

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Nadinne da Silva Fernandes

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO EM
SANTA MARIA, RS**

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

Nadinne da Silva Fernandes

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO EM SANTA MARIA,
RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Cassol

Santa Maria, RS, Brasil
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fernandes, Nadinne
Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa
Maria, RS / Nadinne Fernandes.-2016.
105 p.; 30cm

Orientador: Roberto Cassol
Coorientador: Alessandro Miola
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2016

1. Suscetibilidade à Inundação 2. Bacia Hidrográfica 3.
Processo Analítico Hierárquico I. Cassol, Roberto II.
Miola, Alessandro III. Título.

Nadinne da Silva Fernandes

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO EM SANTA MARIA,
RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Aprovada em 11 de março de 2016:

Roberto Cassol, Dr.
(Presidente/Orientador)

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)

Angélica Cirolini, Dra. (UFPel)

Santa Maria,RS
2016

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, ao meu pai Juarez, à minha mãe Juracema e à minha irmã Daniele.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho ocorreu devido ao auxílio, à compreensão e à dedicação de algumas pessoas. Desse modo, agradeço a todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a conclusão desta pesquisa e, em especial, agradeço:

- À Deus e aos meus guias espirituais, pelos momentos de iluminação e de benção e por sempre me darem forças a cada dia.

- Aos meus professores e mestres, Roberto Cassol e Alessandro Carvalho Miola, meu muito obrigada, pois, sem o apoio e a orientação de vocês, eu não conseguiria. Dentre os mestres que cruzaram a minha vida acadêmica, a quem tenho a felicidade de chamar de amigos, não poderia deixar de destacar os professores: Michele Monguilhott, que é a profissional e a pessoa em que sempre me espelhei e me inspirei, Luiz Patric Kayser e ao Elódio Sebem, que marcaram a minha vida acadêmica, por suas excelentes aulas.

- Aos meus pais, Juarez Rodrigues Fernandes e Juracema da Silva Fernandes, e à minha irmã, Daniele da Silva Fernandes Rodrigues, por sempre me incentivaram a estudar e nunca desistir. Obrigada por cada sorriso, incentivo e preocupação e por compreender a minha opção em seguir nos estudos mesmo estando longe de seus braços. A distância me fortaleceu cada vez mais para lutar por um futuro melhor e poder garantir um dia momentos de felicidades sem fim para nossa família.

- Ao meu sobrinho e afilhado, Miguel Fernandes Rodrigues, que mesmo tão pequeno e não entendendo essa “vida de gente grande” pode garantir sorrisos, brincadeiras, amor sincero e uma vontade de estar ainda mais perto de quem se ama. Ao meu namorado, Eduardo, pelo apoio, incentivo aos estudos e companheirismo ao longo desses anos na minha trajetória.

- Aos meus queridos amigos de longa jornada, Débora Porciúncula, Silvia Dalmolin, Leonardo Aguiar, Chele Becker e Milene Nunes, e também às minhas amigas que o mestrado em geografia pôde me proporcionar e que com certeza levarei para sempre comigo, Viviane Pires e Natália Batista. As conversas e risadas entre um estudo e outro foram marcados por muitas histórias contadas por Valéria, Talitha, Lígia, Carmem Luyara, Bruno Prina, Edison, Eliège, Makele, Joceli e Douglas. Ao Lucas Carvalho e Lilian Tambara, meu obrigada pela ajuda na vetorização das Cartas Topográficas.

A cada pessoa que cruzou meu caminho e possibilitou que eu pudesse amadurecer, fazendo de mim quem eu sou hoje, agradeço por Deus ter colocado vocês na minha vida. Sem vocês nada disso seria possível: os guardarei para sempre em meu coração.

EPÍGRAFE

“Precisamos, entretanto, dar um sentido humano às nossas construções. E quando o amor ao dinheiro, ao sucesso, nos estiver deixando cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves do céu.”

(Érico Veríssimo)

RESUMO

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO EM SANTA MARIA, RS

AUTOR: Nadinne da Silva Fernandes
ORIENTADOR: Prof. Roberto Cassol

As ocorrências de fenômenos naturais, como enchentes e inundações, vêm ganhando proporções alarmantes nos últimos anos, trazendo como consequência prejuízos sociais e econômicos. Considerando o subsídio que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) fornecem para a geração de informações e tomadas de decisões, essa geotecnologia constitui-se em uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento do espaço geográfico. Sendo assim, a presente pesquisa busca, a partir da Modelagem Digital de Terreno (MDT) das bacias hidrográficas dos Arroios Cadena e Picadinha, localizadas no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul e do método multicritério Processo Analítico Hierárquico (AHP), identificar as áreas suscetíveis ao fenômeno de inundação. Para isso, procedeu-se à aquisição de dados de curvas de nível, pontos cotados, hidrografia, tipo de solos e imagens de satélite (*RapidEye*). A manipulação dos dados obtidos resultou na hierarquização da hidrografia conforme Shreve, no mapa de tipos de solo da área de estudo, a partir das imagens de satélite obteve-se o mapa de uso e ocupação da terra e na geração do MDT, proporcionando mapas de declividade e hipsometria. Assim, mediante as variáveis geradas, realizou-se a Análise Multicritério (AM), que consiste no cruzamento dos mapas obtidos e, conseqüentemente, na identificação das áreas suscetíveis à ocorrência do evento de inundação das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. A partir da identificação dessas áreas, foi possível estimar a população que nelas está inserida. Com base em tais resultados, acredita-se que as técnicas e os métodos utilizados possam fornecer subsídios e embasamentos para futuras pesquisas e auxiliar na fiscalização da área de estudo.

Palavras-chave: Suscetibilidade à Inundação. Bacia Hidrográfica. Processo Analítico Hierárquico.

ABSTRACT

MAPPING AREAS SUSCEPTIBLE TO FLOOD IN SANTA MARIA, RS

AUTHOR: Nadinne da Silva Fernandes

ADVISER: Prof. Roberto Cassol

The occurrence of natural phenomena such as floods and floods are gaining alarming proportions in recent years, bringing as a result of social and economic losses. Considering the subsidy in the Geographic Information Systems (GIS) provide for the generation of information and decision making, this geotechnology is in a tool that can assist in the planning of the geographical space. Thus, this research seeks from the digital terrain modeling (DTM) of the watershed Arroio Cadena and Picadinha, located in the city of Santa Maria, Rio Grande do Sul and multi-criteria method Hierarchy Process Analytic (AHP), identify susceptible areas the flood phenomenon. To do this, proceed to the acquisition of contour data, elevation points, hydrography, soil type and satellite images (RapidEye). Manipulation of the data resulted in the hierarchy of hydrography as Shreve, map of soil types in the study area, from satellite images obtained map of the use and occupation of land and generation of MDT, providing maps of slope and hypsometry. Thus, through the variables generated, there was a multi-criteria analysis (AM), which is the intersection of the generated maps and consequently the identification of areas susceptible to the occurrence of the flood event of the watershed Arroio Cadena and Picadinha. From the identification of these areas it was possible to estimate the population that is inserted. Based on these results, it is believed that the techniques and methods used can provide subsidies and soffits for future studies and aid in monitoring the study area.

Keywords: Susceptibility to flooding. Watershed. Analytical Hierarchy Process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo da hierarquia proposta por Shreve.	26
Figura 2 – Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas.	31
Figura 3 – Esquema ilustrativo sobre eventos de Alagamento	33
Figura 4 – Equacionamento de uma álgebra cartográfica	38
Figura 5 – Mapa de localização do município de Santa Maria – RS.....	45
Figura 6 – Mapa da população absoluta dos bairros de Santa Maria – RS.....	46
Figura 7 – Localização da bacia hidrográfica do Arroio Cadena..	48
Figura 8 – Mapa da população da zona rural das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.....	49
Figura 9 – Registro jornalístico (28 jan. 2015).	51
Figura 10 – Registros jornalísticos (20 jul. 2015).	51
Figura 11 – Registros jornalísticos (21 set. 2015).	52
Figura 12 – Registros jornalísticos (08 out. 2015).	53
Figura 13 – Registros jornalísticos (10 nov. 2015).	53
Figura 14 – Fluxograma das atividades.	54
Figura 15 – Composição RGB 542 das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. 64	
Figura 16 - Mapa de uso e ocupação da terra das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	65
Figura 17 – Mapa dos solos pertencentes às bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	67
Figura 18 – Mapa do fator de drenagem das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	69
Figura 19 – Mapa do ordenamento fluvial das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	71
Figura 20 – Mapa de hipsometria das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. 73	
Figura 21 – Mapa da declividade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. 75	
Figura 22 – Mapa da suscetibilidade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena	83
Figura 23 – Mapa de suscetibilidade à inundação – zona urbana.	86
Figura 24 – Mapa de suscetibilidade à inundação – zona rural.	87
Figura 25 – Mapa de suscetibilidade à inundação – bairros (alta suscetibilidade).	90
Figura 26 – Mapa de suscetibilidade à inundação – bairros (altíssima suscetibilidade).....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datas registradas de exurradas e enchentes.	50
Tabela 2 – Índices morfométricos das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	63
Tabela 3 – Classes de usos e ocupações da terra das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	66
Tabela 4 – Classes dos tipos de solos das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	68
Tabela 5 – Classes do ordenamento fluvial das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	70
Tabela 6 – Classes de hipsometria das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena	72
Tabela 7 – Classes de declividade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	74
Tabela 8 – Definição de pesos para as classes de uso e ocupação da terra.....	76
Tabela 9 – Definição de pesos para as classes de drenagem natural dos tipos de solo.	76
Tabela 10 – Definição de pesos para as classes de ordenamento fluvial.	77
Tabela 11 – Definição de pesos para a hipsometria.	77
Tabela 12 – Definição de pesos para a declividade.	78
Tabela 13 – Classes de suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.	84
Tabela 14 – Estimava populacional inserida nas áreas de alta e altíssima suscetibilidade.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Notas de acordo com o grau de suscetibilidade à inundação	40
Quadro 2 – Escala numérica de Saaty.....	40
Quadro 3 – Exemplificação de matriz de comparação.....	41
Quadro 4 – Classificação de declividade conforme a EMBRAPA (1979)	57
Quadro 5 – Amostras para a classificação do uso e ocupação da terra.....	58
Quadro 7 – Matriz de comparação.....	78
Quadro 8 – Matriz de pesos.....	79
Quadro 9 – Determinação dos valores A_w	80
Quadro 10 – Valores de IR.....	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	GEOTECNOLOGIAS	17
2.1.1	Sensoriamento Remoto	19
2.1.2	Sistemas de Informações Geográficas	20
2.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS	22
2.3	CHUVAS	25
2.4	ALAGAMENTO, ENCHENTE E INUNDAÇÃO	26
2.4.1	Enchente	28
2.4.2	Inundação	29
2.4.3	Alagamento	31
2.5	SUSCETIBILIDADE.....	32
2.6	MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).....	33
2.7	MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO	34
2.8	ANÁLISE MULTICRITÉRIO (AM).....	36
2.9	PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP).....	37
3.	MATERIAL E MÉTODO	43
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.2	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	54
3.2.1	Levantamento bibliográfico	54
3.2.2	Aquisição da base cartográfica	55
3.2.3	Caracterização das bacias hidrográficas	55
3.2.4	Análise do Modelo Digital de Terreno (MDT)	56
3.2.5	Análise Multicritério (AM)	59
3.2.6	Análise populacional	62
4.	RESULTADOS	63
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
	REFERÊNCIAS	94
	Anexo A–Análises dos registros históricos de chuvas do município de Santa Maria, RS102	

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e a concentração das populações em áreas urbanas, vinculados aos novos hábitos da sociedade, trazem uma preocupação à maior parte dos países, que é a qualidade e o manejo dos recursos naturais. A exploração da terra e a aceleração do crescimento urbano com a expansão das construções têm alterado significativamente a paisagem e o meio ambiente, ocasionando desequilíbrios e, conseqüentemente, situações de riscos. Os debates e as reflexões acerca de desastres associados a eventos naturais e o crescimento das áreas de risco têm ganhado força e vêm sendo tratados como temas significativos nos meios de comunicação e nos meios científicos. Dessa maneira, a temática que envolve riscos naturais é colocada como ponto centralizador nas discussões, com foco no gerenciamento e na administração das áreas de suscetibilidade.

Os eventos naturais são processos superficiais que fazem parte da dinâmica da natureza e acontecem independentemente da ação antrópica, trazendo conseqüências sociais, ambientais e econômicas para a região afetada. Menezes (2014) afirma que as áreas de risco aparecem sob o escopo de uma interação (ou conflito) entre o meio natural e o meio social (estando este geralmente vulnerável), em que a natureza impõe obstáculos e restrições para a ocupação de determinadas áreas. Dessa maneira, a população, ao habitar as áreas estabelecidas como suscetíveis, acaba potencializando os efeitos adversos decorrentes de algum desastre e, logo, desencadeando a configuração do risco.

Assim, a ação antrópica sobre os elementos dos sistemas físico-ambientais pode agir de forma direta ou indireta sobre os processos naturais, alterando o seu equilíbrio. A forma direta acontece quando há ação localizada sobre os elementos físico-ambientais, como a construção de reservatórios, interferência em canais fluviais, construção de estradas e irrigação de lavouras. Já a forma indireta está relacionada com as alterações de cobertura vegetal e de uso da terra, modificando ciclos naturais e levando ao reajuste dos elementos físico-ambientais do sistema. Como exemplo de uma ação antrópica indireta, Simon e Cunha (2009) citam o controle sobre as condições climáticas, oriundo do adensamento populacional e do crescimento industrial, fatos que ocasionam alterações na atmosfera.

Os fatores intervenientes na formação das enchentes, por exemplo, segundo Santos (2007), podem ser de origem artificial, resultante das intervenções humanas, ou natural. Os fatores naturais são a topografia e a natureza de drenagem à montante das zonas inundáveis. As altas declividades das vertentes e dos cursos de água reduzem o tempo de resposta da bacia às precipitações, gerando vazões importantes à jusante. As vazões máximas são

proporcionais às declividades da rede de drenagem e à intensidade de precipitação na bacia de contribuição. As velocidades dos escoamentos são igualmente proporcionais às declividades. Quanto maior for a declividade, maior será a velocidade e, portanto, maior será a capacidade destrutiva dos escoamentos.

Os agentes determinados como importantes e que influenciam diretamente o nível da água alcançado por uma enchente, independente da precipitação incidente, são: hipsometria, declividade, uso da terra e tipo de solo (SANTOS, 2010). Nesse sentido, ressalta-se o caso de Santa Maria, Rio Grande do Sul, que, historicamente, sofre com inundações, principalmente nas áreas com menores declividades e altitudes. Tal constatação é proveniente de um estudo realizado por Fernandes e Miola (2013), que analisaram o comportamento das grandes inundações ocorridas nos últimos 32 anos no município, utilizando dados georreferenciados e registros jornalísticos desses eventos. Cabe destacar, também, a pesquisa realizada por Reckziegel (2007), que levantou informações sobre desastres naturais que ocorreram no estado do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2005. A partir dos dados levantados pela autora, é possível identificar que o município de Santa Maria possui um histórico de 20 registros de enchentes e enxurradas nesse período. Segundo a Defesa Civil (2015), foi registrada em 2009 a ocorrência de inundação, levando o município a decretar situação de emergência. Sabe-se, ainda, que, nos meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2015, Santa Maria sofreu com as intensas chuvas, o que ocasionou prejuízos sociais e materiais e instaurou nova situação de emergência.

Para realizar um levantamento das áreas de inundação, é necessário conhecer mais do que o total precipitado e a localização dos danos causados pela chuva. Partindo de uma aproximação, como fizeram os autores supracitados, é preciso identificar os comportamentos específicos dos principais agentes causadores das enchentes e modelar suas inter-relações.

Tendo isso em vista, salienta-se que o município de Santa Maria, área de estudo desta pesquisa, está localizada no Cone Sul, que é a porção sul do continente americano, incluindo a Argentina, o Chile, o Uruguai e a região sul do Brasil. Estas regiões sofrem com os fenômenos *El Niño* e *La Niña*, que, algumas vezes, trazem consequências desastrosas para a população. Cabe destacar que essas variações climáticas causam efeitos diferentes na região do sul do Brasil. O *El Niño* provoca elevações nos índices pluviométricos, sendo um dos potencializadores dos condicionantes para a ocorrência de enchentes. O *La Niña*, por sua vez, tem afetado drasticamente essa região sob a forma de fortes estiagens.

Nesse contexto, a escolha deste tema se justifica pela necessidade de estudos e técnicas de precisão que resultem em informações acuradas. Diante desta complexidade de

analisar e modelar a superfície terrestre, é preciso conhecer as geotecnologias e os métodos para melhor compreender esses fenômenos.

O estudo das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadenaque, que compõem a maior parte da área urbana do município de Santa Maria, é importante, uma vez que essas bacias são uma unidade natural para o diagnóstico da situação dos processos que envolvem problemas relacionados com impermeabilização do solo, inundação e erosão. Portanto, torna-se necessário planejar e promover ações destinadas a prevenir e minimizar os efeitos destes problemas, tendo como base de análise as bacias hidrográficas para uma gestão da água no meio urbano (SILVA, 2007).

Os agentes causadores do processo de inundação podem ser de diferentes origens, principalmente ao se tratar da zona urbana, devido à ação antrópica. Dessa forma, é de fundamental importância realizar a modelagem digital do terreno com dados de grande escala, em função da maior riqueza de detalhes, e, a partir dessa modelagem, mapear os locais que possuem maior suscetibilidade de inundação. Esse processo pode ser avaliado por uma Análise Multicritério (AM), que possibilita analisar atributos de distintos dados atribuindo pesos e definindo critérios, mediante a álgebra de mapas, pois esses métodos podem gerar resultados de precisão que irão auxiliar no planejamento, podendo, assim, minimizar os danos causados.

Nesse sentido, a escolha da temática para o desenvolvimento desta pesquisa ocorreu em virtude da proporção que a ocorrência de fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos tomou, causando prejuízos irreparáveis para diversas pessoas. Diante das possibilidades que os Sistemas de Informações Geográficas (*Geographical Information System* – SIG) fornecem para geração de informações e tomadas de decisões, estes se tornam uma ferramenta indispensável para o auxílio no planejamento e na gestão.

Apoiada nessas premissas, esta pesquisa objetiva, a partir da modelagem digital do terreno das bacias hidrográficas dos Arroios Picanha e Cadena, localizadas no município de Santa Maria, e da AM, identificar áreas suscetíveis à inundação e espacializar essas informações por meio de mapas temáticos. Para alcançar o objetivo principal, foram definidos três objetivos específicos, que são: (a) produzir um banco de dados incluindo as informações do Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo e os dados sobre diferentes tipos de uso e cobertura da terra, declividade, hipsometria, ordem fluvial e aspectos físicos das bacias hidrográficas; (b) realizar uma AM, atribuindo pesos e critérios aos dados gerados com a finalidade de mapear as áreas suscetíveis à inundação; e (c) estimar a população inserida nas áreas de alta e altíssima suscetibilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os acontecimentos gerados pela relação entre os agentes sociais e naturais ocasionam uma preocupação quanto ao uso e à ocupação do território, devendo ser observados em sua totalidade, uma vez que pesquisar e conhecer o espaço geográfico é de fundamental importância. Considerando essa premissa, técnicas e conceitos foram criados para melhorar o entendimento acerca das complexidades do espaço geográfico em que estamos inseridos.

Dessa maneira, cabe mencionar as geotecnologias, que consistem em técnicas e ferramentas de análise que aperfeiçoaram e auxiliaram os estudos relacionados ao espaço geográfico. Além das geotecnologias, os conceitos de bacias hidrográficas, alagamento, inundação e enchentes, suscetibilidade, Modelo Digital de Terreno (MDT) e Análise Multicritério (AM) são fundamentais para o entendimento e a realização dos objetivos propostos nesta pesquisa.

2.1 GEOTECNOLOGIAS

No período após a Segunda Guerra Mundial, começou um processo de renovação das tecnologias, uma vez que, de acordo com Santos (1986), a Geografia não poderia fugir das enormes mudanças ocorridas em todos os domínios científicos após 1950. Com o advento das tecnologias e outras ciências, percebeu-se que a Geografia tradicional já não explicava mais o espaço de forma completa, pois os autores dessa escola visavam à descrição da paisagem sem interferir sobre ela, como se fossem “pintores” que retratam a paisagem fielmente sem explicar o porquê de determinada configuração.

Dessa forma, surgem duas correntes para dinamizar a Geografia e renová-la: a Geografia Quantitativa (também conhecida como Nova Geografia ou como Teorética), que utiliza sistemas de informações e dados quantitativos para demonstrar a realidade; e a Geografia Crítica, que busca interpretar a realidade a partir do método dialético. Contudo, a Geografia Quantitativa apenas apresentava os dados, sem discuti-los. Já a Geografia Crítica trabalhava com as questões sociais e deixava de lado as questões físicas. Nesse contexto, surgem as geotecnologias, que possibilitam dar respostas a essas dificuldades encontradas pela Geografia.

Nesse sentido, a Geografia e seus conceitos incluídos no interior das geotecnologias propiciam uma nova visão do mundo, atuando como um paradigma geográfico, em que a Geografia oferece às outras disciplinas uma imensa possibilidade de ações e aplicações

(BUZAI, 2004). A esse respeito, Buzai (2004) ressalta que aprender os procedimentos geoinformáticos se tornou uma tarefa dinâmica e de descobrimentos de novos sentidos. Dessa maneira, a Geografia enfrenta uma nova realidade, advinda do fato de que o seu objeto de estudo será o virtual e a sua variedade de relações, assim como as representações computacionais do espaço.

A aplicação das geotecnologias está diretamente relacionada à importância que o estudo do espaço geográfico vem ganhando na sociedade contemporânea nos últimos anos. Na perspectiva atual de gestão do território, de acordo com Medeiros e Câmara (2001), toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, tais como o meio físico-biótico, a ocupação humana e a relação entre esses dois elementos. Tal análise depende essencialmente das geotecnologias, que integram dados alfanuméricos e dados espaciais (MIOLA, 2013).

A geotecnologia, também conhecida como geoprocessamento, é um termo amplo que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos por meio de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, destacam-se: o sensoriamento remoto, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) (GURGEL, 2003).

A própria natureza do vocábulo geoprocessamento, que predomina como nomeação mais genérica desse campo de conhecimentos, traz em si a associação dos termos geo (que remete à Geografia e à questão do espaço geográfico) e processamento (que se associa à questão do processamento de dados ou do modo como tratar as informações geográficas). Em uma perspectiva simplista, é possível afirmar que o termo se refere ao processamento de dados geográficos, com o objetivo de representar um conhecimento sobre o espaço (CASTIGLIONE, 2003). A partir do uso das técnicas de geoprocessamento, é possível representar, graficamente, a superfície terrestre. Diante disso, pode-se dizer que o geoprocessamento diz respeito à representação computacional do espaço, possibilitando, através dessa representação, obter informações sobre determinado tema.

O geoprocessamento, em uma definição mais ampla, é a ciência e a tecnologia que tratam das representações do espaço geográfico. Dessa forma, ele contempla em suas atividades iniciais a coleta de dados, por meio do sensoriamento remoto e de levantamentos topográficos, por exemplo, para posteriormente construir representações em uma linguagem gráfica e para, finalmente, em suas mais modernas manifestações, promover a intensa análise

das informações geográficas produzidas, como no caso das aplicações em SIG (CASTIGLIONE, 2003).

Para uma maior compreensão do termo geoprocessamento, Rosa e Brito (1996, p. 7) o definem como o

[...] conjunto de tecnologias destinada a coleta e tratamento de informações espaciais, assim com o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo Geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém softwares diferentes.

A partir disso, pode-se afirmar que o geoprocessamento, segundo Azevedo (2007), leva à revisão dos métodos tradicionais de planejamento e gestão por meio da introdução da variável posição no processo de análise, pois este elemento é decisivo para subsidiar eficazmente as ações e tomadas de decisão. Portanto, ao introduzir uma nova visão sobre a detecção e resolução de problemas, o geoprocessamento torna-se fundamental na análise espacial.

No caso da presente pesquisa, utilizar as geotecnologias possibilita identificar as áreas suscetíveis à inundação, permitindo uma quantificação desses locais, a partir das amplas ferramentas que oferecem e dos dados acerca das características topográficas. A manipulação dos dados e seu cruzamento (análise espacial) resultam em uma nova informação que serve aos mais variados objetivos, tais como o reconhecimento das suscetibilidades das áreas a serem atingidas com maior ou menor intensidade, auxiliando, assim, em possíveis planejamentos e em estudos futuros.

2.1.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento é uma das técnicas desenvolvidas a partir da evolução da Geografia que foi criada para designar a elaboração de uma nova tecnologia de instrumentos capaz de obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Novo (2010) define o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para o processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das

interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem em suas mais diversas manifestações.

Segundo Florenzano (2008), o sensoriamento remoto é a tecnologia de aquisição à distância de dados da superfície terrestre, o que ocorre por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites). O sensor capta a energia (radiação eletromagnética) refletida ou emitida pela superfície em diferentes comprimentos de onda ou frequência.

As imagens de sensores remotos, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes tipos de mapas. Enquanto os mapas contêm informações, as imagens obtidas dos sensores remotos contêm dados brutos, que só se tornam informação após a sua interpretação (FLORENZANO, 2002). “A utilização de bases topográficas digitais obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul” (VALERIANO, 2004, p. 19).

A partir dessas constatações, pode-se dizer que o sensoriamento remoto consiste na utilização de sensores para a obtenção de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com estes. O uso das técnicas de sensoriamento remoto nesta pesquisa permitiu identificar os usos e as ocupações presentes na área de estudo, com base na interpretação de imagens de satélite *RapiEye*, o qual possui uma constelação de cinco satélites que adquirem imagens coloridas com resolução espacial de 5 m.

