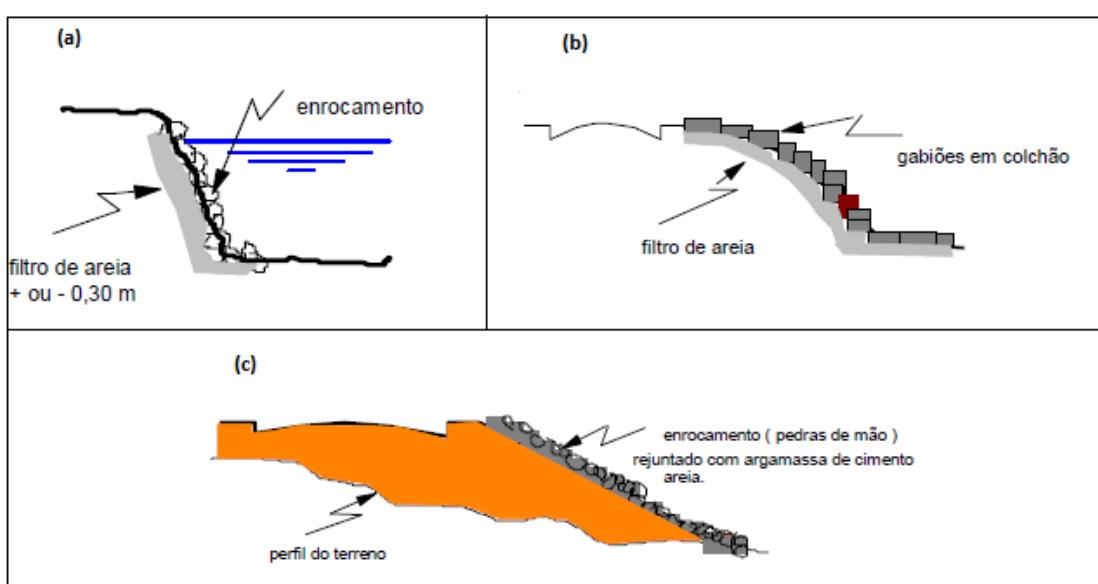
3.2.4.2.1 Controle da cobertura vegetal da bacia

É um fator importante, pois pode impactar significativamente no escoamento superficial, reduzindo seu volume e atenuando os picos de vazão. Também auxiliam nos controles de erosão, evitando o depósito de sedimentos nos rios, que prejudicam sua capacidade de escamamento. Para bacias grandes, é complicada a adoção desta medida, pois envolve altos custos (CURITIBA, [2014]; TUCCI, 2005).

3.2.4.2.2 Controle de erosão do solo

Deve ser feito o controle de erosão para evitar o acúmulo de partículas nos rios que diminuem sua capacidade de escoamento. Práticas como o reflorestamento; estabilização de margens ou taludes, por exemplo, com estrutura em enrocamento, gabiões ou enrocamento com argamassa, conforme representados pela figura 10; plantio em taludes; entre outras, auxiliam no controle da erosão do solo (CURITIBA, [2014]).

Figura 10 – Revestimento de taludes com enrocamento (a), gabiões (b) e enrocamento com argamassa (c)



(fonte: adaptado de BELTRÃO², 2002 apud CURITIBA, [2014], p. 20)

3.2.4.2.3 Diques ou pôlders

Diques são muros ou barreiras de proteção contra as inundações ribeirinhas, na época das cheias. Chama-se de pôlders as áreas as quais estão protegidas por diques, conforme indicado pela figura 11. No entanto, caso a construção dos diques se dê muito próxima da calha do rio, pode ocorrer uma maior velocidade de fluxo e aumento de escoamento durante as cheias, gerando maior erosão nas margens dos rios (CURITIBA, [2014]). Segundo Tucci (2005), deve-se evitar diques muito elevados, pois há risco de romper sua estrutura se ocorrer uma cheia superior à de projeto. Ainda segundo este autor, na mesma obra, em geral, são construídos em terra com enrocamento ou de concreto armado. Requer sistemas de bombeamento para drenar a água das regiões protegidas quando, nos períodos de cheia, o

² BELTRÃO, A. Instituto Federal Paraná – Educação à Distância. Projeto Eureka. **Notas de Aula de Recursos Hídricos**. 2002.

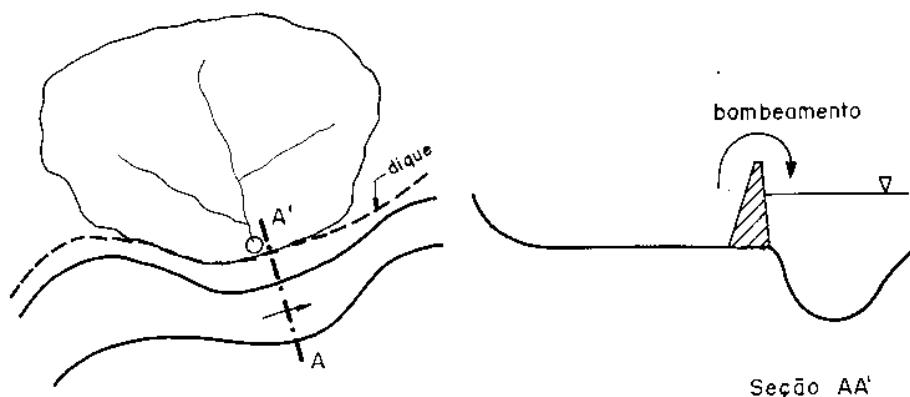
nível do rio é superior à cota das áreas laterais, conforme indicado pela figura 12. Quando o nível do rio está abaixo da cota de escoamento das áreas laterais, a água dessas áreas é drenada ao rio por gravidade, sem necessidade de bombeamento.

Figura 11 – Pôlder protegido por dique



(fonte: DORNELES, [2015?])

Figura 12 – Configuração do bombeamento do escoamento, necessário quando o nível do rio é superior ao das áreas laterais, na presença de diques



(fonte: TUCCI, 2005, p. 47)

3.2.4.2.4 Modificações no rio

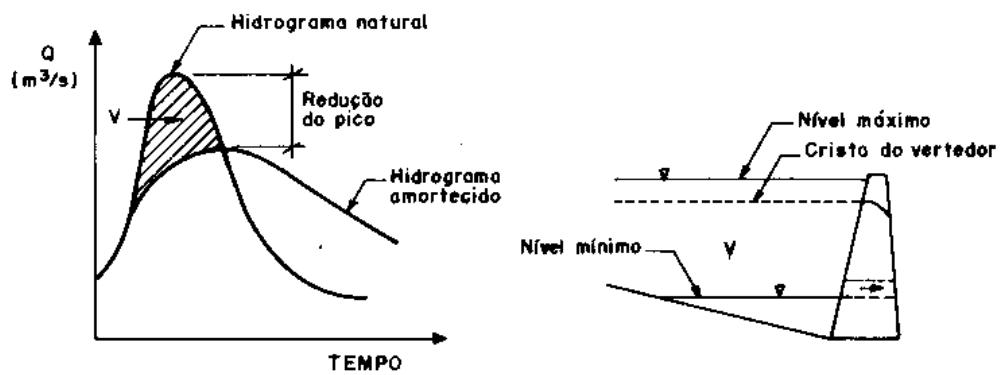
As modificações nos rios se dão, geralmente, de duas formas: reduzindo-se a sua rugosidade ou canalizando-o. Na primeira alternativa, faz-se a remoção dos resíduos sólidos que

dificultam o escoamento do rio (lixo, vegetação), dragagem do leito ou procede-se com a pavimentação das margens dos rios. Na segunda alternativa, cria-se uma seção de geometria artificial para o rio (por exemplo, em forma de trapézio ou retangular), a qual confere ao rio uma maior capacidade escoamento, atenuando suas cheias (CURITIBA, [2014]). Segundo Tucci (2005), também pode ser feito o aprofundamento do canal do rio, para evitar inundações ribeirinhas. Contudo, para que realmente surtisse efeito, este aprofundamento deveria ser feito por uma longa extensão ao longo do curso do rio, o que implicaria em altos custos.

3.2.4.2.5 Reservatórios para controle de enchentes

Esses reservatórios agem de forma a reter o volume de água das enchentes, com um barramento, evitando inundações nos períodos de cheia e atenuando o pico de vazões no hidrograma, conforme a figura 13. Apresenta, em geral, vertedouro e descarregador de fundo (podendo estes serem controlados por comportas ou não). Quando não há comportas, o volume é regulado conforme as condições naturais do vertedor e do descarregador. Já, a presença de comportas permite um melhor controle do volume armazenado, entretanto, requer uma maior atenção para sua correta operacionalização. Devem ser levados em consideração os efeitos que podem ocorrer a montante e jusante desses barramentos: a montante, poderão ocorrer inundações de acordo com nível da água de remanso, que é influenciada pelas condições de operação do reservatório e da vazão afluente; a jusante, em caso de eventos extremos, superiores ao período de retorno de projeto, haverá cheias que não serão amortecidas o suficiente pelo reservatório, causando inundações à jusante (CURITIBA, [2014]; TUCCI, 2005).

Figura 13 – Efeito do Reservatório



(fonte: TUCCI, 2005, p. 43)

3.2.5 Controle de inundações e de alagamentos devido à urbanização

Nos casos de inundações e alagamentos devido ao processo de urbanização, na maioria das vezes, o controle é feito a partir da canalização dos trechos críticos, o que acaba apenas deslocando a inundação de um ponto para outro na bacia (TUCCI, [2015?]). Segundo este mesmo autor, três etapas caracterizam este processo, a saber:

- a) estágio 1: começa a urbanização na bacia, com um pouco mais de intensidade à jusante. As inundações são localizadas apenas em pontos de estrangulamento natural do curso;
- b) estágio 2: ocorre aumento do hidrograma à jusante, em virtude da construção de canalizações nesta região. No entanto, é amenizado pois ainda ocorrem algumas inundações em algumas áreas à montante, visto que as áreas da bacia não estão ocupadas por completo;
- c) estágio 3: é dada continuação à execução de canalizações para montante, devido às pressões populares. Isso acarreta em inundações concentradas à jusante, pois, com a maior adensamento da bacia, as áreas de jusante não funcionam mais como um sistema de amortecimento (armazenando água) e, então, ocorre um aumento da vazão máxima. Assim, quando não existem mais áreas para a ampliação lateral dos canais, só resta a opção de aprofundá-lo, o que tem um custo extremamente alto (dependendo da situação, pode chegar a valores na ordem de cinquenta milhões de dólares por quilômetro).

Este processo é, portanto, ao longo do tempo, extremamente prejudicial para toda a sociedade. Segundo Tucci ([2015?]), uma alternativa para evitar que a urbanização provoque aumento das cheias naturais, seria a construção de reservatórios, servindo como áreas para retardar a vazão temporariamente, prática que tem sido adotada em alguns países estrangeiros. Dessa forma, em razão do fato de que a cheia urbana é caracterizada por um grande pico de vazão, porém, um volume pequeno, esses reservatórios não necessitariam ser de grande porte para reduzirem a vazão máxima. Aliás, segundo este mesmo autor, os reservatórios de pequeno volume (dentro de condomínios, por exemplo, ou ocupando um espaço reduzido em área pública) seriam suficientes para atenuar, notavelmente, este processo.

Segundo Tucci (2003, p. 36), a classificação de medidas para o controle de cheias pode ser feita mediante estudo dos elementos de drenagem de controle e a maneira com agem na bacia, sendo adotadas medidas condizentes com o estado evolutivo da área em questão. Esta classificação é a seguinte:

- a) na fonte: envolve o controle no lote ou em áreas primárias de desenvolvimento;
- b) na microdrenagem: medidas adotadas no nível do loteamento;
- c) na macrodrenagem: soluções de controle nos principais rios urbanos.

3.2.5.1 Medidas de controle na fonte

Para o controle diretamente na fonte, geralmente, vêm sendo adotado: a construção de áreas de infiltração, como pavimentos permeáveis, telhados verdes, valas de infiltração. Também são adotados reservatórios no lote (TUCCI, 2005).

Os pavimentos permeáveis podem ser construídos em blocos vazados, conforme indicado pela figura 14, ou de concreto ou de asfalto. Nos casos de concreto ou asfalto, sua execução é similar a dos pavimentos tradicionais, contudo sem a presença de finos (TUCCI, 2005). Estes dispositivos têm por objetivo reduzir o volume de escoamento superficial, à medida que se diminui a área impermeável do solo. Conforme o mesmo autor, na mesma obra, por meio de canos perfurados, com espaçamento num intervalo de 3 a 8 metros, deve ser proporcionada a drenagem da camada de base destes pavimentos. Segundo Tucci (2005, p. 82), “Este sistema é viável quando o solo tem capacidade de infiltração superior a 7 mm/h. Para solos com um percentual superior a 30% de argila ou 40% de silte e argila combinados não são recomendáveis para uso deste tipo de dispositivo”.

Figura 14 – Pavimento permeável



(fonte: CURITIBA, [2014]), p. 5)

Os telhados verdes, ilustrados pela figura 15, são construídos com o objetivo de armazenamento de água da chuva, para seu reaproveitamento em uso doméstico, contribuindo para diminuir as áreas impermeáveis e reduzir a vazão escada superficialmente. Entretanto, o

emprego deste dispositivo apresenta algumas dificuldades como a necessidade de reforço estrutural das coberturas, e difícil manutenção (TUCCI, 2005).

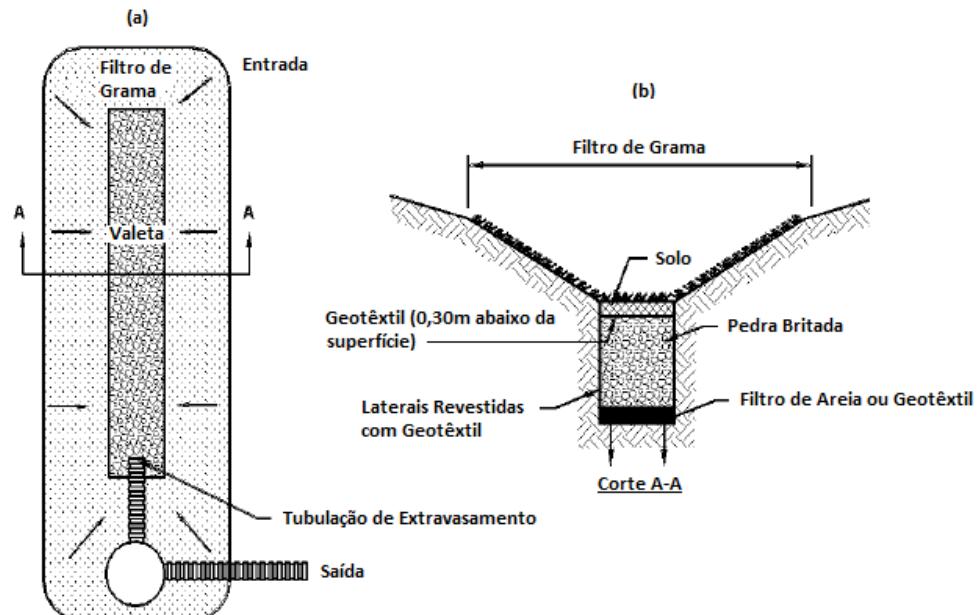
Figura 15 – Telhado verde



(fonte: adaptado de Zahed Filho et al., 2014, p. 4a)

As valas de infiltração são um dos dispositivos mais corriqueiramente empregados na fonte. Elas podem ser incorporadas em estacionamentos, em condomínios, em trechos paralelos às ruas e estradas, etc., diminuindo a área impermeável do solo e, consequentemente, o volume de escoamento superficial. Elas apresentam reservatório subterrâneo para armazenamento de águas pluviais, permitindo sua fácil percolação no solo, conforme indicado pela figura 16, e permanecem secos nos períodos de estiagem ou de baixa frequência de precipitações. Dessa forma, funcionam analogamente a um reservatório de detenção, pois recebem uma quantidade de água superior ao seu potencial de infiltração, devendo ser projetado com volume adequado para que não ocorram alagamentos (TUCCI, 2005). Contudo, para o emprego deste dispositivo, é necessário que nível médio do freático permaneça em altura inferior ao fundo da valeta, e que o solo da região seja permeável. As valetas trazem benefícios com a recarga dos aquíferos; podem apresentar sistemas de controle de poluição, para os primeiros volumes de chuva; e são facilmente acopladas às partes inutilizadas do terreno. Em contrapartida, podem contaminar os lençóis freáticos, devido às dificuldades em se controlar a entrada de sedimentos nesses dispositivos.

Figura 16 – Vala de Infiltração – (a) vista em Planta e (b) vista em corte



(fonte: CURITIBA, [2014])

Os reservatórios para controle na fonte devem ser aplicados somente para áreas já loteadas, conforme a figura 17. O uso dos reservatórios de lote se dá quando a capacidade da rede à jusante é inferior ao volume de escoamento que chega da rede à montante, com o objetivo de atenuar o pico de vazão. Deve ser feito uma manutenção sistemática nestes dispositivos, para que não ocorram perdas de sua eficiência.

Figura 17 – Reservatório em lote



(fonte: TUCCI³, [2011], apud ZAHED FILHO et al., 2014, p. 5)

³ TUCCI, C. E. M. Elementos de Controle de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, [2011].

3.2.5.2 Medidas de controle na micro e macrodrenagem

Já, para a micro e macrodrenagem, as principais medidas adotadas são as de aumento das canalizações. Entretanto, segundo Tucci (2005), essa medida, caso não seja adotada para toda a rede de drenagem (o que, economicamente, é inviável), basicamente, apenas transferirá as inundações de montante para jusante. Obras de aprofundamento ou alargamento de seção de rios ou córregos para a macrodrenagem, também devem ser evitadas por requerem altos custos. Dessa forma, devem ser adotadas medidas como as bacias de detenção e retenção. Além disso, também podem ser adotadas bacias de infiltração (TUCCI, 2005; CURITIBA, [2014]).

As retenções são aqueles reservatórios que mantém sempre um espelho d'água ao longo do ano, o qual tem função não apenas para atenuar as vazões máximas como também para melhorar a qualidade de água por decantação. As detenções, ao contrário das retenções, são reservatórios que permanecem secos ao longo de todo ano. Os Reservatórios de retenção e detenção e são geralmente incorporados a paisagem local, proporcionando espaços de lazer, conforme é mostrado pelas figuras 18 e 19, podendo serem enterrados ou abertos, conforme a topografia da região e a localização da rede de drenagem. Os reservatórios podem ser *on-line* ou *off-line*.

Figura 18 – Reservatório de retenção aberto, incorporada a paisagem, em Belo Horizonte



(fonte: DORNELLES, [2015?], p. 54)

Figura 19 – Reservatório de detenção fechado, incorporada a paisagem, na Praça Júlio Andreatta, em Porto Alegre



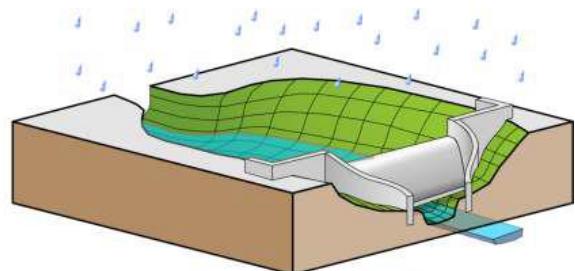
(fonte: CURITIBA, [2014])

Os reservatórios *on-line* são aqueles inseridos na linha do curso de drenagem, conforme a figura 20. Esses reservatórios não são indicados quando há um sistema misto de drenagem (esgoto pluvial e cloacal juntos), devido a sua contaminação nos períodos de seca principalmente. Assim, devem apresentar fundo de concreto para facilitar sua limpeza, o que encarece a obra (DORNELLES, [2015?]; TUCCI, 2005).

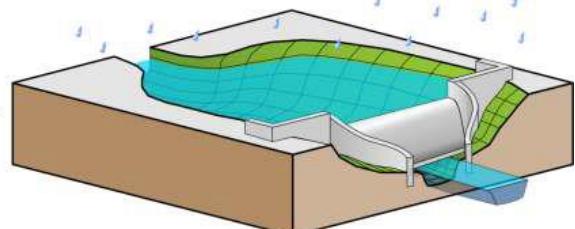
Os reservatórios *off-line* são aqueles que se localizam ao lado de uma ou de ambas as margens do curso de drenagem, conforme indicado pela figura 21. Nesses reservatórios, o transporte da água de volta ao canal, após o seu período de reserva, pode se dar por gravidade por meio de vertedor (quando o nível da água no reservatório é igual ou superior ao de água no canal) com a presença de válvula *flap*, para evitar o refluxo da água do canal para o reservatório, ou por bombeamento (quando o reservatório necessitar de maior volume e é escavado há uma cota inferior ao canal de drenagem), o que aumenta os custos de operação (DORNELLES, [2015?]; TUCCI, 2005).

Figura 20 – Reservatório *on-line*

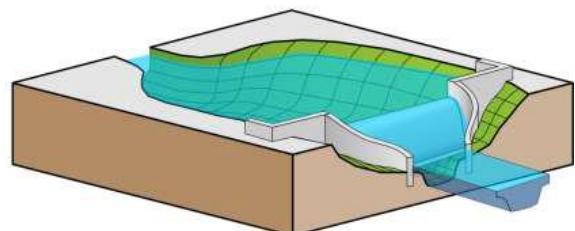
- 1 Antes de ocorrer a elevação do nível d'água no arroio, somente a calha menor é utilizada.



- 2 A vazão de saída da câmara de detenção é reduzida através da passagem da água por uma seção com capacidade limitada.



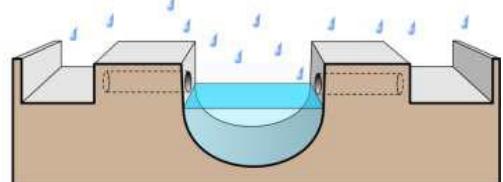
- 3 Em eventos extremos ocorre o vertimento sobre a crista do barramento, entretanto o amortecimento da onda de cheia já foi realizado no estágio anterior para o qual todo o volume da câmara de detenção foi utilizado.



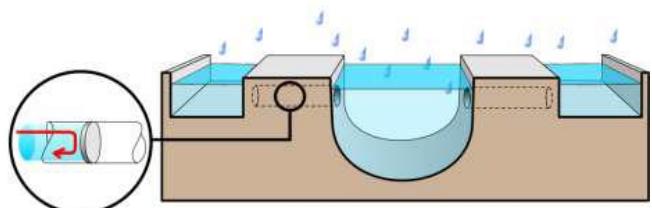
(fonte: DORNELLES, [2015?], p. 44)

Figura 21 – Reservatório *off-line*

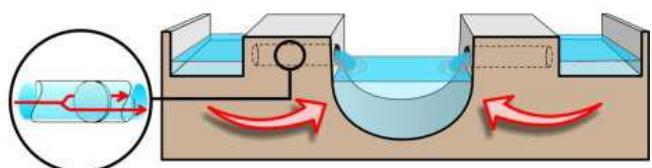
- 1 Ao ultrapassar um determinado nível, a água da chuva é desviada do rio ou do córrego para o reservatório.



- 2 O transporte de água é feito por um vededor, que pode estar na margem direita ou esquerda do rio, regulando sua vazão



- 3 Quando a chuva termina, a água é reconduzida para o rio, por gravidade ou bombeamento, com auxílio de equipamentosacionados por telemetria.



(fonte: DORNELLES, [2015?], p. 42)

Segundo Tucci (2003, p. 2), “Atualmente, a maior dificuldade no projeto e implementação dos reservatórios é a quantidade de lixo transportada pela drenagem que obstrui a entrada dos reservatórios.”, conforme indicado pela figura 22. Além disso, segundo o mesmo autor, na mesma obra, uma bacia de detenção ou retenção requer uma grande área de implantação, da ordem 3% da área da bacia de drenagem.

Figura 22 – Sistema de drenagem sujeito a entupimento, por lixo acumulado nas sarjetas

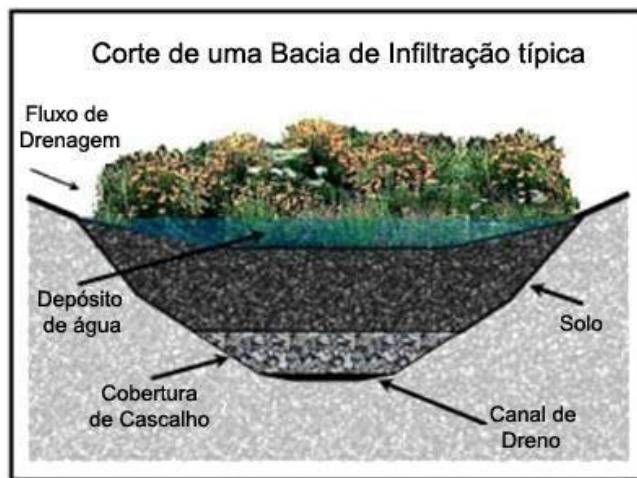


(fonte: CRISPIM⁴, 2011)

As bacias de infiltração também são medidas adotadas para o controle da micro e macrodrenagem. São estruturas semelhantes às bacias de detenção, porém, permitem a infiltração da água pluvial (diminuindo o volume de escoamento superficial) ao invés de detê-la, por um dado período (que proporciona apenas a atenuação os picos de vazão), conforme a figura 23 (TUCCI, 2005). Assim, contribuem para o equilíbrio do balanço hídrico local, sendo adequadas para grandes áreas. Todavia, segundo Tucci (2005), podem apresentar problemas de maus odores e presença de insetos, necessitando de frequente manutenção, estando sujeitas a falhas caso construídas em solos inadequados (com baixa permeabilidade ou nível elevado do freático).

⁴ O autor da obra consultada informa que a foto é de autoria de Rodrigo Carvalho.

Figura 23 – Vala de infiltração – (a) vista em Planta e (b) vista em corte



(fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2011)

3.2.6 Válvulas *flap*

As válvulas *Flaps* são de grande utilização para evitar o refluxo pelas canalizações (nas épocas de cheias ou de marés), instaladas nas saídas das mesmas, sendo um dispositivo de controle de macro e microdrenagem. Além disso, em estações de bombeamento, previnem que as bombas assumam o um sentido inverso de rotação, pois diminuem a altura do recalque, evitando o refluxo do escoamento para a área drenada (HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?]). Também podem ser empregadas em reservatórios de detenção off-line, sendo acopladas a vertedouros de ligação entre o reservatório e o canal de drenagem. Assim, evita-se o refluxo de água do canal para o reservatório, quando este está sendo esvaziado (DORNELLES, [2015?]).

Segundo Rezende (2010, p. 21, grifo do autor), em áreas planas protegidas por diques, “[...] que ficam impossibilitadas de drenar as águas precipitadas sobre a sua bacia durante os eventos de cheia do rio, são geralmente ligadas ao corpo d’água principal por comportas de sentido único (comportas FLAP) ou por estações de bombeamento”. Assim, evita-se o refluxo das águas pluviais, preservado um sentido único de escoamento.

Para o projeto de canais ou galerias, deve-se sempre ter atenção especial com os pontos baixos ao longo do perfil longitudinal do curso d’água. Dessa forma, a adoção de válvulas *flap* na saída de conduto ligado diretamente ao canal é uma alternativa para quando não se consegue manter o nível de água abaixo da linha de projeto para este canal ou galeria (SÃO PAULO, [2015?]).

Segundo Committee for Waterfront Structures (2012), também é interessante o uso de válvulas *flaps* para manter o fluxo de maneira unidirecional em regiões à beira mar, com considerável efeito de marés, limitando a diferença de pressão entre a tubulação de drenagem e o mar. Dessa forma, evita-se o refluxo em períodos de marés altas. Segundo este mesmo autor, deve ser fácil o acesso as válvulas *flaps* instaladas, nos períodos em que a água estiver à baixos níveis, permitindo sua manutenção periódica, pelo menos duas vezes ao ano.

3.2.6.1 Características

As válvulas *flaps* são construídas a partir de chapas de aço carbono, mecanicamente soldadas. Apresentam articulações leves, de aço inoxidável e buchas de bronze (HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA., [2015?]), estando ilustradas pela figura 24. Podem ser instaladas nas extremidades de tubulações metálicas, por meio de ligação flangeada, ou em paredes de concreto por meio de chumbadores de fixação (CONEXO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA., [2015?]; HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA., [2015?]). Após sua instalação, para correta operacionalização, as válvulas *flap* devem apresentar uma inclinação de 10 graus, a partir de um plano vertical, para garantir o fluxo apenas no sentido para o qual foi projetada a tubulação. Além disso, segundo Hydrostec Tecnologia e Equipamentos LTDA. ([2015?], p. [1]), suas principais qualidades são:

- a) ausência de perdas de carga próprias;
- b) estanqueidade perfeita em caso de refluxo, ou seja, quando o nível d'água do lado jusante é mais alto que o nível do lado montante;
- c) disponibilidade de uma grande gama de dimensões.

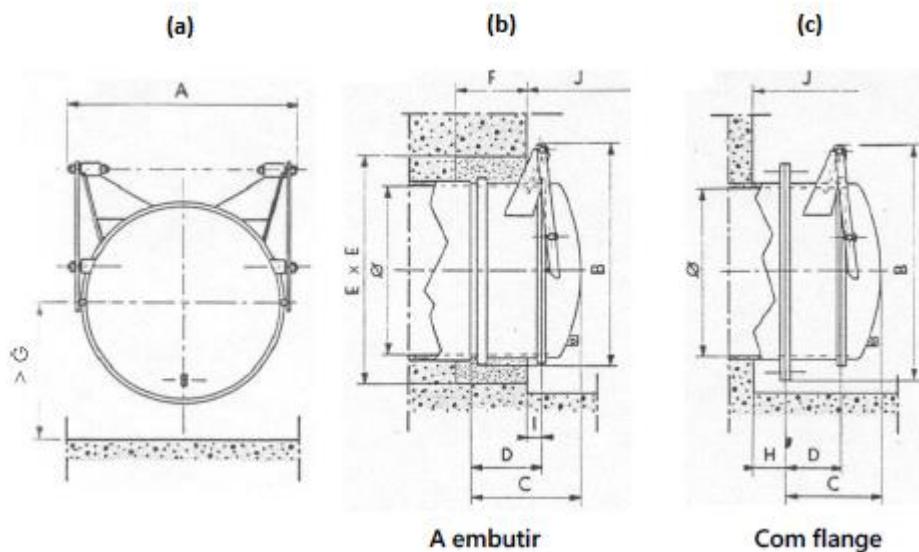
Figura 24 – Válvula *flap*



(fonte: HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?], p. 2)

A especificação dessas válvulas é feita, em geral, a partir de três parâmetros. Esses parâmetros são as cargas máximas em ambos os lados da tubulação (à montante e à jusante), sendo 10m a carga para a linha normalizada; o diâmetro necessário para a válvula e seu tipo de fixação (se será feita de forma flangeada ou por embutimento em superfície de concreto). De posse desses três parâmetros, segundo Hydrostec Tecnologia e Equipamentos LTDA. ([2015?]), pode-se entrar na tabela 1 e, de acordo com as representações em corte e planta das válvulas *flap* (dadas pela figura 25), especificar as dimensões da válvula *flap* para a situação em questão.

Figura 25 – Representação de válvula *Flap* da Hydrostec em corte (a), em planta para embutimento (b) e em planta, com flange (c)



(fonte: HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?], p. 2)

Tabela 1 – Tabela de especificação de dimensões de válvulas *flap* da Hydrostec

DN mm	Dimensões										Formas de concreto				
	A embutir					Com flange **									
	A	B	C	D	J*	A	B	C	D	J*	E	F	G	H	I
100	14	18	11	7	17	22	23	11	8	32	16	7	13	10	3
150	19	25	13	9	25	29	30	14	10	41	24	9	17	10	4
200	25	35	18	11	33	34	39	18	12	51	32	11	20	10	5
250	31	41	20	13	41	40	46	20	14	60	40	13	23	10	6
300	31	41	21	12	39	45	45	19	10	57	48	12	26	10	4
400	48	53	27	16	52	57	58	23	12	71	56	16	33	11	4
500	61	67	33	20	64	67	70	29	16	89	68	20	38	13	4
600	71	79	42	25	80	78	83	37	20	107	80	25	45	14	6
800	93	104	52	32	104	102	110	45	25	140	100	32	58	16	8
1000	117	128	62	40	129	123	136	54	32	172	130	40	70	18	10
1200	136	154	74	50	158	146	161	62	38	205	150	50	85	20	12

(*) A cota J representa o gabarito máximo do Flap em posição aberta.

(**) Furação do flange de acordo com ISO 2531 (ou NBR 7675) ou norma a pedido do cliente.

(fonte: HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?], p. 2)

Para a manutenção, de acordo com M&H Valve Company (2005), é recomendado fazer, no mínimo, uma vistoria por ano nas válvulas *flap* instaladas. Nessas vistorias, devem ser testadas se as válvulas estão desobstruídas, devendo ser retirado qualquer detrito que houver dentro da válvula, de forma a permitir seu movimento natural de abrir e fechar. Deve ser averiguado se as juntas continuam mantendo a estanqueidade das válvulas quando essas estão operando em regime fechado, sem que haja vazamentos. Além disso, para diminuir o atrito, recomenda-se lubrificar os pinos das dobradiças (permitindo um movimento suave das válvulas), ao menos uma vez por ano.

3.2.6.2 Casos possíveis de emprego de válvulas *flap*

As válvulas *flap* são comumente empregadas para se evitar o refluxo pela drenagem pluvial. A seguir estão apresentados dois casos em que foram propostos o seu emprego.

3.2.6.2.1 Vila Residencial da Universidade Federal do Rio de Janeiro

A região da Vila Residencial da UFRJ apresenta um grande histórico de inundações, devido a um sistema de drenagem falho, prejudicando os cerca de 2000 habitantes da região (ROMANHOLI et al., 2014). Segundo estes mesmos autores, na mesma obra, os problemas de drenagem devem-se ao fato de não ter sido considerado, em projeto, as variações das marés, que quando estão altas, casam refluxo na drenagem, retornando água até as sarjetas à montante.

Então, para esta situação, a solução proposta por Romanholi et al. (2014) é a instalação de válvulas *flap* nas saídas da microdrenagem, para a manutenção de fluxo em apenas um sentido, à medida que a válvula fecha quando o nível das marés sobe. Na proposta, optou-se pela adoção das válvulas *flap*, devido ao baixo custo de manutenção e implantação; pelo funcionamento contínuo das válvulas e por serem necessárias, apenas, pequenas interferências físicas para a implantação das válvulas nas extremidades da drenagem.

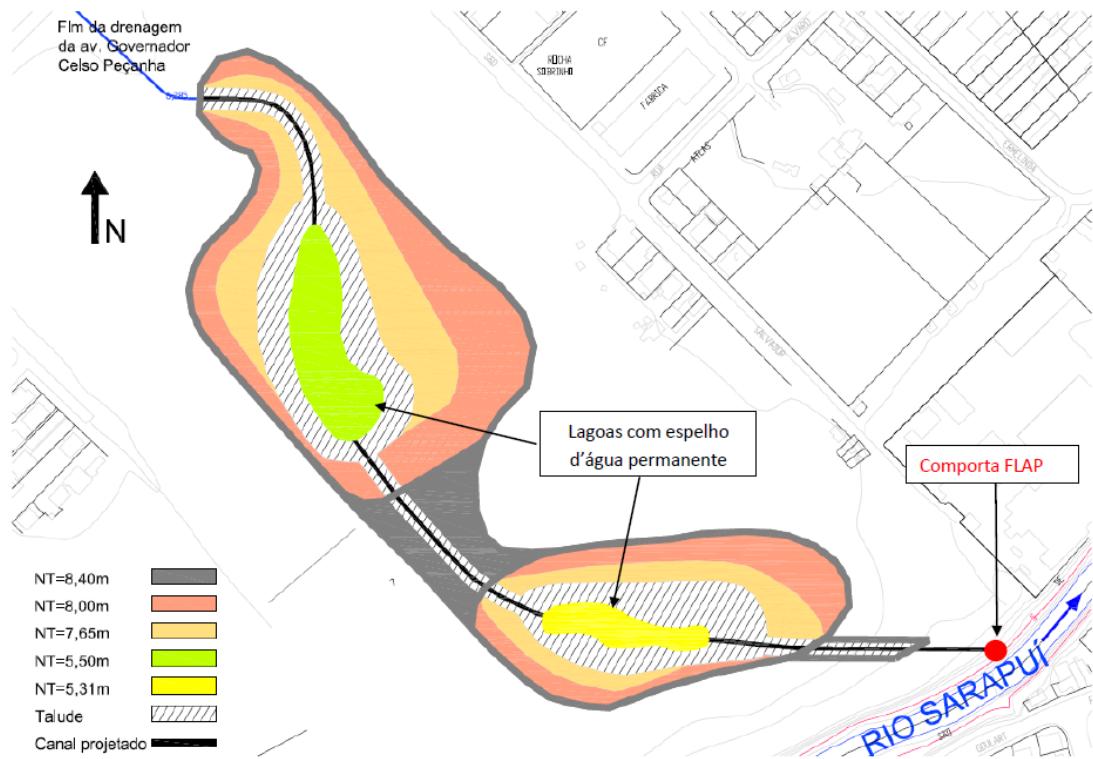
3.2.6.2.2 Proposta de bacia de detenção em Mesquita (RJ)

Para a Avenida Governador Celso Peçanha, em Mesquita (RJ), foi proposto uma bacia de retenção para o ordenamento dos escoamentos pluviais de sua drenagem. Assim, além do controle de inundações, foram projetados, nesta bacia, patamares que serviriam de espaços de lazer, podendo ser ocupados conforme a cota de inundaçāo.

Dessa forma, de acordo com Rezende (2010, p. 76, grifo do autor) a figura 26

[...] mostra um desenho esquemático das lagoas interligadas entre si por um canal e conectadas ao rio Sarapuí por uma comporta de sentido único (comporta FLAP), que impede a entrada de água do Sarapuí para o interior da bacia de retenção. Neste esquema estão apresentadas as cotas dos patamares a serem implantados.

Figura 26 – Bacia de retenção proposta, na cidade de Mesquita (RJ), com presença de comporta (válvula) *flap* no canal projetado, entre a bacia e o Rio Sarapuí



(fonte: REZENDE, 2010, p. 78)]

3.2.7 Quantificação de escoamento em bacias hidrográficas urbanas

A quantificação de escoamento que ocorre em uma bacia urbana é muito importante para o gerenciamento de situações de enchentes, seja para analisar alternativas de possíveis soluções deste problema, para avaliar todos os impactos gerados pelo fenômeno ou, até mesmo, para avaliação do desempenho de obras hidráulicas construídas com intuito de sanar a situação. A análise de quantificação pode ser dividida em microdrenagem (que envolve as canalizações de pequenos lotes) e macrodrenagem (que envolve os riachos e canais que cortam as cidades). Assim, segundo Tucci ([2015?], p. 26),

Quando o dimensionamento envolve somente diâmetros máximos e a bacia é pequena, o método racional é utilizado. Quando, nesse projeto, é necessário amortecer a enchente, onde os volumes são importantes, é preciso utilizarem-se métodos que estimem o hidrograma de projeto.

Para o gerenciamento de enchentes, é preciso analisar o impacto da microdrenagem sobre a macrodrenagem, com a quantificação do escoamento. Para tal, podem ser adotados duas metodologias distintas, a de modelos concentrados e a de modelos distribuídos, para simulações de microdrenagem.

3.2.7.1 Modelos concentrados

Modelos concentrados são os modelos aplicados para cálculo do escoamento quando há uma ocupação do terreno de maneira indefinida (TUCCI, [2015?]). Nestes modelos, a partir da precipitação máxima, pode-se utilizar modelos hidrológicos ou pode ser feito um estudo sobre a probabilidade de enchentes, para que se obtenha a vazão máxima. Para a implementação destes modelos são utilizados os seguintes fatores: escoamento superficial e a superfície livre e algoritmos para estimativas de perdas por infiltração, impermeabilização e depressão. De acordo com Tucci ([2015?], p. 27), suas principais limitações são as seguintes:

- a) as características em cada sub-bacias são uniformes;
- b) não consideram a distribuição espacial das características de impermeabilização numa sub-bacia do modelo;
- c) não consideram o escoamento em condutos, mas a propagação geral da sub-bacia;
- d) a separação do escoamento é realizada por índices, de acordo com o tipo de ocupação urbana existente.

3.2.7.2 Modelos distribuídos

São utilizados quando se tem uma ocupação já definida da área de estudo. Os modelos distribuídos se prestam à análise da capacidade de escoamento em pequenas bacias (nas quais podem ser representados os loteamentos urbanos) e para a averiguação das condições adotadas em projeto. Segundo (TUCCI, [2015?], p. 27),

O critério básico, em geral adotado no projeto de uma rede de drenagem urbana, é que a vazão de pico provocada por uma tormenta de projeto deve escoar pela rede à superfície livre, ou, sob pressão, com uma carga pequena. O limite superior aceitável da linha piezométrica é o greide das ruas. Normalmente, é adotado, para o evento de projeto, um tempo de recorrência de dois a dez anos (tempo de retorno da precipitação). Posteriormente, a rede é verificada com uma tormenta de uma recorrência maior.

Muitos dos métodos utilizados abordam a vazão nos condutos de uma maneira mais simples, adotando regime permanente. No entanto, há alguns métodos, chamados de armazenamento, que consideram um regime não permanente de escoamento (como o de *Muskingun* ou *Muskingun-Cunge* e o de *Time-Lag*), os quais proporcionam alguns ganhos de eficácia nos resultados (TUCCI, [2015?])

Há também modelos denominados de modelos de verificação, nos quais é possível fazer uma análise mais detalhada a respeito dos fenômenos físicos que se apresentam numa rede de drenagem. Esses modelos de verificação podem ser divididos, segundo as suas habilidades para simulações hidráulicas. Segundo TUCCI ([2015?], p. 28) são divididos da seguinte forma:

- a) modelos que adotam algum tipo de simplificação, como, por exemplo, onda cinemática para fluxo à superfície livre, ou análise grosseira de fluxo sob pressão. Casos típicos de modelos desse tipo são o modelo do MIT, o SWMM (*Storm Water Management Model*), da EPA, e o ISS (*Illinois Storm Sewer System Simulation Model*).
- b) modelos que utilizam as equações completas de fluxo não-permanente e representam as diversas situações de fluxo com um mínimo de simplificações. Em geral, podem representar redes malhadas e contemplam todos os efeitos de remanso. As equações de fluxo são resolvidas por esquemas implícitos de diferenças finitas.

3.2.7.3. Método Racional

O Método Racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de escoamento de projeto para bacias pequenas ($< 3 \text{ km}^2$). Os princípios básicos desta metodologia, segundo Ramos et al. (1999, p. 66), são:

- a) o pico do ESD (Escoamento Superficial Direto), relativo a um dado local de estudo, é função do respectivo tempo de concentração, assim como da intensidade da chuva, cuja duração é suposta como sendo igual ao referido tempo de concentração;
- c) as condições de permeabilidade da superfície da bacia permanecem constantes durante a ocorrência da chuva;
- d) o pico do ESD ocorre quando toda a área de drenagem, a montante do local em estudo passa a contribuir no escoamento.

De acordo com o mesmo autor, a equação para o escoamento superficial fica assim definida:

$$Q_P = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

Q_P = vazão em m^3/s , de pico de escoamento superficial;

C = coeficiente de escoamento (coeficiente de *runoff*), é a razão entre o volume de escoamento superficial e o volume precipitado. É adimensional

I = intensidade média de chuva, em mm/h , para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da bacia;

A = área da bacia em km^2 .

De acordo com Tucci (2005) O coeficiente de escoamento C pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$C = \frac{[(C_p \cdot A_p) + (C_i \cdot A_{imp})]}{A} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

C_p = coeficiente de escoamento de área permeável

C_i = coeficiente de escoamento de área impermeável

A_{imp} = área impermeável da bacia, em km^2

A_p = área permeável da bacia, em km^2

Na equação 2, o coeficiente C_i pode ser adotado como sendo aproximadamente 0,95, correspondendo a áreas com concreto e asfalto. Já, o coeficiente C_p da equação 2 pode ser encontrado por meio da metodologia da *Soil Conservation Service* (SCS). Então, segundo (SOIL CONSERVATION SERVICE⁵, 1975, apud TUCCI, 2005), tem-se o seguinte:

$$C_p = \frac{(p - 0,2 \cdot S)^2}{(p + 0,8 \cdot S)} \cdot (1 / p) \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

p = Precipitação total do evento, em mm

S = coeficiente de armazenamento de água por infiltração, em mm

O valor de p , para o método racional, é dado com a seguinte equação:

$$p = I \cdot t_c \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

I = intensidade da chuva, em mm/h

t_c = tempo de concentração da bacia, em horas

O armazenamento de água por infiltração (S) depende da característica da superfície do solo (CN), sendo dado pela seguinte equação:

$$S = (25400) / (CN) - 254 \quad (\text{equação 5})$$

⁵ UNITED STATES OF AMERICA. Department of Agriculture. **Soil Conservation Service**, Washington, DC, 1975.

A Curva-Número (CN), que é o parâmetro que determina característica do solo, variando de 0 a 100, deve ser calculada de maneira ponderada, pela seguinte equação, de acordo com Mantovani et al. (2015):

$$CN_p = \Sigma(CN_i \cdot A_i) / \Sigma(A_i) \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

CN_p = é o valor da curva-número ponderado (adimensional)

CN_i = é o valor para grupo, pertencente à bacia hidrográfica, em relação ao uso e tipo do solo (adimensional)

A_i = é a área de cada grupo quanto ao uso e tipo do solo na bacia, em km^2

O valor de CN_i é dado por tabelas, de acordo com os diferentes tipos de solo e cobertura, e as classes de utilização do solo. Essas classes, de acordo com (SETZER; PORTO⁶, 1979, apud PARANÁ, 2002a) são:

- a) solo A: apresenta uma capacidade muito elevada de infiltração, deixando muito reduzido o escoamento superficial;
- b) solo B: apresenta uma elevada capacidade de infiltração de água, o que implica um reduzido escoamento superficial;
- c) solo C: este solo apresenta uma capacidade de infiltração de água, levemente, abaixo da média. Isso implica um escoamento superficial, levemente, acima da média;
- d) solo D: neste solo, infiltra pouca água, pois sua capacidade de infiltração é reduzida;
- e) solo E: neste solo, infiltra muito pouca água, pois sua capacidade de infiltração é muito reduzida.

Então, baseado nessas classes de utilização do solo, tipos e coberturas pode-se calcular o CN_i por tabelas. Para zonas urbanas e suburbanas, por exemplo, pode-se utilizar a tabela 2.

⁶ A referência da obra não foi disponibilizada.

Tabela 2 – Parâmetro CN_i de característica do solo em zona urbana e suburbana

Utilização ou Cobertura do Solo		A	B	C	D	E
Zonas cultivadas:	sem conservação do solo com conservação do solo	72 62	81 71	88 78	91 81	91 81
Pastagens ou terrenos baldios:	máis condições boas condições	68 39	79 61	86 74	89 80	89 80
Prado em boas condições		30	58	71	78	78
Bosques ou zonas florestais:	cobertura ruim cobertura boa	45 25	66 55	77 70	83 77	83 77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições:	com relva em mais de 75% da área com relva de 50 a 75% da área	39 49	61 69	74 79	80 84	80 84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95	95
Zonas industriais		81	88	91	93	93
Zonas residenciais:	Lotes de (m ²)	% média impermeável				
	<500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1300	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
	4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:	asfaltadas e com drenagem pluvial paralelepípedos terra	98 76 72	98 85 82	98 89 87	98 91 89	98 91 89

(fonte: SETZER; PORTO⁷, 1979, apud PARANÁ, 2002a, p. 39)

3.3 GEOPROCESSAMENTO

Mendes e Cirilo (2001, p. 18), afirmam que “[...] o geoprocessamento é mais uma técnica que permitem ‘modelar’ o Ambiente”. É um instrumento com o qual, de maneira fácil e efetiva, é possível realizar controle e manejo de processos relacionados ao meio ambiente, sem grandes custos operacionais e nem despender de muito tempo. Ainda segundo Mendes e Cirilo (2001, p. 30):

Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (por exemplo: imagens de satélite, mapas cadastrais, mapas topográficos, mapas de solo, etc.) e diferentes escalas com dados descritivos (dados tabulares). O resultado destas manipulações, geralmente, é apresentado sobre a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

Os mesmos autores, também, propõem outra definição para geoprocessamento (MENDES; CIRILO, 2001, p. 50). Segundo ela, o geoprocessamento pode ser considerado “[...] uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características e relações importantes, através de dados especializados”.

⁷ A referência da obra não foi disponibilizada.

No processo de representação da realidade por meio de um modelo, o geoprocessamento “[...] utiliza os conceitos de pontos, linhas, polígonos, grades, rede de triângulos irregulares *quadtrees*, etc.” (MENDES; CIRILO, 2001, p. 51-52). Já, na hidráulica e na hidrologia, são feitos estudos a respeito da água (com relação a seus caminhos percorridos, em dado intervalo de tempo e no espaço disponível), bem como de suas partículas ou poluentes constituintes, por meio de formulações matemáticas que obedecem às leis da física. Assim, nesses campos de estudo, as estruturas a serem representadas são: rios, lagos, lagoas, aquíferos, estuários, córregos (em geral, todos aqueles elementos que possam vir a constituir a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica). Então, de acordo com Mendes e Cirilo (2001, p. 52), “[...] o geoprocessamento usual é estático e os processos na bacia (e em todo o ambiente) são dinâmicos”. Em acréscimo, os autores destacam que cada usuário possui sua própria interpretação de uma mesma realidade (seja, por exemplo, na representação de uma bacia hidrográfica). Portanto, os mesmos autores ainda afirmam que “[...] em termos práticos, o geoprocessamento é parte de um conjunto de tecnologias as quais, trabalhando integradamente, ajudam a representar, simular, planejar, gerenciar o ‘Mundo Real’ ”.

Ainda sobre geoprocessamento, Medeiros (2012) propõe o conceito de que o geoprocessamento envolve todas as técnicas referentes ao gerenciamento de informação espacial, o qual, segundo Brasil ([2015?]), é o objetivo da ciência chamada de geomática, desde a etapa de coleta, seguida de armazenamento e análise, com uma utilização conjunta dos dados geográficos. Geralmente, é denominado de geotecnologias este conjunto de técnicas e métodos pertences ao geoprocessamento. Dentre as principais tecnologias, destacam-se: o SIG, o sensoriamento remoto, o banco de dados geográficos, a geoestatística, a topografia, a cartografia, a fotogrametria, o *webmapping*, entre outros (MEDEIROS, 2012). Assim sendo, de acordo com o mesmo autor, na mesma obra, percebe-se que essas geotecnologias existentes são todas partes de um conjunto maior, o geoprocessamento, conforme é ilustrado pela figura 27, a seguir.

