



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL - REI

CURSO DE GEOGRAFIA

THIAGO GONÇALVES SANTOS

**MODELAGEM COMO APOIO AO PLANEJAMENTO URBANO-
AMBIENTAL E A REDUÇÃO DE RISCOS NA BACIA DO
CÓRREGO DO LENHEIRO**

SÃO JOÃO DEL – REI

JUNHO/2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL – REI

CURSO DE GEOGRAFIA

THIAGO GONÇALVES SANTOS

**MODELAGEM COMO APOIO AO PLANEJAMENTO URBANO-
AMBIENTAL E A REDUÇÃO DE RISCOS NA BACIA DO
CÓRREGO DO LENHEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenadoria do Curso
de Geografia da Universidade Federal de
São João del – Rei, como requisito
parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Orientadora: Professora Doutora Sílvia
Elena Ventorini

SÃO JOÃO DEL – REI

JUNHO/2017

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S273m Santos, Thiago Gonçalves.
Modelagem como apoio ao planejamento urbano
ambiental e a redução de riscos na bacia do córrego do
lenheiro / Thiago Gonçalves Santos ; orientadora
Sílvia Elena Ventorini. -- São João del-Rei, 2017.
121 p.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Geografia) --
Universidade Federal de São João del-Rei, 2017.

1. Desastres humanos de natureza. 2. Análise
multicritério. 3. Planejamento urbano-ambiental. 4.
Mapeamento digital. 5. Áreas de risco . I.
Ventorini, Sílvia Elena, orient. II. Título.

Dedicatória

A minha vó, mãe e pai por todos os esforços feitos até a consagração deste momento.

Superar limites: o fenômeno da natureza atlética.

Frase que ecoa nas arquibancadas do Mineirão e me motiva a superar as etapas da minha vida com determinação, raça, empenho e muita dedicação.

Thiago Gonçalves Santos

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos especiais às pessoas mais importantes da minha vida: Babá, Mãe, Pai e a Thaysa, por serem meus exemplos na vida e pelas quais tenho muito carinho e admiração. A luta diária de vocês inspira e alimenta meus sonhos de um dia poder retribuir tudo aquilo que vocês me proporcionaram. Aos demais familiares meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a Tayná por todo amor, companheirismo e paciência durante os anos de convivência. Agradeço ainda aos demais membros das famílias Marcenes e Nogueira, vocês marcaram minha vida e guardarei para sempre com carinho todos os momentos vividos.

A minha tão amada República Casa da Praia: Franga, Samuel, Deyvid, Gnomo, Larissa, Vermelho, Alisson, Gabi, Jéssica, Cid, Guilherme, Gliubert e Leixa agradeço à convivência, às experiências, os *happy hours* e às noites de xadrez. O “papai” ama vocês!

Aos “Caneladas” Álvaro, Cleiton, Diguinho, Fil, Matheus, Pablo, Patrick e Ruan. Vocês fazem parte desta conquista, que nossa amizade perpetue por vários anos. Vocês são muito importantes na minha vida.

Aos irmãos que a Geografia me deu, Gnomo, Pedrinho, Juliano, Willian e Alan, meu muito obrigado pelo tempo em que convivemos. A minha querida amiga Dona Maria Ângela a qual admiro muito e aos demais colegas de 2013/1. Jamais esquecerei vocês.

Agradeço aos colegas de Laboratório: Patrícia, Pyra, Willian, Perereka, Vinicius, Juliano, Nayane, Sabrina, Gisa, Carol, Lucas, Thiaguinho e Anderson. Meu muito obrigado pela convivência e pelas guloseimas que subsidiaram o desenvolvimento dos meus projetos ao longo destes quatro anos.

Meus sinceros agradecimentos a Profa. Dra. Silvia Elena Ventorini, pelo trabalho brilhante e toda dedicação durante estes quatro anos de convivência, trabalho e diversão. Você é uma excelente profissional a qual me espelho muito.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Silvia Elena Ventorini, Prof. Dr. André Batista Negreiro e Prof. Dr. Thiago Araújo Santos que cederam parte de seu tempo para contribuir com meu trabalho.

Aos Professores Doutores do Departamento de Geociências (DEGEO): Leonardo Cristan Rocha, Múcio do Amaral Figueiredo, Ligia Maria Brochado de Aguiar, Tatiane Marina Pinto de Godoy, Marcio Roberto Toledo, Gabriel Pereira, Björn Gücker, Iola Boechat, Ivair Gomes, Marcos Santos de Oliveira e Marília Carvalho Caetano Oliveira, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da graduação e aos funcionários do DEGEO.

À Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), ao DEGEO e ao Laboratório de Cartografia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto - Labcar pelo espaço físico, equipamentos e softwares necessários ao desenvolvimento das pesquisas que subsidiaram o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Pró-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários (PROEX) da UFSJ pelo apoio financeiro por meio de duas bolsas de Iniciação Científica e duas bolsas de Extensão, respectivamente.

E a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista: Meus agradecimentos.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) reúne resultados e análises de pesquisa desenvolvida entre o período de março de 2014 a fevereiro de 2017, com ênfase ao mapeamento e geração de Modelos de Sínteses de Situação da Bacia do Córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del – Rei. O objetivo principal é apresentar a base de dados cartográfico digital e a aplicação da metodologia de modelagem para gerar Modelos de sínteses na Bacia do Córrego do Lenheiro. A fundamentação teórico-metodológica tem como base a Teoria Geral dos Sistemas aplicado à Geografia. A investigação teve como procedimentos metodológicos: a) Pesquisa e aquisição de material cartográfico de base; b) Elaboração da Base digital de dados cartográficos; c) Elaboração dos Modelos pela Análise Multicritério; d) Trabalhos de campo e aquisição de dados primários e secundários para a validação da base e dos modelos. A base digital de dados cartográfico é composta por mapas temáticos representando áreas de preservação permanente (APP), declividade, pedologia, hipsometria, perfil topográfico, perfil longitudinal dos Córregos do Lenheiro e Rio Acima, hidrografia, uso da terra, expansão urbana para três anos (1984, 2005 e 2015) e a hierarquia da bacia (classificação de Strahler). Por meio do uso da Análise Multicritério e Análise Hierárquica de Pesos geraram-se quatro modelos representando as áreas: suscetíveis às inundações; propícias aos deslizamentos de terra; propícias à expansão urbana e de interesse ambiental. A validação dos mapas temáticos por meio de dados primários coletados em campo e dados secundários coletados junto a órgãos como a Defesa Civil possibilitou atribuir confiabilidade nas informações mapeadas para a geração dos modelos de sínteses por meio da Análise Multicritério. Os resultados indicam que os Modelos de sínteses representando áreas com potencialidades à ocorrência de inundações, enchentes e deslizamentos podem auxiliar no planejamento e gestão de riscos e os Modelos de áreas propícias à expansão urbana e de interesse ambiental podem contribuir nos planejamentos urbano e ambiental mediante aos estudos geotécnicos. Em campo foram verificados lançamentos de esgoto *in natura* direto das casas para o córrego principal, ausência de mata ciliar, impermeabilização dos solo entre outros. As conclusões mostram que os Modelos obtidos pelo uso da Análise Multicritério juntamente com a AHP não representam de maneira fiel a realidade dos fenômenos modelados não podendo ser tomados como verdade absoluta, porém, são produtos importantes para o apoio à gestão e planejamento urbano. Conclui-se, ainda, que, uma base digital de dados cartográficos somada à modelagem pode apoiar os gestores na tomada de medidas que possibilita um planejamento urbano mais eficaz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Córrego do Lenheiro antes da Canalização.....	24
Figura 2: Córrego do Lenheiro retificado.....	24
Figura 3: Mapeamento de área suscetível à enchente e inundação (a) Mapeamento de área suscetível à enchente e inundação elaborado pela CPRM (b).	48
Figura 4: Sobreposição das camadas matriciais com mesmo valor de <i>pixel</i>	57
Figura 5: Elaboração da base digital de dados cartográfica.	62
Figura 6: Fluxograma dos Modelos elaborados pela Análise Multicritério	65
Figura 7: Ocupação na área de várzea do Córrego do Lenheiro	75
Figura 8: Bairro Tijuco - saturação urbana nas cotas altimétricas com menor valor e expansão urbana em direção as cotas altimétricas mais elevadas	75
Figura 9: Classes mapeadas segundo o mapa de uso da terra.	78
Figura 10: Processos erosivos na Bacia do Córrego do Lenheiro - Vista para os prédios do programa "Minha casa, minha vida"	86
Figura 11: Lançamento de esgoto <i>in natura</i> no Córrego do Lenheiro	97
Figura 12: Divisor socioeconômico na Bacia do Córrego do Lenheiro	101
Figura 13: Ilustração da questão 11 do questionário (Vide anexo I).....	102

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Desenvolvimento do núcleo urbano de São João del - Rei do Início do século XVII até início do século XX.....	23
Mapa 2: Localização da Bacia do Córrego do Lenheiro	25
Mapa 3: Bacia do Córrego do Lenheiro com confluência ao Córrego do Rio Acima ...	27
Mapa 4: Mapa hipsométrico da Bacia do Córrego do Lenheiro.....	74
Mapa 5: Perfil topográfico da Bacia do Córrego do Lenheiro - Cenários urbanos de 1984, 2005 e 2015	76
Mapa 6: Classificação de Strahler e Perfis Longitudinais da Bacia do Córrego do Lenheiro.....	79
Mapa 7: Mapa de declividade da Bacia do Córrego do Lenheiro	80
Mapa 8: Mapa de uso da terra da Bacia do Córrego do Lenheiro (a) e buffer de 130 metros (b).....	81
Mapa 9: Mapa pedológico da Bacia do Córrego do Lenheiro.....	83
Mapa 10: Mapa das áreas de riscos segundo a Defesa Civil.....	85
Mapa 11: Mapa da expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro.....	87
Mapa 12: Modelo síntese às inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro.....	89
Mapa 13: Mapa síntese as inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro - Pontos A e B	90
Mapa 14: Modelo síntese aos deslizamentos de terra na Bacia do Córrego do Lenheiro	92
Mapa 15: Modelo síntese as áreas propícias à expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro.....	94
Mapa 16: Modelo síntese de interesse ambiental na Bacia do Córrego do Lenheiro.....	95

LISTA DE QUADROS

Quadro I: Classificação dos Desastres conforme a Intensidade	33
Quadro II: Classificação quanto à Origem e Tipologia	35
Quadro III: Análise Hierárquica de Peso (AHP)	56
Quadro IV: Classificação dos Graus de Riscos a Inundação.....	66
Quadro V: Classificação dos Graus de Riscos a Deslizamentos de Terra.....	67
Quadro VI: Aspectos naturais e artificiais observados em campo	71
Quadro VII: Ocorrências De Desastres Registradas Na Bacia Do Córrego Do Lenheiro	98
Quadro VIII: Respostas obtidas pelo questionário: Os problemas vivenciados pelos moradores	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atribuição de Pesos para o Modelo Síntese de áreas propícias às enchentes e inundações	68
Tabela 2: Atribuição de pesos para o Modelo de Síntese de áreas propícias aos deslizamentos de terra	69
Tabela 3: Atribuição de Pesos e Influências ao Modelo de Interesse Ambiental.....	69
Tabela 4:Atribuição de Pesos e Influências ao Modelo de Áreas Propícias a Ocupação Urbana	70

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	22
Cap. I. DESASTRES: definições e variáveis que os compõe	31
1.1. Léxicos: desastres, perigo, risco e vulnerabilidade	31
1.2. A ocorrência de Desastres em outros países e no Brasil	38
Cap. II. MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO.....	44
2.1. Ações para Mapeamento de áreas suscetíveis a Desastres Humanos de Natureza	44
2.2. A Análise Multicritério como apoio ao Planejamento Urbano	51
CAP. III. MATERIAIS E MÉTODOS	59
3.1 Fundamentação Teórica.....	59
3.2. Procedimentos metodológicos.....	60
3.2.1. Elaboração da Base digital de dados cartográficos	61
3.2.2. Elaboração dos Modelos pela Análise Multicritério	65
3.2.3. Validação: aquisição de dados primários e secundários.	71
Cap. IV. RESULTADOS E ANÁLISES.....	73
4.1. Mapeamento da Bacia do Córrego do Lenheiro.....	73
4.2. Análise multicritério: Modelagem da Bacia do Córrego do Lenheiro	88
4.3. Análises gerais da Bacia do Córrego do Lenheiro	96
V. CONCLUSÕES	104
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXO I: Questionário	121

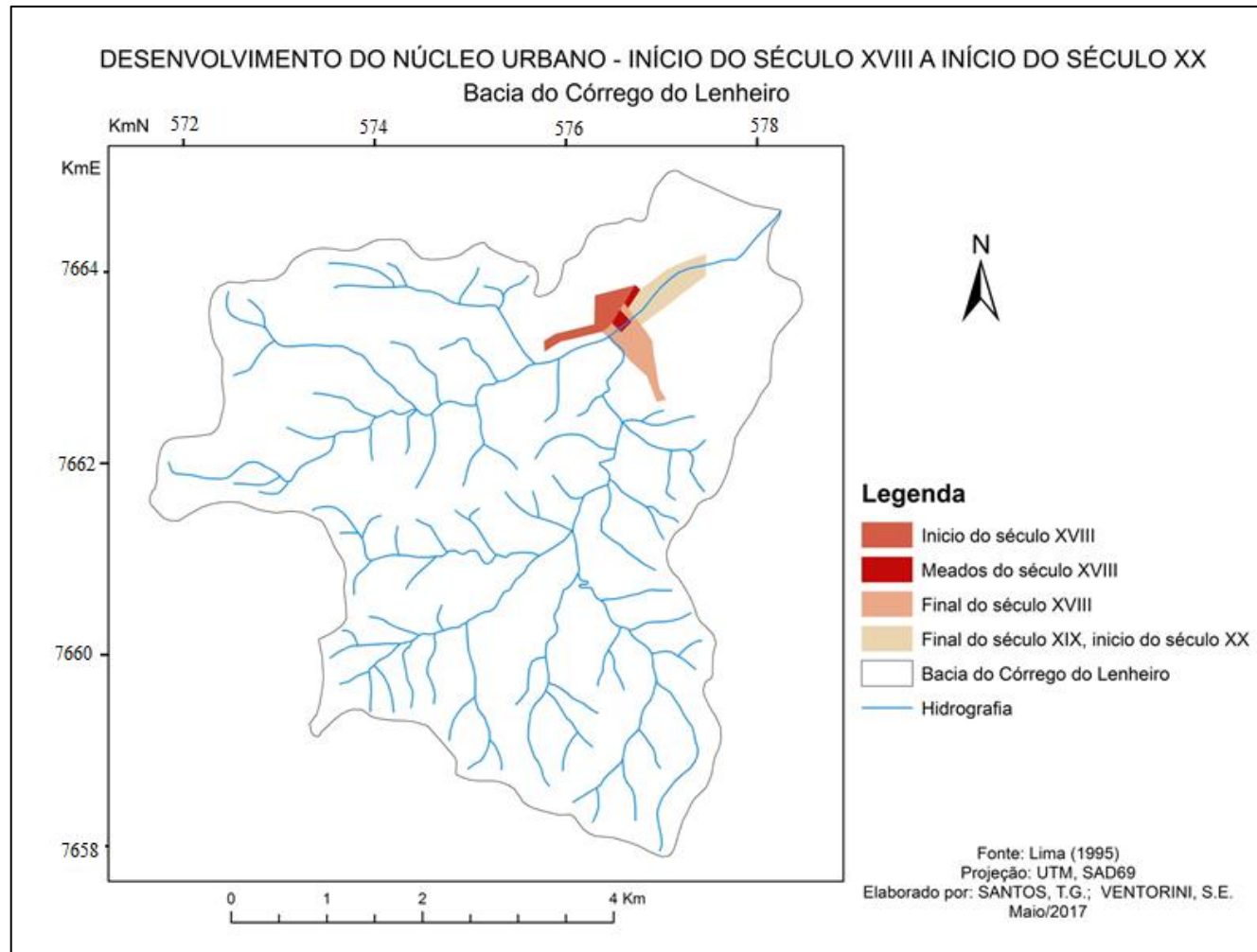
INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) reúne resultados e análises de pesquisa desenvolvida entre o período de março de 2014 a fevereiro de 2017, com ênfase no mapeamento e geração de Modelos de Sínteses da Bacia do Córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del-Rei. O município está localizado na mesorregião dos Campos das Vertentes, na porção centro - sul do estado de Minas Gerais entre as coordenadas geográficas 21°0'S a 21°30'S e 44°35'W a 44°0'W. Sua área é de 1.452,002 km² e o número de habitantes, segundo o Censo do ano de 2010, é de 84.469 pessoas.

A história de formação do município inicia-se com a descoberta de ouro no ano de 1701. Pouco tempo depois foi encontrado ouro na encosta sul da Serra do Lenheiro, num local denominado Tijuco, cuja fixação das residências das pessoas resultou no primeiro núcleo de povoamento denominado Arraial Novo de Nossa Senhora do Pilar, que no ano de 1704 passou a ser denominado de Arraial Novo do Rio das Mortes. No ano de 1713 a localidade é elevada à vila e recebe o nome de São João del-Rei em homenagem a Dom João V, rei de Portugal (MALDOS,2000). O mapa 1 ilustra o arranjo e a expansão do núcleo urbano de São João del-Rei ao longo do século XVIII, final do século XIX e início do século XX. A análise do mapa 1 mostra a ocupação ao longo do Córrego do Lenheiro e seus Afluentes.

Desde a formação do primeiro núcleo urbano, ações antrópicas impactam áreas da Bacia do Córrego do Lenheiro e poluem os recursos hídricos com o lançamento de esgoto. A população da época utilizava as águas do Córrego do Lenheiro para a higiene pessoal, lavagem de utensílios e os descartes dos dejetos tanto nas ruas como nas águas do Córrego do Lenheiro (SACRAMENTO, sd.).

O processo de degradação do Córrego do Lenheiro se intensifica com a expansão urbana e os costumes da época. Influenciadas por tradições da elite do Rio de Janeiro, as pessoas adotam práticas cotidianas de lançar no Córrego os barris de dejetos (SACRAMENTO, sd.).



Mapa 1: Desenvolvimento do núcleo urbano de São João del - Rei do Início do século XVII até início do século XX

A ampliação da poluição do Córrego e seu entorno resultam em mau cheiro, proliferação de insetos, roedores e epidemias de varíola, febre amarela, cólera, entre outros. Tais fatos resultaram em medidas que amenizassem os referidos problemas, bem como atribuísse a área uma estética urbana agradável (SACRAMENTO, sd.). Assim, um trecho do Córrego do Lenheiro foi canalizado e suas margens foram aterradas, aplainadas e gramadas. As figuras 1 e 2 ilustram a área do Córrego Lenheiro antes e depois da canalização.



Figura 1: Córrego do Lenheiro antes da Canalização

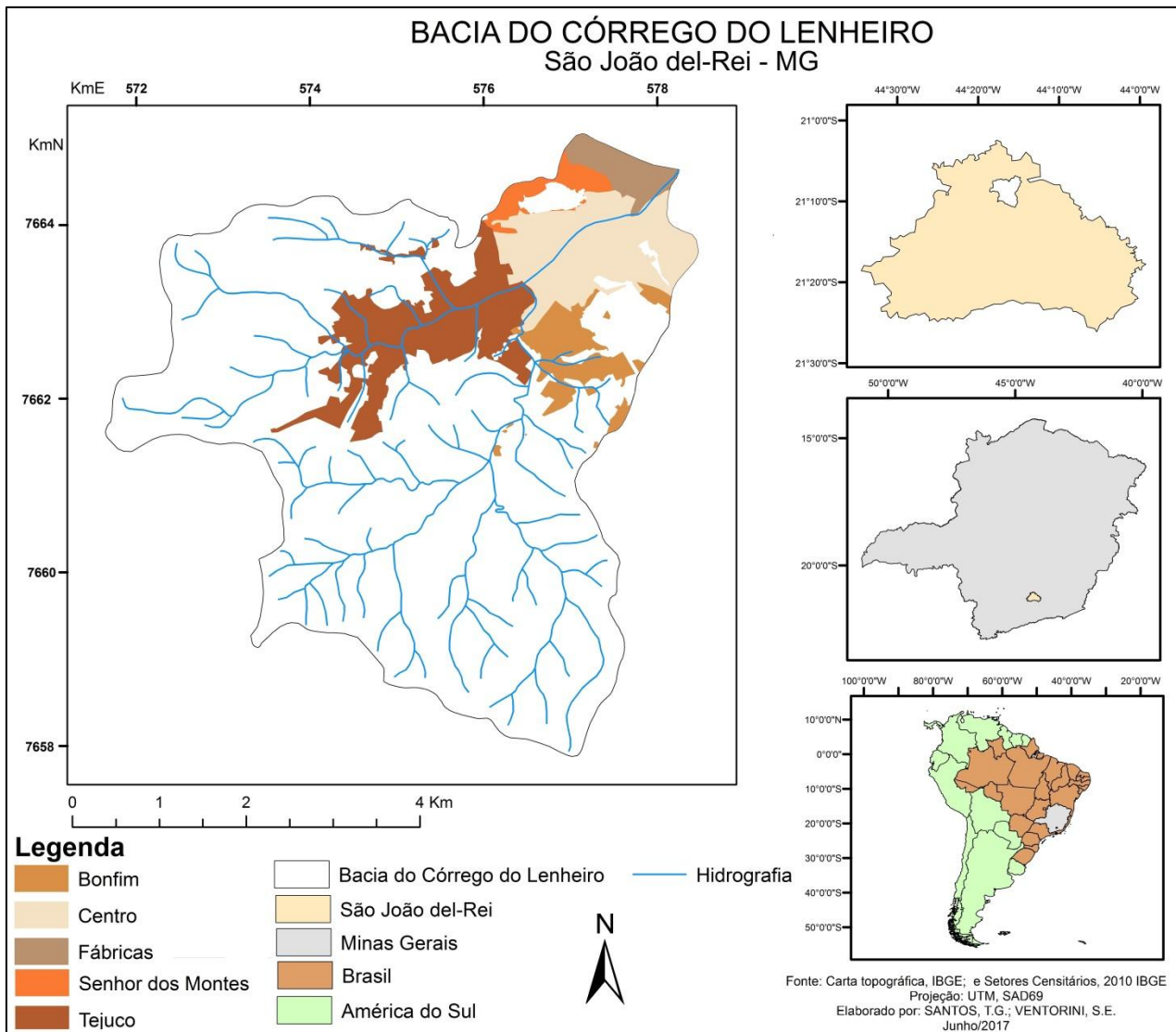
Fonte: A esquerda Acervo de Silvério Parada e a direita Acervo João Ramalho Neto. Disponível em http://www.patriamineira.com.br/imprimir_noticia.php?id_noticia=1762



Figura 2: Córrego do Lenheiro retificado

Fonte: Acervo do autor

A Bacia do Córrego do Lenheiro está localizada na porção sul do município de São João del – Rei (mapa 2), onde estão inserido os bairros Fábricas (Setor 2); Segredo, Centro, Vila Marchetti, São Judas Tadeu, Colinas Del Rey, Guarda-mor, Bonfim, Vila Belizário (Setor 3); Araçá, Dom Bosco, Bela Vista (Setor 4) e Tijuco, Alto das Mercês, Residencial Lenheiro, Barro Preto, São José Operário, Aguas Férreas, Vila Jd. São José (Setor 5).



Mapa 2: Localização da Bacia do Córrego do Lenheiro

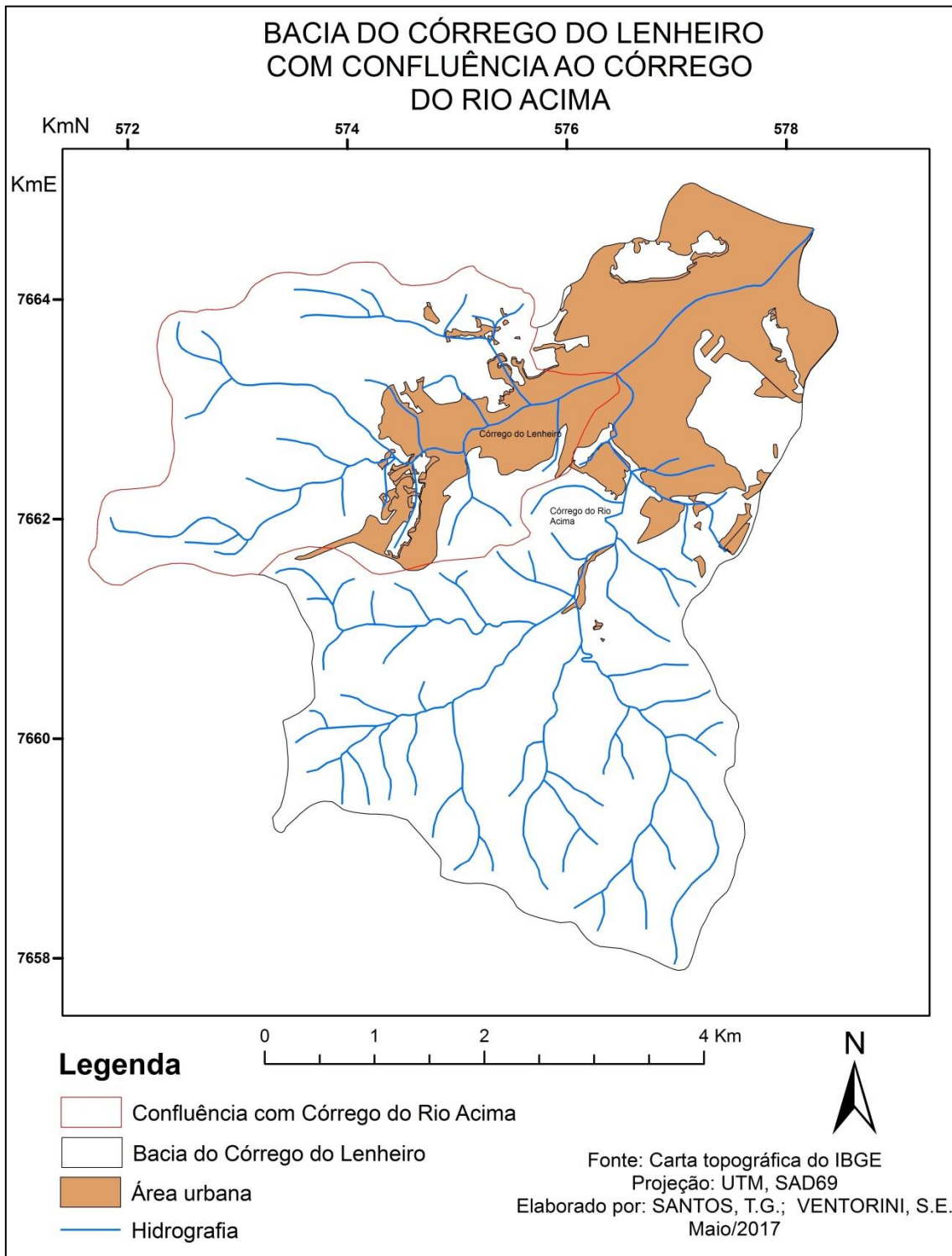
O interesse pelo mapeamento da Bacia do Córrego do Lenheiro surgiu inicialmente quando eu cursava os dois primeiros semestres da Graduação em Bacharel em Geografia (ano de 2013), durante as disciplinas básicas denominadas Cartografia e Cartografia Temática. Na primeira disciplina conheci métodos e técnicas da Cartografia Sistemática e na segunda as possibilidades de elaborar e analisar mapas temáticos a partir do Sistema de Informação Geográfica (SIG) *Arcgis*, 10,1.

