

ANÁLISE MULTICRITÉRIO: MODELOS DE INTERESSE AMBIENTAL E DE ÁREAS PROPÍCIAS À EXPANSÃO URBANA NA BACIA DO CÓRREGO DO LENHEIRO

Thiago Gonçalves Santos

Universidade Federal de São João del – Rei, São João del – Rei, MG, Brasil
thiaguim.13@gmail.com

Sílvia Elena Ventrini

Universidade Federal de São João del – Rei, Departamento de Geografia, São João del – Rei, MG, Brasil
sventorini@ufs.edu.br

RESUMO

O desafio atual é gerenciar e planejar a expansão urbana em áreas de bacias com extensões significativas já urbanizadas, cujos impactos e infraestrutura precária de coleta de águas pluviais ocasionam prejuízos socioeconômicos nos períodos chuvosos. O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia para gerar modelos de síntese como apoio ao planejamento, gestão ambiental e urbana em bacias hidrográficas com a referida realidade. A fundamentação teórico-metodológica teve como base a Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia. Por meio da Análise Multicritério e Análise Hierárquica de Pesos geraram-se quatro modelos representando as áreas: suscetíveis às inundações e deslizamentos de terra; propícias à expansão urbana e de interesse ambiental. Os resultados indicam que os Modelos podem contribuir nos planejamentos urbano e ambiental mediante estudos geotécnicos. Conclui-se que a modelagem pode apoiar os gestores na tomada de medidas que possibilitam um planejamento urbano mais eficaz.

Palavras-chave: Mapeamento digital; Planejamento ambiental; Planejamento urbano; Bacia hidrográfica.

MULTICRITERARY ANALYSIS: MODELS OF ENVIRONMENTAL INTERESTS AND AREAS THAT ARE SUITABLE FOR URBAN EXPANSION IN THE BASIN OF THE CÓRREGO DO LENHEIRO

The current challenge is manage and plan the urban sprawl in areas of storm water basins with extensions significant already urbanized, whose impacts and precarious infrastructure of rainwater collection causes socio-economic losses in rainy periods. The purpose of this article is to present the methodology to generate synthesis models as planning support and urban and environmental management, in river basins with this reality. The study area was the Basin of Lenheiro's Stream, located in the city of São João del-Rei, in state of Minas Gerais, whole first urban nucleus arose in the year of 1713, because the gold exploration. The theoretical-methodological ground was based on the General Theory of Systems applied to the Geography. By means of the multicriterary analysis and the Hierarchical Analysis of Weights were generated models representing the areas: susceptible to the floods; conducive to the urban sprawl and of environmental interest. The results indicate that the models can contribute in urban and environmental planning by geotechnical studies. It is concluded that the modeling can support the managers in the taking measures that enables a urban more effective planning.

Keywords: Digital mapping; Environmental planning; Urban planning; Hydrographic basin