2.1.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

A partir de uma nova visão de mundo e da busca por respostas até então desconhecidas, a Geografia, aliada à tecnologia, procurou ferramentas e instrumentos que pudessem solucionar os seus problemas. Tal busca resultou no surgimento dos SIG, fazendo com que as representações cartográficas pudessem ser informatizadas e trouxessem respostas rápidas e confiáveis.

Os SIG são bancos de dados georreferenciados que permitem a integração de dados: de sensoriamento remoto, temáticos, cadastrais, tabulares e de MDT. Nesse sentido, o sucesso do uso de novas tecnologias nos estudos geográficos levou à construção de um sistema computadorizado, que permitiu o armazenamento e o processamento de dados espaciais, possibilitando a integração do banco de dados com um mapa, configurando um SIG (LEITE; FRANÇA, 2009).

Segundo Rosa (2011), o SIG é um conjunto de ferramentas computacionais, composto de equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise, a modelagem, a simulação e a disponibilização de informações georreferenciadas. Estas possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, ao planejamento e à tomada de decisão relativos ao espaço geográfico.

Os SIG permitem adquirir informações de determinado espaço à distância, facilitando e melhorando a precisão dessas informações para planejamentos tanto urbanos quanto rurais e proporcionando estudos mais aprofundados sobre determinado tema. “Os SIGs oferecem ferramentas que permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis georreferenciadas com uma economia de expressão e uma repetibilidade impossível de alcançar em análises tradicionais” (CÂMARA et al., 2003, p. 94). Os mesmos autores comentam, contudo, que a tecnologia do SIG não resolveu todos os problemas relacionados às informações geográficas, mas apenas aqueles relativos à representação computacional do espaço.

As informações espaciais possuem aplicações ambientais, sociais e econômicas, de modo que as técnicas de SIG são desenvolvidas para que os elementos derivados da topografia, do solo, do uso da terra e dos dados meteorológicos possam ser combinados na geração de uma nova informação espacial. O SIG contempla inúmeras áreas do saber, como saúde e ciências exatas e naturais, facilitando o entendimento do espaço geográfico (ou outro espaço) e reduzindo o tempo e o custo necessários para isso.

Por possibilitar a manipulação de conjuntos de dados espaciais econômicos, sociais e ambientais, os SIG são fundamentais ao entendimento dos fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. Ainda que as observações realizadas em ambiente SIG sejam rápidas e precisas, é necessário avaliar a coesão dos resultados adquiridos, identificando e determinando as possíveis causas do resultado, ou seja, do comportamento da distribuição espacial dos fenômenos estudados.

As ferramentas de análise dos SIG podem ser aplicadas em diversas áreas do conhecimento, devido à sua ampla capacidade de analisar, interpretar e manipular os dados. Dessa forma, no caso da presente pesquisa, as técnicas dos SIG são essenciais para o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, pois permitem a integração e o cruzamento de dados.

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Entende-se por bacia hidrográfica toda área de captação natural da água da chuva que escoar superficialmente para um corpo de água ou seu contribuinte. Os limites da bacia hidrográfica são definidos pelo relevo, considerando-se como divisores de águas as áreas mais elevadas. O corpo de água principal, que dá o nome à bacia, recebe contribuição dos seus afluentes, os quais podem, por sua vez, apresentar vários contribuintes menores, sendo alimentados direta ou indiretamente por nascentes (SEMA, 2010).

Com a mensuração da forma e da área da bacia hidrográfica, é possível obter informações sobre seu comportamento em determinadas ocasiões, como no caso das bacias hidrográficas com formas circulares, as quais apresentam maiores probabilidades de serem atingidas por enchentes (ROCHA, 1997). Nesse sentido, por afetarem diretamente o meio e os homens, as bacias hidrográficas tornam-se um elemento importante no planejamento.

Para Leal (1998), as grandes cidades possuem graves problemas provocados pelas relações conflituosas entre áreas urbanas e bacias hidrográficas, em virtude do modo de vida e de produção dominantes. O autor afirma, assim, que, para transformar essa situação, é necessário desenvolver o planejamento ambiental integrado em todos os níveis de ação governamental, democratizando o planejamento e incluindo a análise das bacias hidrográficas urbanizadas na elaboração do planejamento ambiental das cidades. Ainda segundo Leal (1998), vários problemas que ocorrem em áreas urbanizadas, como as enchentes, as inundações e os movimentos de massa, podem ser analisados por meio de suas espacializações, utilizando a bacia hidrográfica como referência para compreensão e busca de soluções.

À medida que a ocupação urbana no entorno da bacia aumenta, verifica-se um expressivo crescimento das áreas impermeabilizadas. Ocorrem, então, uma redução das perdas por infiltração e um aumento do volume e da velocidade de escoamento superficial, o que gera problemas de drenagem, como é o caso de enchentes (VAEZA *et al.*, 2008).

As bacias hidrográficas são unidades fundamentais para a conservação e o manejo da terra, uma vez que a característica ambiental de uma bacia reflete o somatório ou as relações de causa e efeito da dinâmica natural e da ação humana. A bacia hidrográfica serve, assim, como unidade básica para a gestão dos recursos hídricos e para a gestão ambiental como um todo, uma vez que os elementos físicos naturais estão interligados pelo ciclo da água (SEMA, 2010).

Segundo Machado (2010), o estudo detalhado de uma bacia hidrográfica, quer seja de suas características físicas, socioeconômicas ou de uso e ocupação do solo, é fundamental para que se proceda à utilização e ao manejo adequado dos recursos naturais dessa bacia, especialmente os hídricos. As análises morfométricas abrangem, assim, um grande número de parâmetros que permitem melhor caracterizar o ambiente de uma bacia hidrográfica, sua predisposição à ocorrência de alguns eventos e sua incompatibilidade com certas atividades (MACHADO, 2010).

A esse respeito, Campanharo (2010) afirma que a morfometria é um estudo matemático das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica, enunciado em índices organizados em três grandes grupos: os que indicam características geométricas, os que indicam características da rede de drenagem e os que expressam características do relevo. Para Lindner *et al.* (2007), os índices morfométricos são importantes para a prevenção de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens. Além disso, podem ser usados para apontar áreas de maior suscetibilidade a processos naturais, tornando-se importantes instrumentos para o planejamento e a gestão territorial. Como instrumento, os indicadores morfométricos justificam a sua importância na gestão dos espaços urbanos e rurais e podem contribuir para um melhor aproveitamento dos recursos naturais, bem como para a prevenção da degradação desses ambientes.

Dessa forma, nesta pesquisa, optou-se por utilizar os seguintes índices morfométricos: coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, índice de circularidade, fator de forma e ordem dos cursos d'água. O coeficiente de compacidade (K_c) faz a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia (CARDOSO *et al.*, 2006). Esse coeficiente varia conforme a forma da bacia, independente do seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular. Já para uma bacia alongada, seu valor seria significativamente superior a 1, podendo ser calculado, conforme Villela e Mattos (1975), pela seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde: K_c = coeficiente de compacidade; P = perímetro; A = área da bacia

A densidade de drenagem (D_d), por sua vez, mostra a menor ou maior velocidade em que a água deixa a bacia hidrográfica, indicando, assim, o grau de desenvolvimento do

sistema de drenagem, o que mostra a eficiência de drenagem da bacia. Christofolletti (1969) correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento, devem ser medidos tanto os rios perenes quanto os temporários, conforme prevê Horton (1945). O índice da densidade de drenagem pode ser calculado pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (2)$$

Onde: L= comprimento total de todos os canais; A= área da bacia.

Já o índice de circularidade (I_c) tende para unidade (1) à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO *et al.*, 2006), conforme mostra a equação:

$$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde: I_c = índice de circularidade; A= área da bacia; P= perímetro.

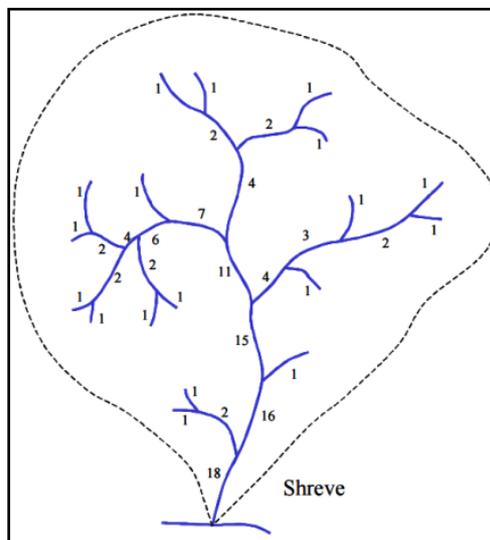
O fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longe do espigão), podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Esse fator pode atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho com fator de forma maior (VILLELA e MATTOS 1975), conforme a equação a seguir:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

Onde: F= fator de forma; A= área da bacia; L= comprimento do rio principal.

A ordem dos cursos d'água é a classificação da hierarquia fluvial proposta por Shreve (1966). As magnitudes são somadas todas as vezes em que há a junção de duas linhas de drenagem. Assim, quando duas linhas de segunda magnitude se unem, por exemplo, o trecho a jusante recebe a designação de quarta magnitude (Figura 1). Dessa forma, no método de Shreve, algumas magnitudes podem não existir (RENNÓ; SOARES, 2003).

Figura 1 – Exemplo da hierarquia proposta por Shreve



Fonte: RENNÓ; SOARES (2003).

Percebe-se que as análises que envolvem bacias hidrográficas são estudos que identificam as características dessa área, as quais, muitas vezes, são desconhecidas ao órgão responsável pelo seu planejamento. Ressalta-se, também, que o termo bacia hidrográfica é comumente usado, mas ainda desconhecido da população, devido à falta de informação e conscientização. Sabe-se, contudo, que as bacias são consideradas unidades de planejamento de um município, pois, a partir do tipo de manejo ou do estudo delas realizado, pode-se prevenir desastres, por exemplo.

A bacia hidrográfica é um fator importante de análise, uma vez que sua área é bem delimitada pelos divisores d'água, o que torna possível realizar estudos eficazes sobre suas dinâmicas. Tendo isso em vista, esta pesquisa buscou analisar as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena, que são uma unidade importante para o município de Santa Maria, uma vez que abrangem a maior parte da área urbana da cidade.

2.3 CHUVAS

A precipitação pluviométrica é um elemento do clima que apresenta alta variação temporal e espacial. Sua ocorrência em excesso ou em déficit geralmente causa prejuízos, como transtornos à população em geral (BACK, 2014).

A distribuição das chuvas em uma região, segundo Montebeller *et al* (2007) depende de dois fatores: estáticos e dinâmicos. Os fatores estáticos são a latitude, a distância do oceano, o efeito orográfico; já os fatores dinâmicos são a movimentação das massas de ar. Esses fatores, associados entre si, caracterizam os índices pluviométricos de uma região.

O Rio Grande do Sul, conforme Sartori (2003), está em uma zona de transição climática, sofrendo influências de sistemas tanto extratropicais quanto intertropicais, o que reflete na distribuição de chuvas durante o ano todo e, ao mesmo tempo, nas secas e enchentes enfrentadas pelo estado. Em estudos que relacionam impactos referentes às chuvas e às inundações, segundo Castellano (2010), devem ser consideradas questões climáticas, englobando análises de aspectos físicos dos fenômenos atmosféricos e de questões sociais elevando em conta características de ocupação da terra, planejamento e dinâmica da sociedade atingida.

A ocupação irregular das áreas às margens dos rios altera o processo de infiltração da água no solo, provocando impermeabilização na bacia hidrográfica. Dessa forma, durante as chuvas, intensifica-se o escoamento da água, aumentando as vazões acima da capacidade da hidrografia, o que ocasiona inundações em áreas ocupadas pelo homem.

A chuva é o fator determinante para o processo de inundação, pois sua falta ou seu excesso desencadeia os desastres, o que faz com que a intensidade e durabilidade das chuvas sejam aspectos importantes para o monitoramento desses eventos. No caso desta pesquisa, a precipitação é fator-chave por ser o primeiro elemento desencadeante do fenômeno de inundação. Assim, ao ser aliada com fatores topográficos da área de estudo, o desastre ocasionado pode tomar proporções que causem prejuízos à população.

2.4 ALAGAMENTO, ENCHENTE E INUNDAÇÃO

A ação antrópica é um fator determinante sobre o meio ambiente, pois caracteriza, transforma e altera esse meio. Poluição de rios e ruas, desmatamentos e construções feitas com distâncias aos leitos dos rios que são inferiores às estabelecidas por lei se tornaram comuns aos olhos da sociedade, muitas vezes por desconhecer as questões ambientais e suas consequências. O crescimento habitacional desordenado e, principalmente, a falta de fiscalização são efeitos que, em uma situação de precipitação normal, transformam riscos em desastres.

Os condicionantes de enchentes e inundações são de origens naturais e antrópicas. Souza (2005, p. 46) enfatiza que

Os condicionantes naturais são divididos em: climático-meteorológicos (magnitude e frequência de chuvas associadas a frentes frias, fenômenos climáticos como El Niño e La Niña etc.), geológico-geomorfológicos (substrato geológico, morfometria da bacia de drenagem, solo e cobertura vegetal), fluviohidrológicos (hidráulica fluvial, correntes geradas por marés em áreas estuarinas e lagunares etc.) e oceanográficos (influência das marés e da dinâmica de circulação costeira junto à desembocadura fluvial ou lagunar). Os condicionantes antrópicos resultam de intervenções humanas diretas ou indiretas nas bacias de drenagem, podendo ser genericamente agrupados em: uso e ocupação de áreas marginais aos canais de drenagem; modificações na rede de drenagem (aterros, construção de estruturas lineares e barragens; implantação de medidas estruturais para minimizar enchentes, disposição de resíduos sólidos e líquidos em locais inadequados ou nos próprios canais etc.).

Seguindo a mesma linha de pensamento, Amaral e Ribeiro (2009) afirmam que a probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e alagamento são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos. Dentre os naturais, destacam-se: a formas do relevo; as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; a intensidade, a quantidade, a distribuição e a frequência das chuvas; as características do solo e o teor de umidade; e a presença ou a ausência da cobertura vegetal. Já os condicionantes antrópicos são: o uso e a ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; a disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água; as alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água; e o intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água.

A esse respeito, é possível afirmar que, “Em condições naturais, as planícies e fundos de vales estreitos apresentam lento escoamento superficial das águas das chuvas, e nas áreas urbanas estes fenômenos têm sido intensificados por alterações antrópicas” (AMARAL; RIBEIRO, 2009, p. 41). Alcântara-Ayala (2002), no que diz respeito à intervenção humana no ambiente, diz que os fenômenos naturais, como escorregamentos, terremotos e inundações, sempre existiram, mas passaram a se configurar em desastres naturais a partir do momento em que o homem começou a interagir com o meio. Essa interação, marcada pela ocupação das planícies de inundação e pelas impermeabilizações ao longo das vertentes, por exemplo, afronta a natureza e provoca, mesmo em cidades de topografia plana, nas quais, teoricamente, a infiltração seria favorecida, resultados danosos.

As diversas intervenções antrópicas realizadas no meio físico têm sido determinantes na ocorrência de enchentes e inundações, principalmente nas áreas urbanas. No Brasil, a expansão urbana ocorre com um conjunto de ações que modificam as condições hidrológicas de uma região: o desmatamento, a exposição dos terrenos à erosão e o consequente

assoreamento dos cursos d'água, a impermeabilização dos terrenos e, principalmente, a ocupação desordenada das áreas marginais.

Dessa forma, enchentes e inundações ocorrem em cidades que apresentam relevo com planícies fluviais extensas, onde normalmente se concentram grandes aglomerações de pessoas e diferentes ramos de atividades humanas. São áreas que têm como principal característica uma baixa capacidade natural de escoamento dos cursos principais de drenagem (NEVES, 2006).

Em regiões de baixa altitude, a passagem de uma frente fria de intensa pluviosidade pode produzir um acúmulo de água no interior de uma bacia hidrográfica superior à capacidade de drenagem dos cursos d'água, provocando inundações e enchentes. As inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com uma periodicidade de tempo nos cursos d'água, geralmente devido à precipitação intensa de longa e curta duração. “Quando as águas do rio elevam-se até a altura das margens, sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação” (KOBİYAMA e GOERL, 2011, p. 49).

Além dos conceitos de inundação e enchente, existe o conceito de alagamento, geralmente usado em áreas urbanas. Goerl e Kobiyama (2005, p. 3) afirmam que, “no Brasil, existem vários termos relacionados ao fenômeno das inundações que são: cheia, enchente, enxurrada, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, entre outros”. Muitos destes termos são empregados erroneamente em virtude de traduções equivocadas e de adaptações mal feitas de vocábulos provenientes de línguas estrangeiras, motivo pelo qual é necessário analisar a diferença entre as noções de alagamento, enchente e inundação.

2.4.1 Enchente

As enchentes são caracterizadas por uma vazão relativamente grande de escoamento superficial, causadas principalmente pelo excesso de chuva e pelo descarregamento de qualquer volume de água acumulado a montante, como, por exemplo, o rompimento de uma barragem ou a abertura brusca das comportas de um reservatório. As enchentes ou cheias caracterizam-se pela elevação do nível d'água no canal de drenagem, em virtude do aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, sem, contudo, extravasá-la (TOMINAGA; SANTORO e AMARAL, 2009).

O fenômeno das enchentes ocorre a partir das grandes chuvas que acontecem nos rios, associado a ocupações irregulares de áreas impróprias, como no caso do leito principal. Para

Guerra e Guerra (1997, p. 220), as enchentes são grandes cheias que “ocorrem nos rios e geralmente resultam em desastres, causando perdas na agricultura, pecuária, nas cidades próximas. O que caracteriza as enchentes é a sua irregularidade, não ocorrendo todos os anos”. Segundo Tucci (1997, p. 667), as enchentes acontecem quando a “precipitação é intensa e a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem resultando na inundação de suas áreas ribeirinhas”.

Delgado (2000) entende a enchente como cheia, ou seja, como um evento que resulta da incapacidade temporária de um canal de drenagem conter, em sua calha normal, o volume de água por este recebido. Segundo Cordeiro (1992), as enchentes são fenômenos naturais que acontecem devido à ocorrência de precipitações intensas, as quais são agravadas com o desmatamento, a urbanização e a ocupação desordenada do solo.

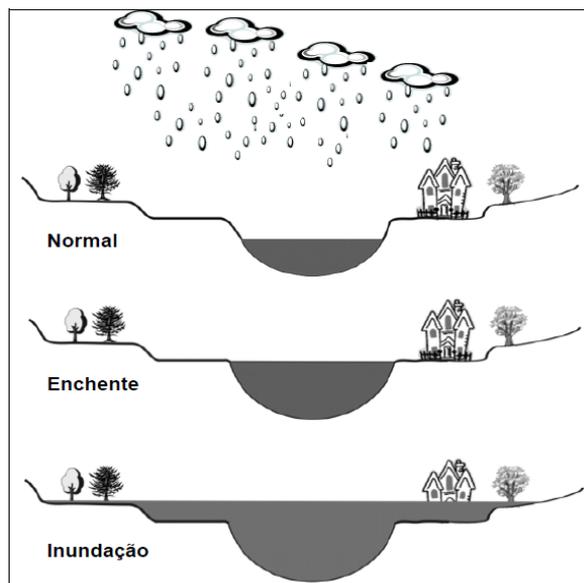
Nesse sentido, Oliveira (1999) concede ênfase às enchentes urbanas, que constituem um dos impactos mais pronunciados atualmente, destacando que as ocupações de áreas de fundos de vales, planícies de inundações e vertentes criam condições favoráveis ao desencadeamento desse processo. De acordo com Monteiro (1996), enchentes não seriam danosas se o homem evitasse as planícies de inundação, assim como os movimentos de massa não seriam perigosos se as encostas não fossem intensamente ocupadas.

2.4.2 Inundação

As águas das chuvas, ao alcançarem um curso de água, aumentam a vazão deste por determinado tempo. Esse acréscimo na descarga da água é chamado de cheia ou enchente. Quando o acréscimo de água em um rio for superior à sua capacidade de vazão, extravasando para as áreas marginais (planície de inundação), que normalmente não são ocupadas pelas águas, ocorre o fenômeno da inundação (Figura 2) (MACEDO *et al.*, 2004).

As inundações são caracterizadas, assim, pelo extravasamento dos cursos d'água, sendo causadas, sobretudo, pelo excesso de chuva e pela existência de qualquer obstrução que impeça a passagem de vazão da enchente, como, por exemplo, um bueiro mal dimensionado. Desse modo, pode-se afirmar que a “Inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea” (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Figura 2 – Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas.



Fonte: Goerl e Kobyama (2005).

O fenômeno das inundações pode ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou devido à ação do homem causada pela urbanização (impermeabilização do solo e canalização dos rios). “A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do tipo de solo e das características morfométricas da bacia” (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

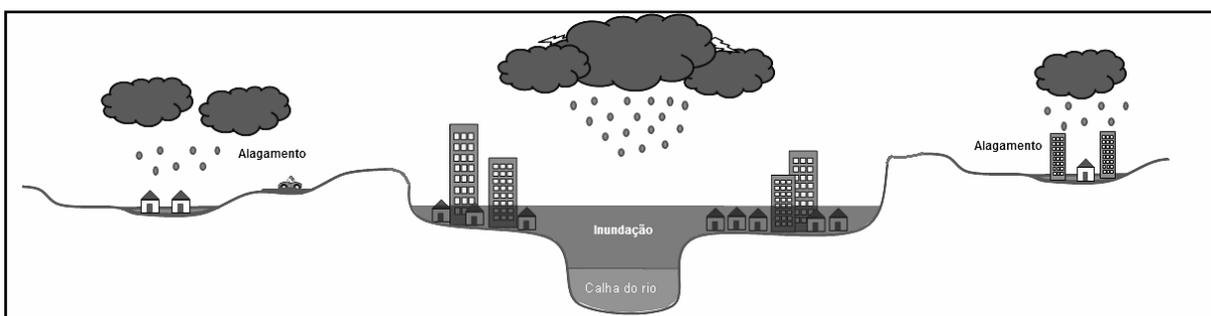
Segundo Tucci (2003), o escoamento pluvial pode produzir inundações de áreas ribeirinhas e inundações devido à urbanização, dois processos que podem ocorrer isoladamente ou combinados. Geralmente, os rios apresentam dois leitos: o leito menor, onde a água escoar na maior parte do tempo, e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre um ano e meio e dois anos. As inundações de áreas ribeirinhas são uma decorrência natural do ciclo hidrológico, de modo que o rio escoar pelo seu leito maior. Com a ocupação urbana do leito maior, local caracterizado como área de risco, os impactos de inundações tornam-se frequentes. Quanto à ocorrência dos dois tipos de inundações, Tucci (2003) aponta que o evento de inundações ribeirinhas tem sido registrado junto com a história do desenvolvimento humano, enquanto que as inundações devido à urbanização têm sido mais frequentes neste século, em função do aumento significativo da urbanização.

Cabe destacar que, na presente pesquisa, para fins de esclarecimento, o conceito de inundação utilizado diz respeito ao extravasamento das águas. Dessa forma, procurou-se identificar espacialmente as áreas de suscetibilidade ao fenômeno de inundação.

2.4.3 Alagamento

Além das enchentes e inundações, podem ocorrer também eventos de alagamentos, que são caracterizados pelo acúmulo de água momentâneo em uma área ou nas margens de um leito, porém sem a ocorrência de extravasamento do rio. Nesses casos, o acúmulo de águas nas margens ocorre, portanto, não em função do extravasamento do rio ou canal, mas devido à dificuldade de escoamento, que pode ser determinada pela topografia da área. A Figura 3, exposta a seguir, apresenta um esquema ilustrativo da ocorrência de um evento de alagamento.

Figura 3 – Esquema ilustrativo sobre eventos de alagamento.



Fonte: JACOB, A. C. P. (2014).

“O alagamento é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem” (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Castro (2003) também enfatiza o problema dos alagamentos advindo do mau funcionamento do sistema de drenagem, uma vez que os alagamentos ocorrem devido ao acúmulo de água no leito das ruas e nas áreas urbanas oriundo de precipitações intensas e de um sistema de drenagem deficiente.

“Os alagamentos ocorrem em áreas distantes dos canais, em terrenos com ocupação antrópica e baixo coeficiente de escoamento superficial (fluxos de baixa velocidade)” (SOUZA, 2004, p. 232). Lima, Melo e Corrêa (2008) corroboram essa ideia, pois entendem que alagamentos são fenômenos antrópicos que, devido à impermeabilização do solo causada

por construções, não permitem a infiltração da água das chuvas, fazendo com que esta escoe para o sistema de drenagem em direção aos rios.

Fujimoto (2002) comenta que os alagamentos ocorrem em áreas com topografia mais baixa que as áreas vizinhas, em locais de intensa ocupação humana, que ocasionam a impermeabilização do solo e são alvo de precipitações concentradas ou de excedentes pluviométricos. Isso ocasiona uma maior permanência da água das chuvas em superfícies impermeabilizadas, bem como um aumento do volume de escoamento.