Tais disciplinas despertaram em mim o interesse pelo mapeamento digital e pelas inúmeras possibilidades de representação e análise do espaço geográfico que a ciência Cartográfica possibilita aos pesquisadores. Além disso, no ano de 2013 presenciei e vivenciei – como morador do bairro Fábricas, inserido na Bacia do Córrego do Lenheiro – a magnitude dos prejuízos econômicos e sociais da população e da Prefeitura Municipal de São João del – Rei causados por enchentes e inundações em pontos específicos da área urbana inserida na Bacia.

Motivado pelo desejo de mapear a causa das situações observadas na área da Bacia, iniciei o primeiro contato com o mapeamento no ano de 2014 por meio do **Programa de Mapeamento de São João del-Rei –MG¹**, cujo objetivo principal foi mapear bacias hidrográficas inseridas no município de São João del-Rei. Inicialmente, para adquirir os conhecimentos básicos de operação do software *Arcgis* 10.1 e de análise integrada de dados cartográficos, elaborei e analisei uma base digital de dados cartográficos da Bacia do Córrego do Lenheiro com confluência com o Rio Acima (Mapa 3).

Os resultados dessa experiência mostraram que a área de confluência do Córrego do Lenheiro com o Rio Acima era um dos locais propícios às enchentes, que o processo histórico e a proximidade com o centro após a ocupação das áreas próximas ao Córrego do Lenheiro impulsionaram o crescimento ao entorno de seus afluentes - surgiram novos bairros ou ampliaram-se os já existentes. Esses resultados indicaram, ainda, que o crescimento ocorreu em áreas propícias aos deslizamentos de vertentes, áreas que por lei devem ser preservadas (margens de rios e áreas próximas às nascentes) e locais sem infraestrutura para coleta de esgoto, águas pluviais e fluviais, dentre outros.

¹ O Programa foi desenvolvido e coordenado pela Profa. Dra. Silvia Elena Ventrini por dois anos. O apoio financeiro por meio de três bolsas de extensão foi concedido pela Pró-reitora de Extensão e Assuntos Comunitários da UFSJ.



Mapa 3: Bacia do Córrego do Lenheiro com confluência ao Córrego do Rio Acima

Tais análises instigaram-me a aprofundar a investigação por meio do mapeamento de toda a área da Bacia do Córrego do Lenheiro (Mapa 2). No ano de 2015, ainda como bolsista do Programa de Mapeamento de São João del-Rei, aprofundei meus conhecimentos sobre as possibilidades do SIG *ArcGis* e sobre a área de estudo. Nessa pesquisa gerei uma base digital de dados cartográficos a partir de mapas temáticos analógicos (formato.tiff) em multiescalas (diferentes escalas), imagens de satélites e fotografias aéreas com resoluções espaciais distintas (multiresoluções espaciais). Os resultados foram mapas temáticos representando áreas de preservação permanente (APP), declividade, pedologia, hipsometria, perfil topográfico, perfil longitudinal dos Córregos do Lenheiro e Rio Acima, hidrografia, uso da terra, expansão urbana para três anos (1984, 2005 e 2015) e a hierarquia da bacia (classificação de Strahler).

No ano de 2016, por meio do Projeto de Iniciação Científica² denominado **Cartografia Digital e análise Geoambiental: estudo de caso na bacia do Córrego do Lenheiro - São João del – Rei– MG**, aprofundei a investigação por meio de procedimentos e técnicas de modelagem por meio da Análise Multicritério. No desenvolvimento dessa pesquisa, a hipótese apresentada foi que a partir de uma investigação sistemática e criteriosa era possível gerar Modelos de sínteses da Bacia do Córrego do Lenheiro utilizando a Análise Multicritério e uma base digital de dados cartográficas, elaboradas a partir de mapas bases e imagens de fotografias aéreas com escalas e resoluções espaciais distintas (multiescalas e multiresoluções) respectivamente.

Nessa pesquisa foram elaborados os seguintes Modelos: das áreas propícias às enchentes e inundações, das áreas propícias a deslizamentos de terra, das áreas de interesse ambiental e das áreas propícias à expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro. Para validar os Modelos foram coletados dados secundários junto à Defesa Civil do Município de São João del-Rei, e dados primários por meio de entrevistas com os moradores e trabalhos de campo.

² Este projeto também foi coordenado e orientado pela Profa Dra Silvia Elena Ventrini e recebeu o apoio financeiro por meio de uma bolsa de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

As investigações citadas são o fio condutor deste TCC cujo objetivo principal é apresentar a base de dados cartográfico digital e a aplicação da metodologia de modelagem para gerar Modelos de sínteses na Bacia do Córrego do Lenheiro. Os objetivos específicos consistem em apresentar:

- o estado da arte do termo Desastre;
- os resultados de fatores ambientais e impactos socioespacial que contribuem para a ocorrência de Desastres Humanos de Natureza;
- a caracterização da Bacia do Córrego do Lenheiro pela elaboração da base digital de dados cartográficos.

A pesquisa teve como justificativa para seu desenvolvimento a ausência de base digital de dados cartográficos no município de São João del – Rei, as determinações da Legislação Brasileira que prevê a adoção de bacias hidrográficas como unidade de estudo e o mapeamento das áreas de risco aos Desastres Naturais/Desastres Humanos de Natureza.

A fundamentação teórico-metodológica tem como base a Teoria Geral dos Sistemas Aplicadas à Geografia que discute a modelagem de sistemas ambientais onde o método da Análise Multicritério – por meio de álgebra de mapas – torna-se uma importante aplicação de tal teoria nas ciências geográficas. Os dados foram coletados por meio da construção da base digital de dados cartográficos; análises dos dados primários e secundários, além de trabalhos de campo para a validação dos resultados obtidos.

Este TCC está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo são apresentadas as discussões conceituais referentes aos termos desastres, perigo, risco e vulnerabilidade, com base nas definições de Castro (1998,1999), Castro (2000), Marcelino (2008), Tominaga (2009) e Kobiyama et al. (2009). Ao longo do capítulo são exemplificados os principais Desastres ocorridos em escala global como, por exemplo, o recente Furacão *Matthew* no Haiti, e no Brasil, cujos efeitos ocasionam prejuízos às populações atingidas, o caso das enchentes e inundações.

No segundo capítulo, apresentam-se a importância do mapeamento e da elaboração de uma base digital de dados cartográficos que auxiliem aos órgãos públicos

o planejamento e a gestão em bacias hidrográficas. É discorrido, em seguida, sobre o método da Análise Multicritério e a tomada de decisão na manipulação de dados matriciais por meio de variáveis hierarquizadas e comparadas par a par. Tal método é baseado nas análises e discussões de autores como Moura (2007), Almeida (2007), Grassi, et. al (2013), Santos e Ventorini (2016) e Araújo (2016).

No terceiro capítulo discorre-se sobre os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento desta monografia. Ao longo do mesmo é abordada a Teoria Geral dos Sistemas proposta (TGS) por Ludwig Von Bertalanffy em 1937e sua aplicação à Geografia, conforme abordado por Christofolletti (1979, 1990). Por fim, no quarto capítulo são apresentados os resultados referentes ao mapeamento da Bacia do Córrego do Lenheiro, os Modelos de Sínteses obtidos por meio da Análise Multicritério e dos dados obtidos através de questionários respondidos por moradores que vivem na área de estudo.

Na conclusão ratifica-se que uma base digital de dados cartográficos somada à modelagem podem apoiar os gestores na tomada de medidas que possibilitam um planejamento urbano eficaz.

Cap. I. DESASTRES: definições e variáveis que os compõe

1.1. Léxicos: desastres, perigo, risco e vulnerabilidade

A história da evolução humana é marcada não somente pela relação harmônica e de dependência com a natureza, mas também pela relação de conflito, principalmente em virtude de fenômenos naturais com potencialidade para ocasionarem Desastres que resultam em prejuízos econômicos, sociais e óbitos. A recorrência dos Desastres ao longo dos séculos e o desenvolvimento técnico-científico alavancaram as discussões e as investigações sobre suas causas e efeitos.

A literatura científica indica que a pesquisa pioneira relacionada à temática Desastre foi desenvolvida por Gilbert F. White em sua Tese intitulada *Human Adjustment To Floods: A Geographical Approach To The Flood Problem In The United States*, defendida no ano de 1943. O objetivo da Tese foi apresentar a investigação sobre as causas, efeitos e fatores agravantes dos Desastres referentes às inundações nos Estados Unidos (WHITE, 1943; MARANDOLA JR; HOGAN, 2004). Desde então, diversos conceitos e abordagens são empregados para a definição do termo Desastre conforme a área de atuação do pesquisador.

A centralidade do termo Desastre mostra uma abrangência para diversas áreas do conhecimento, como a sociologia, psicologia e saúde no que se refere a novas maneiras de abordagens e perspectivas que possam subsidiar a discussão sobre a referida temática (QUARANTELLI, 1998 apud FAVERO; SARREIRA; TRINDADE, 2014). Segundo os autores:

A importância de discutir o conceito de desastre não decorre da necessidade de se defender uma definição hegemônica para o termo, visto que seria quase impossível expressar em um conceito as diferentes características encontradas nos mais variados processos de desastre” (FAVERO; SARREIRA; TRINDADE, 2014 p. 202).

Na Sociologia o termo Desastre é definido como fenômenos sociais que podem ser observados no espaço e no tempo e que ocasionam perdas econômicas, danos físicos e ruptura no cotidiano. Além disso, os Desastres são considerados como processos que

evidenciam a capacidade da sociedade de tomar medidas para transformar a realidade social. Cientificamente é necessário classificar e delimitar as fronteiras atingidas por Desastres, mas o importante na ciência Social é a compreensão de um determinado Desastre nos contextos sociais, políticos e econômicos. A compressão dessas variáveis possibilita analisar e mensurar a dimensão das consequências desses processos no cotidiano das pessoas. (FAVERO; SARREIRA; TRINDADE, 2014).

Na área da Saúde o termo Desastre abrange os conceitos que formam a definição do termo na Sociologia, ou seja, consideram o tempo e o espaço, as perdas econômicas, danos físicos e as alterações no cotidiano. No entanto, o foco é a saúde física e mental do indivíduo não só nos períodos logo após a ocorrência do Desastre, mas a médio e longo prazo. Assim, o termo contempla aspectos sociais e econômicos da Saúde Coletiva de um local, região e/ou país (FREITAS, et al, 2014).

Na área da Psicologia Social considera-se que os Desastres não ocorrem em um vazio social, pois esses contemplam as estruturas sociais existentes em um determinado lugar que teve destruição física, econômica, social e psicológica. Portanto, na área da Psicologia Social consideram-se as alterações no comportamento das pessoas vinculadas ao cotidiano antes, no momento imediato e a médio e longo prazo após o Desastre. Por exemplo, as alterações comportamentais das pessoas após um espaço de tempo curto, médio e longo após a ocorrência de Desastres ocasionados por desmoronamentos, explosões, terremotos etc.. A investigação desses comportamentos contribui para as medidas mitigadoras para a melhora da saúde mental coletiva da população atingida (ALBUQUERQUE, 2008) ³.

No contexto deste TCC considera-se importante apresentar a discussão mais ampla sobre o termo Desastre a partir da abordagem técnica direcionada aos órgãos municipais como a Defesa Civil e áreas do conhecimento como a Geografia. Nesse

3 Para mais informações sobre o termo Desastre nas áreas da Saúde Social, Psicologia e Sociologia sugerem-se as leituras das publicações:

FAVERO, E.; SARREIRA, J. C.; TRINDADE, M. C. O desastre na perspectiva sociológica e psicológica. *Psicologia em Estudo*, [s.l.], v. 19, n. 2, p.201-209, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-737221560003>.

FREITAS, C. M.; et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, [s.l.], v. 19, n. 9, p.3645-3656, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>.

ALBUQUERQUE, F. J. B. A psicologia social dos desastres: existe um lugar para ela no Brasil?. In ZANELLA, AV., et al., org. *Psicologia e práticas sociais* [online]. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008. pp. 221-228.

contexto os Desastres são definidos como acontecimentos naturais e/ou provocados/potencializados pelo homem em um sistema cujas consequências resultam em danos humanos, materiais e/ou ambientais, além de prejuízos econômicos e sociais. De modo geral, os Desastres se diferem principalmente em função da causa que desencadeou algum fenômeno natural. (CASTRO, 1998; TOMINAGA, 2009).

Na literatura científica o termo Desastre inclui classificações que possibilitam a distinção dos acontecimentos ocorrentes de cada evento. As principais classificações representam os Desastres quanto à: Intensidade; Evolução e Origem (CASTRO, 1998; MARCELINO, 2008; KOBAYAMA et al 2009, TOMINAGA, 2009; NUNES, 2015).

A intensidade é estabelecida em termos absolutos ou em termos relativos. Segundo Castro (1998) “a classificação de acordo com critérios relativos é mais precisa, útil e racional” (CASTRO, 1998 p.57), baseada na relação entre necessidade *versus* disponibilidade cujo objetivo é obter o restabelecimento da normalidade das áreas afetadas. O quadro I apresenta a intensidade dos Desastres de acordo com seus respectivos níveis.

Quadro I: Classificação dos Desastres conforme a Intensidade

Nível	Características
I	Os Desastres de pequeno porte (intensidade) caracterizados quando os danos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. A situação de normalidade é facilmente restabelecida com os recursos do município.
II	Os Desastres de médio porte (intensidade) caracterizados quando os danos causados são de alguma importância e os prejuízos, embora não sejam vultosos, são significativos. A situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos existentes e disponíveis na área (município) afetada, desde que sejam racionalmente mobilizados e judiciosamente utilizados.
III	Os Desastres de grande porte (intensidade) caracterizados quando os danos causados são importantes e os prejuízos vultosos. A situação de normalidade pode ser restabelecida, desde que os recursos mobilizados na área (município) afetada sejam reforçados com o aporte de recursos estaduais e federais já disponíveis.
IV	Os Desastres de muito grande porte (intensidade) caracterizados quando os danos causados são muito importantes e os prejuízos muito vultosos e consideráveis. Nessas condições, esses Desastres não são superáveis.

Fonte: Adaptado de Castro (1998 p. 52).

A classificação quanto à Evolução apresenta três tipos de Desastres: Súbitos, Graduais e Somação. Os Desastres Súbitos são marcados pela rápida velocidade em que os processos ocorrem, como o caso das inundações. Os Desastres Graduais, ao contrário dos Súbitos, se desenvolvem de forma progressiva, como por exemplo, a seca. Já os Desastres por Somação são caracterizados pelas frequentes ocorrências de acidentes que geram danos maiores, como o caso das epidemias (CASTRO, 1998; MARCELINO, 2008; KOBIYAMA et. al. 2009).

A classificação quanto à Origem permite a identificação dos agentes causadores dos Desastres e são classificados como: Desastres Naturais; Desastres Humanos de Natureza e Desastres Mistos (CODAR, 1995; CASTRO, 1998; MARCELINO, 2008; KOBIYAMA et al., 2009, TOMINAGA 2009)

Os Desastres Naturais são produzidos por fenômenos da natureza, ocasionados pela dinâmica interna ou externa da Terra e podem ter como agravante a intensificação da atividade antrópica. Desta forma, os Desastres Naturais podem iniciar-se pelas características regionais como vegetação, condições meteorológicas, topografia entre outros. Como exemplo, citam-se os terremotos, furacões e tsunamis. (CODAR, 1995; CASTRO, 1998, 1999; MARCELINO, 2008; KOBIYAMA et al., 2009, TOMINAGA 2009).

Os Desastres Humanos de Natureza são provocados pela ação e/ou omissão antrópica, no qual o homem desempenha o papel de agente causador do Desastre devido à modificação do ambiente natural, como por exemplo, a retirada da vegetação nativa, ocupação das áreas de várzea, impermeabilização do solo, ocupação de vertentes, dentre outros. As consequências desse tipo de Desastre estão relacionadas às ações cujo potencial para ocorrência de algum desequilíbrio é considerado alto, por exemplo, as enchentes, inundações e deslizamentos de encostas. (CODAR, 1995; CASTRO, 1998; KOBIYAMA et al., 2006). Para Castro (1999, p.9) um Desastre Humano de Natureza pode ser ocasionado por fatores tecnológicos, sociais e biológicos:

[...] 1 - tecnológica, quando são consequências indesejáveis do incremento demográfico das cidades, sem o desenvolvimento compatível da infra-estrutura urbana e dos serviços essenciais, resultando, também, de um desenvolvimento imediatista e sem preocupação com a segurança contra Desastres. Dentre os Desastres de natureza tecnológica, destacam-se aqueles relacionados com meios de transporte, com produtos perigosos, com incêndios e explosões em

plantas industriais, parques, depósitos e outros. 2 - social, quando são consequência do relacionamento do homem com os ecossistemas urbanos e rurais ou de desequilíbrios nos inter-relacionamentos econômicos, políticos e culturais. Dentre os Desastres de natureza social, destacam-se aqueles relacionados com o desemprego e a marginalização social, com a fome e a desnutrição, com o incremento da violência, com os menores abandonados, com o banditismo, o crime organizado e o tráfico descontrolado de drogas. 3 - biológica, quando são consequência do subdesenvolvimento, do pauperismo e da redução da eficiência dos serviços promotores da saúde pública. Dentre esses Desastres, destacam-se a pandemia da SIDA/AIDS, a malária, a cólera, o dengue e a tuberculose. (CASTRO, 1999, p.9).

Já os Desastres Mistos são causados por fatores naturais somados às ações e/ou omissões antrópicas que agravam a situação de um ambiente já degradado e provocam Desastres quando os fenômenos adversos atuam em ambientes nestas condições (CODAR, 1995; CASTRO, 1998,1999; KOBIYAMA et al., 2006; TOMINAGA, 2009). Dentro da definição são considerados Desastres Mistos:

1 - geodinâmica terrestre externa, como as chuvas ácidas, o incremento da poluição do ar provocada por camadas de inversão térmica, efeito estufa e bolsões de redução da camada de ozônio; 2 - geodinâmica terrestre interna, como a desertificação, a salinização do solo e a sismicidade induzida (CASTRO, 1999, p. 9).

Ainda discutindo a classificação dos Desastres com base em sua Origem apresenta-se a proposta de Saraiva (2012) que classifica os Desastres por meio de sua Origem e Tipologia conforme mostra a quadro II:

Quadro II: Classificação quanto à Origem e Tipologia

Origem	Tipologia principal	Tipologia secundária	Tipologia terciária
Geofísico	Terremoto	Tremor	-
		Tsunami	-
	Vulcão	Erupção	-
	Deslizamento de massa	Queda de rochas	-
		Avalanches	Neve, Detritos
		Deslizamento de terra	Lamas, Lahar, Detritos
		Subsidência	Súbita, longa
Meteorológico	Tempestade	Tropical	-

		Extra tropical	-	
		Locais (convectivas)	Trovoada, Areia/ Pó, Tornado, Orográfica	
Hidrológico	Cheias	Lentas	-	
		Rápidas	-	
		Depressão/ Inundação costeira	-	
		Deslizamento de terra	Detritos	
		Avalanche	Neve, Detritos	
		Subsidência	Súbita, Lenta	
Climático	Temperaturas	Onda de calor	-	
		Onda de frio	Geadas/Gelo	
		Invernia	Pressão neve, Gelo, Granizo, Avalanche detrito	
		Seca	-	-
		Fogo	Florestais	
		Terrenos		
Biológicos	Epidemias	Infecções	Vírus, bactéria, parasitas, fungos, pirão.	
	Praga	-	-	
	Pânico (Animais)	-	-	
Extraterrestre	Meteoritos	-	-	
	Asteroides	-	-	

Fonte: Adaptado de Saraiva (2012 p. 21).

Os Desastres não são puramente naturais, pois quase todos englobam alguma ação antrópica que acelera ou não sua ocorrência, como construções urbanas em encostas, margens de rios, áreas de sísmico, locais próximos aos processos vulcânicos etc. (KOBAYAMA et al., 2006). Deste modo, as ocorrências dos Desastres dependem de três variáveis básicas: perigo (*hazards*), risco (*risk*) e vulnerabilidade (WISNER et al., 2003, UITTO, 1998, SDR, 2004, BRASIL, 2007; LINDELL, PRATER, PERRY, 2006).

O termo perigo – ou ameaça – é definido como processo anterior ao risco capaz de causar efeitos danosos a uma região habitada, ou seja, gera uma condição para a ocorrência de consequências que prejudique a população economicamente e/ou com a perda de vidas. Só há ocorrência de perigo quando há presença humana sendo possível distinguir os danos que podem ou não serem causados (CASTRO, 1998; CASTRO, 2000; TOMINAGA, 2009).

Por exemplo, em uma planície fluvial a dinâmica natural de cheias dos canais fluviais representaria perigo a uma área quando houver sinais referentes ao processo de ocupação urbana, como impermeabilização dos solos, canalização dos canais secundários, retirada da vegetação nativa, ocupação das áreas naturais de extrapolação das águas de um rio, novos loteamentos etc.

O termo risco refere-se à possível ocorrência de um fenômeno e sua intensificação por danos causados em uma determinada área, ou seja, quanto maior o grau de perda, maior o risco. Segundo Castro (2000) risco é a probabilidade da ocorrência de um perigo, podendo ser por ação natural ou antrópica, e incluindo a avaliação humana dos efeitos gerados. Na literatura científica risco é, incluindo na categoria de análise integrada às noções de incerteza, exposição ao perigo, perda e prejuízos materiais, econômicos e humanos em detrimento de processos naturais como exógenos e endógenos da Terra, e associados à atividade antrópica (CASTRO, PEIXOTO, RIO, 2005). Conforme o exemplo citado anteriormente, o perigo torna-se risco quando o processo de ocupação se consolida e afeta a população residente na área de várzea, podendo causar prejuízos econômicos e/ou perdas de vida humana.

Já vulnerabilidade, corresponde ao grau de perda dentro de uma determinada área com probabilidade de ocorrência de algum fenômeno; é resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, e torna-se assim, uma área mais susceptível à ocorrência de perigos e riscos. (TOMINAGA, 2009; BRASIL, 2007). Desta forma, “a vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistências de construções e proteções da infraestrutura) como fatores humanos, tais como econômicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais” (TOMINAGA, 2009, p 151). Conforme a apresentação dos exemplos, a vulnerabilidade indica os prejuízos econômicos/sociais/humanos causados pelas inundações nas áreas de várzea em uma determinada área de risco.

Os termos risco, perigo e vulnerabilidade são abrangentes e envolvem fatores naturais (declividade, pedologia, geologia, clima, cobertura da terra, dentre outros) e antrópicos relacionados às variáveis sociais, econômicas, saúde, criminalidade etc. (WISNER et al., 2003, SDR, 2004, TOMINAGA, 2009).

Ao abordar os referidos termos, julga-se necessário apresentar diálogos com autores sobre os Desastres que marcaram o cenário mundial e nacional e que

culminaram em prejuízos econômicos, sociais e óbitos em diversos países e estados brasileiros. Na discussão apresentada no próximo tópico é possível identificar os Desastres conforme sua Origem, Evolução e Intensidade, como as situações de riscos, vulnerabilidades e perigos em que as populações foram expostas.

1.2. A ocorrência de Desastres em outros países e no Brasil

Os furacões, os terremotos, os tsunamis, as intensas precipitações são exemplos de fenômenos que resultam em Desastres Naturais e/ou Humanos de Natureza. Na idade média novos povoados surgiam consolidando-se novos núcleos urbanos. Por consequência disso – e sem planejamento adequado - “os danos provocados pelos Desastres passam a atingir proporções catastróficas” (MARCELINO, 2008, p. 6).

O autor apresenta ao longo de sua obra inúmeros Desastres que marcaram a história da civilização humana pelos danos causados às populações atingidas, como as inundações na China (no ano 1.332) que vitimaram sete milhões de pessoas por afogamento e na Alemanha (no ano 1.362), onde cerca de 100.000 pessoas morreram.

Na América do Sul, entre as décadas de 1960 e 2000 foram registrados 863 Desastres de grande intensidade, onde 78,4% correspondem aos grupos hidrológicos, meteorológico e climático (secas, extremos de temperatura, movimentos de massas, tempestades, inundações etc.); 14% ao grupo geofísico (terremotos, furacões, vulcanismos etc.) e 7,5% ao grupo biológico (epidemias). Dentre os Desastres mais ocorrentes no continente sul-americano destacam-se as inundações, com 386 registros (44,7%), seguidas dos movimentos de massas com 115 registros (13,3%), os terremotos com 92 registros (10,6%) e tempestades com 70 registros (8,1) (NUNES, 2015).

No mesmo período, 138.350.198 (cento e trinta e oito milhões trezentos e cinquenta mil cento e noventa e oito) pessoas foram atingidas pelo total de Desastres na América do Sul, onde 179.468 (cento e setenta e nove mil quatrocentos e sessenta e oito) pessoas morreram. Do total de óbitos, 47,1% corresponde ao grupo geofísico (terremotos) e 24,4% ao grupo hidrológico (inundações). O número de óbitos atinge também os demais grupos (biológicos, meteorológicos e climáticos) embora não seja expressivo como os anteriores (NUNES, 2015).

Anualmente os meios de comunicação divulgam notícias relacionadas aos Desastres Naturais e/ou Desastres Humanos de Natureza. Alguns acontecimentos tiveram reconhecimento mundial pela magnitude dos impactos que resultaram em prejuízos consideráveis. O papel da comunicação torna-se, portanto, um elemento fundamental para a mitigação dos Desastres Naturais, bem como, de alerta para a população. (GOMES, 2003).

Como exemplo, citam-se os terremotos *Hanshin-Awaji Daishinsa* que ocorreu no Japão em 1995 e *Pedernales* que atingiu a região da costa do Equador em 2016; os Furacões *Katrina*, que em 2005 atingiram a região litorânea no sul dos Estados Unidos e o *Matthew* no Haiti, que em 2016 resultou em prejuízos significativos ao país.

O terremoto no Japão atingiu 7.2 na escala *Richter* e resultou em: destruição da cidade de Kobe e Região, 5.502 óbitos, 41.521 pessoas feridas e mais de 100 mil residências destruídas. Os prejuízos econômicos foram de, aproximadamente, 10 trilhões de yenes⁴ (SATO; KUMAGAI, 1996).