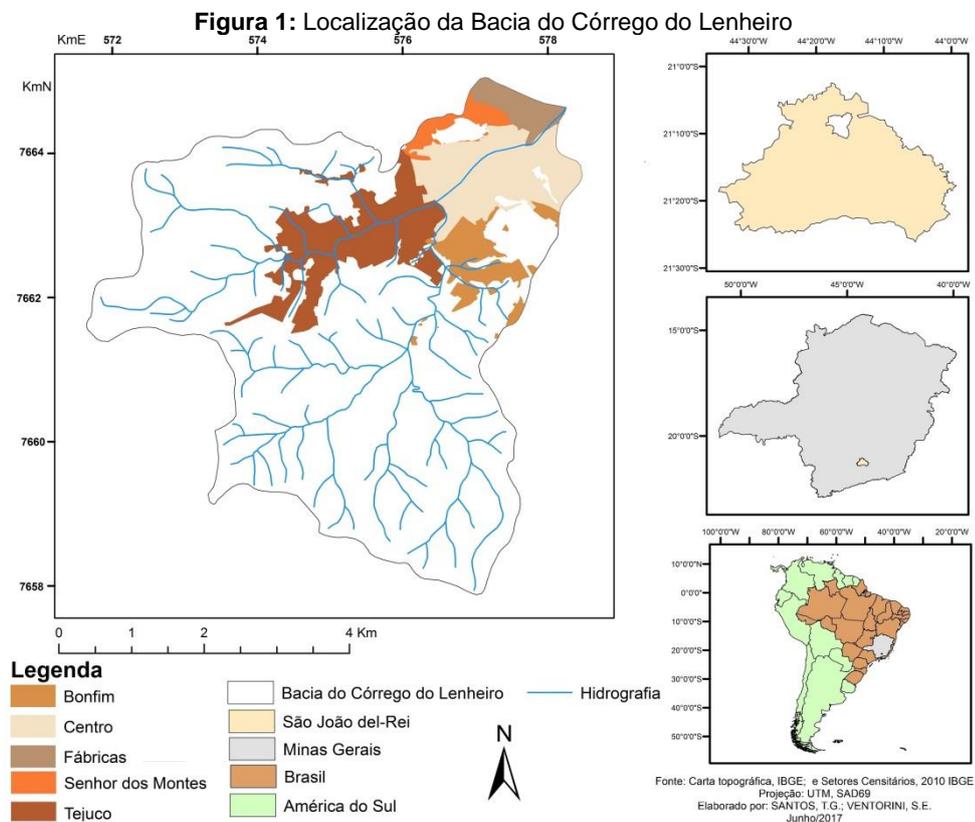
INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma unidade básica para a investigação das variáveis relacionadas aos aspectos naturais e antrópicos e, por isso, tornou-se prioritária para o planejamento e a gestão dos recursos ambientais e dos espaços urbanos e rurais. (TUCCI e MENDES, 2006). Ao adotar uma bacia hidrográfica como área de estudo e planejamento do espaço urbano, deve-se “considerar os impactos da urbanização sobre o funcionamento natural e procurar planejar a ocupação dentro das possibilidades de expansão da bacia natural” (MAGALHÃES, 2013 p.41).

O desafio atual é gerenciar e planejar a expansão urbana em áreas de bacias com extensões significativas já urbanizadas, cujos impactos e infraestrutura precária de coleta de águas pluviais ocasionam prejuízos socioeconômicos nos períodos chuvosos. A interrupção da infiltração natural e o aumento da rapidez do escoamento das águas das chuvas pela impermeabilização do solo exigem maior capacidade de vazão e maior extensão territorial para a extrapolação das águas que chegam aos rios, e o resultado consiste em áreas suscetíveis aos alagamentos e às enchentes. Neste contexto, o objetivo deste artigo é apresentar a pesquisa para gerar modelos de sínteses como apoio ao planejamento e gestão ambiental e urbana em bacias hidrográficas com a referida realidade.

A área de estudo foi a Bacia do Córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del-Rei, no estado de Minas Gerais, cujo primeiro núcleo urbano surgiu no ano de 1713, por causa da exploração aurífera. A ocupação urbana iniciou-se nas margens do Córrego do Lenheiro e expandiu-se ao longo de mais de três séculos em áreas de sua bacia, condicionada pela topografia, hidrografia e divisa política com os municípios de Tiradentes e de Santa Cruz de Minas.

A Bacia do Córrego do Lenheiro está localizada na porção sul do município de São João del – Rei (figura 1), onde estão inseridos 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, Águas Férreas, Vila Jd. São José (Setor 5).



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. O processo histórico e a proximidade com a área central da cidade, após a ocupação das áreas próximas ao Córrego do Lenheiro, impulsionaram o crescimento ao entorno de seus afluentes - fazendo surgir novos bairros ou ampliando os já existentes. 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. Tais fatores têm contribuído, ainda, para a expansão de áreas suscetíveis aos alagamentos e às enchentes. Por isso, a bacia do Córrego do Lenheiro possui os fatores antrópicos e ambientais que exigem o enfrentamento do desafio de gerenciar e planejar a expansão urbana, ao mesmo tempo em que, medidas mitigadoras são realizadas para amenizar os impactos ambientais e as suscetibilidades às ocorrências de enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra.