2.5 SUSCETIBILIDADE

O termo suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de determinado fenômeno em determinado local, levando em consideração a predisposição natural do ambiente para que o fenômeno ocorra, ou seja, a interação dos agentes condicionantes e desencadeadores (WILVERT, 2010). Para Lima (2010), a suscetibilidade consiste em um ou mais atributos físicos que uma área possui e a que a torna potencialmente sujeita à ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica. A suscetibilidade expressa, assim, uma condição potencial, e não uma certeza, de que ocorrerá um desastre.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2014), uma área cujos terrenos apresentam feições como o predomínio de declividade alta, que tendem a favorecer, por exemplo, a ocorrência de deslizamentos, pode ser considerada propensa a esse tipo de processo, independente da previsão de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade. A declividade constitui, então, um dos agentes predisponentes ao desenvolvimento do processo e, por essa razão, consta entre os parâmetros necessários à análise de suscetibilidade. Destaca-se, assim, a relação entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos, que forma a base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade.

A suscetibilidade ao fenômeno das inundações é condicionada por um conjunto de fatores que geram condições propícias à sua ocorrência em determinado local e momento. Dentre esses fatores, pode-se destacar a topografia, o declive, o tipo de cobertura vegetal, os usos do solo, a taxa de impermeabilização, as características da rede hidrográfica, a ação antrópica e a intensidade e duração das chuvas.

A ação humana é, assim, um dos agentes intensificadores da suscetibilidade, pois o homem pode contribuir significativamente para a alteração da dinâmica hídrica natural. A suscetibilidade aos fenômenos do meio físico faz parte da dinâmica natural de cada lugar.

Entretanto, as modificações realizadas pelo homem no meio podem acelerar tais processos, deixando o ambiente suscetível aos acidentes ou desastres.

Considera-se que a suscetibilidade, vinculada às condições físicas do meio, diz respeito à propensão de determinado ambiente ser impactado por um fenômeno natural. Pode-se afirmar, nesse sentido, que a suscetibilidade corresponde à possibilidade de ocorrência do fenômeno desconsiderando-se os danos.

A identificação das áreas com suscetibilidade ao fenômeno de inundação ocorre por meio da análise dos atributos topográficos (elementos naturais). Dessa maneira, esta pesquisa buscou relacionar as características físicas da área em estudo, como a declividade, a hipsometria, o tipo de solo, o ordenamento fluvial e o uso e a ocupação da terra, para realizar a MDT, o que contribuiu na identificação de áreas suscetíveis à inundação.

2.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

A elaboração e a criação de um MDT são importantes para a representação de uma superfície topográfica e para a compreensão do espaço geográfico. Esse modelo, apresentado por meio de equações matemáticas, define uma superfície contínua para representar o terreno a ser avaliado. Diante da diversidade de processos para a obtenção de MDT, torna-se necessário avaliar a aplicabilidade dos métodos às diversas finalidades, uma vez que não existe um método universal que atenda de forma adequada a todas as formas de dados e funções utilizadas na modelagem (ITAME, 2001).

Pode-se dizer que o MDT é uma expressão genérica, empregada para referir-se ao modelamento matemático da superfície. Desse modo, define-se o MDT como um conjunto de pontos amostrados da superfície real, com a presença de coordenadas espaciais (latitude, longitude e altitude) e com o uso de um algoritmo específico para esse fim que proporcione construir um modelo matemático que reproduza o comportamento planialtimétrico da superfície terrestre.

Também é possível, de forma simplista, conceituar o MDT como qualquer representação digital de uma superfície topográfica. Felgueiras (2000) comenta que um MDT representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. Os dados de MDT são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente SIG.

A utilização dos modelos digitais pelas análises espaciais possibilita o estudo de determinado fenômeno sem a necessidade de se trabalhar diretamente na região geográfica

escolhida. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas e são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações ou modelagens de geoprocessamento que utilizam SIG.

O MDT refere-se, assim, à aquisição, ao processamento e à utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, digitalmente, o relevo da superfície terrestre. Complementando essa ideia, Felgueiras (2000, p. 2), afirma que

Os modelos digitais do terreno representam a variabilidade de um atributo, ou fenômeno geográfico, que ocorre dentro de uma região geográfica de interesse. Um sistema de modelagem digital de terreno compreende: a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno a ser estudado; a criação do modelo digital, propriamente dito e; a definição de uma série de processamentos de análises sobre os modelos com a finalidade de se extrair informações úteis a uma aplicação de Geoprocessamento.

Há, na literatura, o termo Modelo Digital de Elevação (MDE), que, por vezes, é empregado como sinônimo de MDT. O MDE refere-se, contudo, aos valores altimétricos dos objetos existentes na superfície, como árvores e construções, de forma que a cota de determinada área que possua prédios, por exemplo, será considerada a altura dessas construções. Já o MDT refere-se aos valores altimétricos do terreno desconsiderando quaisquer objetos em sua superfície. Nesta pesquisa, consideraram-se apenas as altitudes do terreno, pois foram utilizados valores altimétricos de curvas de nível e pontos cotados, motivo pelo qual se trabalhou com o MDT.

2.7 MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO

O mapeamento sempre foi um dos focos centralizadores da Geografia, mas, conforme a evolução de técnicas de análise, tornou-se uma ferramenta essencial e muito utilizada para as mais variadas finalidades. Um desses fins consiste nos mapeamentos das áreas de risco, envolvendo, principalmente, inundações e deslizamentos.

O estudo da temática que envolve áreas de risco é importante, pois possibilita a identificação de áreas que podem colocar a vida de pessoas e seus bens materiais em perigo, além de permitir o aprofundamento de explicações sobre os processos que desencadeiam desastres e suas consequências (CRISTO, 2002). Segundo Cerri e Amaral (1997), existem várias formas de classificação das áreas de riscos, como, por exemplo, a que se baseia nas situações potenciais de perdas e danos ao homem.

De acordo com Cristo (1999), o estudo das áreas de risco pode ser direcionado para três fins: a prevenção de acidentes, buscando evitar o desastre; a redução da intensidade do desastre, melhorando a convivência das pessoas com a situação de risco; e a eliminação definitiva do risco de desastre, removendo-se as pessoas e seus bens materiais para locais seguros. O mapeamento das áreas de riscos é, assim, um instrumento de fundamental importância principalmente na realização de planejamentos urbanos, pois fornece subsídios à execução de Planos Diretores e Planos de Ações Preventivas a desastres, bem como à tomada de decisão para aplicar medidas almejando o controle das situações de riscos.

O mapeamento permite, por exemplo, a identificação de áreas de suscetibilidade, principalmente de inundações e cheias (CRISTO, 2002). Nesse sentido, pode-se observar a importância dos mapas de risco na busca do fornecimento de informações a órgãos planejadores e na elaboração de bancos de dados e mapas temáticos, relacionados com ameaças, vulnerabilidade, suscetibilidade e riscos de desastres, os quais servem de embasamento para os Planos Diretores de Defesa Civil (CASTRO 1997).

O entendimento da localização das áreas de risco ocorre mediante sua espacialização, realizada por meio da representação cartográfica. Carpi Júnior (2001) sugere a elaboração de mapas temáticos, mostrando riscos específicos (enchentes, erosão, assoreamento etc.), como também de mapas-sínteses, que visem proporcionar uma ideia geral dos fatos detectados. Dessa forma, o mapeamento das áreas de risco torna-se essencial para o planejamento tanto urbano quanto rural, pois busca fornecer informações sobre as áreas habitadas e uma maior compreensão sobre o espaço geográfico, para que, assim, seja possível minimizar os danos causados por fenômenos naturais, que, muitas vezes, ganham força devido à ação do homem.

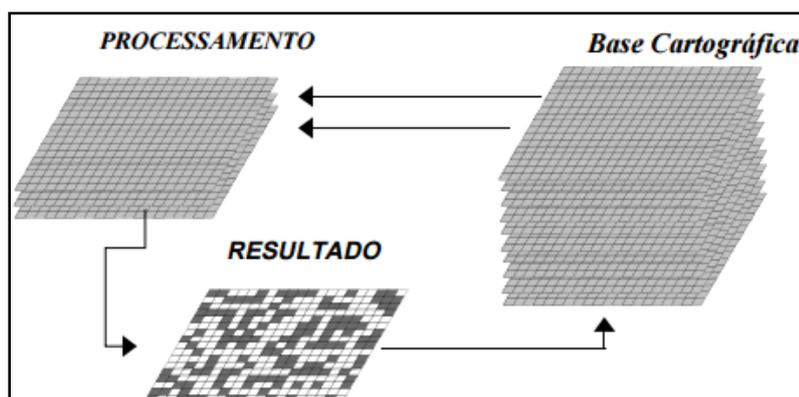
Esse tipo de mapeamento, conforme Cristo (2002, p. 38), é um passo importante para a “realização de futuras pesquisas pontuais e aprofundadas nas áreas susceptíveis identificadas, tanto se referindo a probabilidade de ocorrência de desastres naturais, quanto à intensidade dos processos que os condicionam nestes locais”. Diante disso, percebe-se que o mapeamento das áreas susceptíveis à inundação nas bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena contribui para a elaboração de planejamentos de prevenções e do ordenamento da ocupação humana para locais adequados a instalações urbanas.

2.8 ANÁLISE MULTICRITÉRIO (AM)

Em diversas aplicações de SIG na área de análise ambiental, é comum deparar-se com vários critérios para atender a um ou mais objetivos, o que é chamado de AM. A AM pode avaliar, ao mesmo tempo, múltiplos critérios na análise de uma situação complexa, esclarecendo ao gestor as possibilidades de escolhas e suas consequências.

A AM assemelha-se a uma álgebra tradicional que utiliza operadores, como adição e subtração, que são logicamente sequenciados com variáveis para formar uma equação. Na álgebra cartográfica (Figura 4), as variáveis são os mapas inteiros, os quais, por meio de operações de processamento espacial, são escolhidos pelo usuário a partir de um banco de dados, criando um novo mapa que contém um resultado cruzado entre os mapas bases (SOARES FILHO, 2000).

Figura 4 – Equacionamento de uma álgebra cartográfica.



Fonte: Soares Filho, 2000.

Freitas *et al.* (2006) afirmam que as técnicas de avaliação por multicritérios surgiram nas décadas de 1970 e 1980 para a resolução de problemas logístico-militares, durante a Segunda Guerra Mundial, quando se necessitava buscar soluções para problemas gerenciais complexos. Sendo assim, a utilização da metodologia multicritério é favorável para resolver problemas complexos, com diversos tipos de decisores e pontos de vista, que induzem a situações conflitantes e de difícil mensuração. Desse modo, são considerados fundamentais no processo decisório e, em muitos casos, utilizam variáveis de ordem qualitativa.

A AM não busca ou apresenta uma solução ótima para dado problema, mas procura a solução mais coerente com a escala de valores e com o método utilizado. Trata-se, assim, de uma tentativa de racionalização de atributos muitas vezes subjetivos (FREITAS *et al.*, 2006).

Desse modo, a partir da estruturação do modelo, considerando-se o objetivo a ser alcançado e definindo-se os critérios necessários para a solução do problema, é possível utilizar as técnicas de decisão multicritério para sua resolução (RAMOS, 2000).

Vetorazzi (2006) comenta que os métodos de AM têm sido implementados em ambiente SIG, incluindo a Combinação Linear Ponderada, o Método do Ponto Ideal, a Análise de Concordância e o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Assim, a partir dos dados das características topográficas da área de estudo, com o objetivo de mapear as áreas suscetíveis à inundação, a presente pesquisa utilizou a AM, devido ao seu poder de agregação de dados.

2.9 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Tomas L. Saaty em 1977, é o método de multicritério mais empregado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de problemas com múltiplos critérios, cujo princípio é o da racionalidade. O método AHP é um conceito com embasamento matemático, o qual permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e mensurar a consistência dos julgamentos (CARDOSO, 2009).

Essa metodologia se baseia na comparação par a par dos atributos e permite uma avaliação da importância relativa dos critérios usados. O processo básico de aplicação da AHP consiste em priorizar a importância relativa de “n” elementos de tomada de decisão em relação a um objetivo, mediante avaliações parciais destes elementos, dois a dois, facilitando a análise pelos avaliadores. Além disso, por intermédio de um índice de consistência de julgamento, verifica-se se os valores atribuídos a cada par de critérios estão coerentes (RAFAELI, 2007).

Antes de aplicar o AHP, é necessário que todas as variáveis usadas estejam reclassificadas e que a cada classe seja atribuído um peso, conforme o objetivo proposto. No caso da presente pesquisa, o objetivo consiste em identificar as áreas suscetíveis à inundação, de modo que cada classe de cada variável deve receber um peso, conforme demonstrado no quadro 1.

Quadro 1 – Notas de acordo com o grau de suscetibilidade à inundação

Suscetibilidade à inundação	Pesos	Grau de suscetibilidade
Menos suscetível	0	↓ Menos suscetível Mais suscetível
Mais suscetível	10	

Fonte: SANTOS; LOUZADA; EUGENIO (2010).

A utilização do AHP tem início pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente. A partir do momento em que essa hierarquia lógica estiver construída, os tomadores de decisão podem avaliar sistematicamente as alternativas por meio da comparação, de duas a duas, dentro de cada um dos critérios. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente (VARGAS, 2011).

O AHP baseia-se no fato de que todos os critérios são considerados relevantes para uma decisão e são comparáveis entre si, ou seja, um contra outro em uma matriz de comparação de pares. Portanto, valores numéricos que expressam importância relativa de um fator sobre outro devem ser atribuídos a cada variável. Visto que os julgamentos humanos tendem à inconsistência, Saaty (1977) sugeriu uma escala para efeitos de comparação, que consiste em valores que variam de um a nove e que descrevem a importância (preferências/dominância) de um atributo em relação ao outro. O valor 1 expressa “igual importância”, ao passo que o valor 9 é atribuído àqueles fatores que possuem “extrema importância” sobre outro (Quadro 2).

Quadro 2 – Escala numérica de Saaty

Intensidade de Importância	Descrição
1	Importância igual
3	Moderada importância de um fator sobre o outro
5	Forte importância de um fator sobre o outro
7	Importância muito forte de um fator sobre o outro
9	Extrema importância de um fator sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários
Recíprocos	Valores para comparação inversa

Fonte: SAATY e VARGAS (1991).

Conforme Marinoni (2009), como exemplo, pode-se citar uma matriz de comparação simples de ordem 3, no qual três variáveis – “C1”, “C2” e “C3” – são comparadas entre si (Quadro 3). Na comparação das variáveis “C1” e “C3”, por exemplo, o fator “C1” é considerado fortemente mais importante do que “C3”; portanto, o valor 5 foi atribuído à posição correspondente da matriz. A posição transposta recebe automaticamente um valor recíproco, que, neste caso, é de 1/5, ou seja, de 0,2.

Quadro 3 – Exemplificação de matriz de comparação.

Variáveis	C1	C2	C3
C1	1	4	5
C2	0,25	1	0,2
C3	0,2	2	1

Fonte: MARINONI, O. (2009).

Dessa forma, os valores atribuídos são sintetizados para determinar uma ordem hierárquica das variáveis relevantes (MARINONI, 2009). O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. Segundo Vargas (2011), a capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP em relação a outras técnicas comparativas.

Mediante a atribuição dos pesos na comparação par a par, o AHP pondera os critérios e calcula um valor de razão de consistência (RC), que permite verificar a confiabilidade dos pesos atribuídos. Para que os pesos do modelo sejam aceitáveis, deve-se atingir um valor menor que 0.1.

Por fim, é aplicada a álgebra de mapas, em que são multiplicados os pesos pela sua respectiva matriz, resultando em uma matriz que identifica o objetivo proposto de acordo com os critérios estabelecidos. No caso da presente pesquisa, esse processo resultará na identificação das áreas de suscetibilidades à inundação.

Cabe citar a esse respeito o trabalho realizado por Magalhães *et al* (2011), intitulado “Uso de Geotecnologias para Mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos”, em que se identificaram as áreas suscetíveis à inundação, confrontando o mapa realizado a partir dos dados coletados em campo com o mapa elaborado por meio do método AHP. Os autores concluíram que o modelo AHP atuou como um método de mapeamento satisfatório para a identificação de risco de inundação e que

possui grande aplicabilidade, fornecendo bons resultados, especialmente no caso de locais de difícil acesso.

Já na pesquisa realizada por Rosa et al (2008), que também utilizou o método AHP na identificação de áreas suscetíveis à inundação, os autores concluíram que a técnica empregada permitiu obter mapas de inundação com clara identificação das classes de risco. Faria (2011), em sua tese, utilizou o AHP no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas, constatando que a diminuição da subjetividade com a incorporação da técnica AHP nos procedimentos normalmente utilizados nos mapeamentos de riscos de escorregamentos em encostas urbanas melhorou a confiabilidade do diagnóstico do risco para o auxílio no planejamento por parte do poder público.

Nesse sentido, Cardoso (2009, p. 90) afirma que o AHP é a técnica de múltiplos critérios de decisão mais usada e que muitos trabalhos vêm sendo publicados baseados nesse método, o qual pode ser aplicado para diferentes fins, como o planejamento, a seleção de melhor alternativa, a alocação de recursos e a solução de conflitos. Tendo isso em vista, esta pesquisa utilizou a técnica AHP, por facilitar o manuseio e a compreensão dos dados e também por permitir a atribuição de pesos aliada à diminuição da subjetividade.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ocupação do município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, teve início no ano de 1784, a partir de um acampamento militar, com a comissão demarcadora dos limites de terras entre Portugal e Espanha, formado por moradores de municípios vizinhos e, também, de outros estados, como Paraná e São Paulo. Em 16 de dezembro de 1857, Santa Maria conseguiu sua emancipação político-administrativa, desmembrando-se do município de Cachoeira do Sul. Em 6 de abril de 1876, foi elevada à categoria de cidade.

Contudo, foi a partir de um acampamento militar realizado em 1797 que a fundação da cidade de Santa Maria ocorreu efetivamente. Segundo Marchiori e Noal Filho (1997, p. 11), “Santa Maria não teve uma fundação oficial, assinalada em documentos ou marcos de pedra”. Assim, não havendo marcos confiáveis sobre sua ocupação, atribuiu-se ao segundo semestre de 1797 seu povoamento definitivo. Os militares portugueses, com a comissão demarcadora de limites, construíram o seu acampamento em uma coxilha, local que corresponde ao atual centro da cidade de Santa Maria, “formando um trecho de rua conhecida posteriormente como rua de São Paulo e rua do Acampamento” (MARCHIORI; NOAL FILHO, 1997, p. 14).

Mais tarde, a atividade do município intensificou-se com a instalação da ferrovia que ligava a capital à fronteira oeste do estado – por Santa Maria pertencer a esta rota, tornou-se uma importante região de comércio, que permanece com intenso movimento até hoje. O desenvolvimento da região, incluindo elementos como iluminação a querosene, luz elétrica, correios, telefone e pavimentação das ruas, ocorreu após a instalação da ferrovia, o que modificou de forma intensa as características da região (Agência de Desenvolvimento de Santa Maria, 2015).

As coordenadas centrais do município, localizado na região central do Rio Grande do Sul, são 29° 47'20,739”S e 53° 53'13,451” W (Figura 5). O território do município ocupa uma área de 1.788,121 km², com uma população estimada de 261.031 habitantes (IBGE, 2010). Destes, 248.772 ocupam a área urbana do município, que abrange 126.038 km² e corresponde a 41 bairros (Figura 6).

O município de Santa Maria, que faz divisa com os municípios de Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Itaara, Júlio de Castilhos, Restinga Seca, São Gabriel, São João do Polêsine, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, São Sepé e Silveira Martins, atrai muitas

peças todos os anos, devido, principalmente, às várias universidades e unidades militares presentes. Divide-se em nove distritos: Arroio do Sol, Arroio Grande, Boca do Monte, Pains, Palma, Passo do Verde, Santa Flora, Santo Antônio e São Valentim.

Figura 5 – Mapa de localização do município de Santa Maria – RS

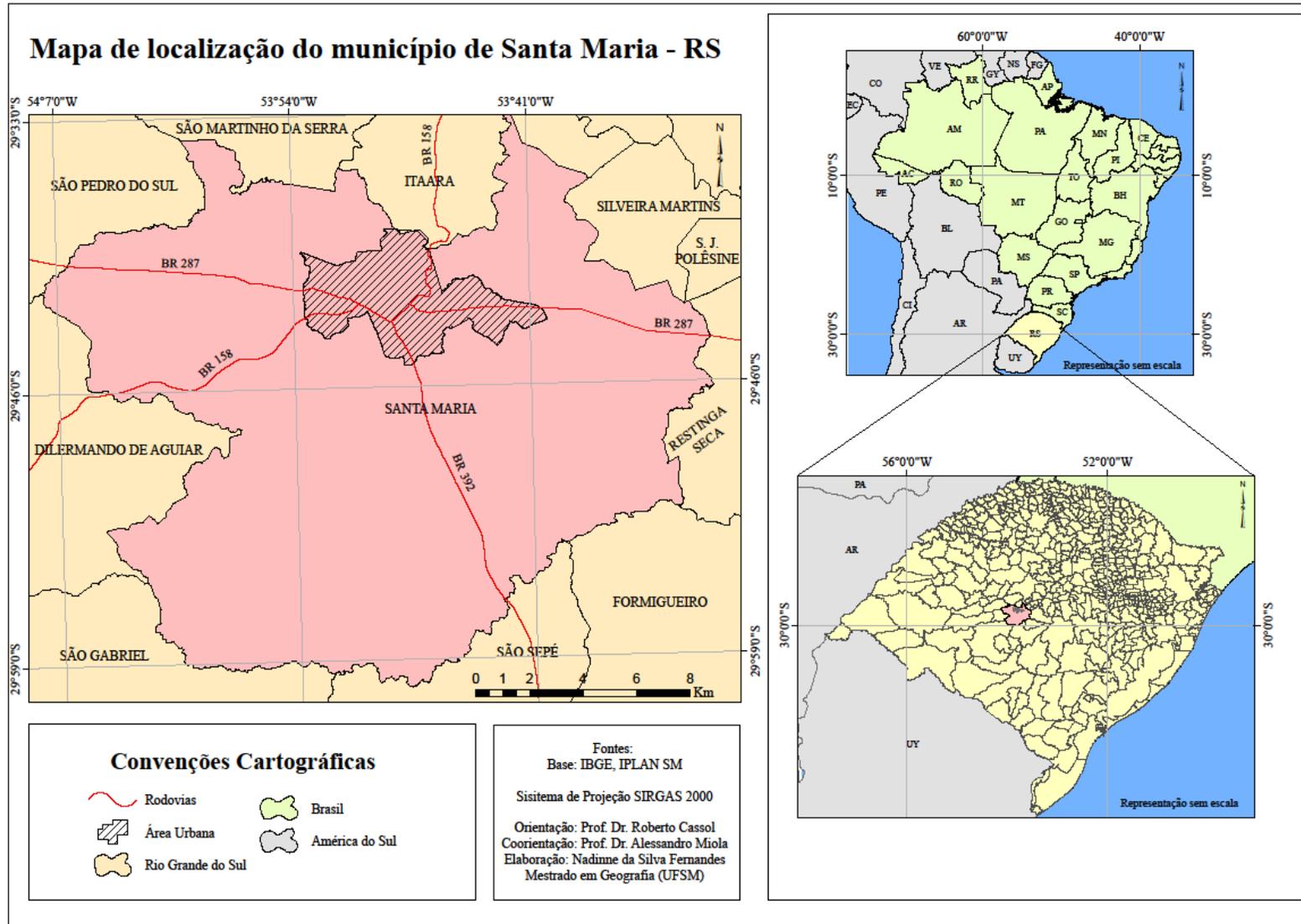
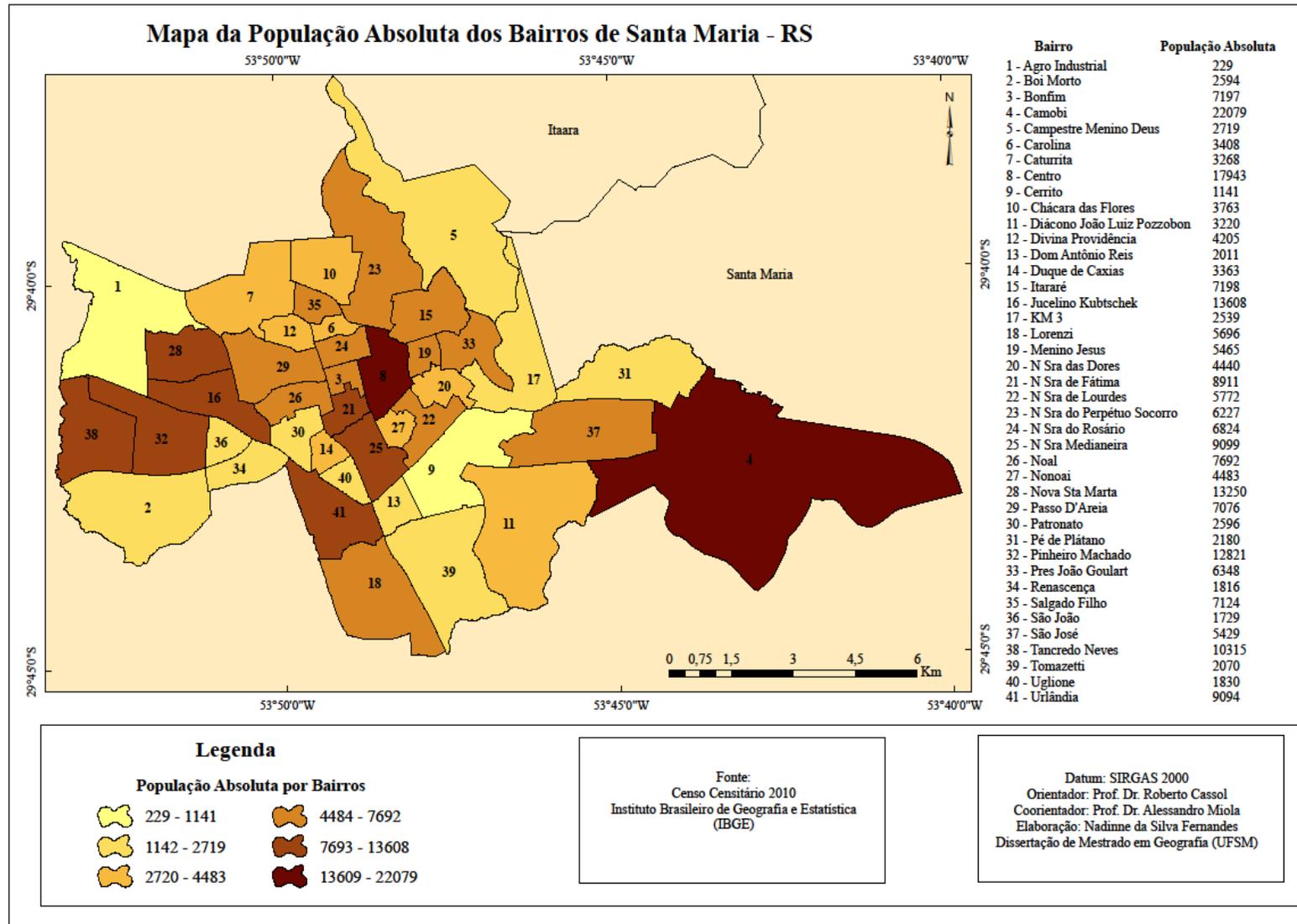


Figura 6 – Mapa da população absoluta dos bairros de Santa Maria – RS



A área urbana do município está contida, quase em sua totalidade, em quatro bacias hidrográficas, localizadas na Região Hidrográfica do Guaíba. Um dos aspectos relevantes dessas bacias é o fato de que a bacia hidrográfica do Arroio Picadinha, a bacia hidrográfica do Arroio Cadena e a bacia hidrográfica do Arroio Passo das Tropas nascerem e se estenderem totalmente no território de Santa Maria, abrangendo quase toda a área urbana do município. A exceção consiste na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, que abrange uma parte da região leste da área urbana do município e que também compreende uma parcela do município de Itaara, Rio Grande do Sul, possuindo, conseqüentemente, interferência deste município.