Figura 27 – Relação entre geoprocessamento e as geotecnologias



(fonte: MEDEIROS, 2012, p. 5)

3.3.1 Sistema de Informações Geográficas

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é muito importante para o desenvolvimento científico e o gerenciamento de informações. Por meio da elaboração de um banco de dados, permite a aplicação de técnicas de geoprocessamento para confecção de um modelo simplificado da realidade para os mais diversos fins. Sua operacionalização é baseada na integração entre usuários, maquinários, *softwares*, informações e metodologias para abordagem de uma dada questão (DAVIS, c2001; MENDES; CIRILO, 2001).

Segundo Davis (c2001, p. 13, tradução nossa), o termo SIG refere-se a três elementos. Cada um destes termos é assim descrito:

- a) sistema: tecnologia computacional e sua infraestrutura de apoio;
- b) informação: dados e informações; seu significado e uso;
- c) geográfica: o mundo real; realidades espaciais.

O Sistema de Informações Geográficas não deve ser entendido apenas como um sistema computacional. Ele é também uma metodologia para aplicação de conceitos científicos, representando uma nova profissão bem como uma nova indústria ou negócio. Davis (c2001, p. 13, tradução nossa) propõe duas definições para SIG, uma mais simples e outra mais detalhada. A definição mais simplificada para Sistema de Informações Geográficas seria a de, “[...] mapeamento computacional avançado [...]” e a mais sofisticada seria a de “[...] uma tecnologia, baseada em computação, e uma metodologia para a coleta, gerenciamento, análise, modelagem e apresentação de dados geográficos para uma ampla gama de utilização”. No

entanto, o autor faz a ressalva de que não existe nenhuma definição que possa caracterizar, com perfeição, o que é um Sistema de Informações Geográficas, pois este é um conceito muito complexo que envolve uma infinidade de fatores correlacionados.

Em acréscimo, o mesmo autor afirma que o SIG pode envolver profissionais das mais variadas áreas que direcionarão suas aplicações para inúmeros campos, conforme seu interesse, por meio das mais distintas técnicas de operacionalização do banco de dados. Os dados e aplicações envolvidos em um SIG são sempre referentes a alguma situação ou atributos pertencentes a algum lugar do mundo. Todavia, na natureza, quase nenhum processo ou característica se dá de maneira isolada, sem a influência de outras variáveis ou temas. Assim, o Sistema de Informações Geográficas apresenta-se como uma tecnologia ideal para união de todos os elementos e variáveis que podem influenciar na caracterização do espaço (sejam eles de ordem física, cultural, social, etc.), sendo o SIG um ferramental multidisciplinar.

3.3.1.1 Projeto

Um projeto de sistema de informações geográficas será definido pelo banco de dados com as características relativas àquilo que será analisado em dada localidade. Neste projeto, as informações serão organizadas em uma estrutura comum capaz de suportar estes diferentes tipos de informações. Desta forma, de acordo com Davis (c2001), o banco de dados para um projeto de sistema de informações geográficas pode ser assim disposto:

- a) mapas: servem de base para o todo o acervo de dados coletas. É o tipo mais comum de informação geográfica;
- b) GPS (*Global Position System*): é um sistema sofisticado, orientado por satélites, por meio do qual é possível saber a elevação e a determinada localização de qualquer ponto do mundo, segundo certo referencial, com uma ótima precisão;
- c) imagens: podem ser imagens digitais, oriundas de sensoriamento remoto, obtidas por missões espaciais; podem ser obtidas de maneira analógica, por exemplo imagens aéreas para análise de fotogrametria, etc.;
- d) relatórios: são todas as informações textuais com as características relacionadas ao espaço da área de estudo, como por exemplo, a ocupação e o uso do solo, a rede hidrográfica, altimetria, entre outros;
- e) tabelas: são todas as informações tabulares relativas à área de estudo, seja informações numéricas ou descriptivas, como, por exemplo, dados demográficos, econômicos, sociais, etc.

3.3.1.2 Infraestrutura

Segundo Davis (c2001), existem, pelo menos, seis elementos que determinam a infraestrutura de um Sistema de Informações Geográficas. Esses elementos podem ser representados por meio de uma pirâmide, na qual o elemento de maior importância ocupa a base da pirâmide e o de menor importância o seu topo, conforme ilustrado na figura 28. Dessa forma, são dispostos na seguinte sequência:

- organização e pessoas: é a parte mais importante, a base da pirâmide. São as pessoas que tornam o SIG uma importante ferramenta para as organizações, sem as quais não há trabalho e nem utilidade para a infraestrutura;
- aplicações: as aplicações são as finalidades para as quais as ferramentas de um Sistema de Informações Geográficas serão utilizadas;
- metodologia: a metodologia refere-se às diferentes abordagens por meio de diferentes técnicas com o uso de SIG para uma aplicação específica;
- dados: tanto para o início de uma análise quanto para os resultados finais apresentados, os dados são a essência das operações num SIG;
- software*: é necessária a escolha de um programa capaz de executar as operações desejadas com Sistema de Informações Geográficas. Geração de gráficos e mapas, análises estatísticas, edição de textos, etc.;
- hardware*: são todos aqueles componentes de maquinário necessários para operacionalização de um SIG. Devem ter a capacidade necessária para o processamento de dados demandado.

Figura 28 – Infraestrutura de um Sistema de Informações Geográficas



(fonte: adaptado de DAVIS, c2001, p. 18)

3.3.2 Modelos de dados

Um modelo de dados é uma representação da realidade de maneira simplificada, na qual, são levadas em consideração aquelas características do meio físico que são relevantes ao tema abordado. Para a confecção destes modelos, são utilizados tanto dados geográficos quanto dados geométricos. Os modelos de dados podem ser classificados em Modelos Numéricos de Terreno e Digitais de Terreno (FELGUEIRAS, 1997; FELGUEIRAS; CÂMARA, 2001; MENDES; CIRILO, 2001).

Segundo Mendes e Cirilo (2001), um “modelo”, é um termo que possui diferentes significados, podendo ser citados em diversas situações. Sob o âmbito gramatical da língua portuguesa, esta expressão pode ser empregada como um verbo (com o intuito de apresentar ou demonstrar algo); pode significar um adjetivo, indicando um nível de qualidade; ou um substantivo indicando uma representação ou interpretação. Também pode abordar aspectos físicos do “Mundo Real”, como por exemplo, pela representação do espaço (atuando como um modelo espacial), pela representação do tempo (sendo um modelo temporal) ou mesmo pela conjunção entre os dois (sendo um modelo espaço-temporal). Além disso, os modelos também podem ter significados mais racionais como o de uma teoria, uma ordenação de ideias, um conjunto de hipóteses; ou podem ser utilizados para indicação de termos matemáticos, como uma função, uma associação de dados, uma equação. Para a elaboração de um modelo, esses autores, indicam que são necessárias algumas modificações nas características do Ambiente (“Mundo Real”) de maneira a simplificá-las, facilitando sua reprodução, identificação e controle. Dessa forma, é preciso ressaltar que, independentemente do modelo, ele sempre será, apenas, uma analogia, à medida que se distingue do mundo real. Portanto, o modelo de dados é uma representação do mundo real, no qual, de acordo com a utilização definida a este modelo, são agregadas apenas aquelas características relevantes a tal aplicação, estando contidos atributos contínuos e discretos do espaço geográfico (MENDES; CIRILO, 2001).

3.3.2.1 Dados geográficos

Conforme Mendes e Cirilo (2001, p. 60-61), os dados geográficos podem ser enquadrados em três categorias:

- a) dado espacial, que se refere à localização, à forma e às relações entre as entidades espaciais. Um dado espacial é um elemento localizado no espaço mediante um sistema predefinido de coordenadas que podem ser descritas por meio de atributos e sua relação com outros elementos pode ser perfeitamente estabelecida.
- b) dado descriptivo, que se refere às características da entidade espacial (também denominadas de atributos).
- c) dado temporal, que se refere ao período ou época da ocorrência do fenômeno ou fato geográfico.

Em sequência, os mesmos autores classificam os dados espaciais (geométricos), em três tipos:

- a) posicionais: são aqueles atributos responsáveis pela identificação de diferentes objetos ou de mudanças nas condições geográficas, como por exemplo, a demarcação de postos de medição pluviométrica, a delimitação da fronteira entre duas bacias hidrográficas, divisão entre cidades, a identificação de áreas que sofreram inundações, etc. Em suma, evidenciam a posição do objeto;
- b) topológicos: são os atributos que determinam a forma como se dará a comunicação entre objetos vizinhos ou entre objetos interligados. Essas relações podem se dar, por exemplo, no caso em que há uma fronteira natural que divide duas cidades vizinhas. Este contato entre as duas cidades é de característica topológica;
- c) pontuais: servem para classificação daquelas propriedades adquiridas por meio de amostras, de forma a representar informações com grandezas físicas. O campo gerado pela chuva, por meio de uma distribuição de pontos, cada qual com dado valor, é um possível exemplo de dados pontuais.

3.3.2.3 Dados geométricos

Dados geométricos podem ser representados num modelo por meio de duas estruturas distintas. Essas estruturas são chamadas de matricial (*raster*) e vetorial (MENDES; CIRILO, 2001).

3.3.2.3.1 Estrutura raster

Na estrutura *raster* (matricial), tem-se um valor correspondente a cada uma das células da matriz que a compõe, de forma a representar o espaço geográfico, conforme é demonstrado na figura 29. De acordo com Mendes e Cirilo (2001, p. 67, grifo dos autores), “Na forma de representação matricial, o espaço é uma matriz $M(i, j)$ de i linhas por j colunas, onde cada célula (também chamada de *pixel*) é endereçada por suas coordenadas e contém um valor do atributo na célula [...]. Cada uma das células componentes da matriz, possui sua própria coordenada referencial, relacionando-se ao centroide ou canto dos *pixels*. Cada célula da

matriz possui um dado tamanho, ou seja, uma dada resolução, sendo esta, sempre, um valor quadrático, por exemplo, 20×20 m, 30×30 m, 90×90 m, etc. Assim, ainda segundo os mesmos autores, “A resolução, ou escala dos dados *raster* é, portanto, a relação entre o tamanho da célula no banco de dados e o tamanho da célula no terreno”.

Figura 29 – Estrutura *raster* (matricial) para representação do espaço geográfico



(fonte: elaborado pelo autor)

Diversas informações, como altimetria, cobertura vegetal, tipo e uso do solo, etc., são armazenadas em diferentes arquivos *raster*, à medida que, em uma matriz $M(i, j)$, os dados armazenados são dados bidimensionais, podendo conter valores referentes a um único atributo geográfico, em cada uma de suas células. Essas matrizes podem ser chamadas de *layers*. Para muitas operações e interpretações, faz-se necessário trabalhar com um conjunto de matrizes (cada qual representando uma característica específica do terreno) de maneira sobreposta, conforme representado na figura 30. Esse conjunto, pode ser chamado de *overlay* (MENDES. CIRILO, 2001).

Figura 30 – Sobreposição de mapas temáticos representativos da realidade



(fonte: MENDES; CIRILO, 2001, p. 69)

Segundo estes mesmos autores, a estrutura matricial para representação de informações geográficas, é a mais apropriada para o manejo de dados de imagens obtidas por sensoriamento remoto, bem como para aplicações em conjunto de modelos matemáticos, operações algébricas entre os diferentes *layers*, interpolações espaciais para estimativa de valores, entre outros. Além disso, é a estrutura mais indicada para a representação de variáveis que se distribuem de maneira contínua no espaço, como pressão, temperatura, umidade do ar, entre outras. Entretanto, a precisão para representar os dados em uma estrutura *raster*, dependerá, fundamentalmente, da resolução das células da matriz (do tamanho de cada célula). Assim, entidades mais estreitas, de caráter linear, como rios, estradas, ferrovias, rodovias, ciclovias, serão representadas com menos acurácia por meio de estruturas matriciais.

3.3.2.3.2 Estrutura vetorial

Segundo Mendes e Cirilo (2001), na estrutura vetorial, ao contrário das estruturas matriciais, as dimensões, extensões e localizações dos objetos são representadas com grande exatidão, à medida que o espaço é considerado contínuo. Dessa forma, na estrutura vetorial é por meio de vetores (como pontos, linhas e polígonos) que os objetos são representados, estando uma série de atributos relacionados aos mesmos. De acordo com Mendes e Cirilo (2001, p. 70), esses três elementos presentes nas estruturas vetoriais são assim identificados:

- a) pontos – Os pontos abrangem todas as entidades gráficas e geográficas que são posicionadas por um único par de coordenadas X, Y. Outras informações armazenadas juntamente com os pontos são: tipo de ponto, identificador, símbolo, características do texto (se o ponto for um elemento de texto) e atributos não gráficos associados;
- b) linhas – Linhas podem ser definidas como todos os elementos lineares constituídos por segmentos de retas, a partir de duas ou mais coordenadas. A

linha mais simples requer o armazenamento de um ponto inicial, um ponto final e mais um possível registro indicando o símbolo de visualização. Um “arco” é um conjunto de pares de coordenadas X, Y descrevendo uma linha contínua complexa;

- c) áreas – O objetivo de uma estrutura de dados de polígono é descrever propriedades topológicas de área (ou seja, suas formas, vizinhos e hierarquia) de tal forma que as propriedades associadas a esses elementos possam ser exibidas e manipuladas como mapas temáticos.

Com a disposição desses vetores (pontos, linhas e áreas), é possível delimitar muito bem as junções e vizinhanças entre estes elementos, de forma a proporcionar a construção de modelos topológicos a partir destas entidades geográficas. Segundo Mendes e Cirilo (2001, p. 71), a topologia “[...] é definida como a matemática da conexão ou adjacência de pontos, linhas ou áreas que determinam relações de espaço em um SIG”. Por meio de uma estruturação topológica é possível identificar exatamente as direções das linhas e os nós que determinam suas conexões em um mapa, sendo polígonos e arcos delimitados pela ordem com a qual se dão essas conexões. É mediante o uso de diversas tabelas que essas informações topológicas são armazenadas no computador. Assim, estruturas vetoriais permitem representar elementos com uma acurácia superior à das estruturas *rasters*, sendo adequadas para retratar as divisões políticas entre municípios, a delimitação de sub-bacias, a demarcação de redes de drenagem, simbolizar estradas, etc. (MENDES; CIRILO, 2001). Em acréscimo, estes mesmos autores afirmam que, nestes modelos vetoriais, é possível armazenar múltiplas informações em um pequeno espaço, por meio de relações implícitas do próprio modelo. Contudo, a estrutura requerida para o seu armazenamento de dados é de grande complexidade.

3.3.2.4 Modelo Numérico de Terreno

De acordo com Felgueiras e Câmara (2001, p. [1]), “Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre”. Diversos tipos de dados podem ser representados a partir de um Modelo Numérico de Terreno, dentre os quais destacam-se: dados de relevo; informações a respeito da meteorologia sobre o local de estudo; informações sobre geofísica e geoquímica; medidas sobre a profundidade encontrada em rios e mares, etc. Ainda segundo Felgueiras e Câmara (2001, p. [1]), podem ser dados diversas utilidades às informações armazenadas num MNT como:

- a) armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Com o modelo em mãos, pode-se dar inúmeras aplicações a este modelo, sejam elas de caráter quantitativo (por exemplo, geração de mapa de aspecto; cálculo de áreas, de volumes) ou qualitativo (como a visualização do modelo a partir de dada projeção). No entanto, é muito importante que o usuário tenha uma visão espacial da área de estudo. Para tal, é fundamental a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), a qual, em geral, se dá por meio de uma grade (ou rede de pontos) ou com uso de equações analíticas, de forma a possibilitar a retratação de uma superfície real pelo computador (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2001).

3.3.2.5 Modelo Digital de Terreno

Segundo Felgueiras (1997, p. 1), “Um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre”. Por meio de amostras, representativas da variabilidade de um fenômeno que se apresenta na região de estudo, são gerados os MDT’s. Os Modelos Digitais de Terreno são instrumentos muito importantes para executar operações de geoprocessamento atreladas a um Sistemas de Informações Geográficas. A partir dos MDT’s é possível realizar análises qualitativas e quantitativas para processos de simulações, tomadas de decisão ou modelagens em um ambiente de SIG, com auxílio de técnicas de geoprocessamento.

Diversas operações são proporcionadas pelas análises desenvolvidas num MDT. Dentre elas, Felgueiras (1997, p. 2) destaca:

[...] visualizar os modelos em projeção geométrica planar; gerar imagens de nível de cinza, imagens sombreadas e imagens temáticas; calcular volumes de aterro e corte; realizar análises de perfis sobre trajetórias predeterminadas e; gerar mapeamentos derivados tais como mapas de declividade e exposição, mapas de drenagem, mapas de curva de nível e mapas de visibilidade.

Em acréscimo, o mesmo autor sugere que, várias utilizações de geoprocessamento poderiam ser facilitadas pela interligação dos produtos, gerados por essas análises, com dados geográficos de outra espécie. Alguns exemplos dessas aplicações seriam: a indicação de áreas

de risco; a confecção de relatórios de impactos ambientais; a delimitação de áreas propensas à agricultura; o planejamento rural e urbano, entre outros.

3.3.2.6 Dados SRTM

SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi missão espacial, na qual o Radar SRTM foi enviado ao espaço, no ano de 2000, por meio do ônibus espacial *Endeavour*. Como resultado foram obtidas informações sobre a altimetria por estereoscopia, durante um período de 11 dias percorrendo a superfície terrestre. Essa missão foi realizada a partir de um trabalho conjunto entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*) e DLR (*Deutsches Zentrum für Luft*), onde no JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) da NASA, na Califórnia foi responsável pela pesquisa das informações, o NGA, por meio de operações extras proporcionou um produto para o mapeamento e a disponibilização, gratuita, do produto final foi feita pela *United States Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center* por meio da plataforma *Earth Explorer* (CREPANI; FARR, et al; 2007; MEDEIROS, 2007; NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2015;). O produto final gerado são grades regulares, de dados altimétricos, em estrutura *raster* com a resolução de um arco-segundo (aproximadamente, 30 metros por 30 metros, em cada célula) para todo os Estados Unidos, e de três arco-segundos (aproximadamente, 90 metros por 90 metros, em cada célula) para os demais países, cobrindo mais de 80% a superfície terrestre. Esses dados formam um Modelo Digital de Elevação (ou Modelo Digital de Terreno) que é uma grade regular, o qual está apresentado em coordenadas geográficas (latitude e longitude), referenciada horizontalmente ao *datum WGS84* e verticalmente ao geoide EGM96 (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2015; VITAL et al., 2010). Recentemente, segundo National Aeronautics and Space Administration (2015), ao final de 2014 e início de 2015 foram sendo disponibilizadas imagens com resolução de um arco-segundo para diversas partes do mundo, entre elas a América do Sul. Segundo Guasseli e Oliveira et al. (2011), os dados SRTM apresentam uma baixa acurácia vertical que, em conjunto com sua resolução de 30 x 30 m ou 90 x 90 m o torna adequado para usos em grandes escalas.

Segundo o Farr et al. (2007), o radar utilizado na missão espacial SRTM operou na banda espectral C, com um comprimento de onda de aproximadamente 5,60 cm. Ao operar nesta

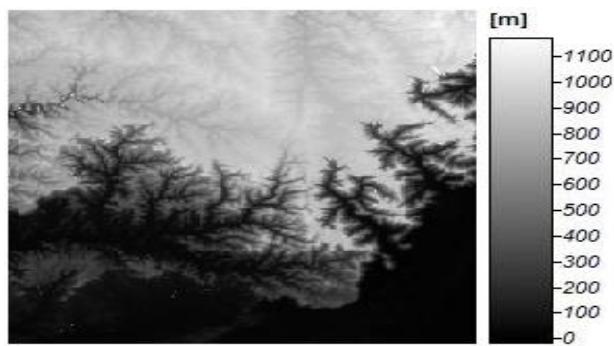
banda, o radar, apesar de conseguir penetrar no dossel das árvores, dificilmente chegará ao chão (LE TOAN et al., 1992). Então, nas imagens SRTM, de acordo com Farr et al. (2007, p. 21, tradução nossa), constatou-se que,

[...] se o *pixel* continha chão nu, a fase refletiu a altura da superfície. Onde o chão estava coberto com a vegetação, o retorno foi influenciado pela altura da vegetação, estrutura e densidade. Onde vegetação era densa o bastante, houve pouco ou nenhum sinal de retornou a partir do solo.

As imagens SRTM disponíveis na plataforma Earth Explorer são do tipo *Void Filled* ou *Non-Void Filled*. As imagens do tipo *Void Filled* foram editadas pela NGA para uma melhor delimitação de lagos, costas, remoção de pontos espúrios, preenchimento de pequenas falhas ou de informações faltantes, por meio de técnicas de interpolação com auxílio de outros modelos numéricos de terreno (FARR et al, 2007; NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2015; UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015). Já, as imagens do tipo *Non-Void Filled*, não passaram por esse processo de aprimoramento. A imagens de três arco-segundo são oferecidas em ambos os tipos, mas de um arco-segundo, em geral, são oferecidas apenas no tipo *Void Filled*, sendo essas representadas na figura 31.

É preciso destacar também a ressalva feita por Eineder et al. (2012), em que não é dada garantia de que esses dados SRTM realmente condizem com a realidade. A missão espacial foi realizada no ano de 2000, então, desde essa data até os dias de hoje, podem ter ocorrido mudanças no relevo que não estarão representadas nesses dados em questão.

Figura 31 – Grade regular SRTM, *Void Filled*, de um arco segundo de resolução



(fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015)

3.3.2.7 Software SAGA-GIS

Segundo Conrad et al. (2015), o SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) é um *software* livre de SIG, por meio do qual podem ser executadas diversas técnicas de geoprocessamento, por meio de análises geocientíficas. Este programa foi codificado na linguagem de programação C++ e pode ser utilizado em diferentes sistemas operacionais, como Linux ou Windows, por exemplo. O programa apresenta uma interface gráfica que facilita a interpretação dos usuários devido a múltiplas opções de visualização, além de uma linha de comando para acionar rapidamente a função desejada. Possui, também, a capacidade de implementar códigos em linguagens simples de programação como Python e R (CONRAD et al., 2015). Segundo este mesmo autor, na mesma obra, O SAGA-GIS apresenta diversas bibliotecas que permitem sua aplicação em vários campos como a análise de terrenos, estudos sobre as características do solo de dada área, assim como a extração de suas características morfométricas, análises sobre clima e meteorologia de dada região, aplicações de sensoriamento remoto, entre outras. Além disso, o programa permite trabalhar tanto com dados em formato matricial quanto em formato vetorial, por meio de análises geométricas e relações topológicas.

Os estudos para o desenvolvimento deste *software* começaram no início dos anos 90, na Universidade de Göttingen, na Alemanha, com o grupo de trabalho *Geosystem Analysis* (o qual é responsável pela maior parte da criação do sistema de análise geocientífica do SAGA-GIS), liderado pelo professor Dr. Jürgen Böhner e, posteriormente, em parceria com a Universidade de Hamburgo (CIMMERY, c2010; CONRAD et al., 2015). De acordo com os projetos e necessidades do Departamento de Física da Universidade de Göttingen, definiu-se que o SAGA-GIS teria um enfoque principal quanto à operacionalização de Modelos Digitais de Terreno, os quais vinham sendo utilizados pelo departamento para, por exemplo, “[...] predição de propriedades do solo, controle dos processos dinâmicos do terreno, assim como de seus parâmetros climáticos em uma grande escala espacial de resolução.” (CONRAD et al., 2015, p. 2273, tradução nossa).

No entanto, segundo Steiniger e Hay (2009), em comparação a programas como o ArcGIS, por exemplo, o SAGA-GIS apresenta menos recursos para edição de estrutura de dados em formato vetorial e menos capacidade gráfica para a representação dessa estrutura. Isso se deve à ênfase dada desde o início de seu projeto, para análises de MDT's (CONRAD et al., 2015) a qual permite uma maior sofisticação de recursos e facilidade de operacionalização em

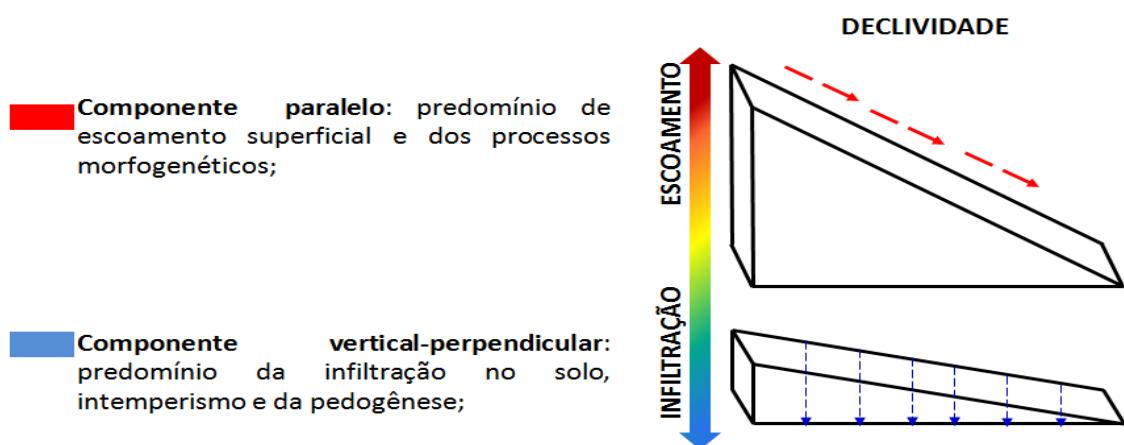
estrutura de dados no formato *raster* no SAGA-GIS (CONRAD et al, 2015; CIMMERY, c2010; STEINEGER; HAY, 2009)

3.4 VERTENTES DE UM TERRENO

As vertentes são formas de relevo moldadas ao longo do tempo por processos geomorfológicos que envolvem abrasão, transporte e acumulação de água e sedimentos e movimentos de placas tectônicas. Além disso, a ação humana também é responsável pela moldagem das vertentes, segundo a ocupação e uso do solo. Dentre os elementos da paisagem, a mais relevante forma de relevo são as vertentes, as quais exercem grande influência sobre os processos de pedogênese e morfogênese, conforme a suas características (declividade, comprimento da rampa, curvatura vertical e horizontal, tipo do solo e de vegetação), requerendo, assim, atenção especial (CASSETI, [2015?]; VALERIANO, c2008a).

A pedogênese caracteriza-se pelo desenvolvimento do solo, sendo uma componente vertical ou perpendicular ao terreno, onde predomina a infiltração da água e processos de intemperismo. Por sua vez, a morfogênese caracteriza-se pelas atividades de erosão do solo, sendo uma componente paralela ao terreno, onde predomina o escoamento superficial da água. Esses dois processos são ilustrados na figura 32.

Figura 32 – Declividade das vertentes relaciona aos processos morfogenéticos e pedogenéticos



(fonte: SILVA NETO, 2013, p. 8)

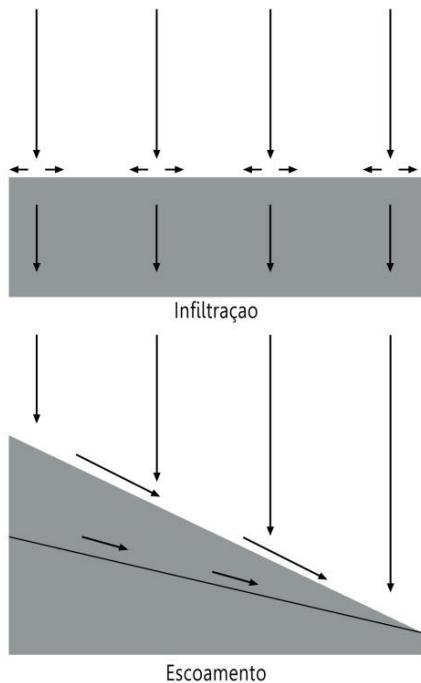
A análise das vertentes de um terreno é feita a partir de da extração de diversas características morfológicas do terreno como a sua declividade, o aspecto, as curvaturas vertical e horizontal,

as formas de terreno, entre outras. Essas características morfológicas serão descritas nas divisões a seguir.

3.4.1 Declividade

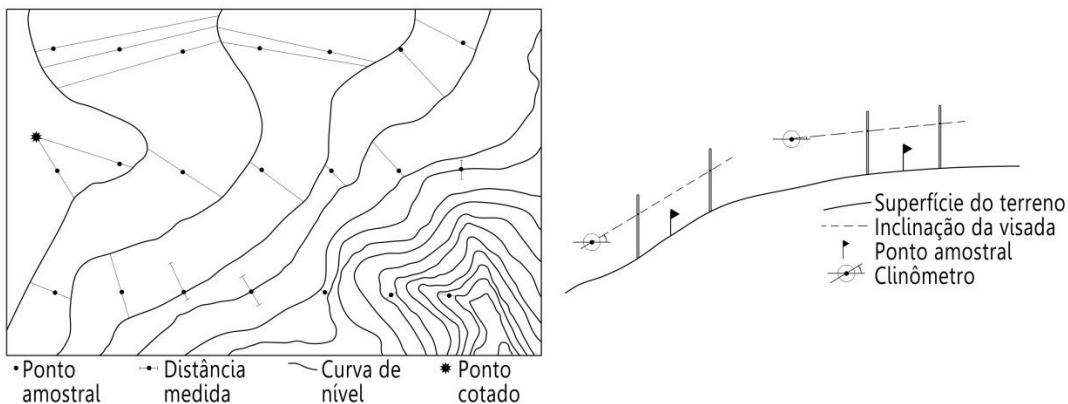
Segundo Valeriano (c2008a, p. 85), “A declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal”. Essa variável está presente em qualquer tipo de modelagem numérico ou física que podem ser feitas sobre o terreno de estudo, e é comumente expressa em porcentagem ou em graus (VALERIANO, c2008a), podendo aparecer em radianos. A declividade é de grande importância ao fluxo da água, conforme indicado pela figura 33, e para erosão da superfície, assim como para a sua temperatura e reflectância (MENDES. CIRILO, 2001). A medição desta variável também pode ser feita por meio de cartas topográficas e em campo, contudo, de acordo com Valeriano (c2008a), é uma prática lenta e exaustiva, propensa à erros, conforme indicado pela figura 34.

Figura 33 – Ação da declividade sobre a hidrologia da superfície



(fonte: adaptado de VALERIANO, c2008a, p. 86)

Figura 34 – Medida da declividade em carta e em campo

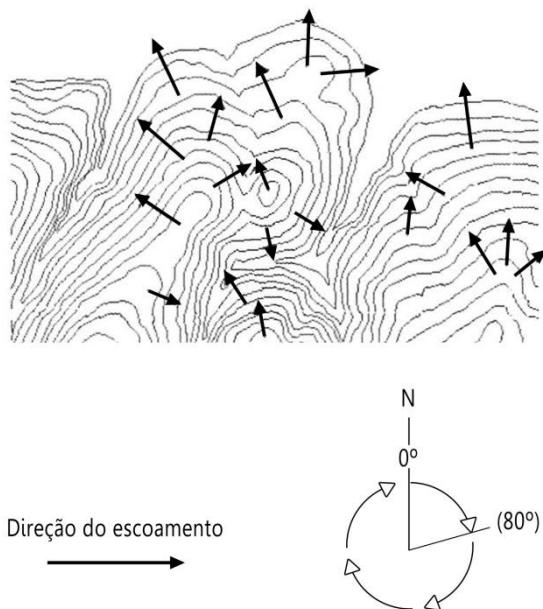


(fonte: VALERIANO, c2008a, p. 86)

3.4.2 Aspecto ou orientação de vertentes

De acordo com o Mendes e Cirilo (2001, p. 364), “O aspecto pode ser definido como a direção de máximo decrescimento do terreno”. Segundo os mesmos autores, na mesma obra, existe o aspecto contínuo (que dá uma variação contínua do aspecto para cada célula) e o aspecto discreto (que indica as direções de fluxo do escoamento dentre oito direções possíveis de escoamento, uma para cada uma das oito células vizinhas de uma dada célula). O aspecto discreto possui menos aplicações que o contínuo, no entanto, é de grande valia para a análise de recursos hídricos, pois auxilia no traçado da área de fluxo acumulado, permitindo um fluxo contínuo entre as células. Já, para análises de temperatura, energia solar e reflectância, entre outros estudos mais amplos, recomenda-se a empregar o aspecto contínuo (MENDES; CIRILO, 2001). Segundo Valeriano (c2008a, p. 86-87), o aspecto ou orientação de vertentes, “[...] é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, isto é, em relação ao Norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário”. Sua medida em cartas topográficas se dá em sentido descendente, conforme a direção perpendicular a isolinha local; conforme a figura 35; no campo, sua medição é feita com bússola (VALERIANO, c2008a). Segundo este mesmo autor, na mesma obra, quando o gradiente (ou módulo da declividade) é muito pequeno, é de grande dificuldade inferir o aspecto ou atribuir-lhe um significado, pois o terreno é muito plano. Além disso, ao analisar um dado trecho de uma vertente, “[...] o alinhamento de pontos em orientações próximas entre si determina as chamadas linhas de fluxo, que constituem os elementos básicos da estrutura da hidrologia superficial de uma microbacia.” (VALERIANO, c2008a, p. 87).

Figura 35 – Orientação das vertentes, baseada em curvas de nível

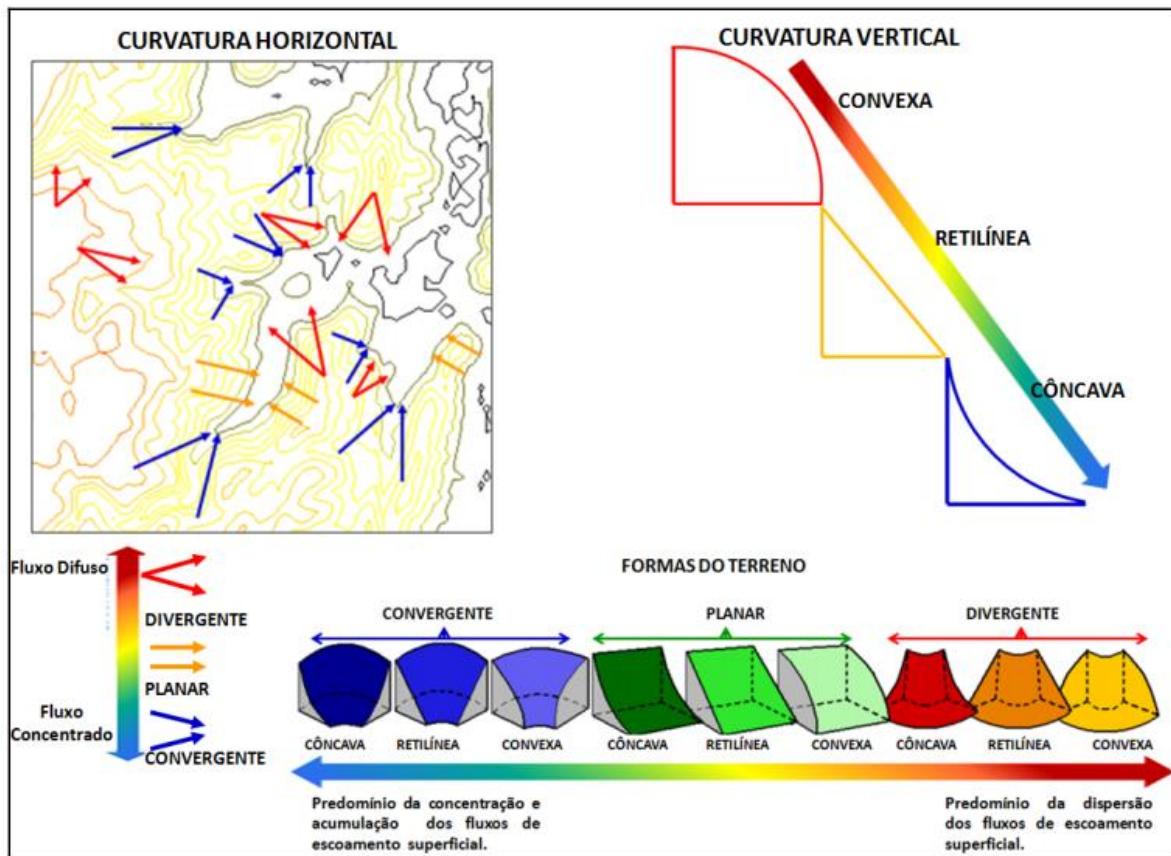


(fonte: VALERIANO, c2008a, p. 87)

3.4.3 Formas de terreno

Segundo Silva Neto (2013), os processos erosivos são influenciados por diversos fatores como a forma do solo, a intensidade das chuvas, os tipos de vegetação, de solos e de rochas, entre outros. Em relação às vertentes, devem ser analisadas as suas formas geométricas, e não apenas a sua declividade, pois elas são responsáveis por acelerar ou dificultar os processos de morfogênese (erosão dos solos) e de pedogênese (desenvolvimento dos solos). De acordo com Cassetti ([2015?]) e Silva Neto (2013), este processo é denominado de balanço morfogenético e está diretamente relacionado à infiltração de água no solo, bem como ao escoamento superficial. Neste cenário, as principais variáveis geomorfométricas, as quais compõe as formas de terreno das vertentes, são as curvas verticais e horizontais, que podem ser representadas pela figura 36, a seguir (SILVA NETO, 2013).

Figura 36 – Variáveis geomorfométricas locais, derivadas da altimetria, e suas possíveis combinações, representando as diferentes formas de relevo



(fonte: SILVA NETO, 2013, p. 7, adaptado de VALERIANO, c2008b)

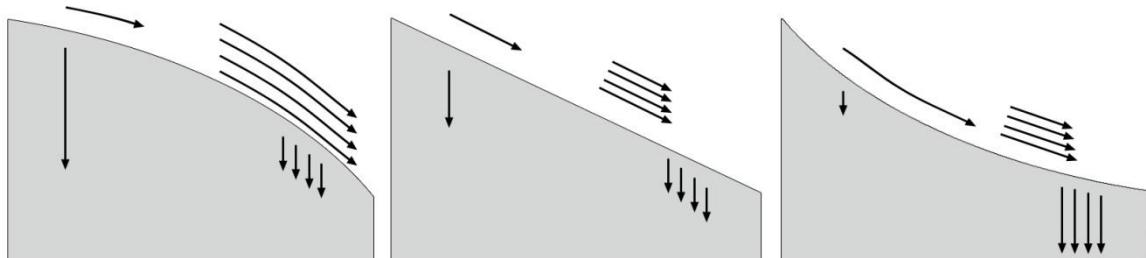
As combinações das curvaturas horizontais e verticais, segundo Valeriano (c2008a, p. 90), “[...] representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos, indiretamente [...]. Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento)”. Em acréscimo, o mesmo autor na mesma obra, salienta que, para os casos das combinações intermediárias de formas de terreno, é mais significativo o efeito individual das curvaturas horizontal e vertical do que a sua combinação.

3.4.3.1 Curvatura vertical

A curvatura vertical é oriunda da análise em perfil da curvatura de um terreno, por meio da qual pode-se observar as formas côncava e convexa. Essa variável se dá pela combinação dos efeitos de declividade e comprimento de rampa, conforme representado na figura 37. Ela

influência no fluxo e deposição de matéria orgânica, água e minerais no solo devido à ação da gravidade. (VALERIANO, c2008a).

Figura 37 – Ação da curvatura vertical sobre a hidrologia da superfície



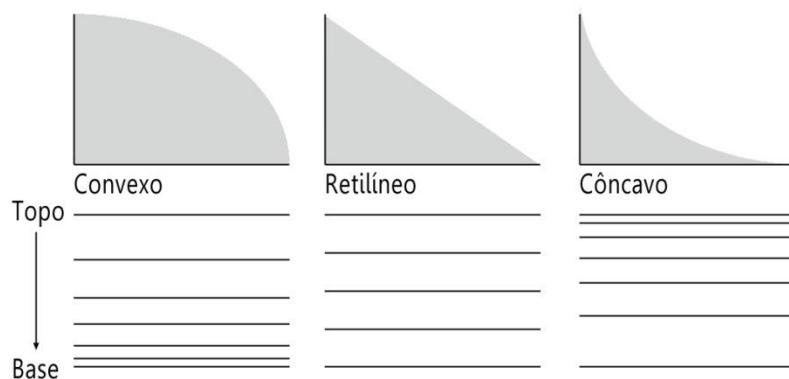
(fonte: VALERIANO, c2008a)

Segundo Valeriano (c2008a, p. 89),

“A percepção da curvatura vertical do terreno no campo, quando não ocorre visualmente (em perfil), se dá pela variação da declividade enquanto se percorre a vertente em sua orientação (direção do desnível). A medição da curvatura vertical em cartas topográficas requer a leitura de pelo menos três curvas de nível adjacentes e, analogamente à percepção no terreno, é indicada pela aproximação ou pelo afastamento das curvas de nível na orientação das vertentes [...].”

Na figura 38 está ilustrada a representação da curvatura vertical numa carta topográfica. É desta forma que deve ser feita sua análise, segundo as curvas de nível.

Figura 38 – Identificação das curvas verticais de acordo com as curvas de nível do terreno



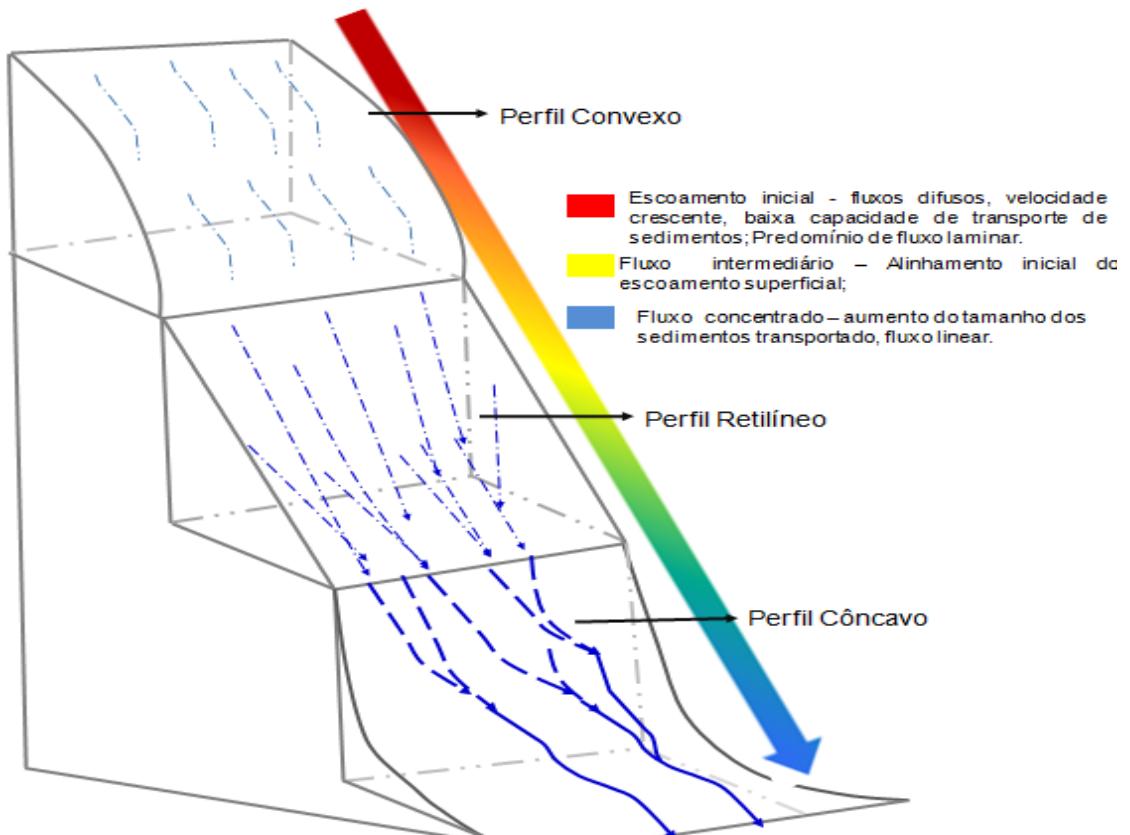
(fonte: VALERIANO, c2008a)

A unidade de medida da curvatura horizontal é graus por metro ($^{\circ}/m$), onde é expressa uma variação angular conforme é percorrida uma distância horizontal. Além disso, também pode-se adotar uma medida em metros (m) para a quantificação da curvatura horizontal. Para isso, é

necessário fazer a conversão da medida em graus por metro para raios de curvatura (que é a representação métrica correspondente a uma variação angular de 90°). Para diferenciar os valores obtidos para curvaturas, atribui-se sinal positivo ou negativo para indicar o sentido da curvatura, se côncava ou convexa (VALERIANO, c2008a).

Em relação à curvatura vertical, analisando um corte em perfil de um terreno, “Nas porções côncavas das vertentes verificam-se tendências à concentração do escoamento superficial, desse modo o aumento do fluxo de água potencializa o transporte de material dentrítico de dimensões maiores, resultando assim, na remoção e deslocamento das partículas superficiais do solo, para um canal de drenagem à jusante.” (SILVA NETO, 2013, p. 10). Este processo é ilustrado pela figura 39 a seguir.

Figura 39 – Relação dos fluxos de água conforme as formas de vertente, segundo análise em perfil do terreno



(fonte: SILVA NETO, 2013)

3.4.3.2 Curvatura horizontal

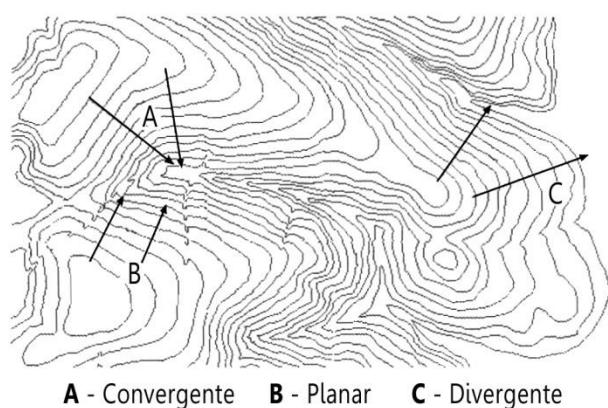
A curvatura horizontal é oriunda da análise da projeção horizontal de um terreno, por meio da qual podem ser observados os caracteres convergente e divergente. Assim como a curvatura vertical, essa variável causa influência no fluxo e deposição de matéria orgânica, água e minerais no solo devido à ação da gravidade, tendo significativo valor quanto aos processos de morfogênese, pedogênese e ao balanço hídrico. É uma variável importante também para o planejamento de cidades, auxiliando no posicionamento de obras para a drenagem e na identificação de áreas propensas à alagamentos, à medida que reflete a concentração do escoamento superficial (VALERIANO, c2008a).

De acordo com Valeriano (c 2008a, p. 90),

A percepção da curvatura horizontal é feita através das direções de declive (denominadas linhas de fluxo) adjacentes [...]. As áreas em que essas linhas estão paralelas têm curvatura horizontal nula, e se diz que o terreno é planar. Áreas com linhas de fluxo indicando convergência e divergência têm curvaturas não nulas com sinais opostos.

No entanto, Valeriano (c2008b) faz a ressalva de que, regiões totalmente planas e ou retilíneas, ou seja, com a curvatura horizontal e ou vertical nulas, serão de rara ocorrência. Assim, deve-se adotar uma margem de valores, próximos à zero, para a identificação dessas formas do terreno em relação aos valores obtidos para curvaturas horizontais e verticais. A identificação de curvaturas horizontais de acordo com as curvas de nível do terreno é representada na figura 40, a seguir.

Figura 40 – Identificação das curvas horizontais de acordo com as curvas de nível do terreno



A - Convergente B - Planar C - Divergente

(fonte: VALERIANO, c2008a)

A unidade de medida das curvaturas verticais é a mesma adotada para as curvas verticais: graus por metro ($^{\circ}/m$). Novamente, é possível, também, expressar essa variável em metros (m) ao realizarmos a transformação de graus por metros em raio de curvatura, o qual é expresso em metros.

3.5 PRINCÍPIO DE VASOS COMUNICANTES

O Princípio de Vasos Comunicantes é baseado no Princípio da Solidificação, proposto por Simon Stevin, o qual trata sobre a manutenção do equilíbrio de um corpo sólido imerso em um recipiente, no qual está contido um dado líquido. Por meio desses dois princípios, foi formulado, por Stevin, o Teorema Fundamental da Hidrostática, o qual demonstra a relação linear existente entre a profundida de dado ponto e a pressão exercida por um líquido neste ponto, tendo como referência a superfície livre do líquido (OLIVEIRA; MORS, 2009; FERREIRA, 2010).

3.5.1 Princípio da Solidificação

Buscando reforçar as conclusões de Arquimedes sobre empuxo, Simon Stevin (cientista nascido em 1548, em Bruges, na Bélgica) formulou o “Princípio da Solidificação”. Neste princípio, Stevin estabelece que, independentemente da posição em que um corpo sólido for depositado em um meio líquido, ele ficará em equilíbrio, contanto que a pressão no restante deste líquido não seja alterada pela imersão do corpo sólido e que ambos possuam iguais densidades. Era alvo de Stevin analisar quais fatores influenciavam na pressão ao fundo de um recipiente, exercida por um fluído (OLIVEIRA; MORS, 2009).

Adotando o “Princípio da Solidificação”, seria possível substituir um líquido contido em dado recipiente por um corpo sólido, com mesma massa, volume e densidade que o líquido, ou seja, que exercesse a mesma pressão, ao fundo do recipiente, exercida pelo líquido. Segundo, Oliveira e Mors (2009, p. 28, grifo do autor), de acordo com os estudos de Stevin, “A pressão (P) exercida por este corpo é a razão entre a força que ele aplica no fundo (em módulo igual à força peso, ou seja, $m \cdot g$) e a área do fundo (A) [...]”, conforme é apresentado na equação 7.

$$P = (m \cdot g) / A_{recipiente} \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

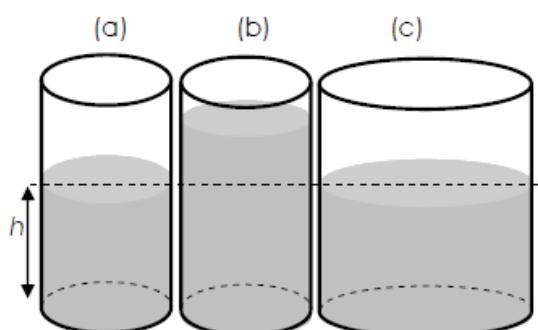
m = massa do corpo, em kg

g = gravidade, em m/s^2

$A_{recipiente}$ = área do fundo do recipiente, em m^2

De acordo com Oliveira e Mors (2009), segundo o “Princípio da Solidificação” de Stevin, é preciso aumentar a massa de um corpo para que haja um ganho de pressão, caso não seja alterado a área de sua base. Isso acarretará em aumento de volume do corpo, à medida que sua densidade é constante. Sendo este corpo um líquido contido em um recipiente, de base definida, será necessário elevar sua altura para que ocorra aumento de seu volume. Desta forma, será maior a força exercida sobre a área da base do recipiente, provocando um aumento de pressão no fundo do mesmo. Caso fosse mantida a altura da coluna do líquido, porém, alargada a base do recipiente, a pressão ao fundo do recipiente manter-se-ia constante, pois, de acordo com a equação 7, teríamos ganho de área do fundo do recipiente na mesma proporção na qual seria elevada a massa do líquido, mantendo inalterada a pressão. Assim sendo, Stevin chegou à conclusão de que é a altura ocupada por um fluido, em dado recipiente, quem determina a pressão ao fundo deste recipiente, independentemente da forma do recipiente e do volume do líquido. Isso é demonstrado na figura 41.