No Equador, a costa do país foi atingida pelo terremoto *Pedernales* chegando a 7.8 na escala *Richter* e afetou as províncias de *Manabí, Santo Domingo de los Tsachilas, Guayas, Chimborazo e Pichincha*, cuja primeira foi a região mais atingida em todo o país. Segundo os registros da *Secretaría de Gestión de Riesgos*, o último informe emitido pelo órgão nacional apresentou os seguintes resultados: 663 óbitos, 6.274 pessoas feridas, 28.775 pessoas desabrigadas e nove desaparecidas (EQUADOR, 2016). Os custos para reconstrução das áreas afetadas aproximaram-se do total de US\$ 653 milhões⁵.

O Furacão *Katrina* atingiu com ventos de, aproximadamente, 280 km/h a cidade de *New Orleans*, localizada no Estado de Louisiana. Os prejuízos socioeconômicos da população, das indústrias privadas e públicas entre outros, ultrapassaram a soma de 100 bilhões de dólares⁶. Além disso, houve significativos danos aos recursos naturais e mais de 972 óbitos (BURTON E HICKS, 2005).

No Haiti, o furacão *Matthew* atingiu regiões com ventos de aproximadamente 230 km/h, sendo considerado o Desastre mais intenso desta categoria já ocorrido no Caribe. O furacão ocasionou 877 óbitos, cerca de 60 mil haitianos foram atingidos o que

⁴ Segundo o autor, em 1995 no dia do terremoto, o valor convertido em dólar era de aproximadamente 100 bilhões. Na mesma data cada US\$1 correspondia a 100 Yenes.

⁵ Cotação no dia 16/04/2016 corresponde ao valor de 3,552 reais

⁶ Cotação no dia 23/08/2005 corresponde ao valor de 2,408 reais

resultou na superlotação dos hospitais e demais centros de saúde, onde os prejuízos econômicos aproximaram-se em US\$ 6,92 milhões⁷ (G1, 2016).

No Brasil, a intensidade de Desastres Naturais de maior expressão é pequena se comparada à ocorrência e magnitude em outros países, como os citados anteriormente. Os terremotos são frequentes no país, mas devido à baixa magnitude não ocasionam danos à população e a economia, por isso não são divulgados nos meios de comunicação. O registro do terremoto de maior intensidade, 6,1 na escala *Richter* é de 1955, e o estado mais atingido foi o do Mato Grosso. Apesar de sua magnitude, não há dados sobre prejuízos socioeconômicos e de óbitos.

A Região Nordeste brasileira corresponde à área mais ativa por esse tipo de fenômeno, com escala entre 2 e 4 graus de magnitude e não apresenta diferenças na variação de magnitude quando comparado aos demais tremores registrados no país. (CEARÁ, 2008; REDE SISMOGRÁFICA BRASILEIRA, 2014).

Os Desastres ocasionados por origem climática ocasionam prejuízos econômicos, sociais e óbitos. Em 2004, no sul do Brasil, o Ciclone Catarina atingiu o estado de Santa Catarina com ventos de até 150 km/h e afetou 40 municípios no estado. Este fenômeno ocasionou quatro óbitos, deixou 518 pessoas feridas e 33.000 desabrigados. Os danos e/ou destruição somam 35.000 casas (BAPTISTA NETO, 2011).

As publicações científicas mostram que no Brasil a ocorrência de Desastres Naturais não ocasiona danos materiais ou sociais significativos. (SANTOS; VENTORINI; ALMEIDA, 2016). Os Desastres Humanos de Natureza são os que mais ocasionam danos à população. Estes têm como principal característica ações ou omissões do homem em relação à natureza.

Os impactos socioespaciais resultantes da ocupação urbana desordenada em áreas de várzea e margens de rios, córregos e vertentes têm resultado em Desastres, principalmente no período chuvoso de cada ano. As intensas precipitações como chuvas convectivas que são caracterizadas por abrangência local e intensidade alta influenciam as ocorrências de inundações e deslizamentos de terra no Brasil (CASTRO, 1998; CODAR, 1995; KOBIYAMA ET. AL, 2006; BRASIL, 2012).

⁷ Cotação no dia 11/10/2016 corresponde ao valor de 3,060 reais

Os dados publicados pela *Emergency Events Database- EM-DAT* indicam que o Brasil está entre os países mais atingidos por inundações. Entre o período de 1960 e 2013 a *EM-DAT* registrou 119 Desastres que resultaram em 7.300 mortes, e em prejuízos econômicos para mais de 19 milhões de pessoas cujas residências e/ou estabelecimentos comerciais foram danificados ou destruídos. Os registros na *EM-DAT* só são computados para Desastres que resultem em 10 ou mais óbitos, atinjam 100 ou mais pessoas ou necessitem da emissão de uma declaração de situação de emergência e/ou pedido de auxílio internacional.

A análise dos dados da *EM-DAT* e do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais para o período de 1991 a 2010 mostra que a *EM-DAT* não registra as perdas sociais, econômicas e de vida humana em Desastres de menor porte (intensidade), cuja importância não é menor, pois a vida humana não deve ser medida em valores com base na quantidade. Os dados disponibilizados pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais mostram que há registros de 31.909 Desastres, 3.404 óbitos e 96.220.879 pessoas afetadas entre o ano de 1991 até ano de 2010. Por outro lado, para o mesmo período, a *EM-DAT* registrou 103 Desastres, 2.689 óbitos e 18.266.784 pessoas atingidas (CARMO; ANAZAWA, 2014).

No ano de 2011 foram registrados mais de 795 Desastres Humanos de Natureza no Brasil. Os registros mostram ainda que nesse ano 12.535.401 pessoas foram atingidas e ocorreram 1.094 óbitos. Os dados indicam ainda que, 16,3 % do total (2.050.431 pessoas) foram atingidas por inundações (BRASIL, 2012).

Os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais registram óbitos e prejuízos econômicos e sociais em quase todos os períodos chuvosos. Em janeiro de 2011 sete municípios localizados na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro foram atingidos por chuvas intensas. A quantidade mais intensa de precipitação foi na cidade de Nova Friburgo, onde em dois dias choveu 166 mm. Os danos totais dos sete municípios foram: 304.562 pessoas com algum tipo de prejuízo socioeconômico, 16.458 pessoas desabrigadas, 2.351 pessoas feridas e 905 óbitos. O prejuízo econômico foi estimado em US\$ 2,8 bilhões⁸ (BANCO MUNDIAL, 2012).

No estado de Minas Gerais, no período chuvoso, os efeitos dos Desastres Humanos de Natureza – inundações, deslizamentos e enchentes – causam prejuízos

⁸ Cotação no dia 11/01/2011 corresponde ao valor de 1,6773 reais.

econômicos e sociais para centenas de pessoas. Os dados do Plano de Emergência Pluviométrica 2012/2013 da Defesa Civil de Minas Gerais indica que no período chuvoso entre 2011 e 2012 houve um aumento de 27% no número de municípios mineiros atingidos por Desastres provocados pelas chuvas. Este aumento refere-se à média histórica dos últimos 10 anos, cujo total de municípios atingidos foi de 215. Os prejuízos econômicos ultrapassam o valor de US\$ 9,3 milhões⁹. Em janeiro de 2012, 186 municípios foram atingidos por Desastres ocasionados pelas chuvas (MINAS GERAIS, 2013).

No período chuvoso entre 2012 e 2013 as fortes chuvas causaram sérios danos à população mineira, 43.820 pessoas foram afetadas de alguma forma, por exemplo, tiveram suas casas invadidas pelas águas, perderam bens materiais, dentre outros, 24 óbitos foram registrados, 498 pessoas ficaram desabrigadas e 6.477 desalojadas. O impacto econômico total do período ultrapassa o valor de US\$ 131,1 mil ¹⁰ (MINAS GERAIS, 2013).

No período chuvoso entre 2013 e 2014 houve um aumento em relação ao período anterior de aproximadamente 425% de pessoas afetadas (186.654). O número de óbitos reduziu, aproximadamente 5% (23), mas o número de pessoas desabrigadas aumentou para 267% (17.301) e o número de desalojados para 510 % (33.061). O prejuízo total aumentou, aproximadamente, 819% (US\$ 886,5 mil¹¹) (MINAS GERAIS, 2013).

A cidade de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, surgiu e ampliou-se sobre a área de duas bacias hidrográficas: a do Ribeirão Arrudas e a do Córrego da Onça. Seu desenvolvimento urbano não considerou a dinâmica natural das bacias hidrográficas. Fato que atualmente, dificulta o planejamento para a redução dos impactos causados nas áreas ocupadas (CAJAZEIRO, 2012). No período chuvoso entre os anos de 2008 e 2009 foram registrados 14 inundações (REIS, 2011). No período de setembro de 2008 até março de 2009, foram registrados 33 óbitos (BRAGON, 2009).

No município de São João del-Rei, também localizado no estado de Minas Gerais, o desenvolvimento urbano iniciou-se com a ocupação das margens do Córrego do Lenheiro, motivado pela exploração aurífera no início do século XVIII. O processo

⁹ Cotação no dia 31/01/2012 corresponde ao valor de 1,7464 reais.

¹⁰ Cotação no dia 31/01/2013 corresponde ao valor de 1,9900 reais.

¹¹ Cotação no dia 31/01/2014 corresponde ao valor de 2,4124 reais

de urbanização a partir dessa data cominou com a fundação do primeiro núcleo urbano que, posteriormente foi subdividido formando os primeiros bairros da cidade como o Senhor dos Montes, Tijuco e Centro (MALDOS, 2000).

Tais bairros ampliaram-se ao longo de três séculos sem planejamento e gestão adequados, fato que os tornam suscetíveis a ocorrências de Desastres Humanos de Natureza em área da Bacia do Córrego do Lenheiro. Os dados da Defesa Civil do Município indicam que no período de 2001 a 2004 aproximadamente 1.500 pessoas foram desalojadas devido às inundações pequenas e bruscas, e 480 residências foram danificadas, dentre outros prejuízos socioeconômicos. No ano de 2007 a Defesa Civil registrou prejuízos econômicos de 2.908 pessoas, de 71 pessoas desalojadas, 7 pessoas desabrigadas, de um óbito, e de uma pessoa desaparecida. O prejuízo econômico estimado é de US\$ 1,04 milhões¹².

No ano de 2012, os registros mostram que 2.218 pessoas tiveram suas casas afetadas por inundações e 143 ficaram desalojadas. Já no período chuvoso de 2013/2014, 1.500 pessoas foram atingidas pelas enchentes e inundações no município. Vias públicas e os muros às margens do Córrego do Lenheiro foram danificados e os prejuízos econômicos foram estimados no valor de US\$ 64.328,12¹³ (DEFESA CIVIL, 2014).

Considerando a discussão apresentada neste capítulo, ressalta-se a relevância do mapeamento das áreas de risco aos Desastres Naturais e/ou Desastres Humanos de Natureza como referência para ações mitigadoras que diminuam e/ou eliminem os prejuízos econômicos, sociais, ambientais e humanos, auxiliando no planejamento urbano e ambiental. O diálogo, desse modo, com os autores direciona-se para esta temática.

¹² Cotação no dia 31/12/2004 corresponde ao valor de 2,6544 reais.

¹³ Cotação no dia 31/12/2014 corresponde ao valor de 2,6562 reais.

Cap. II. MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO

2.1. Ações para Mapeamento de áreas suscetíveis a Desastres Humanos de Natureza

As discussões ambientais em escala global sediadas no Brasil, como as duas Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecidas como ECO-92 e RIO+20 subsidiam a criação de leis fundamentais no Brasil na gestão e no mapeamento dos Desastres Humanos de Natureza.

Conhecida como “Lei das Águas” a Lei 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH). A lei em seu Art. 1º parágrafo V determina a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e legitima a atuação do SNGRH para o gerenciamento dos recursos hídricos. No Art. 3º parágrafo IV é apresentada a diretriz para a articulação do planejamento de Recursos Hídricos com setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional.

A Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) a criação do sistema de informações e monitoramento de Desastres. O Art.4º, parágrafo IV normatiza como diretriz da PNPDEC a adoção de bacia hidrográfica como unidade de análises aos Desastres relacionados aos corpos d’água, e no Art.5º são descritos que os objetivos da PNPDE consistem em:

- I - reduzir os riscos de desastres
- II - prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres
- IV - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais
- VII - promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência (BRASIL, 2012, p. 2).

O Art.7º, parágrafo IV determina a competência dos Estados para identificar, mapear e realizar investigações em áreas vulneráveis e suscetíveis aos riscos de Desastres Naturais e/ou Desastres Humanos de Natureza. A mesma lei em seu Art. 8º, parágrafos IV e V atribui aos municípios a responsabilidade para identificar, fiscalizar e mapear as áreas suscetíveis a Desastres e proibir a ampliação e/ou novas ocupações urbanas nesses locais. O intuito é permitir ao poder público atuar na fase considerada prioritária de qualquer evento para amenizar os riscos, o antes que se refere ao momento que precede o Desastre.

Simultaneamente à ocorrência dos fatos citados e à criação das leis apresentadas é gerado e fortalecido o Ministério das Cidades - criado em 01 de janeiro de 2003 por meio da Medida Provisória nº 103/2003, posteriormente transformada na Lei nº 10.683 de 28 de maio de 2003. Sua função e competência é atuar nas seguintes áreas:

- a) política de desenvolvimento urbano;
- b) políticas setoriais de habitação, saneamento ambiental, transporte urbano e trânsito;
- c) promoção, em articulação com as diversas esferas de governo, com o setor privado e organizações não governamentais, de ações e programas de urbanização, de habitação, de saneamento básico e ambiental, transporte urbano, trânsito e desenvolvimento urbano;
- d) política de subsídio à habitação popular, saneamento e transporte urbano;
- e) planejamento, regulação, normatização e gestão da aplicação de recursos em políticas de desenvolvimento urbano, urbanização, habitação, saneamento básico e ambiental, transporte urbano e trânsito;
- f) participação na formulação das diretrizes gerais para conservação dos sistemas urbanos de água, bem como para a adoção de bacias hidrográficas como unidades básicas do planejamento e gestão do saneamento (MINISTÉRIO DAS CIDADES, sd.)

Para Maricato (2006) a proposta de criação do Ministério das Cidades inseriu o Governo Federal na discussão sobre a política urbana e o destino das cidades. A autora

destaca que a última proposta de política urbana implementada pelo governo federal foi no regime militar (1964-1985). No período pós-regime militar, intensificou-se as demandas referentes à urbanização nas metrópoles e, a forte crise de representatividade sob o regime que ampliaram os movimentos sociais em prol da reforma urbana. Os movimentos reuniram profissionais, lideranças sociais, sindicalistas, ONGs, integrantes da Igreja Católica, parlamentares e servidores públicos e resultaram: a) na apresentação de uma emenda de iniciativa popular à Constituição Federal de 1988 regulamentando os artigos 182 e 183¹⁴, b) na conquista de inclusão na Carta Magna da função social da propriedade e da função social da cidade e c) na criação do Ministério das Cidades.

Além das atuações acima citadas, o Ministério das Cidades busca apoiar ações em municípios brasileiros que estão propícios a serem atingidos por Desastres. Dentre as ações destacam-se o apoio aos gestores municipais no que se refere ao planejamento e gestão urbana de áreas de riscos e à capacitação técnica para mapear as áreas sucessíveis a Desastres, assim como elaborar um sistema municipal de gerenciamento de riscos, articulado e integrado com as políticas de habitação, saneamento e Defesa Civil (ALMEIDA, 2007).

¹⁴ Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1º - O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

§ 2º - A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor.

§ 3º - As desapropriações de imóveis urbanos serão feitas com prévia e justa indenização em dinheiro.

§ 4º - É facultado ao poder público municipal, mediante lei específica para área incluída no plano diretor, exigir, nos termos da lei federal, do proprietário do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado que promova seu adequado aproveitamento, sob pena, sucessivamente, de:

I - parcelamento ou edificação compulsórios;

II - imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana progressivo no tempo;

III - desapropriação com pagamento mediante títulos da dívida pública de emissão previamente aprovada pelo Senado Federal, com prazo de resgate de até dez anos, em parcelas anuais, iguais e sucessivas, assegurados o valor real da indenização e os juros legais.

Art. 183. Aquele que possuir como sua área urbana de até duzentos e cinquenta metros quadrados, por cinco anos, ininterruptamente e sem oposição, utilizando-a para sua moradia ou de sua família, adquirir-lhe-á o domínio, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural.

§ 1º - O título de domínio e a concessão de uso serão conferidos ao homem ou à mulher, ou a ambos, independentemente do estado civil.

§ 2º - Esse direito não será reconhecido ao mesmo possuidor mais de uma vez.

§ 3º - Os imóveis públicos não serão adquiridos por usucapião.

Desde sua criação, o Ministério das Cidades, a partir do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, realiza ações com o objetivo de apoiar os municípios na implementação de programas de prevenção e redução de riscos a deslizamentos de encostas, de enchentes e alagamentos, assim como na capacitação de Recursos Humanos para a identificação e mapeamento das áreas suscetíveis a Desastres (BRASIL, 2006, 2007).

O aumento significativo de municípios brasileiros suscetíveis aos Desastres, principalmente nos períodos chuvosos, resultou na inserção do Serviço Geológico do Brasil - CPRM¹⁵ no Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres do Governo Federal (PPA 2012-2015).

Ao CPRM foi atribuída a função de realizar visitas técnicas aos municípios e mapear áreas de risco geológico, tendo como base a classificação do Ministério das Cidades: áreas com muito alto e alto grau de riscos, relacionadas principalmente com movimentos de massa e inundações (CPRM, sd).

As informações mapeadas pelo CPRM são disponibilizadas para o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN (MCTI) com o objetivo de apoiar a emissão de avisos e alertas meteorológicos. Além disso, são disponibilizadas para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD (MI), para a emissão de alertas às Defesas Civas estaduais e municipais com o intuito de auxiliar na realização de ações de prevenção e resposta frente aos Desastres (CPRM, sd)..

O mapeamento realizado pelo CPRM é disponibilizado gratuitamente no *website* <http://cprm.gov.br>. A base cartográfica é composta por polígonos em torno de setores considerados de riscos como a porção de uma encosta ou planície de inundação localizada na área urbana e com registros de ocorrências de Desastres. Os dados são disponibilizados em dois formatos: *shapefile* (extensão do *SIG Arcgis*) ou *KML/KMZ* (*Google Earth*). Os polígonos são elaborados a partir das imagens de satélites e fotografias aéreas existentes no município da área mapeada.

¹⁵ A CPRM é uma empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia e ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) e foi criada pelo Decreto N° 1.524, de 20 de junho de 1995.

A CPRM mapeou 1206 municípios brasileiros entre o período de 2011 a 2016. No Estado de Minas Gerais foram mapeados 174 dos 853 municípios. A Análise do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PCPDC) do município de São João del – Rei indica que quando o município não possui uma base de dados digital contendo mapas base como topografia, hidrografia, uso da terra etc., o trabalho do CPRM é dificultado. No município de São João del – Rei a ausência de um mapeamento com critérios técnicos e científicos dificultou o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrências de enchentes, inundações e deslizamentos de encostas pela Defesa Civil e pelo CPRM.

A Defesa Civil do município publicou no ano de 2013 o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil contendo um mapeamento precário, com imagens retiradas do *Google Maps* e sem critério técnico e científico. Conforme ilustra a figura 3a as representações das áreas suscetíveis às enchentes e alagamentos foram demarcadas por meio de um programa para desenhos simples. No ano de 2015, com o apoio de profissionais do CPRM, o Plano de Contingência e Defesa Civil foi atualizado. A qualidade do mapeamento melhorou, mas ainda não apresenta um mapeamento sobre as regras cartográficas. As áreas suscetíveis aos Desastres Humanos de Natureza ainda são apresentados com imagens do *Google Maps*. A figura 3b ilustra como um das áreas com suscetibilidade à inundação foi representada.



Figura 3: Mapeamento de área suscetível à enchente e inundação (a) Mapeamento de área suscetível à enchente e inundação elaborado pela CPRM (b).

Fonte: Plano de Contingencia e Defesa Civil – São João del Rei – MG, (Defesa Civil, 2013, 2015).

O mapeamento por meio de uma base cartográfica digital é muito importante para identificar, caracterizar e servir de referência para propostas mitigadoras que

diminuem e/ou eliminam os prejuízos sociais, econômicos e ambientais, bem como para auxiliar no planejamento e no ordenamento urbano. Para Hora e Gomes (2009, p.60) “A aplicação da Cartografia na identificação e diagnóstico de áreas de risco tem sido bastante explorada em diversas cidades brasileiras [...]”.

A elaboração de uma base de dados cartográficos em meio digital exige conhecimentos técnicos e conceituais sobre Cartografia, Geografia, SIG, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Além disso, demandam computadores equipados com programas que possibilitem armazenamento, manipulação, análise, atualização e reprodução dos dados e pessoas com conhecimento técnico e científico para realizar as análises e propor soluções (PÔSSA, VENTORINI, 2014).

Os mapas em meio digital permitem, além de uma leitura ampla em escalas diferentes, extrair informações sobre as variáveis que envolvem os aspectos naturais como declividade, hipsometria, geologia, pedologia, hidrografia, vegetação etc. além de aspectos culturais (construídos pelo homem) como urbanização, agricultura, industriais, mineração, dentre outros (ZACHARIAS, 2007; HORA; GOMES, 2009; SANTOS; VENTORINI; ALMEIDA, 2016, SANTOS; VENTORINI, 2016, 2017).

Os resultados possibilitam realizar análises das sobreposições que contribuem para o diagnóstico e pré-diagnóstico de áreas vulneráveis aos riscos e perigos à ocorrência dos Desastres Humanos de Natureza, bem como cruzamentos de informações e geração de Modelos que permitem o entendimento da realidade de uma determinada área (ZACHARIAS, 2007; HORA; GOMES, 2009; SANTOS; VENTORINI; ALMEIDA, 2016, SANTOS; VENTORINI, 2016, 2017).

Domingues e Franço (2008) ressaltam que a implantação de um Sistema Informação Geográfica (SIG) para geração e gerenciamento de uma base de dados digital requer um período relativamente longo para sua consolidação, pois a complexidade dos dados georreferenciados dificulta e torna, em muitos casos, dispendioso o processo de aquisição de informações e de material base, como fotografias aéreas e/ou imagens atuais de satélites com resolução de qualidade, bem como levantamento topográfico.

A concepção e execução para os gestores e planejadores públicos devem prover resultados em curto prazo, além de serem incorporados rapidamente pelo corpo técnico

da instituição pública. Fatos que, muitas vezes, resultam em fracassos na adoção de um SIG. O insucesso da implantação dos SIG municipais, na grande maioria, resulta da falta de visão técnico/política, da ausência de planejamento da aplicação dos recursos financeiros, das precárias condições estruturais das instituições públicas e, principalmente, da dificuldade política de enfrentar as resistências internas. É estratégico que o corpo diretivo (prefeito, secretários e diretores) de uma prefeitura esteja efetivamente convencido da importância de implantar um SIG e tenha clareza dos benefícios desta ferramenta. Se isto não ocorrer e o objetivo de implantar um SIG for somente de alguns técnicos, o projeto apresenta tendência ao fracasso (DOMINGUES; FRANÇOSO, 2008).

No Brasil os municípios possuem dificuldades para a elaboração de tal base devido à precariedade de investimentos. Os maiores investimentos em levantamentos territoriais e em mapeamento base provêm do setor privado. No estado de Minas Gerais a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), no início da década de 1980, investiu em produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de Geoprocessamento para mapear os municípios mineiros (SILVA, 2002, PÔSSA, VENTORINI, 2014). Planimetria das áreas rurais foram mapeadas na escala 1:10.000 e a planimetria de áreas urbanas na escala 1:2.000. A altimetria foi representada com equidistância de 1 metro entre as curvas de nível. Embora a CEMIG tenha doado a base para os municípios mapeados, muitas prefeituras, como a do Município de São João del-Rei, não possuem mais essa base e atualmente enfrentam duas dificuldades:

- a) ausência de recursos humanos especializados (funcionários e/ou apoio de pesquisadores) para processar os dados e gerar Modelos que possibilitem mensurar áreas com probabilidades de desastres;
- b) base de dados não danificadas e em escala maior, por exemplo, equidistâncias de curvas de nível coerente para o mapeamento urbano (menores que 10 metros), mapas de solo com escalas maiores, mapas de uso da terra etc.

O desafio em mapear e analisar áreas suscetíveis às ocorrências de Desastres Humanos de Natureza está na realização de um recorte espaço-temporal para as análises

sem ignorar o fato de que a realidade mapeada está em constante mudança, e que a distribuição das ocorrências dos fenômenos não é homogênea.

Em virtude de tal mudança, as análises feitas por meio de álgebras de mapas permitem ao pesquisador a modelagem de um sistema com base em critérios de relevância para um determinado objetivo. Na literatura científica, autores como Moura (2007, 2016), Almeida (2007), Santos e Ventorini (2016, 2017) entre outros destacam a importância do cruzamento de mapas – álgebra de mapas – por meio da Análise Multicritério, cujos resultados permitem a modelagem de um sistema frente à realidade. A Análise Multicritério foi utilizada para gerar Modelos de situações da Bacia do Córrego do Lenheiro, por isso a discussão direciona-se para os principais pressupostos teóricos dessa Análise.

2.2. A Análise Multicritério como apoio ao Planejamento Urbano

As representações cartográficas das realidades naturais e antrópicas capazes de subsidiar o planejamento e gestão possuem origem secular. Desde a antiguidade as cidades são planejadas como, por exemplo, as cidades da Roma e da Grécia Antigas. Esse planejamento alcançou maior expressão no período renascentista, consolidando-se na segunda metade do século XIX. (ALMEIDA, 2007).

No Brasil, o surgimento e crescimento das cidades ocorreram de modo desordenado, sem planejamento prévio dos possíveis impactos causados ao sistema natural. A substituição da vegetação pelos espaços urbanos – influência antrópica – reflete em conflitos, como por exemplo, os Desastres Humanos de Natureza. Segundo Magalhães (2013) o processo de ocupação urbana:

Provoca situações significativas no equilíbrio original, modificando o balanço hídrico e a infiltração, por conta da impermeabilização do solo. Isso aumenta o volume e velocidade dos escoamentos superficiais das águas, provocando alagamentos em áreas antes não alagáveis e aumentando ou mesmo adiantando o pico de uma cheia. (MAGALHÃES, 2013, p.22)

Conforme citado anteriormente, o processo de ocupação urbana em São João del – Rei ocorreu de modo desordenado e sem planejamento prévio e em forma de “espinha de peixe” ao longo das margens do Córrego do Lenheiro. Esse fato, nos dias atuais, é refletido em prejuízos econômicos causados pelos Desastres Humanos de Natureza – enchente e inundação – à população que vive próximo ao córrego principal e seus afluentes. Atualmente, o município enfrenta transtornos nos períodos chuvosos devido à ausência de um planejamento urbano eficaz capaz de minimizar tais prejuízos.

O planejamento urbano neste TCC é entendido como uma proposta de ações para minimizar danos causados pelos Desastres Humanos de Natureza, por meio de uma visão sistêmica que permite a análise das variáveis naturais e urbanas especializadas por meio de dados cartográficos (CHRISTOFOLETTI, 1999; ALVES, 2004; MAGALHÃES, 2013).