Outro ponto a ser destacado refere-se ao fato de que os exutórios das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha, Cadena e Passo das Tropas situam-se muito próximos um do outro, em uma área de várzea (planície de inundação). Em épocas de cheias desses arroios, suas águas comunicam-se e extravasam conjuntamente no Arroio Arenal, que atua como afluente desses arroios e que, por sua vez, conta com o Rio Vacacaí como afluente.

A parte urbana que a bacia hidrográfica do Arroio Passo das Tropas abrange é uma área ainda em desenvolvimento, com poucas construções se comparada a outros bairros do município. A sua abrangência restringe-se ao bairro Diácono João Luiz Pozzobon (100% da área do bairro está contida na bacia hidrográfica) e a partes de outros bairros, que são: Camobi (5,78%), Cerrito (29,92%), Lorenzi (10,33%), São José (38,55%) e Tomazzetti (46,79%). Desse modo, 11,46% da área urbana e 16,42% da população urbana estão contidas na bacia hidrográfica do Arroio Passo das Tropas. Diante do fato de conter uma pequena parte da população e por a urbanização não influenciar significativamente, a bacia hidrográfica do Arroio Passo das Tropas não foi inserida na pesquisa.

Já a bacia hidrográfica do Arroio Cadena abrange a maior parte da zona urbana do município. A bacia hidrográfica do Arroio Picadinha, por sua vez, que também abrange uma parte da área urbana, compreende bairros populosos, que são Boi Morto, Pinheiro Machado, Nova Santa Marta e Juscelino Kubitschek, sendo esse um dos motivos pelo qual essa bacia hidrográfica foi selecionada para a análise da suscetibilidade à inundação. A área que as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena compreendem da zona urbana do município é de 52,63%, ressaltando-se que 86,37% da população urbana está contida nessas áreas. Da zona rural, as bacias em estudo abrangem 13% de área e 4% da população.

Diante disso, as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena foram escolhidas como área de estudo para a aplicação desta pesquisa, pois recebem influências urbanas e

rurais no que diz respeito à suscetibilidade à inundação (Figura 7). Assim, as áreas das bacias hidrográficas foram unidas para facilitar a análise e o manuseio das técnicas utilizadas.

A figura 8, exposta a seguir, demonstra a popula o da zona rural da área de estudo. Como os setores censitários foram recortados para abranger apenas a área de estudo, a estimativa populacional foi calculada com base na área compreendida pelas bacias hidrográficas estudadas.

Figura 7 – Localização das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

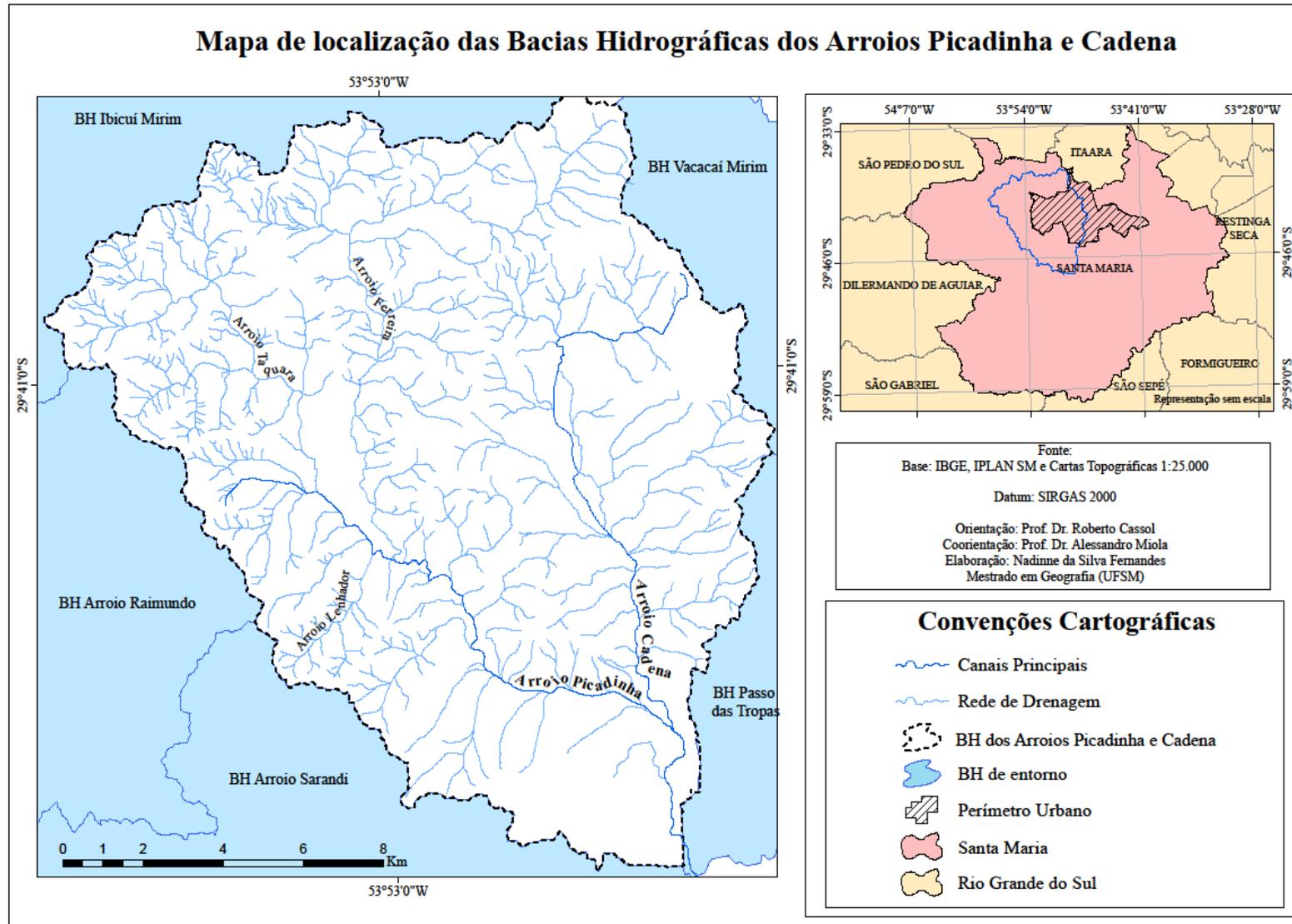
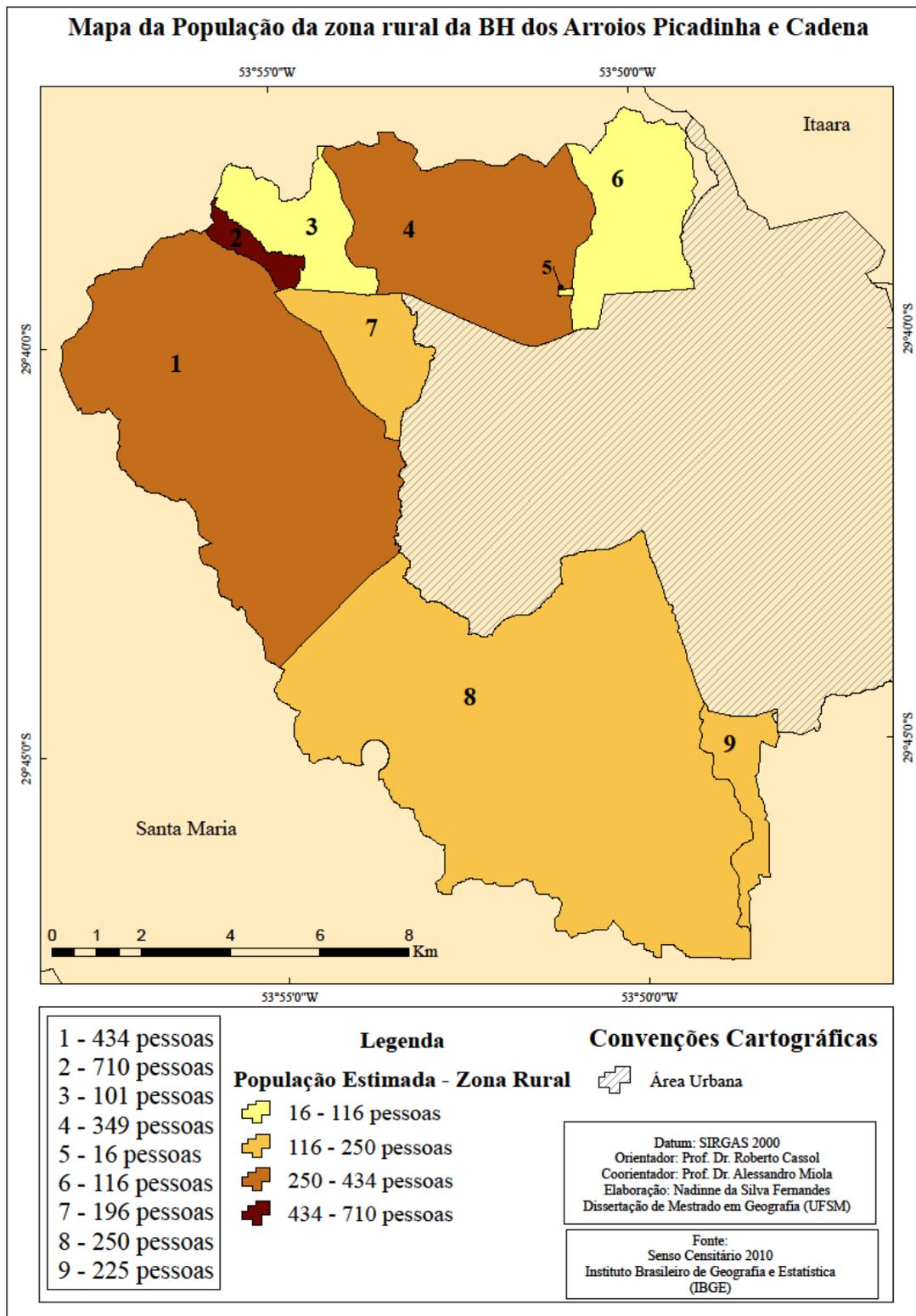


Figura 8 – Mapa da população da zona rural das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



Ao analisar os registros de chuvas no município, como já mencionado, é possível perceber que Santa Maria sofre historicamente com enchentes, inundações e alagamentos. Isso pode ser observado também ao analisar a pesquisa realizada por Reckziegel (2007), em que a autora analisa os eventos de enxurradas e enchentes no município de Santa Maria, entre as datas de 1980 e 2005, que foram registrados pela Defesa Civil, como demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 – Datas registradas de enxurradas e enchentes

Desastre natural: enxurradas e enchentes		
Ano	Mês	Evento
1982	Junho/Julho/Outubro	Enchente
1982	Fevereiro	Enxurrada
1983	Julho	Enchente
1984	Maio	Enchente
1986	Maio	Enchente
1988	Novembro	Enchente
1989	Dezembro	Enxurrada
1993	Junho/Julho	Enxurrada
1994	Fevereiro	Enchente
1994	Outubro	Enxurrada
1996	Janeiro	Enxurrada
1997	Outubro	Enchente
1998	Abril	Enxurrada
2001	Setembro	Enxurrada
2002	Novembro	Enxurrada
2003	Junho/Dezembro	Enxurrada

Fonte: adaptado de RECKZIEGEL (2007).

Pode-se observar que os registros históricos demonstram 20 ocorrências em 21 anos, totalizando quase um evento por ano, o que demonstra que os eventos são recorrentes no município. Sabe-se também que, recentemente, no ano de 2015, houve registros de chuvas torrenciais no município de Santa Maria, conforme demonstra a figura 9, que ilustra uma

situação de precipitação intensa que marcou, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 26,6 mm em apenas uma hora na cidade.

Figura 9 – Registro jornalístico (28 jan. 2015)



Fonte: Juliano Poerschke (Arquivo Pessoal) - Diário de Santa Maria (2015)

De acordo com o jornal Diário de Santa Maria, no dia 20 de julho de 2015, houve relatos de alagamentos, inundações, deslizamentos e falta de energia elétrica. Apenas da meia-noite até aproximadamente as 9h30min, o acumulado de chuva foi de 67,2 mm (Figura 10).

Figura 10 – Registros jornalísticos (20 jul. 2015)



Fonte: Rogério Perobelli (Arquivo Pessoal) - Diário de Santa Maria (2015)

A grande maioria dos bairros atingidos pela forte chuva, no ano de 2015 e nos registros históricos (anexo A), encontra-se na área de estudo, como é o caso, por exemplo, segundo o jornal Diário de Santa Maria, dos bairros de Urlândia, Tomazetti, Nossa Senhora das Dores e Centro. A figura 11, a seguir, mostra uma rua do bairro Tomazetti, o qual sofreu com os problemas ocasionados pelas chuvas.

Figura 11 – Registros jornalísticos (21 set. 2015)



Fonte: Enilda Denardin (Arquivo Pessoal) - Diário de Santa Maria (2015)

Segundo o jornal Diário de Santa Maria, em 8 de outubro de 2015, houve uma precipitação de mais de 200 mm de chuva – a média prevista para o mês era de 128 mm. No dia 10 de novembro de 2015, em apenas 3 horas, havia chovido 15,3 mm, o que foi suficiente para causar transtornos em alguns bairros do município, como no bairro Tomazetti, um dos mais atingidos (Figuras 12 e 13).

Figura 12 – Registros jornalísticos (08 out. 2015)



Fonte: Jean Pimentel - Diário de Santa Maria (2015)

Figura 13 – Registros jornalísticos (10 nov. 2015)

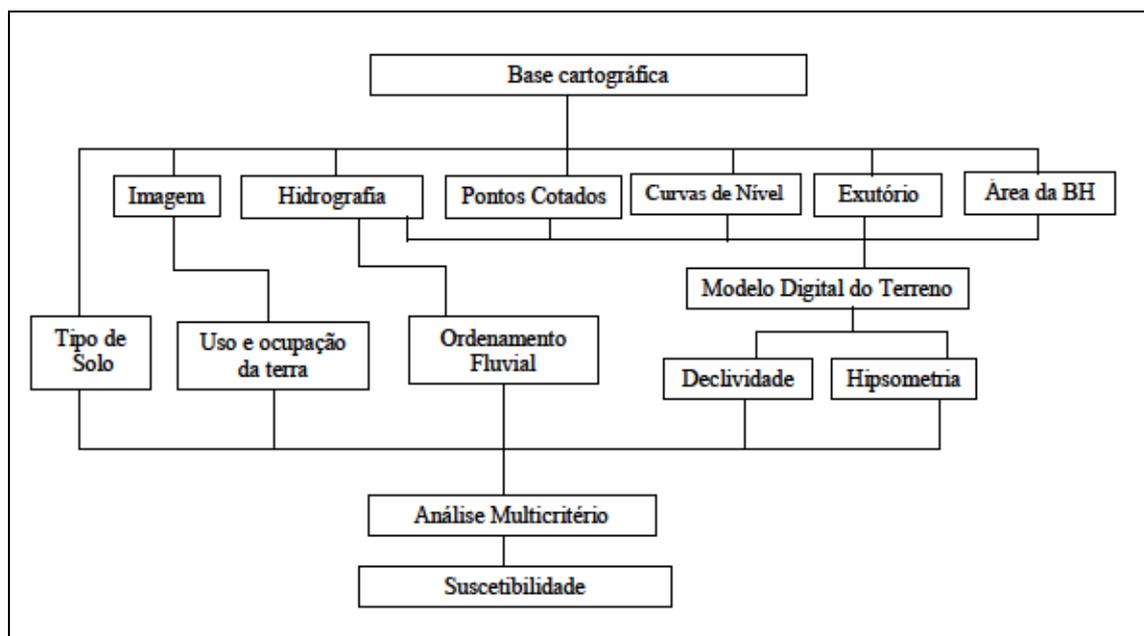


Fonte: Ironi Manzoni - Diário de Santa Maria (2015)

3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu com base no fluxograma apresentado de forma simplificada na figura 14, exposta a seguir.

Figura 14 – Fluxograma das atividades.



Esse fluxograma se refere à aquisição dos dados geográficos, que são: imagem *RapidEye*, do dia 29 de setembro de 2011; curvas de nível com equidistância de 10 m; pontos cotados; hidrografia orientada para o exutório; tipos de solo; e exutório. Os dados gerados a partir da base cartográfica foram: uso e ocupação da terra, Modelo Digital de Terreno (MDT), declividade, hipsometria e ordenamento fluvial.

O cruzamento dos dados gerados a partir da base cartográfica ocorreu mediante o Processo Analítico Hierárquico (AHP), resultando na identificação das áreas suscetíveis à inundação. Para alcançar os objetivos desta pesquisa, a metodologia adotada seguiu seis etapas, conforme descrito a seguir.

3.2.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado com o intuito de avaliar os trabalhos publicados na literatura científica referentes ao espaço geográfico. Pesquisaram-se, assim, as

seguintes temáticas: geotecnologias, bacias hidrográficas, alagamentos, inundações e enchentes nas áreas urbanas, suscetibilidade ao fenômeno, MDT e AM.

3.2.2 Aquisição da base cartográfica

A base cartográfica foi formada por dados de curvas de nível, de pontos cotados e de hidrografia das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena, coletados a partir de cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Ministério do Exército, em escala 1:25.000 de Santa Maria-NE (SH 22-V-C-IV-1-NE), Santa Maria-SO (SH 22-V-C-IV-1-SO) e Santa Maria-SE (SH 22-V-C-IV-1-SE). Na região de estudo, a cobertura cartográfica nesta escala possui a descrição altimétrica do relevo com equidistâncias de curvas de nível de 10 em 10 metros. Como a área de estudo possui uma abrangência de 14% além da região de cobertura dessas cartas, compreendendo a folha Sanga da Laranjeira, e não há cartas topográficas dessa área na escala 1:25.000, a base de dados foi complementada com os arquivos na escala 1:50.000.

Os tipos de solo foram disponibilizados pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN SM) em formato *shapefile* (.shp). A hidrografia foi ordenada de acordo com a metodologia usada por Shreve em 1966, em que o autor propõe uma classificação conforme as magnitudes dos córregos. No modelo de Shreve, os canais de primeira ordem possuem magnitude 1, e o encontro de dois canais resulta no somatório de suas magnitudes. Dessa forma, o valor final atribuído ao canal principal reflete a quantidade de canais de primeira ordem, os quais contribuíram para a sua alimentação (VEIGA; RIBEIRO; DANTAS JR, 2010).

O exutório foi adquirido mediante fotointerpretação em imagens de satélite no *software Google Earth*. As imagens de satélite *RapidEye* foram disponibilizadas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) do Rio Grande do Sul. Elas possuem resolução espacial de 5 metros, com cinco bandas espectrais (Azul, Verde, Vermelho, *Red-Edge* e Infravermelho Próximo), e resolução radiométrica de 12 bits.

3.2.3 Caracterização das bacias hidrográficas

A caracterização da bacia hidrográfica define se as medidas e os índices fisiográficos são índices morfométricos para sua análise. O ponto de partida para extrair as informações da forma da bacia é a delimitação pelo divisor de águas. O limite das bacias foi gerado, assim, a

partir da ferramenta de delineamento automático de bacias *Watershed Delineation* do ArcMap®, que é um método apresentado por Nawajish Noman (2007). Essa ferramenta cria uma rede de fluxos com base em um limiar e delinea bacias hidrográficas para cada fluxo, identificando, portanto, áreas de contribuição a montante de um ou mais *pixels*, mediante a definição do usuário. Nesta pesquisa, definiu-se o limiar de 10000 *pixels*.

As bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena foram geradas a partir da imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), de 30 metros de resolução espacial. Mediante o limite da área das bacias, foi possível obter os seguintes parâmetros físicos: coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, índice de circularidade, fator de forma e ordem dos cursos d'água.

3.2.4 Análise do Modelo Digital de Terreno (MDT)

A análise do terreno foi realizada por meio do MDT em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o *software* ArcGIS 10.1 (ESRI), mediante a manipulação dos dados de curvas de nível, de pontos cotados, de limite das bacias, de hidrografia e de exutório. Utilizou-se, para isso, o interpolador *Topo to Raster*, que permite que vários dados possam ser utilizados na interpolação, sendo um algoritmo de modelagem hidrológicamente consistente. Segundo Saito (2011), *Topo to Raster* é uma implementação de um interpolador desenvolvido por Hutchinson, em 1989, em seu programa *Australian National University* (ANUDEM), criado para obter uma melhor representação da característica anisotrópica (ou direcional) do relevo.

Para definir o tamanho do *pixel*, segundo a literatura, existem diversas maneiras. Como não há um consenso de definição, optou-se por adotar o *pixel* de 30 m, uma vez que este tamanho é o que melhor se ajusta à realidade desta pesquisa. Como o MDT possui dados altimétricos, foi possível gerar a carta de hipsometria, devido à interferência na atenuação do fenômeno de inundação, o qual foi dividido em dez classes hipsométricas, conforme o método estatístico de Quantil, que divide um conjunto ordenado de dados em frações iguais. Dessa maneira, foi possível obter um maior detalhamento nas cotas mais baixas, o que é importante ao tratar do processo de inundação, uma vez que as áreas que mais sofrem com o acúmulo de água são, conseqüentemente, as que sofrem maior influência do processo de inundação.

A partir do MDT, realizou-se, então, a geração da carta de declividade, devido à interferência na velocidade do escoamento. A classificação da declividade foi realizada

conforme sugerido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979) (Quadro 4).

Quadro 4 – Classificação de declividade conforme a EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	Forma do relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

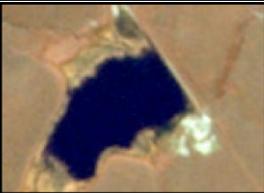
Fonte: EMBRAPA (1979)

Segundo Florenzano (2008), a forma do relevo plano possui características de planícies, terraços, tabuleiros e chapadas. As planícies são terrenos baixos e planos; os terraços são patamares em forma de degrau, localizados nas encostas dos vales; os tabuleiros são áreas de baixa altitude e com limite abrupto; e as chapadas são grandes superfícies planas, em geral de estrutura horizontal, acima de 600 metros. Já o relevo suave ondulado caracteriza-se pelas colinas, que são baixas elevações do terreno, com topos arredondados e quase planos, que variam entre 20 e 60 metros de altitude e apresentam declividades baixas. Esse tipo de relevo é caracterizado pelos morros e morrotes (morros são médias elevações do terreno, com amplitudes entre 100 e 200 metros e declividades altas, e morrotes são baixas elevações, com amplitudes entre 20 e 60 metros e declividades altas). O relevo forte ondulado consiste em morros e serras (serras são altas elevações, com amplitudes acima de 200 metros e declividades altas). O relevo montanhoso, por sua vez, é característico de montanhas e serras (montanhas são terrenos altos e fortemente ondulados). Já o relevo escarpado consiste em serras e escarpas (escarpas são rampas ou degraus de grande inclinação).

A análise da forma de uso e ocupação da terra foi realizada por meio da classificação de imagens de satélite *RapidEye*, com data de recobrimento 29 de setembro de 2011, com o objetivo de identificar os diferentes tipos de uso e ocupação presentes na área de estudo. A área de recobrimento de estudo abrange duas imagens, de modo que se fez necessário montar um mosaico com elas.

Para iniciar o processo de definição dos usos, realizou-se uma composição de bandas RGB 542 das imagens *RapidEye* a fim de facilitar a identificação dos alvos. Essa composição permitiu melhor diferenciar os tipos de usos e ocupações pertencentes às bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. As amostras coletadas indicando cada uso foram realizadas com base nas características das formas e texturas presente nas imagens, como demonstrado no quadro 5.