Figura 41 – Mesma pressão exercida, há uma dada altura h , pelo mesmo fluido, ocupando diferentes volumes em recipientes de formatos distintos



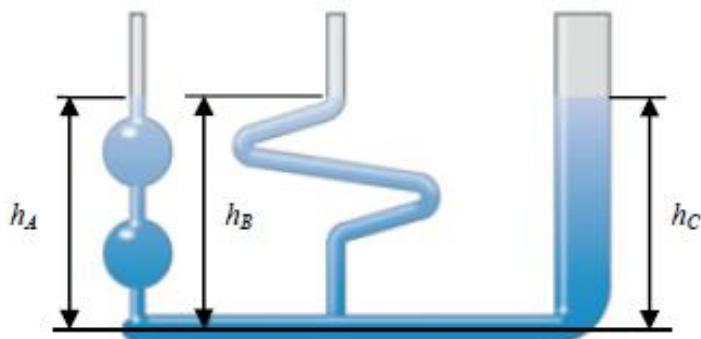
(fonte: OLIVEIRA; MORS, 2009, p. 29)

Além disso, de acordo com as análises de Stevin, se houver dois recipientes distintos (contendo o mesmo líquido) e interligados por um tubo ou canal, a pressão ao fundo dos dois recipientes será, exatamente, a mesma, dado que ambos os recipientes contêm o mesmo líquido. Este fenômeno é chamado de “paradoxo hidrostático”, cuja descoberta, geralmente, é atribuída à Stevin. (OLIVEIRA; MORS, 2009). Segundo Ferreira (2010, p. 25, grifo do autor), este fenômeno é o princípio de como funciona um sistema de vasos comunicantes o qual:

[...] é um conjunto de vasos abertos à atmosfera, que são postos em comunicação entre si de maneira que ao colocarmos um líquido em um dos vasos do conjunto, o líquido se distribuirá por todos os demais vasos do conjunto. Como todos os pontos do líquido colocado nos vasos comunicantes em contato com a atmosfera estarão a mesma pressão, segue que eles deverão estar à mesma altura, ou seja, o líquido subirá em todos os ramos à mesma altura h [...].

Assim, pelo princípio de vasos comunicantes, constata-se que a pressão é influenciada apenas pela altura e não por outros atributos como o volume do vaso ou forma do líquido (FERREIRA, 2010). O sistema de vasos comunicantes é demonstrado na figura 42, onde $h_a = h_b = h_c$.

Figura 42 – Sistema de vasos comunicantes



(fonte: FERREIRA, 2010, p. 25)

3.5.2 Teorema de Stevin

Segundo Ferreira (2010), Stevin, baseado em suas análises pelo “Princípio da Solidificação” e pelo “Princípio de Vasos Comunicantes”, formulou o chamado Teorema de Stevin ou Teorema Fundamental da Hidrostática, dado pela equação 8 no qual é estabelecida uma proporção linear entre a pressão no interior de um fluido incompressível, em um ponto i qualquer, e sua profundidade. Esse teorema pode ser demonstrado por meio da figura 14, na

qual se apresenta um ponto A que sofrerá a pressão atmosférica, pois está na superfície livre do líquido, e um ponto B numa profundidade h (tendo como referência a superfície livre), o qual sofrerá uma pressão dada pela seguinte expressão:

$$P_i = P_0 + (\rho \cdot g \cdot h) \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

P_0 = Pressão atmosférica, em N/m²

ρ = Massa Específica, em kg/m³

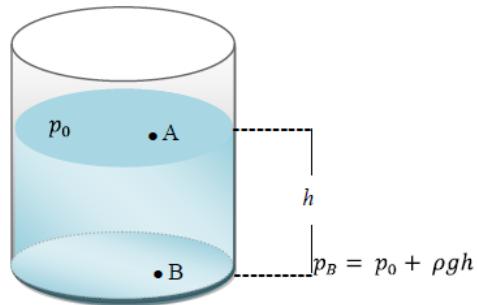
g = Gravidade, em m/s²

h = Profundidade, de um ponto qualquer, a partir da superfície livre do líquido, em m

P = Pressão Absoluta, em um ponto qualquer, há uma profundidade h , a partir de superfície livre, em N/m²

Fazendo $P_i = P_B$ (pressão no ponto B), encontra-se a pressão no ponto B. Isso está representado na figura 43, apresentada a seguir.

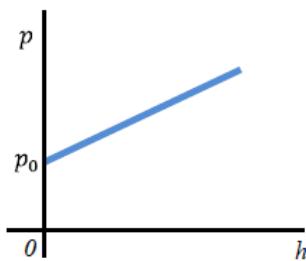
Figura 43 – Pressões num líquido em recipiente aberto



(fonte: FERREIRA, 2010, p. 26)

Dessa forma, segundo Ferreira (2010), por meio da equação 8, demonstra-se a relação de linearidade existente entre a distância de dado ponto em relação à superfície livre e a pressão exercida pelo fluido neste ponto. Esta relação pode ser expressa por meio de uma reta, conforme a apresentada na figura 44.

Figura 44 – Representação gráfica da relação linear entre Pressão Absoluta (P) e Profundida (h), a partir de superfície livre



(fonte: FERREIRA, 2010, p. 26)

3.6 REFLUXO DE DRENAGEM PLUVIAL

Durante um período de chuvas intensas, que apresentarem um tempo de concentração maior do que aquele estipulado para o cálculo da vazão de projeto, em canais abertos, ocorrerá o extravasamento de água pela sua seção, resultando em inundações. No entanto, em canais fechados, as enchentes podem ser intensificadas devido ao refluxo da drenagem pluvial, que ocorre pelo aumento do nível dos rios que gera o afogamento da seção dos canais. Neste caso, os canais fechados acabam operando como condutos forçados, propagando o efeito de remanso de jusante para montante, para manutenção do equilíbrio do sistema (FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]). Assim, pode-se entender o sistema de macrodrenagem tal qual um sistema de vasos comunicantes (COMUNELLO⁸, 2001, apud SAMIZAVA, 2009). Este fenômeno de refluxo de drenagem pluvial ocorre cidades como Teresina, no Piauí, e no bairro Feitoria de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul (TERESINA, 2012).

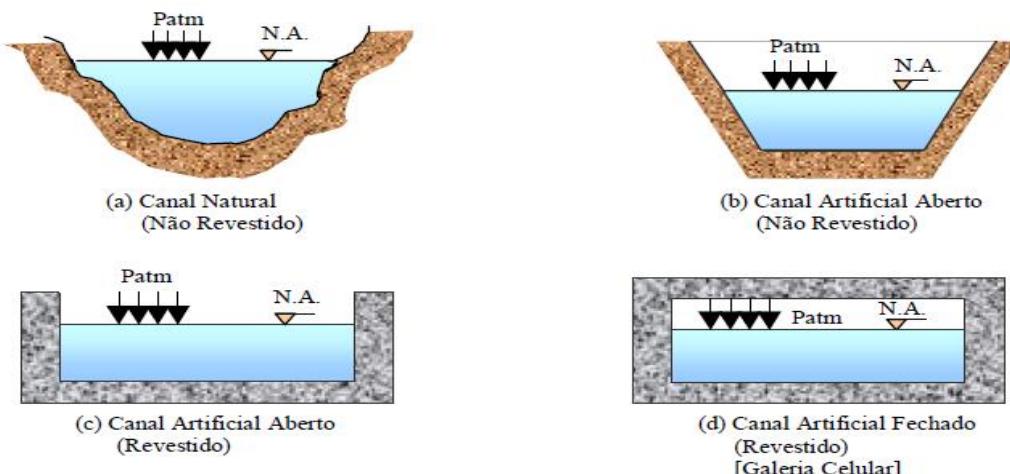
3.6.1 Macrodrenagem urbana: canais abertos e canais fechados

Segundo Fendrich e Malucelli ([2015?]), é para o transporte de água à superfície livre a finalidade dos canais, ou seja, sem que água ocupe totalmente a seção transversal em caso de condutos fechados. Podem ser classificados em revestidos, impermeabilizados ou naturais, em relação a sua conformação. Em ambientes urbanos, é mais frequente a presença de canais impermeabilizados ou revestidos. Já os canais naturais, são usualmente encontrados em

⁸ COMUNELLO, E. Dinâmica de inundações de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná. 2001. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

regiões rurais. A figura 45 exemplifica as diferentes conformações de canais (FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]).

Figura 45 – Diferentes Conformações de Canais de Macrodrenagem Urbana

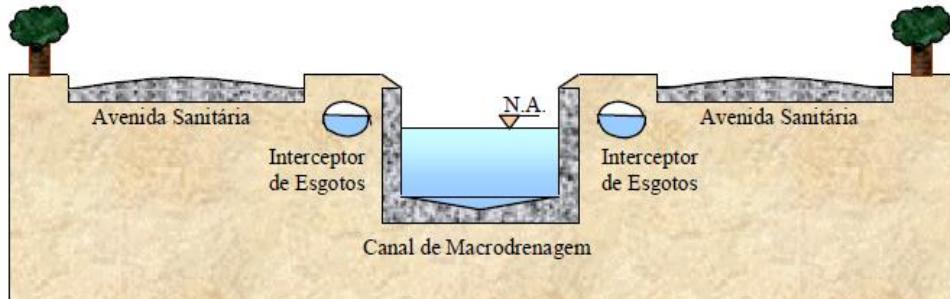


(fonte: FENDRICH, MALUCELLI, [2015?], p. [3])

Podem-se elencar três diferentes conceitos para canais de macrodrenagem urbana, sendo estes abertos, fechados e de leito preservado (CHERNICHARO⁹; COSTA, 1995, apud FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]). Segundo os mesmos autores, os canais de leito preservado são, certamente, os mais apropriados, dado que propiciam menos mudanças nos cursos da água, o que implica em menos necessidade de serem adotadas soluções estruturais, possibilitando a criação de parques ao longo do percurso do canal. No entanto, o seu emprego restringe-se àqueles lugares em fase inicial de ocupação urbana ou em áreas de preservação permanente. A presença de avenidas sanitárias marginais ao longo do curso de canais abertos também é uma concepção que pode ser adotada, conforme mostra a figura 46.

⁹ CHERNICHARO, C. A. de L.; COSTA, A. M. L. M. da. Drenagem Pluvial. In: **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental Para os Municípios**. Vol. 2 – Saneamento, Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 1995. p. 161-179.

Figura 46 – Concepção de Canal de Macrodrrenagem Aberto e Avenidas Sanitárias Marginais



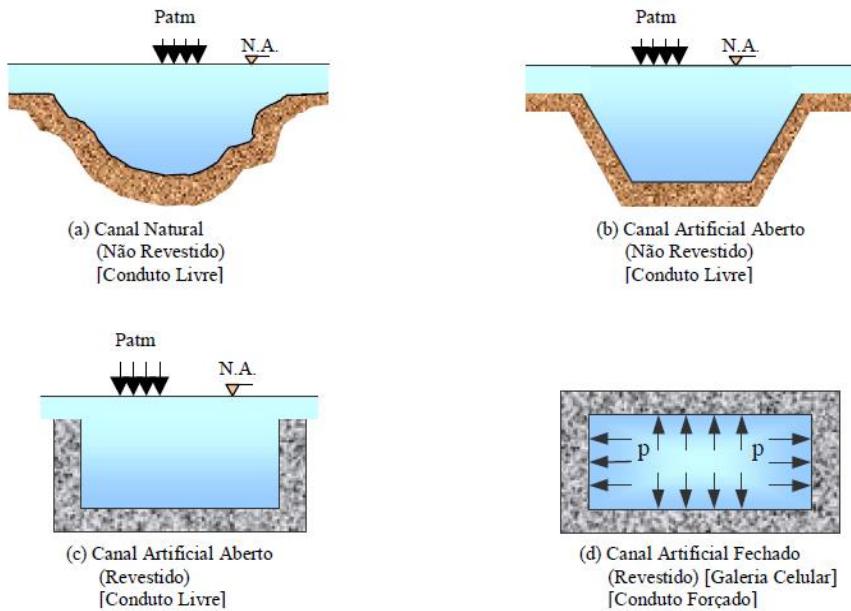
(fonte: FENDRICH, MALUCELLI, [2015?], p. [5])

Todavia, segundo (CHERNICHARO¹⁰; COSTA, 1995, apud FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]), no Brasil, são os canais fechados, de estrutura de concreto, o conceito mais empregado para canais de macrodrrenagem, sendo estes acompanhados por sistemas coletores de esgoto em ambos os lados. Assim, sobre esses canais, são construídas pistas de rolamento, contribuindo para uma maior impermeabilização do solo, modificando profundamente o ambiente natural.

Numa bacia hidrográfica, de acordo com Fendrich e Malucelli ([2015?]), durante um episódio de chuvas intensas (que apresentarem um tempo de concentração superior àquele adotado para o dimensionamento de canais de macrodrrenagem, por meio da vazão de projeto), ocorrerão enchentes, ou seja, o extravasamento de água desses canais. Já, para as situações nas quais houver canais fechados (galerias celulares), estes canais apresentarão comportamento de condutos forçados, e não mais a condição de conduto livre. Esses dois casos estão representados na figura 47.

¹⁰ CHERNICHARO, C. A. de L.; COSTA, A. M. L. M. da. Drenagem Pluvial. In: **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental Para os Municípios**. Vol. 2 – Saneamento, Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 1995. p. 161-179.

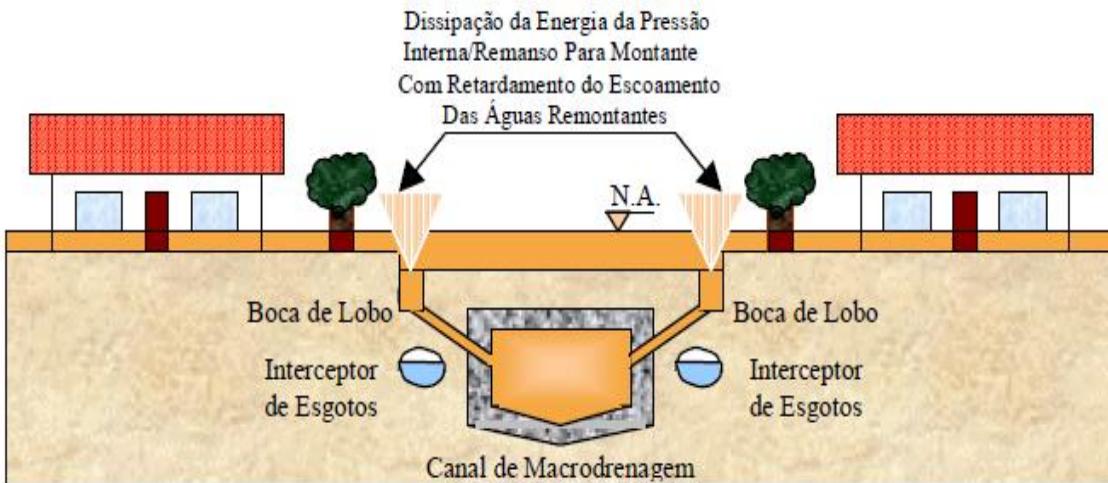
Figura 47 – Canais de Macrodrenagem Urbana em Situações de Enchentes



(fonte: FENDRICH, MALUCELLI, [2015?], p. 6)

Assim, nos canais fechados, “desenvolver-se-ão pressões internas nas paredes do canal, ocasionadas pelo afogamento total da seção transversal” (FENDRICH; MALUCELLI, [2015?], p. [6]). Dessa forma, a enchente é intensificada, com o represamento e propagação, imediata, do remanso para montante, restringindo o escoamento de jusante. Em consequência, todas as saídas de emissários ou exutório de tributários (responsáveis por levar o escoamento pluvial aos canais de macrodrenagem) ficarão afogados. Então, segundo Fendrich e Malucelli ([2015?], p. [6], grifo do autor), conforme representado na figura 48, “Nesta situação, teremos o refluxo pelas galerias de águas pluviais, e, em um primeiro momento, observaremos jatos das águas pluviais como verdadeiros ‘chafarizes’ jorrando pelas bocas de lobo [...] e pelos poços de visita e inspeção da rede de galerias de águas pluviais”. Isso acarretaria em aumento considerável dos níveis de enchente, em comparação aos que seriam obtidos no caso de serem abertos os canais de macrodrenagem.

Figura 48 – Potencialização das Enchentes Urbanas em Canais de Macrodrenagem Fechados (Galerias Circulares)



(fonte: FENDRICH, MALUCELLI, [2015?], p. 6)

De acordo com o cenário apresentado, os mesmos autores concluem seu raciocínio afirmando que se deve, sempre, optar pela construção de canais abertos, submetidos à pressão atmosférica, recorrendo à adoção de canais fechados, somente, em último caso. Essa medida visa evitar a potencialização de alagamentos, devido ao risco de que canais fechados passem a operar como condutos forçados, quando houverem intensas precipitações.

3.6.2 Ocorrência de refluxo em sistemas de drenagem pluvial

O refluxo de drenagem pluvial é responsável por inundações, na época das cheias, em locais que apresentarem canais fechados. No Brasil, este fenômeno ocorre, por exemplo, em Teresina, no Piauí, e no bairro Feitoria de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul.

3.6.2.1 Teresina (Piauí)

Os eventos de refluxo pelas galerias pluviais apresentam-se, por exemplo, na cidade de Teresina, no Piauí. Na época das cheias do rio Poti, “o sistema pluvial fica represado e ocasiona o refluxo de volta para a área urbana, causando inundações em vários pontos da cidade [...]” (TERESINA, 2012, p. 565-566).

Segundo Silva, M. (2014), no ano de 2009, devido às grandes precipitações, o rio Poty alcançou grandes níveis, causando inundações em diversas áreas, como, por exemplo, no bairro Primavera, onde, “[...] na rua Igaraçu houve retorno das águas pelas galerias inundando

as residências e deixando várias famílias desabrigadas." (SILVA, M., 2014, p. 15). Este refluxo de galerias pluviais em Teresina está representado na figura 49.

Figura 49 – Refluxo de galerias pluviais na Rua Raul López, em Teresina



(fonte: TERESINA, 2012, p. 566)

Segundo este mesmo autores, para impedir inundações nas zonas planas, próximas ao Rio Poty, por meio da confecção de medidas mitigadoras para uma melhor administração da intercessão entre a macrodrenagem e as galerias de microdrenagem, é de grande relevância analisar, nos bairros circundantes ao Rio Poty, o efeito causado pelos remanso e fluxos inversos de água na drenagem das galerias pluviais. Para tal, Silva, M. (2014, p. 16-17), propõe algumas medidas, como:

- a) realizar uma modelagem hidrológica das cheias do rio Poty e ajustamento de curvas de distribuição de frequência;
- b) estudar o alcance das cheias hidrológicas no rio Poty até o nível que causam remanso e obstrução ao fluxo de deságue das galerias de águas pluviais afluentes ao rio.

Por análises das curvas de distribuição de frequência do Rio Poty e de modelagem hidrodinâmica por computador, foi constatado por Silva, M. (2014) a necessidade de serem adotadas medidas estruturais para a contenção do refluxo de águas pluviais, pois, para um período de retorno pequeno (de apenas dois anos), já se tinha início o processo de remanso, afogando boa parte da seção transversal da boca de jusante final da galeria da rua Iguaçu, no bairro Primavera (na ordem de 46 cm), prejudicando o deságue no Rio Poty.

3.6.2.2 São Leopoldo (Rio Grande do Sul)

Este fenômeno de refluxo da drenagem pluvial, apresenta-se também em São Leopoldo, por exemplo, no Bairro Feitoria. São Leopoldo é uma cidade que, segundo Brubacher e Guasselli (2013), está inserida na zona do Baixo Sinos (a qual apresenta baixas altitudes, estando à montante as áreas de contribuições das sub-bacias). É uma cidade basicamente urbana, o que aumenta os riscos de enchentes à população. De acordo com estes mesmos autores, segundo a régua localizada no Rio dos Sinos, bem ao centro da cidade, uma altura de 2,5 m, aproximadamente, corresponde ao nível normal do Rio dos Sinos. No entanto, de acordo com Brubacher e Guasselli (2013, p. 4545) “Quando a medida da régua atinge ou supera o limiar de 5 metros, já é suficiente para que áreas de planície e alguns bairros sejam alagados. A elevação de mais alguns centímetros já [é] suficiente para que alguns bairros próximos ao rio sofram os impactos de uma inundação”.

3.6.3 Relação entre o “Princípio de Vasos Comunicantes” e o refluxo de drenagem pluvial

Segundo (COMUNELLO¹¹, 2001, apud SAMIZAVA, 2009, p. 82),

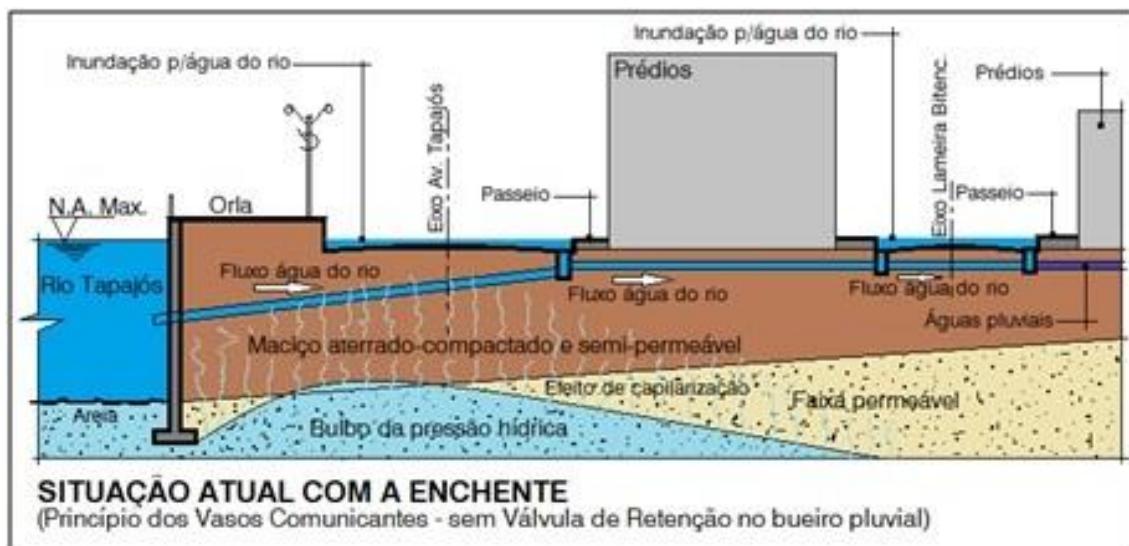
[...] a dinâmica dos processos de inundação pode ser melhor entendida considerando-se que os subsistemas são interligados por canais, que dependendo do nível hidrométrico e do volume de água, pode ter seu fluxo invertido. De acordo com essa concepção, os processos de inundação dos subsistemas ocorrem primeiramente pelos canais de ligação, ativos ou inativos, passando para áreas mais rebaixadas até as mais altas topograficamente. Baseado nesse princípio pode-se dizer que o macrossistema pode ser entendido como um sistema de vasos comunicantes.

Por meio desta concepção, para o estudo de inundações do Rio Paraná, por exemplo, segundo Samizava (2009), adotou-se como referencial nulo, para o estudo das inundações, o nível do Rio Paraná. Assim, num ambiente SIG, de acordo com Samizava (2009, p. 82), “Como o objetivo é analisar os níveis de inundação com base nos níveis hidrométricos da estação fluirométrica de Porto São Jose, a superfície foi referenciada à estação fluirométrica somando-se o valor pontual da cota hidrométrica da estação a todas as células”. Este fenômeno de refluxo da drenagem pluvial, o qual é baseado no “Princípio de Vasos Comunicantes”, apresenta-se também em cidades como Teresina, no Piauí, e em São

¹¹ COMUNELLO, E. **Dinâmica de inundações de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná**. 2001. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

Leopoldo, por exemplo, no bairro Feitoria, conforme citado anteriormente. Este fenômeno pode ser ilustrado e é ilustrado pela figura 50 que demonstra o refluxo pluvial que ocorre na cidade de Santarém, no Pará, nos períodos de cheias do Rio Tapajós, causando alagamentos na cidade (TERESINA, 2012; SILVA, M., 2014).

Figura 50 – Refluxo de drenagem, baseado no Princípio de Vasos Comunicantes, em Santarém, no Pará, nas cheias do Rio Tapajós



(fonte: TERESINA, 2012, p. 566)

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta para a análise da drenagem pluvial do bairro feitoria, em São Leopoldo, utiliza técnicas de geoprocessamento, com o auxílio do *software* SAGA-GIS, para delimitar a Bacia do Sinos, a partir de dados SRTM. Delimitada a bacia, com o mesmo *software*, extraíram-se suas características morfométricas e delimitou-se a planície de inundação do Rio dos Sinos. De posse destes resultados, foi analisado o fenômeno de refluxo pluvial que causa alagamentos no bairro Feitoria, de São Leopoldo, o qual se baseia no princípio de vasos comunicantes. Como solução a estes alagamentos é proposto o dimensionamento de uma válvula *flap* para o canal em que ocorre o refluxo.

O trabalho foi realizado por meio das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 51 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) estudo sobre *software* SAGA-GIS (funcionalidades e operacionalização);
- c) análise a respeito do Modelo Digital do Terreno (MDT) da região da Bacia do Sinos;
- d) geração de mapas temáticos da Bacia do Sinos, por meio de técnicas de geoprocessamento, cada qual contendo diferentes características da região de estudo;
- e) delimitação da Bacia do Sinos;
- f) delimitação da sub-bacia de influência do conduto pluvial
- g) análise da drenagem pluvial;
- h) sugestão de possíveis soluções ao problema de drenagem pluvial identificado;
- i) considerações finais.

Inicialmente, realizou-se pesquisa bibliográfica para um aprofundamento de conceitos a respeito da situação apresentada, visando a fundamentação teórica que sirva de base para a avaliação e compreensão dos resultados obtidos, permitindo responder ao questionamento proposto. Nesta pesquisa, foi dada ênfase aos tópicos de planejamento urbano, geoprocessamento e drenagem pluvial.

A seguir, foi feito um estudo sobre o *software* SAGA-GIS, relativo às suas funcionalidades e operacionalização, o qual foi escolhido para a realização das operações de geoprocessamento executadas no modelo numérico do terreno da área de estudo. Então, por meio da plataforma *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS), adquiriu-se dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Foram necessárias duas cenas para compor o modelo digital de terreno (MDT) da Bacia do Sinos.

Após, foram identificados possíveis problemas no MDT adquirido (informações faltantes e depressões), as quais foram corrigidas com emprego de técnicas de pré-processamento. Com o MDT corrigido, foram gerados mapas temáticos da Bacia do Sinos, por meio de técnicas de geoprocessamento, cada qual contendo diferentes características da região de estudo:

- a) mapa de fluxo acumulado;
- b) mapa dos principais canais da rede de drenagem.

Assim, com o auxílio destes mapas, foi realizada a delimitação da Bacia do Sinos a partir do ponto definido como sendo seu exutório. Delimitada a Bacia do Sinos, analisaram-se as suas vertentes, por meio da extração de características morfométricas da bacia, por geoprocessamento. Essas características foram as seguintes:

- a) declividade;
- b) aspecto;
- c) curvatura vertical;
- d) curvatura horizontal.

Por meio das curvaturas vertical e horizontal, pode-se determinar as formas de terreno da Bacia do Sinos. Assim, de posse dessas características morfométricas e do mapa de solos da Bacia do Sinos, confeccionado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), fez-se a análise da suscetibilidade à alagamentos e inundações no bairro Feitoria de São Leopoldo, em função da capacidade drenante do solo e da propensão ao escoamento superficial, as quais influenciam nas cheias do Rio dos Sinos.

Após delimitar a Bacia do Sinos e extrair suas características morfométricas, delimitou-se a planície de inundação do Rio dos Sinos, com o uso do SAGA-GIS, contextualizando geograficamente o bairro feitoria de São Leopoldo em relação à planície de inundação do rio

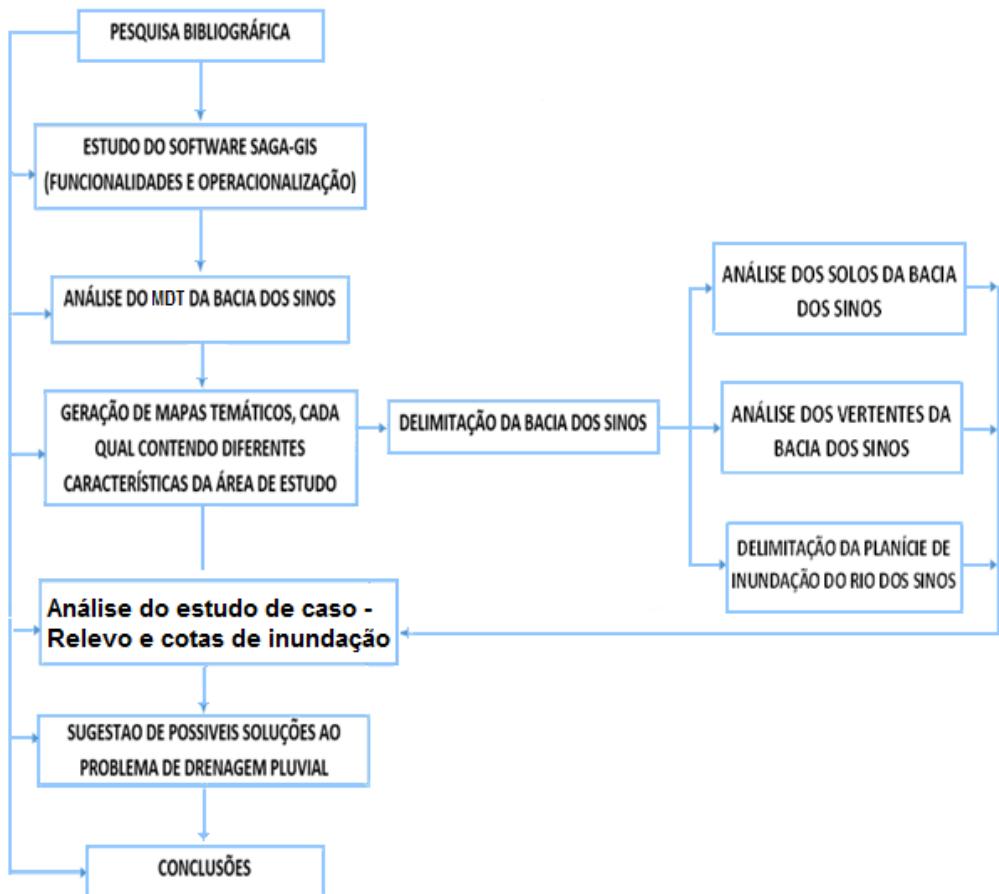
dos Sinos. Assim foi averiguada a influência desta localização quanto aos processos de inundações e alagamentos na região.

Em sequência, visando uma análise mais adequada a escala condizente com um bairro de uma cidade, gerou-se um MDT a partir de curvas de nível de 0,5 em 0,5m proporcionadas pela prefeitura de São Leopoldo. Então, em virtude de as curvas de nível adquiridas serem relativas apenas a margem sul do Sinos (a qual faz divisa com o Bairro Feitoria), realizou-se estimativa das áreas inundáveis de do bairro Feitoria por distribuição de máximos de Gumbel aplicada a série histórica de cheias adquiridas pela plataforma Hydroweb da ANA (agência Nacional de Águas), sendo comparada com a planície de inundaçāo gerada por dados SRTM. A seguir, utilizando o MDT gerado e as curvas de nível adquiridas, analisou-se as formas do terreno do estudo de caso, apontando sua influência nos alagamentos da região, realizando comparação com as formas de terreno obtidas por dados SRTM.

Para a análise dos alagamentos em função do refluxo, foi tomado por base o “Princípio de Vasos Comunicantes”, em que a água tende a ir da zona de maior pressão para a de menor pressão para a manutenção do equilíbrio, quando em um recipiente com extremidades abertas. Este princípio é o que rege o refluxo da drenagem pluvial que ocorre no bairro feitoria, de São Leopoldo.

De posse dos resultados obtidos, por meio da análise das características topográficas do bairro Feitoria de São Leopoldo, foi dimensionada uma válvula *flap* como solução ao problema de alagamentos identificado, em virtude do refluxo de drenagem pluvial em canal fechado, o qual conecta à rede ao rio dos Sinos. Por fim, o trabalho foi concluído por meio de resumo dos resultados obtidos e da solução apontada frente ao problema analisado, indicando os pontos positivos e negativos bem como sugerindo trabalhos futuros que complementem a análise da drenagem do estudo de caso, de acordo com o cenário no qual ele está inserido.

Figura 51 – Diagrama do delineamento do trabalho



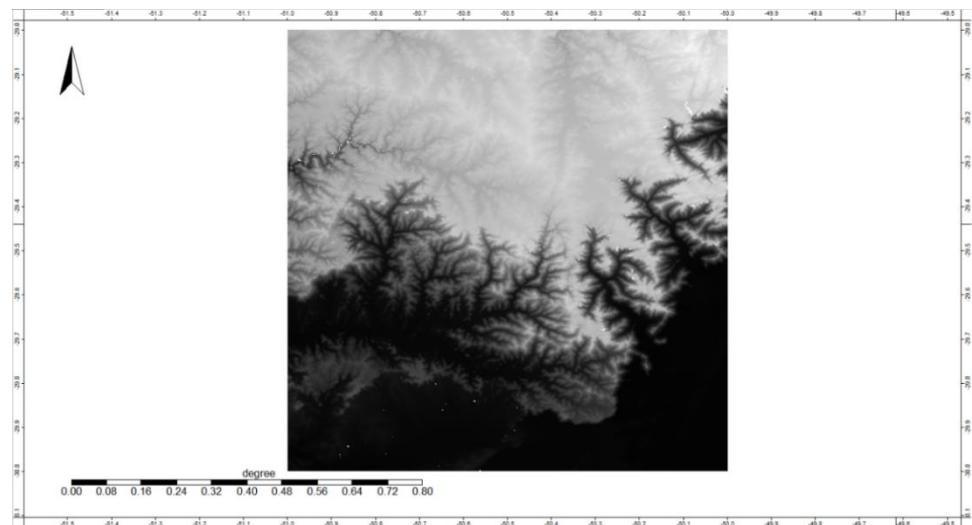
(fonte: elaborado pelo autor)

4.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO SINOS COM O USO DE DADOS SRTM

Para dar início a análise do problema de drenagem pluvial no bairro Feitoria, em São Leopoldo, que causa alagamentos nas épocas das cheias do Rio dos Sinos, é necessário delimitar a Bacia do Sinos. Para isso, foi feito o *download*, a partir da plataforma Earth Explorer da USGS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015), de duas grades regulares do tipo SRTM, no formato *Geotiff* e com resolução de 1 arco segundo (30m x 30m), as quais englobam a Bacia do Sinos e datam do ano 2000 e formam um modelo digital de terreno com as cotas altimétricas da região, conforme as figuras 52 e 53. De posse dessas imagens, elas foram unidas na forma de um mosaico e, posteriormente, georreferenciadas com o uso do *software* SAGA-GIS. Então, o mosaico formado passou por etapas de pré-processamento por meio do SAGA-GIS, para que esse mesmo *software* pudesse operacionalizá-lo corretamente para determinação dos mapas de sua área de fluxo acumulado, bem como de sua rede de canais e das direções de fluxo dos mesmos. Assim, de posse destes

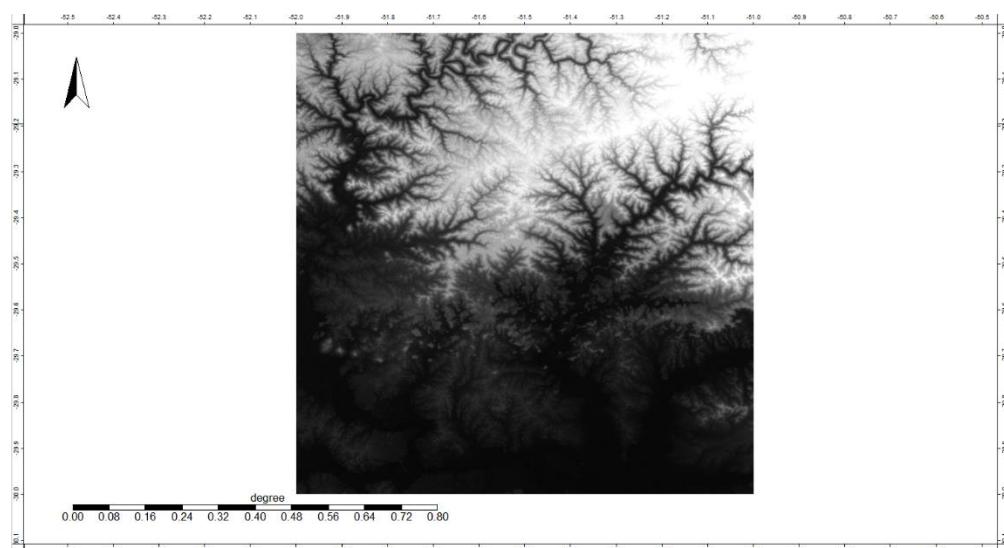
mapas, foi possível delimitar a Bacia do Sinos a partir de um dado ponto definido como sendo seu exutório.

Figura 52 – Grade regular de altimetria, SRTM1S30W051V3, a qual engloba a maior parte da Bacia do Sinos



(fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015)

Figura 53 – Grade regular de altimetria, SRTM1S30W052V3, a qual engloba uma menor porção da Bacia do Sinos, nas proximidades de seu exutório



(fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015)

4.1.1 Formação de mosaico (“mosaicagem”)

De posse das grades regulares de altimetria SRTM que englobam a Bacia do Sinos, realizou-se a composição dessas grades, formando uma única grade (mosaico). Para isso, utilizou-se a função *Mosaicking* do SAGA-GIS, selecionando o método de interpolação do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor*), onde um padrão de classe desconhecida é classificado como sendo da mesma classe que o seu vizinho mais próximo (BEZERRA, 2006), devido à sua vantagem de rapidez de processamento (TORRES, 2007). No entanto, segundo Torres (2007) este método tem por característica gerar imagens não tão suavizadas em comparação à MDT gerados com interpoladores de média ponderada, por exemplo.

4.1.2 Reprojeção Cartográfica

Após formar o mosaico com as duas grades SRTM que englobam a Bacia do Sinos, este mosaico que estava em coordenadas geográficas WGS 84 foi reprojetoado para coordenadas métricas, em vista de melhores resultados com o *software* SAGA-GIS, pois, de acordo com Mendes e Cirilo (2001, p. 143), as aplicações em engenharia abrangem “[...] mediadas de perímetro, área e volume, que envolvem cálculos de distâncias euclidianas ou trigonometria plana”. Dessa forma, dá-se preferência, em engenharia, pela utilização de coordenadas métricas ao invés de angulares, à medida que, por exemplo, “[...] a longitude não corresponde a uma mesma distância linear em todos os pontos da superfície terrestre.” (MENDES; CIRILO, 2001, p. 143). Além disso, com a adoção de um sistema de coordenadas métrico os resultados obtidos ser dão em unidades conhecidas. Assim, foi realizada a transformação de coordenadas utilizou-se o comando *Coordinate Transformation (Grid List)* e selecionou-se SIRGAS 2000 / UTM Zone 22S. O Datum SIRGAS 2000 é o referencial geodésico adotado oficialmente no Brasil, a partir de fevereiro de 2015 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2015?]). UTM (Universal Transversa de Mercator) é um sistema de coordenadas cartesianas, no qual a origem está no cruzamento do eixo das abscissas (que corresponde a linha do Equador) com o eixo das ordenadas (o qual representa o meridiano central) e neste sistema é acrescido 10000 metros às abscissas do hemisfério sul e 5000 as do hemisfério norte, impedindo a presença de valores negativos (MENDES; CIRILO, 2001). Este sistema, segundo Perna ([2015?]) é dividido em 60 fusos cada envolvendo 6° de longitude (também chamados de Zone UTM). A numeração destes se dá da esquerda para a direita, partindo da longitude de 180° oeste. O Rio Grande do Sul encontra-se no fuso 22S.

4.1.3 Pré-processamento

Após reprojetar o mosaico, foram realizadas etapas de pré-processamento para proporcionar uma correta operacionalização com uso do *software* SAGA-GIS possibilitando a determinação da área de fluxo acumulado bem como as direções de fluxo da rede de canais. Essa etapa é de grande importância, pois, segundo Valeriano (2004), nos dados SRTM estão presentes uma série de falhas (valores espúrios negativos), podendo ser influenciadas pela presença de edificações, vegetação, antenas, ocasionando problemas na altimetria. Além disso, o satélite responsável pela missão espacial SRTM operou na banda C do espectro eletromagnético, a qual pode ora captar radiação do solo e ora do dossel das árvores (FARR et al., 2007; LE TOAN et al., 1992) podendo gerar falhas na imagem SRTM como depressões. Essas depressões, segundo Mendes e Cirilo (2001), “[...] são consideradas impedimentos ao escoamento, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de poluentes de origem difusa”. Assim, essas falhas e depressões devem ser removidas ou preenchidas com técnicas de pré-processamento.

4.1.3.1 Preenchimento de falhas ou de informações faltantes

Para o preenchimento de falhas ou informações faltantes dos dados SRTM adquiridas pela plataforma Earth Explorer da USGS, utilizou-se a função *Close Gaps* do SAGA-GIS com um valor de 0,1 no campo *Tension Threshold*. Esta função do programa SAGA-GIS é recomendada para o preenchimento de falhas ou informações faltantes em áreas que envolvam mais de uma célula do grid em questão (OLAYA, 2008). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, adotando-se este comando, podem-se obter resultados bem satisfatórios quando as áreas a serem preenchidas estão circundadas por células com informações válidas, e é justamente essa a situação do mosaico formado partir das grades regulares SRTM utilizadas neste trabalho.

4.1.3.2 Preenchimento de depressões

Para o preenchimento das depressões do mosaico (MNT altimétrico) no SAGA-GIS, primeiramente, foi feita a detecção dos pontos onde estão localizadas essas depressões, por meio do comando *Sink Drainage Route Detection*. Esse comando, de acordo com Olaya (2004), não apenas indica as células em que existem depressões como, também, determina quais direção de fluxo, numa escala de valores de 1 a 8 (em que 1 corresponde à nordeste, 2 à

leste, 3 à sudeste, 4 à sul, 5 à sudoeste, 6 à oeste, 7 à noroeste e 8 à norte) as quais devem ser seguidas pelo escoamento quando o mesmo se encontra sobre essas células, conforme metodologia de escoamento proposta por O'Callaghan e Mark (1984), chamada de D8.

De posse deste mapa de detecção das depressões, no mesmo *software*, utilizou-se o comando *Sink Removal* para a remoção dessas depressões (com *Sink Drainage Route Detection* e o mosaico com a altimetria do terreno como dados de entrada), selecionando-se o método *Deepen Drainage Route*, sem utilizar um Threshold inicial, o qual, segundo Olaya (2004) escava as bordas da célula em que há uma depressão ao invés de preenchê-la. Este método é vantajoso frente ao preenchimento de depressões, pois mantém o fluxo dos cursos d'água de maneira contínua, evitando a formação de áreas planas (POURALI et al., 2014). Após executar o comando para a remoção das depressões do MNT de altimetria, aplicou-se novamente o comando *Sink Drainage Route Detection* para averiguar se as depressões, realmente, haviam sido removidas.

4.1.4 Área de fluxo acumulado

Com o mosaico do MNT da altimetria da região de estudo, já pré-processado, pode-se fazer a determinação da área de fluxo acumulado. Para tal, utilizou-se a função *Catchment Area* (Top-Down) do *software* SAGA-GIS, o qual, segundo SAGA-GIS ([2015?]), utiliza “[...] um conjunto de algoritmos que processa o MDT de maneira descendente, desde a célula com a mais alta cota até a célula de mais baixa cota”. Nesta função, adotou-se o método *Determinist Infinite* (*D Infinite*), na qual, segundo Tarboton (1997), é baseado no método D8 (das oito direções principais de escoamento defasadas de 45°), de O'Callaghan e Mark (1984), definindo a direção principal de escoamento como sendo aquela mais íngreme entre as oito possíveis direções de fluxo. No entanto, este método adota facetas triangulares nos *pixels*, de forma que o fluxo é proporcionalmente dividido entre duas direções secundárias de escoamento, de acordo com a proximidade dessas direções secundárias à respectiva direção principal de escoamento (definida, a partir do método D8), gerando uma rede de drenagem mais próxima da realidade do que com o método de D8, de forma a evitar a formação de fluxos paralelos (TARBOTON, 1997). Dessa forma, segundo Tarboton (1997, p. 319), este método “superia os problemas de loops e incertezas que afligem os métodos de ajuste plano como o *DEMON*”, no qual está previsto uma superfície plana para cada *pixel*, considerando um fluxo bidimensional, uniformemente distribuído pela área desta superfície, conforme a área de fluxo acumulado de

montante. Entretanto, a medida que um plano é definido por três pontos, haverá descontinuidades nestes planos em relação aos vértices e fronteiras de cada *pixel*. Assim, de acordo com as particularidades apresentadas pelo MDT do terreno, podem ocorrer inconsistências e incertezas nas direções de fluxo assumidas por este método. Para evitar estes problemas, devem ser detectados, antecipadamente, essas singularidades do terreno, de forma a implementar o algoritmo deste método. Deste modo, a complexa programação e calibração, dificulta, consideravelmente, o emprego do método *DEMON* em relação ao *Deterministic Infinite* (TARBOTON, 1997).

4.1.5 Rede de canais e fluxo de canais

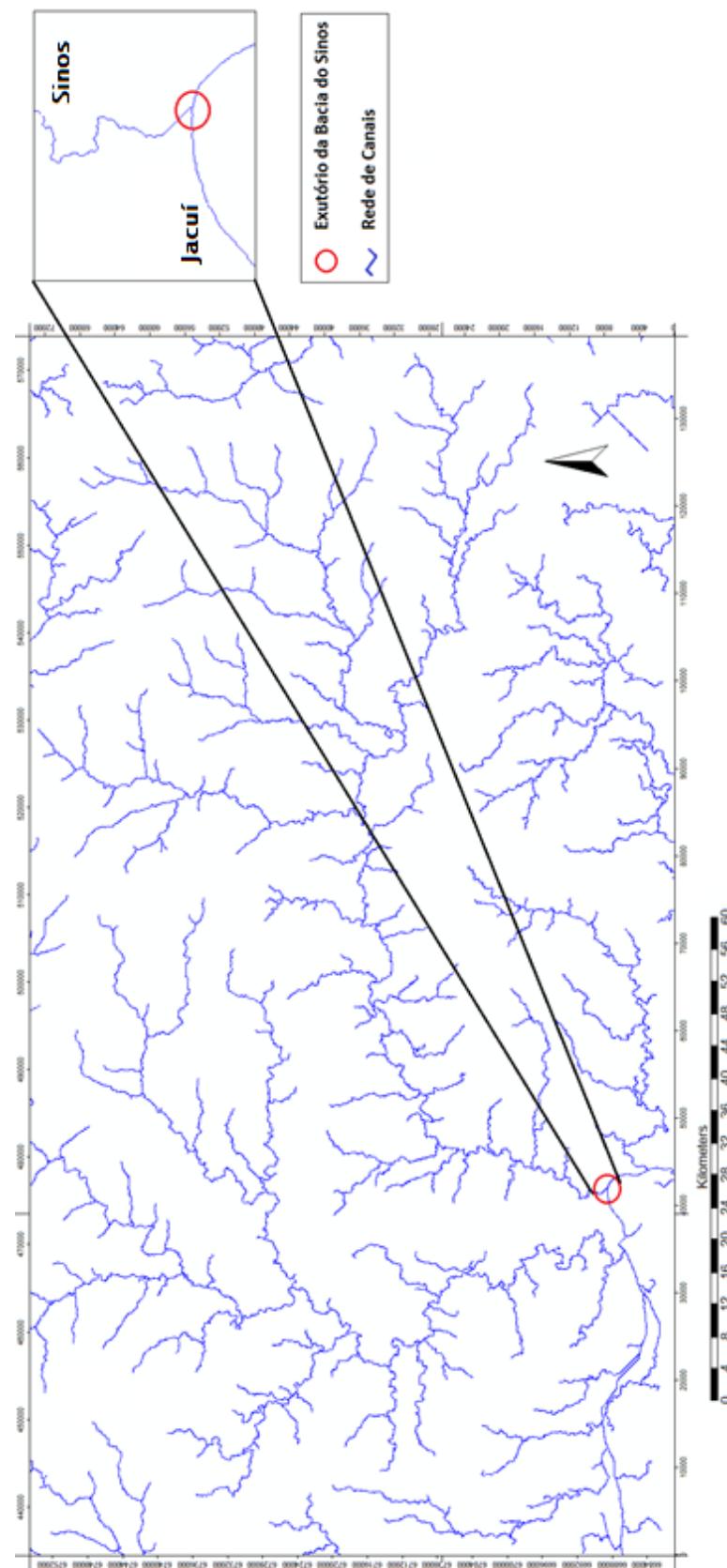
De posse da área de fluxo acumulado do mosaico, foram gerados dois mapas com a rede de canais (um em formato matricial e outro em formato vetorial) e um mapa em formato matricial para direções de fluxo desta rede de canais. Para isso, utilizou-se a função *Channel Network* do software SAGA-GIS, inserindo o mosaico como grid de entrada e o *Catchment Area* como grid inicial (no qual estão contidos os caminhos de fluxo, onde serão criados os canais) de entrada e definindo uma margem inicial (*Initial Threshold*) de 10000000, com a opção *Greater Than* (maior que) marcada, conforme recomendação de Olaya (2004). Assim, todas as células do *Catchment Area* que tiverem uma área de fluxo acumulado maior do que o valor definido para o *Initial Threshold*, serão consideradas células pertencentes à rede de canais (OLAYA, 2004). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, também se definiu um comprimento mínimo para os canais (em quantidade de células), optando pelo valor padrão do software, que é de 10 células.