Primeiramente, o texto apresenta a discussão sobre as variáveis que envolvem o termo Desastre. Depois, dialoga-se com autores sobre ações para mapeamento das áreas de risco aos Desastres Humanos de Natureza. Por fim, discorre-se sobre os materiais, procedimentos metodológicos, resultados e análises da investigação.

CONCEITOS E TERMOS SOBRE DESASTRES

A literatura científica indica que a pesquisa pioneira relacionada ao tema 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 e HOGAN, 2004). Desde então, diversos conceitos e abordagens são empregados para a definição do termo Desastre conforme a área de atuação do pesquisador.

Neste artigo considera-se importante apresentar a discussão mais ampla sobre o termo Desastre a partir da abordagem técnica que direciona os órgãos municipais, como a Defesa Civil e áreas do conhecimento como a Geografia. Nesse 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. Os Desastres se diferem principalmente em função da causa que desencadeou algum fenômeno natural. (CASTRO, 1998; TOMINAGA, 2009). 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 vs. disponibilidade cujo objetivo é obter o restabelecimento da normalidade das áreas afetadas.

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 a seca. Já os Desastres por somação são caracterizados pelas frequentes ocorrências de acidentes que geram danos maiores, como as epidemias (CASTRO, 1998; MARCELINO, 2008; KOBAYAMA et al. 2009).

Já 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; KOBAYAMA et al., 2009, TOMINAGA 2009). 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, dentre outras. (KOBAYAMA et al., 2006).

Os Desastres naturais são produzidos por fenômenos da natureza, ocasionados pela dinâmica interna ou externa da Terra como os terremotos, furacões e tsunamis (CODAR, 1995; CASTRO, 1998, 1999; MARCELINO, 2008; KOBIYAMA et al., 2009, TOMINAGA 2009).

Os Desastres Humanos de Natureza são desencadeados por ações antrópicas, como desmatamento, impermeabilização do solo, canalização de rios, precária coleta de águas pluviais e fluviais, dentre outros, que resultam em alterações na dinâmica natural de uma determinada área. (CODAR, 1995; CASTRO, 1998; KOBIYAMA et al., 2006, SANTOS e VENTORINI 2017).

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). São considerados Desastres mistos fenômenos relacionados à geodinâmica terrestre externa e interna (CASTRO, 1999).

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 et al., 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 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).

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 et al., 2005).

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). 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).

Considerando a discussão apresentada, 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 diminuem 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.

AÇÕES PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO AOS DESASTRES HUMANOS DE NATUREZA

O Ministério das Cidades busca apoiar ações em municípios brasileiros que estão propícios às ocorrências de 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 suscetíveis 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).

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, a enchentes e aos 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 - CPRM 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 Cíveis estaduais e municipais com o intuito de auxiliar na realização de ações de prevenção e resposta frente aos Desastres (CPRM, sd).

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 nenhum critério técnico e científico. 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*.

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 os fatos de que a realidade mapeada está em constante mudança, e que a distribuição das ocorrências dos fenômenos não é homogênea.

As análises realizadas por meio de álgebras de mapas possibilitam modelar um sistema a partir de critérios considerados importantes à ocorrência do fenômeno modelado. 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 do método da Análise Multicritério, cujos resultados permitem a modelagem de um sistema frente à realidade.

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 (MOURA e JANKOWSKI, 2016).

Para Moura e Jankowski (2016), ao decidir o objetivo do modelo que será gerado, deve-se elencar os dados necessários para sua geração, isolando-os em planos de informação ou camadas. Esse procedimento é realizado por um SIG que são frequentemente usados 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, entre outros.

Aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) 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).