Quadro 5 – Amostras para a classificação do uso e ocupação da terra

Amostra	Uso e ocupação da terra
	Água
	Reflorestamento
	Floresta Nativa/Mata Ciliar
	Urbano
	Campo/Pastagem/Lavoura

A classificação utilizada, supervisionada *pixel a pixel*, pode ser entendida como um método de classificação que utiliza a informação espectral de cada *pixel* para encontrar regiões homogêneas, traçando, dessa forma, a probabilidade de um *pixel* pertencer ou não a

determinada classe. O algoritmo utilizado para a classificação supervisionada *pixel a pixel* foi o de Máxima Verossimilhança (MaxVer), o qual considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Os dados dos tipos de solo foram disponibilizados pelo IPLAN SM, com o objetivo de verificar a influência de cada tipo e a relação de cada um com o processo de inundação. Uma vez que os solos possuem características de drenagem perfeita, moderada e imperfeita, cada tipo de solo recebe maior ou menor interferência do processo de inundação.

A espacialização do ordenamento fluvial torna-se importante para compreender a localização dos leitos que possuem magnitudes maiores. A hierarquização da rede de drenagem das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena foi ordenada conforme Shreve (1966). Dessa forma, quanto maior for a ordem do leito do rio, maior será o acúmulo de água naquele curso e maior será a sua suscetibilidade à inundação.

A ordem fluvial foi hierarquizada utilizando o *software* Hydroflow 1.1, que realiza a definição dos fluxos automaticamente e o ordenamento (hierarquização) da bacia hidrográfica. Portanto, os canais ficam orientados para o exutório, condicionando a consistência no MDT. A partir dessa classificação, a hidrografia foi transformada da estrutura vetorial para a estrutura matricial (ou raster), de modo que cada *pixel* continha o valor da sua ordem, conforme prevê Shreve (1966). Dessa forma, mediante a transformação, é possível atribuir o ordenamento fluvial à AM.

3.2.5 Análise Multicritério (AM)

Primeiramente, para realizar a AM, todos os arquivos devem estar no formato matricial, pois é a partir dos valores dos *pixels* que a álgebra de mapas pode calcular a probabilidade de acordo com o objetivo proposto. Dessa forma, os dados de tipos de solo, da área das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena e do ordenamento fluvial encontravam-se no formato vetorial (*shapefile*), tendo de ser convertidos para o formato matricial. Após a transformação, foi realizado um mosaico para unir as matrizes do ordenamento fluvial e da área das bacias hidrográficas, para que outro arquivo matricial fosse gerado, em que houvesse *pixels* de hidrografia e um valor referente à sua magnitude (com valores de *pixels* zero no restante da área das bacias).

Como os dois arquivos se encontravam em resolução radiométrica de 8 bits, para que todos os valores das magnitudes do ordenamento fluvial fossem compreendidos, primeiramente, cada um dos dois arquivos foi convertido para a resolução radiométrica de 16

bits. Esse valor é o mais indicado para trabalhar com modelos de elevação, porque, normalmente, as altitudes ultrapassam 256 metros, invalidando o uso dos dados de 8 bits.

A AM resulta no acordo da contribuição de cada variável gerada ao processo de inundação. Dessa forma, utilizando a álgebra de mapas é possível atribuir pesos às variáveis, de acordo com o grau de cada uma em relação à sua interferência no problema. A AM é definida por uma álgebra de mapas, que utiliza uma sequência de funções para atingir uma análise complexa de mapas, atribuindo pesos que são estabelecidos a cada variável, de acordo com o objetivo proposto. Os dados utilizados na AM foram: declividade, hipsometria, uso e ocupação da terra, tipos de solo e ordenamento fluvial. A determinação dos pesos estatísticos do modelo ocorreu por meio do método AHP, que utiliza uma comparação par a par entre as variáveis, utilizando uma escala de comparação (Quadro 2) que define a hierarquia de importância entre os fatores de declividade, hipsometria, uso e ocupação da terra, tipos de solo e ordenamento fluvial.

Segundo Santos, Louzada e Eugenio (2010), a etapa de escolha dos valores, baseados na escala de comparação, é considerada um dos momentos mais importantes de todo o processo de construção do mapa de risco de inundação, pois é neste instante que se define o grau de importância de cada fator. Dessa forma, os autores propõem que sejam adotados um ou mais dos seguintes procedimentos: a) ao comparar um impacto ambiental com o outro, o pesquisador pode, simplesmente com base em sua experiência e em visitas de campo, definir a escala de importância; b) o pesquisador pode, por meio de levantamento bibliográfico, definir qual impacto possui mais importância que outro; e c) uma equipe multidisciplinar, trabalhando em conjunto, com visitas de campo e debates, por exemplo, pode definir a escala que mais se aproxima da realidade. Para esta pesquisa, adotou-se como guia a experiência de pesquisadores.

Os fatores julgados como importantes para a identificação dos lugares mais suscetíveis à inundação foram as variáveis reclassificadas geradas a partir do MDT. Esses fatores foram organizados de forma hierárquica, com base nos atributos que possuem maiores relevâncias no processo de inundação. A partir da organização hierárquica, o valor de cada atributo foi calculado e comparado com os demais. Dessa forma, para atingir a meta estabelecida, foram necessárias algumas etapas, que podem ser assim resumidas: definição de pesos para os critérios, normalização e combinação dos critérios (RAMOS, 2000).

A definição de pesos foi feita de acordo com a escala numérica proposta por Saaty (1977), que varia de um a nove. Nesse processo, notou-se que a experiência e os conhecimentos dos avaliadores são tão importantes quanto as informações utilizadas. A

normalização ocorreu mediante a reclassificação de cada dado utilizado na álgebra de mapas. A combinação dos critérios utilizados foram:

1) declividade – influencia diretamente o acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores chances de sofrer inundação do que áreas montanhosas, portanto, quanto menor for a declividade, menor será a velocidade de escoamento, motivo pelo qual essas áreas serão mais propensas à inundação;

2) hipsometria – quanto menor for a altitude, maior será a influência no processo de inundação, e, conseqüentemente, quanto maior for a altitude, menor será a probabilidade de inundação devido à ação da lei da gravidade, a qual direciona a água para as regiões mais baixas;

3) ordenamento fluvial – quanto maior for a ordem, maior será a magnitude do curso d'água e, conseqüentemente, maior será a concentração de água. Ou seja, quanto maior for a ordem fluvial, maior será a sua influência no fenômeno de inundação. As classes de ordens fluviais maiores serão consideradas como impulsionares ao processo de inundação;

4) uso e ocupação da terra – influencia a infiltração e o escoamento superficial da água. As áreas de maior impermeabilidade acumulam mais água do que áreas com cobertura florestal. Portanto, uma classe de urbanização maior implica no agravamento do problema, devido à alta impermeabilização, ao número de pessoas inseridas nessas áreas e ao maior acúmulo de água;

5) tipo de solo – a classe de solo planos caracteriza-se por conter solos imperfeitamente ou mal drenados (STRECK et al., 2008), configurando-se, portanto, como um intensificador no processo de inundação.

A partir do momento em que todas as comparações foram efetuadas e os pesos relativos entre os critérios avaliados foram estabelecidos, a probabilidade numérica de cada uma das alternativas é calculada. Esse resultado determina a probabilidade que a alternativa tem de atender à meta estabelecida. Paim e Oliveira (2011) comentam que os pesos de cada variável são calculados com base nos autovalores da matriz, transformando a paisagem em um arranjo de células que variam entre 0 e 100%.

O método AHP sugere que, após a determinação dos pesos, seja realizada a sua verificação, pois, dessa forma, é possível demonstrar a confiabilidade na atribuição dos pesos. Essa verificação ocorre por meio do procedimento chamado de razão de consistência, que não poderá ultrapassar o valor 0,10 para que os pesos do modelo sejam aceitáveis. Posteriormente, aplica-se a álgebra de mapas, em que são multiplicados os pesos pela sua respectiva matriz, indicando as áreas de maiores suscetibilidades à inundação.

O mapa final foi classificado, conforme o método estatístico de Quantil, em cinco classes, de acordo com o grau de suscetibilidade: baixíssima suscetibilidade, baixa suscetibilidade, média suscetibilidade, alta suscetibilidade e altíssima suscetibilidade. Tal classificação permitiu uma melhor representação e compreensão da ocorrência espacial do fenômeno, facilitando, assim, a análise do comportamento da suscetibilidade à inundação.

3.2.6 Análise populacional

Após realizada a AM e estabelecidas as classes referentes aos graus de suscetibilidade, foi possível quantificar a abrangência das classes de maior suscetibilidade (classes alta e altíssima suscetibilidade) na zona rural e em cada bairro contidos nas bacias hidrográficas em estudo, devido ao fato de essas classes apresentarem maior propensão de ocorrência ao fenômeno. A estimativa da população inserida nessas áreas de alta e altíssima suscetibilidade à inundação foi realizada por meio da análise da porcentagem que esses graus de suscetibilidade abrangem em cada bairro e na zona rural.

4. RESULTADOS

Os resultados primários da pesquisa referem-se à caracterização morfométrica das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena, como demonstra a tabela 2, exposta a seguir.

Tabela 2 – Índices morfométricos das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

Parâmetros	Valores
Área	214,76 km ²
Perímetro	77,2 km ²
Ordem dos cursos d'água (Shreve)	488
Comprimento do canal principal	20,5 km
Comprimento total da rede de drenagem	482 km
Densidade de drenagem (Dd)	2,24 km/km ²
Índice de circularidade (Ic)	0,45
Fator de forma (F)	0,036
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,475

Em condições normais de precipitação, as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena mostram-se pouco suscetíveis à inundação, como é demonstrado pelo coeficiente de compacidade (Kc) que apresenta o valor afastado da unidade (1,475) e pelo valor do fator de forma (F) ser baixo (0,036). Villela e Mattos (1975) comentam que uma bacia é circular quando possui o valor de Kc igual a 1; caso seja superior à unidade (1), a bacia hidrográfica é considerada alongada. Portanto, como o Kc da área de estudo é de 1,475, as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena são de forma alongada. O índice de circularidade (Ic) (0,45) também evidencia esse fato. Ressalta-se, ainda, que, em bacias alongadas, é esperado que haja a concentração de um maior volume de água em seu canal principal.

A densidade de drenagem (Dd), que é de 2,24 km/km², indica que a área de estudo possui uma baixa capacidade de drenagem. Christofolletti (1969) afirma que valores menores que 7,5 km/km² indicam baixa densidade de drenagem, valores entre 7,5 e 10,0 km/km² indicam média densidade e valores acima de 10,0 km/km² sugerem alta densidade hidrográfica. Villela e Mattos (1975) comentam que esse índice pode variar de 0,5 km/km² em

bacias com drenagem pobre a $3,5 \text{ km/km}^2$ ou mais em bacias bem drenadas, o que também demonstra que as bacias em estudo possuem baixa capacidade de drenagem.

Um dos resultados gerados para compor a análise da suscetibilidade à inundação foi o mapa de usos e ocupações da terra da área das bacias hidrográficas. Para isso, fez-se necessário realizar um *buffer* de 1 km da área de estudo, o que permitiu incluir os elementos pertencentes às regiões de entorno. Realizou-se, primeiramente, um mosaico entre duas imagens para abranger toda a área de estudo e, posteriormente, executou-se uma composição de bandas RGB 542 das imagens *RapidEye*, o que conferiu, principalmente à vegetação, uma coloração alaranjada, facilitando a visualização e diferenciação dos alvos presentes. A figura 15, a seguir, mostra a composição de bandas espectrais RGB 542 para a classificação de uso e ocupação da terra (Figura 16).

Figura 15 – Composição RGB 542 das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

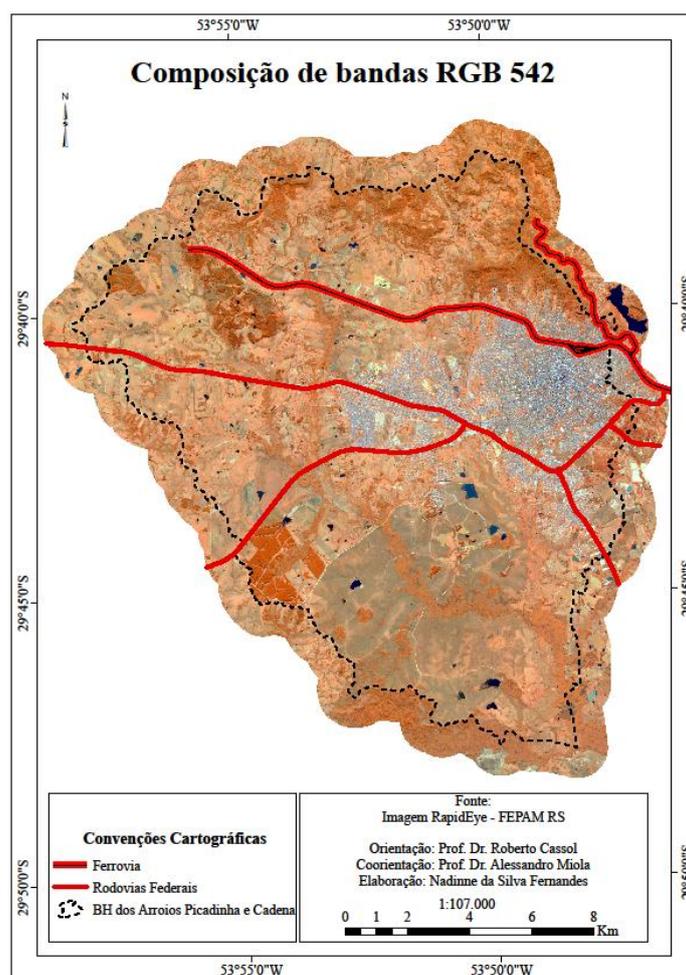
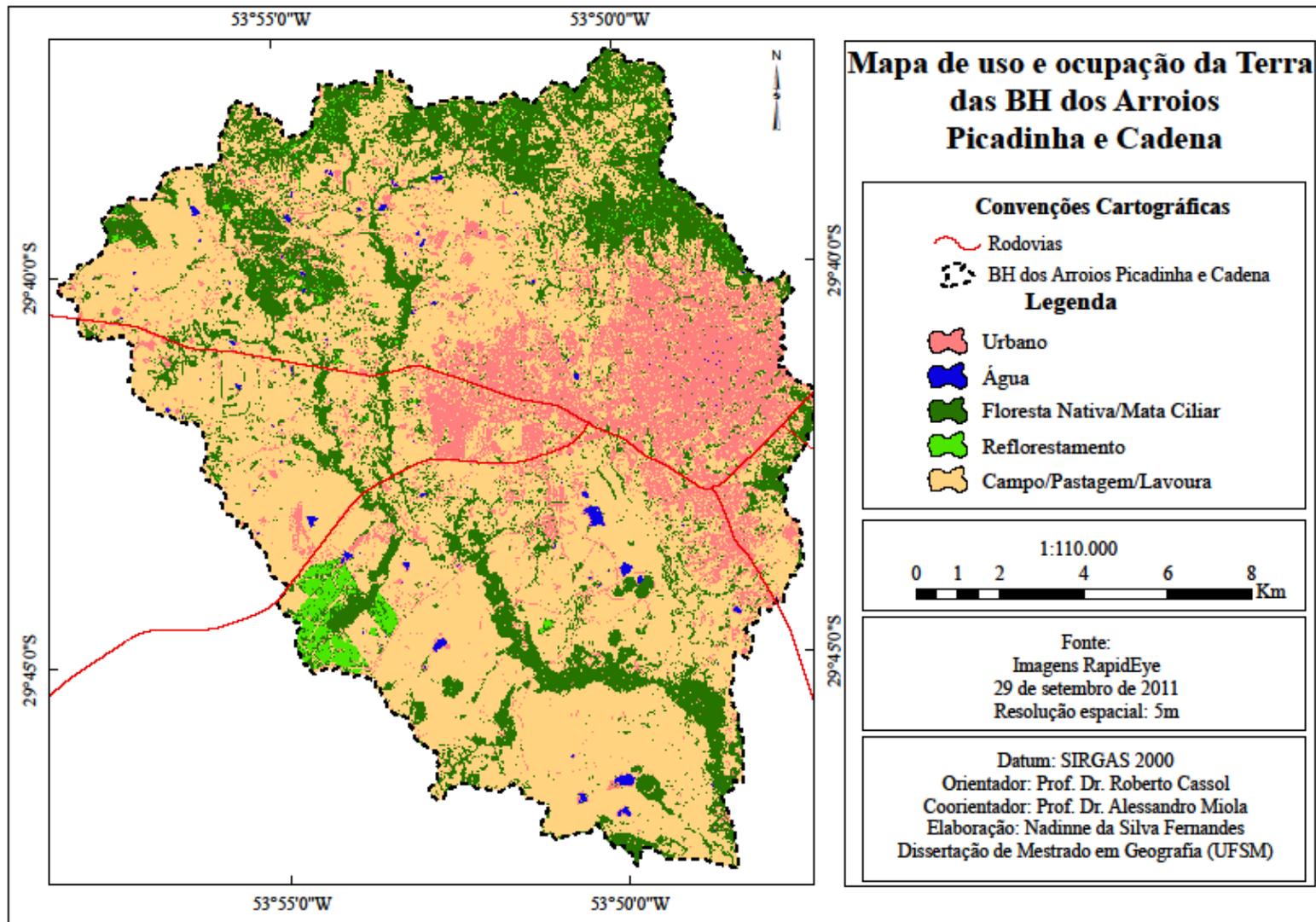


Figura 16 – Mapa de uso e ocupação da terra das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



A partir da representação gráfica de usos e ocupações da terra, foi possível obter as medidas de classes, a quantificação das áreas em km² e o percentual de cada classe, como demonstrado na tabela 3, o que permitiu identificar as características e a distribuição espacial de cada uso. As medidas de classes foram calculadas a partir da área das bacias (214, 42 km²).

Pode-se observar que há o predomínio da classe Campo/Pastagem/Lavoura, que abrange 59,28% da área de estudo. Essa classe compreende as áreas de agricultura, criação de gado e campo.

Tabela 3 – Classes de usos e ocupações da terra das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

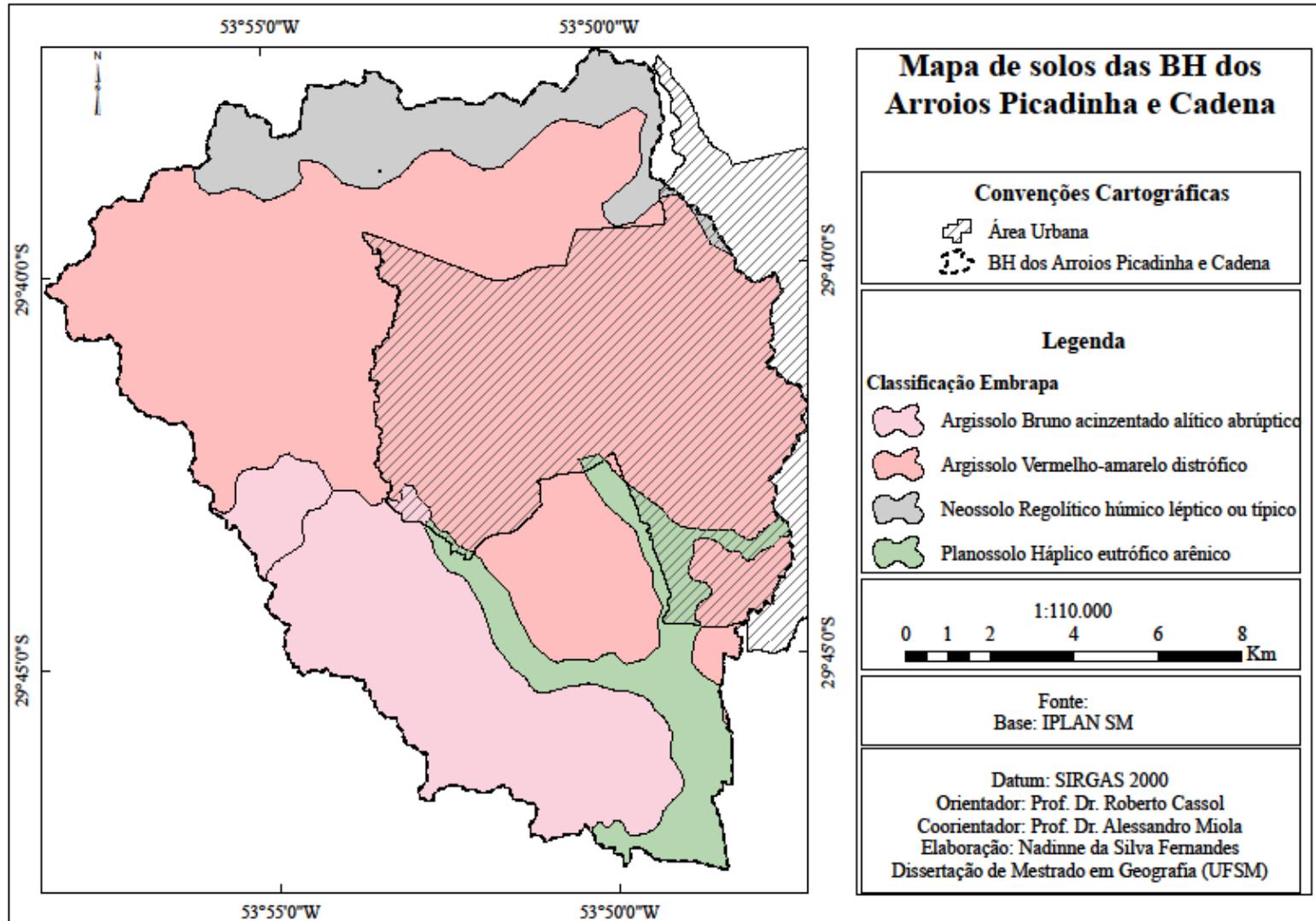
CLASSES	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Urbano	34,67	16,14
Água	1,07	0,50
Floresta Nativa/Mata Ciliar	48,60	22,63
Reflorestamento	3,11	1,45
Campo/Pastagem/Lavoura	127,30	59,28

A classe Urbano compreende todas as construções e estradas contidas na área das bacias hidrográficas, totalizando 16,14%. Para a classe Água, foram considerados todos os corpos d'água presentes na área de estudo, como barragens, açudes e rios, totalizando 0,50% das bacias hidrográficas.

A classe Floresta Nativa/Mata Ciliar corresponde a 22,63% da área e compreende toda a vegetação que possui uma textura rugosa, sendo indicada por meio de uma coloração alaranjada em tons fracos, o que permitiu diferenciá-la da classe Reflorestamento, identificada por uma coloração alaranjada em tons fortes e que representa 1,45% da área em estudo.

Os tipos de solos da área em estudo (Figura 17) são Argissolo bruno-acinzentado alítico abráptico, Argissolo vermelho-amarelo distrófico típico, Neossolo regolítico húmico léptico ou típico e Planossolo háptico eutrófico arênico.

Figura 17 – Mapa dos solos pertencentes às bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



Pode-se observar na tabela 4 que a classe de solo de maior predominância nas bacias hidrográficas é Argissolo vermelho-amarelo distrófico típico, que ocupa 63,27% da área. Segundo Streck *et al* (2008), esse solo se caracteriza por possuir baixa fertilidade natural, por ser mais arenoso, o que o torna mais suscetível à erosão, e por apresentar boa drenagem, característica evidenciada pela sua cor vermelho-amarelo.

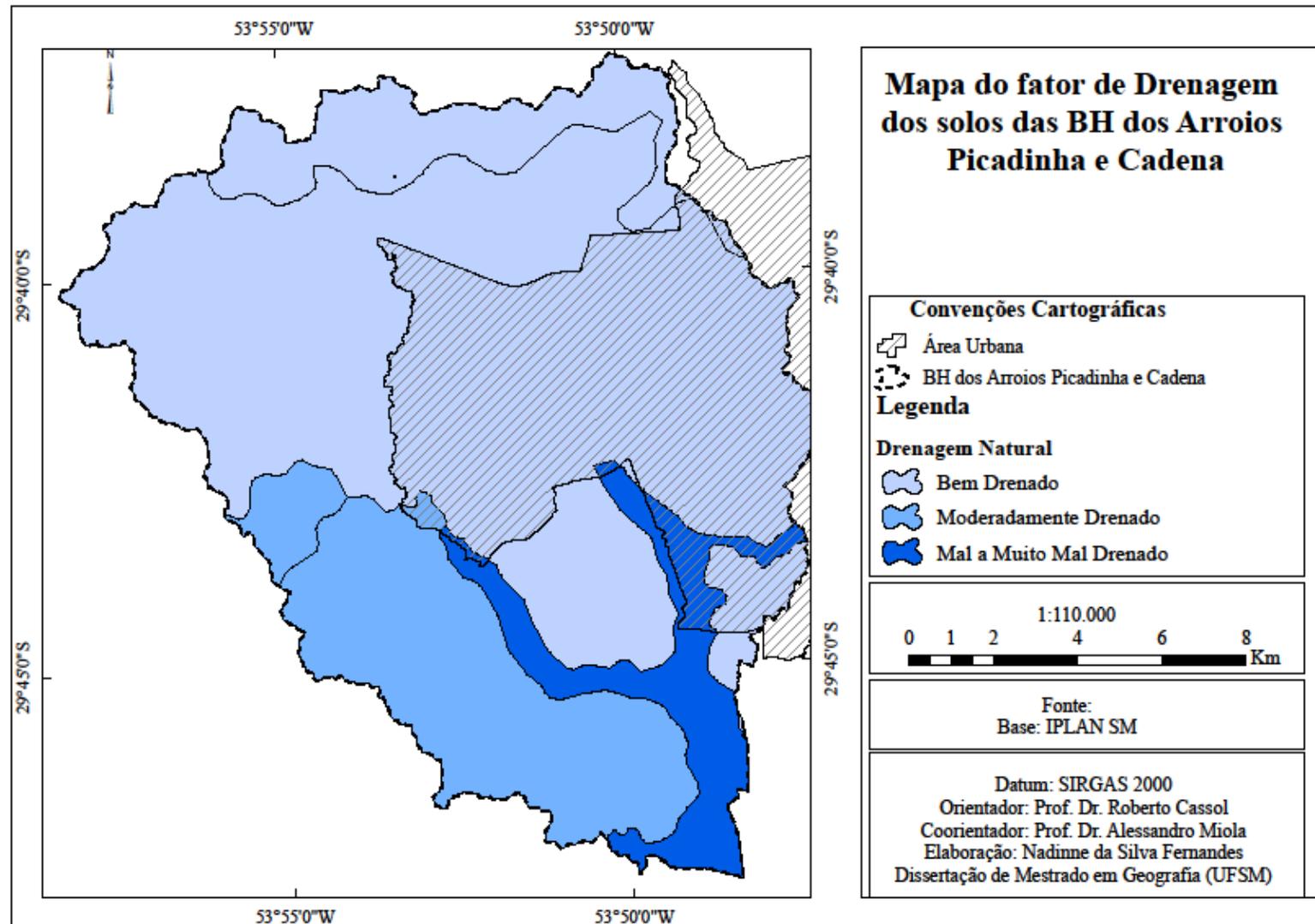
Já o solo Argissolo bruno-acinzentado alítico abruptico ocupa 19,28% da área. Esse tipo de solo é comumente utilizado para pastagens, podendo ser usado em menor escala para culturas de verão. O Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico, por sua vez, ocupa 8,93% da área e é ocupado predominantemente por pastagens. Com menor representatividade, há o solo Planossolo háplico eutrófico arênico, ocupando 8,52% da área e ocorrendo em relevos planos nas várzeas dos rios (planície de inundação). Este tipo de solo é normalmente utilizado para a cultura de arroz e de pastagens: são solos mal a imperfeitamente drenados, devido à presença de água.