4.1.6 Delimitação de bacia hidrográfica

Para determinação da Bacia do Sinos a partir de um dado ponto (definido como sendo seu exutório), primeiramente gerou-se um mapa contendo apenas valores nulos. Para isso, utilizou-se a função *Grid Calculator*, tendo como dado de entrada o *raster* do mosaico. Então, realizou-se a operação de subtrair o grid do mosaico dele próprio, resultando num mapa contendo apenas valores nulos. De posse deste mapa de valores nulos, fez-se a sobreposição do mapa de fluxo acumulado sobre este mapa de zeros. A seguir, baseando-se pela rede de drenagem obtida, foi dado um *zoom* na parte mais baixa do Rio dos Sinos, identificando-se o

pixel correspondente ao exutório da Bacia do Sinos (No encontro do Rio dos Sinos com o Jacuí), conforme a figura 54. Assim, fechou-se o mapa de fluxo acumulado, permanecendo aberto o mapa de valores nulos com um *zoom* no *pixel* correspondente ao exutório da Bacia do Sinos. Então, acionando o botão de seleção do SAGA-GIS (*Arrow*), clicou-se sobre este *pixel*, e na própria caixa de propriedades, alterou-se o valor do mesmo para -1, permanecendo nulos os valores restantes deste mapa, pois, segundo Durham University (2011), -1 é o valor reconhecido pelo SAGA-GIS para calcular a área de fluxo acumulado para este ponto. Sendo assim, de posse deste mapa que apresenta apenas uma célula de valor não nulo (-1), exatamente sobre a posição correspondente ao exutório da Bacia do Sinos, adotou-se este mapa como sendo a rede de canais ao utilizarmos o comando *Watershed Basins* do SAGA-GIS, o qual delimita bacias hidrográficas, juntamente com o mosaico pré-processado como dado de entrada. Além deste mapa marcado com o exutório da bacia, também foi utilizado o mosaico de altimetria, já pré-processado, como dado de entrada. Após a obtenção do mapa com a delimitação da Bacia do Sinos, este mapa foi convertido para *shapefile* com o comando *Vectorising Grid Classes*. Em seguida, o *shapefile* obtido foi utilizado como molde para recortar o mosaico de altimetria (com as falhas preenchidas) com o contorno da Bacia do Sinos, para agilizar os processamentos posteriores, restringindo os mapas à área de interesse.

Figura 54 – Rede de drenagem, com destaque para o exutório da Bacia do Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

4.2 VERTENTES

Para a análise das vertentes da Bacia do Sinos e do bairro Feitoria de São Leopoldo foram extraídas diversas variáveis morfométricas do terreno por meio do *software* SAGA GIS. As variáveis morfométricas de enfoque foram a declividade, o aspecto, a curvatura vertical e a curvatura horizontal.

4.2.1 Declividade

Para a geração do mapa de declividades, tendo como dado de entrada o MNT formado pelo mosaico da altimetria (com as informações faltantes preenchidas), adotou-se a função Slope, Aspect, Curvature do SAGA-GIS, selecionando-se a opção de Haralick de 1983. Neste algoritmo, considera-se o efeito de vizinhança dos *pixels* circundantes a um dado *pixel* para estimar uma superfície contínua na qual as suas derivadas podem ser calculadas analiticamente. (HARALICK, c1983). Segundo este mesmo autor, na mesma obra, em vista de uma melhor acurácia de resultados, esse cálculo das derivadas é feito por meio de um polinômio cúbico (polinômio do terceiro grau). Então, por meio deste algoritmo pode-se fazer a identificação de *pixels* que correspondem a topos ou vales da altimetria do terreno. Para isso, é preciso definir, no centro do *pixel*, um sistema de coordenadas e fazer a escolha de um tamanho adequado de vizinhança que possibilite ajustar os melhores coeficientes ao polinômio do algoritmo (HARALICK, c1983).

Assim, com o polinômio mais bem ajustado podem ser calculadas suas derivadas. Segundo Haralick (c1983), quando a derivada primeira, de uma dada direção α , apresentar o valor zero, nas proximidades do centro de dado *pixel*, pode-se inferir que este *pixel* representa ou um topo ou um vale. Por sua vez, a derivada segunda definirá se este *pixel* é de topo ou de vale, conforme o seu sinal: se positiva, o *pixel* será de vale (ponto de mínimo em relação as células vizinhas); se negativa, o *pixel* será de topo (ponto de máximo em relação as células vizinhas) (HARALICK, c983). Além disso, o mesmo autor, na mesma obra, destaca que, se por dada direção um *pixel* é considerado um ponto de topo e por outra direção este mesmo *pixel* é considerado um ponto de vale, este *pixel* deve ser considerado um ponto de cela.

4.2.2 Aspecto ou orientação de vertentes

Para a obtenção do aspecto, por meio do *software* SAGA-GIS, utilizou-se a função Aspect, Slope, Curvature, tendo como dado de entrada o mosaico da altimetria (com as informações faltantes preenchidas), sendo selecionada a opção de Haralick de 1983, que utiliza o mesmo algoritmo no qual foi baseado o cálculo da declividade.

4.2.3 Curvatura vertical

Para a geração das curvaturas verticais da Bacia do Sinos, utilizou-se o comando *Slope*, *Aspect*, *Curvature*, do *software* SAGA-GIS, e selecionou-se *Profile Curvature* (curva vertical) como dado de saída, com a opção de Haralick (c1983) selecionada, sendo este o mesmo algoritmo utilizado para o cálculo da declividade. Dessa forma, foi obtido o mapa de curvatura vertical da Bacia do Sinos.

Então, para a classificação das formas verticais de terreno obtidas, foi feita uma reclassificação dos valores obtidos para este mapa, por meio do comando *Reclassify Grid Values*, no qual foi selecionado o método de tabela. Por meio desta tabela foram definidos intervalos de valores representativos de cada forma vertical de terreno. Assim, de acordo com Valeriano (c2008b), adotou-se um intervalo de valores, próximos de zero (de acordo com a escala de valores obtidos para a curva vertical), para identificar os perfis retilíneos (valores entre -0,01 e 0,01), sendo adotado o valor 16 para os valores pertencentes a essa classe. Para os perfis côncavos (que apresentavam valores menores do -0,04), adotou-se o valor 8. Para os perfis convexos (que apresentavam valores superiores à 0,01), adotou-se o valor 32. Desta forma, realizou-se a classificação das curvaturas verticais obtidas para a Bacia do Sinos.

4.2.4 Curvatura horizontal

Para a geração das curvaturas horizontais da Bacia do Sinos, utilizou-se o comando *Slope*, *Aspect*, *Curvature*, do *software* SAGA-GIS, e selecionou-se *Plan Curvature* (curvatura vertical) como dado de saída, com a opção de Haralick (c1983) selecionada, na qual o algoritmo adotado é o mesmo no qual foi baseado o cálculo da declividade. Dessa forma, foi obtido o mapa de curvatura horizontal da Bacia do Sinos.

Então, para a classificação das formas horizontais de terreno obtidas, foi feita uma reclassificação dos valores obtidos para este mapa, por meio do comando *Reclassify Grid Values*, no qual foi selecionado o método de tabela (ao mesmo molde do que foi feito para a curva vertical). Por meio desta tabela foram definidos intervalos de valores representativos de cada forma horizontal de terreno. Assim, de acordo com Valeriano (c2008b), adotou-se um intervalo de valores, próximos de zero (de acordo com a escala de valores obtidos para a curva horizontal), para identificar as formações de caráter planar (valores entre -0,04 e 0,04), sendo adotado o valor 2 para os valores pertencentes a essa classe. Para as formações de caráter divergente (que apresentavam valores menores do -0,04), adotou-se o valor 1. Para as formações de caráter convergente (que apresentavam valores superiores à 0,04), adotou-se o valor 4. Desta forma, realizou-se a classificação das curvaturas horizontais obtidas para a Bacia do Sinos.

4.2.5 Formas de terreno identificadas na Bacia do Sinos

De posse das classificações das curvaturas horizontal e vertical de terreno para a Bacia do Sinos, efetuou-se a combinação dessas classificações para a identificação das formas de relevo encontradas ao longo da Bacia do Sinos. Para isso, utilizou-se a função *Grid Calculator*, com a qual foi realizada a soma algébrica desses dois grids (já com os seus valores reclassificados) correspondentes às classificações da curva horizontal e vertical. Assim foi obtido o mapa com as formas de terreno identificadas na Bacia do Sinos.

4.3 PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Segundo Rocha (2011, p. 99), “A planície de inundação é uma feição deposicional ao longo do vale, com dois flancos adjacentes ao canal associada a um regime climático e hidrológico particular da bacia de drenagem”. Na planície de inundação, ocorre um depósito, temporário, de sedimentos os quais vão sendo erodidos. Além disso, num estado de equilíbrio, a quantidade de sedimentos que chega à planície, num dado período, deve ser igual à taxa de saída dos mesmos da planície (ROCHA, 2011). Esse processo possibilita que ocorra uma série de alterações nos canais dos rios, que são modificados gradativamente, tais como, a destruição e formação de ilhas, a migração e isolamento de canais, etc. (ROCHA, 2011).

Fatores como mudanças de clima e hidrologia e o movimento de placas tectônicas, etc., de acordo com Rocha (2011), influenciam, de maneira natural, essa dinâmica dos canais. No entanto, ações devidas ao homem (fatores antrópicos), como por exemplo, a construção de barragens, a pecuária e agricultura, entre outras, podem causar interferência nestas atividades naturais do meio ambiente, afetando o equilíbrio do sistema. Dessa forma, são acelerados os processos de deposição de sedimentos e erosão da planície de inundação, bem como as suas características geomorfológicas modificam-se de maneira mais rápida do que sua evolução natural, afetando, consideravelmente, a planície de inundação (LEOPOLD et al., 1995).

Então, de acordo com a intensidade e frequência dos eventos de chuva e a dinâmica de depósito de sedimentos e erosões em seu leito, o rio acaba transbordando e ocupando sua planície de inundação, “[...] onde processos morfogenéticos específicos passam a ocorrer sobre a mesma, conforme o padrão de canal associado ao rio principal.” (ROCHA, 2011, p. 99). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, as variações do nível de água de um rio acabam provocando inúmeras alterações nos habitats de sua planície de inundação. Assim, as zonas de transição aquático-terrestre, de acordo com a dinâmica dos processos hidrológicos, ecológicos e geomórficos, vão alternando suas características entre ambientes aquáticos em regime lêntico ou lótico (durante os períodos de cheias dos rios, com o seu extravasamento) e ambientes terrestres (durante os períodos de seca), dando origem a habitats bem diversificados nas planícies de inundações dos rios. Desta maneira, nota-se a relevância da hidrologia e da geomorfologia em relação aos ecossistemas pertinentes às planícies de inundações dos rios (ROCHA, 2011).

4.3.1 Índice de umidade do terreno

Uma das variáveis mais importantes para a caracterização das paisagens é a umidade do solo, a qual exerce grande influência nos campos da hidrologia e da biogeoquímica (BUCHANAN et al., 2014). Assim, essa variável é peça fundamental para o manejo da agricultura e controle do solo, pois está relacionada às propriedades do solo, à quantidade de água que penetra no solo ou escoa pela superfície, à diversidade da fauna e flora e ao ciclo de nutrientes.

Ao longo dos anos, diversos modelos têm sido desenvolvidos para se estimar o índice de umidade dos solos. Segundo Buchanan et al. (2014, p. [3279], tradução nossa),

Talvez as duas abordagens mais comuns sejam (i) as de modelos distribuídos de bacias hidrográficas, geralmente complexos, que numericamente simulam os processos físicos que governam a dinâmica da água no solo ou (ii) uma forma mais simples, por meio de índices característicos do terreno, sendo estes baseados na topografia e, às vezes, em propriedades do solo.

Em virtude de uma parametrização e formulação mais simplificadas, a estimativa dos índices do terreno torna-se uma alternativa mais simples de ser adotada frente a grande quantidade e complexidade dos dados de entrada e a correta calibração do sistema para serem operados os modelos distribuídos das bacias hidrográficas, com simulações numéricas (BUCHANAN et al., 2014). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, a adoção destes índices traz resultados satisfatórios quando se está trabalhando com uma grande escala espacial. Além disso, ainda segundo o mesmo autor, na mesma obra, ao longo dos anos, os modelos de representação topográfico dos terrenos têm sido aprimorados, o que implica em melhores resultados na utilização de índices do terreno. Dentre estes índices, o Índice de Umidade Topográfico (TWI) é o mais comumente empregado. Segundo Beven e Kirkby (1979), o TWI é calculado pela equação 9:

$$TWI = \ln (\alpha / \tan \beta) \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

α = área de contribuição de montante por unidade de comprimento de contorno

β = declividade local

No entanto, modelos não lineares como o TWI, podem apresentar resultados não condizentes com a realidade, principalmente em grandes vales, onde as características hidrológicas são mais homogêneas (BÖHNER et al., 2002). Além disso, de acordo com Böhner et al. (2002, p. 215, tradução nossa),

Nessas áreas, pequenas diferenças de altitude causam grandes diferenças na área de captação calculada e levam a uma variação, fortemente, artificial dos índices de umidade e de potência de escoamento, deixando esses parâmetros impróprios, por exemplo, para a regionalização das propriedades de solo hidromórfico.

Desta forma, para calcular o mapa de índice de umidade da Bacia do Sinos, por meio do software SAGA-GIS, adotou-se a função *Wetness Index SAGA* (WI_S), dado pela equação 10,

considerando um efeito de succão de valor 5 como opção de entrada. Essa função utiliza um algoritmo baseado na área específica de fluxo acumulado (SCA), que é a área de fluxo acumulada por unidade de comprimento, a qual é modificada por processos iterativos, sendo uma função do ângulo de declividade e dos valores máximos de área específica de fluxo acumulado das células vizinhas (SCA_{max}) (BÖHNER; SELIGE, 2006). Segundo este mesmo autor, nesta mesma obra, essa área específica modificada de fluxo acumulado (SCA_M) será adotada quando seu valor resultar maior do que o da SCA, conforme a equação 11. Assim, são obtidos resultados mais condizentes com a realidade, devido ao efeito da vizinhança, em especial nas regiões de vales com uma pequena distância vertical, pois, nessas regiões, as pequenas diferenças de altitudes geram fluxos em direções aleatórias, prejudicando a obtenção de índices do terreno, como o índice de umidade (BÖHNER; SELIGE, 2006).

$$WI_S = \ln (SCA_M / \tan\beta) \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

SCA_M = área específica modificada de fluxo acumulado

β = ângulo de declividade

$$SCA_M = SCA_{max} \cdot \left(\frac{1}{15}\right)^{\left[\beta \cdot e^{(15)\beta}\right]} \quad \text{para } SCA < SCA_{max} \cdot \left(\frac{1}{15}\right)^{\left[\beta \cdot e^{(15)\beta}\right]} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

SCA_{max} = área específica máxima de fluxo acumulado da vizinhança

β = ângulo de declividade

4.3.2 Índice de classificação de planícies

O índice de classificação de planícies é utilizado para representar características morfométricas de uma dada região, de acordo com Bock et al. (c2007). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, nos pontos em que o índice de classificação de planícies apresenta maiores

discrepâncias, nas proximidades da rede de drenagem, indica que esta região pode ser os limites da planície de inundação do rio ou uma mudança na declividade correspondendo a um afluente à jusante. Sendo assim, para calcular este índice de umidade no *software* SAGA-GIS, utilizou-se o comando TCI Low (*Terrain Classification Index for Lowlands*), tendo como dados de entrada o índice de umidade (anteriormente calculado) e o parâmetro *Vertical Distance to Channel Network*, que nos dá a distância acima do nível da linha imaginária dos canais até a cota do terreno, para cada célula, segundo Bock et al. (c2007). O parâmetro *Vertical Distance to Channel Network* foi calculado tendo como dados de entrada a altimetria do terreno (com as falhas preenchidas, mas sem o preenchimento de depressões) e o *shapefile* formado pela rede drenagem obtida, anteriormente, com o comando *Channel Network*.

4.3.3 Determinação da planície de inundação do Rio dos Sinos

De posse do mapa de Índice de Umidade da Bacia do Sinos, visando determinar a planície de inundação do Rio dos Sinos, traçou-se as curvas de nível, de 5 em 5 metros, para região de estudo com a função *Contour Line*. Então, analisando o mapa de curvas de nível de 5 m em 5 m, sobreposto ao de umidade (com o valor de 5 para sucção), notou-se a existência de uma certa conformidade entre a planície de inundação e as curvas de nível. Assim, quando as curvas de nível se tornam mais próximas (dando início a formações de relevo com maior elevação, aproximadamente na cota de 15 m, para a região em questão), o índice de umidade apresenta valores intermediários que indicam, aproximadamente, os limites da planície de inundação do Rio dos Sinos.

Então, para a delimitação da planície de inundação, tendo como ponto de referência a curva de nível de 15 m, mediu-se o índice de Umidade nas proximidades desta cota, nas duas margens do Rio dos Sinos. Para a margem sul, adotou-se um índice médio de 8,2. Para a margem norte, adotou-se um índice médio de umidade de 8,7. Fazendo a média das médias, chegou-se ao índice de umidade de 8,45, o qual foi adotado como o valor de umidade mínimo que delimita a planície de inundação do Rio dos Sinos. Então, procedeu-se com a delimitação da planície de inundação, por meio do comando *Reclassify Grid Values* adotando o valor de 1 para aquelas células que apresentam valores superiores ao de 8,45 e zero para as demais células. O mapa resultante da classificação foi transformado em um arquivo vetorial (*shapefile*) com o comando *Vectorize Grid Classes*, sendo, então, sobreposto ao mapa do Índice de Umidade, indicando a delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos.

Já, de acordo com o mapa de Índice de Classificação de Planícies, a planície de inundação do Rio dos Sinos pode ser identificada nas regiões que apresentam os maiores valores deste índice, estando os seus limites definidos pelas regiões em que ocorre uma variação decrescente mais acentuada de seus valores. Então, sobrepondo o *shapefile* com a delimitação da planície de inundação (de acordo com o mapa de Índice de Umidade) sobre este mapa de Índice de Classificação de Planícies, avaliou-se o quanto coerente é a planície de inundação, determinada pelo Índice de Umidade com o que é observado no Índice de Classificação de Planícies, validando ou não a planície de inundação previamente determinada.

4.4 USO DE DADOS DE MAIOR ACURÁCIA APLICADOS NA ÁREA RELATIVA AO ESTUDO DE CASO

Os dados SRTM não são, usualmente, empregados para uma análise minuciosa do terreno, em virtude de sua baixa resolução espacial (de 30 x por 30 m) e baixa acurácia vertical (OLIVEIRA; GUASSELI, 2010). Dessa forma, na busca por uma representação mais fidedigna das características do terreno e das áreas inundáveis, na área correspondente ao estudo de caso, foram utilizados dados de maior acurácia. Para isso, foram adotadas curvas de nível de 0,5 m em 0,5 m relativas à São Leopoldo, fornecidas pela prefeitura da cidade e confeccionadas por meio de trabalhos topográficos, com as quais gerou-se um MDT mais refinado do que as grades regulares SRTM de 1 arco-segundo, por meio do interpolador Topo to Raster. Com o auxílio do MDT gerado e das curvas de nível de 0,5 em 0,5 m, realizou-se nova análise sobre as características do terreno e das áreas de inundação do estudo de caso.

4.4.1 Características do terreno

Para analisar as características do terreno da área de estudo, traçou-se um perfil longitudinal da região mais afetada com alagamentos por refluxo, a partir do corte AA'. Por meio deste perfil e das curvas de nível de 0,5 em 0,5 m, descreveu-se as características do relevo da área em questão, indicando suas influências nos processos de alagamentos, conforme as formas de terreno encontradas. Traçou-se, a partir do mesmo corte AA' um perfil longitudinal do terreno para os dados SRTM, sendo realizado um comparativo com o mesmo perfil traçado para o MDT mais refinado.

Para um outro corte BB' (que passa por regiões mais planas próximas ao Sinos), troçou-se o perfil longitudinal do terreno para ambos os MDT's, realizando análise comparativa de ambos. Após, relacionou-se as formas de terreno obtidas, anteriormente, para toda a Bacia do Sinos, por meio dos dados SRTM, realizando um parecer sobre o emprego desses dados em áreas menores, como um bairro.

4.4.2 Estimativa de áreas inundáveis

Para fazer uma estimativa das áreas inundável do estudo de caso, como as curvas de nível obtidas eram referentes apenas a São Leopoldo, envolvendo apenas a margem sul do Sinos, optou-se por uma metodologia diferente da abordada na determinação da planície de inundação por dados SRTM. Para isso, adquiriu-se uma série histórica das máximas cotas fluviométricas do Sinos, em São Leopoldo, pela plataforma *Hydroweb* da ANA (Agência Nacional de Águas), para o período de 1973 a 2015, indicada pela tabela 3. Assim, estipulou-se um período de retorno de 100 anos para os eventos de cheia (valor usualmente utilizado para o zoneamento de áreas ribeirinhas), segundo Tucci (2005), indicado pela tabela 3. Visando obter a cota média de inundação para o tempo de retorno definido, aplicou-se a distribuição de Gumbel para valores máximos.

Tabela 3 – Cotas fluviométricas máximas das cheias históricas de São Leopoldo

Data	Cota Fluviométrica Maxima [m]
01/09/1973	3,97
01/06/1974	3,6
01/09/1975	4,21
01/08/1976	4,15
01/08/1977	4,15
01/12/1978	3,83
01/12/1979	3,72
01/08/1980	4,43
01/06/1981	4,25
01/07/1982	5,14
01/08/1983	5,38
01/06/1984	5,61
01/08/1985	5,7
01/12/1986	4,35
01/01/1987	4,3
01/09/1988	4,95
01/07/1989	4,3
01/09/1990	4,3
01/12/1991	3,84
01/07/1992	4,26
01/06/1993	5,44
01/05/1994	4,37
01/07/1995	4,91
01/10/1996	4,21
01/08/1997	4,81
01/08/1998	4,3
01/07/1999	3,98
01/10/2000	4,59
01/07/2001	5,1
01/06/2002	5,08
01/07/2003	4,36
01/11/2004	4,14
01/09/2005	5,1
01/01/2006	3,18
01/07/2007	4,91
01/05/2008	5,82
01/09/2009	5,3
01/07/2010	4,48
01/07/2011	5,36
01/09/2012	4,6
01/09/2013	5,33
01/09/2014	4,68
01/06/2015	4,35

(fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015)

Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2014), as cotas fluviométricas máximas anuais de São Leopoldo (medidas por régua limimétrica localizada na Rua da Praia, no bairro Rio dos Sinos) estão 1,82 m abaixo das correspondentes cotas topográficas no bairro Feitoria.

Entretanto, Agência Nacional de Águas (2015) e Bazzan (2011), afirmam que a régua limimétrica da Rua da Praia está instalada a uma distância de 0,5 m acima da cota do terreno do bairro Rio do Sinos. Assim sendo, para obtenção das cotas topográficas no bairro Feitoria correspondentes às cotas fluviométricas máximas anuais medidas no bairro Rio do Sinos, além de acrescentar 1,82 m, reduziu-se 0,5 m.

Quanto a distribuição de Gumbel, segundo Naghettini e Pinto (2007, p. 159-160, grifo do autor),

No caso de valores máximos, a distribuição de Gumbel refere-se a forma assintótica limite para um conjunto de N variáveis aleatórias originais $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, independentes e igualmente distribuídas conforme um modelo $F_x(x)$, de cauda superior exponencial. A distribuição de Gumbel (máximos) é a distribuição extremal mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

Desta forma, segundo este mesmo autor, na distribuição de Gumbel, pode-se representar a função de probabilidades acumuladas pela seguinte equação:

$$F_Y(y) = e^{-e^{\left(\frac{y-b}{a}\right)}} \quad \text{(equação 12)}$$

Onde:

$F_Y(y)$ = função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel

a = parâmetro de escala

b = parâmetro de posição

Os valores das variáveis α e β são determinados resolvendo-se o sistema formado pelas equações 17 e 18 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$E[y] = \beta + 0,5772 \cdot \alpha \quad \text{(equação 13)}$$

Onde:

$E[Y]$ = valor esperado

a = parâmetro de escala

b = parâmetro de posição

$$Var[y] = \sigma_Y^2 = \frac{\pi^2 \cdot a^2}{6} \quad (\text{equação 14})$$

Onde:

Var[Y] = variância

a = parâmetro de escala

Assim, segundo Naghettini e Pinto (2007), a cota média de inundação do terreno para um dado período de recorrência, pode ser estimada por meio da função inversa de probabilidades acumuladas de Gumbel (função de quantis), que é representada pela equação 15.

$$y(F) = b - a \cdot \ln[-\ln(F)] \text{ ou } y(T) = b - a \cdot \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (\text{equação 15})$$

Onde:

Y(F) = cota média estimada de inundação do terreno para um dado período de retorno, em metros

F = probabilidade anual de não superação

T = período de retorno, em anos

a = parâmetro de escala

b = parâmetro de posição

De posse da cota média de inundação, realizou-se uma reclassificação no MDT gerado, obtendo uma estimativa da faixa inundável, da área de estudo, para o período de retorno de 100 anos. Assim foi feita uma comparação entre a área inundável estimada, para um elevado período de recorrência, e a planície de inundação gerada a partir dos dados SRTM.

Em acréscimo, por meio da equação 15, estimou-se qual o tempo de retorno para que as cheias do Sinos atinjam a mesma cota da área que sofre refluxo pluvial. Assim, baseado nos

eventos de cheia iguais ou superiores a esta cota, averiguou-se a importância de se estudar alagamentos em comparação a inundações, para esta área que apresenta refluxo pluvial.

4.5 PRINCÍPIO DE VASOS COMUNICANTES

O “Princípio de Vasos Comunicantes” permeia a metodologia proposta para a análise do problema de refluxo pluvial identificado no estudo de caso. Este princípio baseia-se na ideia de que um líquido deverá atingir a mesma altura em todos os ramos de um recipiente, de extremidades abertas à atmosfera. Assim, mantém-se constante a pressão, para uma dada altitude, nos diferentes ramos do recipiente (OLIVEIRA; MORS, 2009; FERREIRA, 2010). Dessa forma, o “Princípio de Vasos Comunicantes” é o que rege o fenômeno de refluxo de drenagem pluvial, em canais fechados, durante a época das cheias. Assim, quando a força gravitacional, a qual induz o escoamento no conduto, não consegue superar a carga hidrostática do rio, a água retorna pelo conduto que passa a operar como um conduto forçado em seção plena (COMUNELLO¹², 2001, apud SAMIZAVA, 2009; FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]). Este fenômeno é responsável por alagamentos em diversas localidades do Brasil, como, por exemplo, no bairro Feitoria, em São Leopoldo, e na cidade de Teresina no Piauí (TERESINA, 2012).

4.6 DIMENSIONAMENTO DE VÁLVULA FLAP

Como uma possível solução ao problema de refluxo de drenagem pluvial identificado, propõe-se o dimensionamento de uma válvula *flap*. Adotou-se essa solução devido ao seu baixo custo de instalação e manutenção em comparação a outras alternativas como o bombeamento da água do conduto para o Rio dos Sinos (a qual envolve custos operacionais) ou o aumento da calha do rio, que seria economicamente inviável.

As válvulas *flap* permitem manter o fluxo unidirecional no conduto, de forma que, quando a pressão no lado externo da válvula for superior à do seu lado interno, a válvula fecha e impede a inversão do fluxo (HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?]). Assim, com a instalação deste dispositivo, impede-se o fenômeno de refluxo da

¹² COMUNELLO, E. **Dinâmica de inundações de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná**. 2001. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

drenagem pluvial que gera grandes alagamentos no bairro Feitoria, em São Leopoldo, nos períodos de cheia do rio dos Sinos.

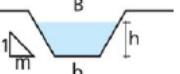
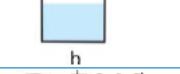
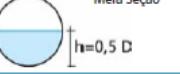
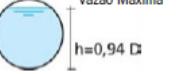
Contudo, atenta-se para o fato de que, a partir do momento em que a válvula fecha, o conduto no qual ela foi inserida começa a encher de água, podendo extravasar e gerar alagamentos, conforme a duração e intensidade da chuva. No entanto, tem-se como pressuposto que os alagamentos que possam ocorrer em virtude do extravasamento do conduto após o fechamento da válvula *flap* são de uma magnitude significativamente inferior àqueles gerados pelo refluxo da drenagem pluvial. Esse pressuposto foi concebido, pois, no refluxo de drenagem pluvial, a água retorna com maior velocidade e pressão em comparação ao extravasamento pelo fechamento de válvula *flap*, à medida que o canal fica com sua seção plena, operando como um conduto forçado (FENDRICH, MALUCELLI, [2015?]).

Para o conduto em que ocorre o refluxo da drenagem, adotou-se um valor de 1 m para o diâmetro. Assim, para o dimensionamento da válvula *flap*, este mesmo valor será adotado como sendo o seu diâmetro nominal (DN). Optou-se por embutir a válvula em estrutura de concreto. Então, sabendo o diâmetro da válvula e sua forma de fixação, entra-se na tabela 1 e obtém-se as dimensões da válvula *flap* do fabricante Hydrostec e as dimensões das formas de concreto para embutimento, as quais estão indicadas na figura 24.

Para calcular a vazão do conduto (Q), à seção plena, é necessário calcular a área molhada (A_m) e sua velocidade (V). No entanto, para encontrar a velocidade deste escoamento, precisa-se determinar alguns parâmetros do canal, os quais são: o seu coeficiente de rugosidade de Manning do canal (n); o seu raio hidráulico (R_H); e a sua declividade (i).

De posse do diâmetro do conduto, pode-se calcular qual a área molhada do canal, assim como o seu raio hidráulico, segundo a tabela 4 (SÃO PAULO, 2006).

Tabela 4 – Elementos hidráulicos característicos e diferentes tipos de seções transversais

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_h)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
 Meia Seção	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
 Vazão Máxima	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

(fonte: SÃO PAULO, 2006, p. 27)

À medida que o refluxo se dá com seção plena, segundo a tabela 4, adota-se a equação 16 para calcular a área molhada (A_m) e a equação 17 para calcular o raio hidráulico (R_h) (SÃO PAULO, 2006).

$$A_m = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right) \quad (\text{equação 16})$$

Onde:

D = diâmetro do conduto, em m

$$R_h = \frac{D}{4} \quad (\text{equação 17})$$

Onde:

D = diâmetro do conduto, em m

Com o valor do diâmetro conhecido, podemos estimar, também, o valor da declividade mínima do canal, adotando este valor como sendo a declividade (i) do canal, dada pela tabela 5 (ANDRADE, 2006).

Tabela 5 – Declividades mínimas, conforme os diâmetros

Diâmetros (mm)	Declividades mínimas m/m	Diâmetros(mm)	Declividades mínimas m/m
150	0,0070	500	0,0015
200	0,0050	600	0,0010
250	0,0035	700	0,0008
300	0,0025	800	0,0006
350	0,0023	900	0,00045
400	0,0020	1000	0,00040
450	0,0018	1200	0,00035

(fonte: ANDRADE, 2006, p. 21)

Como sabemos de antemão que o conduto é feito de concreto, podemos calcular o seu coeficiente de rugosidade de Manning (n), utilizando a tabela 6 (SÃO PAULO, 2006).

Tabela 6 – Coeficiente de rugosidade de Manning (n)

REVESTIMENTO	n
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto ⁶	0,018

Valores sugeridos pelo DAEE.

⁶ Para canais revestidos de concreto bem acabado, de traçado retilíneo, com águas limpas, pode-se admitir n=0,013. Caso a canalização apresente singularidades, onde houver a possibilidade de retenção e/ou de deposição de sedimentos, deve-se adotar n=0,018 ou estimar a rugosidade equivalente (n_{eq}) pela expressão (10).

(fonte: SÃO PAULO, 2006, p. 26)

Em sequência, uma vez que se têm os valores de raio hidráulico, declividade e o coeficiente de rugosidade de Manning, pode-se calcular a velocidade do escoamento (V) pela equação 18 (Equação de Manning) (SÃO PAULO, 2006).

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot (R_H^{2/3}) \cdot \sqrt{i} \quad (\text{equação 18})$$

Onde:

V = velocidade de escoamento no conduto, em m/s

n = coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional

R_H = raio hidráulico, em m

i = declividade, em m/m

Assim, sabendo a velocidade do escoamento e área molhada do canal, pode-se calcular a vazão escoada (Q), conforme a equação 19 (Equação da Continuidade) (SÃO PAULO, 2006).

$$Q = V \cdot A_m \quad (\text{equação 19})$$

Onde:

Q = vazão de escoamento no conduto, em m^3/s

V = velocidade de escoamento, em m/s

A_m = área molhada, em m^2

4.6 ALOCAÇÃO DA VÁLVULA FLAP

No local destinado para a alocação da válvula *flap*, foi prevista a construção de um poço de visita de concreto para a realização de manutenções periódicas. A instalação foi proposta de forma a zelar pela segurança dos responsáveis pela manutenção, descartando-se a hipótese de alocação na extremidade mais a jusante do conduto, a qual fica junto ao Rio. Também procurou-se adotar uma distância que não seja suficiente para que o refluxo ocorra entre o Rio e válvula, o que acarretaria em alagamentos.

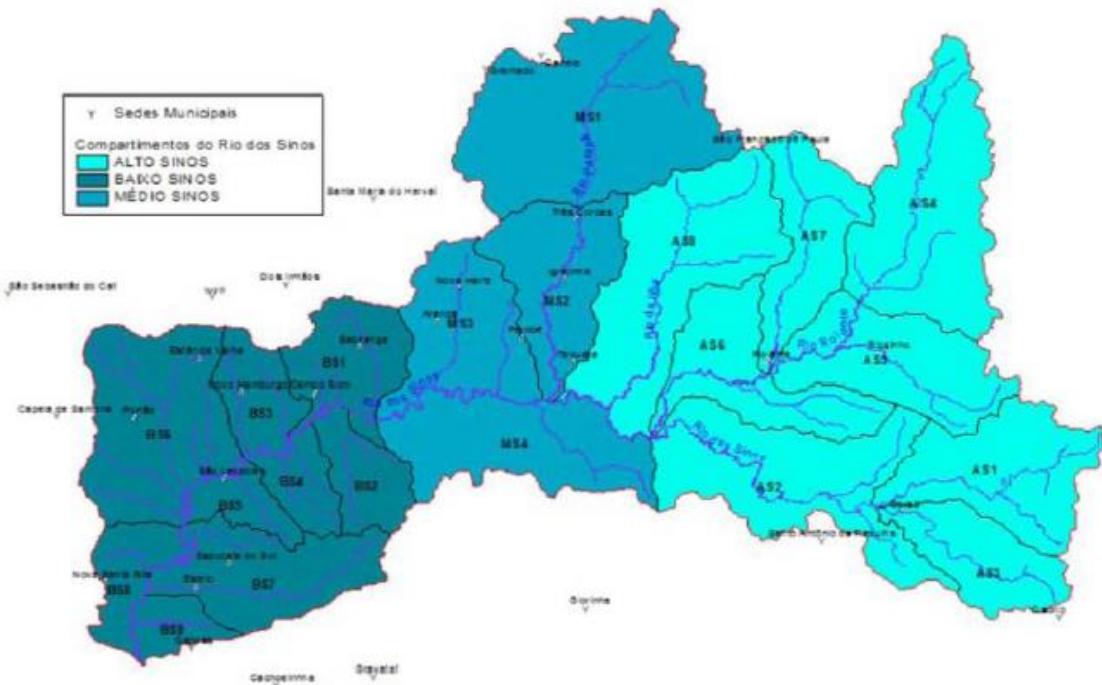
5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é o bairro Feitoria de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, o qual apresenta ineficiências em sua drenagem que geram alagamentos e, ao mesmo tempo, está inserido na planície de inundação do Sinos. A cidade de São Leopoldo pertence à Bacia do Rio dos Sinos, a qual é dividida em três porções, de acordo com a altimetria de seu relevo (SÃO LEOPOLDO, 2014). Em sua parte, mais baixa e plana, chamada de Baixo Sinos, está localizada a cidade de São Leopoldo, a qual apresenta uma ocupação desordenada, contendo moradias em regiões que fazem parte da planície de inundação do Rio dos Sinos (SÃO LEOPOLDO, 2014; BAZZAN, 2011; BRUBACHER; GUASSELLI, 2013). Desta forma, este município apresenta diversas áreas com risco de inundações, dentre as quais, o bairro Feitoria que é uma das áreas com risco mais elevado (BAZZAN, 2011; BRUBACHER; GUASSELLI, 2013). Além disso, a pedologia encontrada ao longo do Rio dos Sinos influencia a ocorrência de inundações e alagamentos nas suas proximidades (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007; STRECK et al., 2008; PAZ, 2011; PRADO 1995).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS

A bacia do Sinos localiza-se ao leste do Rio Grande do Sul, o qual desagua no delta do Jacuí. Apresenta uma área de 3696 km², englobando 32 municípios. Faz divisa com os rios Taquari Antas e cai à norte e oeste à leste com as bacias do rio Gravataí e Tramandaí e ao sul com o Lago Guaíba e bacia do baixo Jacuí. A vegetação da bacia está muito escassa, estando concentrada basicamente nas nascentes do Rio dos Sinos. É, usualmente, dividida em Alto, Médio e Baixo Sinos, conforme é demonstrado na figura 55 (SÃO LEOPOLDO, 2014). O Alto Sinos apresenta grandes altitudes (superiores à 100 metros do nível do mar). O Médio Sinos possui altitudes de no máximo 900 metros, sendo o Paranhana o principal rio. O Baixo Sinos tem característica de baixa altimetria (de no máximo 200 metros, estando a grande maioria das regiões abaixo de 50 metros). É no baixo Sinos que está contido o município de São Leopoldo. O principal rio da bacia é o Rio dos Sinos, que possui uma extensão aproximada de 190 km, possuindo fluxo de leste para oeste, nascente no município de Caará e foz no delta do Jacuí, em Canoas (SÃO LEOPOLDO, 2014).

Figura 55 – Compartimentação da Bacia do Sinos



(fonte: SÃO LEOPOLDO, 2014, não paginado)

5.1.1 Pedologia

O solo é um elemento próprio da natureza, no qual ocorrem diversos ciclos químicos, físicos e biológicos. Dessa forma, proporciona o aporte necessário para o desenvolvimento da fauna, flora, pecuária e agricultura, bem como é responsável pela sustentação de obras de engenharia e pelo armazenamento de água (STRECK et al., 2008). Entretanto, segundo o mesmo autor, na mesma obra, é imprescindível estudá-lo, em vista de um manejo adequado, caso contrário, o solo poderá colaborar, negativamente, para o processo de degeneração dos ecossistemas.

A pedologia é a ciência que tem por responsabilidade o estudo do solo. Este estudo é feito pela análise do perfil do solo (seção transversal do solo), o qual é estratificado em camadas ou horizontes que contem diferentes características (textura, cor, consistência, estrutura, etc.) de acordo com o material que originou o respectivo solo (PRADO, 1995).

5.1.1.1 Levantamentos pedológicos

Para a análise dos solos, são realizados levantamentos pedológicos, por meio de mapa e análise técnica. Segundo Prado (1995, p. 1) “O mapa mostra a distribuição espacial dos solos na paisagem, enquanto o relatório aborda as suas características morfológicas, químicas,

físico-hídricas e mineralógicas". Para uma análise correta do solo, este mesmo autor, na mesma obra, recomenda que as amostras de solo sejam retiradas da camada mais inferior até a superior, para evitar contaminações entre os horizontes, bem como evitar dias chuvosos para realizar a classificação do solo, pois a chuva pode alterar características dos solos como a umidade, cerosidade, etc. Assim, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007, p. [120]),

Um levantamento pedológico é um prognóstico da distribuição geográfica dos solos como corpos naturais, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza. O levantamento identifica solos que passam a ser reconhecidos como unidades naturais, prevê e delinea suas áreas nos mapas/cartas, em termos de classes definidas de solos.

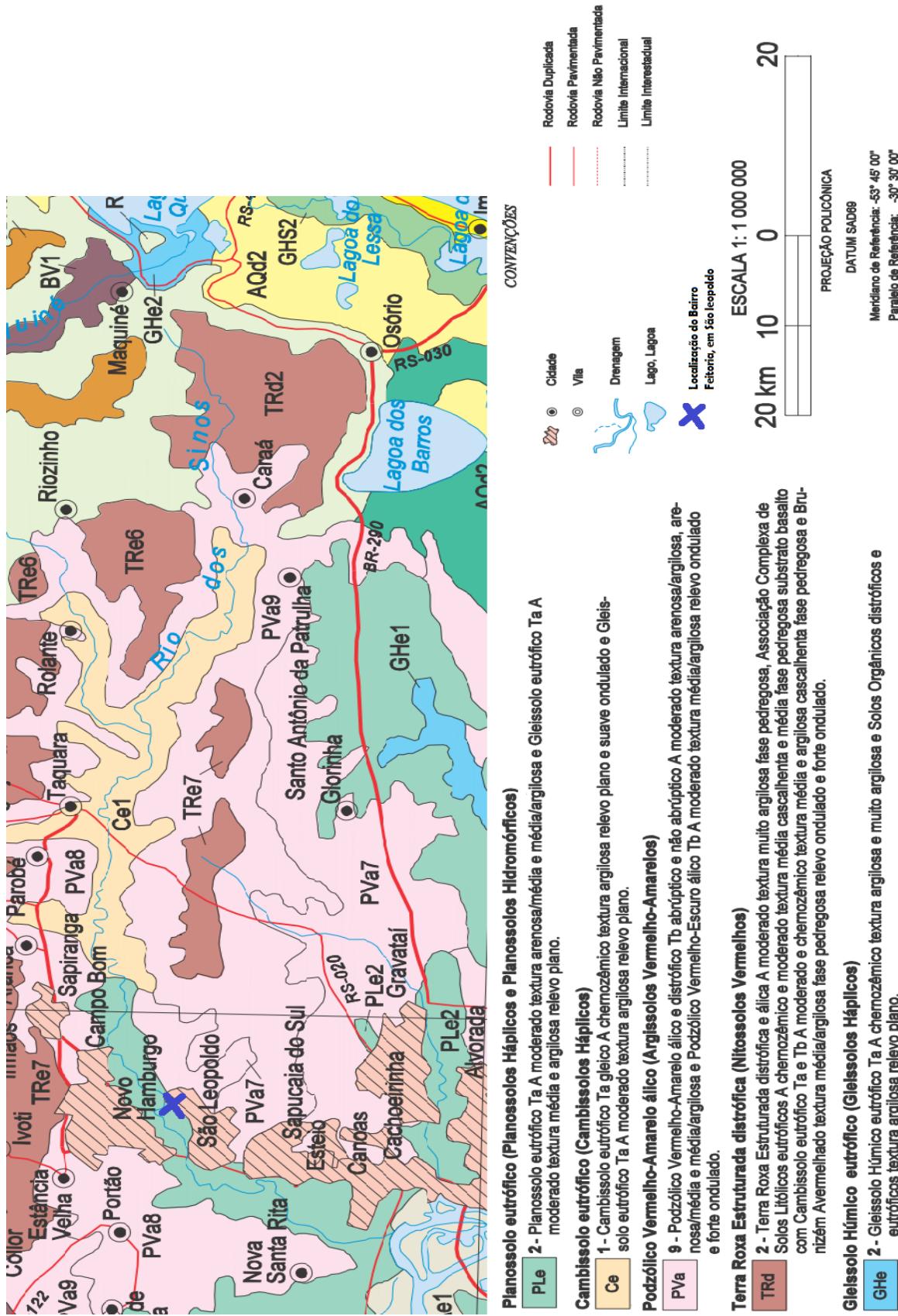
Portanto, os levantamentos pedológicos são de grande importância, pois auxiliam na formação de um banco de dados para a área de Ciência do Solo, proporcionando informações para o seu melhor manejo, conservação, aproveitamento e toada de decisões, de acordo com as estimativas sobre seu comportamento. Além disso, permite a classificação dos solos de acordo com suas características, bem como o agrupamento de áreas mais distintas em áreas mais homogêneas que apresentem uma menor alternância de características, devido à resolução com a qual as regiões de estudo são mapeadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

No âmbito nacional, de acordo com o mesmo autor na mesma obra, a utilização de dados obtidos por levantamentos pedológicos tem sido direcionada para os mais diversos fins como: análise de projetos de irrigação e drenagem, de acordo com sua exequibilidade; identificação de áreas para colonização; estudos pedoclimáticos, ecológicos e socioeconômicos; análise sobre utilização do solo com relação a sua capacidade; entre outros. O acervo de dados formado pelos levantamentos de pedológicos também têm auxiliado Universidades e institutos voltados ao ensino e pesquisa, assim como quanto à confecção de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos ao Meio Ambiente (RIMA). Dessa forma, os levantamentos de solos configuram-se como instrumentos de grande relevância à sociedade, pois, "proporcionam subsídios que poderão evitar que áreas inadequadas para exploração sejam desmatadas ou alteradas em suas condições naturais de equilíbrio, causando danos irreversíveis à natureza, sem o esperado retorno dos investimentos." (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007, p. [122]).

5.1.1.2 Principais solos

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), os solos encontrados ao longo do Rio dos Sinos foram agrupados em cinco grupos distintos cada qual com diferentes classes de solos, conforme a figura 56, sendo esses grupos destacados em sua legenda. Segundo o mesmo autor, os termos Ta e Tb referem-se às argilas de alta atividade e às de baixa atividade, respectivamente. Já, os termos eutrófico e distrófico referem-se às saturações por bases maior que 50% e menor do que 50%, respectivamente. Segundo a figura 56, os principais solos encontrados ao longo do Rio dos Sinos são os Cambissolos, Gleissolos, Planossolos, Argissolos, Brunizém Avermelhado (Chernossolo Argilúvico), Terra Rocha Estruturada (Nitossolo Vermelho) e Solo Orgânico (Organossolo Háplico). Ressalta-se que as denominações Brunizém Avermelhado, Terra Rocha Estruturada e Solo Orgânico são antigas, oriundas de uma classificação anterior a criação do SiCBS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). Pela SiCBS, para esses solos adotam-se as denominações Chernossolo Argilúvico, Nitossolo vermelho e Organossolo Háplico, respectivamente (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Figura 56 – Mapa Exploratório de Solos do Rio Grande do Sul



(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002)

5.1.2 Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos por imagens LANDSAT

Por meio de imagens, obtidas por satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), é possível observar a planície de inundação do Rio dos Sinos. O programa LANDSAT, segundo United States Geological Survey (2013), teve início na década de setenta, com o lançamento do satélite LANDSAT 1 em 1972. Os satélites LANDSAT capturam imagens numa faixa de 185 km de extensão, enquanto percorrem uma órbita descendente de norte a sul (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2013). De acordo com o mesmo autor, na mesma obra, os satélites LANDSAT 7 e 8, a cada oito dias, conseguem cobrir uma mesma área do planeta e sua órbita está há 705 km de altitude. Foram adotadas imagens do satélite LANDSAT 8 para visualizar a Bacia do Sinos. O satélite deste programa entrou em órbita no ano de 2013, e a ele estão acoplados os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e o *Termal Infrared Sensor* (TIRS). O primeiro, captura imagens de nove bandas (oito com 30 metros de resolução e uma banda pancromática com 15 metros de resolução); cujas informações são armazenadas contendo 16 bits. Já, o TIRS produz imagens em duas bandas termais, com resolução de 100 metros. Essas imagens estão disponíveis ao público por meio da plataforma Earth Explorer (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015). Assim, por meio de imagens LANDSAT 8, durante a época das cheias, pode-se observar claramente a planície de inundação do Rio dos Sinos, conforme a figura 57, que data de 30 de agosto de 2013. Já, nos períodos de seca, por meio dessas imagens, não é possível sua identificação, como nota-se pela figura 58, que data de 5 de janeiro de 2014. Desta forma, nota-se a relevância da planície de inundação do Rio dos Sinos a qual proporciona uma grande modificação da paisagem nos períodos de cheia.

Figura 57 – Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos, na época das cheias, com imagem LANDSAT 8, de 30 de agosto de 2013



(fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015)

Figura 58 – Identificação da planície de inundação do Rio dos Sinos, na época das secas, com imagem LANDSAT 8, de 5 de janeiro de 2014



(fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015)

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO

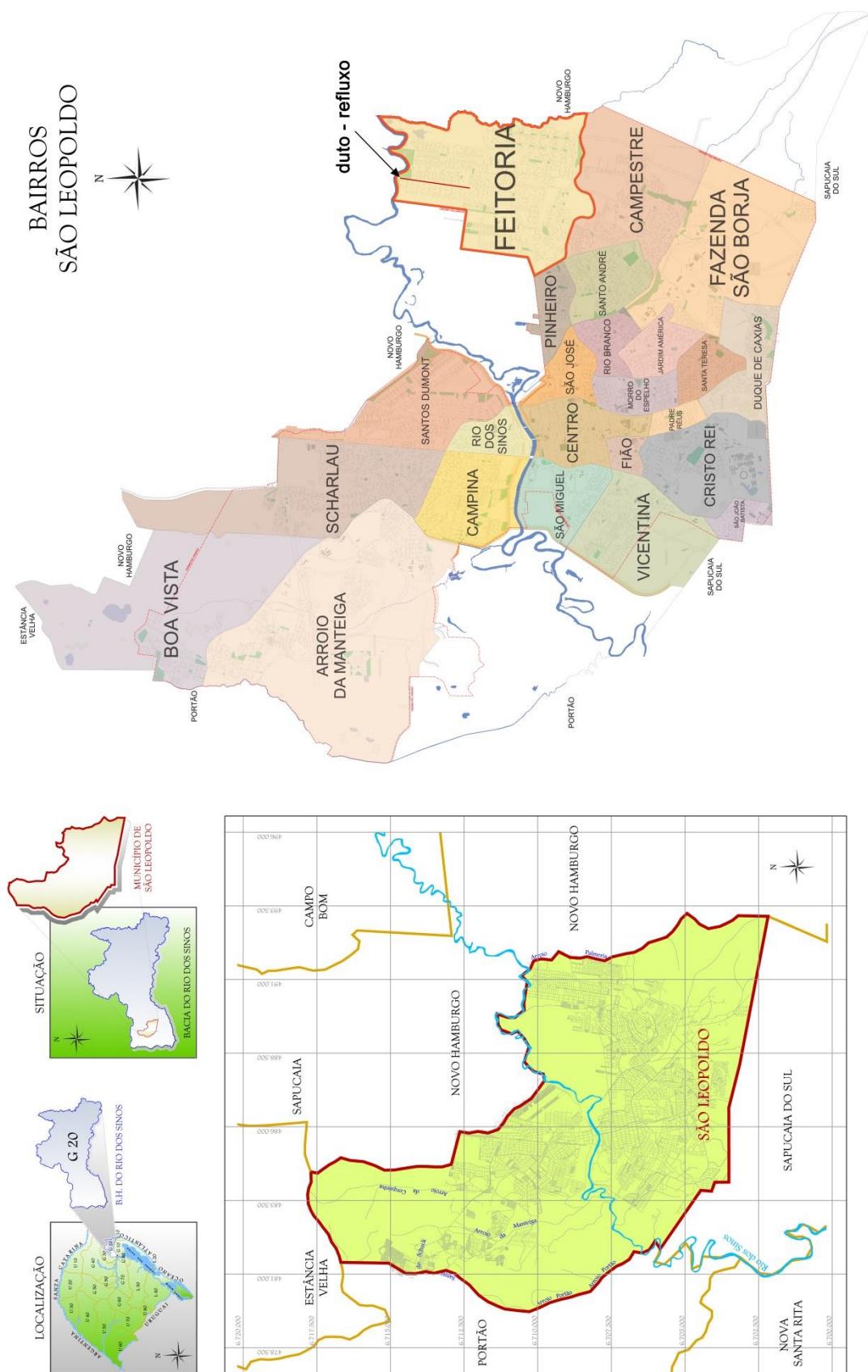
Segundo São Leopoldo (2014, p. 14), “O município de São Leopoldo está localizado na região da Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul e é limitado com Estância Velha ao norte, Novo Hamburgo a nordeste e leste, Sapucaia do Sul ao sul e Portão, a oeste.”, conforme é mostrado na figura 60. Apresenta área de 102,74 km², distanciando 31,4 km de Porto Alegre. De acordo com o Censo Demográfico de 2010, possui um grau de urbanização de 99,6%, com uma população total de 214.087 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011, c2014). Localiza-se na região do Baixo Sinos (tendo sua altitude, basicamente, abaixo de 50 m) (BRUBACHER; GUASSELLI, 2013).

