



Mapeamento de áreas de risco em microbacia hidrográfica utilizando o método de análise hierárquica – AHP

Nilzo Ivo Ladwig¹, Alvaro Jose Back², Henrique Matos³

¹ Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC (ladwig@unesc.net)

² Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC (ajb@unesc.net)

³ Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC (hmatos@unesc.net)

Resumo

O artigo mostra a estruturação e utilização de um Sistema Geográfico de Informação (SIG), para definir e analisar as áreas de riscos de inundação e deslizamento na microbacia do Rio Maior localizada no município de Urussanga, estado de Santa Catarina. No estudo das questões ambientais relacionados a impactos decorrentes do uso da terra em bacia hidrográfica que exigem ordenamento territorial é pertinente usar a ferramenta de SIG que é fonte de informação básica, especialmente na representação de informações espaciais, que são amplamente utilizados para a criação de cartografia temática. Os mapas temáticos de riscos de inundação e deslizamento elaborados com as ferramentas de geoprocessamento por meio do método de análise hierárquica (AHP) poderão ditar estratégias para a prevenção ao risco.

Palavras-chave: Sistema Geográfico de Informação. Cartografia Temática. Geoprocessamento.

Área Temática: Recursos Hídricos

Risk areas mapping using the Analytic Hierarchy Process - AHP

Abstract

The article shows the structure and use of a Geographic Information System (GIS) to define and analyze the areas of flood and slide risks in the hydrographic basin Rio Maior located in the municipality of Urussanga, state of Santa Catarina. In the study of environmental issues related to impacts of land use in watershed that require spatial planning is pertinent to use GIS tool that is a source of basic information, especially in the representation of spatial information, which are widely used for creating maps theme. Thematic maps of flood and slide risks made with the geoprocessing tools through the Analytic Hierarchy Process (AHP) may dictate strategies for risk prevention.

Key words: *Geographic Information System. Thematic Cartography. Geoprocessing.*

Theme Area: *Water resources*

1 Introdução

A intensificação de fenômenos climatológicos, influenciada pela geologia, geomorfologia, hidrografia, vegetação e forma de ocupação do espaço geográfico podem produzir inundações, enchentes, escorregamentos, rastejos, quedas, corridas e gerar não somente perda econômica, mas de vidas humanas.

O Brasil está repleto de eventos extremos que ao longo de décadas vem se



manifestando e pouco tem sido feito para minimizar estas perdas. Por exemplo, às chuvas de 500 mm que caíram no Vale do Itajaí em Santa Catarina, entre 21 e 23 de novembro de 2008 causaram movimentos de massa que mataram mais de 120 pessoas, desabrigaram e desalojaram 78 mil pessoas, com prejuízos materiais. Neste espaço geográfico tem uma particularidade 40% da população vivem em encostas, portanto, ricos e pobres foram atingidos. Maiores informações sobre o desastre podem ser obtidas nos documentos oficiais das prefeituras municipais do Vale do Itajaí que sofreram danos. Estes dados estão disponíveis nos formulários NOPRED (Notificação Preliminar de Desastre) e o formulário AVADAN (Avaliação de Danos), datados respectivamente dos dias 24 e 29 de novembro de 2008. (Ladwig; Gonçalves, 2014).

Em 2011 foi criado o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) que tem como tarefa alertar para fenômenos naturais com potencial de causar mortes.

Ladwig e Gonçalves (2014) argumentam que é preciso passar da ação defensiva contra os riscos para a gestão do risco e conviver com desastres, tendo em mente que a prevenção, por exemplo, contra inundações não deve ser limitado às inundações que ocorrem com frequência. Deve incluir também eventos raros reforçando que uma base de dados consistente poderá atender a análise e o mapeamento de áreas de risco necessário para descrever medidas e adotar melhores práticas com o objetivo de prevenir, proteger e mitigar o impacto negativo dos desastres na saúde humana e segurança, em bens de valor material e sobre o meio ecológico.

Nesta ótica percebeu-se que havia necessidade de discutir a importância da estruturação de uma cartografia temática de risco com a utilização de sistema geográfico de informação (SIG) em bacia hidrográfica que pudesse contribuir no ordenamento do território e no desenvolvimento urbano.