Grassi, et al. (2013) ao mapear a vulnerabilidade de áreas no Estado do Paraná suscetíveis às inundações e aos deslizamentos de terra utilizou a Análise Multicritério. Os procedimentos consistiram na elaboração de uma série de mapas temáticos e na atribuição de pesos de acordo com cada importância da variável das classes de legendas e com somatória das influências dadas a cada mapa igual a 100%. A fórmula 1 ilustra o procedimento de atribuição de pesos e influências utilizado pelos autores.

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

Onde M é a Modelagem desejada, INF é a Influência atribuída a cada mapa temático cuja soma deve ser igual a 100% e MT é o 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.

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

Na qual M é o Modelo de Vulnerabilidade das inundações, USO é o Uso do Solo e Cobertura Vegetal, DE são as Declividades (graus), SOL são os tipos de solos, GEOM é a Geomorfologia, PRV é a Proximidade da Rede Viária (metros) e PSL é a Proximidade de superfícies líquidas (metros).

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 1.

Quadro 1. Análise Hierárquica de Pesos (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 STAAY (2008, p.86).

Primeiramente, ao tomar como referência o método da Análise Multicritério, o pesquisador deve basear-se em critérios como: seleção das principais variáveis com objetivo de caracterizar algum tipo de 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 da referida análise, o pesquisador deve possuir primeiramente uma base digital de dados cartográficos das variáveis selecionadas em formato vetorial. 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 elaboração do mapa de interesse é dada por meio da álgebra de mapas realizada por meio 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 a cada uma de suas classes. (MOURA, 2007). No ambiente de um SIG a escala numérica é de 1 a 10 que podem ser correlacionados com as classes: “alto”, “médio a alto”, “médio”, “médio a baixo”, “baixo” e “nulo”; considera-se os valores numéricos “10”, “7”, “5”, “3”, “1” e “0” respectivamente. (MOURA, 2007).

Para o método de Análise Multicritério ressalta-se a importância de ter um material cartográfico confiável (SANTOS e VENTORINI, 2017). 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 devem-se validar os modelos gerados, adotando o mesmo procedimento, ou seja, realizar a análise comparativa dos resultados com os resultados e análises obtidos em outros estudos e em campo e, quando possível, consultar conhecedores da realidade especializada. 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).

Na investigação apresentada neste artigo foram utilizadas as colocações abordadas pelos autores citados anteriormente, conforme descrito a seguir.

METODOLOGIA

A Teoria Geral de Sistema (TGS) foi idealizada pelo Biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy, em Chicago em 1937. A partir da teoria proposta pelo autor, os estudos referentes à TGS alcançaram maior relevância na literatura científica em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, a Administração, Computação, Ecologia, Geografia, Modelagem, dentre outros. (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, que discutia a paisagem com base nos elementos físicos em relação aos movimentos antrópicos.

Christofolletti (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 compõe, 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 et al., 2012; SOUZA e CUNHA, 2012; TROPMAIR, 2004, 2006; SANTOS et al., 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 e CUNHA, 2012).

No mapeamento da bacia do Córrego do Lenheiro, a TGS foi adotada ao definir quais mapas gerar, quais as variáveis que os compõem e que servem de análise para identificar áreas propícias a perigos de deslizamentos de encostas, inundações, enchentes e erosões, bem como 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 as alterações antrópicas como adensamento populacional, impermeabilização do solo, infraestrutura precária, dentre outros.