É dividida pelo Rio dos Sinos, contendo os arroios Peão, Sem Nome, Kruze e João Corrêa na margem esquerda e arroios Gauchinho, Cerquinha, da Manteiga e Bopp na margem direita.

Esses arroios formam as oito sub-bacias que estão contidas em São Leopoldo (SÃO LEOPOLDO, 2014).

De acordo com São Leopoldo (2014), a cidade apresenta uma ocupação sem ordenação de seu território, inclusive de áreas banhadas pela planície de inundação do Rio dos Sinos, com remoção indiscriminada da cobertura vegetal, elevada quantidade de construções que reduzem a infiltração da água da chuva e grande impermeabilização do solo, gerando aumento de escoamento superficial e dificultando a recarga dos lençóis freáticos. Dentre essas áreas, atenta-se para o bairro Feitoria, que, segundo Bazzan (2011), apresenta grandes riscos de inundações. Além disso, este bairro enfrenta problemas na drenagem pluvial, que geram frequentes alagamentos na região, como, por exemplo, o refluxo. Na figura 59 está representada a localização geográfica de São Leopoldo, com destaque para o estudo de caso que se delimita ao bairro Feitoria de São Leopoldo.

Figura 59 – Localização geográfica de São Leopoldo



(fonte: adaptado de SÃO LEOPOLDO, 2014, p. [93], [2015?])

5.2.1 Pedologia de São Leopoldo

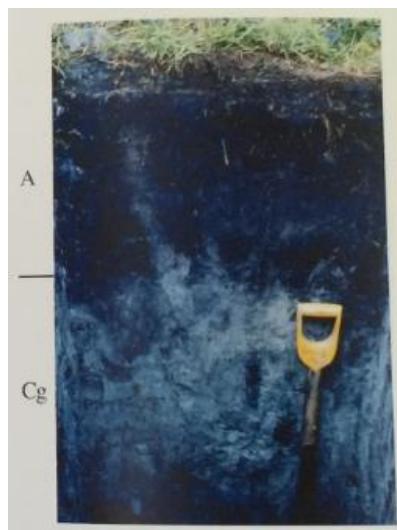
O município de São Leopoldo encontra-se na região da Bacia do Sinos em que há predominância de Gleissolos e Planossolos, conforme a figura 56 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002). As características destes solos serão apresentadas nas divisões a seguir.

5.2.1.1 Gleissolos

Os Gleissolos, representados na figura 58, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007) e Streck et al (2008), são solos de pequena profundidade, que possuem uma drenagem muito ruim, o que dificulta sua utilização. Segundo os mesmos autores, nas mesmas obras, são típicos de planícies de inundações, calhas de rios, várzeas ou margens de rios e de ilhas, ou seja, de zonas propensas a alagamentos. De acordo com Streck et al. (2008, p. 68, grifo do autor), “O termo **Gleissolo** lembra o processo de gleização (dissolução do ferro) atuante em ambientes alagadiços”. Esses solos apresentam um conjunto incompleto de horizontes, devido ao fato de localizarem-se muito próximos ao lençol freático, o que dificulta sua evolução pedogenética (PAZ, 2011). Pode apresentar cores em tons de azul, verde e cinza. Sua fertilidade natural pode ser baixa ou alta. Dessa forma, percebe-se que esses solos apresentam uma contribuição negativa muito significativa aos processos de inundações e enchentes, influenciando-os diretamente, devido sua precária condição de drenagem (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

O termo Gleissolo Húmico é uma nomenclatura antiga, sendo adotado, hoje, Gleissolo Melânico, pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiCBS), de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007). Os solos desta classificação estão representados pela figura 60, e, segundo Prado (1995), são escuros, com cores cinza e apresentam horizonte A de espessura considerável, sendo de ocorrência típica em regiões de várzeas. Tem como uma de suas principais características um elevado teor de matéria orgânica. Em acréscimo, o mesmo autor afirma que, caso este solo apresente caráter tiomórfico, com relação à agricultura, não deve ser drenado, pois causaria uma significativa redução do pH (de valor natural de 7 para 3,5), o que prejudicaria o uso deste solo.

Figura 60 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico



(fonte: STRECK et al., 2008)

5.2.1.2 Planossolos

Os Planossolos, representados na figura 61, são típicos de terrenos planos ou ondulados e apresentam má ou imperfeita drenagem (STRECK et al., 2008) De acordo com Streck et al (2008, p. 108), “O termo planossolo lembra áreas planas de várzeas”. O mesmo autor, na mesma obra, ainda cita que no Rio Grande do Sul, é mais comumente encontrado o Planossolo Háplico Eutrófico, o qual é caracterizado por uma alta saturação da base (de o mínimo 50%). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), apresentam quaisquer horizontes superficiais A ou E de textura mais leve e menos adensada que o horizonte B subjacente. Assim, “Devido ao alto gradiente textural entre os horizontes superficial e subsuperficial é grande o risco de erosão.” (PRADO, 1995, p. 12). Segundo o mesmo autor, na mesma obra, o hidromorfismo (encharcamento do solo) pode, ou não, ser presente neste tipo de solo. O seu horizonte B, muito adensado, geralmente apresenta “[...] acentuada concentração de argila, com permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo por vezes um horizonte ‘pã’, que é responsável pela detenção do lençol d’água sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variável durante o ano.” (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007, p. [301]). Então, nota-se a importância deste tipo de solo com relação aos processos de inundações e enchentes, em virtude de sua baixa permeabilidade e, consequentemente, má drenagem, com possibilidade de hidromorfismo e suscetibilidade à erosão pelo gradiente de texturas entre horizontes.

Figura 61 – Planossolo Háplico Eutrófico solódico, em Pelotas (RS)



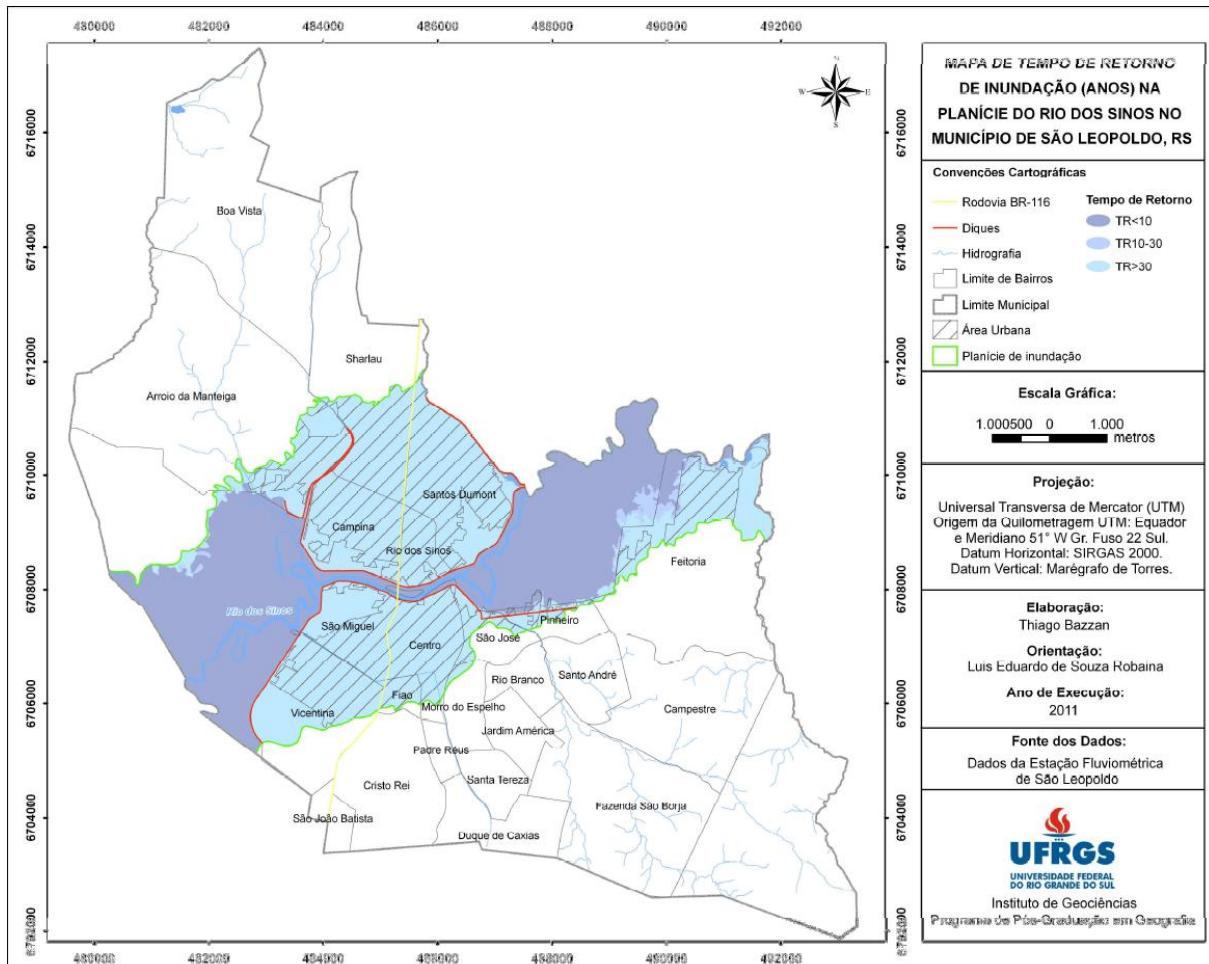
(fonte: fonte: STRECK et al., 2008)

5.2.2 Áreas de risco de inundação em São Leopoldo

A suscetibilidade natural às inundações provenientes do Rio dos Sinos se deve ao relevo de característica plana o qual compõe sua planície de inundações. Uma evidência dessa suscetibilidade às inundações é a presença de áreas úmidas no entorno do Rio, as quais devem ter sua ocupação impedida, devido ao risco de inundações e os impactos que são provocados aos ecossistemas naturais ao ocupar essas áreas (BAZZAN, 2011).

Segundo o mapeamento de áreas com risco de inundação do Rio dos Sinos, no município de São Leopoldo (BAZZAN, 2011), locais com ausência de sistemas de proteção contra inundações (não contemplados com o sistema de diques de São Leopoldo), com períodos de recorrência de até 30 anos são os que apresentam alto e médio perigo de inundações, sendo eles os bairros Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiros, onde acontecem inundações pouco intensas, mas com alta frequência. O mapa indicativo do tempo de retorno das inundações na planície do Sinos, para o município de São Leopoldo, está indicado na figura 62.

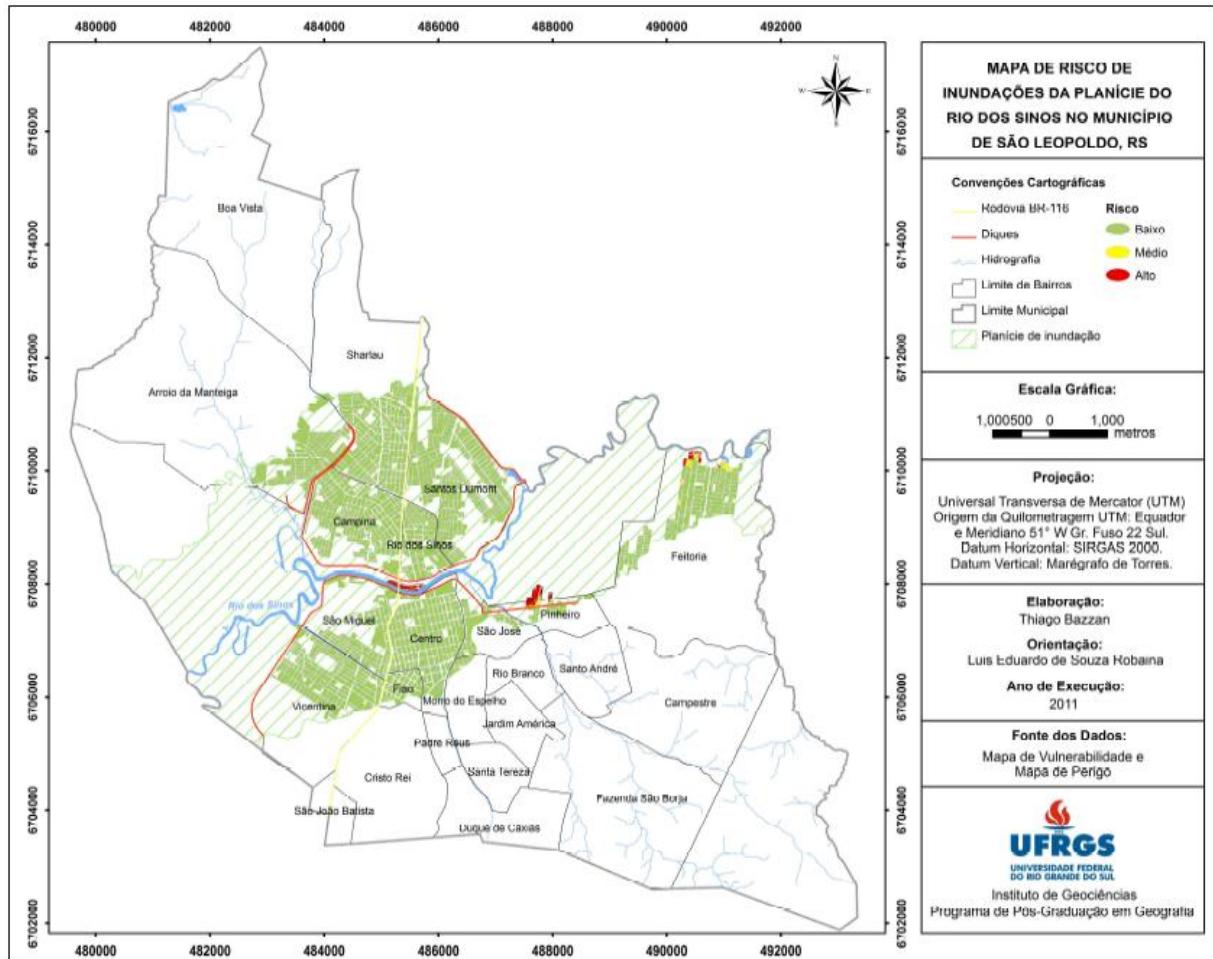
Figura 62 – Áreas de risco de inundaçāo em São Leopoldo, conforme a planície de inundaçāo do Rio do Sinos



(fonte: BAZZAN, 2011, p. 87)

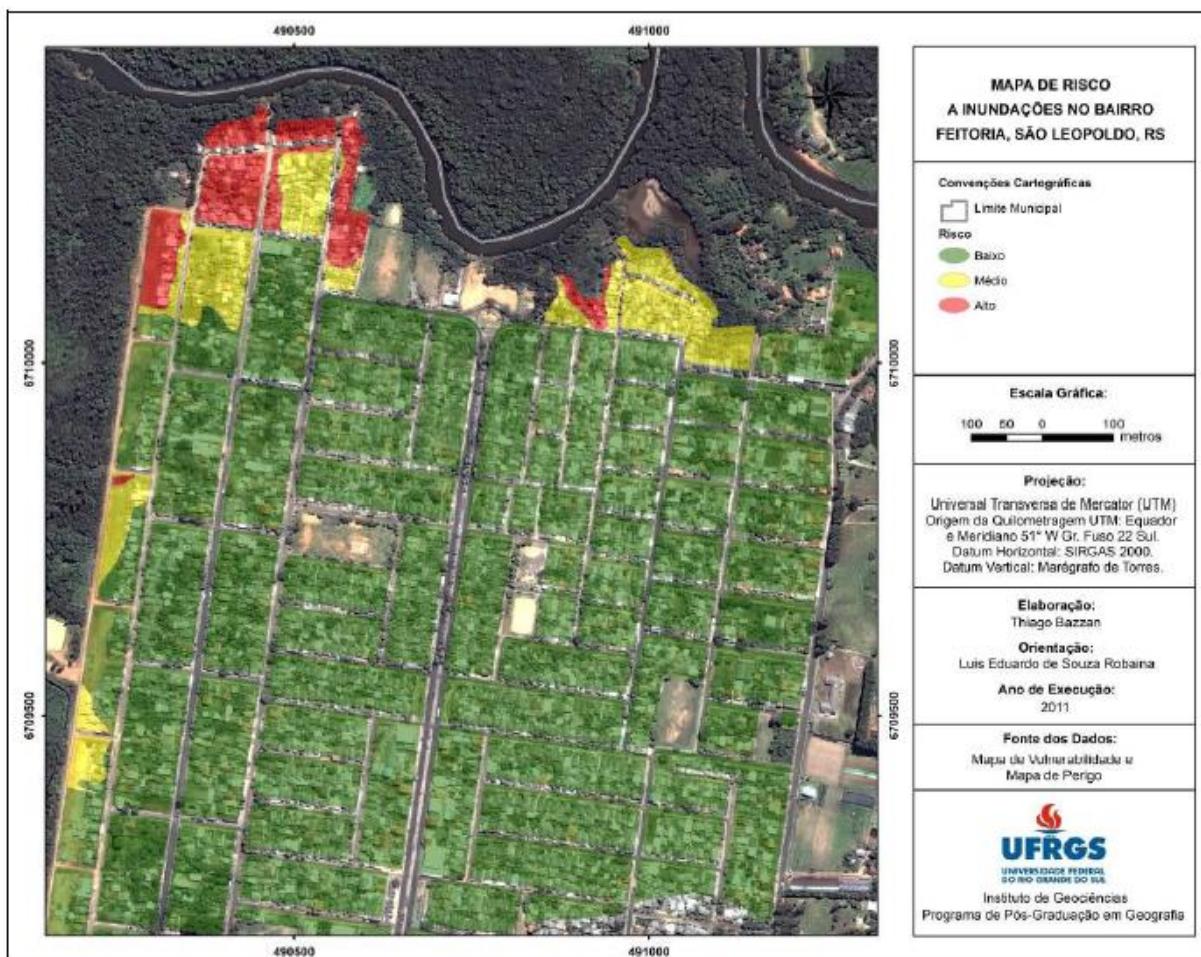
Nestes locais, deveriam haver sistemas de monitoramento e alerta de enchentes (BAZZAN, 2011). Este mesmo autor verifica que a vulnerabilidade às inundações é maior nos locais em que não há sistemas para proteção contra inundações. Assim, os bairros Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiros são também os mais vulneráveis às inundações em São Leopoldo. Por fim, por meio das relações entre perigo e vulnerabilidade, Bazzan (2011) definiu as áreas de São Leopoldo de alto e médio risco de inundações, em São Leopoldo, as quais são os mesmos bairros previamente citados: Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiros. As áreas de risco de inundações, conforme a planície de inundaçāo, determinadas por Bazzan (2011), estão representadas na figura 63. Já, as áreas de risco de inundações específicas no bairro Feitoria, determinadas por Bazzan (2011), estão representadas na figura 64. No bairro Feitoria, por exemplo, nas zonas de maiores riscos de inundações, temos as moradias de mais baixo padrão urbano (BAZZAN, 2011).

Figura 63 – Áreas de risco de inundação em São Leopoldo, conforme a planície de inundação do Rio dos Sinos



(fonte: BAZZAN, 2011, p. 116)

Figura 64 – Áreas de risco de inundações no bairro Feitoria de São Leopoldo



(fonte: BAZZAN, 2011, p. 119)

5.2.3 Ineficiências na drenagem da área de estudo

O bairro Feitoria de São Leopoldo sofre com recorrentes alagamentos, em virtude do refluxo da drenagem pluvial, que implicam em muitos prejuízos às populações que ali vivem. Nos períodos de cheias do Sinos, no momento em que a pressão hidrostática do Rio é maior que a pressão exercida pelo escoamento no conduto em direção ao Sinos (que se dá por gravidade), a água inverte o seu fluxo. Esse fenômeno se dá pelo Princípio de Vasos comunicantes, no qual, em um recipiente com várias ramificações (de extremidades abertas), a mesma altura deverá ser atingida, em todos os seus ramos, por um líquido contido no mesmo (OLIVEIRA; MORS, 2009; FERREIRA, 2010). Analogamente, na rede de esgoto, no conduto em que ocorre o refluxo, temos várias ramificações cujas extremidades estão abertas (bocas de lobo). Desta forma, para manutenção do equilíbrio de pressões do sistema, quando ocorre o refluxo, a água que retornou pelo conduto sobe pelas ramificações da rede, com o intuito de atingir a

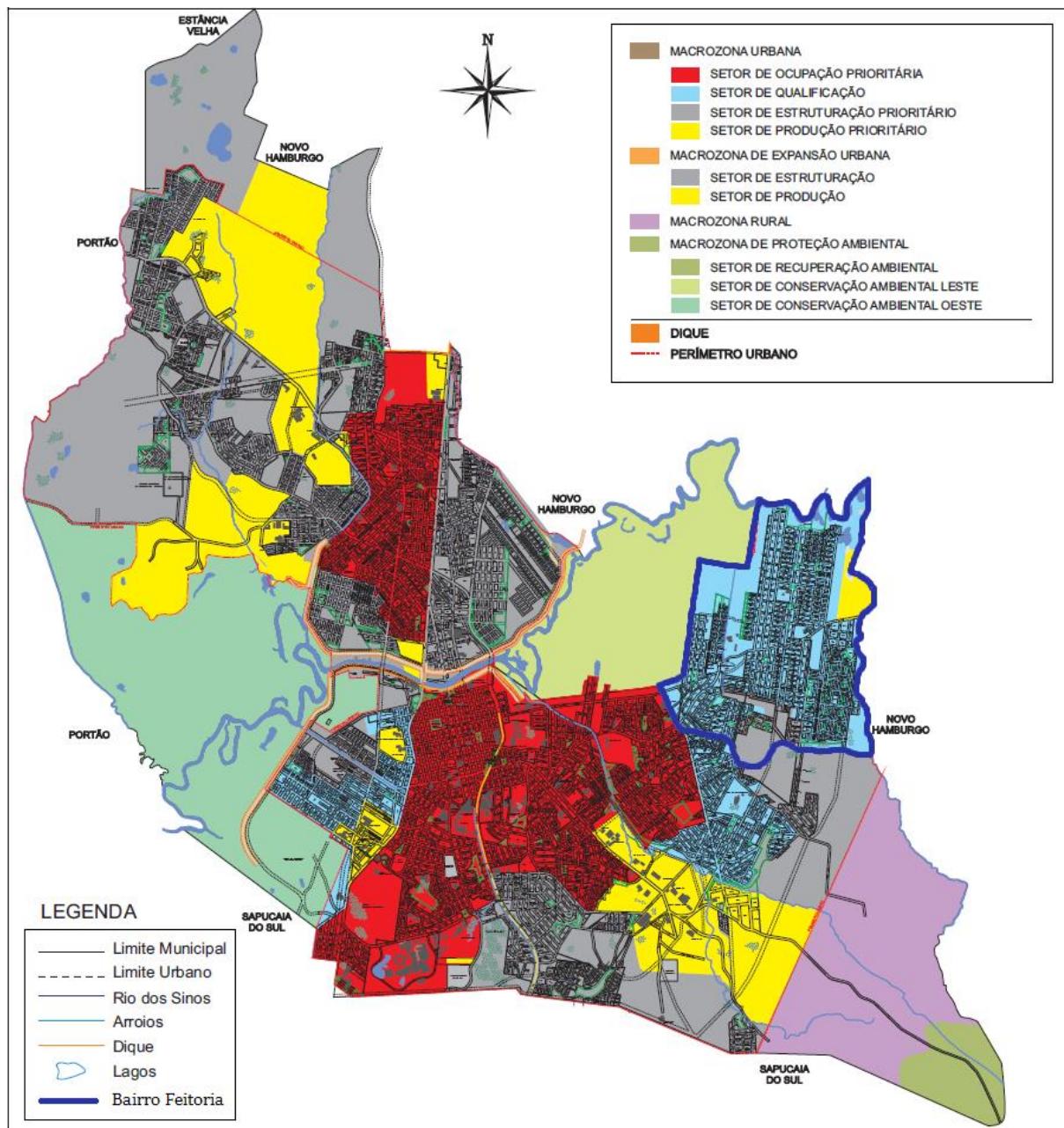
mesma cota que o nível do Sinos, alcançando as vias públicas. Assim, essa água extravasa pelas bocas de lobo do sistema de drenagem, causando alagamentos. Além disso, à medida que o conduto, com ligação ao Sinos, encontrar-se totalmente afogado pela cheia do Rio, a água retornará com grandes pressões (de maneira equivalente a um conduto forçado), podendo gerar grandes “chafarizes” ao extravasar pelas bocas de lobo (FENDRICH; MALUCELLI, [2015?]), intensificando os alagamentos. Assim, quando as tubulações de esgoto pluvial se encontram preenchidas de água em função do refluxo, a água que deveria ser escoada pelo conduto de ligação ao rio, acaba escoando superficialmente. Dessa forma, são agravados os alagamentos, à medida que a região apresenta grandes áreas impermeáveis e, solos com baixa capacidade drenante (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007; PAZ, 2011; PRADO, 1995; STRECK ET AL., 2008).

5.2.4 Legislação incidente a área de estudo

No Plano Diretor da cidade de São Leopoldo, entre os seus objetivos gerais, está a promoção do zoneamento das áreas urbanas, conforme o uso e ocupação do solo, preservando o meio ambiente e contribuindo para o desenvolvimento do município. No entanto, não é o que se observa na área relativa ao bairro Feitoria, que está inserida na planície de inundação do Rio do Sinos, conforme indicado pela figura 63, que apresenta áreas com alto e médio risco de inundações, conforme a figura 64. Quanto ao ordenamento territorial, o Plano Diretor divide São Leopoldo em macrozonas, as quais são organizadas em setores. Dentre estes setores, o bairro Feitoria está inserido no Setor de Qualificação, de acordo com a figura 65. Este setor apresenta os seguintes objetivos (SÃO LEOPOLDO, 2006, p.23):

- a) I - Ordenar o adensamento construtivo;
- b) II - Qualificar o sistema viário, assegurando segurança, acessibilidade e fluidez;
- c) III - Permitir o adensamento populacional onde este ainda for possível, como forma de aproveitar a ‘infra-estrutura’[sic] disponível;
- d) IV - Promover a urbanização e a regularização fundiária dos núcleos habitacionais de baixa renda;
- e) V - Ampliar a disponibilidade de equipamentos públicos, espaços verdes e de lazer.

Figura 65 – Áreas de risco de inundações em São Leopoldo, conforme a planície de inundações do Rio do Sinos



(fonte: adaptado de SÃO LEOPOLDO, 2015)

Entretanto, para um bairro como o Feitoria, contido na planície de inundações do Sinos, que apresenta um considerável histórico de inundações, conforme Bazzan (2011), e que sofre recorrentes alagamentos em virtude de problemas em sua drenagem como, por exemplo, o refluxo, o adensamento populacional não deveria ser objetivado. Esta medida apenas agrava a situação, pois mais pessoas ficam expostas às condições de alagamentos e inundações na

região, que serão propiciados pelo aumento da quantidade de esgoto e resíduos sólidos gerados, conforme se dá o adensamento populacional do bairro.

6 ANÁLISES E RESULTADOS

Para a realização deste trabalho foram obtidos diversos resultados os quais foram analisados conforme a metodologia proposta e o estudo de caso em questão. Estes resultados e análises estão descritos e apresentadas nas divisões deste capítulo.

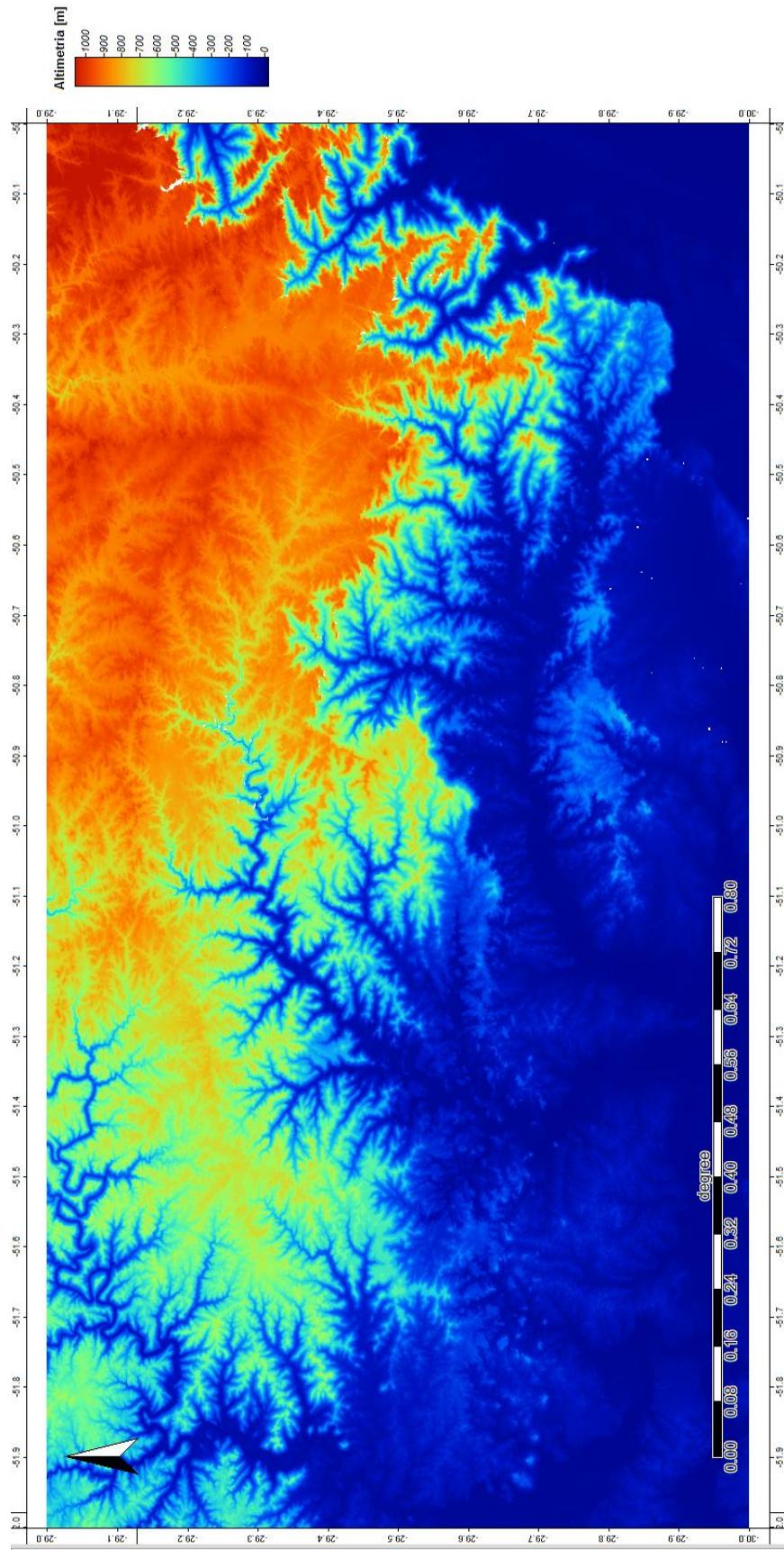
6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO SINOS COM O USO DE IMAGENS SRTM

Para a delimitação da Bacia do Sinos, foi necessária a formação de mosaico, georreferenciamento e pré-processamento de dados SRTM de 1 arco segundo de resolução, adquiridas pela plataforma *Earth Explorer*, as quais englobam a Bacia do Sinos. Do mosaico pré-processado, foram extraídos diversos parâmetros do terreno a partir do MDT da altimetria, os quais possibilitaram a delimitação da Bacia do Sinos. Os resultados obtidos para a delimitação desta bacia estão apresentados nas divisões deste item.

6.1.1 Formação de mosaico

Por meio do *software* SAGA-GIS, ao unir as duas grades regulares SRTM de altimetria, referentes a região na qual está contida a bacia do Sinos, com o comando *Mosaicking*, obteve-se o seguinte mosaico, conforme a figura 66.

Figura 66 – Mosaico de altimetria, formado por imagens SRTM de 1 arco segundo de resolução

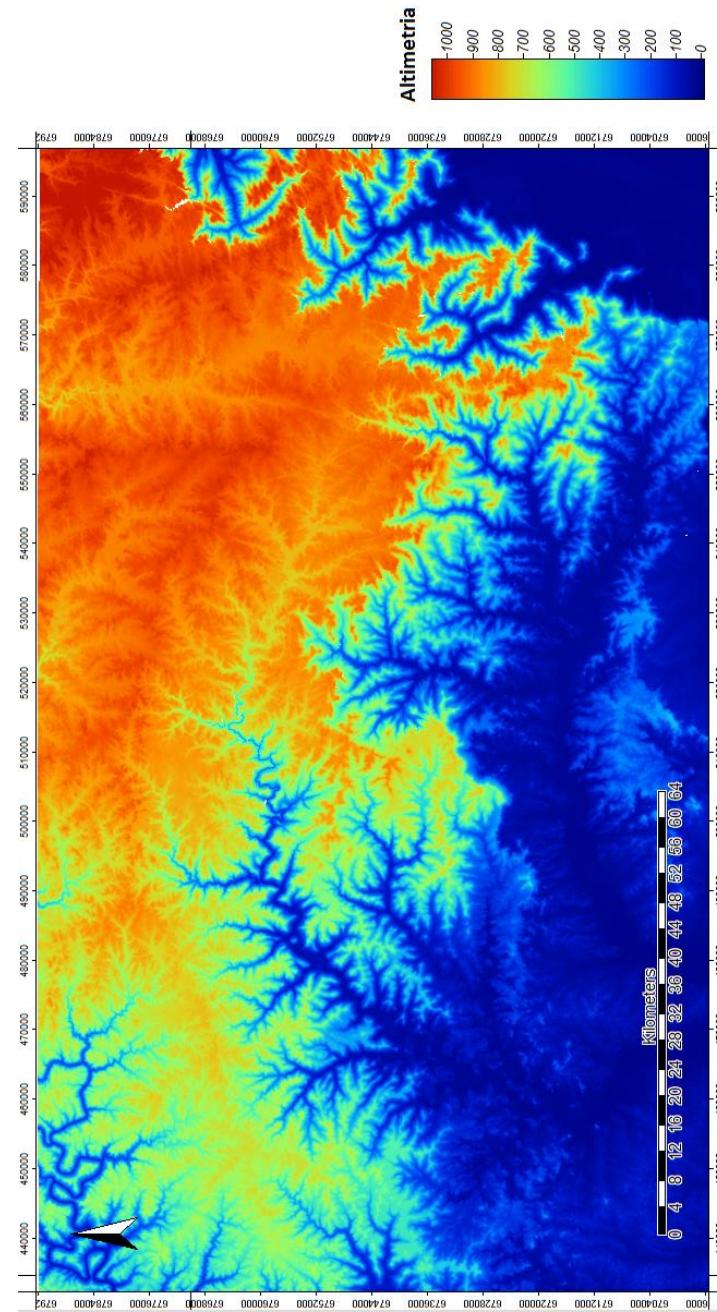


(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2 Reprojeção cartográfica

Com o mosaico formado, fez seu georreferenciamento, projetando o mosaico de WGS84 para em um sistema de coordenadas métricos (UTM), com um fuso adequado ao estado do Rio Grande do Sul (22S), adotando-se o *Datum SIRGAS 2000* (que é o referencial geodésico oficial do Brasil). O mosaico com sua nova projeção cartográfica está representado na figura 67.

Figura 67 – Mosaico em projeção SIRGAS2000 UTM Zone-22S



(fonte: elaborado pelo autor)

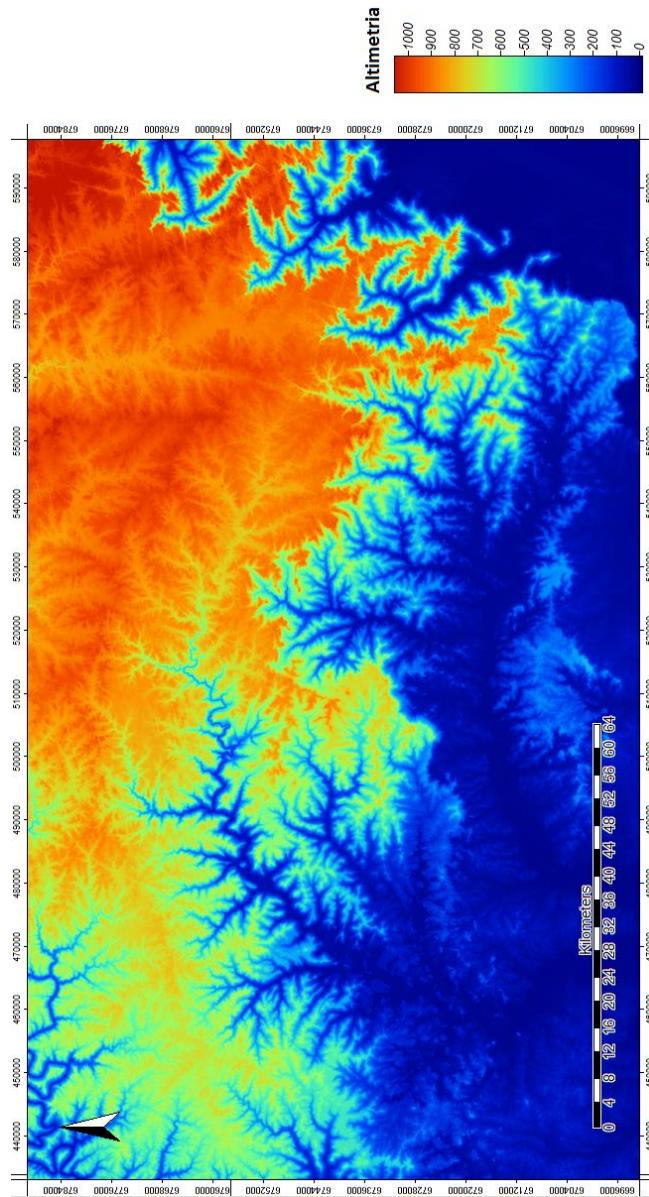
6.1.3 Pré-processamento

Os resultados obtidos nas etapas de pré-processamento estão representados nas divisões deste item. Esta etapa é importante para a operacionalização do SAGA-GIS, permitindo definir corretamente a área de fluxo acumulado para a delimitação da Bacia do Sinos.

6.1.3.1 Preenchimento de falhas ou informações faltantes

Utilizando o comando *Close Gaps*, do SAGA-GIS, foi obtido o mosaico sem falhas ou informações faltantes. Este resultado está representado na figura 68.

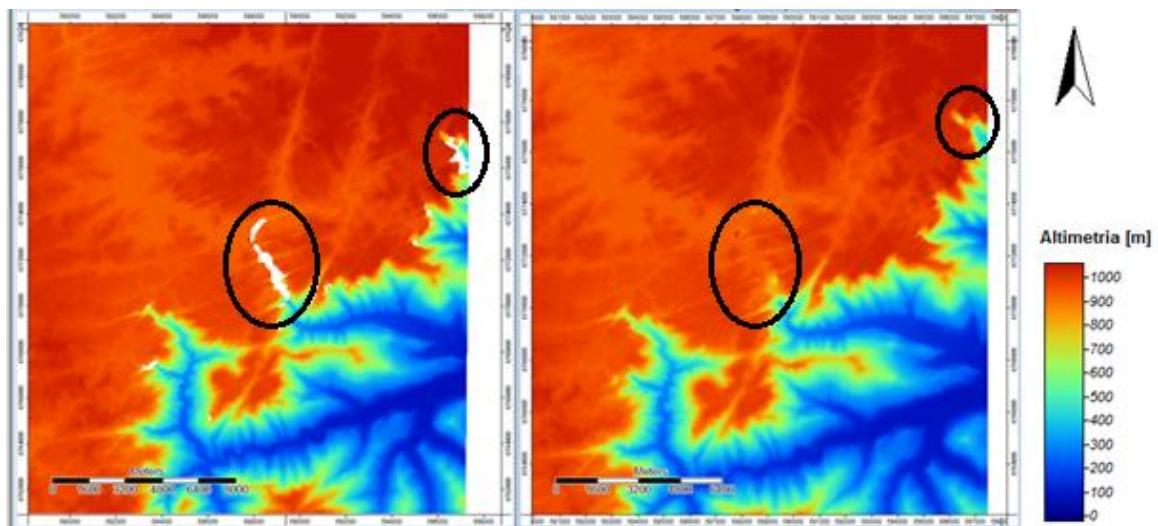
Figura 68 – Mosaico sem falhas ou sem informações faltantes



(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado obtido pelo comando *Close Gaps* foi satisfatório, pois, em comparação à imagem original, as informações são muito parecidas, ou seja, houve muita pouca perda de informação, estando o resultado das células preenchidas bem próximo ao original, conforme análise visual, com trecho do terreno em destaque na figura 69. Além disso, destaca-se a proximidade dos valores de altimetria entre o mosaico original e o mosaico preenchido, nas regiões próximas as falhas existentes no mosaico original. Assim, optou-se por não utilizar, por exemplo, o comando *Close Gaps With Spline*, o qual apresenta uma maior dificuldade de se ajustar os parâmetros.

Figura 69 – Comparação de trecho do terreno, entre o mosaico original e o mosaico com falhas preenchidas

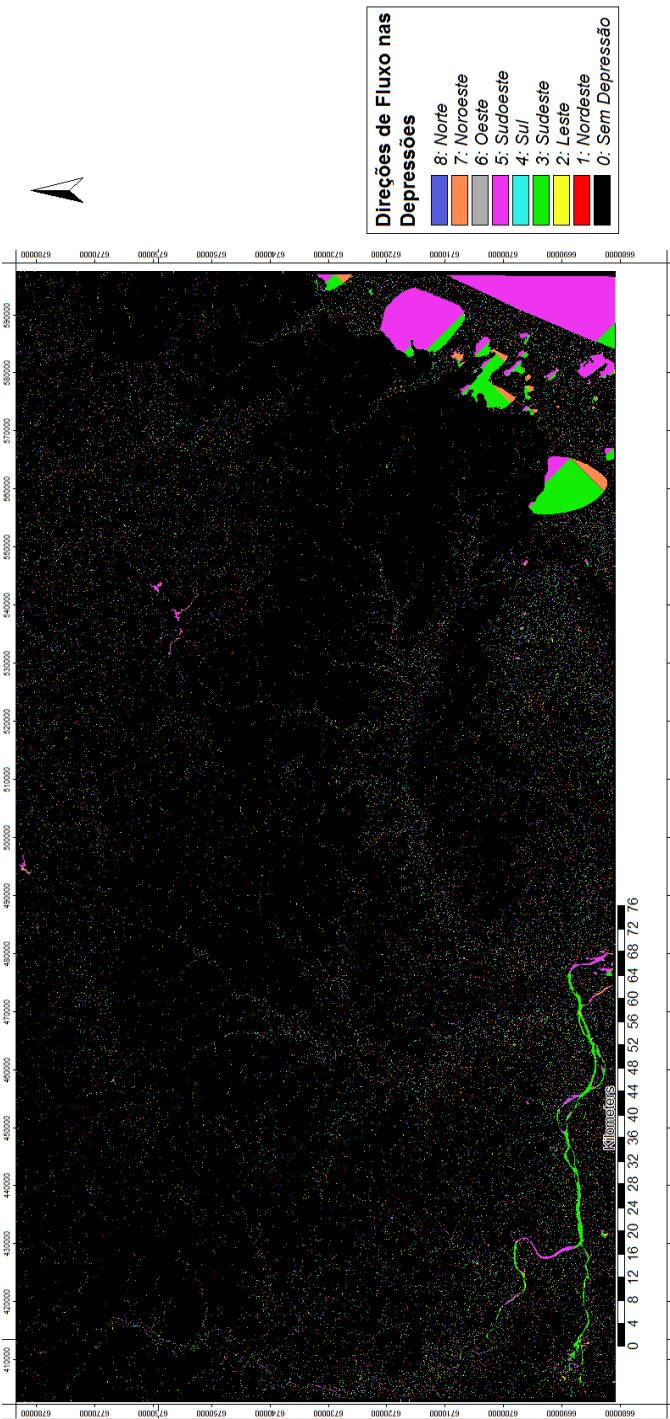


(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.3.2 Remoção de depressões

Após preencher os vazios ou falhas do mosaico, detectaram-se os locais de depressões do mosaico, com o comando *Sink Drainage Route Detection*, do SAGA-GIS, sendo obtido o seguinte mapa com a localização de depressões, conforme a figura 70.

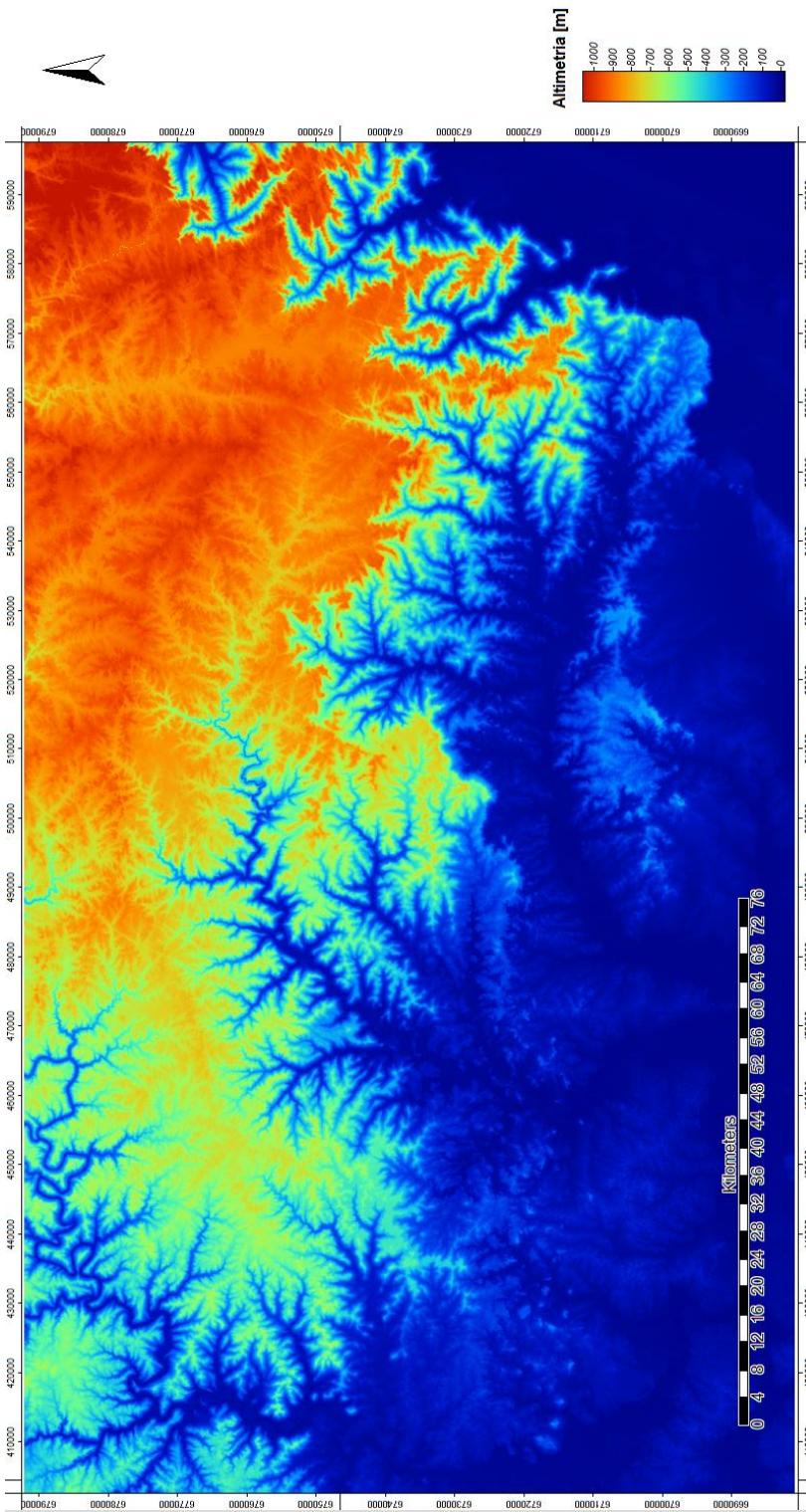
Figura 70 – Mapa de localização de depressões do mosaico



(fonte: elaborado pelo autor)

Localizadas as depressões, elas foram removidas pelo mesmo *software*, com o comando *Sink Removal*, com a opção *Deepen Drainage Route*, sendo obtido o mosaico sem falhas e sem depressões, segundo a figura 71.