Entende-se como cartografia de risco um documento que visa transmitir numa linguagem universal, uma mensagem direta aos tomadores de decisão que colaboram para um melhor planejamento e gestão territorial.

Do mesmo modo, há que discutirmos novas perspectivas na avaliação de risco integrado, para que possamos contribuir para um planejamento do espaço geográfico, atendendo às categorias de risco consideradas, para que se desenvolva uma cartografia do zoneamento dos riscos como instrumento para o planejamento e a gestão territorial de bacias hidrográficas.

Ladwig e Gonçalves (2014) discutiram sobre essa terminologia utilizando vários autores e afirma que faz parte do nosso cotidiano mencionar risco em se tratando de ocupação do espaço geográfico. Para Beck (1998), os riscos são de origem social uma vez que as ameaças industriais estão no fato de que o processo industrial utiliza os recursos naturais indiscriminadamente. Segundo ele, há um processo de socialização da destruição da natureza e essa destruição se transforma em ameaças sociais, econômicas e políticas do sistema da sociedade mundial.

Para Dauphiné (2001) e Bankoff et al, (2003) concordam que os riscos são processos combinados resultantes da dinâmica da natureza e da dinâmica da sociedade. Para Veyret (2007), os riscos são de ordem natural, fenômenos físicos da natureza, tecnológicos e sociais.

Segundo Pelletier (2007) o risco deve ser considerado como a probabilidade de que um evento esperado ou não esperado se torne realidade. O juízo de que algo pode vir a ocorrer, já então configura um risco. Quando é mencionado análise de risco entende-se que se trata de um estudo técnico que deve considerar os conceitos de perigo, vulnerabilidade e risco.

Segundo Tominaga (2012) quando se posiciona sobre análise e mapeamento de risco conceitua: Perigo – é a possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado. Vulnerabilidade



– refere-se ao conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, o qual aumenta a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos. Risco – refere-se à possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem.

Classificação de Riscos

Também uma discussão polêmica, mas a literatura que debate o tema risco sugere que trabalhemos com quatro tipos: os riscos naturais, os riscos tecnológicos, os riscos sociais e os riscos ambientais.

Riscos naturais é a denominação para fazer referência aqueles riscos que não podem ser facilmente atribuídos ou relacionáveis a ação humana. Podemos encontrar a seguinte tipologia de riscos naturais: riscos tectônicos e magmáticos; riscos climáticos; riscos geomorfológicos e os riscos hidrológicos.

Segundo Rabelo (2003) os riscos de inundação relacionam-se, portanto, com os riscos climáticos, mas implicam na consideração de vários elementos naturais (declividade, permeabilidade ou impermeabilidade do substrato rochoso, dimensão e forma da bacia hidrográfica, características da cobertura vegetal etc.) e humanos (barragens, diques, modo de ocupação do solo etc.)

Ao invadir campos ou ruas de cidades, as águas podem destruir margens naturais ou obras humanas; do mesmo modo, no fim do processo de inundação, ao retornarem o seu leito, as águas podem ser ainda mais agressivas – o risco de erosão fluvial é então acrescido. Associando-se, igualmente, a riscos hidrológicos, os riscos de sedimentação relacionam-se tanto com os riscos de erosão fluvial como com os riscos de erosão marinha, já que, nos dois casos, a água transporta sempre quantidade variável de materiais que, ao perder velocidade, deposita. Com esta abordagem pode se enquadrar claramente o risco de inundação como um sistema de processos associado às ciências cindínicas.

Segundo Pascoal (2012) os riscos tecnológicos podem ser definidos como aqueles que resultam de acidentes, frequentemente súbitos e não planejados, decorrentes da atividade humana (e.g., cheias e inundações por ruptura de barragens, acidentes no transporte de mercadorias perigosas, emergências radiológicas, poluição marítima).

Rebelo (2003) e Veyret, (2007) argumentam que o risco é sempre um objeto social. Seja quando uma comunidade ou indivíduo específico são atingidos, vivenciam ou sofrem com um risco natural (que de certa forma independe de suas ações diretas), seja quando um determinado grupo industrial polui um rio à montante e uma comunidade de pescadores sofre com isso à jusante.