Tabela 4 – Classes dos tipos de solos das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

TIPOS DE SOLO	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Argissolo bruno-acinzentado alítico abruptico	41,40	19,28
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	135,88	63,27
Neossolo regolítico húmico léptico ou típico	19,18	8,93
Planossolo háplico eutrófico arênico	18,30	8,52

A caracterização da drenagem natural do solo serve como critério de avaliação de sua permeabilidade, possuindo, portanto, relação direta com o fenômeno de inundação, principalmente ao se relacionar com outros fatores que acentuam esse evento. As classes de drenagem do solo utilizadas neste estudo foram: excessivamente, acentuadamente, fortemente, bem, moderadamente, mal e muito mal drenado. A figura 18, a seguir, demonstra a distribuição espacial da drenagem natural dos solos, permitindo verificar a ocorrência dessa característica.

Figura 18 – Mapa do fator de drenagem das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



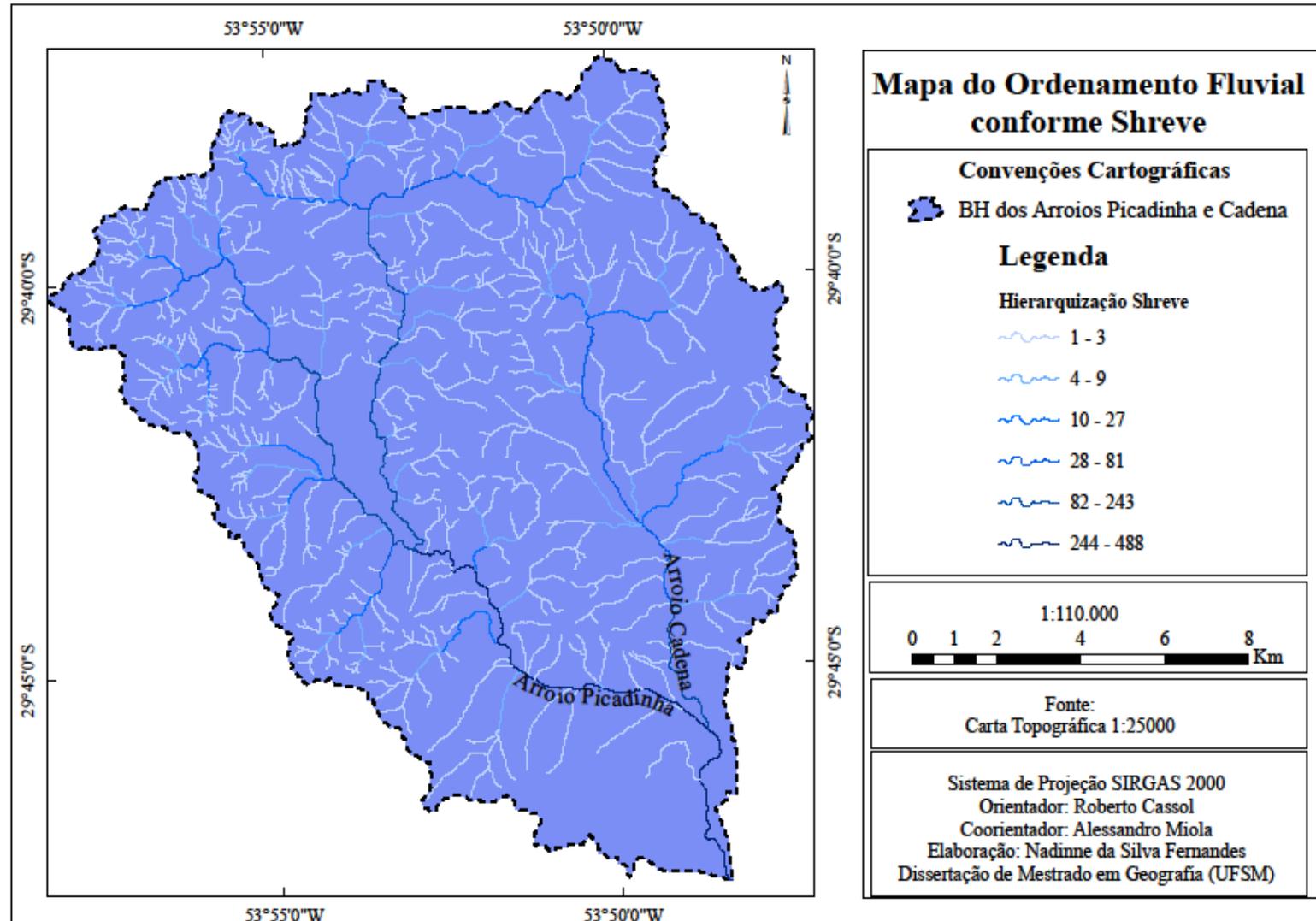
A ordem fluvial hierarquizada, conforme Shreve (1966), demonstra a localização dos leitos de menores e maiores magnitudes, permitindo, assim, compreender o comportamento da rede de drenagem da área de estudo. Sabe-se que os leitos de maior ordem são os que possuem maior influência no processo de inundação. Nesse sentido, observa-se na figura 19 que os canais principais (Arroio Picadinha, que se encontra na classe de 244 – 488, e Arroio Cadena, que está na classe 82-243) são os que possuem maior acúmulo de água, ou seja, maiores magnitudes.

A tabela 5, a seguir, demonstra a quantificação em km e o percentual de cada classe, o que possibilita verificar a existência de 73% de leitos de rios classificados na ordem de 1 a 3. Já a classe 244 – 488 representa 3% do total e é a mais suscetível entre elas, pois recebe o deságue de todos seus afluentes, ou seja, de todas as outras classes.

Tabela 5 – Classes do ordenamento fluvial das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

CLASSES	COMPRIMENTO (km)	ÁREA (%)
1 – 3	351	73
4 – 9	49	10
10 – 27	28	6
28 – 81	18	4
82 – 243	21	4
244 – 488	14,5	3

Figura 19 – Mapa do ordenamento fluvial das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



Mediante a confecção do MDT a partir das curvas de nível, dos pontos cotados, da hidrografia e da área das bacias, foi possível representar graficamente a hipsometria. Dessa forma, obtiveram-se as medidas, o que possibilitou quantificar as áreas inseridas em cada classe de hipsometria, como demonstra a tabela 6.

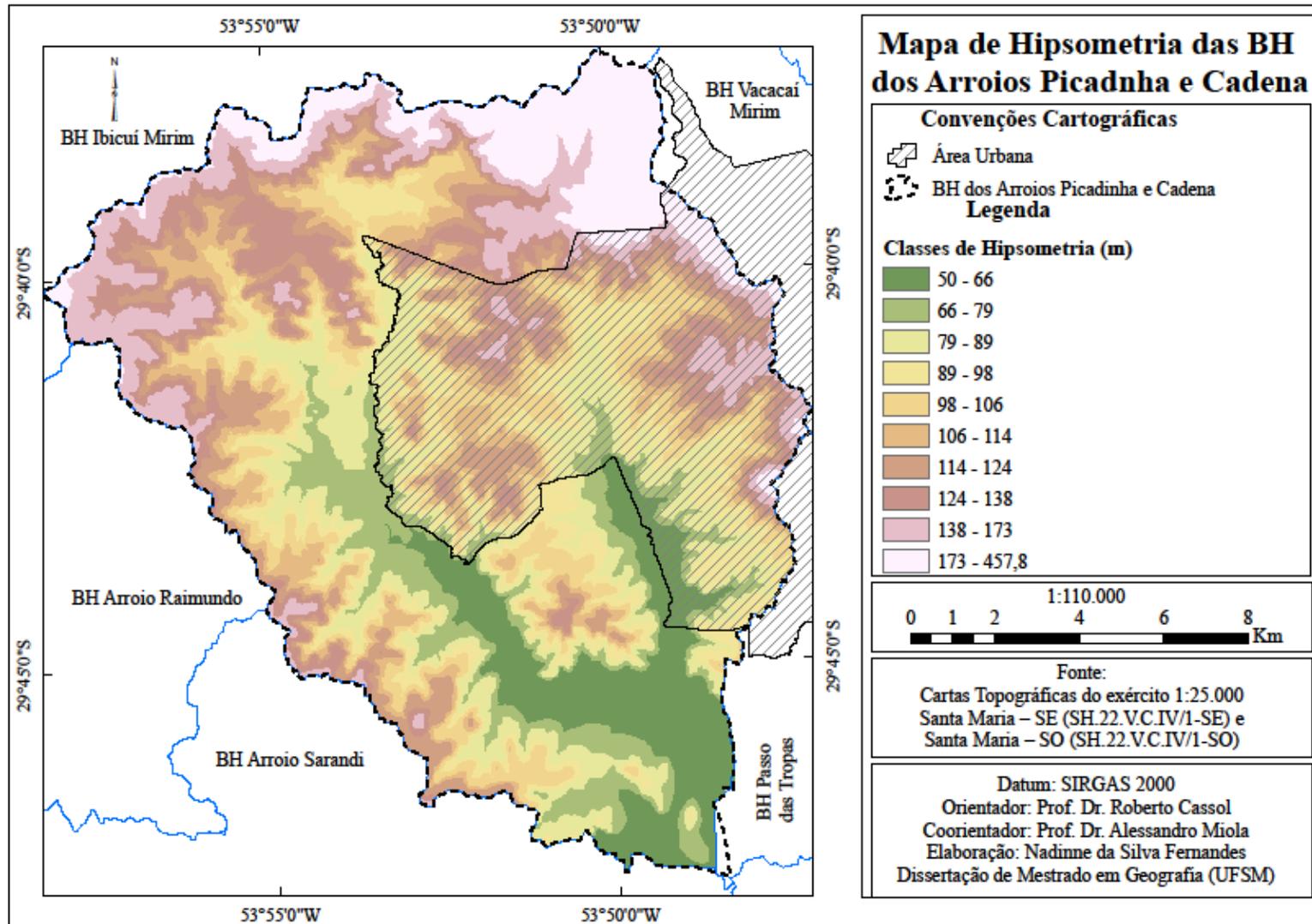
Tabela 6 – Classes de hipsometria das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

CLASSES (m)	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
50 – 66	20,8	10
66 – 79	18	8
79 – 89	24,7	11,4
89 – 98	25	12
98 – 106	24	11
106 – 114	20,6	9,6
114 – 124	21	10
124 – 138	21	10
138 – 173	19	9
173 – 457,8	19	9

As informações referentes à altimetria estão dispostas em dez classes hipsométricas e divididas conforme o método estatístico de Quantil, com maior detalhamento nas baixas altitudes. A amplitude altimétrica da área em estudo é de 407,8 m, sendo seu ponto mais elevado de 457,8 m (situado na porção nordeste das bacias hidrográficas) e seu ponto mais baixo de 50 m (situado nas várzeas dos Arroios Picadinha e Cadena).

Ao analisar a tabela 6, observa-se que as altitudes que contêm maior predominância variam entre 89 e 98 m, equivalendo a 12% da área de estudo. A classe que representa a área mais baixa é a de 50 – 66m, que corresponde a 10%. A segunda classe de maior representatividade é a de 79 – 89 m, totalizando 11,4% de extensão das bacias hidrográficas. Na região norte das bacias, encontram-se as altitudes mais elevadas, caracterizando 9% da área. É possível notar, ainda, que, a partir da quinta classe, atinge-se uma altitude de 106 m, compreendendo mais da metade da área de estudo, com 52%. Dessa forma, a área de estudo possui altitudes baixas em grande parte de sua extensão, como demonstrado na figura 20.

Figura 20 – Mapa de hipsometria das bacias hidrográficas dos Arroios Picadilha e Cadena



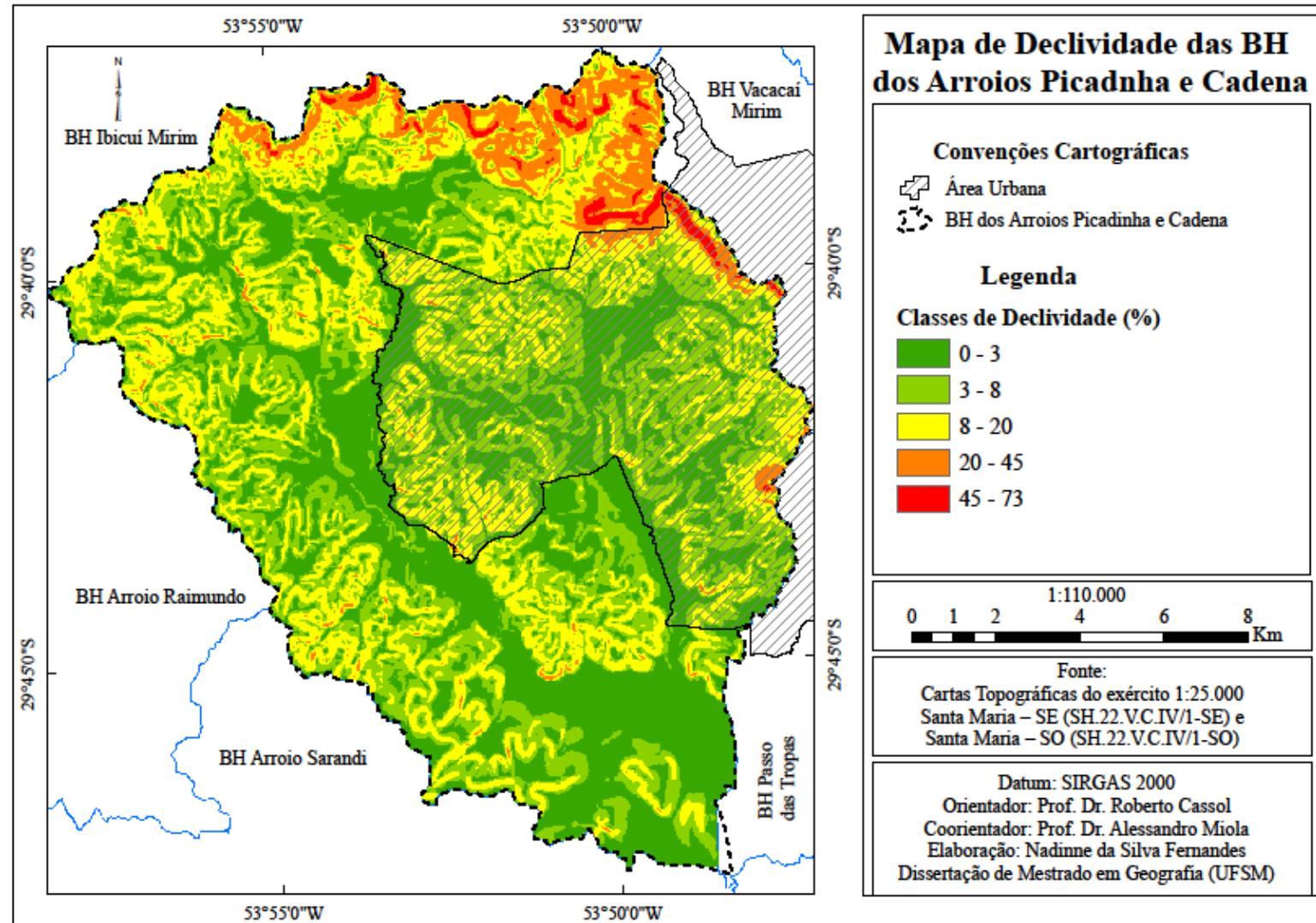
A declividade foi classificada conforme a Embrapa (1979), permitindo quantificar as classes de declividade, como apresentado na tabela 7, exposta a seguir.

Tabela 7 – Classes de declividade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena

CLASSES (%)	ÁREA EM KM²	ÁREA EM %
0 – 3	72	34
3 – 8	71	33
8 – 20	56	26
20 – 45	12	6
45 – 73	2	0,9

As declividades de até 8% representam 67% da área total. A classe de maior representação é a de 0 – 3%, o que corresponde a 34% da área, demonstrando que a maior parte da área das bacias é de relevo plano. A classe de 3 – 8% compreende 33% das bacias hidrográficas, o que indica que a área de estudo possui relevo suave ondulado. A classe de 8 – 20%, por sua vez, compreende 26% da área, indicando a presença de relevo ondulado. Já as classes 20 – 45% e 45 – 73%, somadas, representam apenas 6,9% do total (Figura 21). As inclinações baixas, elemento característico da área de estudo, apresentam aparentemente lugares favoráveis à ocupação urbana e à agricultura, mas, quando estas atividades são associadas aos cursos d'água, trazem riscos para a drenagem, o que pode tanto causar poluição da água quanto agravar o fenômeno de inundação.

Figura 21 – Mapa da declividade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadilha e Cadena



Após os dados de uso e ocupação da terra, hipsometria, declividade, ordenamento fluvial e tipos de solo terem sido gerados, foi possível iniciar a álgebra de mapas seguindo a técnica AHP. Primeiramente, os dados foram reclassificados, utilizando o comando do *software* ArcGis 10.1 (ESRI, 2013): *Spatial Analyst tools – Reclass – Reclassify*, no qual foram atribuídos pesos a cada classe, conforme o seu grau de interferência. Portanto, os pesos (0 a 10) foram associados de acordo com o grau de suscetibilidade à inundação (Quadro 1).

No mapa de uso e ocupação da terra (Figura 16), as classes urbano e água também receberam pesos maiores em relação às outras classes (Tabela 8).

Tabela 8 – Definição de pesos para as classes de uso e ocupação da terra

Classes de uso e ocupação da terra	Pesos
Urbano	9
Água	10
Floresta Nativa/Mata Ciliar	1
Reflorestamento	2
Campo/Pastagem/Lavoura	8

Primeiramente, o arquivo dos tipos de solo foi transformado de arquivo vetorial (*shapefile*) para arquivo matricial, para que, assim, fosse possível utilizar essa variável na álgebra de mapas – cada *pixel* precisava possuir um valor digital, correspondendo ao fator de drenagem natural. No mapa dos tipos de solos, as classes que possuem solos com drenagem imperfeita também receberam pesos maiores (Tabela 9).

Tabela 9 – Definição de pesos para as classes de drenagem natural dos tipos de solo

Classes dos tipos de solo	Pesos
Bem drenado	1
Moderadamente drenado	5
Mal a muito mal drenado	10

Para o ordenamento fluvial, foram estabelecidos os pesos descritos na tabela 10, exposta a seguir. Para as classes com ordenamento fluvial maior, foram atribuídos pesos maiores.

Tabela 10 – Definição de pesos para as classes de Ordenamento Fluvial

Classes do ordenamento fluvial	Pesos
1 – 3	1
4 – 9	3
10 – 27	4
28 – 81	6
82 – 243	8
244 – 488	10

As classes de valores mais baixos das variáveis de declividade e hipsometria receberam os pesos mais altos, uma vez que, em altitudes e declividades baixas, o problema das inundações é agravado, conforme demonstrado nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Definição de pesos para a hipsometria

Classes de hipsometria	Pesos
50 – 66	10
66 – 79	9
79 – 89	8
89 – 98	7
98 – 106	6
106 – 114	5
114 – 124	4
124 – 138	3
138 – 173	2
173 – 457,82	1

Tabela 12 – Definição de pesos para a declividade

Classes de declividade	Pesos
0 – 3	10
3 – 8	8
8 – 20	6
20 – 45	4
> 45	1

Baseado na escala de comparação definida por Saaty, o quadro 7 mostra os elementos da matriz comparados entre si e indica o quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante do que o fator correspondente da direita. Desse modo, quando uma variável é confrontada com ela mesma, o único resultado possível é 1, pois possui igual importância.

Quadro 7 – Matriz de comparação

Variáveis	Declividade	Hipsometria	Ordem fluvial	Uso e ocupação da terra	Tipos de solo
Declividade	1	3	3	5	7
Hipsometria	1/3	1	3	3	5
Ordem fluvial	1/3	1/3	1	3	5
Uso e ocupação da terra	1/5	1/3	1/3	1	3
Tipos de solo	1/7	1/5	1/5	1/3	1
Soma	2,0095	4,8666	7,5333	12,333	21

Os valores de preferência são dados em uma forma numérica para expressar a importância ou a dominância de uma variável em detrimento de outra. Observa-se, no quadro 7, que a declividade é considerada moderadamente mais importante do que o critério de hipsometria e ordenamento fluvial, fortemente mais importante que o critério de uso e ocupação da terra e muito mais fortemente importante que o critério de tipo de solo. Percebe-se que a declividade possui dominância sobre os demais critérios, devido ao fato de que ela é a responsável pela força do escoamento. Portanto, em áreas de declividades baixas, a força do escoamento é menor, concentrando água, o que é um condicionante à inundação.

A hipsometria exerce função de moderadamente mais importante que o ordenamento fluvial e que o uso e a ocupação da terra e fortemente mais importante que o tipo de solo, pois, em altitudes baixas associadas a declividades baixas, aumentam significativamente as propensões ao fenômeno da inundação.

O ordenamento fluvial, por sua vez, possui uma prevalência de moderadamente mais importante que o uso e a ocupação da terra e fortemente mais importante que o tipo de solo, pois indica as magnitudes dos rios. Ou seja, nas áreas dos rios de magnitudes maiores, o acúmulo de água também é maior, sendo a partir desse condicionante que o processo de inundação pode ocorrer.

Já o critério de uso e ocupação da terra possui uma dominância moderadamente mais importante que o tipo de solo, pois por seu intermédio é possível distinguir quais os usos presentes. Tal fator influencia tanto na impermeabilização quanto no escoamento da água. Portanto, ao ser comparado com os tipos de solo, possui maior relevância.

A definição dos pesos (Quadro 8) é dada pela divisão de cada variável (matriz de comparação) pela somatória dos elementos da coluna a que pertence. Posteriormente, calcula-se uma média entre as linhas, obtendo-se, assim, os pesos.

Quadro 8 – Matriz de pesos

Variáveis	Decliv.	Hipsom.	Ordem fluvial	Uso e ocupação da terra	Tipos de solo	Média/ Pesos
Decliv.	$1/2,0095=$ 0,4976	$3/4,8666=$ 0,6164	$3/7,5333=$ 0,3982	$5/12,333=$ 0,4054	$7/21=$ 0,3333	0,450
Hipsom.	$0,33/2,0095=$ 0,1658	$1/4,8666=$ 0,2054	$3/7,5333=$ 0,3982	$3/12,333=$ 0,2432	$5/21=$ 0,2380	0,2501
Ordem Fluvial	$0,33/2,0095=$ 0,1658	$0,33/4,8666=$ 0,0685	$1/7,5333=$ 0,1327	$3/12,333=$ 0,2432	$5/21=$ 0,2380	0,1696
Uso e ocupação da terra	$0,2/2,0095=$ 0,0995	$0,33/4,8666=$ 0,0684	$0,33/7,5333=$ 0,0442	$1/12,333=$ 0,0810	$3/21=$ 0,1428	0,0871
Tipos de solo	$0,14/2,0095=$ 0,0710	$0,2/4,8666=$ 0,0410	$0,2/7,5333=$ 0,0265	$0,33/12,333=$ 0,0270	$1/21=$ 0,0476	0,0426

Conforme o modelo AHP, após cada comparação par a par, é necessário calcular a razão de consistência (RC), conforme equações 5, 6 e 7. A RC demonstra se os pesos

calculados são aceitáveis. Caso o valor de 0,1 for ultrapassado, será necessário revisar o modelo.

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

Onde: RC = razão de consistência; IR = índice aleatório segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge, Estados Unidos; IC = índice de consistência, calculado pela seguinte equação:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (6)$$

Onde: n = número de variáveis; λ_{\max} = autovetor, calculado pela seguinte equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} \quad (7)$$

Onde: $[A_w]_i$ = Matriz resultante do produto da matriz de comparação (Quadro 5); w_i = pesos calculados (Quadro 6).