Os procedimentos metodológicos consistiram em: a) Pesquisa, aquisição, georreferenciamento e vetorização de material cartográfico base (carta topográfica na escala 1:50.000, mapa de solo, escala 1:250.000 e imagem pancromática do satélite OLI/Landsat-8, resolução espacial 15 metros); b) Elaboração de mapas temáticos representando declividade, hipsometria, uso da terra, Área de Preservação Permanente (APP – *buffers* de 30 metros em torno da hidrografia e raio de 50 metros em torno das nascentes – distância euclidiana), área de extrapolação das águas do Córrego do Lenheiro (*buffers* de 130 metros – distância euclidiana); c) Coleta de dados primários, por meio de trabalho de campo e dados secundários coletados junto a órgãos públicos; d) Uso da Análise Multicritério para geração de modelos de sínteses, representando áreas propícias às enchentes e aos alagamentos, áreas de interesse ambiental e áreas de interesse à expansão urbana. O software *ArcGis*® 10.1 foi utilizado para gerar os mapas temáticos e modelos.

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 em 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).

O modelo síntese de áreas propícias às enchentes e inundações foi elaborado a partir dos cruzamentos dos mapas: hipsométrico, declividade, uso da terra e *buffer* de 130 metros (SANTOS e VENTORINI, 2017). A fórmula 3 utilizada para a elaboração do Modelo foi:

$$INU = \frac{(HIP*15) + (DEC*35) + (BUF*35) + (USO*15)}{100} \quad (3)$$

Na qual INU é o Modelo de Enchentes e Inundações, HIP é a Hipsometria com influência de 15%, DEC é a Declividade com influência de 35%, BUF é o *Buffer* com influência de 35% e USO é o Uso da terra com influência de 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
Buffer	130 metros	5

Fonte: SANTOS e VENTORINI (2017).

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 2.

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

Onde IAMB é o Modelo de Interesse Ambiental, INU é o modelo síntese às enchentes e inundações com influência de 20%, BUF é o *Buffers* com influência de 20% e USO é o Uso da terra com influência de 60%.

Tabela 2. 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
Buffer	Muito baixo	1
	50 m. (nascente) 30 m. (hidrografia)	5
	Mata ciliar, vegetação rasteira	5
Uso da terra	Solo exposto, Plantação, Pastagem, Voçoroca	3
	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 3 os pesos adotados. Os modelos foram validados por meio de dados coletados em campo e dados secundários da Defesa Civil (2015).

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

Na qual APOU são as Áreas Propícias à Ocupação Urbana, DEC é a Declividade com influência de 30%, BUF é o *Buffer* com influência de 30% e USO é o Uso da terra com influência de 40%.

Tabela 3. 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
Buffer	50m. (nascente)	5
	30m. (hidrografia)	5
Uso da terra	Áreas saturadas, APP e ZPMAs	5
	APO	1

Ao gerar modelos o pesquisador deve adotar procedimentos para a validação dos mapas temáticos e dos Modelos de Sínteses. Na investigação relatada os procedimentos para a validação dos modelos gerados teve como base as publicações de Moura (2003, 2007), nas quais é destacada a importância de se realizar análise comparativa dos resultados obtidos com o mapeamento, resultados e análises divulgadas em documentos públicos e/ou publicações científicas, assim como, a coleta de dados primários que possibilite ao pesquisador ampliar seu conhecimento sobre o local e fenômenos modelados.

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 2 apresenta os aspectos que orientaram as observações.

Quadro 2. Aspectos naturais e artificiais observados em campo

Fenômeno Modelado	Naturais	Antrópico
Enchentes e inundações	Margens de rios, encontro de rios, áreas com escoamento rápido e lento, presença de mata ciliar;	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, 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 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.