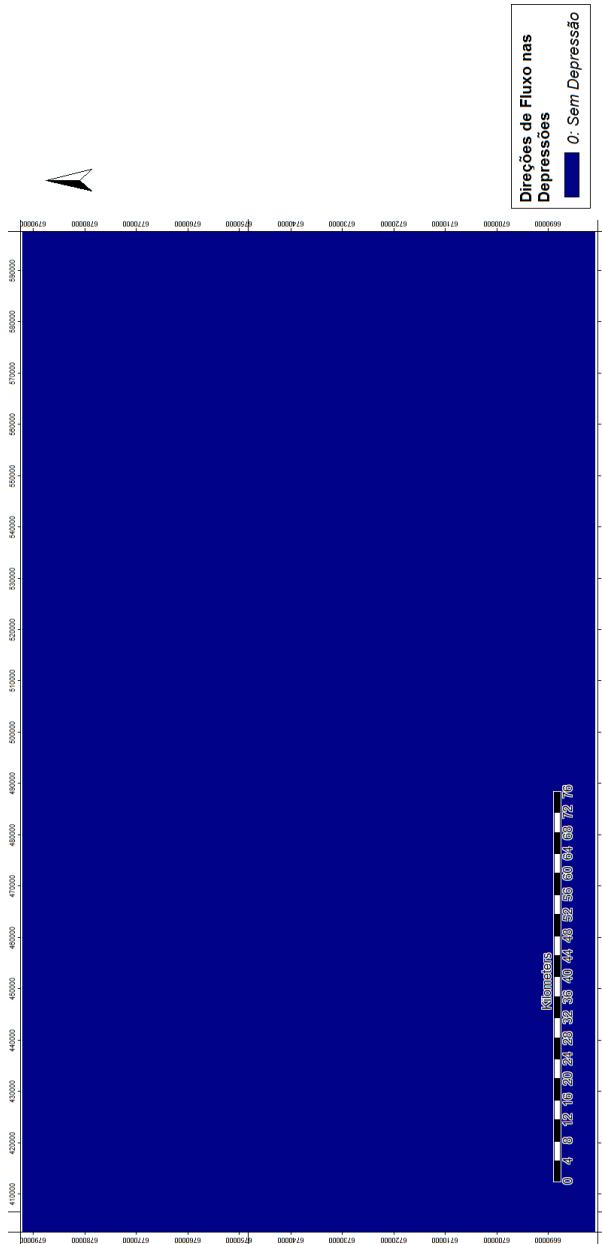
Figura 71 – Mosaico sem falhas e sem depressões



(fonte: elaborado pelo autor)

Para averiguar se as depressões do mosaico foram devidamente removidas, utilizou-se, novamente, a função *Sink Drainage Route Detection*, sendo obtido o seguinte mapa como resposta, indicado pela figura 72.

Figura 72 – Mapa de localização de depressões do mosaico, após execução de comando para removê-las



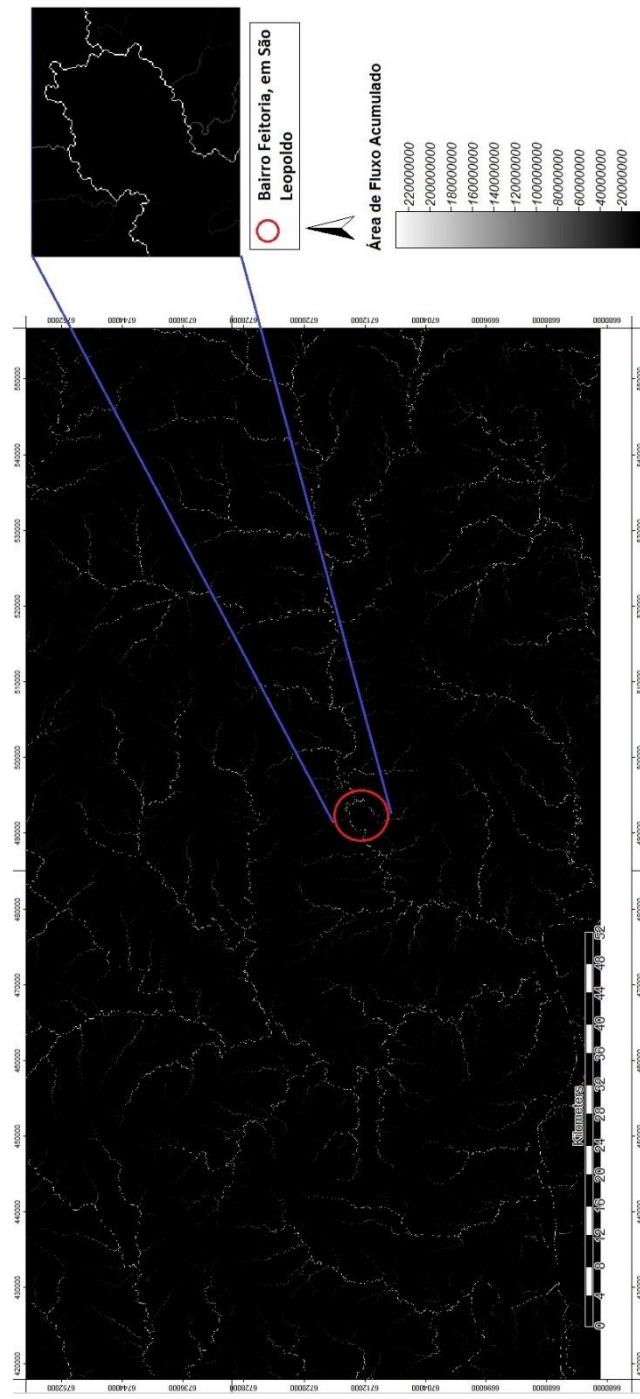
(fonte: elaborado pelo autor)

Este segundo mapa de localização de depressões obtido contém apenas valores nulos. Dessa forma, percebe-se que, de fato, as depressões que existiam no mosaico foram todas removidas com a função adotada (*Sink Removal*).

6.1.4 Área de fluxo acumulado

De posse do mosaico pré-processado, traçou-se a sua área de fluxo acumulado, por meio do comando *Catchment Area Top-Down*, selecionando-se a opção *Deterministic Infinite*. O mapa obtido este representado na figura 73, a seguir.

Figura 73 – Mapa de área de fluxo acumulado, com destaque para a região nas proximidades do bairro feitoria de São Leopoldo



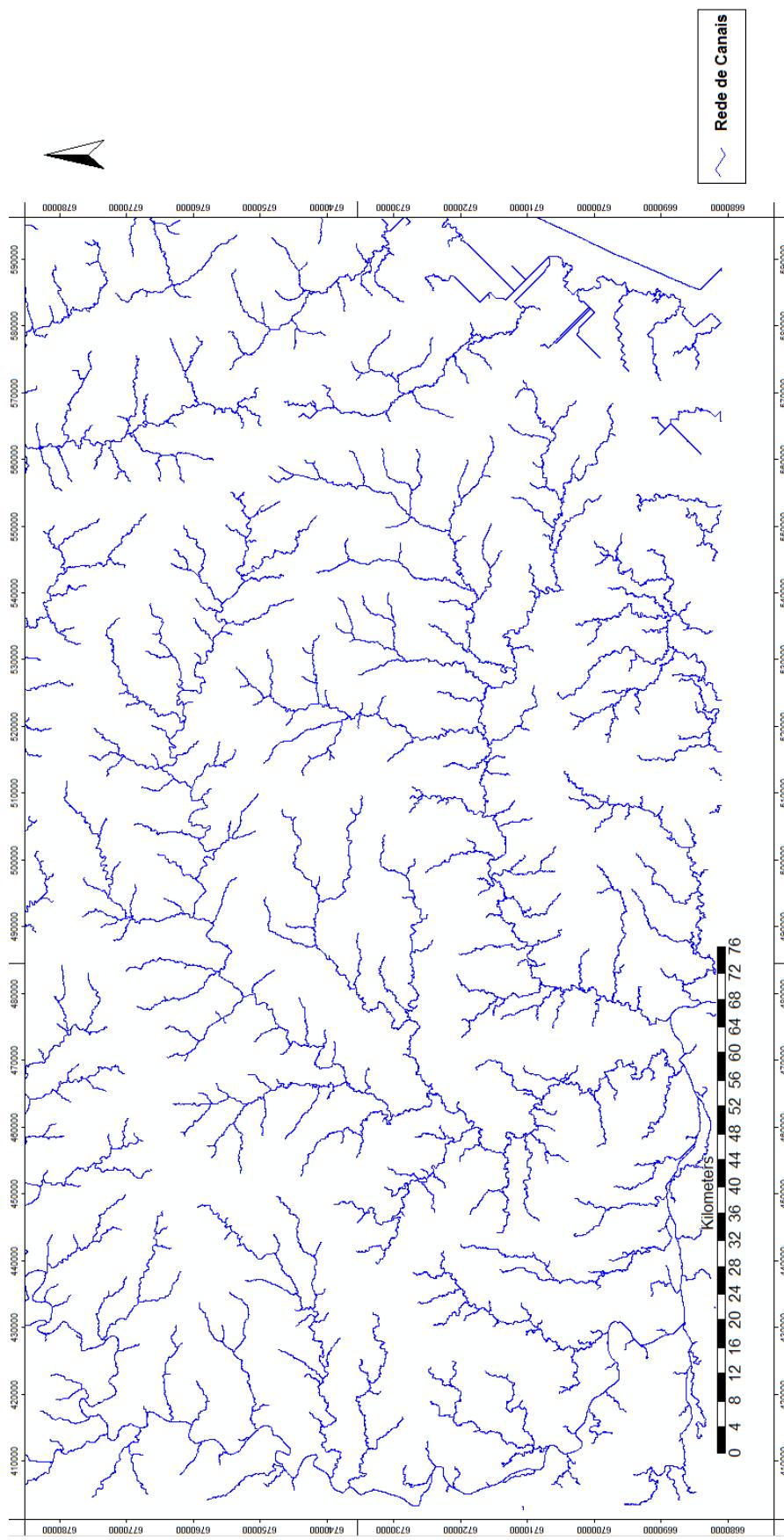
(fonte: elaborado pelo autor)

O mapa de área de fluxo acumulado traçado demonstra uma hidrografia clara, com as linhas de fluxo bem definidas, sem saltos ou falhas. Assim, de acordo com o resultado obtido para a área de fluxo acumulado, pode-se inferir a eficiência das técnicas de pré-processamento empregadas em que, as falhas preenchidas permitiram um traçado contínuo das linhas de fluxo, respeitando o relevo do mosaico original. O preenchimento das depressões com a técnica de escavar suas bordas também foi uma escolha eficiente, pois preservou os talvegues, de forma a não causar dúvidas no algoritmo *Deterministic Infinite* quanto ao sentido de fluxo do escoamento. Além disso, a escolha do algoritmo *Deterministic Infinite*, para traçar a área de fluxo acumulada, foi importante, pois permitiu a formação de uma rede de drenagem sem fluxos paralelos (problema que afeta algoritmos complexos como o DEMON) e bem definida em suas intersecções, dividindo o fluxo de forma ponderada, mais próximo de que ocorre no mundo real (ao contrário de algoritmos muito simplificados como o D8). Também foi significativa a escolha do comando *Catchment Area Top-Down* do SAGA-GIS, pois permitiu uma correta avaliação altimétrica do terreno, analisando de seu ponto mais alto ao mais baixo, para a definição da área de fluxo acumulado de montante para jusante, ao longo do MDT.

6.1.5 Rede de canais e fluxo de canais

Com a área de fluxo cumulada definida e o mosaico pré-processada, foram traçadas a rede de canais e um mapa indicativo das direções de fluxo dos canais. O *shapefile* com a rede de canais e o *grid* com as direções de fluxo nestes canais estão representados nas figuras 74 e 75.

Figura 74 – Shapefile da rede de canais de drenagem



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 75 – Mapa com as direções de fluxos nos canais da rede de drenagem



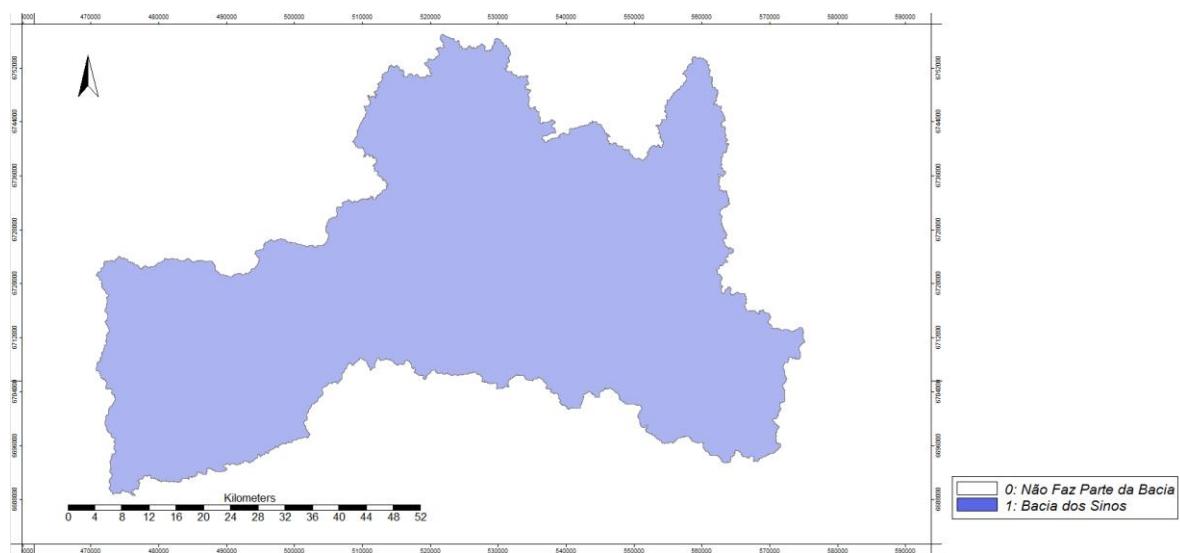
(fonte: elaborado pelo autor)

Analizando o *shapefile* obtido para a rede de canais, percebe-se que foi uma boa escolha a do valor de 10.000.000 para o *Initial Threshold*. Com este valor são representados, de maneira destacada, apenas as principais linhas de fluxo da rede de drenagem, facilitando a compreensão do usuário. Já, com o mapa de direções de fluxo nos principais canais, percebe-se a eficiência das técnicas de pré-processamento empregadas que, juntamente com o algoritmo e comando escolhido para a delimitação da área de fluxo acumulado, permitiram o traçado de linhas de escoamento contínuas, claras, sem fluxos paralelos e com um sentido de escoamento bem definido, de acordo com as características altimétrica do MDT.

6.1.6 Delimitação da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos

Com a utilização do comando *Watershed Basins*, do SAGA-GIS, tendo como dado de entrada o mosaico pré-processado e a rede de canais como sendo o mapa de valores nulos (exceto por uma célula que apresenta valor de -1 exatamente sobre o ponto definido como o exutório da Bacia do Sinos), obteve-se a delimitação da Bacia do Sinos, conforme indicado pela figura 76.

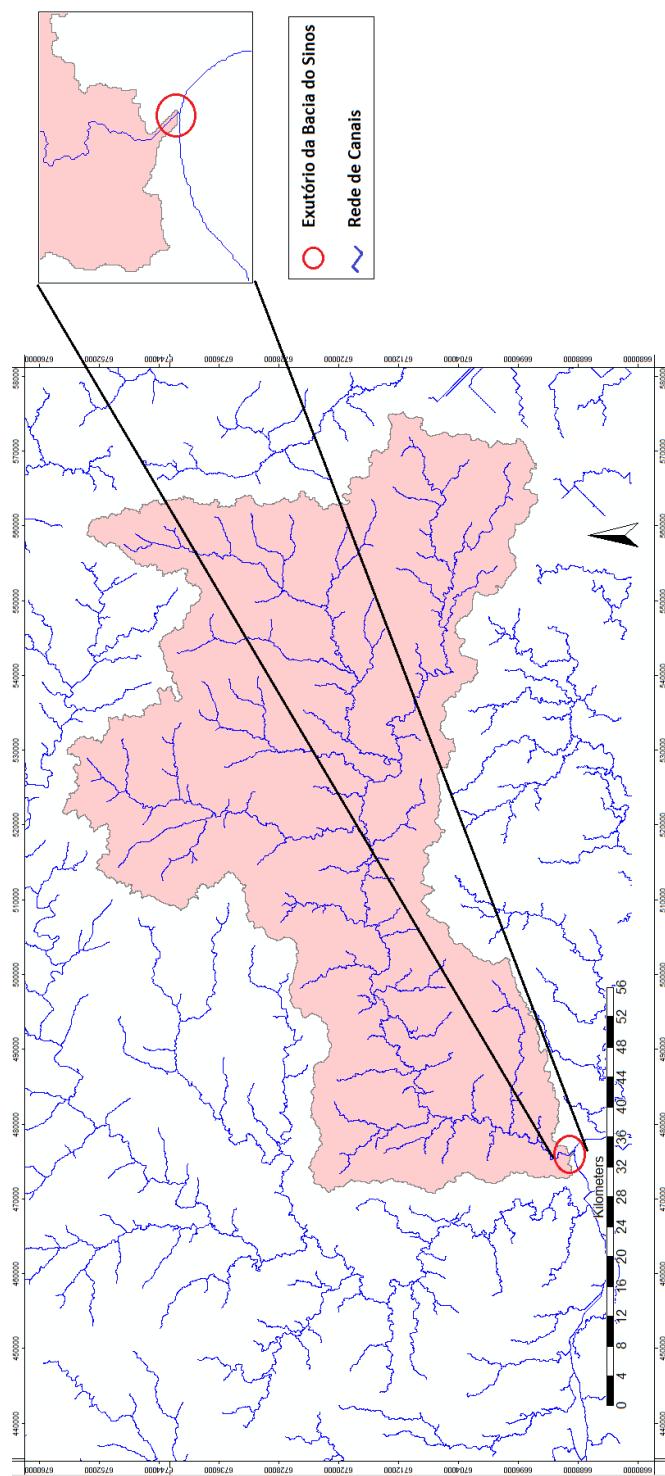
Figura 76 – Mapa de delimitação da Bacia do Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

Ao analisarmos o *shapefile* da rede de canais sobreposto ao mapa de delimitação da Bacia do Sinos, segundo a figura 77, observa-se a concordância da rede de drenagem com a delimitação da Bacia, estando o seu exutório bem definido.

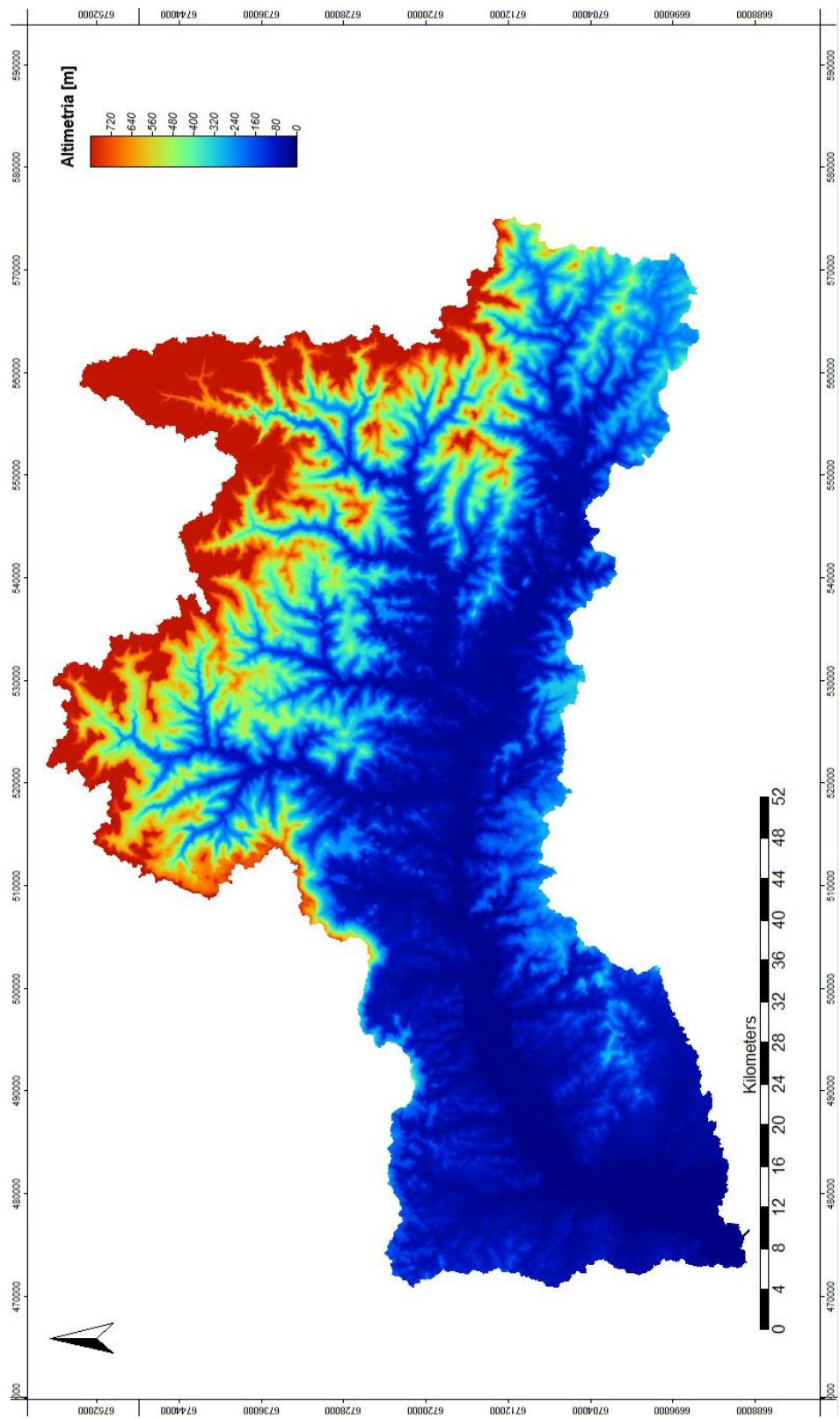
Figura 77 – *Shapefile* da rede de canais sobreposto ao mapa de delimitação da Bacia dos Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

Com a delimitação da Bacia, utilizou-se *shapefile* formado por essa delimitação como molde para recortar a altimetria do terreno com o contorno da Bacia, pelo comando *Clip Grid With Polygon* sendo obtido o seguinte mapa 78.

Figura 78 – MDT da altimetria com o contorno da Bacia do Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 INFLUÊNCIAS DO TIPO DE SOLO EM ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO

Dentre os tipos de solo identificados ao longo da Bacia do Sinos, os Gleissolos e os Planossolos estão localizados na parte do Baixo Sinos, a qual apresenta as características de altimetria mais baixas da bacia. A cidade de São Leopoldo encontra-se nesta porção mais plana da Bacia do Sinos, apresentando Planossolos e Gleissolos nas margens do Sinos, conforme é identificado pela figura 56. De acordo com a análise das características desses solos, os quais possuem uma precária condição de drenagem, alto nível do lençol freático e elevado grau de saturação, percebe-se a influência que exercem para o aceleramento das enchentes do Sinos. Assim, é notória a interferência negativa da presença de Planossolos e Gleissolos para o bairro Feitoria, em São Leopoldo, o qual apresenta frequentes alagamentos em virtude das cheias do Rio do Sinos.

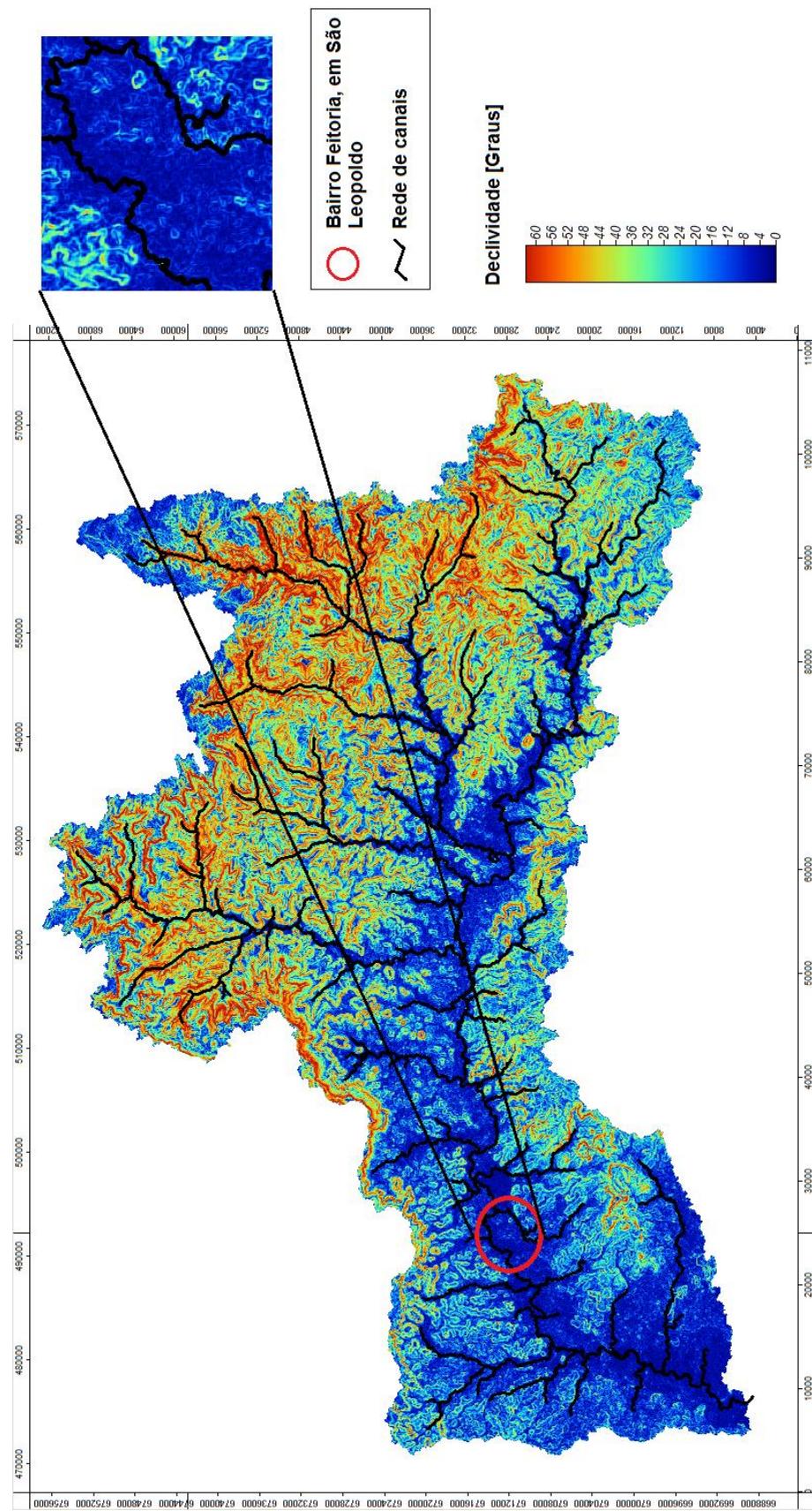
6.3 VERTENTES

Para a análise das vertentes da área de estudo, foram extraídas diversas características morfológicas a partir de seu MDT como, a declividade o aspecto, as curvaturas verticais e horizontais e as formas de terreno. Esses resultados serão apresentados e analisados nas divisões deste item.

6.3.1 Declividade

Para cálculo da declividade da Bacia do Sinos, utilizou-se o comando *Slope*, *Apsect*, *Curvature* do SAGA-GIS, sendo obtido o seguinte resultado, conforme a figura 79.

Figura 79 – Mapa de declividade da Bacia do Sinos, com destaque para a região do bairro Feitoria de São Leopoldo



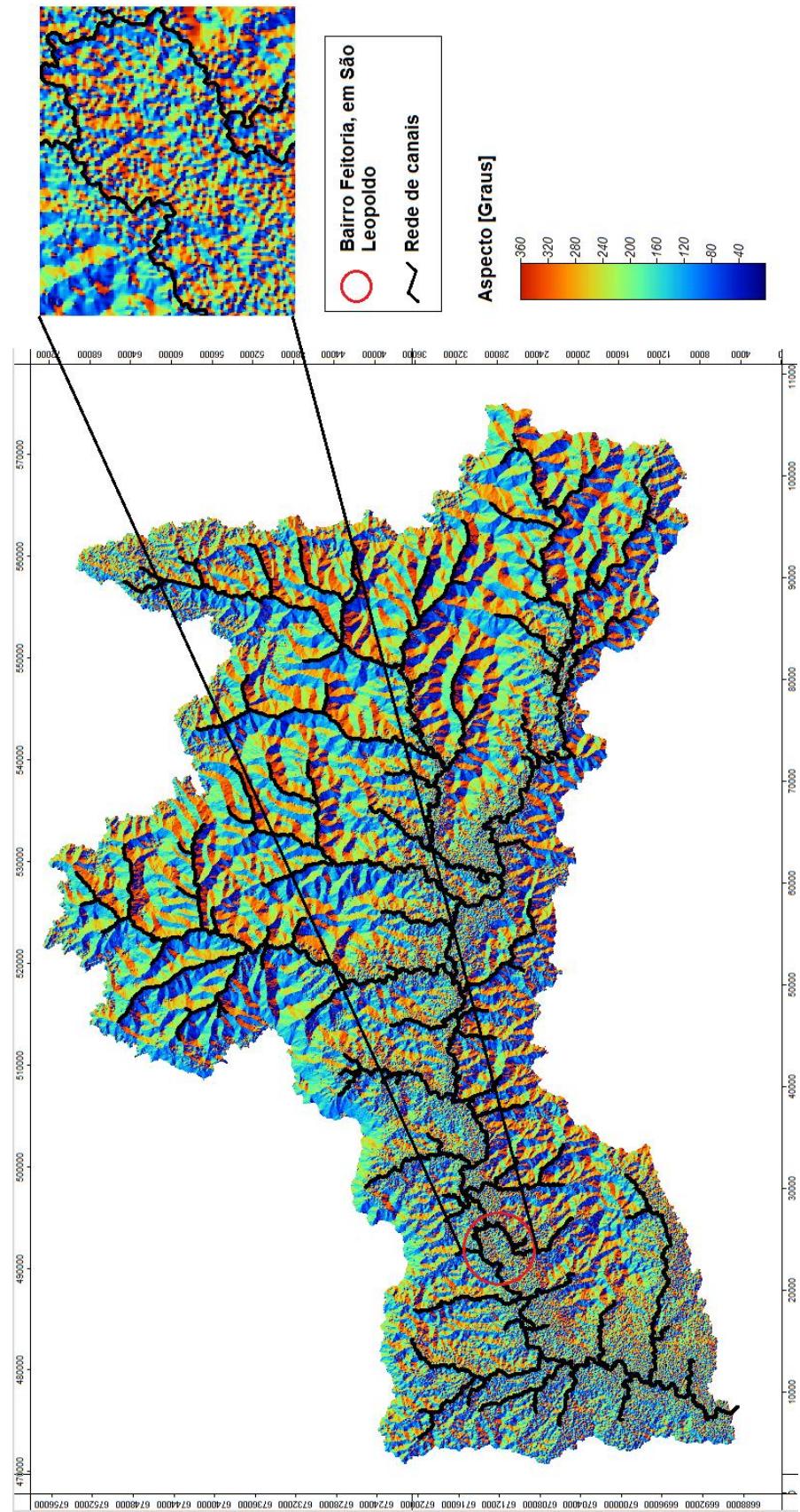
(fonte: elaborado pelo autor)

De posse do mapa de declividades da Bacia do Sinos, pode-se averiguar o caráter plano predominante ao longo do Rio dos Sinos, especialmente em sua parte baixa, na qual se localiza o bairro Feitoria de São Leopoldo. Assim, nas regiões de relevo mais plano, o rio tenderá a acumular sedimentos, propiciando a formação de meandros e facilitando os processos de cheias que influem em alagamentos e inundações. Além disso, terá menor velocidade e, pelo caráter plano, apresentará uma maior planície de inundaçāo na época das cheias, devendo ser previsto uma maior distância em relação ao leito do rio para a construção de edificações.

6.3.2 Aspecto ou orientação de vertentes

Para cálculo do aspecto da Bacia do Sinos, utilizou-se o comando *Slope*, *Apsect*, *Curvature* do SAGA-GIS, sendo obtido o seguinte resultado, conforme a figura 80.

Figura 80 – Mapa de aspectos da Bacia do Sinos, com destaque para a região do bairro Feitoria de São Leopoldo



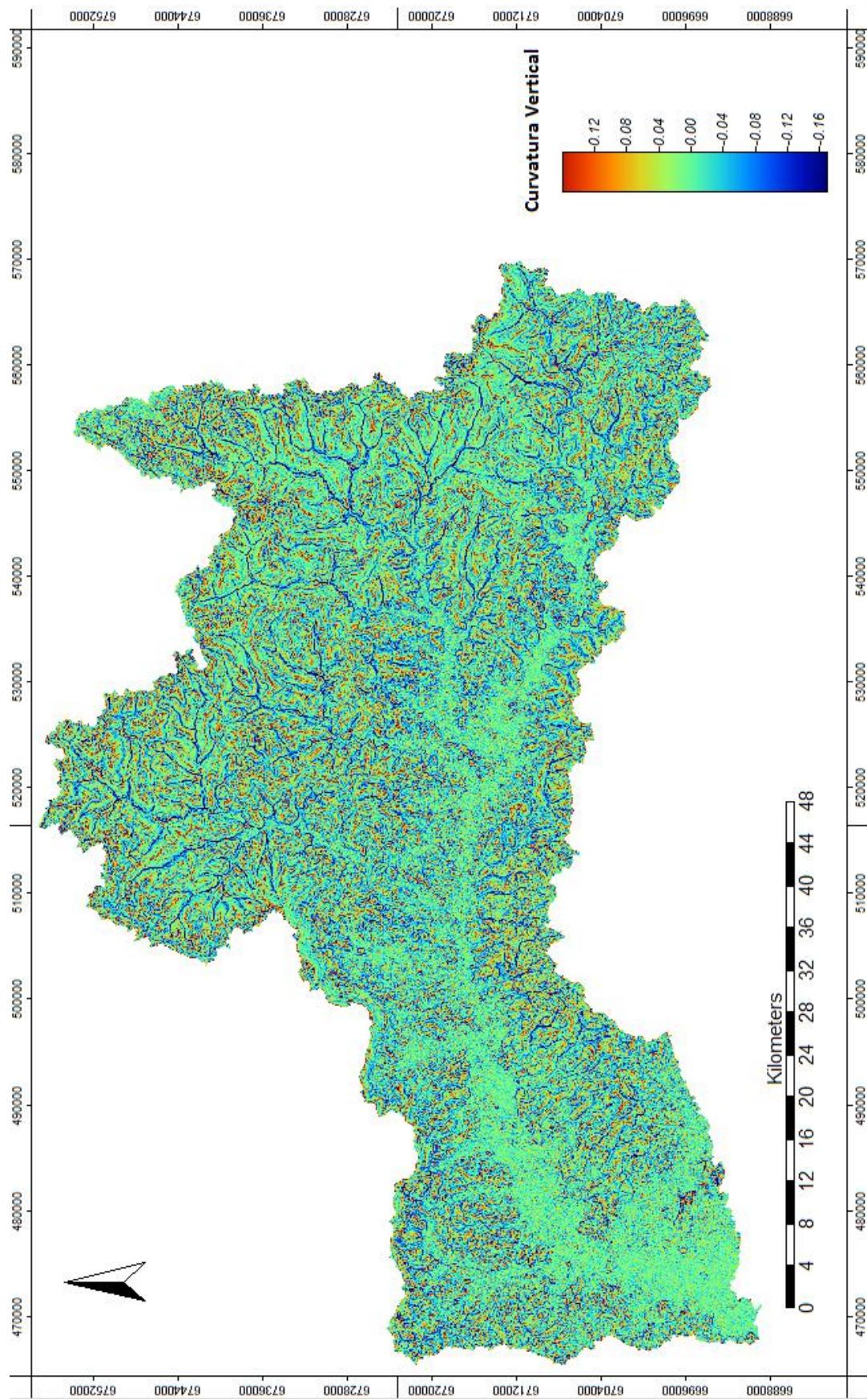
(fonte: elaborado pelo autor)

Com a análise do mapa de aspectos da Bacia do Sinos, devido a característica plana da região do baixo Sinos, na qual localiza-se o bairro feitoria de São Leopoldo, percebe-se uma indefinição quanto as direções de fluxo, havendo uma grande aleatoriedade de valores. Isso evidencia a dificuldade para a definição das linhas de fluxo do terreno para esta região. Mais uma vez, ressalta-se a escolha correta feita para as técnicas de pré-processamento adotadas, bem como para a utilização do comando *Catchment Area Top-Down* com o algoritmo *Deterministic Infinite* para a delimitação da área de fluxo acumulada, a qual foi, previamente, determinada com êxito. Essa indefinição de fluxo também facilita o acúmulo de água, acelerando os processos de enchentes que influenciam a ocorrência de inundações e alagamentos.

6.3.3 Curvatura vertical

Por meio do *Software SAGA-GIS*, com o comando *Slope, Aspect, Curvature*, foi obtida a Curvatura Vertical para a Bacia do Sinos, conforme a figura 81.

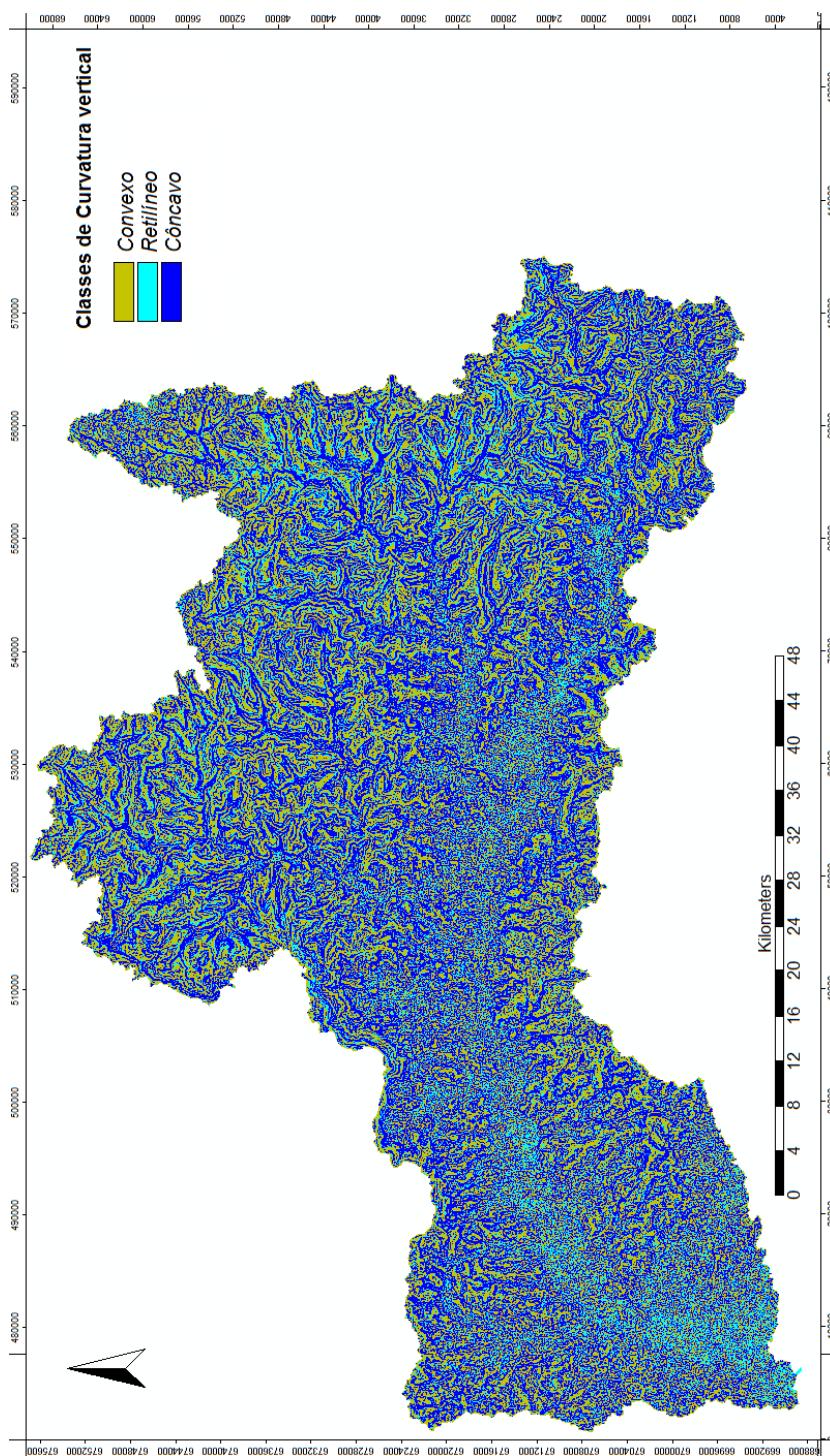
Figura 81 – Mapa de curvatura vertical da Bacia do Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

Reclassificando o mapa de Curvatura Vertical, foi obtida a seguinte classificação para as formas verticais de terreno da Bacia do Sinos, segundo a figura 82.

Figura 82 – Classificação do mapa de curvatura vertical da Bacia do Sinos

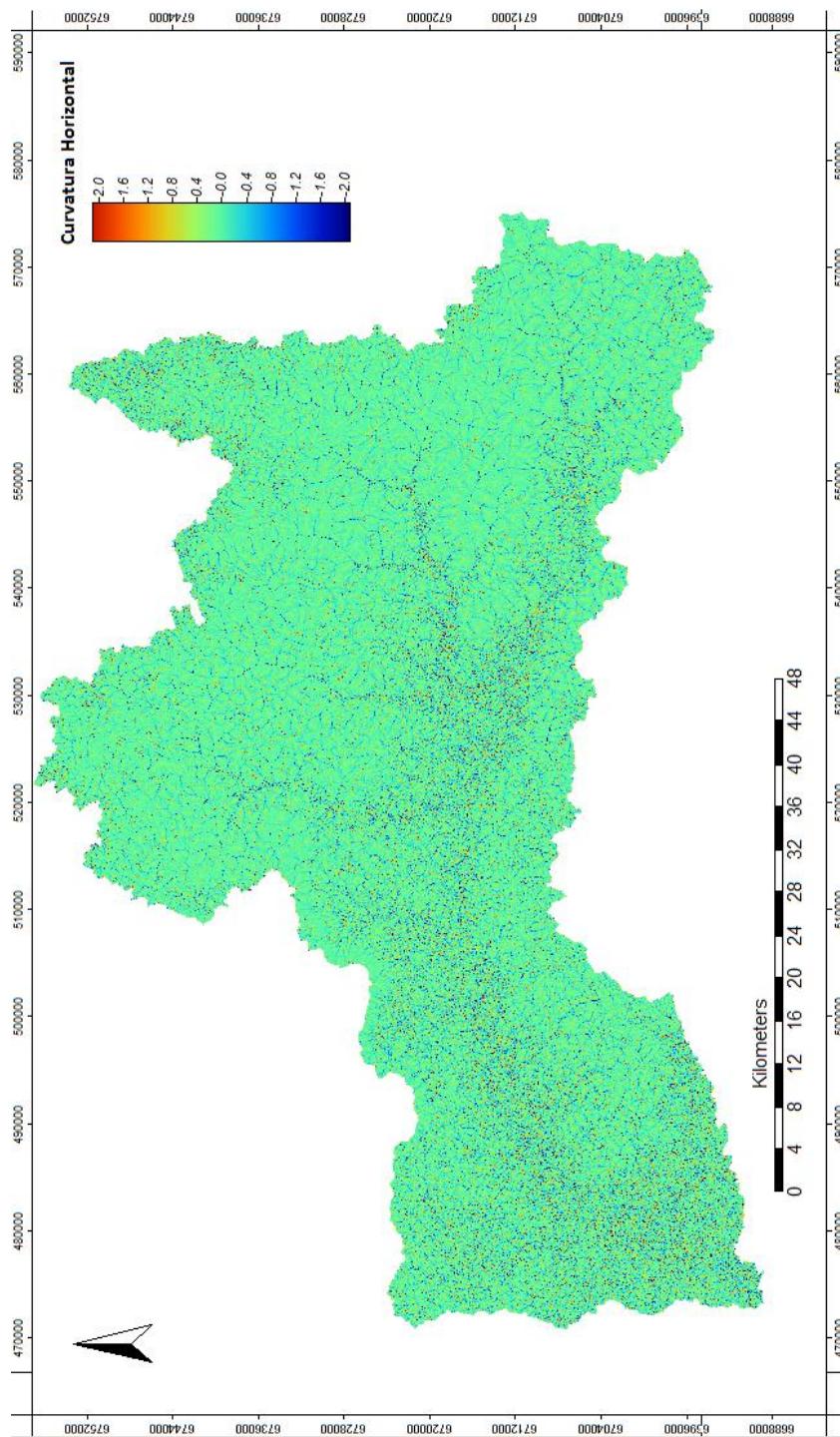


(fonte: elaborado pelo autor)

6.3.4 Curvatura horizontal

Por meio do *Software SAGA-GIS*, com o comando *Slope*, *Aspect*, *Curvature*, foi obtida a Curvatura Horizontal para a Bacia do Sinos, conforme a figura 83.

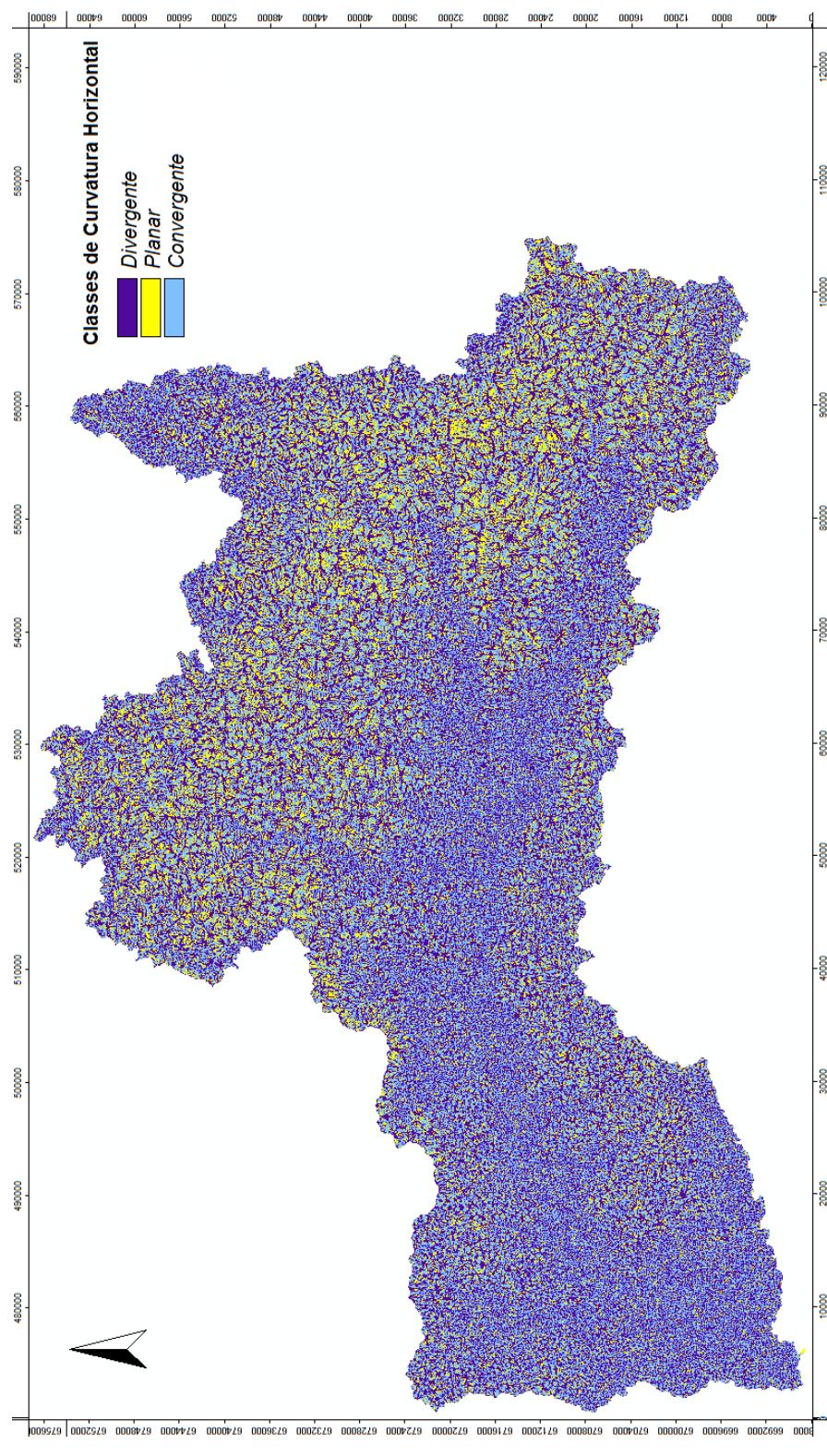
Figura 83 – Mapa de curvatura horizontal da Bacia do Sinos



(fonte: elaborado pelo autor)

Reclassificando o mapa de Curvatura Vertical, foi obtida a seguinte classificação para as formas verticais de terreno da Bacia do Sinos, segundo a figura 84.