O avanço tecnológico permitiu a otimização dos produtos cartográficos e o surgimento de novas metodologias instigadas pela influência antrópica e de impactos ambientais, sociais e econômicos. Tais metodologias são capazes de subsidiar as análises das representações da realidade por meio de Modelos espaciais que consideram os fatores como um sistema integrado, no qual todos os fatores possuem algumas influências nas situações e/ou fenômenos modelados. (ALMEIDA, 2007; MOURA, 2007).

Modelos são implicações do mundo real como exemplo um mapa geológico é um Modelo simbólico porque representa um aspecto físico real tendo como base a Ciência Geológica. (BONHAM-CARTER, 1994). Para Chorley e Hagget (1967) um Modelo é a simplificação e generalização da estrutura da realidade e de seus fenômenos. Por serem aproximações subjetivas da realidade, na medida em que não incluem todas as características reais, há diferentes Modelos com diferentes probabilidades de contribuir para analisar causa/efeito de um fenômeno. O Modelo será útil se apresentar alta probabilidade de aplicação e uma ampla gama de condições em que parece adequado. Para Moura e Jankowski (2016) os Modelos podem representar:

[...] uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, um relacionamento, uma função, uma equação, a síntese de dados ou a descrição do mundo real. Como simplificações da realidade, os

modelos têm como ponto importante a seleção dos aspectos mais relevantes. O sistema é estudado com determinada finalidade, e tudo o que não afeta o objetivo definido deve ser eliminado. (MOURA E JANKOWSKI, 2016, p. 667)

Para a pesquisadora, ao decidir o objetivo do Modelo que será gerado deve-se elencar os dados necessários para sua elaboração, isolando-os em planos de informação ou camadas. Esse procedimento é realizado por um SIG que é frequentemente usado como instrumento para compreensão, análise e gestão de dados digitais de territórios complexos, sendo capazes de integrar informações diversas, como uso do solo, declividade, pedologia, hipsometria etc. Aos SIG's são incorporadas novas funções com o objetivo de possibilitar ao usuário realizar e/ou aprofundar operações e análises como a Análise Multicritério (FIDALGO, 2003; CABRAL, 2012).

A análise multicritério pode ser definida como um método de apoio à tomada de decisão baseado na análise de alternativas para a resolução de um determinado problema. (FIDALGO, 2003, VALENTE, 2005; MOURA, 2007; CABRAL, 2012; ALBUQUERQUE, 2015).

Essa análise é utilizada pelos usuários do SIG por ser um método integrado da análise espacial, e por possibilitar a construção de Modelos descritivos ou preditivos de um território em diferentes escalas e para diferentes aplicações. A ampla utilização entre os referidos usuários ocorre pela facilidade na integração dos dados com base em análise com múltiplos critérios, e pela disponibilização de ferramentas nos *softwares* de geoprocessamento que podem ser utilizadas para implantar as etapas do processo de análise espacial por combinação de variáveis. No entanto, a facilidade de uso da análise multicritério para geração de Modelos que apoiem à tomada de decisões não significa que não se deva questionar o impacto das incertezas inerentes em dados utilizados na análise, que são uma parte integrante do método (MOURA; JANKOWSKI, 2016).

Em 1992, José Xavier da Silva, publicou na Revista Brasileira de Geografia um artigo intitulado *Geoprocessamento e Análise Ambiental* com o objetivo de apresentar uma forma metodológica que possibilitasse a análise ambiental por meio do sensoriamento remoto, onde as:

(...) técnicas geoestatísticas de análise multivariada constituíam as soluções metodológicas dominantes, com as quais se procurava adquirir conhecimentos sólidos sobre a realidade ambiental. (XAVIER-DA-SILVA, 1992 p. 47).

Xavier-da-Silva (1992) reforça que uma base digital de dados composto por mapas temáticos é de suma importância para a análise ambiental.

A criação ordenada de bases de dados permite que a ela sejam associados esquemas analíticos poderosos, como são as técnicas de geoprocessamento (...) A análise de dados contidos em Modelos digitais do ambiente, além de permitir de imediato tratamento por geoprocessamento, tem um efeito ancilar de alguma relevância no quadro da pesquisa ambiental (XAVIER-DA-SILVA, 1992 p.50).

A pesquisadora Ana Clara Mourão Moura desenvolveu sua tese intitulada *Geoprocessamento Aplicado ao Planejamento Urbano e à Gestão do Patrimônio Histórico de Ouro Preto – MG* entre os anos de 1999 a 2002 e tomou como base a referida análise. Em sua tese, a pesquisadora traça como objetivo a utilização da Análise Multicritério como metodologia para o estudo do Planejamento Urbano e a “promoção de ferramentas de gestão e apoio à decisão na proteção do patrimônio histórico” (MOURA, 2014 p. XI).

Grassi, et. al (2013) em sua investigação sobre o mapeamento da vulnerabilidade das inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná adotou procedimentos à referida análise. Primeiramente, os autores elaboraram uma série de mapas temáticos e adotaram pesos de acordo com cada importância da variável e com somatória da importância dos mapas igual a 100%. A fórmula utilizada pelos autores em relação às inundações é:

$$M = \frac{(INF.*MT1)+(INF.*MT2)+(INF.*MT3)...(INF.*MT\infty)}{100} \quad (1)$$

Onde:

M = Modelagem desejada;

INF. = Influência atribuída a cada mapa temático cuja soma deve ser igual a 100%;

MT = Mapa Temático.

A fórmula 2 exemplifica as influências e mapas temáticos utilizados por Grassi, et. al (2013) para gerarem um Modelo de vulnerabilidade das inundações.

$$M.= \frac{(35*PSL)+(20*DE) + (25*GEOM) + (10*USO) + (6*SOL) + (4*PRV)}{100} \quad (2)$$

- Onde:

M = Modelo de Vulnerabilidade das inundações;

USO – Uso do Solo e Cobertura Vegetal;

DE – Declividades (graus);

SOL – Solos; GEOM – Geomorfologia;

PRV – Proximidade da Rede Viária (metros);

PSL – Proximidade de superfícies líquidas (metros).

Já Araújo (2016) em seu estudo denominado *Princípios para Análise Espacial Multicritérios: Capacidade de Suporte e Estoque de Potencial Construtivo no Espaço Urbano* utilizou como objeto de estudo a cidade de Belo Horizonte, no qual determinou as áreas de relevância ambiental, potencial para ocupação e a síntese da proposta de ocupação e proteção. Segundo o autor:

[...] a utilização da Análise de Multicritérios como recurso para a construção de cenários alternativos, revelou-se um poderoso instrumento para a explicitação e ilustração de conflitos socioespaciais e para apoio a processos de participação e tomada de decisão em políticas públicas integradas de desenvolvimento urbano e ambiental. (ARAÚJO, 2016 p.110).

A adoção dos pesos é uma etapa que pode ser realizada com base na Análise Hierárquica de Pesos (AHP) proposta pelo Prof. Thomas Saaty em 1978, na Universidade da Pensilvânia. A AHP auxilia o especialista na tomada de decisão e tem

o objetivo de determinar a contribuição de cada variável dentro do foco de estudo. (MOURA, 2007). O método da AHP é aplicado por meio de comparação de dois a dois dentro de cada um dos critérios apresentados no quadro III.

Quadro III: Análise Hierárquica de Peso (AHP)

Análise Hierárquica de Pesos (AHP)	
Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de STAAAY (2008, p.86).

Primeiramente, ao tomar como referência a Análise Multicritério o pesquisador deve basear-se em critérios como: seleção das principais variáveis com objetivo de caracterizar algum tipo fenômeno; representação da realidade segundo as diferentes variáveis; a utilização/divisão das variáveis em resoluções adequadas e, por fim, combinar e validar as variáveis utilizadas no estudo (MOURA 2007).

Baseado nos critérios citados, para a elaboração dos Modelos a partir referida Análise, o pesquisador deve possuir primeiramente uma base digital de dados cartográficos em formato vetorial das variáveis selecionadas. Posteriormente, os dados vetoriais devem ser transformados em formato matricial (*raster*) cuja vantagem “está na necessidade de modelar o dado desde a sua representação inicial, até o seu cruzamento com outros dados” (MOURA, 2007, p. 2900). Por fim, deve-se adotar valor igual de *pixel* para todos os mapas, esse processo corresponde na padronização da resolução de cada *pixel* e do número de linhas e colunas de cada dado matricial (MOURA 2007). A

figura 4 ilustra o processo de sobreposição das variáveis matriciais com mesmos valores de *pixel*.

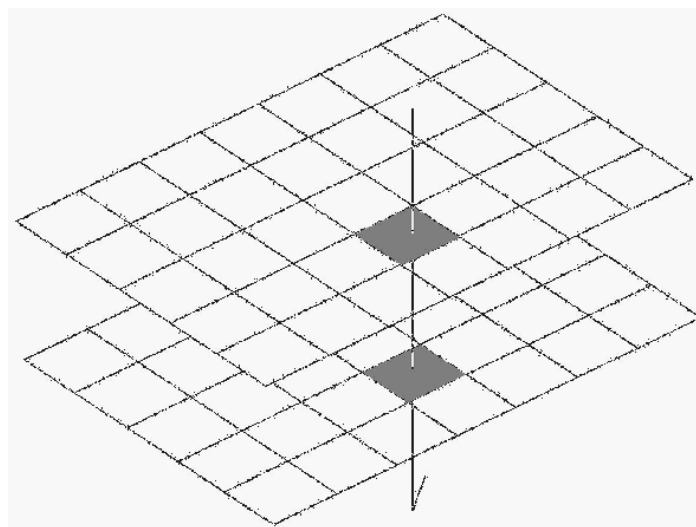


Figura 4: Sobreposição das camadas matriciais com mesmo valor de *pixel*
Fonte: Adaptado de (MOURA 2003, p. 70)

A elaboração do mapa de interesse é dada por meio da álgebra de mapas realizada por intermédio de um SIG. Esse processo consiste em uma operação matemática de média ponderada onde se considera os valores de influência de cada variável e os pesos atribuídos (AHP) a cada uma de suas classes. (MOURA, 2007).

O processo de formulação de legendas requer a atribuição de valores numéricos de maneira hierárquica, conforme citado. Essa etapa se expressa na padronização de escalas que permite a representação das variáveis de estudo de modo quantitativo segundo a importância de cada avaliação. (MOURA, 2007). Como exemplo, em uma escala de 1 a 9 tal variável possui a legenda com as seguintes classes: “alto”, “médio a alto”, “médio”, “médio a baixo”, “baixo” e “nulo”; considera-se os valores numéricos “9”, “7”, “5”, “3”, “1” e “0” respectivamente. Em síntese, essa padronização de escalas permite a compreensão e análise das legendas, conforme a AHP (MOURA 2007).

Para a aplicação da Análise Multicritério ressalta-se a importância de ter um material cartográfico confiável. “La calidad del material cartográfico base y la forma de tratamiento de este material en un SIG también influirá de modo significativo el resultado final del análisis multicritério” (MAUS et. al, 2014, p.4).

Ao longo do processo de modelagem e análise dos Modelos o pesquisador deve validar os mapas temáticos utilizados por meio de dados primários coletados em campo e dados secundários divulgados em publicações científicas. Após a validação dos mapas temáticos, os Modelos gerados devem ser ratificados/legitimados, adotando o mesmo procedimento, ou seja, realizar a análise comparativa dos resultados com os resultados e análises obtidos em outros estudos em campo e, quando possível, consultar conhecedores da realidade espacializada. Caso haja contradições entre os resultados comparativos por meio de um dos métodos, as modelagens e avaliações devem ser refeitas com a escolha de outras variáveis e/ou alterações nos pesos (MOURA, 2003, 2007, 2012).

Na investigação relatada neste TCC foram utilizadas as colocações abordadas pelos autores, conforme descrito a seguir.

CAP. III. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Fundamentação Teórica

A pesquisa relatada neste TCC teve como fundamentação teórico-metodológica a Teoria Geral dos Sistemas Aplicada à Geografia. A Teoria Geral de Sistema (TGS) foi idealizada pelo Biólogo alemão Ludwig Von Bertalanffy, em Chicago em 1937 com a ressalva de:

[...] estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (VON BERTALANFFY, 1973; p. 53).

O processo para compreender um sistema complexo exige o auxílio da interdisciplinaridade devido às diferentes concepções de mundo presentes em cada ramo da ciência, “a interpretação integrada da natureza exige visões mais abrangentes que escapam da óptica reducionista.” (MARQUES NETO, 2008; p.70).

A partir da teoria proposta por Ludwig Von Bertalanffy, os estudos referentes à TGS alcançaram maior relevância na literatura científica onde permite a aplicação da mesma em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, a Administração, Computação, Ecologia, Geografia, Modelagem etc. Deste modo, os ramos da ciência que se apoiam na TGS utilizam o conceito de sistema na delimitação de seu objeto (MARQUES NETO, 2008).

Ao longo de sua história científica, a Geografia passou por avanços e ampliações referentes aos procedimentos teórico–metodológicos como, por exemplo, a aplicação da TGS. A ideia sistêmica foi utilizada por Alexander von Humbolt, no final do século XVII, e discutia a paisagem com base nos elementos físicos em relação aos movimentos antrópicos.

Christofoletti (1979, p. 21) destaca a importância de trabalhos publicados em 1950 e 1952 por Straller e ressalta que, embora estas publicações sejam as pioneiras, os usos da TGS em Geografia Física “começaram a se avolumar na década de 1960, servindo como ponto de partida o artigo de Chorley.”

A adoção da TGS em investigações na área da Ciência Geográfica permite a análise integrada do meio ambiente e dos elementos que o compõem, além de subsidiar a geração de Modelos de situações complexas que permitem analisar e interpretar as variáveis (causa/efeito) que compõem o fenômeno analisado. (CHRISTOFOLETTI, 1979; AUMOND, LOCH, COMIN, 2012; SOUZA, CUNHA, 2012; TROPPIAIR, 2004, 2006; SANTOS, VENTORINI, ALMEIDA, 2016).

Na abordagem sistêmica aplicada aos estudos que envolvem geração e análise de mapas faz-se necessário definir o que será mapeado, as variáveis que compõem esse mapeamento e suas análises, bem como as características dessas variáveis e as relações entre as partes, modelando, assim, um sistema e ajustando-o frente à realidade (MOURA, 2003, SOUZA, CUNHA, 2012).

No mapeamento da bacia do Córrego do Lenheiro a TGS foi adotada ao definir quais mapas gerar, quais as variáveis os compõem e que servem de análise para modelar e identificar áreas propícias a perigos de deslizamentos de encostas, inundações, enchentes e erosões, como também na identificação das áreas de interesse ambiental e propícias à expansão urbana.

Na análise do mapeamento e da modelagem da bacia do Córrego do Lenheiro considerou-se sua dinâmica natural, como escoamento e elevação das águas dos rios, declividade, solo etc., e os impactos socioespaciais como adensamento populacional, impermeabilização do solo, infraestrutura precária, dentre outros. A seguir, apresentam-se os materiais e os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.

3.2. Procedimentos metodológicos

A investigação teve como procedimentos metodológicos: a) Pesquisa e aquisição de material cartográfico de base; b) Elaboração da Base digital de dados cartográficos;

c) Elaboração dos Modelos pela Análise Multicritério; d) Trabalhos de campo e aquisição de dados primários e secundários.

Em um primeiro momento, realizou-se o levantamento de material cartográfico e dados secundários sobre a ocorrência de Desastres Naturais/Desastres Humanos de Natureza em órgãos públicos, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Prefeitura Municipal de São João del - Rei – MG, a Defesa Civil Municipal, o Comitê de Bacias do Estado de Minas Gerais e no Departamento de Geociências da Universidade Federal de São João del-Rei.

O material base é composto por uma carta topográfica elaborada pelo IBGE, ano de 1971, escala 1:50.000, equidistância de 20 metros; uma carta topográfica elaborada pelo Exército Brasileiro, ano 1993, escala 1:25.000, equidistância de 10 metros entre as curvas de nível, ortofotocartas, ano de 1984, escala 1:10.000 disponibilizada gratuitamente pela Prefeitura Municipal de São João del – Rei; imagem do satélite Ikonos, ano de 2005, resolução espacial de 1 metro; imagem do satélite Landsat 8/OLI (*Operation Land Imager*), órbita/ponto 218/75, ano de 2015, resolução espacial de 30 metros (bandas 4, 5 e 6) e 15 metros (banda pancromática) e mapa pedológico do Campo das Vertentes, ano 2006, escala 1: 250.000 disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A partir da coleta do material base foi elaborada a base digital de dados cartográficos da Bacia do Córrego do Lenheiro de acordo com as variáveis de interesse.

3.2.1. Elaboração da Base digital de dados cartográficos

A elaboração da base digital de dados cartográficos foi realizada no software *ArcGis*® 10.1 e suas extensões (módulos *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*). A figura 5 ilustra os procedimentos adotados para a elaboração da base.

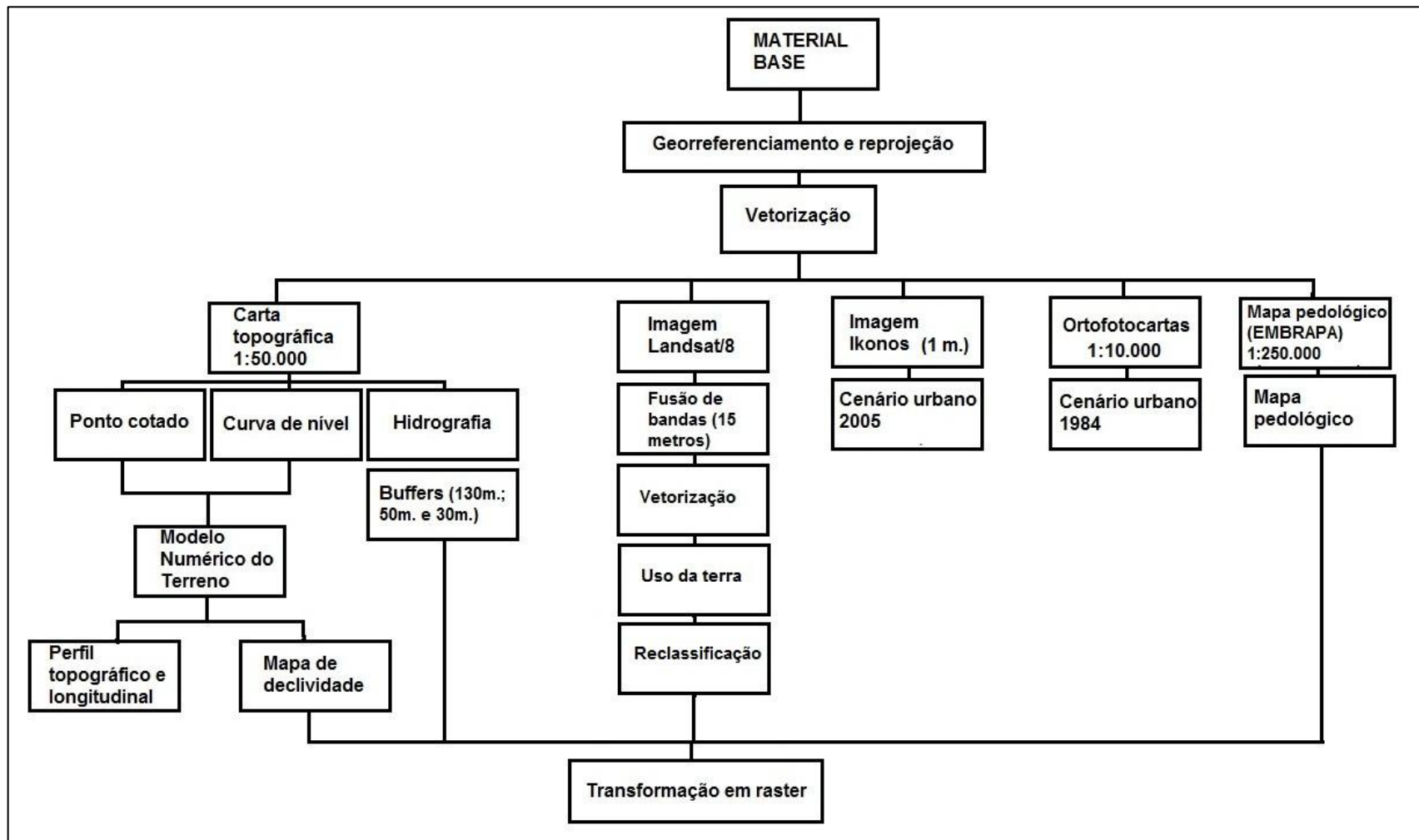


Figura 5: Fluxograma da elaboração da base digital de dados cartográfica.

A aquisição de material cartográfico base em escalas distintas e em meio analógico exigiu a adoção de procedimentos sistemáticos. Inicialmente, realizou-se o georreferenciamento da Carta Topográfica na escala 1:50.000 na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Córrego Alegre sendo posteriormente reprojeta para Datum South American (SAD-69).

Por meio da carta topográfica, escala 1:50.000, foi vetorizado o limite da bacia hidrográfica, hidrografia, as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia. Ressalta-se que a carta topográfica na escala de 1:25.000 não abrange toda a área da bacia, por isso não foi utilizada como base da vetorização.

As curvas de nível e pontos cotados foram utilizadas para elaborar o Modelo Numérico do Terreno (MNT) pela ferramenta *Create TIN* e, posteriormente, o mapa de declividade pela ferramenta *Slope*. A partir do MNT foram elaborados dois perfis topográficos: perfil AB no sentido Noroeste/ Nordeste; perfil CD no sentido Norte/Nordeste. Ambos transversais às áreas em expansão urbana, sendo que o perfil AB corta a confluência do Rio Acima com o Córrego do Lenheiro.

O MNT permitiu, ainda, a representação dos perfis longitudinais dos Córregos do Lenheiro e Rio Acima. Para analisar o crescimento urbano foram sobrepostos nos perfis os cortes transversais de cenários urbanos dos anos de 1984 e 2015, obtidos a partir da vetorização da ortofotocartas e imagem de satélite dos respectivos anos. Para isso, adotaram-se as mesmas orientações dos perfis topográficos e longitudinais. A ferramenta utilizada foi a *Create Profile Graph*.

A vetorização da hidrografia permitiu a elaboração dos *buffers* representando a distância euclidiana de 130 metros. Tal distância para os *buffers* foi determinada a partir de dados sobre os locais com registros de enchentes e inundações. Os dados foram coletados em campo e na Defesa Civil do município (SANTOS; VENTORINI, 2016, 2017).

Além disso, foram elaborados *buffers* com distância euclidiana de 50 e 30 metros para as nascentes do Córrego do Lenheiro e seus afluentes respectivamente, tendo como base a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 – Código Florestal – que dispõe sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da

origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos (BRASIL, 2012).

A imagem de satélite *Landsat 8/OLI* foi recortada, reprojeta para *SAD69* e, em seguida, foi aplicado o método de fusão de bandas por meio da ferramenta *Create Pan-Sharpned e Raster Dataset*, ambas disponibilizadas no *ArcGis*. A imagem *Ikonos* também foi reprojeta para o mesmo *Datum*. E ortofotocartas foram georreferenciadas também no mesmo *Datum*. Posteriormente, as imagens e ortofotocartas foram vetorizadas através de métodos de interpretação, como tonalidade, textura, forma, padrão, sombra e tamanho. Desta maneira, geraram-se três cenários urbanos (anos de 1984, 2005 e 2015) para a análise espaço-tempo e para a elaboração do mapa de uso da terra para o ano de 2015. O mesmo procedimento referente à vetorização foi aplicado ao mapa pedológico da EMBRAPA, onde foram classificados os diferentes tipos de solos presente na Bacia do Córrego do Lenheiro.

O mapa do uso da terra é composto das seguintes classes: afloramento rochoso com vegetação rasteira, mata ciliar, pastagem, agricultura, solo exposto, voçorocas e área urbana. Tais classes foram reclassificadas para gerar o Modelo de áreas propícias à expansão urbana. A legenda desse mapa é composta pelas classes: Zona de Preservação Ambiental (ZPAM afloramento rochosos, voçorocas), Áreas urbanas saturadas (sem lotes), Área de Preservação Permanente (APP – mata ciliar) e Área com probabilidade de Ocupação Urbana (APO – pastagem, agricultura, solo exposto, vegetação rasteira).

Conforme discutido anteriormente, para a realização de Modelos de Síntese pela Análise Multicritério é necessário que os mapas temáticos sejam convertidos de vetor para *raster* em resolução espacial de *pixel* igual, adotando a pior resolução do mapeamento base (MOURA 2007). Logo, os mapas temáticos gerados foram convertidos em *raster* com resolução espacial de *pixel* 28 metros, compatível com a escala do mapa pedológico vetorizado (menor escala do material).

São apresentados, a seguir, os procedimentos utilizados para a geração dos Modelos por meio da Análise Multicritério.

3.2.2. Elaboração dos Modelos pela Análise Multicritério

Com a base digital de dados cartográficos pronta iniciou-se a geração de Modelos a partir da Análise Multicritério. Os Modelos sínteses gerados representam as áreas: a) propícias às enchentes e inundações; b) propícias a deslizamentos de terra; c) de interesse ambiental; d) propícias à ocupação urbana.

A figura 6 exemplifica os mapas temáticos utilizados em cada o Modelo.



Figura 6: Fluxograma dos Modelos elaborados pela Análise Multicritério

Para a álgebra de mapas por meio da Análise Multicriterial a ferramenta utilizada foi a *Weighted Overlay*, que permite a inserção de pesos de 1 até o máximo 9 e influência de 100% na soma de todos os mapas e comparação de, no mínimo, dois a dois mapas, conforme o método de AHP (vide Quadro III, p. 48). As equações utilizadas para a geração dos Modelos teve como base a seguinte fórmula:

$$M = \frac{(INF * MT1) + (INF * MT2) + (INF * MT3) \dots (INF * MT\infty)}{100} \quad (1) \text{ (vide p. 46)}$$

As cores adotadas nas classes das legendas dos Modelos de Sínteses de áreas suscetíveis às enchentes e inundações, assim como de deslizamentos, tiveram como base as classificações de Brasil (2007), conforme as informações apresentadas no quadro IV e quadro V, respectivamente. As cores foram atribuídas após a aplicação do método de validação dos Modelos. Tais métodos estão descritos mais adiante, no tópico

Quadro IV: Classificação dos Graus de Riscos a Inundação

Graus de Risco	Descrição
Baixo	Sistema de drenagem/taludes com baixo potencial a causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos 5 anos).
Médio	Sistema de drenagem/talude com médio potencial a causar danos e média frequência de ocorrência (uma ocorrência significativa nos últimos 5 anos).
Alto	Sistema de drenagem com médio potencial a causar danos e média frequência de ocorrência (uma ocorrência significativa nos últimos 5 anos) envolvendo moradias de alta vulnerabilidade
Muito alto	Sistema de drenagem com alto potencial a causar danos e alta frequência de ocorrência (pelo menos três ocorrências significativas nos últimos 5 anos), envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.