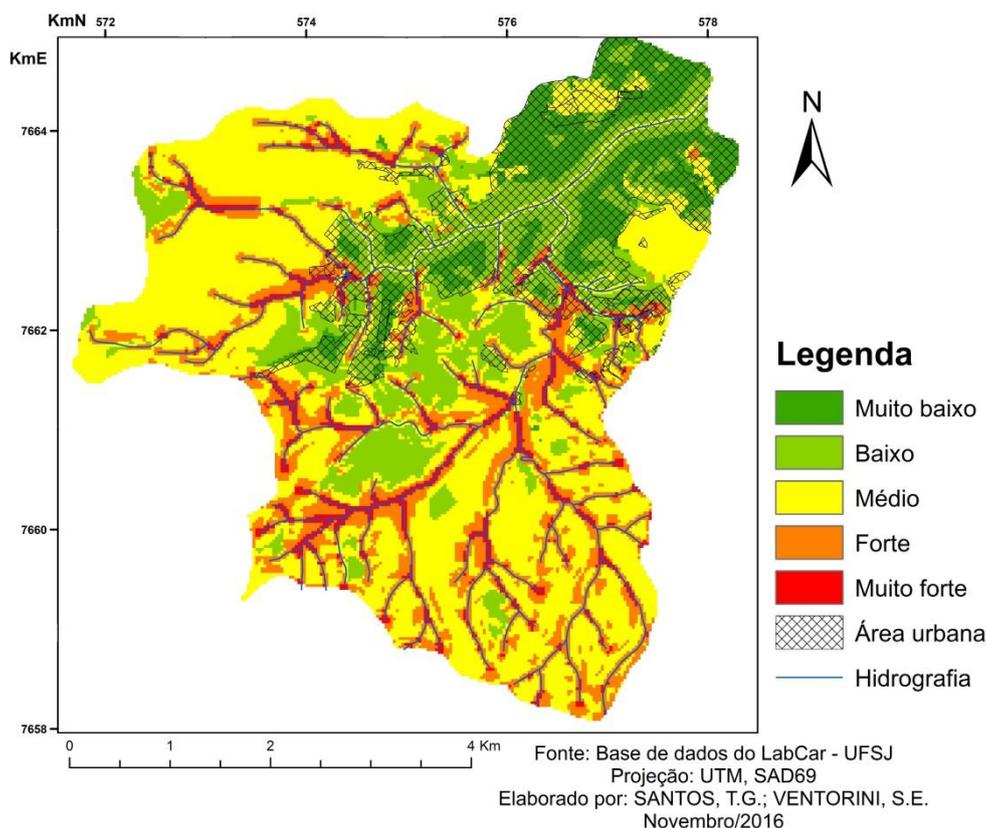
A coleta de dados secundários para a validação dos Modelos de Síntese incluiu dados da Defesa Civil (2013, 2015) com ênfase nas informações sobre os locais, prejuízos sociais e econômicos ocasionados por Desastres Humanos de Natureza publicados no Plano de contingência de proteção e defesa civil. As publicações de Pôssa e Ventorini (2014), Almeida et. al. (2014), Almeida e Ventorini (2015), Santos et al. (2016), 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, foram elaborados e disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, no website <http://cprm.gov.br>.

RESULTADOS

O modelo de interesse ambiental (figura 2) 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 foram consideradas as áreas não degradadas e que por lei devem ser preservadas.

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.