Figura 84 – Classificação do mapa de curvatura horizontal da Bacia do Sinos

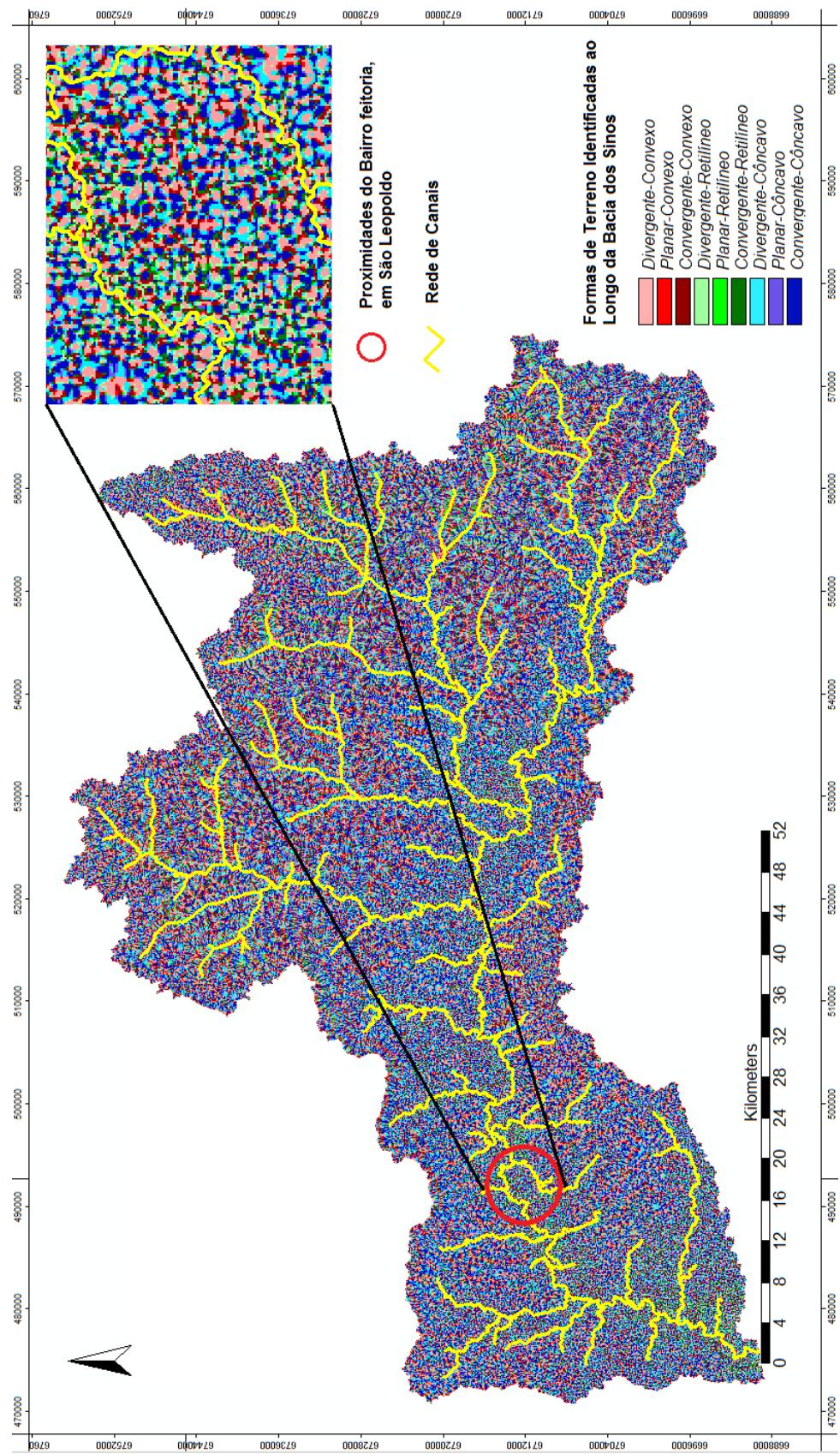


(fonte: elaborado pelo autor)

6.3.5 Formas de terreno identificadas ao longo da Bacia do Sinos, com destaque para o Bairro Feitoria, em São Leopoldo

As formas de terreno encontradas ao longo da Bacia do Sinos, de acordo com a combinação dos mapas de curvatura vertical e de curvatura horizontal, estão indicadas na figura 85. Na região do bairro Feitoria, em São Leopoldo, as principais formas de terreno identificadas foram: convergente-côncavo, divergente-convexo; divergente-côncavo, convergente-retilíneo e divergente-retilíneo. Dentre essas formas, as predominantes são a convergente-côncava e a divergente-convexa.

Figura 85 – Classificação do mapa de formas de terreno da Bacia do Sinos, com destaque para o bairro Feitoria de São Leopoldo



(fonte: elaborado pelo autor)

As formas de terreno que apresentam perfil com característica retilínea auxiliam o processo de enchentes, pois, segundo Silva Neto (2013) permitem um alinhamento do escoamento superficial, facilitando o seu fluxo. Já, as formas de terreno que apresentarem um perfil côncavo, são propensas a causarem inundações devido a sua característica de acumulação de água, resultando em aumento de nível dos corpos d'água e num maior fluxo, possibilitando o transporte de maiores sedimentos para os canais de drenagem à jusante (SILVA NETO, 2013). Além disso, as formas de terreno que, com relação a sua projeção horizontal, apresentarem um caráter convergente, também serão danosas aos processos de alagamentos e inundações, pois propiciarão um maior fluxo de água na região, à medida que os fluxos tenderão a serem desaguados todos numa mesma área (VALERIANO c2008a; SILVA NETO, 2013). Assim sendo, devido à presença de formas de terreno com característica convergente-côncava, divergente-côncava, convergente-retilíneo e divergente-retilíneo, constata-se a propensão natural do terreno em facilitar às enchentes do Rio dos Sinos e, consequentemente, gerar alagamentos e inundações ribeirinhas no bairro Feitoria, em São Leopoldo.

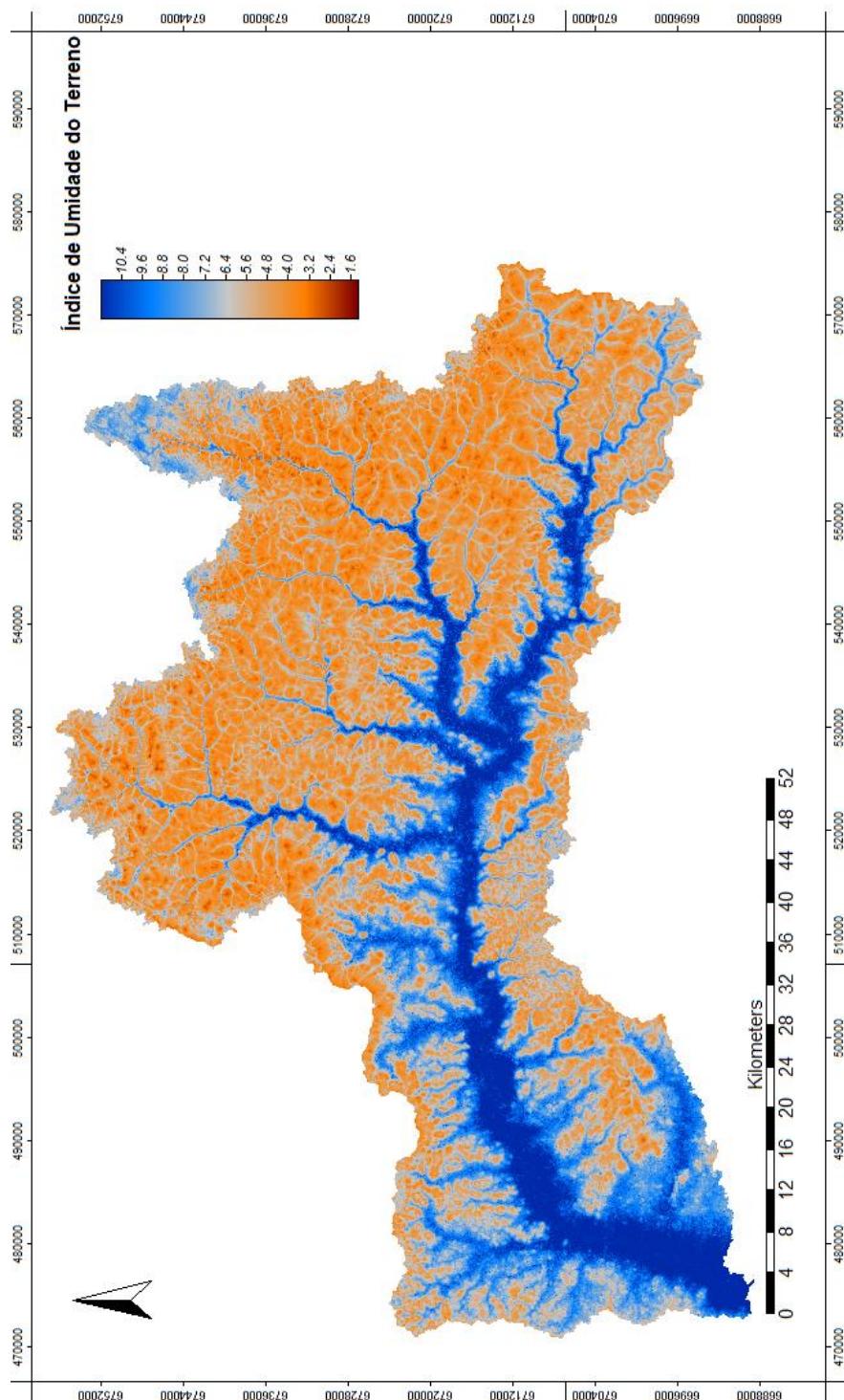
6.4 PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Foram obtidos diversos resultados para determinação da planície de inundação do Rio dos Sinos. Esses resultados estão descritos a seguir, nas divisões deste item.

6.4.1 Índice de umidade do terreno

O mapa de Índice de Umidade do Terreno obtido para a Bacia do Sinos, com o comando SAGA *Wetness Index*, está representado na figura 86.

Figura 86 – Mapa de índice de umidade da Bacia do Sinos

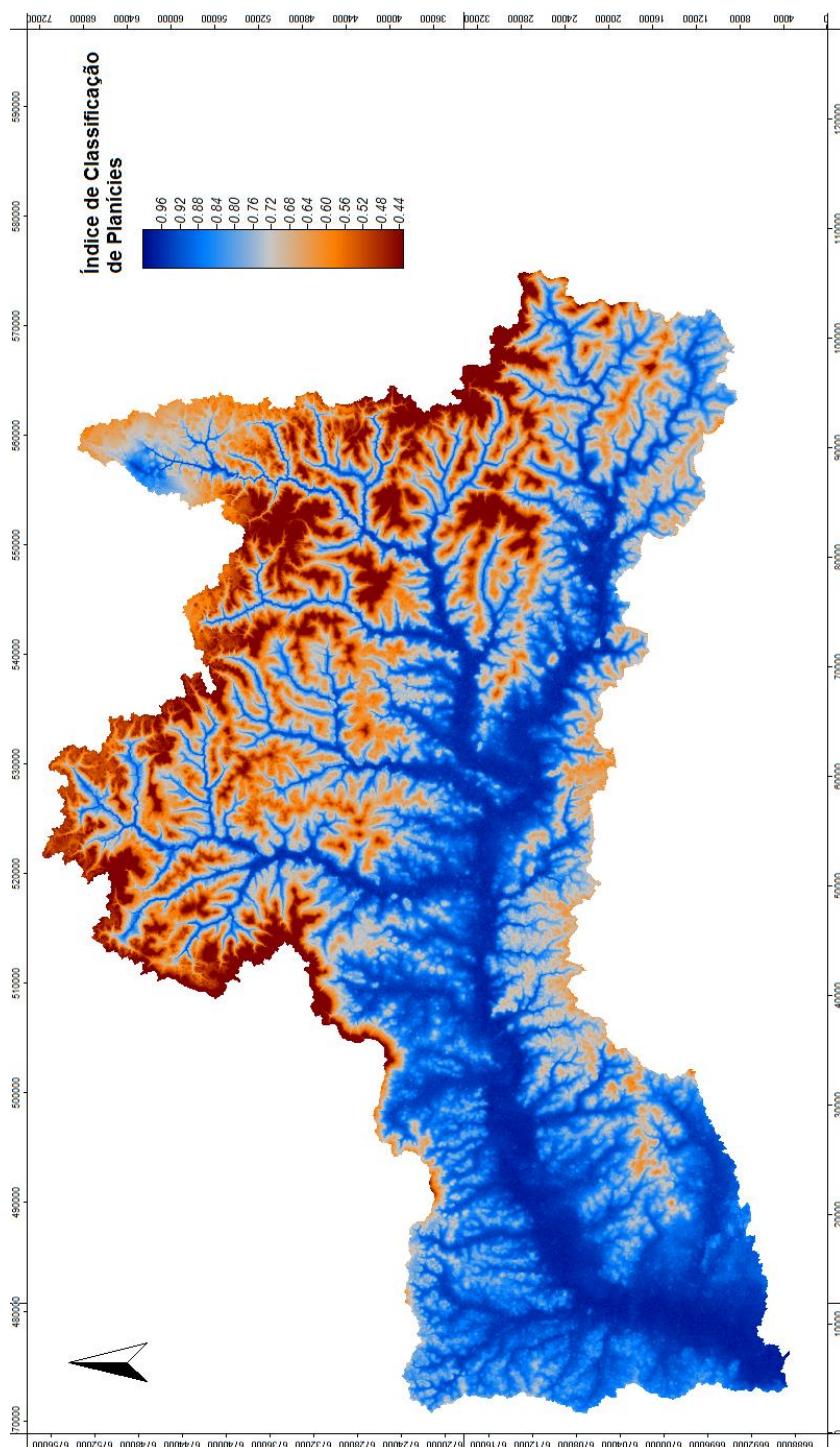


(fonte: elaborado pelo autor)

6.4.2 Índice de classificação de planícies

O mapa de Índice de Classificação de Planícies obtido para a Bacia do Sinos, com o comando *TCI Low*, está representado na figura 87.

Figura 87 – Mapa de índice de classificação de planícies da Bacia do Sinos



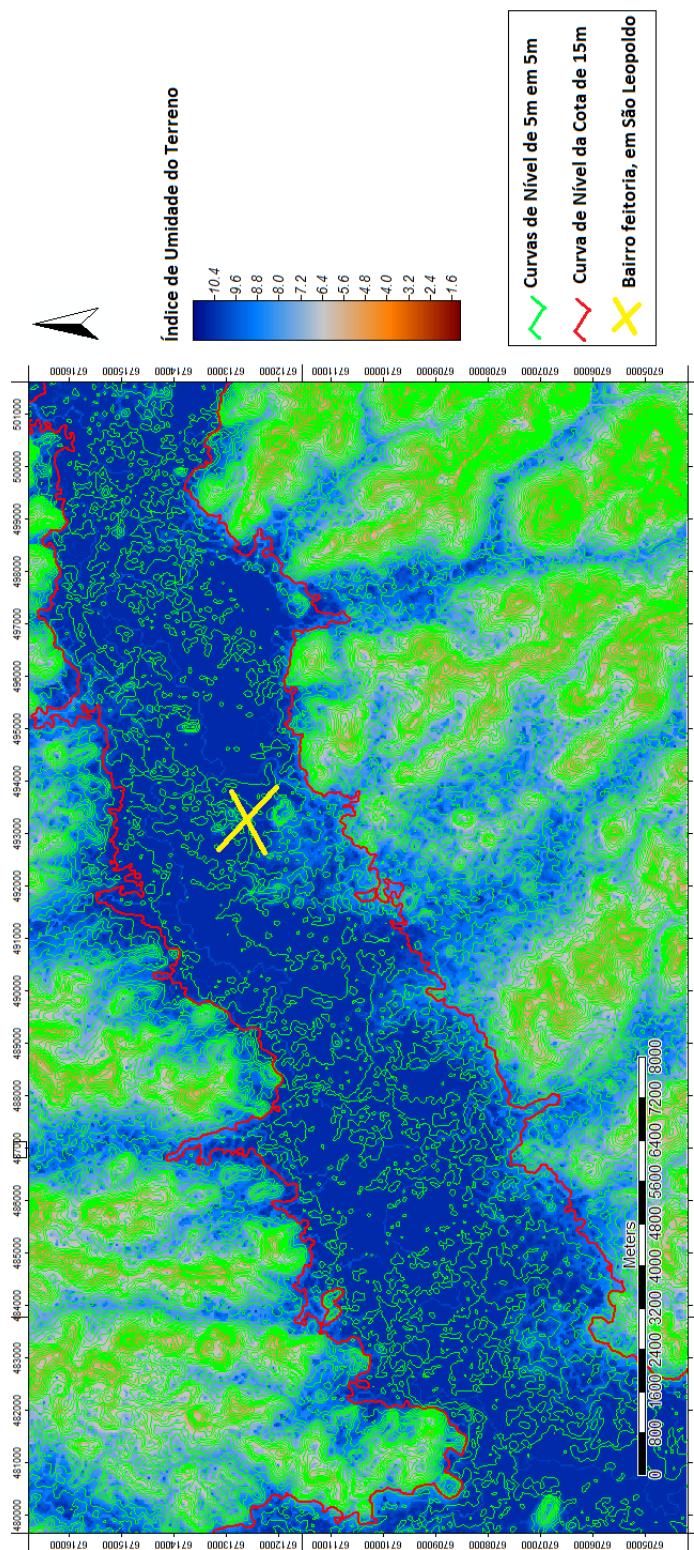
(fonte: elaborado pelo autor)

6.4.3 Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos

De acordo com os valores de umidade obtidos para as duas margens do Rio dos Sinos, ao analisarmos o mapa do Índice de Umidade sobreposto às curvas de 5 m em 5 m, tendo como referência a curva de nível de 15 m (próxima aos limites da planície de inundação), conforme

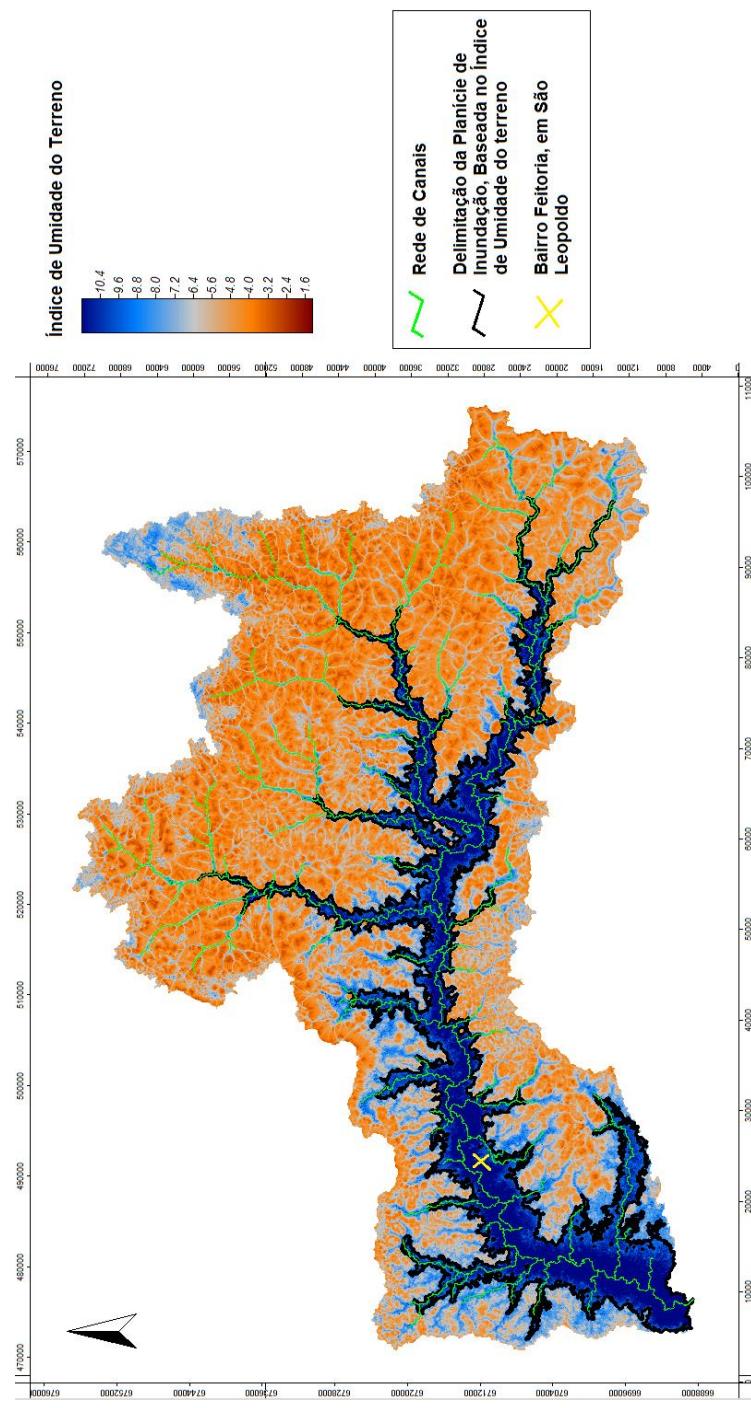
indicado pela figura 88), chegou-se a uma delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos. Esta delimitação está indicada na figura 89.

Figura 88 – Mapa de índice de umidade da Bacia do Sinos sobreposto às curvas de nível de 5 em 5 metros, com destaque para a curva de cota 15 m



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 89 – Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos, baseada no mapa de índice de umidade, sobreposta a este mesmo mapa

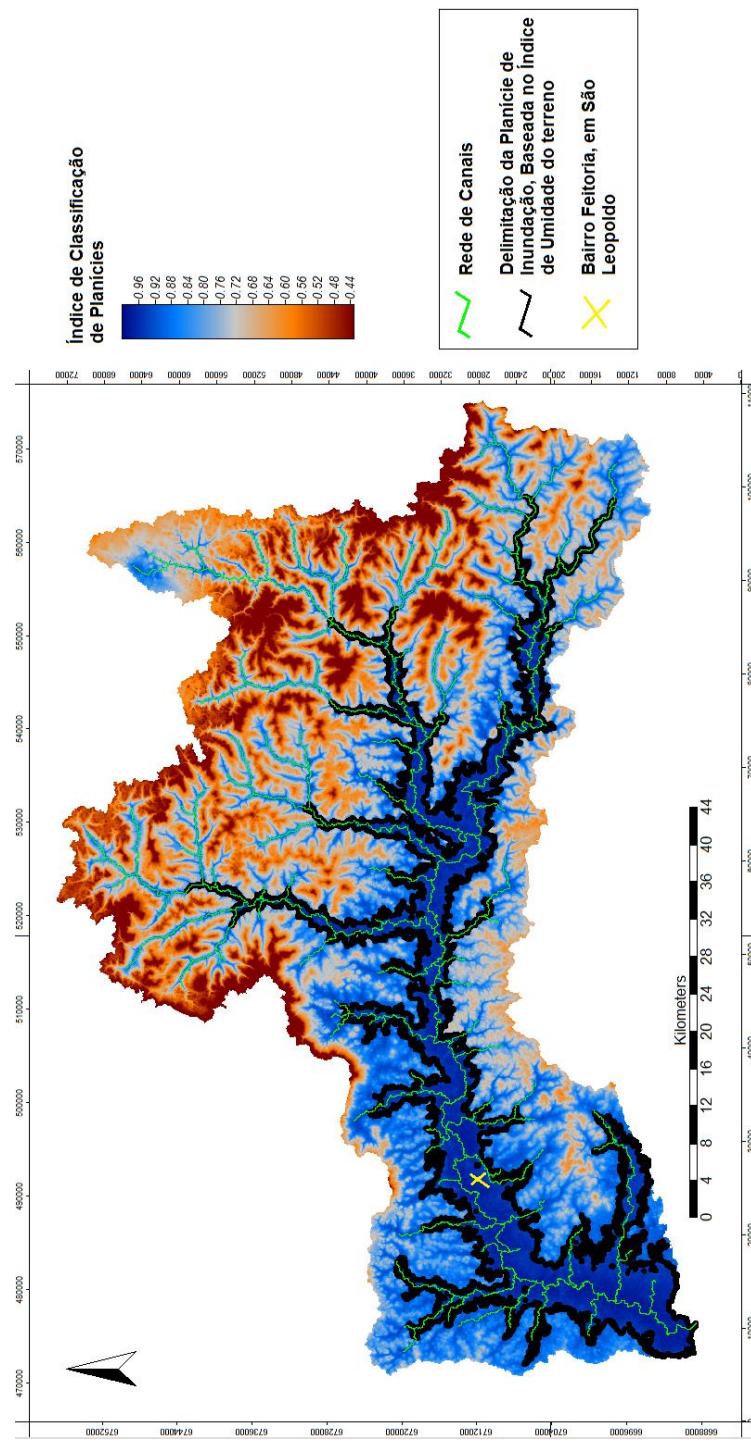


(fonte: elaborado pelo autor)

De posse do *shapefile* da Planície de Inundação (baseado no Índice de Umidade do terreno), efetuou-se sua sobreposição sobre o mapa do Índice de Classificação de Planícies, conforme a figura 90. Dessa forma averiguou-se uma grande proximidade entre este *shapefile* em relação as regiões que apresentam maiores variação do mapa de Índice de Classificação de Planícies. Assim, este resultado dá suporte a planície de inundação, previamente delimitada, de acordo

com a análise da sobreposição das curvas de nível de 5 m em 5 m sobre o mapa do Índice de Umidade do Terreno.

Figura 90 – Delimitação da planície de inundação do Rio dos Sinos, baseada no índice de umidade, sobreposta ao mapa de classificação de planícies

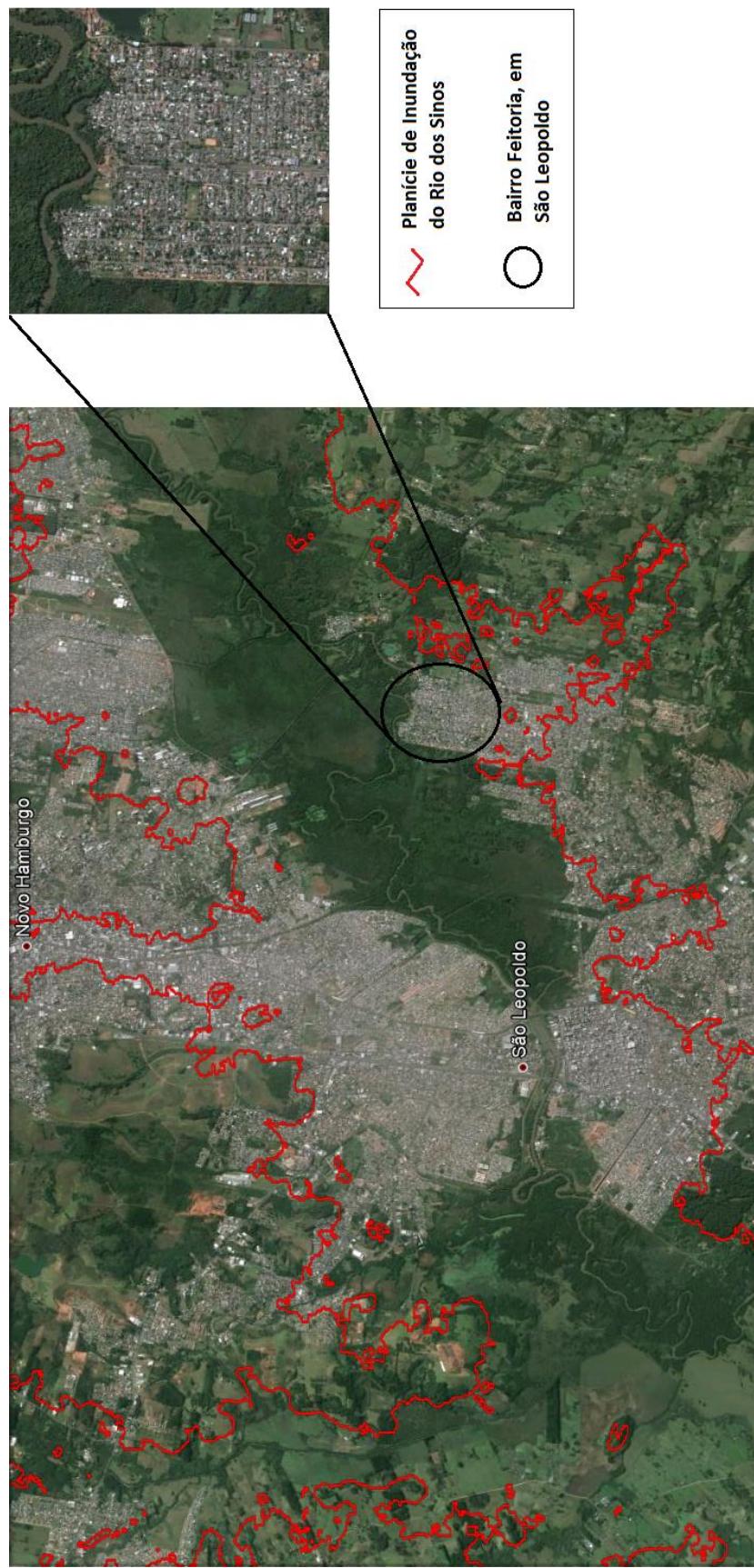


(fonte: elaborado pelo autor)

Delimitada a planície de inundação do Rio dos Sinos, pode-se averiguar sua influência no bairro Feitoria de São Leopoldo, de acordo com as figuras 88 e 89. Analisando essas figuras, percebe-se que este bairro está inserido dentro da planície de inundação do Rio dos Sinos, como é ressaltado pela figura 91.

Assim, na época das cheias do rio, o bairro Feitoria de São Leopoldo está sujeito às inundações ribeirinhas, causando diversos transtornos às populações que habitam a região, em geral de baixa renda. Diante desse cenário, fica evidente o mau planejamento habitacional para este bairro, em que não foram impostos pelas autoridades limites de ocupação, de acordo com os níveis de inundação do Rio dos Sinos e com a finalidade de uso do solo da área, conforme é proposto por Tucci (2009), ilustrado pela figura 6, havendo inclusive moradias populares do Programa Minha Casa, Minha Vida construídas dentro dos limites desta planície de inundação. Assim, seriam evitados os impactos de inundações ribeirinhas pela construção de moradias na planície de inundação do rio e, ao mesmo tempo, seria possível aproveitar o seu leito maior para a construção de praças, parques (facilitando a infiltração da água da chuva e criando espaços de lazer) e até mesmo de dispositivos como bacias de detenção ou retenção (reduzindo o volume de escoamento superficial e atenuando o pico de vazão na época das chuvas), conforme proposto, também, por Tucci (2009), ilustrado pela figura 7, gerando menos alagamentos nas cidades.

Figura 91 – Planície de inundação do Rio dos Sinos delimitada, com destaque para o bairro Feitoria, em São Leopoldo



(fonte: elaborado pelo autor)

6.5 USO DE DADOS DE MAIOR ACURÁCIA APLICADOS A ÁREA DE ESTUDO

As análises e resultados obtidos com o uso de dados de maior acurácia está descrito nos itens a seguir.

6.5.1 Características do terreno

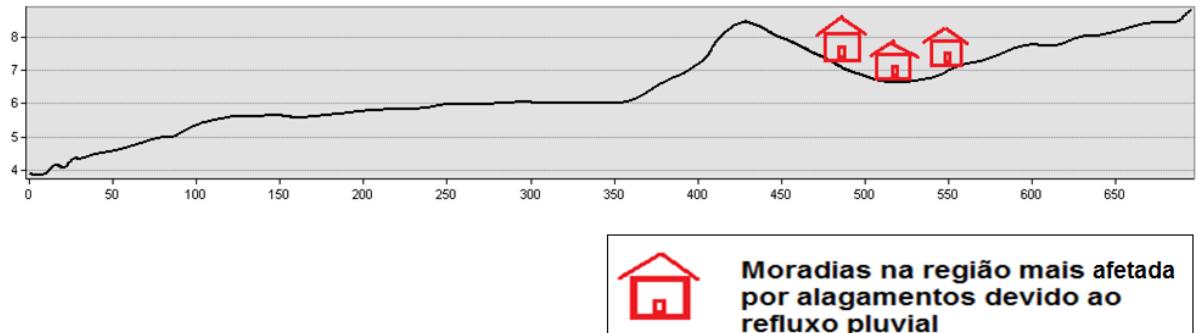
O perfil longitudinal do terreno gerado a partir de corte definido pela linha AA' (indicada na figura 92), por meio do MDT mais refinado, referente a região que mais sofre com o refluxo pluvial, está representado na figura 93.

Figura 92 – Corte AA'



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 93 – Perfil longitudinal do corte AA'

Perfil Longitudinal do corte AA' no MDT mais refinado

(fonte: elaborado pelo autor)

Analizando o perfil, verifica-se que essa região é rebaixada em relação ao seu relevo circundante, formando uma grande concavidade. Analisando as curvas de nível da região, percebe-se o caráter convergente existente em elevação a montante da área em análise, conforme indicado na figura 94. As características de convergência e divergência das formas de relevo dão respaldo aos alagamentos que acometem a região, pois o caráter convergente direciona o escoamento superficial para esta região, o qual fica retido em sua concavidade. Assim, além da sabida ineficiência de esgotamento da rede, em virtude das formas de relevo apresentadas, essa região é suscetível ao acúmulo de água que gera alagamentos. Em acréscimo, esse acúmulo de água é potencializado pelo refluxo pluvial, pois à medida que o remanso, interno ao conduto pluvial, avança de jusante para montante, a água da chuva vai sendo impedida de entrar na rede, ficando retida na região côncava, aumentando os alagamentos.

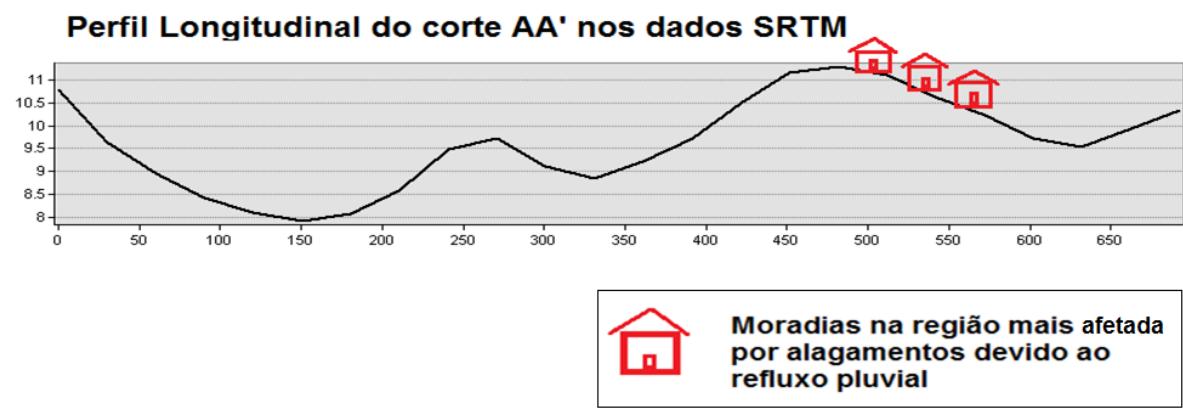
Figura 94 – característica de convergência do terreno



(fonte: elaborado pelo autor)

Para esta mesma linha AA', gerou-se, também, o perfil longitudinal a partir da grade SRTM, representado pela figura 95. O perfil gerado assemelha-se ao gerado pelo MDT mais refinado, mas peca em não demonstrar a concavidade existente na área que mais sofre com os alagamentos.

Figura 95 – Perfil longitudinal do corte BB' dos dados SRTM



(fonte: elaborado pelo autor)

Gerando-se outros perfis longitudinais, agora para a linha (BB'), indicada pela figura 96, a partir dos dois MDT's. Esses dois perfis estão indicados na figura 97.

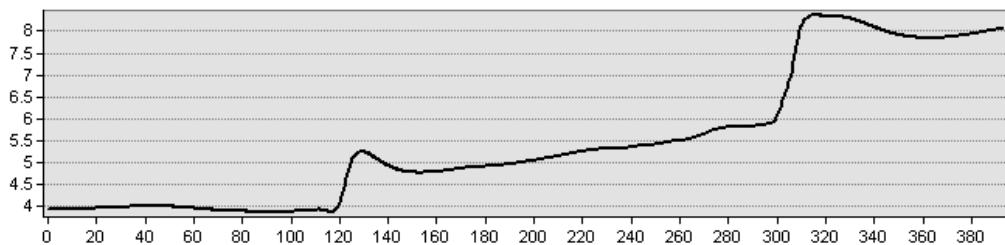
Figura 96 – Corte BB'



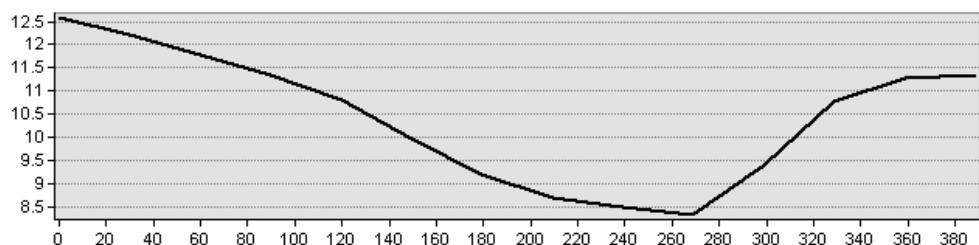
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 97 – Perfis longitudinais BB' com dados SRTM e MDT refinado

Perfil longitudinal do corte BB' com MDT refinado



Perfil longitudinal do corte BB' com dados SRTM



(fonte: elaborado pelo autor)

Os perfis gerados são discrepantes. Assim, nota-se a dificuldade de representação das formas do terreno, com os dados SRTM, em regiões mais planas.

Os resultados apresentados anteriormente para as formas do terreno da Bacia dos Sinos, com foco na região referente ao bairro Feitoria, indicaram características similares aquelas encontradas no corte AA' com o MDT mais refinado. Assim, pode-se recomendar o uso das grades SRTM para ilustrar as formas de terreno de um bairro amplo, como o Feitoria, de uma forma geral. No entanto, para detecção das excentricidades dos arruamentos, não se recomenda o seu emprego, pois podem ocorrer erros grosseiros, especialmente no que tange a áreas mais planas.

6.5.2 Estimativa de Áreas inundáveis

As cotas do terreno encontradas, para o bairro Feitoria, correspondentes a série de cotas fluviométricas máximas medidas no bairro Pinheiros, em São Leopoldo, para os anos de 1973 a 2015, está representada na tabela 7, a seguir.

Tabela 7 – Cotas topográficas correspondentes as cotas fluviométricas máximas de série de cheias históricas de São Leopoldo

Data	ano	Cota Fluviométrica Maxima [m]	Cota topográfica no Feitoria [m]
01/09/1973	1973	3,97	5,29
01/06/1974	1974	3,6	4,92
01/09/1975	1975	4,21	5,53
01/08/1976	1976	4,15	5,47
01/08/1977	1977	4,15	5,47
01/12/1978	1978	3,83	5,15
01/12/1979	1979	3,72	5,04
01/08/1980	1980	4,43	5,75
01/06/1981	1981	4,25	5,57
01/07/1982	1982	5,14	6,46
01/08/1983	1983	5,38	6,7
01/06/1984	1984	5,61	6,93
01/08/1985	1985	5,7	7,02
01/12/1986	1986	4,35	5,67
01/01/1987	1987	4,3	5,62
01/09/1988	1988	4,95	6,27
01/07/1989	1989	4,3	5,62
01/09/1990	1990	4,3	5,62
01/12/1991	1991	3,84	5,16
01/07/1992	1992	4,26	5,58
01/06/1993	1993	5,44	6,76
01/05/1994	1994	4,37	5,69
01/07/1995	1995	4,91	6,23
01/10/1996	1996	4,21	5,53
01/08/1997	1997	4,81	6,13
01/08/1998	1998	4,3	5,62
01/07/1999	1999	3,98	5,3
01/10/2000	2000	4,59	5,91
01/07/2001	2001	5,1	6,42
01/06/2002	2002	5,08	6,4
01/07/2003	2003	4,36	5,68
01/11/2004	2004	4,14	5,46
01/09/2005	2005	5,1	6,42
01/01/2006	2006	3,18	4,5
01/07/2007	2007	4,91	6,23
01/05/2008	2008	5,82	7,14
01/09/2009	2009	5,3	6,62
01/07/2010	2010	4,48	5,8
01/07/2011	2011	5,36	6,68
01/09/2012	2012	4,6	5,92
01/09/2013	2013	5,33	6,65
01/09/2014	2014	4,68	6
01/06/2015	2015	4,35	5,67

(fonte: elaborado pelo autor)

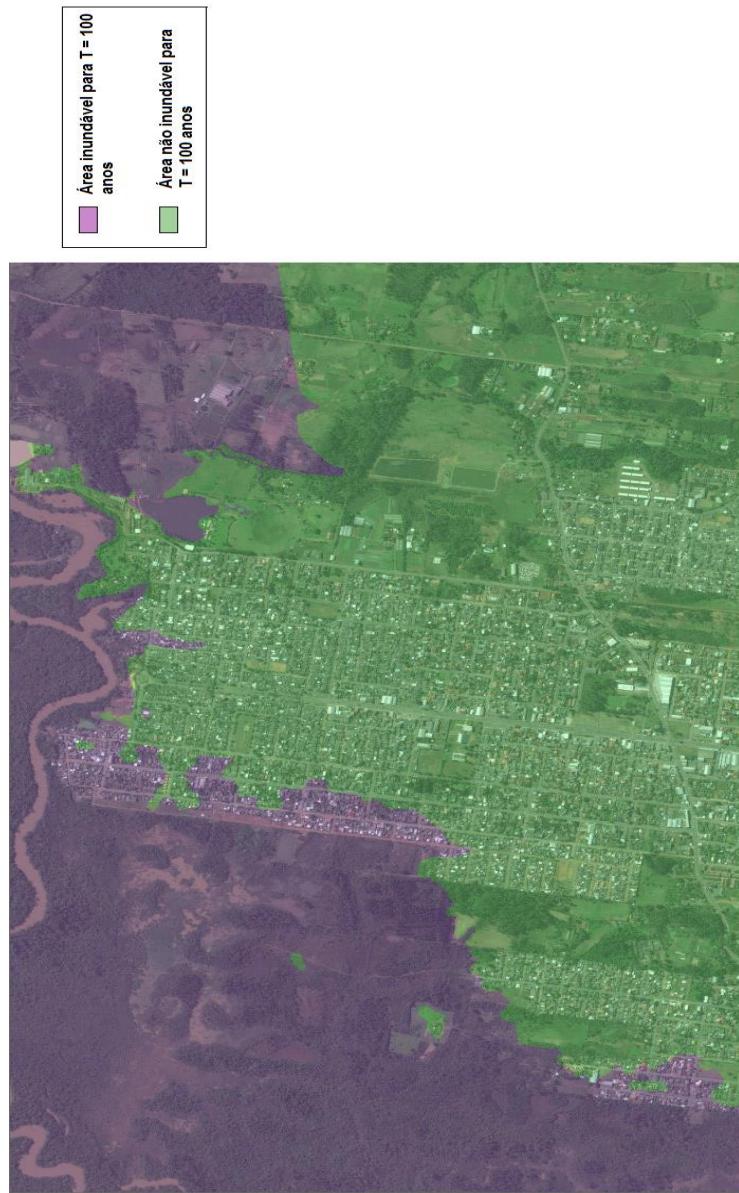
Na tabela 8 está indicada a cota média de inundações do terreno, obtida por meio da distribuição de Gumbel, para um tempo de retorno adotado de 100 anos.

Tabela 8 – Cota média estimada para inundações com $T = 100$ anos

Variância (y)	α	$E(y) = \text{Valor Esperado [m]}$	β	$T [\text{anos}]$	$y(T) = \text{cota média de inunda\~ao do terreno para } T \text{ de 10 anos [m]}$
0,37	0,47	5,90	5,62	100,00	7,81

(fonte: elaborado pelo autor)

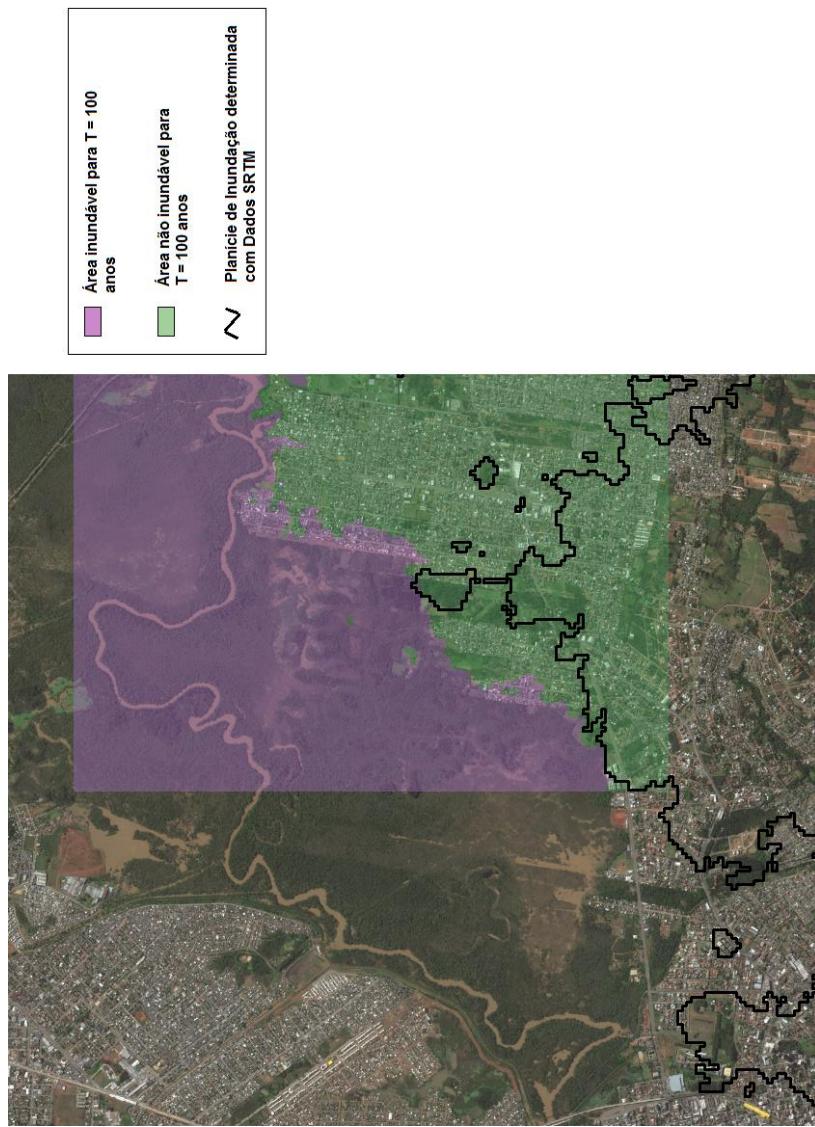
Reclassificando o MDT gerado para um intervalo de valores menores que 7,81 (áreas inundáveis para $T = 100$ anos) e maiores do 7,81 (áreas não inundáveis para $T = 100$ anos), obteve-se o mapa representado pela figura 98.

Figura 98 – Delimitação de áreas de estimadas para inundações com $T = 100$ anos

(fonte: elaborado pelo autor)

A comparação entre a planície de inundação gerada com os dados SRTM com as inundáveis para um período de retorno de 100 anos, está representada na figura 99.

Figura 99 – Planície de inundação a partir de dados SRTM sobreposta a área de inundação estimadas por série histórica

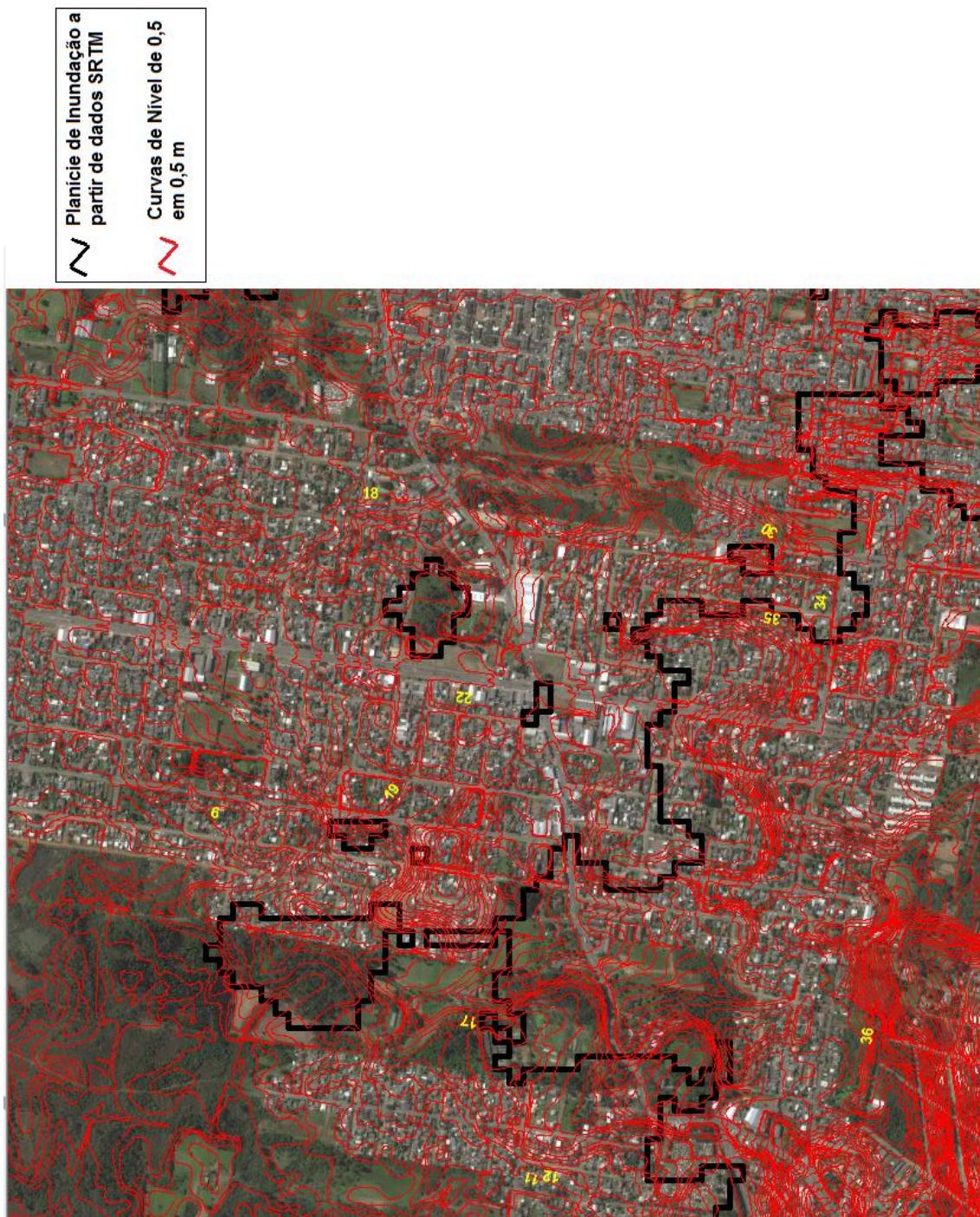


(fonte: elaborado pelo autor)

Realizando uma análise local, relativa ao estudo de caso, na comparação entre as áreas de inundação geradas, é perceptível uma superestimação da planície do Sinos gerada com os dados SRTM, à medida que, para um período de retorno bem elevado (100 anos), a área inundável (estimada por distribuição de Gumbel aplicada a série histórica de cheias máximas anuais) apresenta cota máxima bem inferior a cota máxima da planície de inundação oriunda dos dados SRTM, que é da ordem de 30 m , conforme indicado pela figura 100. Isto se deve à

baixa resolução das grades SRTM bem como a sua baixa acurácia vertical, a qual segundo Oliveira et al. (2010) dificulta o discernimento entre os leitos menores dos rios e as áreas planas de suas margens. Entretanto, para uma análise global da Bacia do Sinos, a planície de inundação gerada pelas grades regulares SRTM é satisfatória, devido à grande escala de trabalho, compatível com sua resolução de 30 x 30 m.