Assim, para determinar a RC, primeiramente, determinam-se os valores de A_w , multiplicando a matriz de comparação (Quadro 6) pela matriz dos pesos (Quadro 9) calculados.

Quadro 9 – Determinação dos valores A_w

Variáveis	Decliv.	Hipsom.	Ordem fluvial	Uso e ocup. da terra	Tipos de solo	Pesos	A_w
Declividade	1	3	3	5	7	0,450	2,4428
Hipsometria	1/3	1	3	3	5	0,2501	1,3832
Ordem fluvial	1/3	1/3	1	3	5	0,1696	0,8772
Uso e ocup da terra	1/5	1/3	1/3	1	3	0,0871	0,4448
Tipos de solo	1/7	1/5	1/5	1/3	1	0,0426	0,2198

X

=

O segundo passo consiste na determinação dos valores do autovetor (λ_{\max}):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} = \frac{1}{5} \left(\frac{2,4428}{0,450} + \frac{1,3832}{0,2501} + \frac{0,8772}{0,1696} + \frac{0,4448}{0,0871} + \frac{0,2198}{0,0426} \right) = 5,2795 \quad (8)$$

Dessa maneira, é possível calcular o IC:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{5,2795 - 5}{5-1} = 0,0698 \quad (9)$$

Os valores de IR (Quadro 10) são índices aleatórios para matrizes quadradas de ordem n , segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge. Por fim, diante dos resultados obtidos nos cálculos, a RC poderá ser determinada.

Quadro 10 – Valores de IR

n	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Fonte: SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. O; EUGENIO, F. C, 2010

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0698}{1,12} = 0,062 \quad (10)$$

O resultado de RC é de 0,062, sendo, portanto, inferior a 0,10, o qual é um valor que serve como parâmetro para considerar se os pesos calculados são aceitáveis. Dessa forma, o RC indica que os pesos determinados estão coerentes.

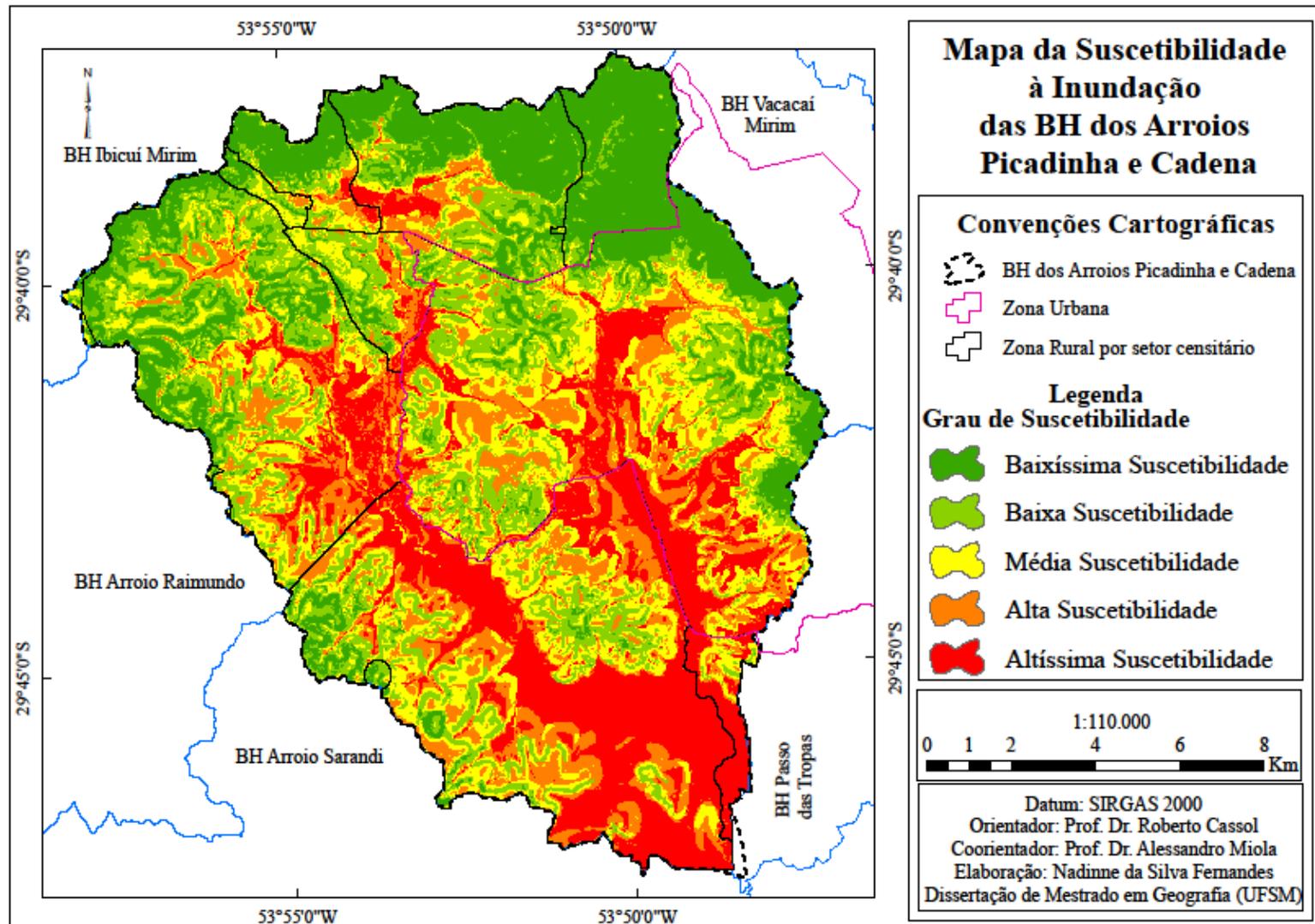
Com os pesos estatísticos calculados, torna-se possível realizar a álgebra de mapas, utilizando a rotina do *software* ArcGis® 10.1 *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*, para elaborar o mapa de suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena (Figura 22). Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$SI = ((0,450 \times D) + (0,2501 \times H) + (0,1696 \times OF) + (0,0871 \times UOT) + (0,0426 \times TS)) \quad (11)$$

Onde: SI = suscetibilidade à inundação; D = declividade; H = hipsometria; OF = ordenamento fluvial; UOT = uso e ocupação da terra; TS = tipo de solo

Os valores encontrados de suscetibilidade variaram entre 0 e 10. Portanto, o mapa de suscetibilidade à inundação foi dividido em cinco classes, de acordo com os graus de probabilidade da área ao fenômeno: baixíssima suscetibilidade, baixa suscetibilidade, média suscetibilidade, alta suscetibilidade e altíssima suscetibilidade. Isso permitiu uma melhor representação e compreensão do comportamento espacial do fenômeno.

Figura 22 – Mapa da suscetibilidade das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



As áreas de grau de altíssima e alta suscetibilidade encontram-se nas regiões de até 100 m de altitude e também nas declividades menores que 8%, confirmando, assim, o que era esperado, pois, em condições superiores ao normal de precipitação, geralmente essas áreas são atingidas pelas águas. Isso indica que os critérios estabelecidos foram atingidos, pois a declividade influencia o acúmulo de água no terreno. Além disso, quanto menor for a altitude, maior será a propensão ao fenômeno, de modo que, em regiões planas, maiores são as chances de ocorrer o processo de inundação.

O ordenamento fluvial refere-se à magnitude dos leitos dos rios, de modo que, em rios com magnitudes maiores, maior é a quantidade de água e maior é o risco à inundação. O uso e a ocupação da terra influenciam a infiltração e o escoamento da água. Ademais, o solo do tipo planossolo é imperfeitamente ou mal drenado, motivo pelo qual nessas áreas há maior propensão à inundação do que em outros solos presentes nas bacias em estudo. Dessa forma, percebe-se que os critérios foram respeitados e que as influências de uma variável sobre outra permitiram a identificação da suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.

Observa-se que as áreas de menores declividades estão em áreas de altíssima suscetibilidade, devido ao fato de que a declividade recebeu peso superior aos demais critérios. A hipsometria por também receber um peso maior do que as outras variáveis, com exceção da declividade, demonstrou que as áreas de altitudes baixas se encontram nas classes de alta a altíssima suscetibilidade.

Mediante a espacialização das áreas, inferindo-se o seu grau de suscetibilidade, foi possível quantificá-las de modo a facilitar a análise de suscetibilidade à inundação, como apresentado na tabela 13.

Tabela 13 – Classes de suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena.

CLASSES (%)	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Baixíssima suscetibilidade	43	20
Baixa suscetibilidade	44	21
Média suscetibilidade	43,6	20
Alta suscetibilidade	37	17
Altíssima suscetibilidade	46	22

Ao analisar a figura 22 e a tabela 13, pode-se inferir que a classe de grau altíssima suscetibilidade, com 22% da área total, predomina nas bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. A classe de segunda prevalência da área de estudo é a de baixíssima e média suscetibilidade à inundação, representando, cada uma delas, 20% da área de estudo. Assim, as classes que representam maiores preocupações em relação ao fenômeno da inundação são as de alta e altíssima suscetibilidade, que, juntas, representam um total de 39% da área. Já as classes de baixíssima a baixa suscetibilidade abrangem 41% da área. Observa-se que as bacias em estudo estão fortemente sujeitas ao fenômeno da inundação, principalmente por englobar a maior parte urbana do município de Santa Maria.

Outro ponto a ser considerado são as populações das zonas rurais e urbanas que abrangem as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. Na zona urbana, os graus de alta e altíssima suscetibilidade abrangem áreas de 21 bairros: Agro Industrial, Boi Morto, Carolina, Caturrita, Divina Providência, Dom Antônio Reis, Duque de Caxias, Juscelino Kubitschek, Lorenzi, Nossa Senhora da Medianeira, Noal, Passo D'Areia, Patronato, Pinheiro Machado, Renascença, Salgado Filho, São João, Tancredo Neves, Tomazetti, Uglione e Urlândia (Figura 23). Na zona rural, que compreende a área de estudo, são sete setores censitários inseridos nos graus de alta e altíssima suscetibilidade (Figura 24).

Figura 23 – Mapa de suscetibilidade à inunda o – zona urbana

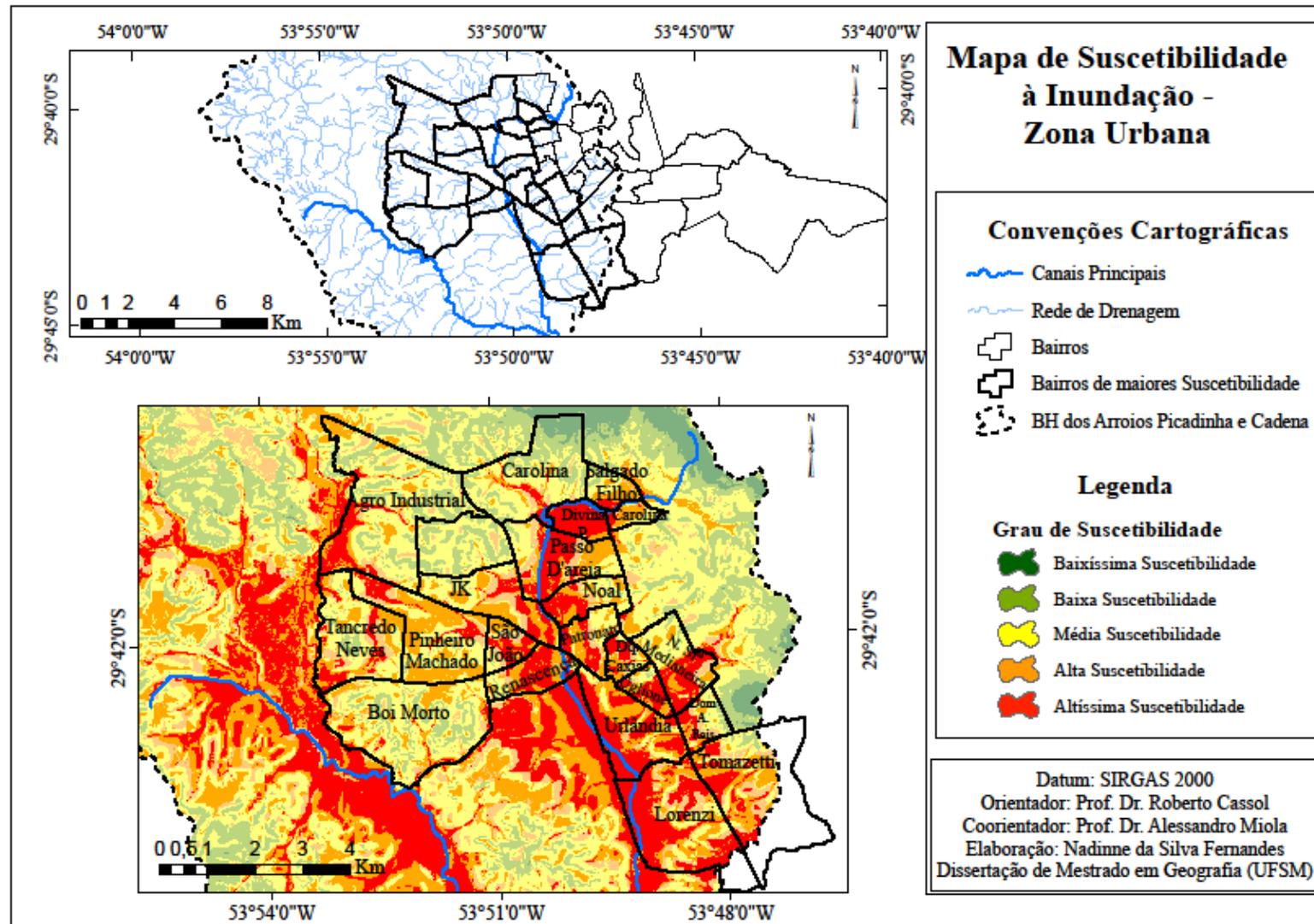
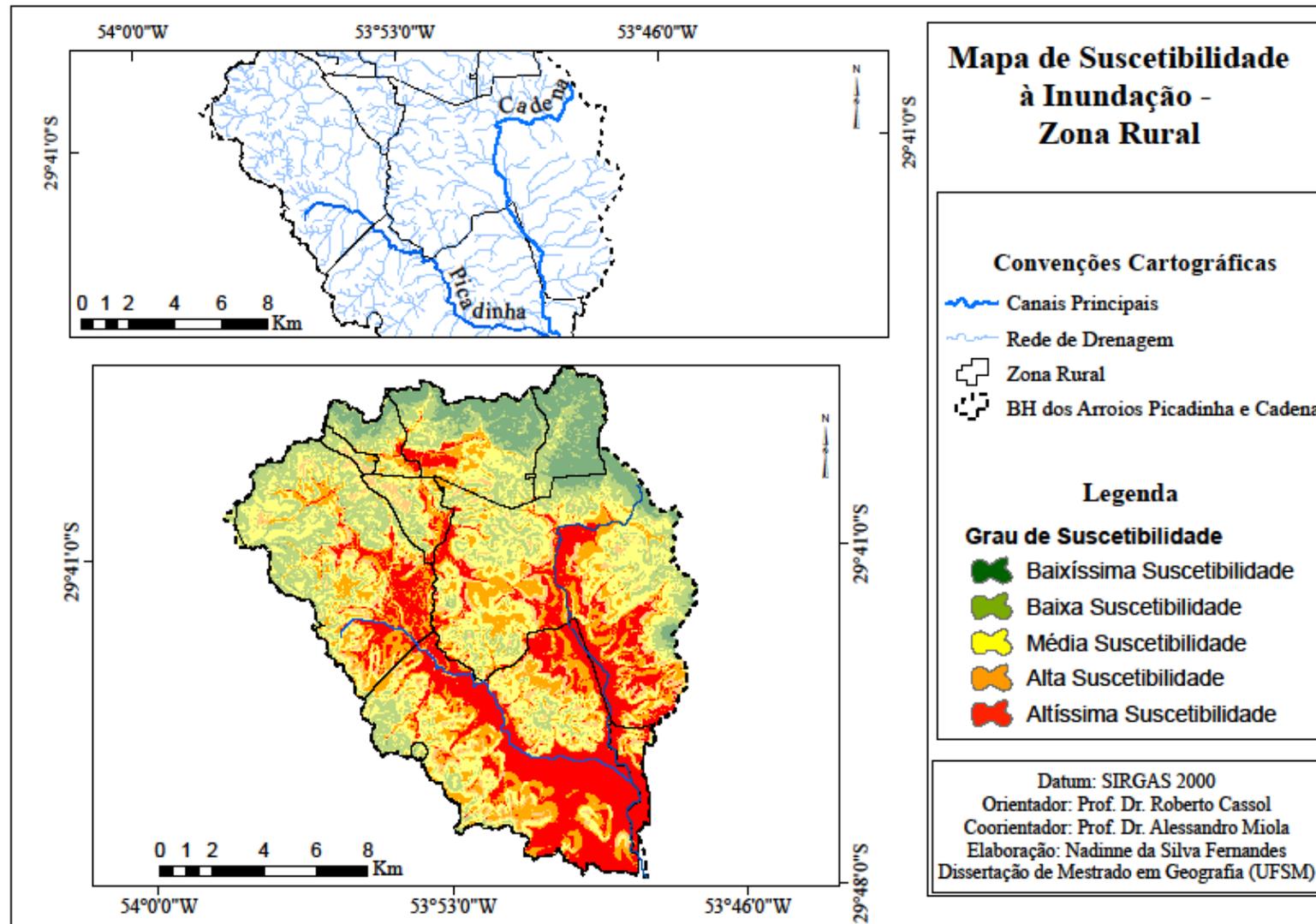


Figura 24 – Mapa de suscetibilidade à inundação – zona rural



A partir da porcentagem que os graus de alta e altíssima suscetibilidade abrangem da zona rural e urbana da área de estudo, estimou-se a população inserida nessas áreas, como demonstrado na tabela 14, exposta a seguir.

Tabela 14 – Estimativa populacional inserida nas áreas de alta e altíssima suscetibilidade

Bairros	Alta e altíssima suscetibilidade abrangência (%)	Estimativa populacional (população absoluta)
Agro Industrial	24%	55 pessoas
Boi Morto	23%	597 pessoas
Carolina	65%	2.215 pessoas
Caturrita	13%	425 pessoas
Divina Providência	95%	3.995 pessoas
Dom Antônio Reis	39%	784 pessoas
Duque de Caxias	65%	2.186 pessoas
Juscelino Kubitschek	55%	7.484 pessoas
Lorenzi	64%	3.645 pessoas
Nossa Sra. da Medianeira	54%	4.913 pessoas
Noal	60%	4.615 pessoas
Passo D'Areia	61%	4.316 pessoas
Patronato	58%	1.506 pessoas
Pinheiro Machado	56%	7.180 pessoas
Renascença	77%	1.398 pessoas
Salgado Filho	48%	3.419 pessoas
São João	58%	1.003 pessoas
Tancredo Neves	40%	4.126 pessoas
Tomazetti	31%	642 pessoas
Uglione	78%	1.427 pessoas
Urlândia	85%	7.730 pessoas
Total = 63.661 pessoas atingidas na zona urbana		
Zona rural	39%	628 pessoas
Total: 64.289 pessoas atingidas na área de estudo		

Percebe-se, assim, que aproximadamente 63.661 pessoas na zona urbana e 628 pessoas na zona rural estão inseridas em áreas de alta e altíssima suscetibilidade à inundação, totalizando 64.289 pessoas que estão nos locais considerados de maior propensão ao processo de inundação, o que corresponde a 25% do número de habitantes do município de Santa Maria. Dessa forma, caso ocorra um evento de inundação, são essas as populações que estão vulneráveis ao fenômeno. As figuras 25 e 26 demonstram as áreas de altíssima e alta suscetibilidade de inundação nos bairros da área urbana do município de Santa Maria.

Figura 25 – Mapa de suscetibilidade à inundação – bairros (alta suscetibilidade)

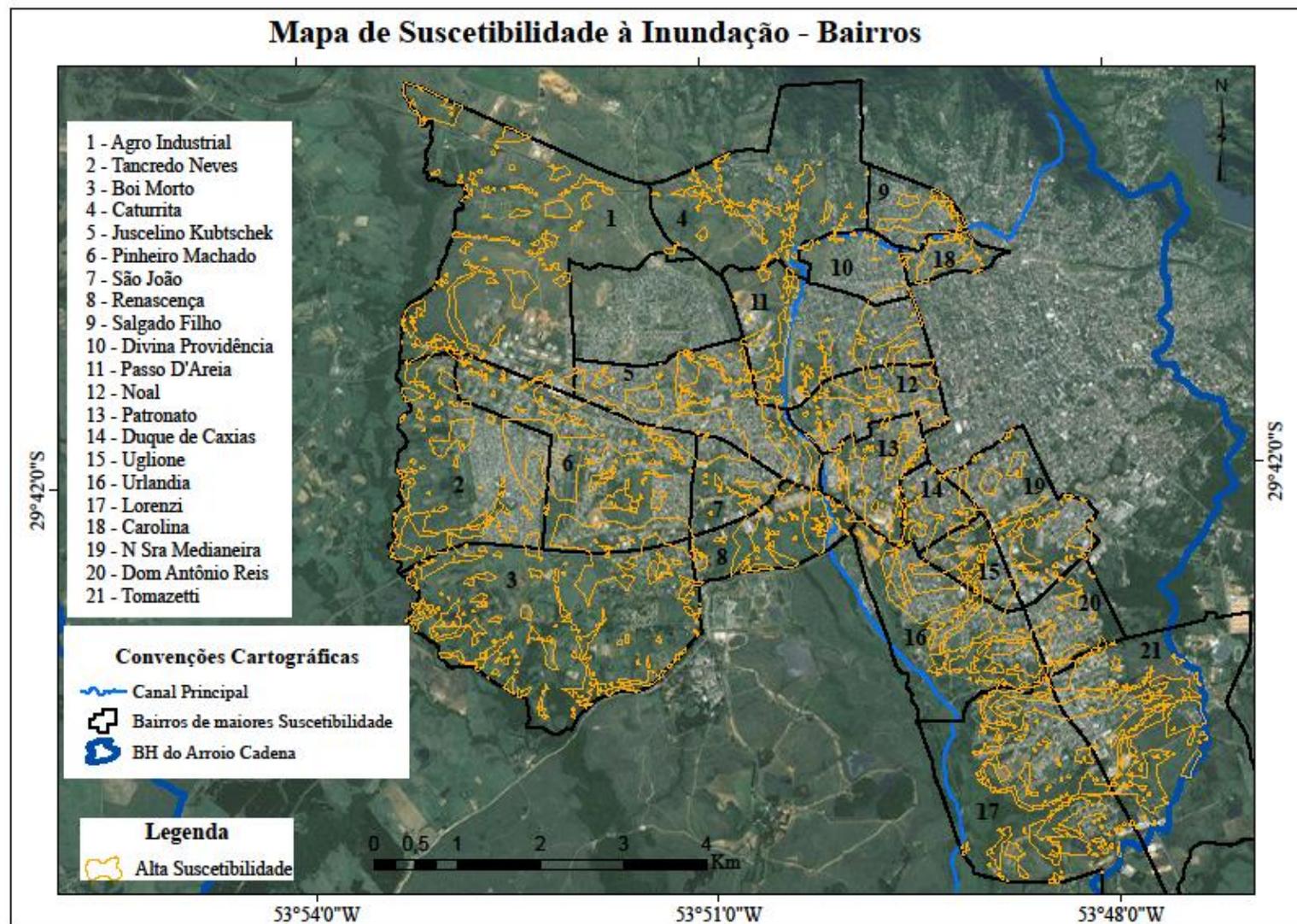
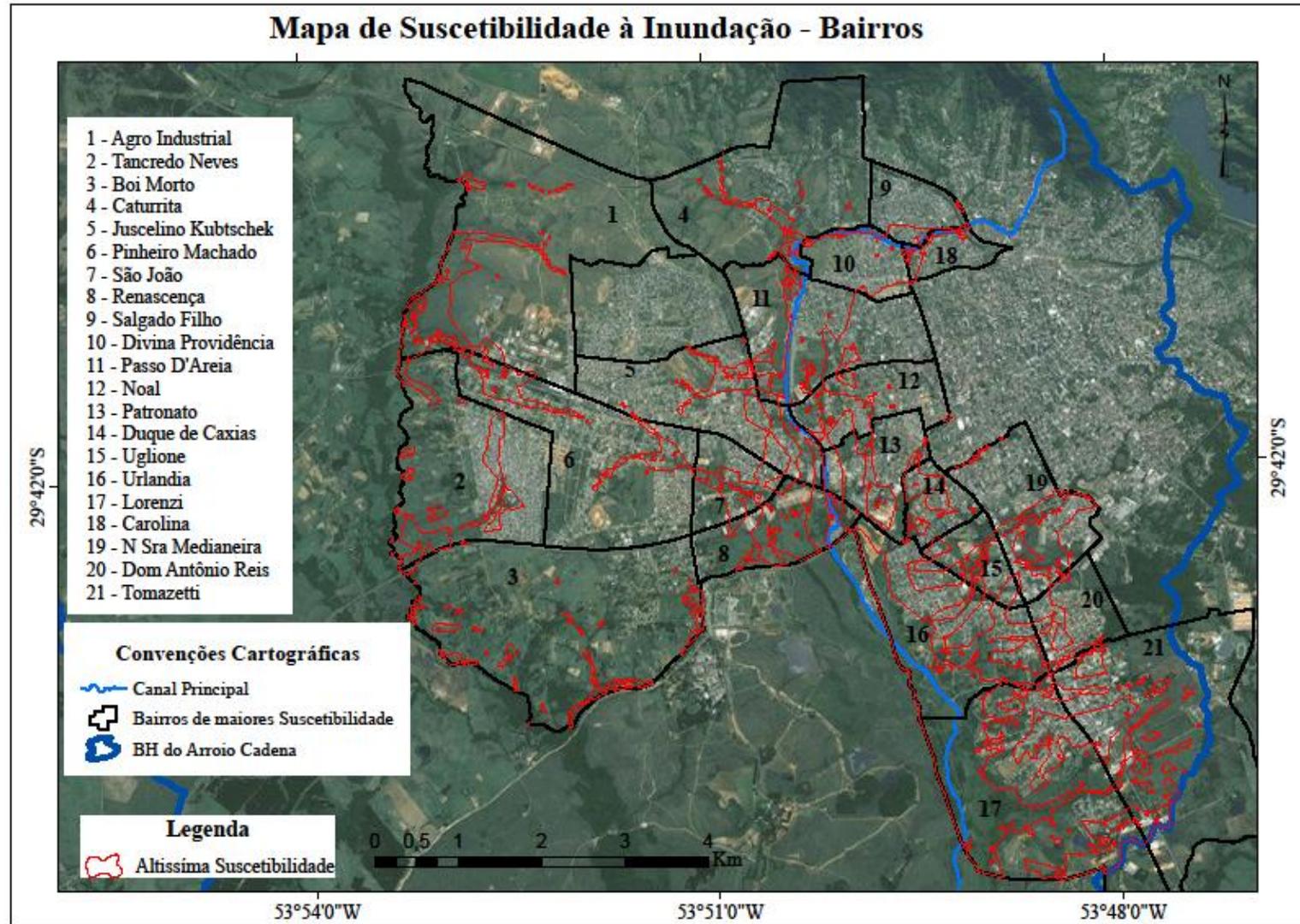


Figura 26 – Mapa de suscetibilidade à inundação – bairros (altíssima suscetibilidade)



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices morfométricos de coeficiente de compacidade (K_c) e fator de forma (F) demonstram que a área de estudo possui pouca suscetibilidade à inundação. Entretanto, a densidade de drenagem (D_d) mostra que a área possui baixa capacidade de drenagem, fazendo com que a água que chega a bacia leve um maior tempo para deixá-la, ocasionando o acúmulo de água em seus contribuintes. Desse modo em precipitações em condições superiores ao normal, toda a água que chegar à rede de drenagem precisará de um maior tempo de vazão, o que pode configurar uma enchente e, dependendo do volume, o extravasamento dessas águas, gerando, assim, um episódio de inundação.