Figura 2: Modelo de áreas de interesse ambiental



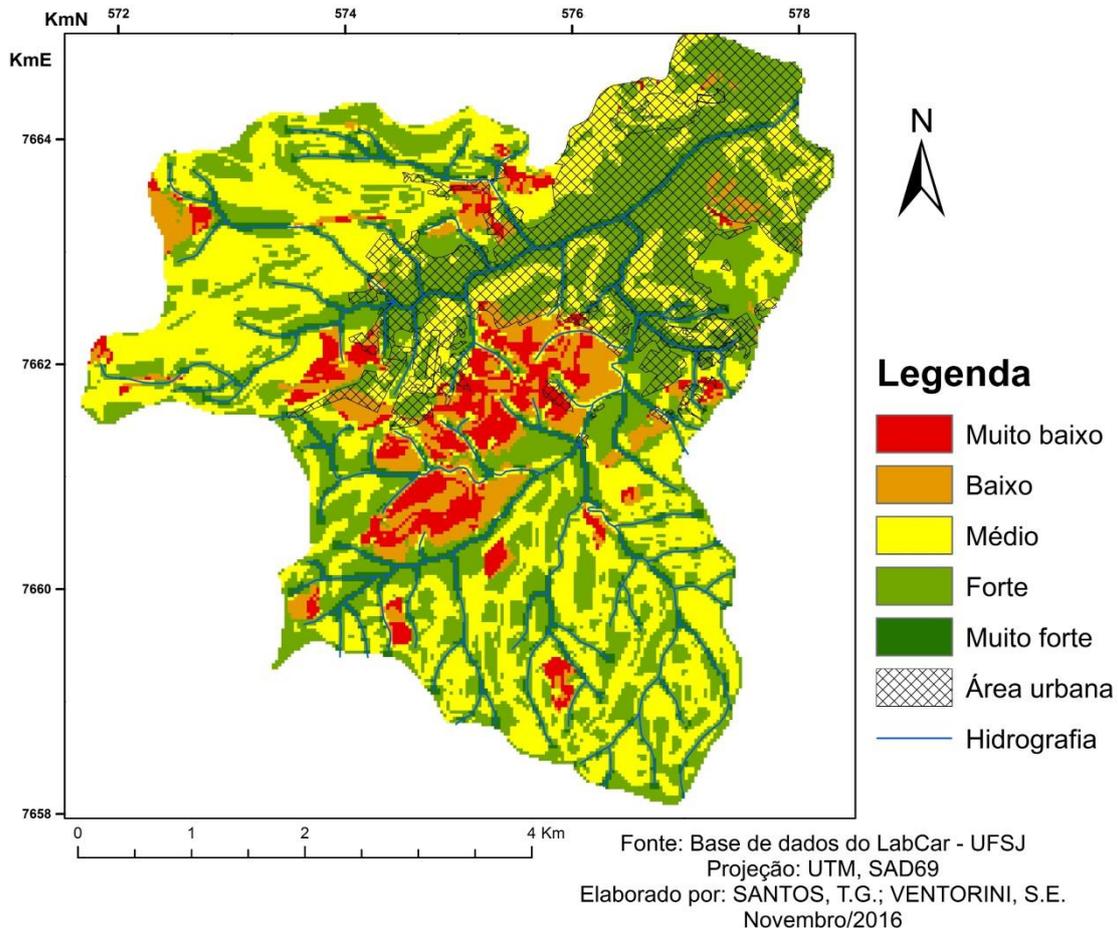
Os dados coletados em campo além de validar o modelo indicam, também, a necessidade de ações de preservação dos recursos naturais com baixo e médio impactos (mata ciliar, recursos hídricos, Serra do Lenheiro, fauna e flora), e de recuperação de áreas degradadas com áreas de nascentes e margens de rios. Além disso, mostram a importância de melhorias da infraestrutura

para coleta das águas pluviais, sistema de esgoto, dentre outros para amenizar a destruição dos recursos naturais e a ocorrência de enchentes e alagamentos.

A origem secular da informalidade e a desorganização na produção do espaço urbano na Bacia do Córrego do Lenheiro geraram, 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. Fatos que contribuem para odores fortes, acúmulos de lixo, presenças de roedores e insetos, bem como a proliferação de doenças e, conseqüentemente, degradação ambiental.

O modelo de áreas propícias à expansão urbana (figura 3) 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.

Figura 3. Modelo de áreas propícias à expansão urbana



Nota-se que nas imediações da Serra do Lenheiro (na porção Sul e Noroeste) 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.

O modelo de áreas propícias à expansão urbana indica áreas propícias ao crescimento urbano na direção sudoeste da bacia. Estas áreas estão próximas ao núcleo principal, facilitando a instalação de infraestrutura, como vias de acesso, rede de esgoto, água e luz. A declividade também não é acentuada, entre 10° a 25°. No entanto, a ocupação, sem um planejamento, pode agravar os problemas de enchentes e alagamentos ao longo do Córrego do Lenheiro, além de poluir as águas de seus afluentes e degradar a mata ciliar. Além disso, considera-se importante a realização de um estudo geotécnico para indicar a probabilidade de processos erosivos. Tais investigações **são de extrema importância** considerando que nos trabalhos de campo foram observadas a existência de ravinas e voçorocas na área.