Fonte: Adaptado Brasil (2007, p.109).

Quadro V: Classificação dos Graus de Riscos a Deslizamentos de Terra

Graus de Risco	Descrição
Baixo	Inclinação, tipo do terreno, condicionantes geológico-geotécnicos são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Não se observa sinais de instabilidade.
Médio	Inclinação, tipo do terreno, condicionantes geológico-geotécnicos são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de algum sinal de instabilidade.
Alto	Inclinação, tipo do terreno, condicionantes geológico-geotécnicos são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de sinal significativo de instabilidade.
Muito alto	Inclinação, tipo do terreno, condicionantes geológico-geotécnicos são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de sinais expressivos de instabilidade.

Fonte: Adaptado Brasil (2007, p.64).

O primeiro Modelo síntese gerado foi o de áreas propícias às enchentes e inundações, cuja elaboração foi a partir dos cruzamentos dos mapas: hipsométrico, declividade, uso da terra e *buffer* de 130 metros. A fórmula utilizada para a elaboração do Modelo foi:

$$\frac{(HIP*15)+(DEC*35)+(BUF*35)+(USO*15)}{100} \quad (2)$$

- Onde:
- HIP: Hipsometria, influência 15%;
- DEC: Declividade, influência 35%;
- BUF: Buffer Influência 35%;
- USO: Uso da terra, influência 15%.

Os pesos adotados para a elaboração do Modelo de Sínteses de áreas propícias às enchentes e inundações são descritos na tabela 1.

Tabela 1: Atribuição de Pesos para o Modelo Síntese de áreas propícias às enchentes e inundações

Variáveis	Classes	Pesos
Mapa hipsométrico	900 a 920 metros	5
	920 a 940 metros	3
	940 a 1220 metros	1
Mapa de declividade	0° a 5°	5
	5° a 10°	3
	10° a 65°	1
Uso da terra	Área urbana	5
	Afloramento com vegetação, Mata ciliar, Pastagem, Solo exposto e Vegetação rasteira, Voçorocas	1
<i>Buffer</i>	130 metros	5

Para o Modelo Síntese das áreas propícias a deslizamentos de terra foram utilizados os mapas de uso da terra, declividade e o mapa pedológico, cujas influências estão descritas na fórmula 3 e os pesos atribuídos a cada classe de cada mapa na tabela 2.

$$\frac{(USO*50) + (DEC*30) + (PED*20)}{100} \quad (3)$$

Onde:

- USO: Uso da terra, influência de 50%;
- DEC: Declividade, influência de 30%;
- PED: Pedológico, influência de 20%.

Tabela 2: Atribuição de pesos para o Modelo de Síntese de áreas propícias aos deslizamentos de terra

Variáveis	Classes	Pesos
Uso da terra	Área urbana e voçoroca	5
	Solo exposto	3
	Afloramento com vegetação, Mata ciliar, Pastagem, Vegetação rasteira	1
Declividade	0° a 5°	1
	5° a 10°	3
	10° a 15°	4
	15° a 65°	5
Mapa pedológico	CXbd3, CXbd18, CXbd47 e RLd	5

O Modelo de Interesse Ambiental foi elaborado por meio dos cruzamentos do Modelo Síntese às enchentes e inundações, o mapa de uso da terra e os *buffers* com 50 e 30 metros. A influência de cada documento cartográfico está descrita na fórmula 4 e os pesos para cada classe estão na tabela 3.

$$\frac{(INU*20)+(USO*60)+(BUF*20)}{100} \quad (4)$$

- Onde:

- INU: Síntese às enchentes e inundações, influência 20%

BUF: *Buffers*, influência 20%;

USO: Uso da terra, influência 60%,

Tabela 3: Atribuição de Pesos e Influências ao Modelo de Interesse Ambiental

Variáveis	Classes	Pesos
Síntese às enchentes e inundações	Muito forte	5
	Forte	4
	Médio	3
	Baixo	2
	Muito baixo	1
<i>Buffer</i>	50 m. (nascente) 30 m. (hidrografia)	5
Uso da terra	Mata ciliar, vegetação rasteira	5
	Solo exposto, Plantação, Pastagem,	3
	Voçoroca	
	Área urbana	1

Por fim, o mapa de áreas propícias à expansão urbana foi elaborado por meio dos mapas de declividade, dos *buffers* e uso da terra. Na fórmula 5 apresentam-se as influências dos mapas e na tabela 4 os pesos adotados.

$$\frac{(DEC*30)+(BUF*30)+(USO*40)}{100} \quad (5)$$

- Onde:

DEC: Declividade, influência 30%;

BUF: *Buffer*, influência 30%,

USO: Uso da terra, influência 40%.

Tabela 4: Atribuição de Pesos e Influências ao Modelo de Áreas Propícias a Ocupação Urbana

Variáveis	Classes	Pesos
Declividade	0° a 5° e 25° a 65°	5
	15° a 25°	3
	5° a 15°	1
<i>Buffer</i>	50m. (nascente)	5
	30m. (hidrografia)	5
Uso da terra	Áreas saturadas, APP e ZPMAs	5
	APO	1

Como já discutido, deve-se adotar procedimentos para a validação dos mapas temáticos e dos Modelos de Sínteses. Na investigação relatada nesse TCC os procedimentos para a validação dos documentos cartográficos gerados teve como base as publicações de Moura (2003, 2007, 2012) nas quais é destacada a importância de se realizar análise comparativa dos resultados obtidos com o mapeamento, e os resultados e análises divulgadas em documentos públicos e/ou publicações científicas, assim

como, por meio da coleta de dados primários que possibilite ao pesquisador ampliar seu conhecimento sobre o local e fenômenos modelados. Desta forma, a seguir discorre-se sobre os procedimentos para a validação dos mapas e Modelos de Sínteses gerados.

3.2.3. Validação: aquisição de dados primários e secundários.

Para verificar a veracidade das informações mapeadas e modeladas foram realizados seis trabalhos de campo nos períodos chuvosos, secos e intermediários entre os anos de 2014 a 2015. Em campo, foi realizado registro fotográfico, observação e identificação de fatores naturais e antrópicos que poderiam contribuir para validar os mapas e Modelos. O quadro VI apresenta os aspectos que orientaram as observações.

Quadro VI: Aspectos naturais e artificiais observados em campo.

Fenômeno Modelado	Naturais	Socioespacial
Enchentes e inundações	Margens de rios, encontro de rios, áreas com escoamento rápido e lento, presença de mata ciliar etc.;	Ocupação em margens de rios, redução da capacidade de infiltração das águas naturais, obstáculos artificiais que retêm o escoamento das águas como pontes; descarte inadequado de lixo etc.; situação da infraestrutura para coleta de águas pluviais e fluviais, infraestrutura para coleta de esgoto, retificação de rios, desmatamento da mata ciliar, dentre outros.
Deslizamentos de encostas e erosões	Declividade acentuada, processos de voçorocamentos e erosões.	Retirada da vegetação, ocupação urbana em área com declive acentuado; infraestrutura para coleta de águas fluviais e pluviais etc.
Áreas Ambientais	Margens de rios e nascentes, serras, áreas com processos de voçorocamentos e erosões, dentre outros	Áreas sem uso antrópico (preservação) e/ou com pouco impacto;
Áreas propícias ao crescimento urbano	Sem processos de voçorocamentos e erosões; áreas não muito inclinadas (declive não acentuado) e/ou com pouca inclinação, locais que não são de extravasamentos das águas de um rio; dentre outros.	Áreas próximas ao núcleo urbano principal e que apresente facilidade para a ampliação de rede de drenagem e de esgoto, que não sejam áreas de preservação permanente, dentre outros.

Ainda com o objetivo de validar os Modelos de Sínteses gerados, elaborou-se um questionário¹⁶ contendo 12 questões objetivas sobre os riscos e ocorrências de alagamentos e enchentes que foi respondido por 24 moradores residentes ao longo das margens do Córrego do Lenheiro. Tal questionário teve como objetivo também coletar dados sobre locais com ocorrências de enchentes e alagamentos não registrados pela Defesa Civil do Município. Esses dados foram coletados ainda com o intuito de sinalizar a relação da população com os transtornos causados por Desastres Humanos de Natureza presentes na Bacia do Córrego do Lenheiro.

A coleta de dados secundários para a validação dos Modelos de Síntese incluiu dados da Defesa Civil (2013, 2015), com ênfase nas informações sobre os locais e prejuízos sociais e econômicos ocasionados por Desastres Humanos de Natureza publicados no **Plano de contingência de proteção e defesa civil**, as publicações de Pôssa e Ventorini (2014), Almeida et, al. (2014) e Almeida, Ventorini (2015), Santos, Ventorini e Almeida (2016) e Santos e Ventorini (2016, 2017) e o mapa digital com a setorização dos locais de risco muito alto e alto às ocorrências de enchentes, alagamentos e deslizamentos na cidade de São João del-Rei, elaborado e disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, no *website* <http://cprm.gov.br>.

Apresentam-se, a seguir, os resultados.

¹⁶ Vide Anexo I

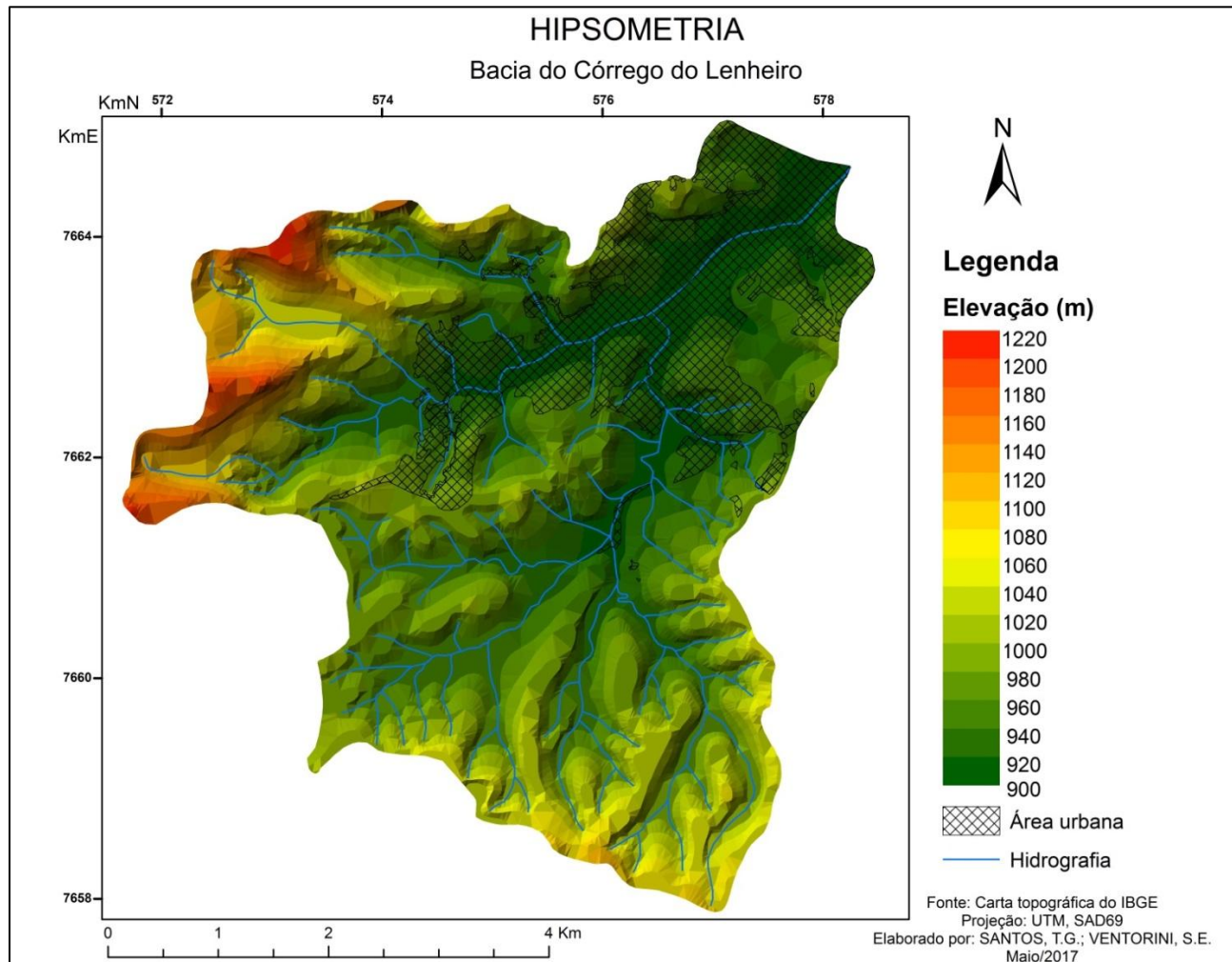
Cap. IV. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Mapeamento da Bacia do Córrego do Lenheiro

A busca por informações para a caracterização da Bacia do Córrego do Lenheiro ocorreu durante todo o período de desenvolvimento da investigação. Desse modo, partiu-se do pressuposto que sua caracterização seria realizada tendo como base o mapeamento, os Modelos de Sínteses e os dados primários e secundários coletados. Ao longo desse capítulo discorre-se sobre tais aspectos da área, ao mesmo tempo em que se apresentam os resultados e as análises.

A base digital de dados cartográficos elaborada a partir de mapas bases e imagens de satélites com multiescalas e multiresoluções possibilitou identificar e analisar aspectos antrópicos e naturais da Bacia do Córrego do Lenheiro, assim como a viabilidade da metodologia de modelagem por meio da Análise Multicritério para a geração de Modelos de Sínteses.

O mapa hipsométrico (mapa 4) aponta a amplitude altimétrica de 320 metros em área da bacia. As menores cotas altimétricas na qual está inserida a área urbana representam a planície fluvial do Córrego do Lenheiro e de seus afluentes, com cotas < 940 metros, onde, em períodos de grandes precipitações os afluentes percorrem seus trajetos naturais e desaguam no Córrego do Lenheiro contribuindo para o extravasamento do nível de suas margens plenas, ocasionando enchente e inundações na área urbana localizadas nas margens do Córrego. A figura 7 ilustra construções urbanas localizada nas margens do Córrego.



Mapa 4: Mapa hipsométrico da Bacia do Córrego do Lenheiro



Figura 7: Ocupação na área de várzea do Córrego do Lenheiro
Fonte: Acervo do autor

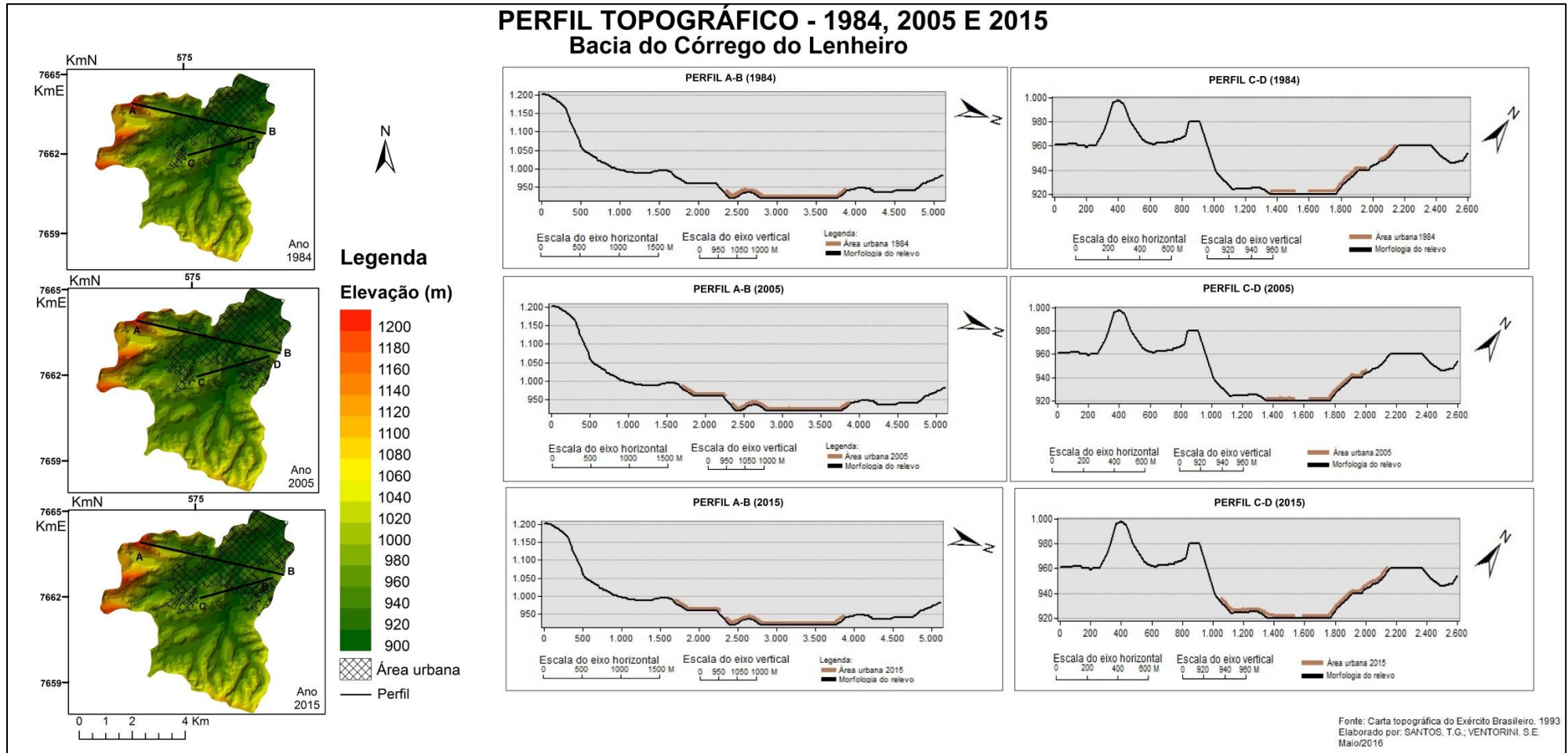
A saturação da ocupação nas menores cotas altimétricas (< 940 metros) e a proximidade do núcleo principal condiciona a expansão urbana em sentido às cotas mais elevadas e em bairros tradicionais como o Tijuco, como foi possível observar em campo (figura 8).



Figura 8: Bairro Tijuco - saturação urbana nas cotas altimétricas com menor valor e expansão urbana em direção as cotas altimétricas mais elevadas
Fonte: Acervo do autor

O perfil topográfico (mapa 5) ilustra o corte transversal do processo de ocupação das menores cotas no sentido das maiores altitudes. No período entre 1984 a 2015 a área urbana do Perfil A/B sentido Noroeste/Sudeste, mostra a expansão na direção das vertentes, no sentido Noroeste.

PERFIL TOPOGRÁFICO - 1984, 2005 E 2015 Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 5: Perfil topográfico da Bacia do Córrego do Lenheiro - Cenários urbanos de 1984, 2005 e 2015

Já o Perfil C/D sentido Sudeste/Noroeste, cujo corte transversal perpassa pelo vale no qual o curso do Córrego do Rio Acima corre, indica que o processo de expansão urbana também ocorreu em sentido às altitudes maiores como o caso da porção Sudeste (SE) da área urbana representada pelo sentido Sudoeste, e a consolidação da ocupação urbana no sentido Nordeste.

Em períodos de precipitação a dinâmica natural da bacia somada à impermeabilização do solo acelera o escoamento das águas superficiais que podem ser acumuladas em pontos específicos, como por exemplo, as planícies fluviais. O Mapa 6 a indica Classificação de Strahler os Perfis Longitudinais do Córrego do Lenheiro (A/B) e do Córrego do Rio Acima (C/D/B) onde ambos escoam no sentido Nordeste.

Segundo a classificação de Strahler, a Bacia do Córrego do Lenheiro possui ordem 5¹⁷. As análises dos perfis indicam que, entre 1984 a 2015, o processo de ocupação das áreas de várzea se consolidou em cotas altimétricas inferiores a 950 metros no sentido SW (vide Perfil A/B), e a expansão urbana ocorreu na planície cuja cota altimétrica é de 920 metros (vide perfil C/B/D). As observações em campo apontam que nestas áreas, além da expansão urbana citada, houve o processo de adensamento populacional principalmente no ano de 2015.

O mapa de declividade (mapa 7) indica áreas com declividades entre 50° a 65° próximas ao divisor de águas da bacia na porção Leste, onde está localizada a Serra do Lenheiro e as maiores altimetrias, vertentes íngremes onde a amplitude altimétrica é de 40 metros (1160 metros a 1200 metros). As declividades entre 25° a 15° são caracterizadas por relevos com suaves ondulações onde as cotas altimétricas indicam áreas < 1060 metros e > 1020 metros localizadas principalmente na porção Sul e Nordeste da bacia.

Já as menores declividades entre 2° a 10° correspondem, principalmente, em áreas da planície fluvial do Córrego do Lenheiro e o Córrego do Rio Acima, nas quais as cotas altimétricas são < 960 metros.

Parte significativa da área urbana está inserida em declividades entre 0° e 5° de inclinação representada pelas áreas de várzea do Córrego do Lenheiro e Córrego do Rio Acima. Este fato contribui para o escoamento superficial lento que, somado à

¹⁷ Classificação baseada em uma carta topográfica de escala 1:50.000.

quantidade de águas que desaguam nesse trecho devido à impermeabilização das áreas mais elevadas e da precária infraestrutura para a coleta dessas águas, intensificam as suscetibilidades de ocorrências de enchentes e inundações.

O mapa de uso da terra (mapa 8a) aponta a ausência de mata ciliar ao longo do Córrego do Lenheiro, áreas significativas de vegetação rasteira na porção Sul e Sudeste e pastagem na porção Centro-Oeste. Na porção Noroeste encontram-se as áreas de afloramento com vegetação onde está inserida a Serra do Lenheiro e ao entorno da área urbana, estão inseridos as áreas de plantação e solo exposto. O gráfico (figura 9) quantifica as classes mapeadas no mapa de uso da terra.



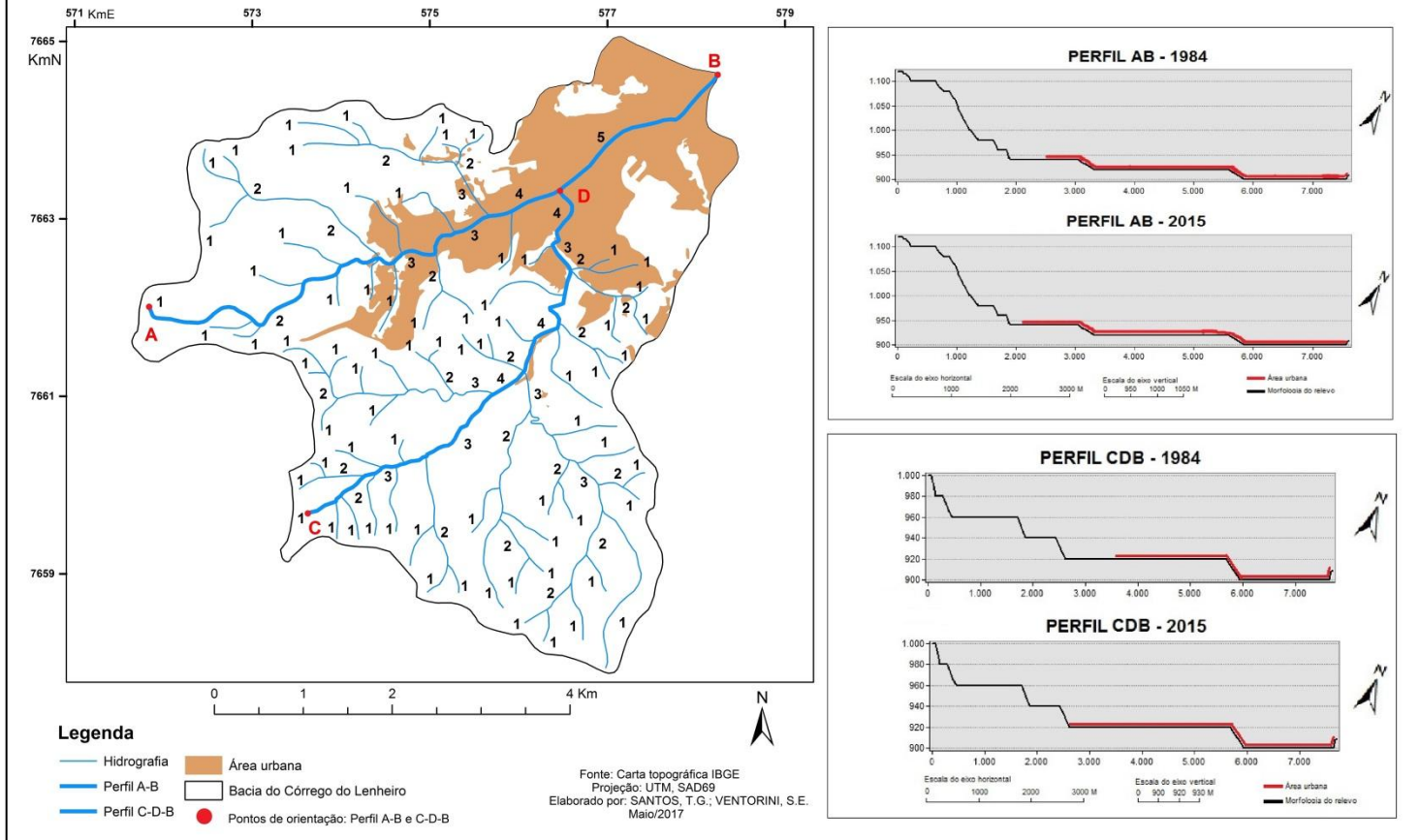
Figura 9: Classes mapeadas segundo o mapa de uso da terra.

A área total da bacia é de 27,592 km² composta por 5,987 km² de Área Urbana, 5,302 km² de Afloramento com vegetação, 3,615 km² de Mata ciliar, 2,975 km² de Pastagem, 0,292 km² de Plantação, 0,748 km² de Solo exposto e 8,738 km² de Vegetação rasteira.