Observa-se que o grau de suscetibilidade à inundação predominantemente nas bacias hidrográficas em estudo é de média a altíssima, correspondendo a 59% do total. Nesse sentido, as pesquisas que envolvem as bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena se mostram importantes, devido à preocupação com possíveis eventos de inundação ocorrerem em sua extensão. Há inúmeros registros históricos que comprovam que o município de Santa Maria sofre com essas situações, principalmente no que diz respeito às bacias hidrográficas em questão, que é onde está inserida a maior parte da população urbana local.

O mapa gerado pela álgebra de mapas, com a devida distribuição dos pesos de cada uma das variáveis, juntamente com a técnica de Processo Analítico Hierárquico (AHP), demonstrou-se satisfatório para a identificação de áreas suscetíveis à inundação. A metodologia aplicada mostrou-se eficiente em diversas etapas, principalmente em virtude de sua flexibilidade, pois a predominância estabelecida de um critério sobre o outro pode ser modificada dependendo do objetivo da análise, alterando-se, assim, a estrutura hierárquica. Do ponto de vista operacional, a técnica AHP demonstrou-se atraente, devido ao fato de ser considerada acessível à manipulação da dominância de uma variável sobre a outra e ao fato de poder ser agregada na análise espacial.

A variável de ordem fluvial, considerada o diferencial desta pesquisa, mostrou-se eficiente na identificação da suscetibilidade à inundação da área de estudo, pois demonstrou que áreas próximas aos rios com magnitudes altas apresentam maiores suscetibilidades. Tal variável, apesar de enfatizar o risco de residir nesses locais, acrescentou confiabilidade aos resultados gerados.

A estimativa populacional, por sua vez, possibilitou caracterizar a área de estudo e calcular, aproximadamente, o número de pessoas que estão nas áreas de alta e altíssima suscetibilidade à inundação, demonstrando que as técnicas utilizadas, como é o caso do

Sistema de Informações Geográficas (SIG), puderam auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa. A população estimada, 64.289 pessoas, é bastante significativa, pois é maior que o número de habitantes de algumas cidades inteiras, o que indica, novamente, que estudos referentes às bacias hidrográficas são importantes para a prevenção de desastres e prejuízos irreversíveis.

Considerando os critérios formulados para a análise da suscetibilidade à inundação, foi possível identificar essas áreas com maior ou menor suscetibilidade, por meio da união das variáveis estabelecidas, atingindo, portanto, o objetivo proposto. Dessa forma, pode-se concluir que a área de estudo é predominantemente de média a altíssima suscetibilidade à inundação. Este trabalho serve de base para futuros estudos e planejamentos por parte dos órgãos responsáveis pela fiscalização e pelo monitoramento das bacias em estudo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA (ADESM). **Santa Maria em Dados**. Disponível em:<<http://santamariaemdados.com.br/>>. Acesso 4 dez 2015.
- ALCÂNTARA - AYALA, I. **Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of disasters in developing countries**. *Geomorphology*, n. 47, p. 107-124, 2002.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. 2009. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. 2009. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo, Instituto Geológico, p. 39-52
- AZEVEDO, L. H. A. de. **A Geomática no Contexto da Ciência e Tecnologia**. II Simpósio Brasileiro de Geomática; V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente - SP, 24-27 de julho de 2007.
- BACK, A. J. **Chuva de projeto para drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Campo Grande-MS, Brasil. 27 a 31 de julho, 2014.
- BUZAI, G. D. Geografía y tecnologías digitales del siglo XXI: una aproximación a las nuevas visiones del mundo y sus impactos científico tecnológicos. In: **Scripta Nova**. Vol. VIII, n. 170, 1 de agosto de 2004.
- CÂMARA, G. et al. **Representações Computacionais do Espaço: Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia, Rio Claro*, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.
- CARDOSO, C.A. et al. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ**. *Árvore, Viçosa*, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARDOSO, F. S. **Análise das áreas suscetíveis à inundações e escorregamentos na bacia do Rio Forquilhas, São José – SC**. 2009. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- CARPI JUNIOR, S. **Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogi-Guaçu**. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Rio Claro: IGCE/UNESP, 188p. 2001.
- CASTELLANO, M. S. **Inundações em Campinas (SP) entre 1958 e 2007: tendências socioespaciais e as ações do poder público**. Dissertação (Mestrado em Geografia) UNICAMP, Campinas, São Paulo. 2010
- CASTIGLIONE, L. H. G. **Uma viagem epistemológica ao geoprocessamento**. Dez./2003. 239 folhas. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – UERJ. Rio de Janeiro, 2003.
- CASTRO, A. L. C. (org.). **Política Nacional de Defesa Civil - PNDC**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 94p. 1997

CERRI, L. da S; AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, p. 301-310. 1997.

CORDEIRO, A. Enchente: Soluções Antigas e Modernas. In: REVISTA DYNAMIS. Blumenau: FURB, vol. 1, Universidade Regional de Blumenau, 35p. 1992.

CRISTO, S. S. V. de. **Análise da Ocupação do Solo e o desenvolvimento dos processos de Riscos Geológicos na vila Urlândia, Santa Maria – RS**. Santa Maria: UFSM, Trabalho final de Graduação (Geografia Bacharelado) Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, 76p. 1999.

CRISTO, S. S. V. de. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis – SC**. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Rev. Geomorfol, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. **Municípios Atingidos (Eventos de 2003 a 2010)**. Porto Alegre, 2015. Disponível em: < <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>>. Acesso em: 05 mai 2015

DELGADO, P. R. **Processos de Inundação e Situação de Risco Ambiental**. Sanare – Resita Técnica da Sanepar. v. 13, nº13 jan a jun de 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, p 83, 1979.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS for the desktop**. EUA, 2013. Versão 10.1. (Licença usuário 369462 para trabalhos acadêmicos)

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. 2011. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas**. Divisão de Processamento de Imagens - DPI Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. 2000.

FERNANDES, N. da S; MIOLA, A. C. **Geoprocessamento aplicado no mapeamento de áreas com risco de inundação em Santa Maria-RS**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

FLORENZANO, T.G (Org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FREITAS, A. L. P. et al. **A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso.** Revista GeoPros, UNESP –Bauru/SP, Ed. n° 2, p. 51-61, 2006.

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre - RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana.** Geousp - Espaço e Tempo, São Paulo, n.12, p. 141-177, 2002.

GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (16: 2005: João Pessoa) Porto Alegre: ABRH, anais 2005. CD-ROM. 10p.

GUERRA, A.T. ; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 652p.

GURGEL, H. da C. **A utilização das geotecnologias em estudos epidemiológicos: O exemplo da relação entre a malária e o NDVI em Roraima.** 2003. Belo Horizonte. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 1303 – 1310.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geol. SocAmericaBulletin, v.3, n.56, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 05 jun. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000.**(livro eletrônico): nota técnica explicativa. São Paulo. Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

ITAME, O. Y. **Controle de qualidade aplicado na Modelagem Digital do Terreno.** Dissertação de mestrado em Ciências Cartográficas. Presidente Prudente – SP. UNESP, Faculdade de Ciências Tecnologia. 2001. 106 p.

JACOB, A. C. P. **Você sabe a diferença entre alagamento e inundação?** In.: Aqualuxos. 2014. Disponível em: <<http://aquafluxus.com.br/wp-content/uploads/2014/05/figura31.png>> Acesso: 16 abr 2015.

KOBİYAMA, M.; GOERL, R.F. **Identificação dos riscos.** Emergência, Novo Hamburgo, Ed.25, p.48-52, 2011.

LEAL, A. C. **Planejamento Ambiental de bacia hidrográfica urbanizada: estudo aplicado à bacia do Córrego Areia Branca – Campinas, São Paulo – Brasil.** In: Congresso Nacional Del Água. Anais. Vol. 5, Santa Fé, Argentina, 1998. 613p.

LEITE, M. E., FRANÇA, I. S. **GEOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO: uma relação interdisciplinar.** Revista OKARA: Geografia em debate. João Pessoa-PB, v.3, n.2, p. 223-347, 2009.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da Suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio Salso, Porto Alegre – RS.** Mar. 2010. 174f. Dissertação de Mestrado – UFRGS. Porto Alegre – RS, mar. 2010.

MACEDO, E. S. de; et al. **Modelos de fichas descritivas para áreas de risco a escorregamento, inundação e erosão.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis - UFSC, p. 892-907. (CD-ROM). 2004.

MACHADO, P. J. de O. Características morfométricas da BHCSP. In: MACHADO, P. J. de O. (Org.). **Diagnóstico Físico-Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro.** Ed. Geographica, consultoria, estudos e projetos ambientais ltda., 2010. p. 54-55.

MAGALHÃES, I. A. L. et al. **Uso de Geotecnologias para Mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos.** Revista Cadernos de Geociências. v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011

MARCHIORI, J. N. C.; NOAL FILHO, V. A. **Santa Maria:** relato de impressões de viagem. Santa Maria, RS: Ed. UFSM, 1997.

MARINONI, O. **AHP 1.1 – Decisionsupport tool for ArcGIS.**2009.Disponível em: <<http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=13764>>. Acesso: 22 abr. 2015

MEDEIROS, J; CÂMARA, G. **Geoprocessamento para estudos Ambientais.** In: CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. (org(s), ed(s)) *Introdução à Ciência da Geoinformação.* São José dos Campos, SP - INPE, 2001.

MENEZES, D. J. **Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul – RS.** Dissertação de Mestrado em Geografia. Santa Maria – RS. Universidade Federal de Santa Maria. 2014. 137 p.

MIOLA, A. C. **Planejamento para comunidades rurais em situações de enchentes.** Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola. Santa Maria – RS. Universidade Federal de Santa Maria, 216 p. 2013.

MONTEBELLER, Claudinei A. et al. **Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro.** *Eng. Agríc.* [online]. 2007, v 27, n 2, p 426-435. ISSN 1809-4430. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300011> Acesso 18 nov 2015.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas como Elemento de Integração na Síntese Geográfica e Fator de Promoção Interdisciplinar na Compreensão do Ambiente.** Florianópolis: Revista de Ciências Humanas, vol.14, n.19, p. 67 - 101. 1996.

NEVES, F. **Elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria – RS.** Santa Maria – RS: Secretaria municipal de Habitação e regularização fundiária; Prefeitura Municipal de Santa Maria. 2006.

NOMAN, N. **Watershed Delineation Tools.** Disponível em: <<http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=15148>>. 2007.Acesso em: 22 abr. 2015

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, R. C. K. A. **A problemática das Enchentes e o Planejamento Urbano**. In: Geografia. Notas e Resenhas. São Paulo: Rio Claro, n.24, vol.2, p. 67-73. 1999.

PAIM, G. F; OLIVEIRA, F. F. **Análise multicritério para construção de cenários de risco à desertificação: Qual a relação destes ambientes com a diversidade de abelhas?**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.3135

RAFAELI, L.; MÜLLER, C. J. **Estruturação de um Índice Consolidado de Desempenho Utilizando o AHP**. Produção, v.14, n.2, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/12.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

RAMOS, R.A.R. **Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal**. Braga – Portugal. 299p. Tese (Doutorado), Universidade do Minho. 2000.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005**. Set. 2007. 283p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, set 2007.

RENNÓ, C. D; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: CAMARA, G; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial**. Curso apresentado no Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2003.

RIGUI, E. **Risco à inundação em médio curso do Rio Uruguai: Um estudo de caso nos municípios de Porto Lucena e São Borja**. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFRGS, Porto Alegre RS, 2011.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de Projetos Ambientais**. Santa Maria: UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Imprensa Universitária, 1997. 446p

ROSA, R; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSA, G. G. G, et al. **Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de riscos de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, ES**. In: VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2008, São José dos Campos – SP. Anais, 2008.

ROSA, R. **Análise espacial em Geografia**. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011.

SAATY. T. H. **A scaling method form priorities in hierarquical structures**. Journal of Mathematical Psychology, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997.

SAATY, T; VARGAS, L. G. Example scale for comparisons. 1991. In: ESRI. **Some words on the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the provided ArcGIS extension 'ext_ahp'**. 2009. Disponível: < <http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=13764>>. Acesso em: 22 abr. 2015

SAITO, N. S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do carrego Horizonte, Alegre - Espírito Santo**. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

SANTOS, M. **Por uma geografia nova: da crítica de geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1986.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192 p.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. O; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre – ES: CAUFES, 2010. 184p.

SARTORI, M. da G. B. **A dinâmica climática do Rio Grande do Sul: indução empírica e explicação científica**. Santa Maria: UFSM, 2003

SEMA - Secretária do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul. **O que é uma bacia hidrográfica?**. Publicação em 07 set. 2010. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=54>. Acesso: 22 abr. 2015.

SILVA, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do rio Cuiá**. João Pessoa: PPGEU/CT/UFPB, 2007.

SIMON, A. L; CUNHA, C. M. L. **A ação antrópica sobre sistemas morfohidrográficos: Análise da organização espacial da bacia do Arroio Santa Bárbara- RS (1953-2006)**. In: ORTIGOZA, S. A. G; GERARDI, L. H. O. (Org.). *Temas da Geografia Contemporânea*. Rio Claro: UNESP/IGCE: AGETEO, 2009. P. 131 – 145.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem de dados Espaciais**. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade de Minas Gerais. 2000. Disponível em <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/modelagemdedadosespaciais.pdf>. Acesso 22 abr. 2015.

SOUZA, C. R. G. **Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, P. 231-247. (CD-ROM). 2004

SOUZA, C. R. de G. **Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, Nº 1 p.45-61, 2005.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre/RS: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 22p.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 196p. 2009.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2ª ed. Vol. 4. Abra editora da., 1997.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org). Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre:, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 471 p. 2003.

VAEZA R. F; OLIVEIRA FILHO, P. C; DISPERATI A.A; MAIA A. G. **Uso e ocupação do solo a partir de imagens orbitais de alta resolução para estudo em bacia hidrográfica em área urbana**. In: Anais do XIX Seminário de Pesquisa; Anais da XIV Semana de Iniciação Científica; 2008; Irati. Irati, PR: Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO; 2008.

VALERIANO, M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 1-72, 2004.

VARGAS, R. **Utilizando a programação Multicritério (AnalyticHierarchyProcess – AHP) para selecionar e priorizar projetos na Gestão de Portfólio**. Publicado em 11 de out. 2011. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/ricardo.vargas/ricardo-vargas-ahpprojectselectionpt>> Acesso: 17 abr. 2015.

VEIGA, E. dos S; RIBEIRO, G. de C; DANTES JR, V. P. Hierarquia Fluvial. In: MACHADO, P. J. de O. (Org.). **Diagnóstico Físico-Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro**. Ed. Geographica, consultoria, estudos e projetos ambientais ltda., 2010. p. 60-64

VETORAZZI, C. A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos**. 2006. 151p. Tese (Livre docência). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.

ANEXOS

Anexo A – Análises dos registros históricos de chuvas do município de Santa Maria, RS

Para uma maior veracidade dos fatos, partindo da metodologia usada por Fernandes e Miola (2013), pesquisou-se, junto ao acervo jornalístico do Arquivo Público Municipal de Santa Maria, reportagens que registrassem os prejuízos decorrentes das maiores chuvas nos últimos anos (1980 a 2010) (Figura 1 a 11). A seleção das reportagens baseou-se nas datas de ocorrências das maiores chuvas diárias, as quais foram registradas no pluviômetro da estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no período inventariado, a partir da série histórica de dados pluviométricos, disponibilizada no Banco de Dados Meteorológicos para Pesquisas (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 1 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (04 mar. 1980)



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 2 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (21 jan. 1981), com 91,3mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 3- Montagem de fotos de registros jornalísticos (22 out. 1982), com 145 mm



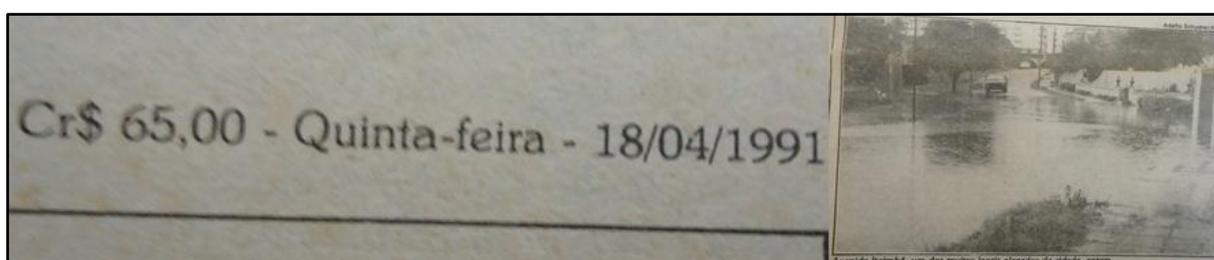
Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 4 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (08 maio 1984), com 153,4 mm



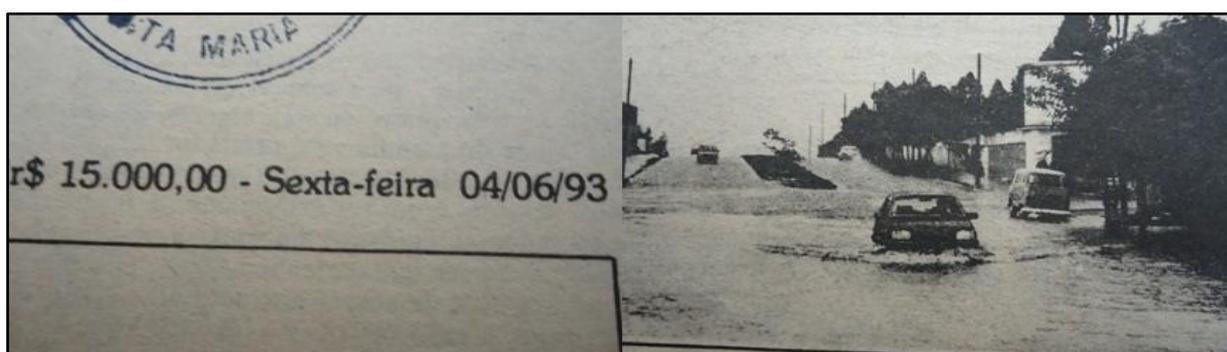
Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 5 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (18 abr. 1991), com 99,2 mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 6 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (04 jun. 1993), com 110,8mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 7 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (25 maio 1994), com 136,6mm



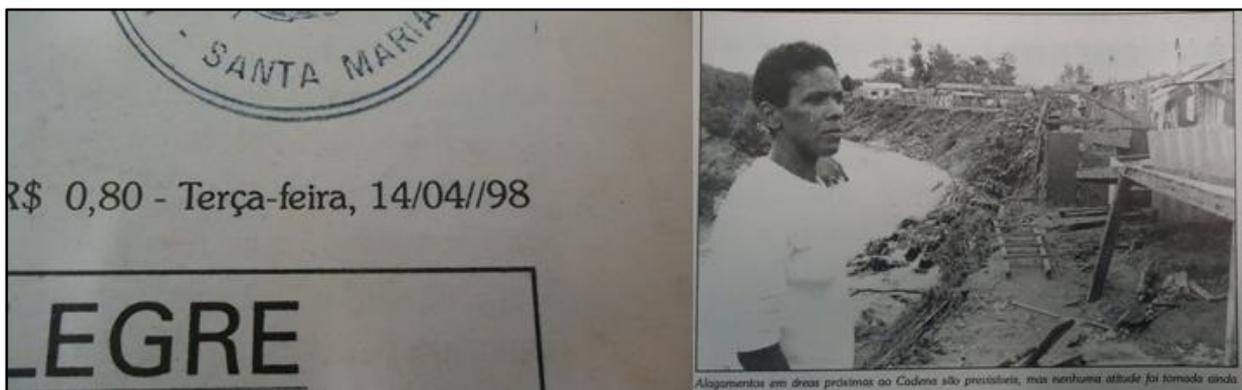
Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 8 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (06 out. 1997), com 91,3mm



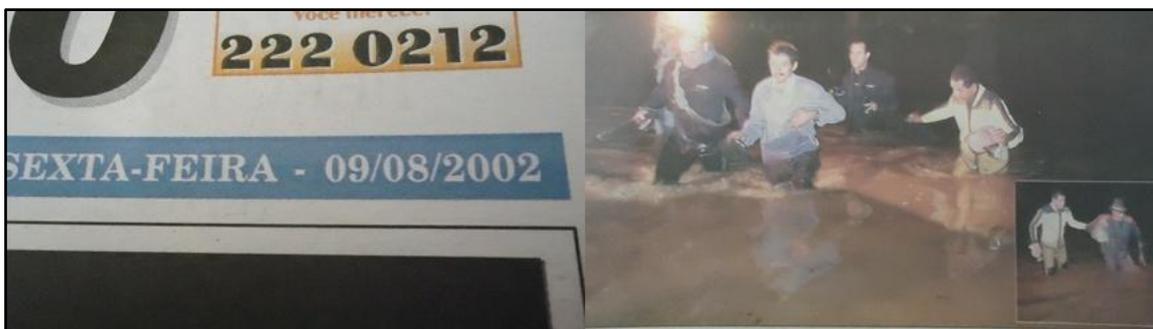
Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 9 - Montagem de fotos de registros jornalísticos (14 abr. 1998), com 136,3mm



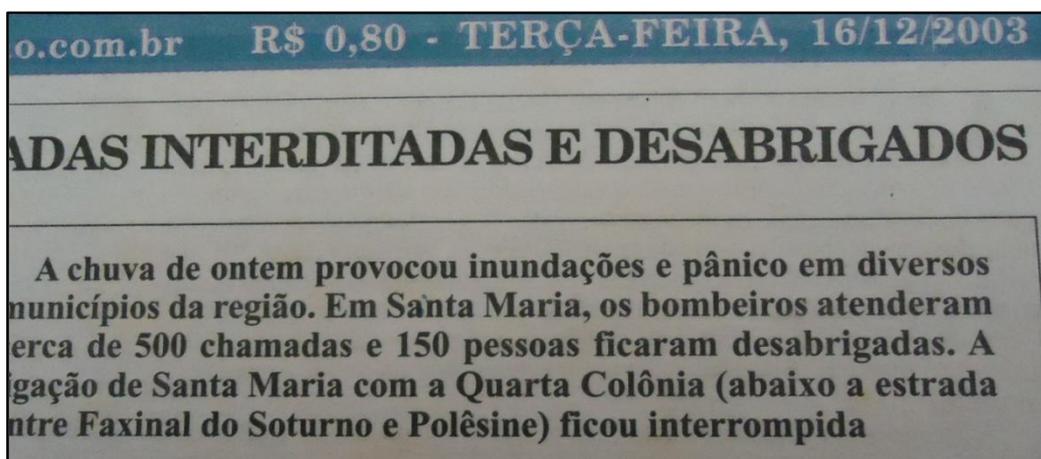
Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 10 - Montagem de fotos de registros jornalísticos(09 ago. 2002), com 100,6mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 11 - Registros jornalísticos (16 dez. 2003), com 109 mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)

Figura 12 – Registros jornalísticos (05 jan. 2010), com 61 mm



Fonte: Jornal A Razão/Arquivo Público Municipal (2013)