Segundo Vieillard-Baron (2007, p. 276), pode-se qualificar como risco social a maior parte dos riscos, “que nos atenhamos às suas causas sociais, quer atentemos para suas consequências humanas”.

O autor citado acima distingue dois tipos de risco principais que podem afetar ou ser afetados pelos riscos sociais e a sociedade humana: são os chamados riscos endógenos, relacionados aos elementos naturais e as ameaças externas, como terremotos, epidemias, secas e inundações. E os riscos exógenos, relacionados diretamente ao produto das sociedades e às formas de política e administração adotadas, como o crescimento urbano e a industrialização, a formação de povoamentos e a densidade excessiva de alguns bairros.

De acordo com a conceituação de Veyret (2007), os riscos ambientais resultam da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território.

Assim é importante perceber que, apesar dos conceitos e suas definições, a utilização dos riscos como sinalizador de problemas ambientais é a convicção de que ao falarmos em risco, estamos direta ou indiretamente falando do ser humano individualmente ou em sociedade.



O risco é um objeto social, como afirma Veyret (2007, p.11):... não há risco sem uma população [ser social] ou indivíduo [ser biológico] que o perceba e que poderia sofrer seus efeitos. Correm-se riscos, que são assumidos, recusados, estimulados, avaliados, calculados. O risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

2 Material e métodos

Para atender os objetivos de identificar e analisar a ocorrência de áreas de riscos naturais e socioambientais e elaborar os mapas temáticos de risco. A metodologia utilizou pesquisa bibliográfica, técnicas de geoprocessamento e análise de dados levantados em campo.

Primeiro foi trabalhado o levantamento de dados espaciais e a elaboração da base cartográfica da área de interesse em ambiente de SIG (Sistema Geográfico de Informação). A ferramenta para trabalhar os dados espaciais foi o *software ArcGis* versão 10.

Na estruturação da base cartográfica foi utilizado o levantamento aerofotogramétrico realizado no Estado de Santa Catarina, iniciado em 2010. A base contém imagens ortorretificadas composição RGB com resolução de 0,37 metros, dados de topografia e hidrografia.

Com os dados no ambiente de SIG foram elaborados os mapas temáticos de risco. Para a representação da altitude usou-se o modelo digital de terreno (MDT). Este apresenta todas as diferenças altimétricas, desde o ponto de maior ao de menor altitude.

O mapa de declividade representa as declividades do relevo. Na sua elaboração foi utilizada uma simbologia para cada classe, ou seja, na medida em que aumenta a declividade, intensifica-se a tonalidade das cores. As classes no mapa de declividade foram definidas usando metodologia trabalhada por De Biasi (1970) e representa cinco classes de declividade.

Quadro 1: Classes de declividade

Classe de declividade	Uso da Terra recomendado
0 - 5%	Correspondem às áreas sem problemas de ocorrência de erosão e o limite máximo de industrialização.
5 – 12%	Correspondem ao limite para emprego de mecanização na agricultura e construção civil sem necessidade de cortes ou aterros.
12 – 30%	Representam maior inclinação do relevo, dificultando práticas agrícolas, sendo possível a prática de culturas permanentes.
30 – 47%	São as encostas de morro constituindo-se em limite para corte raso da vegetação.
Maior que 47%	Áreas onde não é permitida a retirada de vegetação, exceto em regime de utilização racional, são áreas de preservação permanente (APP), de acordo com a Legislação Ambiental.

Fonte: DE BIASI, 1970.

Na elaboração do mapa de uso da terra, foi realizada interpretação visual na tela do computador das classes. Foram definidas sete classes, sendo elas: vegetação secundária, agricultura, pastagem, reflorestamento, extração de diabasio, extração de argila e área urbana.

Na estruturação dos mapas de risco foi utilizado o método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) criado por Saaty (1970), que consiste em construir uma escala de importância entre os fatores considerados e colocá-los em uma matriz para ser feita uma comparação, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os fatores analisados.