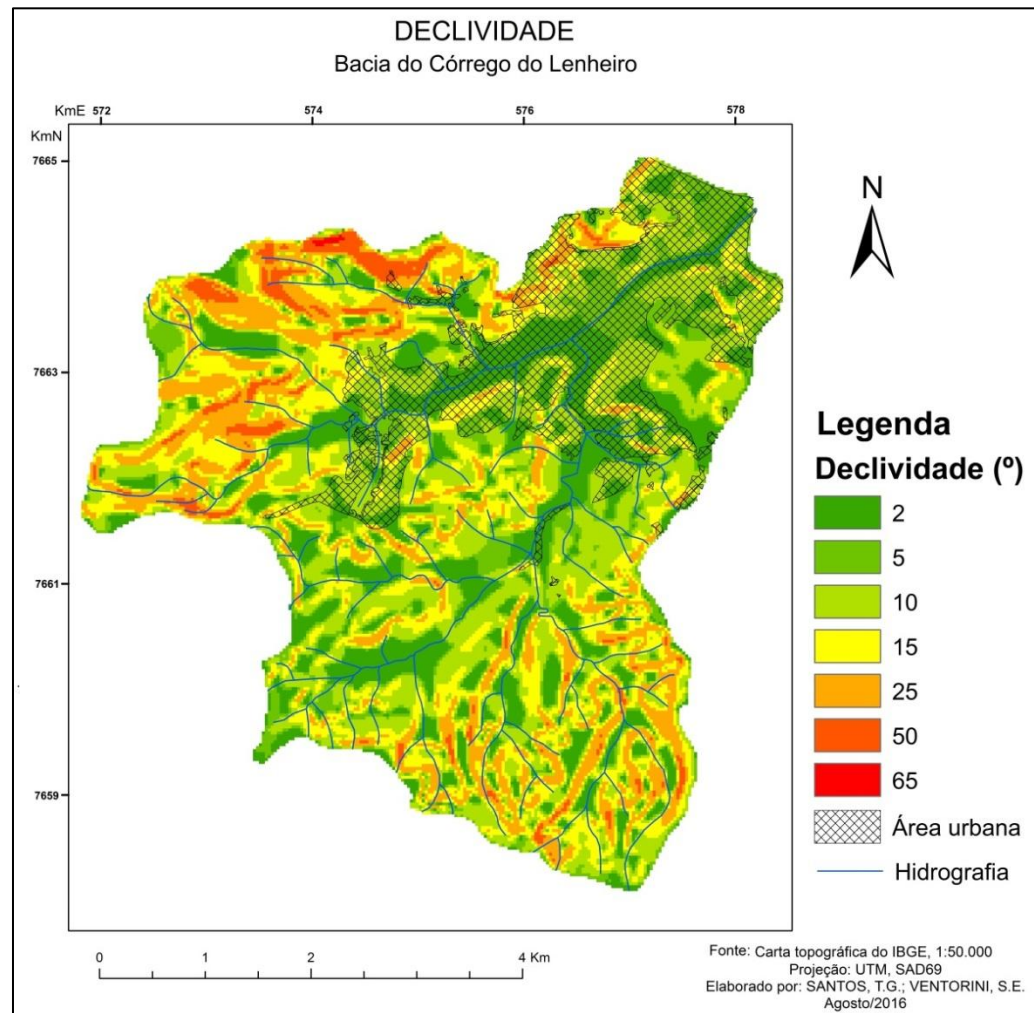
Os buffers (mapa 8a) conforme a Lei 12.651(vide p. 55) indica a ausência de mata ciliar ao longo do trecho onde esta inserida a área urbana, a preservação mais significativa é encontrada na porção Sul, onde a presença das áreas de mata ciliar é mais significativa nos afluentes do Córrego do Lenheiro.

HIERARQUIA DA BACIA E PERFIS LONGITUDINAIS

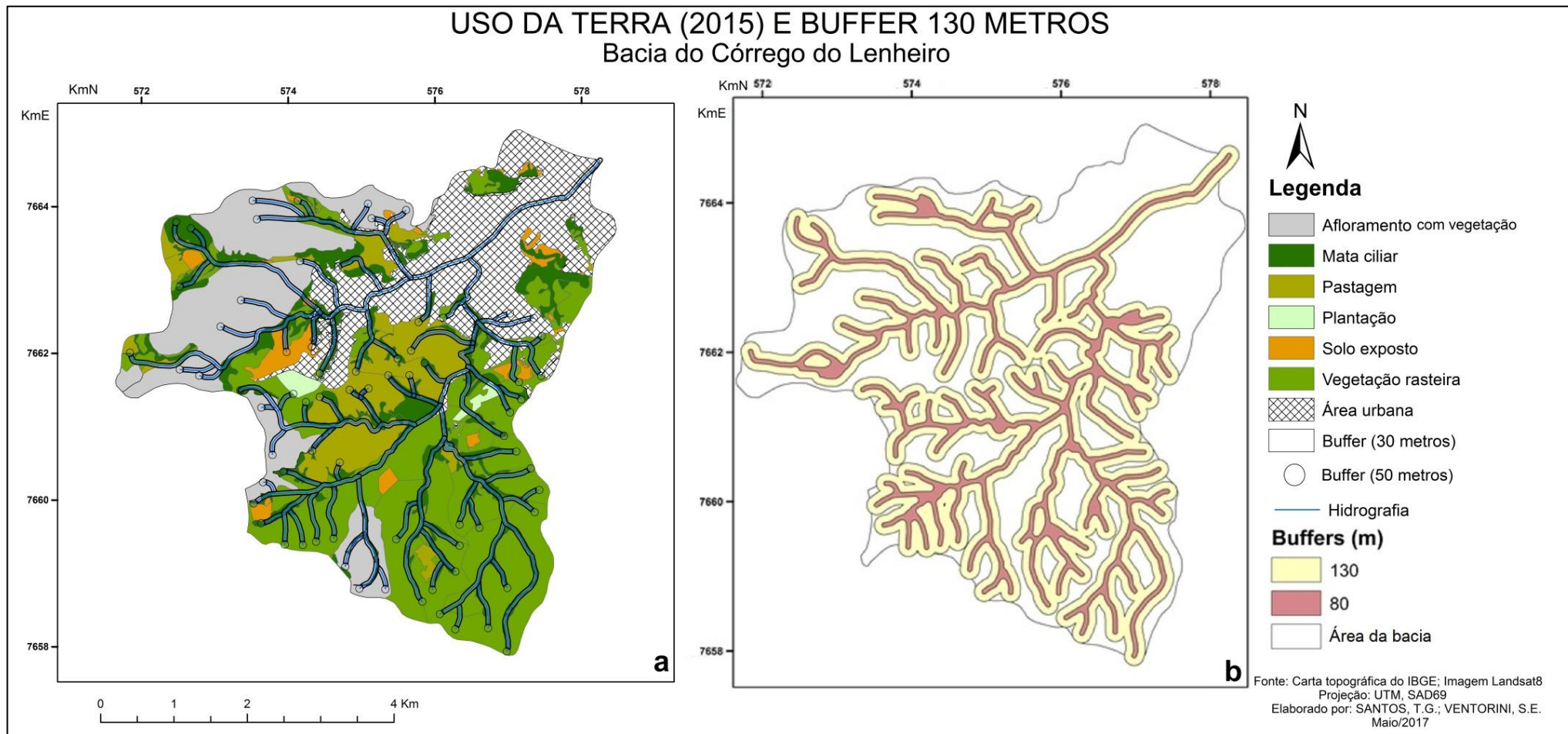
Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 6: Classificação de Strahler e Perfis Longitudinais da Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 7: Mapa de declividade da Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 8: Mapa de uso da terra da Bacia do Córrego do Lenheiro (a) e buffer de 130 metros (b)

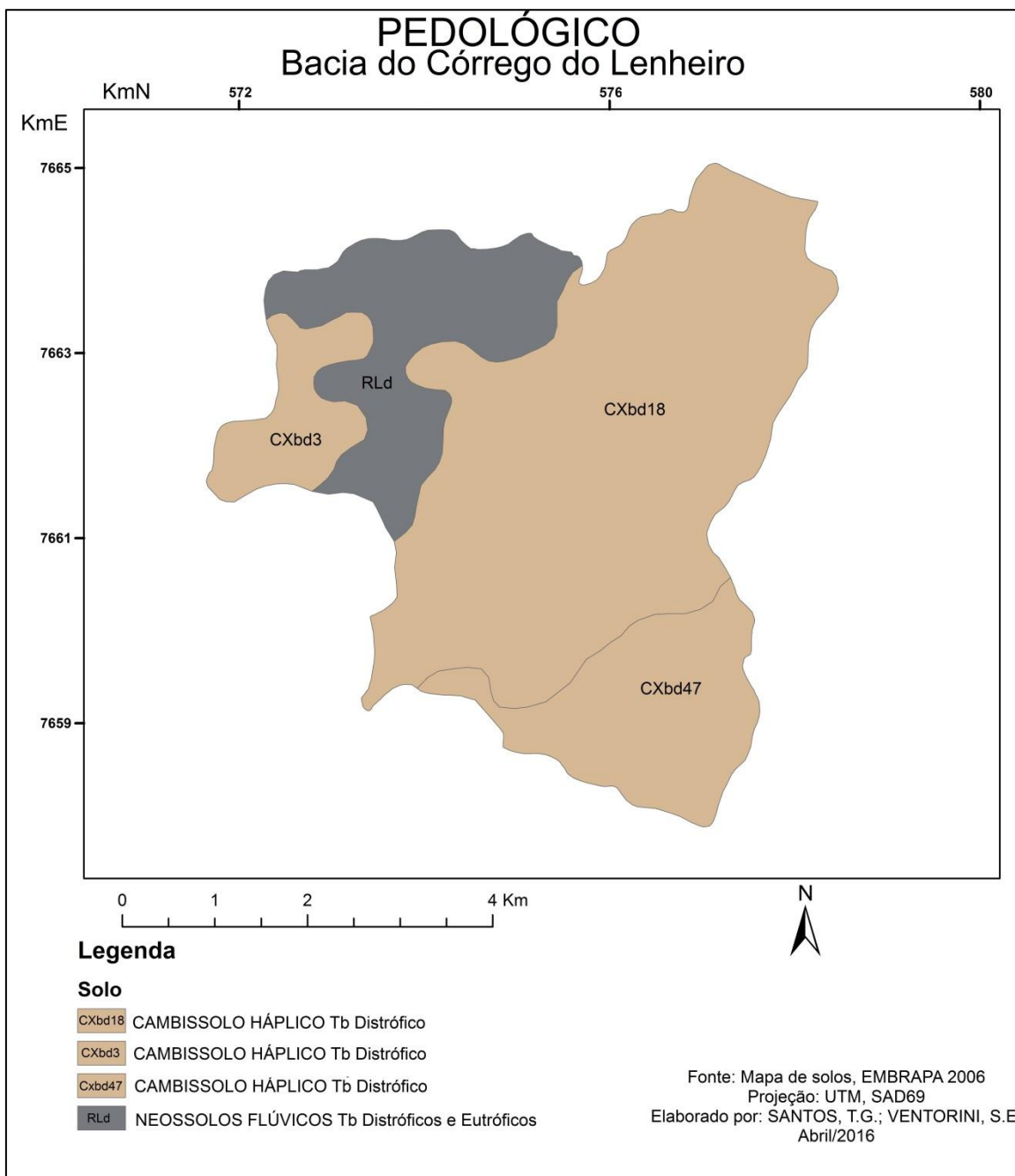
A preservação da Serra do Lenheiro conforme determina a constituição brasileira, reforça a importância de se preservar as áreas de APP neste local. O mapa ainda indica a presença de uma nascente em área de solo exposto, localizado próxima a área urbana da Bacia do Córrego do Lenheiro.

Os buffers (mapa 8b) refere-se as áreas atingidas pelos Desastres Humanos de Natureza de acordo com o PCPDC (DEFESA CIVIL, 2015) confirmadas pelos trabalhos de campo e aplicação de questionários. O buffer representa as áreas de 80 metros em relação aos canais fluviais, distância esta, correspondente às áreas atingidas pelas inundações, e 50 metros em relação à primeira área, com objetivo de delimitar um limite máximo (condicionados pela topografia) das áreas possíveis a serem atingidas pelas inundações, totalizando a distância euclidiana total 130 metros. A análise do (mapa 8ab) aponta a importância da preservação das áreas de APP no que se refere à mitigação dos Desastres classificados como Desastres Humanos de Natureza e Desastres súbitos (TOMINAGA, 2009; SANTOS, VENTORINI, ALMEIDA, 2016; SANTOS, VENTORINI 2017 no prelo).

O mapa pedológico (mapa 9) da Bacia do Córrego do Lenheiro indica a presença de quatro tipos de solos sendo que, as classes CXbd3, CXbd18 e CXbd47 representam Cambissolo Háplico e a classe RLd o Neossolo Flúvico, todos indicando suscetibilidade à processos erosivos (EMBRAPA, 2006).

A escala do mapa base (1:250.000) para a geração do mapa pedológico da Bacia não é adequada para responder as necessidades de planejamento local, principalmente no que se refere aos graus de suscetibilidades aos processos erosivos. No entanto, este não é um problema somente da pesquisa relatada nesse TCC, mas de nível nacional, conforme destaca Santos (2012, p. 108):

O Brasil é um país de dimensões continentais e apresenta uma diversidade de classes de solos em todo o seu território, somando essas variáveis naturais, a atividade em maior destaque na economia do país a séculos - a agricultura-, é mais do que nítido a necessidade de mapeamentos de solos com escalas compatíveis a realidade local/regional. Os mapeamentos hoje disponíveis se apresentam aceitáveis como ferramentas para o planejamento territorial, zoneamentos e para análise da dinâmica da paisagem nacional, mas não respondem as necessidades locais, no que diz respeito às informações de maiores detalhes, relacionadas principalmente ao uso e manejo dos solos.



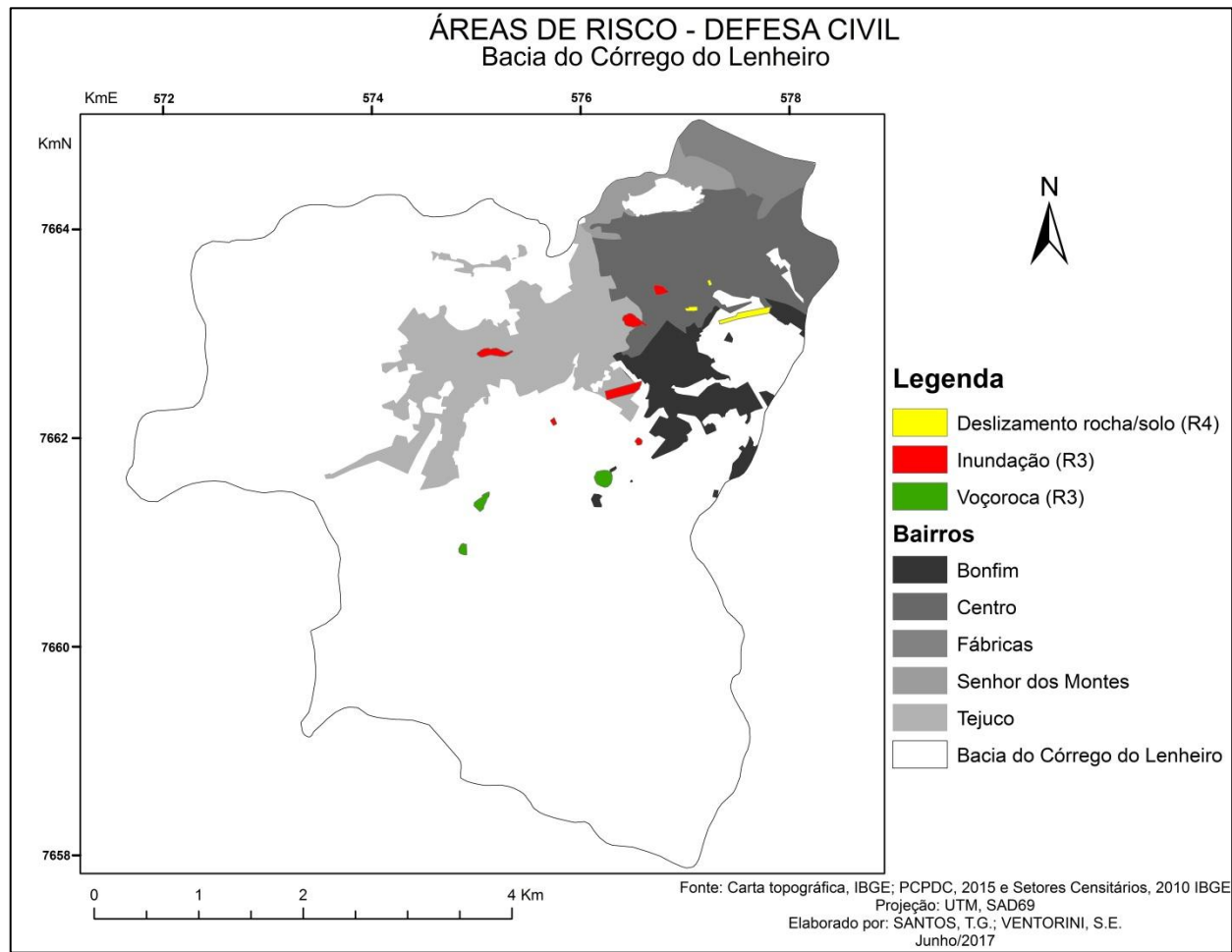
Mapa 9: Mapa pedológico da Bacia do Córrego do Lenheiro

O autor ressalta, ainda, que há uma demanda dos pesquisadores brasileiros de áreas distintas por mapas pedológicos com escalas maiores. A realização desse mapeamento demanda tempo longo, quantidade significativa de recursos financeiros e recursos humanos especializados. Por isso, geralmente empresas privadas, relacionadas, quase sempre, ao agronegócio são quem realizam tais mapeamentos em locais específicos (SANTOS, 2012).

As publicações de Pôssa e Ventorini (2014, 2015), Almeida e Ventorini (2014), Ventorini, Pôssa e Almeida (2016) e Maus et. al. (2014) mostram que não se deve ignorar as informações dos mapas pedológicos da Embrapa (2006), mesmo em escala pequena para a análise urbana. As investigações desses autores apontam diversos processos erosivos em bairros localizados na cidade de São João del-Rei, dentre esses, bairros inseridos na área da Bacia do Córrego do Lenheiro, como Tijuco, parte do Senhor dos Montes e Guarda-Mor.

A análise do PCPDC (DEFESA CIVIL, 2015) também mostra locais com processos erosivos na área da Bacia nos bairros indicados pelos autores. O mapa 10 apresenta as áreas com ocorrências de deslizamentos de vertentes e erosões mapeadas pela Defesa Civil (2015). Além disso, dados coletados em campo também confirmam processos erosivos na área da Bacia, conforme ilustra a figura 10.

Dessa forma, concorda-se com os autores supracitados que apesar da escala inadequada do mapa suas informações não devem ser ignoradas na análise de áreas propícias aos Desastres. Em sua utilização, principalmente na geração de Modelos de Sínteses deve-se considerar a generalização das tipologias dos solos. Tal critério foi considerado na pesquisa relatada nesse TCC.

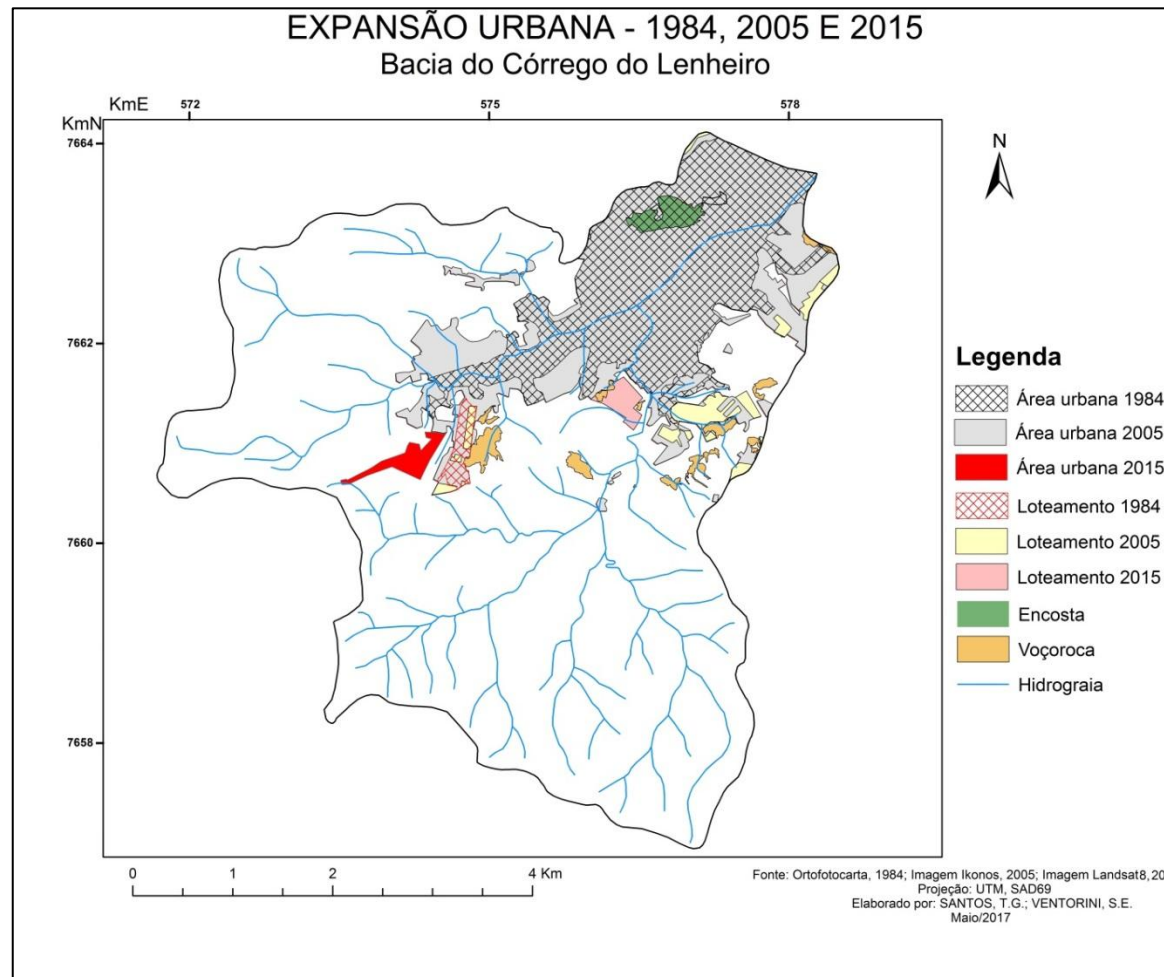


Mapa 10: Mapa das áreas de riscos segundo a Defesa Civil
Fonte: PCPDC (DEFESA CIVIL, 2015)



Figura 10: Processos erosivos na Bacia do Córrego do Lenheiro - Vista para os prédios do programa "Minha casa, minha vida"
Fonte: Acervo do autor

A análise do mapa de expansão urbana (mapa 11) aponta a expansão e o adensamento populacional da área urbana nas margens do Córrego do Lenheiro e afluentes entre 1984 a 2005. Os dados coletados junto à prefeitura apontam a regularização dos loteamentos próximos às voçorocas no período de 2005 a 2015. Embora o cenário de 2015 aponte para uma pequena expansão urbana quando comparada com os cenários de anos anteriores, as observações em campo e a análise das imagens de satélites indicam intenso adensamento urbano. A análise dos padrões de moradia mostra mais de uma residência no mesmo lote. Popularmente conhecido como “puxadinho”, o dono do lote amplia o número de residências no mesmo espaço para fornecer moradia para as famílias de parentes (filhos, pais, sobrinhos etc.).



Mapa 11: Mapa da expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro

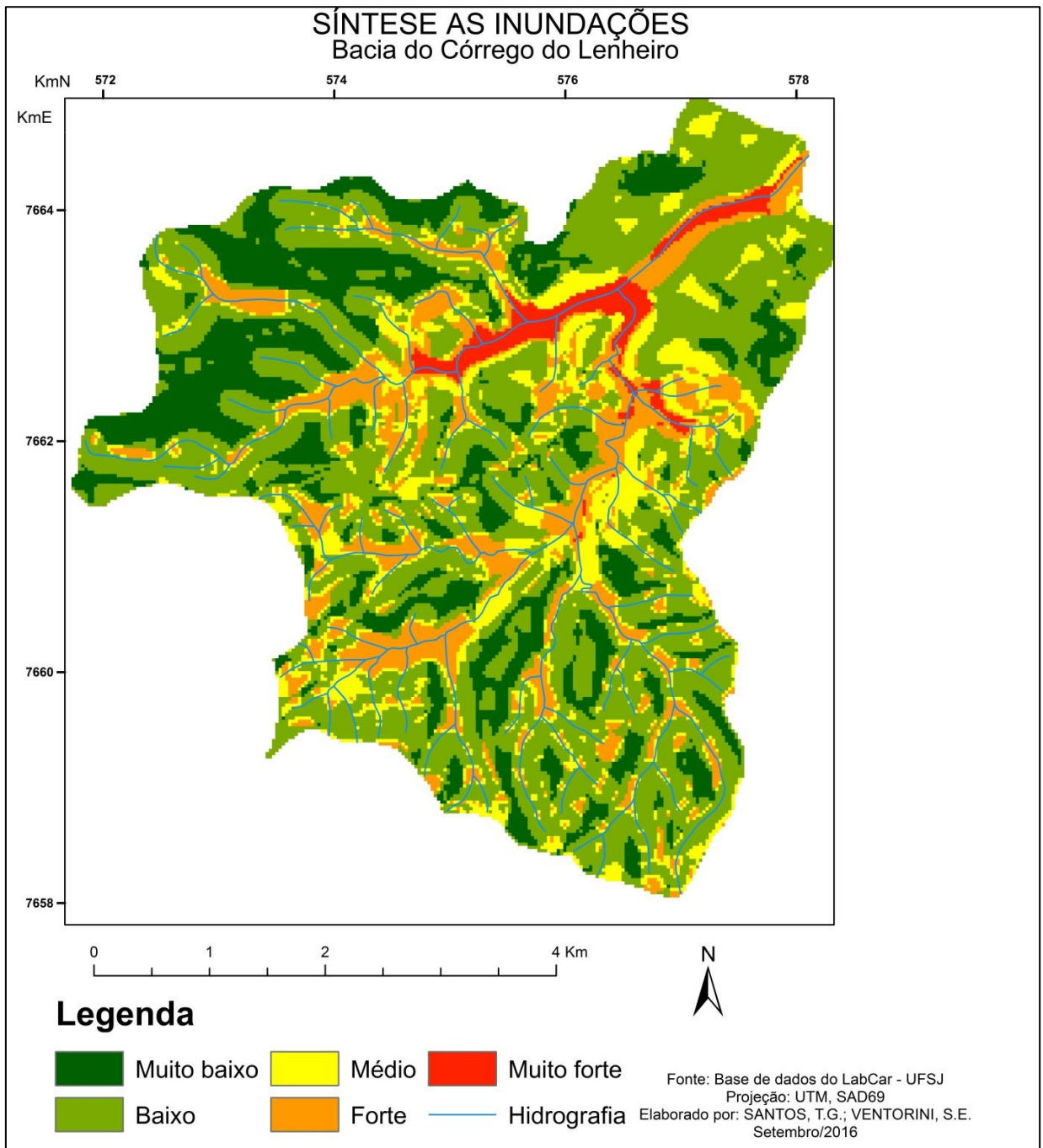
Os resultados e análises apresentados validam os mapas temáticos elaborados. A seguir apresentam-se os resultados e análises da modelagem a partir do uso da Análise Multicritério.