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

A escala do mapa base 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 é um problema de nível nacional, conforme destaca Santos (2012).

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. (SANTOS, 2012, p.108)

O autor ressalta, ainda, que há uma demanda dos pesquisadores brasileiros de áreas distintas por mapas pedológicos com escalas maiores. No entanto, a realização desse mapeamento demanda tempo longo, quantidade significativa de recursos financeiros e recursos humanos especializados. Por isso, geralmente empresas privadas, relacionadas, quase sempre, aos agronegócios são quem realizam tais mapeamentos em locais específicos (SANTOS, 2012).

No entanto, 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 do mapa pedológico 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.

Os dados primários e secundários indicam que áreas na Bacia do Córrego do Lenheiro possuem suscetibilidades ao risco de Desastres Humanos de Natureza, principalmente aqueles ligados às inundações, onde os danos causados geram prejuízos para os cofres públicos e para as populações atingidas. De acordo com a classificação do grau de risco à inundação e proposta pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) 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.

Os prejuízos causados em São João del - Rei perpassam também 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 - MG e Rio de Janeiro - RJ. 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 modelos apresentados 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A origem secular do processo de ocupação na Bacia do Córrego do Lenheiro gerou impactos ambientais irreversíveis. 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 atendem à demanda por área para expansão urbana dentro da bacia. A ocupação inadequada resulta em prejuízos socioeconômicos para a população a cada período chuvoso, no qual o Córrego do Lenheiro extravasa suas águas, ocasionando enchentes e alagamentos. O descarte incorreto de resíduos sólidos e a precária rede de drenagem e sanitária agravam os problemas ambientais e sociais.

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 áreas propícias à expansão urbana e de interesse ambiental podem auxiliar no planejamento urbano na Bacia do Córrego do Lenheiro. O Modelo Síntese das áreas propícias à expansão urbana indica os locais com potencial para 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 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 urbano e ambiental.

Conclui-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.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Extensão Universitária (PROEX) da Universidade Federal de São João del – Rei (UFSJ) e à Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

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 diálogo 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.

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.

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.

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.

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/DefesaCivil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

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 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.

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.

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

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.

EMBRAPA. **Reconhecimento de média intensidade dos solos da zona Campo das Vertentes – MG**, Rio de Janeiro, 2006.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais**. 2003.

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.

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.

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.

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. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>

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

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.

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

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.; 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=eyJtZWV9pZCI6ljU2NilsInRp bWVzdGFtcCI6MTQ4NDgzODEzMH0=>>>. Acesso em: 19 jan. 2017

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

PÔSSA, E.M.; VENTORINI, S. E. Expansão urbana para áreas de risco de inundação e de movimento de massa: o estudo no município de São João del-Rei – MG. **Caderno Prudentino**

de Geografia, Presidente Prudente, n.36, Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.36, v.2, Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, v.2, n 36, p.49-67, 1 dez. 2014.

PÔSSA, E.M.; VENTORINI, S. E. Mapeamento digital da bacia do córrego do Júlio - São João del-Rei – MG como suporte ao diagnóstico geoambiental. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 64-80, 1 abr., 2015.

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. <https://doi.org/10.5965/1984724618362017095>

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. Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei – MG. **Revista PerCursos**, Florianópolis, v. 18, n.36, p. 95 – 124, jan./abr. 2017.

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

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.

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. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200010>

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.

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

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

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 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. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(97\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(97)00041-6)

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005.

VENTORINI, S. E. PÔSSA, E. M. ALMEIDA, G. P. **Mapeamento de situações de vulnerabilidades e riscos no processo de expansão urbana na bacia do Água Limpá**. In:

Giovanni Seabra. (Org.). TERRA Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver. 1ed. Ituiutaba: Barlavento, 2016, v. 1, p. 1318-1330

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.