Os mapas de hipsometria, declividade e uso da terra foram analisados e reclassificados. Sobre estes mapas foram aplicados valores de acordo com o grau de



susceptibilidade à inundaçāo ou deslizamento variando de 0 a 10, do menos ao mais suscetível. A área de estudo foi dividida em cinco classes de áreas susceptíveis aos riscos, tanto de inundaçāo quanto de deslizamento. As classes são: alto risco; alto médio risco; médio risco; médio baixo risco e baixo risco.

Para elaboração da matriz utilizou-se a escala fundamental de Saaty, conforme apresentado no Quadro 2. A elaboração é definida a partir de uma escala linearmente hierárquica de importância entre os fatores altitude, declividade e uso da terra.

Quadro 2 - Escala de comparadores adaptado de Saaty (1980)

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente menos importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

As matrizes desenvolvidas são apresentadas conforme tabela 1 e 2. Portanto, o fator de declividade foi definido como importante diante dos três fatores e a altitude com menor importância. Definidos os valores de importância relativa dos fatores, o passo seguinte consistiu em fornecê-los ao aplicativo IdrisiTAIGA, para que fosse feito o cálculo dos pesos. É importante ressaltar que também é possível obter estes valores manualmente, apenas dividindo cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence e fazendo-se uma média entre as colunas.

Tabela 1 - Matriz dos fatores de inundaçāo

Fatores	A	U	D	Peso
A	1	1/3	1/7	0,088
U	3	1	1/3	0,2426
D	7	3	1	0,6694

A = Altitude U = Uso da Terra D = Declividade

Depois de calculado o peso de cada fator foram atribuídos os valores conforme a equação (1) gerada para elaboração do mapa de risco de inundaçāo:

$$R = 0,088*A + 0,2426*U + 0,6694*D \text{ (equação 1)}$$

Onde: R = Risco A = Mapa de altitude U = Mapa de uso da terra D = Mapa de declividade.

Tabela 2 - Matriz dos fatores de deslizamento

Fatores	A	U	D	Peso
A	1	1/3	1/7	0,0704
U	3	1	1/3	0,1782
D	9	5	1	0,7514

A = Altitude U = Uso da Terra D = Declividade

Depois de calculado o peso de cada fator foram atribuídos os valores conforme a equação (2) gerada para elaboração do mapa de risco de deslizamento:

$$R = 0,0704*A + 0,1782*U + 0,7514*D \text{ (equação 2)}$$

Onde: R = Risco A = Mapa de altitude U = Mapa de uso da terra D = Mapa de declividade

3 Discussão dos resultados

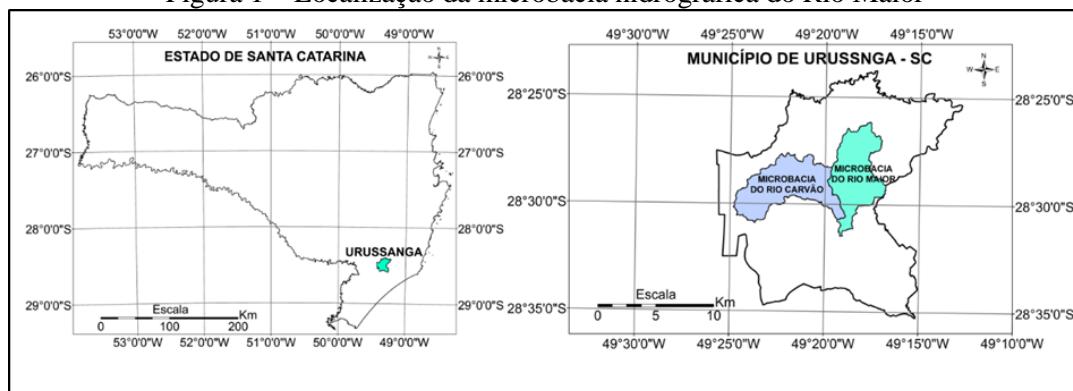
Localização da área de estudo

A área de estudo definida para a realização do mapeamento das áreas de risco é a microbacia hidrográfica do rio maior localizada no município de Urussanga, Estado de Santa



Catarina (Figura 1). Esta microbacia é considerada importante, pois é uma das formadoras da bacia do Rio Urussanga e sua área de 25,602 km² é uma APA (Área de Proteção Ambiental). O uso da terra na microbacia apresenta conflitos aumentando a vulnerabilidade para os riscos tanto naturais como socioambientais.