4.2. Análise multicritério: Modelagem da Bacia do Córrego do Lenheiro

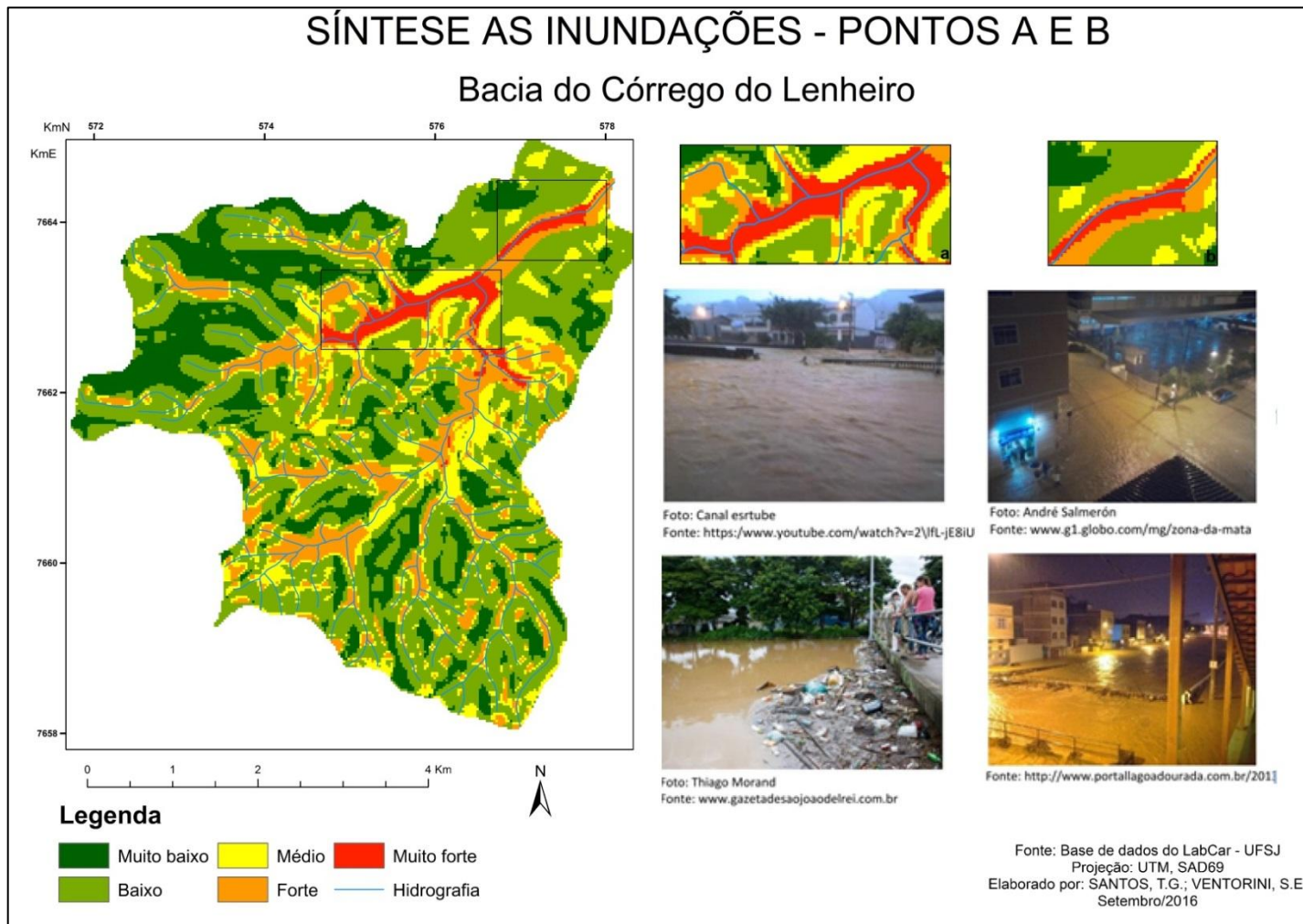
Como já destacado, o modelo de síntese das áreas propícias às enchentes e inundações foi realizado pela álgebra dos mapas hipsométrico, declividade, uso da terra e *buffers*. A legenda obtida na escala de 1 a 5 correspondem: “1 – Muito baixo”; “2 – Baixo”; “3 – Médio”; “4 – Forte” e “5 – Muito forte” à suscetibilidade de ocorrências de enchentes e alagamentos. O mapa 12 apresenta o modelo e o mapa 13 o modelo com destaque a locais que orientam as discussões a seguir.

O ponto A destacado no mapa 13 corresponde à região do Bairro Tijuco, na área de confluência do Córrego do Lenheiro com o Córrego do Rio Acima. O processo de ocupação irregular das áreas de várzea do Córrego do Lenheiro e o descarte incorreto de resíduos nos rios potencializam os Desastres Humanos de Natureza. O PCPDC ressalta que o Córrego do Lenheiro atua como barragem do Córrego do Rio Acima, desse modo, o segundo ao encontrar-se com o primeiro, extravasa o nível das águas em seu canal fluvial e agrava as inundações neste ponto. O nível das águas neste ponto varia de um a dois metros nas residências (DEFESA CIVIL, 2015).

O ponto B representa a região do bairro Fábricas, próximo à Avenida Leite de Castro, uma das principais vias de acesso entre os extremos da cidade Nordeste/Sudoeste. As áreas de várzea foram densamente ocupadas e, assim como no ponto A, o descarte incorreto de resíduos sólidos potencializa os fenômenos. Segundo o PCPDC, em momentos de enchentes e inundações o nível das águas pode chegar a pouco mais de um metro dentro das residências (DEFESA CIVIL, 2015).



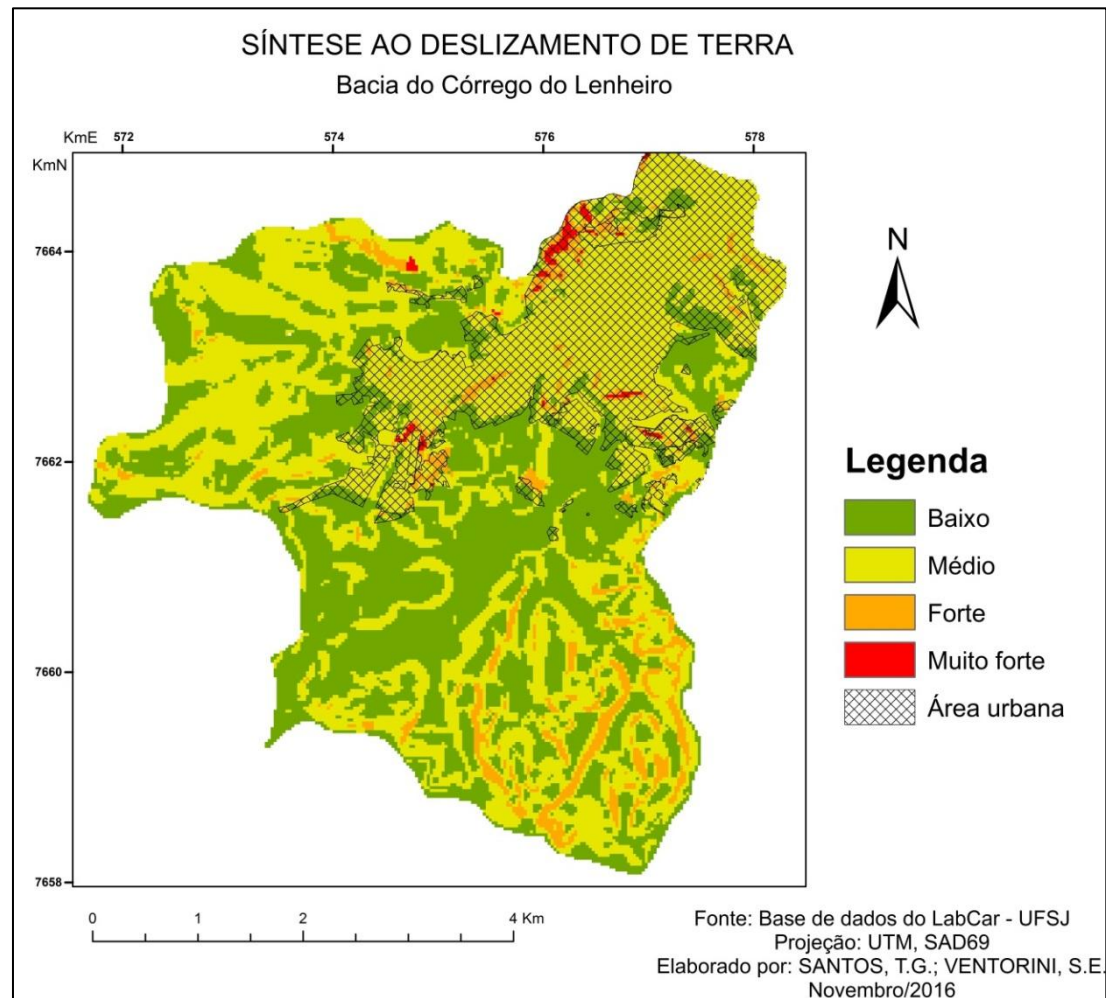
Mapa 12: Modelo síntese às inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 13: Mapa síntese as inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro - Pontos A e B

O modelo de áreas propícias a deslizamento de terra (mapa 14) apresenta a legenda correspondente a “2 – Baixo”; “3 – Médio”; “4 – Forte” e “5 – Muito forte”. As áreas de baixo a muito forte potencial para a ocorrência de deslizamentos de terra. As áreas de baixo potencial representam parte significativa das classes referentes à pastagem de acordo com o mapa de uso da terra. Essas áreas são caracterizadas por baixa altimetria (960 metros a 1000 metros) e declividade entre 5° a 25°. As áreas de médio potencial correspondem às altas declividades, principalmente próximo a Serra do Lenheiro, representada pelos afloramentos com vegetação. Ressalta-se que apesar do mapa pedológico possuir escala inadequada os resultados indicam áreas suscetíveis a processos erosivos que merecem atenção dos órgãos públicos.

Já as áreas de forte e muito forte potencial são representadas pelas maiores cotas altimétricas e, coincidentemente, maiores declividades. Verifica-se a presença de voçorocas e processos de ravinamento próximo aos bairros Tijuco, Senhor dos Montes e Vila Belizário, além de processos erosivos em novos loteamentos e danificações do asfalto, onde é possível observar a presença de ravinamento nas vias pública. Fatos estes observados em campo e por meio da imagem do satélite *Ikonos* de 2005, cuja resolução espacial é de 1 metro.



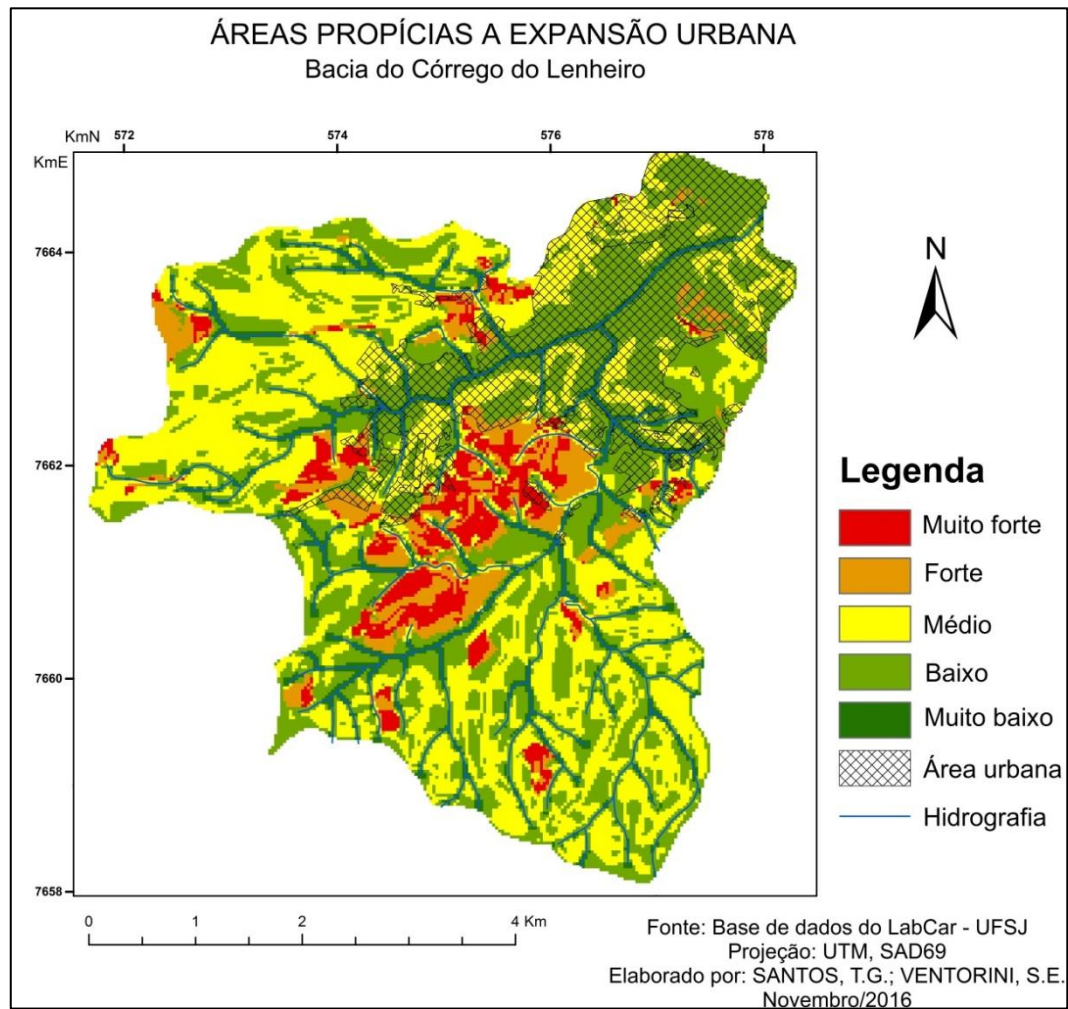
Mapa 14: Modelo síntese aos deslizamentos de terra na Bacia do Córrego do Lenheiro

O modelo de áreas propícias à expansão urbana (mapa 15) indica as áreas: muito baixo e baixo para a área urbana já consolidada e ao longo dos afluentes do Córrego do Lenheiro, onde estão localizadas as matas ciliares. A Lei nº 6.766/79 que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano prevê no Art. 3º, Parágrafo único, Inciso I que não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeito a inundações, fato que reforça a necessidade de preservação e planejamento das áreas de APP. As áreas consideradas de médio grau de ocupação correspondem às áreas onde estão localizadas principalmente as áreas de pastagem e solo exposto.

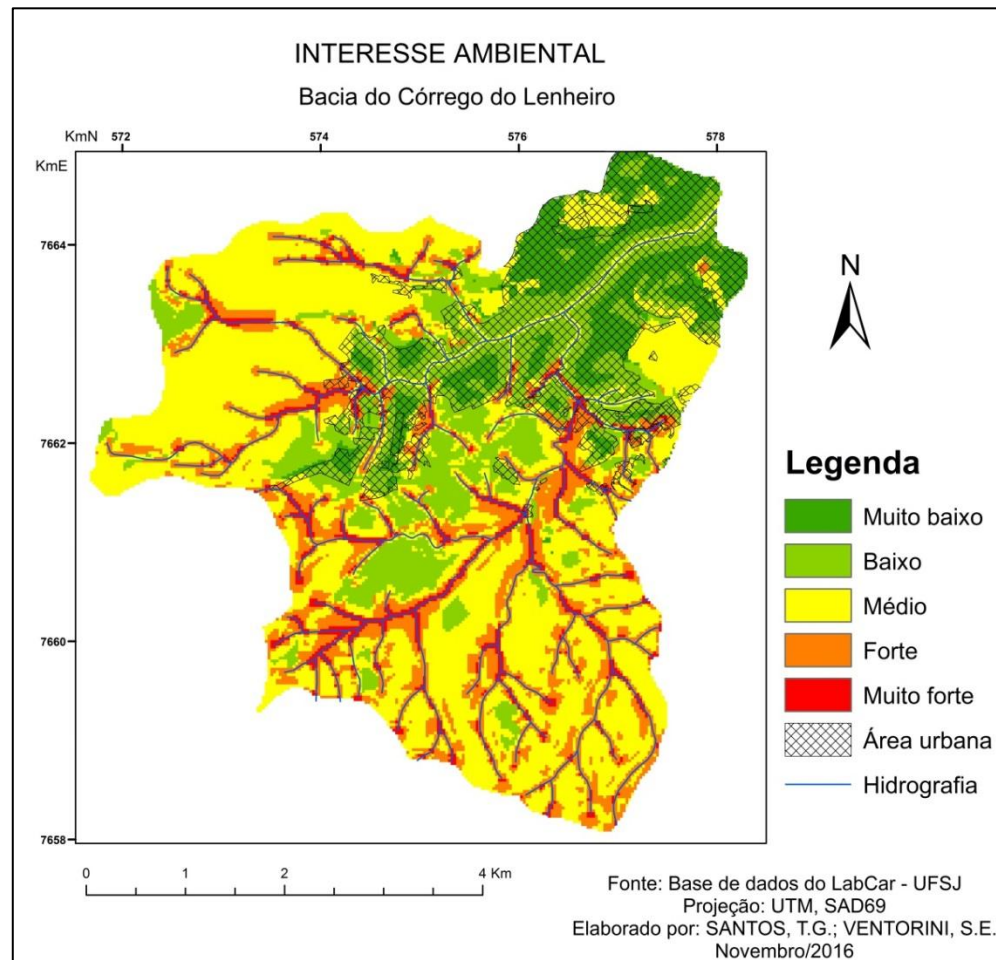
Nota-se que nas imediações da Serra do Lenheiro a indicação de grau médio nas áreas de interesse ambiental tem como base as variáveis classificadas e utilizadas para a elaboração deste modelo como, por exemplo, o mapa de uso da terra com a classe afloramento com vegetação. No entanto, a Serra do Lenheiro por lei é uma área de APP, o que impede o processo de ocupação segundo a legislação brasileira.

Já as áreas representadas por forte e muito forte correspondem às áreas propícias à expansão urbana mediante os estudos geotécnicos que possa permitir a ocupação urbana de maneira adequada. Tais investigações **são de extrema importância** considerando que nos trabalhos de campo foram verificados processos erosivos como ravinas e voçorocas. Conforme discutido anteriormente, ressalta-se a escala inadequada do mapa pedológico (1:250.000) ao planejamento urbano onde as classes mapeadas generalizam a realidade local de uma área pequena.

O modelo de interesse ambiental (mapa 16) indica grau de interesse muito forte e forte nas áreas onde há maior necessidade de preservação, como o caso das matas ciliares e o entorno dos cursos hídricos que não foram ocupados, localizada com maior expressão na porção Sul e Noroeste (Serra do Lenheiro). O grau de interesse baixo e muito baixo corresponde à área urbana já consolidada e às áreas onde as declividades variam entre 10° a 15°. Salienta-se que neste mapa foi considerada as áreas não degradadas (área urbana) e que por lei devem ser preservadas.



Mapa 15: Modelo síntese as áreas propícias à expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro



Mapa 16: Modelo síntese de interesse ambiental na Bacia do Córrego do Lenheiro

Nas áreas de médio interesse, principalmente aquelas na porção Oeste e Noroeste onde está localizada a Serra do Lenheiro o resultado obtido refere-se ao processo de álgebra de mapas, no entanto, tal área possui proteção garantida por lei. Os resultados indicam ainda que a área propícia à expansão urbana apresentada no mapa 15 corresponde à área de baixo a muito baixo interesse ambiental, fato que reforça a proposta de expansão urbana tendo como base critérios técnicos e científicos de estudos geotécnicos.

Ao analisar a área adequada à expansão urbana o grau de suscetibilidade aos riscos de Desastres Humanos de Natureza varia entre baixo e médio. Destaca-se que em ambientes naturais o limite rígido expresso pelas delimitações geradas nos modelos como, por exemplo, o grau de suscetibilidade aos Desastres Humanos de Natureza podem tanto ultrapassar como recuar em relação às indicadas no mapa. Desse modo, os modelos **não** podem ser adotados como **verdades absolutas**, mas como apoio ao planejamento e gestão dos espaços urbanos e de investigações sobre os graus de variações de suscetibilidades de ocorrências dos Desastres Humanos de Naturezas.

Os resultados e análises apontados até o momento foram validados e apresentados nas discussões até o momento tomando como base os dados e análises apresentados a seguir.

4.3. Análises gerais da Bacia do Córrego do Lenheiro

A ocupação urbana em área da Bacia do Córrego do Lenheiro ultrapassa três séculos e, desde seu início, foi marcada por degradação ambiental e precário planejamento e gestão do espaço urbano. O processo de degradação do Córrego do Lenheiro, por exemplo, a rede de esgoto voltada para o leito do Córrego principal se potencializou na medida em que a ocupação urbana foi se consolidando. Ressalta-se que neste período não havia leis que condicionassem o planejamento urbano do município de maneira adequada fato que contribuiu para a ampliação da cultura de lançamento do esgoto direto das casas para o Córrego (MALDOS, 2000; SANTOS; VENTORINI, 2016; SACRAMENTO, sd.).

A origem secular da informalidade e a desorganização na produção do espaço urbano na Bacia do Córrego do Lenheiro gerou, ao longo dos anos, zonas com condições sanitárias precárias. Em muitas residências não há sistema adequado de coleta de esgoto e este é lançado *in natura*, direto das casas para o Córrego do Lenheiro, conforme mostra a figura 11. Fatos que contribuem para odores fortes, acúmulos de lixo, presenças de roedores e insetos, como a proliferação de doenças.



Figura 11: Lançamento de esgoto *in natura* no Córrego do Lenheiro
Fonte: Acervo do autor

Com base na discussão teórica sobre as ocorrências de Desastres apresentadas no capítulo 1 (p. 23) é possível afirmar que os fenômenos ocorrentes na Bacia do Córrego do Lenheiro podem ser classificados quanto à sua intensidade pelos níveis II e III, cujas características variam entre Desastres de Médio e Grande porte, respectivamente, onde os danos econômicos causados nas áreas afetadas podem ser recuperados por meio de recursos financeiros oriundos dos setores públicos (municipais, estaduais e federais). No entanto, a reconstrução das áreas danificadas pode demorar devido à escassez de recursos municipais e/ou repasse de verba do governo Estadual ou Federal especificamente para este fim. Dessa forma, as prefeituras enfrentam o desafio de elencar os locais prioritários para reconstrução de pontes, limpezas de ruas etc.

Entretanto, os danos referentes às perdas de vida podem ser classificados pelo nível IV, onde os prejuízos causados pelos Desastres não são superáveis e modifica o contexto social das famílias afetadas. A Evolução dos Desastres (vide cap. I, p. 26) na área pode ser classificada como Desastres Súbitos devido à rápida velocidade em que os processos ocorrem, como o caso dos frequentes Desastres Humanos de Natureza

(inundações) cuja interferência antrópica potencializa tais fenômenos (CASTRO, 1998; TOMINAGA 2009).

De acordo com a classificação do grau de risco à inundação e proposta pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) (vide quadros IV e V p. 58-59) a Bacia do Córrego do Lenheiro é considerada como uma área de risco muito forte, devido às ocorrências registradas pelo PCPDC (DEFESA CIVIL, 2013, 2015), como parâmetro de pelo menos três ocorrências nos últimos 5 anos. O quadro VII apresenta os registros das ocorrências de Desastres Humanos de Natureza na Bacia do Córrego do Lenheiro.

Quadro VII: Ocorrências De Desastres Registradas Na Bacia Do Córrego Do Lenheiro

Data	Área afetada (bairros¹⁸)	Causas	Danos humanos	Danos Materiais	Prejuízo econômico (US\$)
31/03/2001	Tijuco	Enxurradas com inundações bruscas	254 pessoas desalojadas	80 residências danificadas e destruídas 01 prédio público de saúde 14 pontes danificadas e destruídas Estradas, vias urbanas danificadas e destruídas	245.845, 73 (Cotação em R\$2,21)
26/02/2004	Tijuco	Enchente com inundação gradual	140 pessoas desalojadas 1.149 pessoas afetadas	400 residências danificadas 14 pontes danificadas e destruídas Estradas e vias urbanas danificadas e	713.745,78 (Cotação em R\$ 2,93)

¹⁸ As informações referentes as áreas afetadas foram adaptadas onde destacamos somente os bairros inseridos na Bacia do Córrego do Lenheiro

			destruídas		
21/01/2007	Tijuco, Centro, Bonfim, Senhor dos Montes,	Enxurradas com inundações bruscas	71 pessoas desalojadas 07 pessoas desabrigadas 2.908 pessoas afetadas 01 pessoa desaparecida 01 óbito	15 residências danificadas e destruídas 03 prédios públicos de saúde 08 pontes danificadas e destruídas Estradas e vias urbanas danificadas e destruídas	98.722,38 (Cotação em R\$ 2,13)
07/02/2007	Tijuco e Centro	Enxurradas com inundações bruscas	18 pessoas desalojadas 840 pessoas afetadas	01 residência danificada	Prejudicado tendo em vista confecção da documentação do sinistro anterior
09/01/2012	Guarda-Mor, Tijuco, Senhor dos Montes e Bonfim	Enchentes e inundações graduais Deslizamentos	143 pessoas desalojadas 02 pessoas desabrigadas 2.218 pessoas afetadas	18 residências danificadas 07 imóveis comerciais danificados 12 pontes danificadas e destruídas Estradas, vias urbanas, rede de distribuição de água e rede de captação de esgoto sanitário danificadas	1.507.897,73 (Cotação em de 1,84)

Fonte: Adaptado do PCPDC 2013 (DEFESA CIVIL, 2013)

Os prejuízos causados em São João del – Rei perpassam também por aspectos demográficos no que se refere ao número de atingidos em relação ao número de habitantes. Toma-se como exemplo os municípios de São João del – Rei e Rio de Janeiro.

Com base no Censo de 2010 (IBGE, 2010) a população de São João del – Rei era de 84.469 habitantes e a do Rio de Janeiro 6.235.997 habitantes, cuja a diferença populacional é de 6.151.528 habitantes (aproximadamente 79 vezes maior). Em um Desastre com capacidade de atingir 2.000 pessoas em ambas as cidades os efeitos refletem em aproximadamente 0,03% da população carioca e 2,3% da população são-joanense. A discrepância dos valores ressalta a importância de minimizar os efeitos causados pelos Desastres em qualquer cidade. No estado de Minas Gerais, segundo dados do Censo (IBGE, 2010) dos 853 municípios mineiros 787 possuem população inferior a 50.000 habitantes. Esse fato somado à ocorrência de um possível Desastre como o exemplo citado anteriormente, afeta consideravelmente a dinâmica social e econômica de um município.

Os registros, diálogos com moradores e análise da organização espacial da malha urbana na Bacia apontam o Córrego do Lenheiro como um “divisor socioeconômico”. Em sua margem direita localiza-se um bairro de classe média alta, devidamente legalizada e com rede de drenagem com bocas de lobo e coletas adequadas de esgoto. No entanto, as águas pluviais e o esgoto são lançados diretamente no Córrego do Lenheiro, sem o devido tratamento e aumentando a quantidade de águas pluviais recebidas pelo Córrego em um único ponto. O lançamento ocorre longe do bairro de moradores com poder aquisitivo mais elevado, evitando possíveis transtornos. Porém, os transtornos ocasionados como mau cheiro, proliferação de insetos e roedores, enchentes e alagamentos são vivenciados pelos moradores ao longo do Córrego.