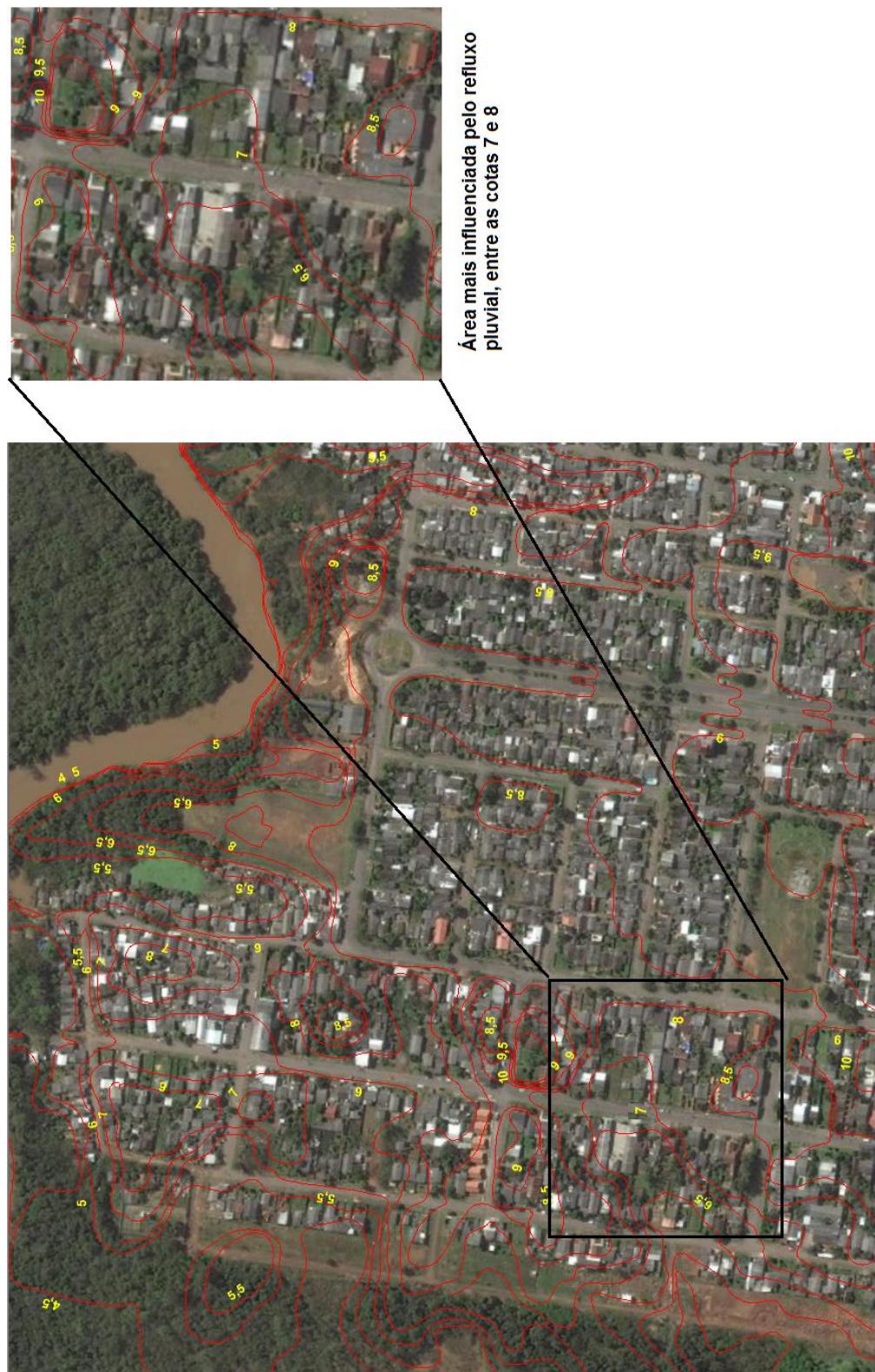
Figura 100 – Cotas na planície de inundação gerada por dados SRTM



(fonte: elaborado pelo autor)

A área mais afeta pelo problema de refluxo pluvial está em uma região compreendida entre as cotas 7 e 8, conforme indicado pela figura 101.

Figura 101 – Área mais afetada pelo refluxo pluvial



(fonte: elaborado pelo autor)

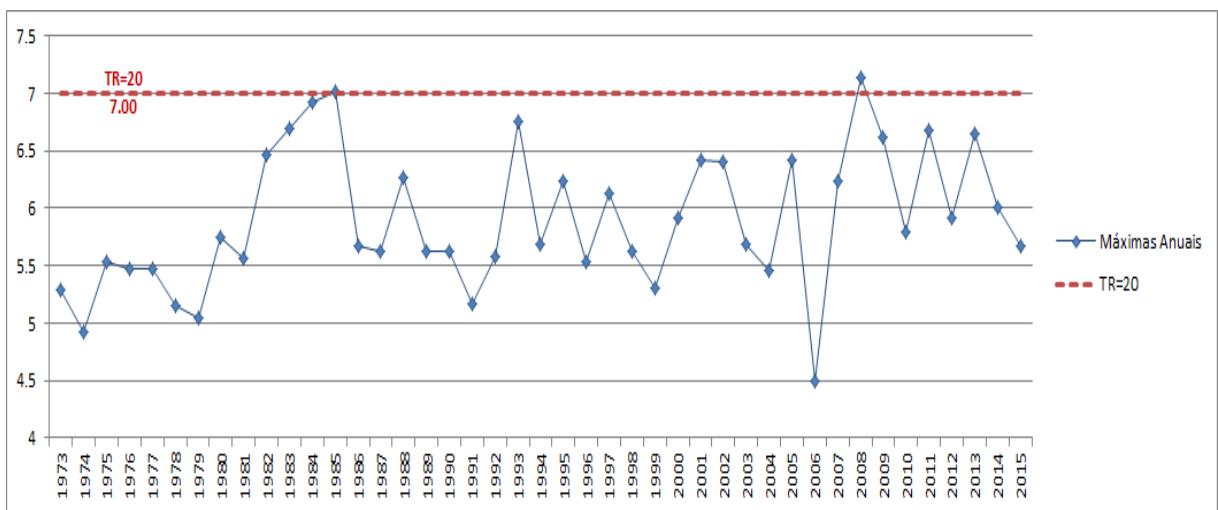
Substituindo a menor dentre essas duas cotas (7 metros) na fórmula inversa da distribuição de Gumbel (equação 15) implica em um tempo de retorno de cheias de 20 anos, segundo a série histórica de cheias máximas, conforme a tabela 9. Analisando essa série, nota-se que muitos poucos eventos de cheias foram suficientemente grandes para causar inundações nesta região, ao longo de um período de 42 anos observados, segundo a figura 102. Assim, mesmo que o bairro Feitoria seja reconhecido, principalmente, como um local que apresenta áreas muito baixas, sujeitas a inundações ribeirinhas (como acontece com as moradias do MCMV), atentando ao fato de que são os alagamentos causados pelo refluxo pluvial o problema que, de fato, causa muitos transtornos aos habitantes do local destacado na figura 102, por seus frequentes episódios, devendo ser apontada uma solução a este problema.

Tabela 9 – Tempo de retorno estimado para cota de 7 m de cheia

Variância (y)	α	$E(y) = \text{Valor Esperado} = \text{Média [m]}$	β	Tr [anos]	$y(Tr) [m]$
0,37	0,47	5,90	5,62	20	7,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 102 – Série histórica de cotas de terreno de cheias máximas em São Leopoldo, no período de 1973 a 2015



(fonte: elaborado pelo autor)

6.5 SOLUÇÃO PROPOSTA – VÁLVULA FLAP

A partir do diâmetro nominal de 1000 mm para a válvula *flap* (mesmo diâmetro estimado para o conduto em que ocorre o refluxo de drenagem) e da escolha por seu embutimento em concreto, ao entrar na tabela 1, foram obtidas as dimensões para a válvula e para as formas de

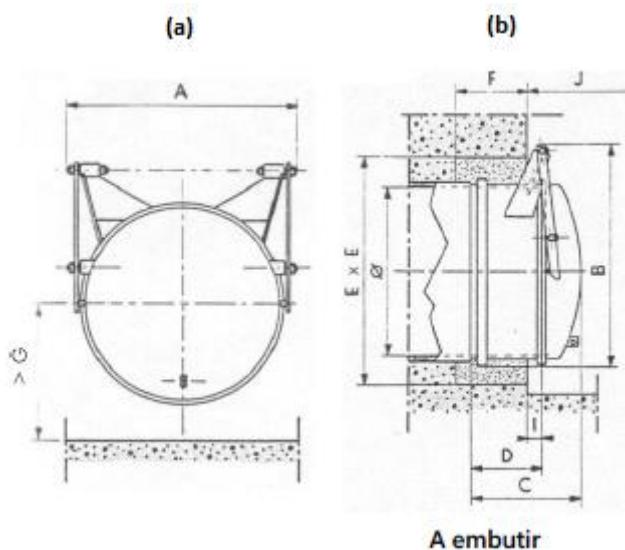
concreto necessárias, as quais estão indicadas pela figura 103. Essas dimensões obtidas estão apresentadas por meio da tabela 10.

Tabela 10 – Dimensões da válvula *flap* e das formas de concreto necessários para o seu embutimento

DN [mm]	Dimensões da Válvula Flap [mm]					Dimensões das Formas de Concreto [mm]			
	A embutir								
	A	B	C	D	J *	E	F	G	I
1000	1170	1280	620	400	1290	1300	400	700	100

(fonte: adaptado de HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?], p. 2)

Figura 103 – Representação de válvula *Flap* da Hydrostec em corte (a) e em planta para embutimento (b)



(fonte: adaptado de HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA, [2015?], p. 2)

Para o cálculo da vazão de refluxo (escoamento a seção plena), a partir do diâmetro de 1m estimado para o conduto, foram obtidos os seguintes resultados, indicados pela tabela 11.

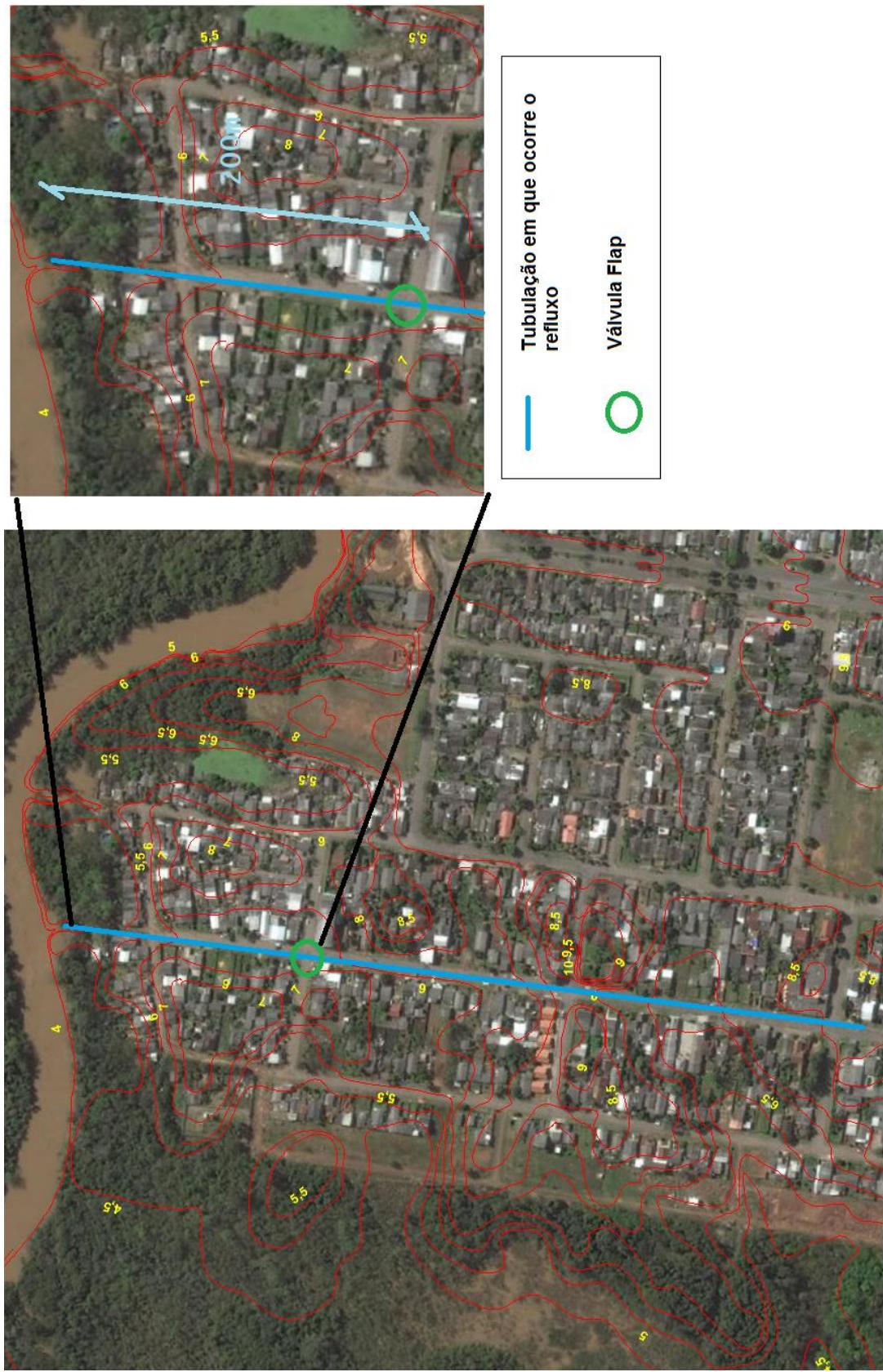
Tabela 11 – Grandezas para o cálculo da vazão de escoamento

Grandezas	Valores
A_m [m]	0,785
R_H [m]	0,250
i [m/m]	0,004
n [adimensional]	0,018
V [m/s]	1,394
Q [m^3/s]	1,095

(fonte: elaborado pelo autor)

Para a alocação da válvula flap, optou-se por aloca-la a 200 m do Rio do Sinos, na cota de 6m, em cruzamento da Avenida Carlos Bier, onde há espaço suficiente para construção de um poço de visita que permita boas condições de trabalho aos responsáveis técnicos pela manutenção da válvula, conforme a figura 104. Nesta localização, impede-se a ocorrência de refluxo nas regiões que sofrem com alagamentos, as quais encontram-se a montante do local de instalação proposto. Além disso, não se optou por alocá-la exatamente no cruzamento que antecede a área que sofre o maior impacto pelo refluxo, pois se não, haveria um grande custo com escavações para a construção do posto de visita, conforme perfil longitudinal do terreno na figura 93. Desta forma, sugeriu-se a instalação no cruzamento anterior, um pouco mais próximo ao Sinos, em que o custo de escavação será bem menor e, em acréscimo, encurtando a distância ao rio, evita-se a ocorrência de refluxo entre o Sinos e a válvula. Também não se instalou no último cruzamento antes do rio por apresentar cota muito baixa, sendo uma região muito suscetível a inundações e não a alagamentos por refluxo, podendo dificultar as manutenções, visto que o poço de visita ficaria submerso frequentemente, de acordo com série histórica da figura 102.

Figura 104 – Local de instalação da válvula *flap* no conduto em que ocorre refluxo de drenagem pluvial, conforme a altimetria do terreno



(fonte: elaborado pelo autor)

7 CONCLUSÕES

Para a análise da drenagem pluvial do bairro Feitoria de São Leopoldo, utilizaram-se dados SRTM de 1 arco-segundo, disponibilizados pela plataforma *Earth Explorer*, os quais compõem o Modelo Digital de Terreno (MDT) da região em que está localizada a Bacia do Sinos. Com o auxílio do *software* SAGA-GIS, o MDT adquirido foi pré-processado, tendo sido preenchidas suas falhas e escavadas as bordas de suas depressões. Então, com o MDT já pré-processado, foi obtida a área de fluxo acumulado da bacia, o que possibilitou a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.

Delimitada a bacia, por meio de mapa de solos do Rio Grande do Sul, do Instituto Brasileiro de Geografia (2002), realizou-se análise dos solos encontrados ao longo da Bacia do Sinos que são os Cambissolos, Gleissolos, Planossolos, Argissolos, Brunizém Avermelhado (Chernossolo Argilúvico), Terra Roxa estruturada (Nitossolo Vermelho), Solo Orgânico (Organossolo Háplico). Na região em que está localizada a cidade de São Leopoldo, estão presentes os Gleissolos e os Cambissolos. Esses solos apresentam um grande nível de saturação, com alto nível do lençol freático, implicando em grandes dificuldades para drenagem. Assim, contribuem de forma a acelerar as cheias do Sinos, facilitando a ocorrência de inundações e alagamentos.

Ainda utilizando recursos do *software* SAGA-GIS, foram também extraídas características morfométricas da Bacia do Sinos (declividade, aspecto e formas de terreno), para a análise das vertentes da região em que se situa o bairro Feitoria, em São Leopoldo. Pelas declividades, verificou-se a característica plana do bairro Feitoria. Essa característica do relevo diminui a velocidade de suas águas e propicia o acúmulo de sedimentos no Rio dos Sinos, limitando a capacidade de vazão de sua calha, de forma a facilitar os processos de enchentes, bem como proporcionar uma maior amplitude à planície de inundaçao dos Sinos, nessa região. Assim, verifica-se a influência negativa das baixas declividades para a ocorrência de inundações e alagamentos no bairro Feitoria. Já, pelo mapa de vide figura 80, pode-se averiguar que as baixas altitudes da área de estudo são uma adversidade para a identificação das linhas de escoamento do MDT, requerendo atenção especial às técnicas de

pré-processamento empregadas e à escolha dos algoritmos para a definição da área de fluxo acumulado, conforme o *software* utilizado.

Com a extração das curvaturas verticais e horizontais da Bacia do Sinos, pode-se determinar as principais formas de terreno, do bairro Feitoria, as quais são: convergente-côncavo, divergente-convexo; divergente-côncavo, convergente-retilíneo e divergente-retilíneo. Devido à presença de características convergentes (que propiciam a orientar o desague para um mesmo local), côncava (que proporciona o acúmulo de água em uma dada região) e retilínea (que facilita o fluxo de água em certa direção), percebe-se a influência significativa das formas de terreno para acelerar os processos de enchentes do Sinos, as quais favorecem os episódios de inundações e alagamentos na região em questão. Com a geração de um MDT mais refinado, pode-se fazer uma análise mais precisa das formas de terreno do estudo de caso, com foco na área que recebe o impacto direto do refluxo. Essa região apresenta características principais de concavidade e convergência, facilitando processos de alagamentos, os quais são potencializados pelo refluxo pluvial. As formas de terreno extraídas com o SRTM foram razoavelmente compatíveis com a do MDT refinado. No entanto, nas regiões mais próxima ao leito do Rio verificou-se erros grosseiros com o SRTM, por sua baixa resolução.

Na sequência, realizou-se a delimitação da planície de inundaçāo do Rio dos Sinos, com o SAGA-GIS. Para esta etapa, foram extraídos o índice de umidade do terreno e as curvas de nível de 5 m em 5 m, que foram analisadas de forma sobreposta, possibilitando delimitar a planície. A seguir, fez-se a extração do índice de classificação de planícies, ao qual foi sobreposta a planície de inundaçāo delimitada. Assim, confirmou-se a extensão encontrada para a planície de inundaçāo, de acordo com os valores obtidos neste índice. Para uma localização mais precisa das áreas inundáveis do bairro em estudo, a partir de série histórica de eventos extremos de cheias aplicadas à distribuição de máximos de Gumbel, estimou-se as áreas inundáveis para um elevado período de retorno (100 anos). Verificou-se que nas áreas mais suscetíveis ao refluxo, são escassos os eventos de inundaçāo, sendo os alagamentos recorrentes (intensificados por refluxo) o problema prioritário a ser combatido. Conforme esperado, em virtude da baixa acurácia vertical do SRTM, houve grandes discrepâncias entre a planície de inundaçāo do SRTM e a estimativa das áreas inundáveis por série histórica, para uma análise localizada, no âmbito do estudo de caso.

Baseado nas análises de relevo e solos do estudo de caso, que indicam áreas de precária drenagem e suscetíveis ao acúmulo de água e que, além disso, apresentam insuficiência para um completo escoamento, é notória a falta de infraestrutura capaz de mitigar os efeitos dos alagamentos (potencializados pelo refluxo). Entretanto, o governo municipal caminha na contramão desta realidade no momento em que, conforme seu Plano Diretor, enquadraria o bairro Feitoria como uma Zona de Qualificação, na qual está previsto o adensamento populacional para o aproveitamento pleno de sua infraestrutura. Essa medida apenas servirá para agravar a situação, uma vez que a infraestrutura existe já é deficiente. Além disso, contribuirá para uma maior impermeabilização do solo, aumentando o volume de escoamento superficial, e intensificará a geração de resíduos sólidos, aumentando o risco de entupimentos na rede que, por si só, já é deficiente. Isso tudo se refletirá em mais alagamentos, diminuindo ainda mais a qualidade de vida dos moradores do bairro.

A análise realizada para determinação da planície de inundação do Sinos e para estimativa das áreas inundáveis em São Leopoldo, apontam que algumas áreas do bairro feitoria estão sujeitas a inundações nos períodos de cheia, em função de sua baixa altitude. Dessa forma, percebe-se o descaso por parte do governo municipal, que não tomou as medidas necessárias para evitar a ocupação indevida desta área (com zoneamento e demarcações de áreas não edificáveis, conforme é previsto no Plano Diretor da cidade de São Leopoldo) e, além disso, não fiscalizou os terrenos destinados a moradias populares do Programa Minha Casa Minha Vida, no bairro em questão, que também estão contidos na planície de inundação do Sinos.

O princípio de vasos comunicantes é o que rege o fenômeno de refluxo da drenagem pluvial que afeta o bairro Feitoria. Assim, nos períodos de cheia, quando a seção do conduto se encontra totalmente afogada, ocorre uma inversão de fluxo (dado que a pressão hidrostática do Sinos é superior a pressão do escoamento de montante) que retorna a grandes pressões, como ser fora um conduto forçado, intensificando os alagamentos.

Assim sendo, como uma possível solução ao problema de refluxo de drenagem pluvial identificado no bairro Feitoria, em São Leopoldo, propõe-se a adoção de uma válvula *flap*. Optou-se por este dispositivo pelo seu baixo custo de instalação e manutenção frente a outras alternativas como o aumento da seção do Rio dos Sinos (o que é considerado, atualmente, inviável técnica e economicamente) e o bombeamento de água para o rio (que tem alto custo de operação). Essa válvula permite manter o fluxo em uma única direção, fechando-se no

momento em que a pressão hidrostática exercida pelo rio dos Sinos é maior do que a exercida pelo escoamento no conduto, que se dá por gravidade. Sendo assim, conforme o pressuposto para o trabalho, de que o alagamento gerado pela incapacidade de a água escoar pelo conduto, pelo fechamento da válvula *flap*, é consideravelmente inferior ao gerado pelo refluxo da drenagem pluvial (em que a água retorna a grandes pressões), com a adoção deste dispositivo será impedido o refluxo da drenagem pluvial, reduzindo os impactos dos frequentes alagamentos que acometem o bairro Feitoria de São Leopoldo.

Para o dimensionamento da válvula *flap*, foi previsto um diâmetro de 1 m (mesmo diâmetro estimado para o conduto) e embutimento em estrutura de concreto, sendo obtidas suas dimensões por tabela do fabricante Hydrostec. Para fins de manutenção periódica, sem que haja riscos ao operador, recomendou-se a instalação da válvula há uma distância de 200 m do Sinos, onde há espaço para a construção de um poço de visita de concreto sem que haja grandes custos com escavações. Ressalta-se que, este afastamento previsto para a alocação da válvula, em relação à margem rio, deve ser o menor possível (desde que permita realizar sua manutenção com segurança), pois assim minimizam-se os riscos de que essa distância, adotada para alocação, seja suficiente para provocar alagamentos devido ao refluxo no trecho compreendido entre a extremidade do conduto (junto ao Rio dos Sinos) e o dispositivo.

O *software* SAGA-GIS demonstrou ser muito adequado para a delimitação de bacias hidrográficas, extração de características morfométricas e de índices do terreno, em virtude da ampla gama de algoritmos apresentados, que permite ao usuário optar por aquele que mais se adequa a sua área em análise. No entanto, o *software* apresenta dificuldades de processamento quando lida com dados vetoriais muito pesados como, por exemplo, curvas de nível. Assim, a precisão com a qual se realizou a delimitação da planície de inundação foi atrelada à capacidade do SAGA-GIS, que não permitiu trabalhar com curvas de níveis em um intervalo inferior ao de 5 m em 5 m.

A aplicação de técnicas de pré-processamento escolhidas, dentre as quais estão as funções *Fill Gaps*, para preenchimento de vazios do MDT, e *Sink Removal* com a opção *Deepen Drainage Route*, para remoção de depressões ao escavar suas bordas, foram bem-sucedidas, pois, a rede de drenagem gerada não apresentou falhas ou descontinuidades. Entretanto, embora o algoritmo *Deterministic Infinite* (escolhido para determinação da área de fluxo acumulado) seja propício para regiões planas, tendo gerado linhas de fluxo sem incertezas quanto à

direção do escoamento e sem fluxos paralelos, a rede de drenagem estabelecida apresenta um traçado que, em algumas regiões, não é fiel ao que se pode observar na região de estudo por meio de imagens ópticas de satélites. Além disso, os dados SRTM apresentam resolução de 30 m por 30 m que dificulta a correta definição do traçado. Este traçado poderia ser mais próximo à realidade caso a rede drenagem fosse demarcada manualmente, utilizando-se imagens ópticas de alta resolução ou, ainda, por meio da plataforma *Google Earth*. O traçado vetorizado seria então associado ao MDT com a função *Burn Stream*, do SAGA-GIS, para, então, ser gerada a área de fluxo acumulado. O processo de vetorização manual, contudo, resultaria em maior consumo de tempo do usuário.

São muitas as dificuldades em se gerenciar a drenagem de regiões que tiveram um crescimento rápido e desordenado, em que a expansão urbana foi mais veloz que o planejamento público, culminando em cidades com carências em sua infraestrutura e, muitas vezes, em habitações em locais inadequados, como ocorre, por exemplo, em São Leopoldo. Assim, neste cenário, sugere-se a realização de estudos de viabilidade técnico-financeira como trabalhos futuros, que possam contribuir na complementação à análise da drenagem pluvial do bairro Feitoria de São Leopoldo, a respeito de:

- a) realocar os moradores mais afetados por inundações e alagamentos;
- b) implantar sistema eficiente de previsão e alerta de cheias, em tempo real;
- c) implantar um sistema integrado para o gerenciamento de resíduos sólidos que abranja os diversos setores da sociedade (indústria, habitações, hospitais, escolas, etc.) e conte com as etapas de disposição, coleta, reciclagem e tratamento, entre outras, acompanhado de programas educacionais que visem uma maior cooperação e conscientização popular sobre o aspecto de preservação ambiental. Assim, seriam evitados entupimentos nas tubulações de drenagem, diminuindo a poluição e a obstrução na calha do rio dos Sinos e dos córregos e, por conseguinte, reduzindo os alagamentos e inundações no bairro;
- d) adotar dispositivos na fonte para redução do volume escoado superficialmente e, consequentemente, dos alagamentos no bairro, tais como reservatórios de lote, valas de infiltração, pavimentos permeáveis, entre outros;
- e) implantar dispositivos na micro e na macrodrenagem para redução dos picos de vazão e, consequentemente, dos alagamentos no bairro, tais como reservatórios de detenção e retenção.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hydroweb.** [S. I.], 2015. Plataforma que possibilita a obtenção de dados hidrológicos do território brasileiro. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 26 maio. 2015.
- AKAISHI, A. G. Desafios do Planejamento Urbano Habitacional em Pequenos Municípios Brasileiros. **Risco:** revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo, São Paulo, n. 14, p. 41-50, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/risco/article/view/45504/49113>>. Acesso em: 15 maio. 2015.
- ANDRADE, J. B. **Saneamento Básico:** sistema de esgoto sanitário, Goiânia: UCG, 2006. Notas de aula da disciplina Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/AlexandreCabralCavalcanti/apostila-de-esgoto>>. Acesso em: 1 set. 2015.
- ANTUNES, A. F. B. **Iniciando em Geoprocessamento,** Curitiba: UFPR, [2015?]. Apostila da disciplina SIG Aplicado ao Meio Ambiente. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2015.
- BAZZAN, T. **Mapeamento das áreas com risco de inundação do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS.** 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000795241&loc=2012&l=21c4a2ea82afb&d99>>. Acesso em: 9 jul. 2015.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Journal**, [S.I.], v. 24, n. 1, p. 43-69, Aug. 1979. Disponível em: <<http://soilandwater.bee.cornell.edu/research/VSA/papers/BevenHSB79.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- BEZERRA, M. E. R. **Métodos Baseados na Regra do Vizinho Mais Próximo para o Reconhecimento de Imagens.** 2006. 90 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia da Computação) – Departamento de Sistemas Computacionais, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <<http://tcc.ecomp.poli.br/20052/MiguelEugenio.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.
- BOCK, M.; BÖHNER, J.; CONRAD, O.; KÖTHE, R.; RINGELER, A. Methods for creating Functional Soil Databases and applying Digital Soil Mapping with SAGA GIS. In: SOIL CLASSIFICATION 2001, 1., 2001, Recife. **Proceedings...** Luxembourg: European Communities, c2007. p. 149-164. Disponível em: <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/esb_rr/EUR22646EN.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2015.
- BÖHNER, J.; KÖTHE, R.; CONRAD, O.; GROSS, J.; RINGELER, A.; SELIGE, T. Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation. In: SOIL CLASSIFICATION 2001, 7., 2001, Recife. **Proceedings...** Luxembourg: European Communities, 2002. p. 213-222. Disponível em:

<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/esb_rr/n07_ESBResRep07/601Boerner.pdf>. Acesso em: 24 ago 2015.

BÖHNER, J. SELIGE, T. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. **Göttingen Geographische Abhandlungen**, Göttingen (ALE), v. 115, p. 13-120, 2006. Disponível em: <<http://www.pe.wzw.tum.de/publikationen/pdf/sd663.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 16 maio. 2015.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 17 maio. 2001.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 11.977**, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm>. Acesso em: 17 maio. 2015.

_____. Ministério da Educação. **Educação Profissional**: referenciais curriculares nacionais da educação profissional de nível técnico. Área profissional: geomática. Brasília, [2015?]. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/geomatic.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2015.

_____. Ministério das Cidades. **O Ministério**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.cidados.gov.br/index.php/institucional/o-ministerio>>. Acesso em: 17 maio 2015.

BRITO, F. A. de; PINHO, A. T. D. **A Dinâmica no Processo de Urbanização no Brasil, 1940-2010**. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2012. Texto para Discussão n. 464. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%20464.pdf>>. Acesso em: 15 maio. 2015.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do Rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4540-4547. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0351.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2015.

BRUNO, M.; SILVA, R. M. B. Desenvolvimento Econômico e Infraestrutura no Brasil: dois padrões recentes e suas implicações. **Análises e Propostas**, São Paulo, v.1, n. 38, p. 1-28, dez. 2009. Disponível em: <<http://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/07237.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

BUCHANAN, B. P.; FLEMING, M. SCHNEIDER, R. L.; RICHARDS, B. K.; ARCHIBALD, J.; QIU, Z.; WALTER, M. T. da. Evaluation topographic Wetness indices across New York agricultural landscapes. **Hydrology and Earth System Science**, Göttingen (ALE), v. 18, n. 8, p. 3279-3299, Aug. 2014. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/3279/2014/hess-18-3279-2014.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CASSETI, Valter. Fisiologia da Paisagem. **Geomorfologia**. [S.I.]: [2005]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/fisiologia_paisagem.pdf>. Acesso em: 15 ago. 20015.

CIMMERY, V. User Guide for SAGA (version 2.0.5). v. 2. [S. l.]: SAGA, 2010. Disponível em: <http://mirror.ufs.ac.za/sagagis/SAGA%20-20Documentation/SAGA%2020User%20Guide/SAGA_User_Guide_Vol2_Cimmery_version_2.0.5_20101209.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2015.

COMMITTEE FOR WATERFRONT STRUCTURES. **Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbors and Waterways EAU 2004**. 8th. ed. Berlim: Ernst&Sohn, 2012.

CONEXO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Válvulas Flap**: aparelhos para saneamento. Campinas (SP), [2015?]. Disponível em: <<http://www.conexobrasil.com.br/site/produto/file.php?id=18>>. Acesso em: 8 ago. 2015.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, Göttingen (ALE), v. 8, n. 2, p. 1991-2007, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. Criação automática de vetores para mapeamentos temáticos e espacialização de aspectos da legislação ambiental a partir de grades refinadas do SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2501-2508. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.18.13/doc/2501-2508.pdf>>. Acesso em: 22 maio. 2015.

CRISPIM, M. 8220 Toneladas de lixo foram retiradas da rede de esgoto de Fortaleza em 2011. **Diário Do Nordeste**, Fortaleza, 01, fev. 2012. Disponível em: <<http://blogs.diariodonordeste.com.br/gestaoambiental/residuos-solidos/8-280-toneladas-de-lixo-foram-retiradas-da-rede-de-esgoto-de-fortaleza-em-2011/>>. Acesso em: 26 maio. 2015.

CURITIBA. Instituto Municipal de Administração Pública. **Drenagem Urbana**: módulo 2 – controle de cheias e proteção de taludes. Curitiba, [2014]. Disponível em: <[http://www imap.curitiba.pr.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/247_drenagem%20_urbana_modulo_2%20\(1\).pdf](http://www imap.curitiba.pr.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/247_drenagem%20_urbana_modulo_2%20(1).pdf)>. Acesso em: 5 set. 2015.

DAVIS, B. E. **GIS**: a visual approach. 2nd. ed. Albany: Thomson Learning, c2001. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=sRNcW3jFYLyc&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 20 maio. 2015.

DORNELLES, F. **Gerenciamento de Drenagem Urbana**: aula 5, Porto Alegre: UFRGS, [2015?]. Apostila da Disciplina.

DURHAM UNIVERSITY. Sensitive catchment integrated modeling and analysis platform: for fine sediment risk. **SCIMAP-S**: course notes, [Durham]: DURHAM UNIVERSITY, 2011. Disponível em: <http://www.scimap.org.uk/wp-content/uploads/2011/03/SCIMAP_manual_SAGA.pdf>. acesso em: 3 ago. 2015.

EINEDER, M.; FRITZ, T.; JABER, W. A.; ROSSI, C.; BREIT, H. Decadal Earth Topography Dynamics Measured With Tandem-X and SRTM. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), 2012, Munich. **Anais...** Munich: IEEE, 2012. p. 1916-1919. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6351130>>¹³. Acesso em: 24 maio. 2015.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRECK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, [S. l.], v. 45, n. 2, p. 1-33, May. 2007. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005RG000183/pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2015.

FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambientes de sistemas de informações geográficas. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 8., 1997, Mérida, Venezuela. **Anais...** [S. l.: s. n.], 1997. p. 1-12. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2015.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [S. l.: s. n.], 2001. p. 1-36. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 22 maio. 2015.

FENDRICH, R.; MALLUCELI, F. C. **Macrodrenagem urbana**: canais abertos versus canais fechados. São Paulo: PHA/Escola Politécnica/USP, 2015. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=211>. Acesso em: 20 jul. 2015.

FERNANDES, E. O Estatuto da Cidade e a ordem jurídico-urbanística. In: CARVALHO, C. S.; ROSSBACH, A. (Org.). **O Estatuto da Cidade**: comentado, São Paulo, 2010. p. 1-120. Disponível em: <<https://ifrc.org/docs/idrl/947PT.pdf>> Acesso em: 16 maio. 2015.

FERREREIRA, R. F. **Mecânica de Fluídos e Algumas Aplicações**. 2010. 56 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Departamento de Física, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná (RO), 2010. Disponível em: <http://www.fisicajp.unir.br/downloads/2001_tccrosimeire.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2015.

¹³ Só disponível, gratuitamente, se acessado pelos computadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou utilizando o proxy da Universidade em computador pessoal.

HARALICK, R. M. Ridges and Valleys on Digital Images. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, Massachusetts, v. 22, n. 1, p. 28-38, abr. c1983. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734189X83900944>>¹⁴. Acesso em: 15 ago. 2015.

HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA. **Válvulas Flap**: proteção contra o retorno d'água. Taubaté (SP), [2015?]. Disponível em: <http://www.hydrostec.com.br/catalogo/canais_reservatorios/A40-07-1.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa exploratório de solos do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, c2002. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/rs_pedologia.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2015.

_____. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro, c2007. Manual Técnico n. 4. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_pedologia.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2015.

_____. **Censo Demográfico 2010**: características da população e dos municípios – resultados do universo. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.brasileirosnomundo.itamaraty.gov.br/a-comunidade/estimativas-populacionais-das-comunidades/estimativas-do-ibge/censo-demografico-ibge-2010.pdf>> Acesso em: 16 maio. 2015.

_____. Cidades. [S. l.], c2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431870&search=rio-grande-do-sul|sao-leopoldo|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em: 6 jul. 2015.

_____. Projeto Mudança de Referencial Geodésico. FAQ. Rio de Janeiro, RJ, [2015?]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtml>>. Acesso em: 1 ago. 2015.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. 1. ed. Chicago: Courier Corporation, 1995. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=BLkGyV8RhaYC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

LE TOAN, T.; BEAUDOIN, A.; RIOM, J.; GUYON, D. Relating Forest Biomass to SAR Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 403-411, Mar. 1992. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=134089>>¹⁵. Acesso em: 24 maio. 2015.

MANTOVANI, J. R. A.; CUNHA, E. R. da; BACANI, V. M.; FERREIRA, C. C.; RUI, S. L. Análise do comportamento do escoamento superficial através do método curve number na

¹⁴ Só disponível, gratuitamente, se acessado pelos computadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou utilizando o proxy da Universidade em computador pessoal.

¹⁵ op. cit.

bacia hidrográfica do córrego Guanandy-MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos:

MARINHO, D. Blog do Jeso. **Solução para inundação do centro de Santarém**. Santarém, PA, 2014. Disponível em: <<http://www.jesocarneiro.com.br/cidade/solucao-para-inundacao-do-centro-de-santarem.html>>. Acesso em: 25 set. 2015.

MEDEIROS, A. M. L, de. **Artigos sobre Conceitos em Geoprocessamento**. 2012. Disponível em:

<<http://www.saude.sp.gov.br/resources/sucen/homepage/downloads/geoprocessamento/e-book-artigos-sobre-conceitos-em-geoprocessamento-anderson-medeiros.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2015.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: princípios, integração e aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.

M&H Valve Company. **In-Plant Valves**. Anniston (USA), 2005. Disponível em: <<http://www.mh-valve.com/upl/downloads/catalog/products/submittal-sheet-flap-valve-39da8093.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2015.

MONTGOMERY COUNTY (MARYLAND). Department of Environmental Protection. **What is Stormwater?**. Rockville (USA), [2015?]. Disponível em: <<http://www.montgomerycountymd.gov/dep/water/stormwater.html>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia Estatística**. 1. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASCIMENTO, D. M.; TOSTES, S. P. Programa Minha Casa Minha Vida: a (mesma) política habitacional no Brasil. **Arquitextos**, São Paulo, ano 12, n. 133.03, não paginado, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.133/3936>>. Acesso em: 17 maio. 2015.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Shuttle Radar Topography Mission** – Jet Propulsion Laboratory. [S. l.], 2015. Apresenta informações sobre a missão espacial SRTM e sobre a disponibilização dos dados provenientes dessa missão. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 26 maio. 2015.

O'CALLANHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage network from digital elevation data. **Computer, Vision, Graphics and Image Processing**, Massachusetts, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734189X84800110>>¹⁶. Acesso em: 3 ago. 2015.

OLAYA, V. A Gentle Introduction to SAGA GIS. 1.1 ed. [Madrid]: SAGA, 2004. Disponível em: <<http://ufpr.dl.sourceforge.net/project/saga-gis/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%20Documents/SagaManual.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

¹⁶ Só disponível, gratuitamente, se acessado pelos computadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou utilizando o proxy da Universidade em computador pessoal.

OLIVEIRA, D. S. C. de; GUIMARÃES, M. J. B.; MEDEIROS, Z. Modelo Produtivo Para a Leptospirose. **Revista de Patologia Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 17-26, mar. 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/iptsp/article/view/6205/4725>>. Acesso em: 26 maio. 2015.

OLIVEIRA, L. D. de; MORS, P. M. Mecânica dos Fluídos: uma abordagem histórica. Texto de Apoio aos Professores de Física. v. 20. n. 3. p. 1-101, 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v20n3_oliveira_mors.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2015.

OLIVEIRA, W. N. de; SANTOS, P. C. dos. Ocupações irregulares e impactos socioambientais na região noroeste de Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3. 2012, Goiânia. **Anais...** Goiânia: PUC/Goiás, 2012. p. 1-5. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-054.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2015.

PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de drenagem Urbana:** região metropolitana de Curitiba-Paraná. Curitiba, PR, 2002a. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2015.

_____. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Plano Diretor para a Drenagem da Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba:** relatório final – volume 2 – políticas e ações não estruturais. Curitiba, 2002b. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume2/SUD0102RP_WR001_FI.pdf>. Acesso em: 5 set. 2015.

PAZ, M. R. **Integração do sistema de informações geográficas e do cadastro técnico multifinalitário para zoneamento de áreas de risco com base na pedologia.** 2011. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/94993/290083.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

PERES, R. B. Uso e Ocupação do Solo e Impactos Ambientais Urbanos. In: SANTOS, S. A. M. dos; OLIVEIRA, H. T. de; DOMINGUEZ, I. G. P.; KUNIEDA, E. (Org.). **Metodologias e Temas Socioambientais na Formação de Educadoras (es) Ambientais (2007-2008)**, São Carlos, c2011. p. 173-183 Cadernos do Cescar – Educação Ambiental – Caderno 2. Disponível em: <http://www.cescar.ufscar.br/material_didatico/cescar_caderno_2.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2015.

PERNA, M. A. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. **O Sistema UTM.** Rio de Janeiro, RJ, [2015?]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>>. Acesso em: 1 ago. 2015.

POURALI, S. H.; ARROWSMITH, C.; MITCHELL, D.; MATKAN, A. A. Modelling an overland water flow path in an urban catchment using GIS. **Geoinformatica: an international journal**, Kuala Lumpur (Malásia), v. 4, n. 1, p. 1-19, 2014. Disponível em:

<<http://www.cscjournals.org/manuscript/Journals/GIIJ/volume4/Issue1/GIIJ-19.pdf>>¹⁷. Acesso em: 3 ago. 2015.

PRADO, H. do. Pedologia Simplificada. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba (SP), n. 1, p. 1-16, dez. 1995. Disponível em:
<http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/pedologia_simplificada_95838_57489.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2015.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. **Plano de Bacia do Rio dos Sinos**: fase C. Relatórios técnicos e SIG. Porto Alegre, 2014. 1 CD-ROM

RAMOS, C. L.; BARROS, M. T. L. de; PALOS, J. C. F (Coord.). **Diretrizes Básicas para o Projeto de drenagem Urbana no Município de São Paulo**, São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999. p. 214-231 Disponível em:
<http://www.usp.br/fau/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>
Acesso em: 30 maio. 2015.

REZENDE, O. M. **Manejo de Águas Pluviais**: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações. 2010. 104 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Especialização em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:
<http://www.peu.poli.ufrj.br/arquivos/Monografias/Osvaldo_Moura_Rezende.pdf>. Acesso em: 9 maio. 2015.

ROCHA, C. R. Geomorfologia e áreas inundáveis na planície fluvial do alto rio paraná. **Geografia Acadêmica**, Londrina, v. 5, n. 1, p. 98-117, jan/abr. 2011. Disponível em: <<http://revista.ufrr.br/index.php/rga/issue/viewIssue/182/9>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

ROLNIK, R.; KLINK, J. Crescimento Econômico e Desenvolvimento Urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias?. **Revista Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, v. 1, n. 89, p. 89-109, mar. 2011. Disponível em:
<http://novostudos.uol.com.br/v1/files/uploads/contents/151/20110405_NOVOS%20ESTUDOS_89_06_desenvolvimento_89_109.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2015.

ROMAGNOLI, A. J. O programa “minha casa, minha vida”: continuidades, inovações e retrocessos. **Temas de Administração Pública**, Araraquara, v. 4, n. 7, p. 1-29, dez. 2012. Disponível em:
<<http://www.fclar.unesp.br/Home/Departamentos/AdministracaoPublica/RevistaTemasdeAdministracaoPublica/artigoalexandreromagnoli.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2015.

ROMANHOLI, W. M. de, M.; MARQUES, F.; MARRA, I. Cidade, águas e ambiente: inovação, eficiência e sustentabilidade dos sistemas urbanos de saneamento ambiental. In: CONGRESSO BRAISLEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 42., 2014, Juiz de Fora (MG). **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. Não paginado. Disponível em:
<<http://www.abenge.org.br/cobenge-2014/Artigos/130464.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2015.

SAMIZAVA, T. M., M. SIG e sensoriamento remoto aplicado ao estudo dos processos de inundaçāo e mapeamento da cobertura vegetal na planície fluvial do alto Rio Paraná.

¹⁷ Só disponível, gratuitamente, se acessado pelos computadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou utilizando o proxy da Universidade em computador pessoal.

2009. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_samizava_tm.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Proteção e Defesa Civil. **Enchente, inundação, alagamento ou enxurrada?**. São Bernardo do Campo, SP, [2015?]. Disponível em: <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

SÃO LEOPOLDO. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. São Leopoldo, RS, 2014. Disponível em: <http://www.consortioprosinos.com.br/downloads/S%C3%83O%20LEOPOLDO_PMSB_rev_0.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2015.

_____. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. **Mapa de bairros de São Leopoldo**. São Leopoldo, [2051?]. Disponível em: <http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/download_anexo/index.asp?strARQUIVO=BAIRROS%20pdf&strDescricao=Mapas%20de%20bairros&categoriaAnexo=1>. Acesso em: 20 set. 2015.

SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Hidráulica de Canais, Travessia e barramentos. In.: **Hidrologia e Hidráulica**: conceitos básicos e metodologias. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo02.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2015.

SÃO PAULO. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. São Paulo, [2015?]. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2015.

SILVA, C. V. F. da. **Planejamento do Uso e Ocupação do Solo Urbano Integrado ao Mapeamento de Áreas com Risco de Inundação**. 2013. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-06072014-214625/publico/Dissertacao_CarlaVoltarelliFSilva_unprotected.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

SILVA NETO, J. C. A. da. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 05-25, jan/abr. 2013. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/12722/14443>>. Acesso em: 17 ago. 2015.

SILVA, M. J. C. **A problemática do remanso dos eixos de macrodrenagem das galerias urbanas**: estudo de caso sobre a modelagem das cheias do Rio Poty no ano de 2009 em Teresina-PI. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/11593/1/2014_dis_mjcsilva.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2015.

SOARES, J. A. S; ALENCAR, L. D. de; CAVALCANTE, L. P. S.; ALENCAR, L. D. de. Impactos da urbanização desordenada na saúde pública: leptospirose e infraestrutura urbana. **Polêm!ca**, Rio de Janeiro (RJ), v. 13, n. 1, p. 1006-1020, jan./fev. 2014. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/9632/7672>>. Acesso em: 3 abr. 2015.

STEINIGER, S.; HAY, G. J. Free and open source geographic information tools for landscape ecology. **Ecological Informatics**, Göttingen (ALE), v. 4, n. 4, p. 183-196, jul. 2009. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S1574954109000363/1-s2.0-S1574954109000363-main.pdf?_tid=bee5eebc-7b43-11e5-94da-00000aab0f6b&acdnat=1445796840_7fad7d4b9b0fa7fd609ec7420efe7f00>¹⁸. Acesso em: 26 ago. 2015.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2001.

TARBOTON, D. G. A new method for determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Massachusetts, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96WR03137/pdf>>¹⁹. Acesso em: 3 ago. 2015.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Programa Lagoas do Norte. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – tomo 6. Teresina, PI, 2012. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/PDDrU_THE_VF_TOMO06_impressao.pdf>. Acesso em: 20 julho 2015.

TORRES, T. G. **Geotecnologia na geração do divisor de bacias hidrográficas: um instrumento para a política de recursos hídricos**. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/311/cursoId:33>>. Acesso em: 1 ago. 2015.

TUCCI, C. E. M. da. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 55, n. 4, p. 36-37, dez. 2003. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a20v55n4.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2015.

_____. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf>. Acesso em: 29 maio. 2015.

_____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

¹⁸ Só disponível, gratuitamente, se acessado pelos computadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou utilizando o proxy da Universidade em computador pessoal.

¹⁹ op. cit.

_____. **Inundações Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, [2015?]. Disponível em:<http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outras_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF>. Acesso em: 29 maio. 2015

UGEDA JÚNIOR, J. C. Urbanização Brasileira, Planejamento Urbano e Planejamento da Paisagem. In: CONGRESSO DO MEIO AMBIENTE DA AUGM, 6., 2009, São Carlos (SP). **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2009. p. 1-15. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-151.pdf>>. Acesso em: 16 maio. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **LANDSAT**: a global land-imaging mission. Reston (EUA), 2013. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3072/fs2012-3072.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

_____. **Earth Explorer**. [S. l.], 2015. Plataforma que possibilita a obtenção de imagens SRTM. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 26 maio. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Programa de Educação Tutorial Engenharia Civil. **Sistemas de Drenagem Sustentável**. Juiz de Fora (SP), 2011. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com/tag/infiltracao/>>. Acesso em: 7 ago. 2015.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2015.

_____. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, c2008a. p. 72-104.

_____. **Topodata**: guia para utilização de dados topográficos. São José dos Campos: INPE, c2008b. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 20015.

VIEIRA FILHO, D. de S.; SILVA, F. B. da; VERAS, R. L. O. de M.; NÓBREGA, F. A. R. da. Infraestrutura urbana: infraestrutura e o crescimento populacional no Brasil. **Cadernos de Graduação**: Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 1, n. 16, p. 19-25, mar. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/304/264>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas**: o estudo de caso da cidade do samba. 2008. 384 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/thesis/heitorv.pdf>>. Acesso em: 28 maio. 2015.

VITAL, S. R. de, O.; SILVEIRA, T. de, A.; ALENCAR, H. M. Q. de; FERREIRA, B. Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife.

Anais... Recife: UFPE, 2010. p. 1-5. Disponível em:
<https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/FotoeSR/SR_e_PDI/A_37.pdf>. Acesso em: 24 maio 2015.

ZAHED FILHO, K.; MARTINS, J. R. S. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas:** retenção e detenção – aula 5, São Paulo: USP, 2014. Apostila da disciplina Água em Ambientes Urbanos. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2015.

ZMITROWICZ, W.; ANGELIS NETO,.G. De. **Infra-Estrutura Urbana.** São Paulo: EPUSP, 1997. Texto Técnico PCC n. 17. Disponível em: <https://www.academia.edu/11101493/Infra-Estrutura_Urbana> Acesso em: 16 maio. 2015.