Figura 1 – Localização da microbacia hidrográfica do Rio Maior



O MDT (Modelo Digital do Terreno) caracteriza-se por permitir a representação altimétrica da área, proporcionando uma análise ampla da forma do relevo e do rebaixamento do terreno pelas diferentes tonalidades de cores atribuídas as altitudes. O mapa de declividade ou clinográfico representa as declividades ou inclinações do relevo, facilitando assim a definição das áreas com maior probabilidade à erosão e deslizamento.

Mapeamentos de uso e ocupação da terra são cada vez mais relevantes atualmente, com a aplicação de geotecnologia estes mapas tornam-se cada vez mais precisos, pois, reúnem informações valiosas que proporcionam o entendimento da dinâmica ambiental do espaço estudado. Na visão de Santos et al. (2010), os fatores determinados com destaque para a ocorrência de inundações, independente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo.

Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundaçāo em uma determinada área devido à ação da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas. A declividade do terreno determina diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas com declividades nulas ou baixas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundaçāo do que áreas íngremes. Os deslizamentos ocorrem em áreas de declividades acentuadas. Já a ocupação da terra influencia diretamente no escoamento superficial e na infiltração da água. As áreas com impermeabilidade, sem vegetação tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados, aumentando o risco de inundações e deslizamentos.

O mapa de risco de inundaçāo (Figura 2) apresenta as áreas com graus variados de risco à inundaçāo, geradas a partir da aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e dos fatores de hierarquia definidos na metodologia.

A área foi dividida em cinco classes de áreas susceptíveis aos riscos de inundações, onde a classe de baixo risco representa a menor proporção, apresentando apenas 5,82% da área e a classe de médio risco representa 26,64% da área total de 2560,20 hectares analisados. As áreas com classes de alto médio risco e alto risco representam 50,219% do total da área. Contudo, a delimitação do risco de inundaçāo comprova a ameaça de inundaçāo que nesta microbacia é classe alto risco sem considerar o índice de precipitação.

O mapa de risco de deslizamento (Figura 3) apresenta as áreas com graus variados de risco de deslizamento, geradas a partir da aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e dos fatores de hierarquia mencionados na metodologia. Neste caso o fator de



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

declividade foi o que recebeu valor 9 (extremamente mais importante que) seguido do fator uso da terra 5 (fortemente mais importante que).

Figura 2 – Mapa de risco de inundaçāo

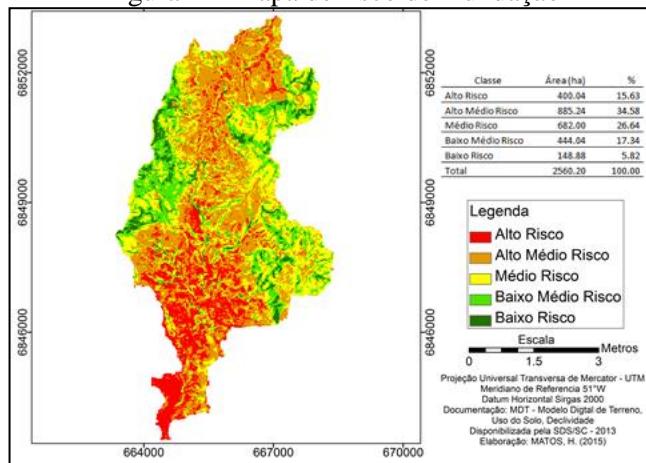
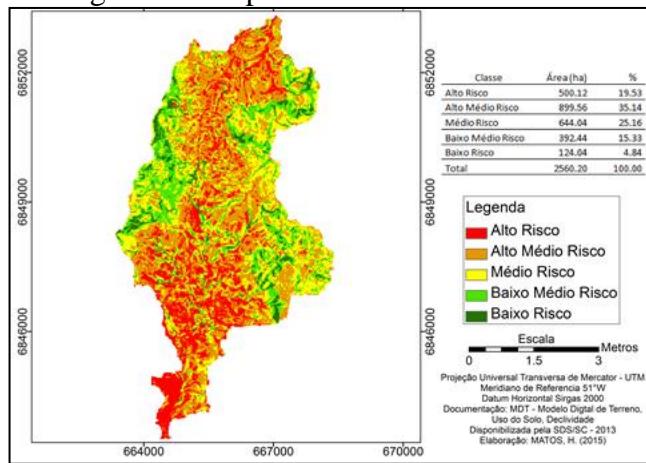