Na margem esquerda e em direção à nascente do Córrego do Lenheiro nota-se um adensamento populacional com saneamento básico precário, impulsionado por aspectos culturais e sociais da formação do primeiro núcleo urbano, como o lançamento de esgoto das casas direto no Córrego. A figura 12 ilustra os fatos:



Figura 12: Divisor socioeconômico na Bacia do Córrego do Lenheiro

Os dados obtidos por meio dos questionários aplicados ao longo do Córrego do Lenheiro sobre a situação em que a residência se encontra nos períodos de intensos de precipitações mostram que 50% (12 pessoas) dos entrevistados consideram que sua casa se encontra em uma área de inundação, e 50% que suas casas localizam-se em áreas que não são de riscos. A pesquisa indica que 21% (5 pessoas) dos que não consideram que há risco estão em áreas propícias às enchentes. Como exemplo, cita-se a justificativa de um morador sobre a ausência do risco “Minha casa está em uma área normal, na última chuva entrou água só na garagem, dentro de casa isso nunca aconteceu”.

Os resultados obtidos por meio dos questionários apontam que os desastres provocados por enchentes e inundações prejudicam a vida das famílias que vivem às margens do Córrego do Lenheiro. O quadro VIII aponta os problemas vivenciados pela população às margens do rio.

Quadro VIII: Respostas obtidas pelo questionário: Os problemas vivenciados pelos moradores

Problemas vivenciados pelos moradores	Numero de casas afetadas pelos problemas	Citações
Mau cheiro	24	<i>“É um mau cheiro insuportável, principalmente no calor”.</i>
Insetos e/ou roedores	22	<i>“Costuma aparecer alguns ratos, baratas e uns bicho que eu nunca vi. Deve ser por causa desse tanto de lixo que o povo joga aqui na praia”.</i>
Invasão das águas pelos ralos	11	<i>“Quando chove demais, volta muita água do ralo aqui no banheiro e na lavanderia”.</i>
Doenças causadas pelo contato com a água	7	<i>“Já fiquei doente por causa dessa água, é muito suja e cheira muito mal. Isso faz mal pra gente né?”</i>

Na coleta de dados por meio do questionário foi mostrada aos moradores a figura 13 e questionado em quais das situações de risco o morador considerava que sua residência estava em momentos de chuvas intensas.

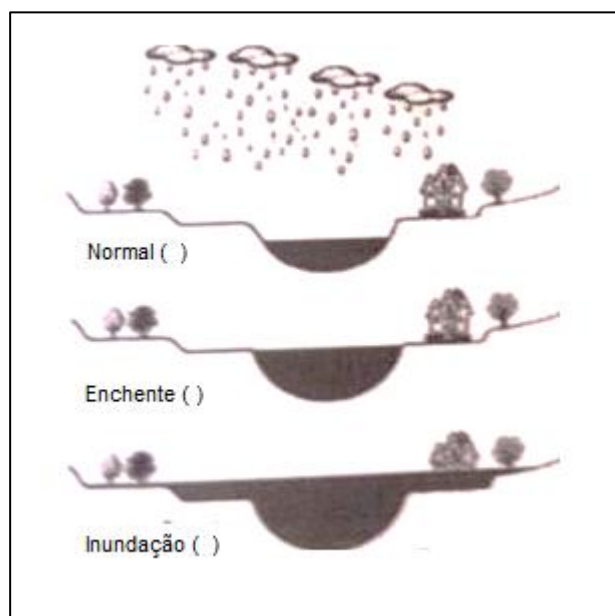


Figura 13: Ilustração da questão 11 do questionário (Vide anexo I)

As características gerais da Bacia do Córrego do Lenheiro apontam para uma área de risco aos Desastres Humanos de Natureza, principalmente aqueles ligados às inundações, onde os danos causados geram prejuízos para os cofres públicos e para as populações atingidas. Apontam, também, a necessidade de ações de preservação dos recursos naturais com baixo e médio impactos (mata ciliar, recursos hídricos, Serra do Lenheiro, fauna e flora), e de recuperação de áreas degradadas com áreas de nascentes e margens de rios. Além disso, verificou-se a importância de melhorias da infraestrutura para coleta das águas pluviais, sistema de esgoto dentre outros.

O mapeamento temático e os modelos apresentados nesse TCC podem subsidiar propostas de planejamento e gestão de Desastres Humanos de Natureza na Bacia do Córrego do Lenheiro, bem como auxiliar a tomada de decisões que atendam a demanda da expansão urbana na área e da preservação dos recursos naturais. Assim, a discussão direciona-se para as conclusões da investigação relatada.

V. CONCLUSÕES

A idealização da pesquisa relatada nesse TCC surgiu a partir da observação das frequentes ocorrências de enchentes e inundações na área urbana localizada na Bacia do Córrego do Lenheiro. Surgiu, ainda, motivada pela escassez de documentos cartográficos como apoio ao planejamento e gestão de Desastres Humanos de Natureza na Bacia.

O desafio inicial foi elaborar uma base digital contendo mapas temáticos construídos a partir de mapas bases em multiescalas e imagens de satélites e fotografias aéreas com multiresoluções. Ao término da elaboração da referida base, outro desafio foi orientado pela seguinte hipótese: a partir de uma investigação sistemática e criteriosa é possível gerar Modelos de Sínteses da Bacia do Córrego do Lenheiro utilizando a Análise Multicritério.

Dessa forma, delimitou-se o objetivo principal da investigação: elaborar uma base de dados cartográfico digital e utilizar a Análise Multicritério para gerar modelos de sínteses de situações na Bacia do Córrego do Lenheiro.

A investigação teórica abrangeu o estado da arte sobre as variáveis que envolvem o termo Desastre, com ênfase na discussão sobre suas diferenças em relação à Intensidade, Evolução, Origem e Tipologia. Esse fato permitiu analisar as classificações dos Desastres Humanos de Natureza que ocorrem na Bacia do Córrego do Lenheiro.

As discussões teóricas permitiram, ainda, analisar as diferenças entre os tipos de Desastres Naturais ocorrentes em alguns países e os Desastres Humanos de Natureza ocorrentes no Brasil que, anualmente, nos períodos chuvosos colocam em risco as populações que ocupam as áreas de várzea e de vertentes.

A discussão teórica sobre a importância da elaboração de uma base digital de dados cartográficos para o auxílio dos órgãos públicos como, por exemplo, a Defesa Civil - a realizar ações e medidas mitigadoras que possam reduzir os riscos aos Desastres Humanos de Natureza - foi fundamental para determinar quais modelos gerar, principalmente o que representa as áreas propícias às enchentes e alagamentos. Além disso, possibilitou entender as dificuldades enfrentadas pelos municípios brasileiros,

com ênfase ao município de São João del-Rei para a elaboração de tal base, devido às exigências técnicas, financeiras e ao período relativamente longo para sua consolidação.

Uma base digital de dados cartográficos composta por mapas temáticos cujas informações foram validadas permite a aplicação de procedimentos metodológicos importantes para a geração de Modelos Sínteses como, por exemplo, o uso da Análise Multicritério. Na pesquisa, essa Análise orientou a tomada de decisão sobre qual modelagem realizar de acordo com o objetivo da investigação. O método baseado na AHP mostrou-se adequado para a aplicação da álgebra de mapa.

A fundamentação teórico-metodológica da TGS foi ao encontro da revisão de literatura e dos procedimentos metodológicos adotados. A TGS utilizada permitiu a análise integrada de aspectos físicos e antrópicos existentes na Bacia, além de subsidiar a geração de mapas temáticos e Modelos de situações complexas.

A validação dos mapas temáticos por meio de dados primários coletados em campo e dados secundários coletados junto a órgãos como a Defesa Civil possibilitou atribuir confiabilidade nas informações mapeadas para a geração dos modelos de sínteses por meio do método da Análise Multicritério.

Os modelos de sínteses referentes aos Desastres Humanos de Natureza permitiram a identificação e espacialização das potencialidades à ocorrência de inundações, enchentes e deslizamentos. Ressalta-se que, por se tratar de aspectos naturais, não existe um limite rígido entre as indicações dos mapas, podendo ser tanto maior quanto menor do que as áreas apresentadas pelos mapas 12 e 14, onde esta variação depende, por exemplo, da intensidade de precipitação que pode ou não potencializar tais fenômenos, da infraestrutura existente, da relação da população com a limpeza dos rios etc..

Os Modelos de áreas propícias à expansão urbana e de interesse ambiental podem auxiliar no planejamento urbano na Bacia do Córrego do Lenheiro. Modelo Síntese das áreas propícias à expansão urbana indica os locais com potencial a ocupação urbana mediante aos **estudos geotécnicos**, e o Modelo síntese de interesse ambiental aponta a importância de preservação principalmente das áreas de mais interesse como, por exemplo, as nascentes dos afluentes do Córrego do Lenheiro e alguns trechos onde ainda há presença de mata ciliar.

Ressalta-se que os modelos obtidos pelo uso da Análise Multicritério juntamente com a AHP não representam de maneira fiel a realidade das áreas mais atingidas dentro da Bacia do Córrego do Lenheiro, não podendo ser tomados como verdade absoluta, porém, são produtos importantes para o apoio à gestão e planejamento das áreas.

As análises dos resultados indicam que historicamente as margens do Córrego do Lenheiro foram ocupadas tendo como motivação a exploração aurífera ocorrida no século XVII, e se mantendo até hoje. O processo secular de degradação do Córrego do Lenheiro como o lançamento de esgoto *in natura* direto das casas para o leito principal e o descarte incorreto de resíduos sólidos é observado com muita clareza nos dias atuais. A análise dos resultados dos questionários mostrou que os moradores que residem em áreas próximas ao Córrego do Lenheiro convivem com o mau cheiro, presença de insetos e/ou roedores e convivem com o risco de contaminação pelo contato com as águas.

Além disso, outros fatores recorrentes das atividades humanas contribuem para as ocorrências de enchentes e inundações, como a precária rede de drenagem e sanitária, a impermeabilização das áreas de várzea, a canalização do trecho do Córrego, aterro e terraplanagem de parte de seu curso e margens, construções de pontes etc..

Conclui-se, desse modo, que a investigação apresentada neste TCC respondeu às inquietações iniciais que motivaram o desenvolvimento deste estudo. Ratifica-se que, uma base digital de dados cartográficos somada à modelagem apoiam os gestores na tomada de medidas que possibilitam um planejamento urbano eficaz. Especificamente sobre a Bacia do Córrego os gestores e os planejadores devem enfrentar o desafio de preservar os recursos naturais que ainda não foram degradados pela ocupação urbana, ao mesmo tempo em que buscam medidas para sanar a demanda por área para a expansão urbana.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F. J. B. A psicologia social dos desastres: existe um lugar para ela no Brasil?. In ZANELLA, AV., et al., org. **Psicologia e práticas sociais [online]**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008. pp. 221-228

ALBUQUERQUE, S. M de. **Modelagem de alternativas de traçado de ferrovias com uso de ferramentas de SIG e parâmetros geoambientais**. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2015.

ALMEIDA. C. M. O dialogo entre as dimensões real e virtual urbano. In ALMEIDA, M. C; CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V (org.) **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. Oficina de Texto, 2007.

ALMEIDA, G. P.; VENTORINI, S. E.. Mapeamento participativo de áreas de risco a movimento de massa no bairro Senhor dos Montes – São João del-Rei, MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p.79-93, 1 jun. 2014. Semestral. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/issue/archive>>. Acesso em: 17 fev. 2015.

ALVES, A. O. **Planejamento ambiental urbano na microbacia do Córrego da Colônia Mineira - Presidente Prudente/SP**. 2004. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Unesp Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2004.

ARAÚJO, R. P. Z de. Principios para análise espacial multicritérios: capacidade de suporte e estoque de potencial construtivo no espaço urbano. In: MOURA, Ana Clara Mourão et al. **Tecnologias de Geoinformação para Representar e Planejar o Território Urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. p. 91-113

AUMOND, J. J.; LOCH, C.; COMIN, J. J. Abordagem sistêmica e o uso de modelos para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p.1099-1118, 04 jun. 2012.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro 2011**. Brasília: Editora Exclusiva, 2012. Disponível em: http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=74dde46c-544a-4bc4-a6e1-852d4c09be06&groupId=10157>. Acesso em: 21 jun. 2016.

BAPTISTA NETO, A. **Histórico dos desastres naturais em santa catarina e ações da secretaria de estado da defesa civil**. Florianópolis: Secretaria de Estado da Defesa Civil, 2011. Color. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/imprensa/seminario/palestra_defesa.pdf>. Acesso em: 12 maio 2016.

BONHAM-CARTER, Graeme F. **Geographic information systems for geoscientists: Modelling with GIS**. New York: Elsevier, 1994. 416 p.

BRAGON, R. **Temporal causa morte e prejuízos em Belo Horizonte (MG)**. 2009. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2009/03/17/ult5772u3256.jhtm>>. Acesso em: 17 mar. 2009.

BRASIL. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de**

desastres naturais: 2012 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2013

BRASIL. Constituição (1979). Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **O parcelamento do solo urbano e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em: 25 maio 2017.

BRASIL. Lei nº 9433, de 9 de janeiro de 1997. **Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 9984, de 9 de julho de 2000. **Criação da Agência Nacional das Águas - ANA.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm>. Acesso em: 22 jun. 2016

BRASIL. Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003. **Organização da presidência da república e dos ministérios.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.683.htm>. Acesso em: 25 maio 2017.

BRASIL. Lei nº 12608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRASIL. Constituição (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe Sobre **Proteção da vegetação nativa.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 06 maio 2017.

BRASIL. Decreto nº 1.524, de 20 de junho de 1995. **Estatuto da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CRPM)**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D1524.htm>. Acesso em: 23 jun. 2016.

BURTON, M. L.; HICKS, M. J. **Hurricane Katrina: preliminary estimates of commercial and public sector damages**. Center for Business and Economic Research Marshall University One John Marshall Way Huntington, WV 25755 September 2005

CABRAL, A. V. **Análise multicritério em sistemas de informação geográfica para a localização de aterros sanitários: O caso da região sul da ilha de Santiago, Cabo Verde**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Lisboa, 2012.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão arrudas e córrego da onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARMO, R. L. do; ANAZAWA, T. M.. Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 19, p.3669-3681, jun. 2014. Semestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2014.

CASTRO, A. L. C de. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CASTRO, A. L. C de. Introdução à Doutrina de Defesa Civil. In: CASTRO, A. L. C de. **Manual de Planejamento em Defesa Civil**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 1999. p. 1-69. Disponível em:

<[http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf](http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa_Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2017.

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. de O.; RIO, G. A. P. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, Vol. 28, no. 2, p. 11-30, 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf> Acesso em 21 de agosto de 2014.

CASTRO, S. D. A. de. Riesgos y peligros: Una visión desde la geografía. **Geografía y Ciencias Sociales**, Universidad de Barcelona, v. -, n. 60, p.1-15, 15 mar. 2000

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. de Oliveira; RIO, G. A. P. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, Vol. 28, no. 2, p. 11-30, 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf> Acesso em 21 de agosto de 2014.

CEARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. . **O Brasil e os terremotos**. Fortaleza: Defesa Civil, 2008. Color.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P.. **Integrated models in geography**. New York: Routledge Revivals, 1967. 667 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec/Edusp. 1979.

CHRISTOFOLETTI, A.. A aplicação da abordagem em sistema na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 52, p.21-35, jun. 1990.

CODAR, Codificação De Desastres, Ameaças e Riscos. **Sistemática de codificação**. Brasília: Diário Oficial, 1995. 1 p.

CPRM. **Setorização de riscos geológicos**. sd. Disponível em: <<http://cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.

DEFESA CIVIL. **Plano de contingência de proteção e defesa civil**. São João del-Rei, 2013, 159 p.

DEFESA CIVIL . **Plano de contingência de proteção e defesa civil**. São João del-Rei, 2015, 159 p.

DOMINGUES, C. V.; FRANÇOSO, M. T. Aplicação de geoprocessamento no processo de modernização da gestão municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p.71-18, abr. 2008.

EMBRAPA, **Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campo das Vertentes – MG**, Rio de janeiro, 2006.

EQUADOR. SECRETARÍA DE GESTÓN DE RIESGOS. . **Informe de situación**. 71. ed. [s.l.]: Gobierno Nacional de La Republica del Ecuador, 2016. Disponível em: <<http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/INFORME-n71-SISMO-78-20302.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

FAVERO, E.; SARRIERA, J. C.; TRINDADE, M. C. O desastre na perspectiva sociológica e psicológica. **Psicologia em Estudo**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.201-209, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-737221560003>.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a Análise de Métodos e Indicadores Ambientais Usados na Etapa de Diagnóstico de Planejamentos Ambientais**. 2003.

G1. NÚMERO DE MORTOS POR FURACÃO MATTHEW SOBE PARA 877 NO HAITI. [s.i.], 07 out. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2016/10/numero-de-mortos-por-furacao-matthew-passa-de-470-no-haiti.html>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

FREITAS, C. M.; et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 19, n. 9, p.3645-3656, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>.

GOMES, C. A. Prevenção do risco de catástrofe natural: como resistir ao irresistível?. In: GOMES, Carla Amado; SARAIVA, Rute Gil (Org.). **Actas do colóquio catástrofes naturais: uma realidade multidimensional**. Lisboa: Instituto de Ciências Jurídico-políticas, 2013. p. 1-202.

GRASSI, J. et al. Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2013, Foz do Iguaçu (pr). **Anais...** . Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 2501 - 2508. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0608.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

HORA, S. B. da; GOMES, R. L.. Mapeamento e avaliação do risco a inundações do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 2, n. 21, p.57-75, ago. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n2/a05v21n2.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2016

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br > Acesso em: 10 fev. 2014.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Editora Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/files/2014/05/prevencaodeDesastresnaturaisconceitosbasicos1.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

LIMA, S. J. F. Arquitetura São-Joanense do Século XVIII ao XX. **Revista do Instituto Histórico Geográfico de São João del-Rei**. v. VIII, São João del-Rei: Gráfica da APAE, 1995.

LINDELL, M. K.; PRATER, C. S.; PERRY, R. W. **Fundamentals of emergency management**. Emmitsburg: Emergency Management Institute, 2006. (479). Disponível em: <<http://training.fema.gov/>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

MAGALHÃES, C. R.. **Bacia hidrográfica como referência de planejamento e expansão urbana para as cidades do século xxi**. 2013. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

MALDOS, R. **A formação urbana da cidade de São João del-Rei**. 2000. Disponível em: <<http://www.saojoaodelreitransparente.com.br/works/view/605>> Acesso em: 15 de janeiro 2013.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 7, n. 2, p.95-110, jul. 2004. Semestral.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geoteconologias: Conceitos Básicos**. São José dos Campos: Inpe, 2008. 38 p.

MARICATO, E. **O Ministério das Cidades e a política nacional de desenvolvimento urbano**. Políticas Sociais: Acompanhamento e análise, Brasília, 2006, p.211-231. Disponível em: <<http://www.en.ipea.gov.br/>>. Acesso em: 02 maio 2017.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p.67-87, dez. 2008. Semestral.

MAUS, J. J et. al. . Análisis multicriterio y vulnerabilidad a la ocupación urbana: estudio de caso en la cuenca del Rio São Francisco Xavier -São João del-Rei - MG - Brasil. **In: Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica**, 2014, Buenos Aires. Logros y desafios de la cartografía, 2014.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Atlas de vulnerabilidade às inundações Minas Gerais 2013** / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. --- Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2013

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **O ministério**. sd.. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/institucional/o-ministerio>>. Acesso em: 25 maio 2017.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Rio de Janeiro: Ed 3. Interciência 2014.

MOURA, A. C. M. Learning Topics in Urban Planning at UFMG: geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale.

In. 5º Seminário Internacional de Planejamento e Gestão Ambiental - **URBENVIRON Brasília 2012**, Respostas Urbanas às Mudanças Climáticas Paranoá, 2012.

MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas Como complementação às análises multicritérios - “sensitivity analysis to suitability evaluation”. **Revista Brasileira de Cartografia: Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 68, p.665-684, abr. 2016. Disponível em: <<http://geoproea.arq.ufmg.br/+dmFront/downloadContent?u=eyJtZWVpYV9pZCI6IjU2NiIsInRpbWVzdGFtcCI6MTQ4NDgzODEzMH0=>>>. Acesso em: 19 jan. 2017

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais: abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Texto, 2015.

POSSA, E. M; VENTORINI, S. E. Mapeamento digital da bacia do córrego do Julio – São João del-Rei - MG como suporte ao diagnóstico geoambiental. **Boletim de Geografia**, v. 33, p. 64-80, 2015.

REDE SISMOGRÁFICA BRASILEIRA. **Boletim Sísmico Brasileiro**. 2014. Disponível em: <<http://www.rsbr.gov.br/catalogo/bsb-2014.06.zip>>. Acesso em: 26 maio 2016

REIS, P. E. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG**: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8JAJ8X/disserta__o_completa__impress_o.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 out. 2016.

SACRAMENTO, J. A. de Á. **Córrego do Lenheiro e Centro de S. João del - Rei - MG.** sd.. Retirado de www.patriamineira.com.br. Disponível em: <http://www.patriamineira.com.br/imprimir_noticia.php?id_noticia=1762>. Acesso em: 08 maio 2017.

SANTOS, J.B. Discussões sobre o conceito de escala e os mapeamentos de solos no Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 13, n. 44, 2012 p. 102–112. Disponível em <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/> Acesso em 05 maio 2017.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. ; ALMEIDA, G. P.. **Mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do córrego do lenheiro.** In: Giovanni Seabra. (Org.). TERRA Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, 2016, v. 1, p. 1331-1341

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: enchentes e inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro em São João del – Rei – MG. In: II SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 2., 2016, Juiz de Fora. **Anais...** . Juiz de Fora: Ufjf, 2016. p. 1517 - 1533.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos para o planejamento urbano na bacia do córrego do lenheiro. In: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 16., 2017, La Paz. **Anais...** . La Paz: Umsa, 2017. p. 1 - 15. CD-ROM.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro em São João del – Rei – MG.. **Percurso**, Florianópolis, no prelo.

SARAIVA, J. G. **Catástrofes naturais: o que são?**. In: GOMES, C. A.; SARAIVA, Rute Gil (Org.). Actas do colóquio CATÁSTROFES NATURAIS: uma realidade multidimensional. Lisboa: Instituto de Ciências Jurídico-políticas, 2013. p. 1-202.

SATO, J. M.; KUMAGAI, Y. KOBE: ¿Un desastre no anunciado?. **Desastres y Sociedad**, Ciudad de Panamá, v. 4, n. 6, p.4-20, jun. 1996. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys06/dys6-1.0-kudna.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

SDR, International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. New York And Geneva: United Nations, 2004. 127 p. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

SILVA, E. S. **Utilização de ortofotocartas digitais no sistema de gerenciamento de redes da distribuição**. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SOUZA, T. A.; CUNHA, C. M. L.. Análise dos atributos físico-ambientais do município de praia grande-sp. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 2, n. 24, p.303-318, 11 set. 2012.

STAAY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**. Pittsburgh, p. 83-98.. 2008. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf>. Acesso em: 02 set. 2016.

TOMINAGA, L. K. **Desastres naturais: por que ocorrem?** In. TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

TROPPEMAIR, H. **Sistemas, geossistemas, geossistemas paulista, ecologia da paisagem**. Rio Claro, 2004. 128 p.

TROPPEMAIR, H. Geossistemas. **Mercator: Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará**, Ceará, v. 5, n. 10, p.79-89, 2006.

UITTO, J. I. **The geography of disaster vulnerability in megacities: a theoretical framework**. Applied Geography, Great Britain, v. 18, n. 1, p.7-16, jun. 1998

VALENTE, Roberta de Oliveira Avena. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005.

VENTORINI, S. E.; POSSA, E. M. ; ALMEIDA, G. P. . Mapeamento de situações de vulnerabilidades e riscos no processo de expansão urbana na bacia do Água Limpa. In: SEABRA, G. (Org.). **TERRA: Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver**. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, 2016, v. 1, p. 1318-1330.

VON BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. 2. ed. Brasília: Petrópolis, 1975.

WITHE, G. F.. **Human adjustment to floods: A Geographical Approach To The Flood Problem In The United States**. 1945. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de A, University Of Chicago, Chicago, 1945.

WISNER, B. et al. **At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. 2. ed. New York: La Red (latin America), Duryog Nivaran (south Asia) And Peri-peri (southern Africa), 2003. 124 p. Disponível em: <<http://www.preventionweb.net/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento e Análise Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 54, p.47-61, set. 1992

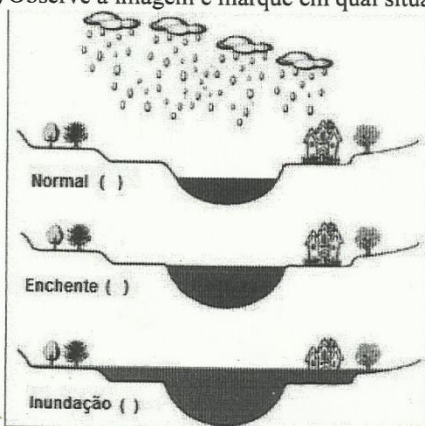
ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental.** São Paulo: Editora Unesp, 2007. 211 p.

ANEXO I: Questionário

SUA CASA ESTÁ EM UMA ÁREA DE RISCO?

Marque com um X as alternativas abaixo relacionada aos riscos de enchentes e inundações

- 1) Seu imóvel está regularizado junto à prefeitura? () Sim () Não
- 2) Quantas pessoas moram na sua casa? _____
- 3) Quantas famílias moram na sua casa? _____
- 4) Há quantos anos você mora no bairro? _____
- 5) Você benefício Sócio Governamental? () Sim () Não
- 6) Qual é a renda mensal das pessoas que moram com você?
() Menos que 1 salário () De 5 a 7 salários
() De 1 a 2 salários () De 7 a 9 salários
() De 3 a 5 salários () Mais de 10 Salários
- 7) Sua casa é atingida pela água durante os períodos de grandes chuvas (dezembro à março)?
() Sempre é atingida () Já foi atingida menos de 3 vezes () Nunca foi atingida
- 8) Como é a infraestrutura do seu bairro?
() Ótima () Boa () Regular () Ruim () Péssima
- 9) Você acha que jogar lixo e esgoto no rio pode causar enchente e/ou inundações?
() Sim () Não
- 10) Assinale a/as alternativa/s que é/são vivenciada/s ao longo do Córrego do Lenheiro
() Mal cheiro () Invasão das águas pelo ralo
() Presença de insetos e/ou roedores () Doenças causadas pelo contato com a água
- 11) Observe a imagem e marque em qual situação sua casa está em período de grandes chuvas



- 12) O que você acha que deve ser feito para melhorar a região em que você vive?

Qual é o nome da sua rua?