Figura 3 – Mapa de risco de deslizamento



O resultado mostra que a classificação de alto risco e alto médio risco de deslizamento que corresponde a 54,67% da área da microbacia. São áreas com maior declividade em que o uso da terra predominante é agricultura e uso urbano. As áreas com pastagem e cobertura de vegetação secundária mesmo com alta declividade apresentam risco de deslizamento menor.

Devido o alto grau de ameaça mais de 50% da área total deve receber um monitoramento constante do risco de deslizamento. Que pode ser confirmado pela predominância da declividade na microbacia ser maior que 12%. Nestas áreas a maior inclinação do relevo, dificulta práticas agrícolas, sendo recomendada a prática de culturas permanentes.

Tabela 3: Classes de declividade da microbacia do Rio Maior

Classes de declividade (%)	Área Km ²
0 - 5	1,01
5 - 12	4,16
12 - 30	13,15
30 - 47	5,10
> 47	2,19
Total	25,60

Portanto, de 12% até maior que 47% de declividade temos 79,84% da área, ou seja,



20,44Km² da microbacia com restrição de uso. A maior declividade do relevo somado ao uso inadequado da terra aumenta a susceptibilidade ao deslizamento.

4 Conclusão

Nesta discussão o objetivo foi mostrar como os riscos de inundação e deslizamento, podem ser representados com a utilização das ferramentas de geoprocessamento para facilitar a compreensão e visualização desses eventos e suas associações. Com base nos resultados e nas pesquisas conceituais, acredita-se que as condições encontradas neste trabalho não compõem uma exclusividade da microbacia e sim uma realidade que pode ser encontrada facilmente nas demais unidades hidrográficas.

Deste modo, pode-se dizer que a ocorrência de riscos na área de estudo está associada ao uso e ocupação irregular da terra; à degradação do meio ambiente; à vulnerabilidade da sociedade aos eventos; à inexistência de ações preventivas e à ausência de planos de emergência.

Neste sentido, conclui-se que a metodologia proposta constitui importante mecanismo para definição de áreas susceptíveis aos riscos tanto naturais quanto socioambientais. É importante salientar que o que foi desenvolvido para o mapeamento é o início de todo processo. Após a estruturação da base cartográfica em ambiente de SIG (Sistema Geográfico de Informação) será possível o cruzamento de vários dados espaciais e o desenvolvimento de novas ferramentas, que possibilitarão analisar outras perspectivas de risco.

Por fim, conclui-se que quanto maior for o número de dados coletados e armazenados no ambiente de SIG, maior será a precisão e exatidão dos resultados, tornando-se ferramentas poderosas para o planejamento e gestão urbana dos municípios. Deste modo, será possível realizar um planejamento ordenado de unidades hidrográficas, que atue de modo equilibrado considerando de um lado os riscos naturais e de outro, as vulnerabilidades da sociedade.

Referências

BANKOFF, G.; FRERKES, G.; HILHORST, D. *Mapping vulnerability: disasters, development; people*. London: Earthscan, 2003.

BECK, U. *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Buenos Aires: Paidós, 1998.

DAUPHINÉ, A. *Risques et catastrophes*. Paris: A. Colin, 2001.

DE BIASI, M. *Carta de Declividade de Vertentes: Confecção e Utilização*. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1970.

LADWIG, N. I.; GONÇALVES, T. M. Mapeamento de áreas de risco uma necessidade na Gestão Territorial. In: LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. *Planejamento e Gestão Territorial: Reflexões interdisciplinares*. Florianópolis: Insular, 2014. Pag. 149-178.

PELLETIER, P. *Um Japão sem riscos?* In: VEYRET, Y. (Org.) *Os Riscos: o Homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. P. 201 – 220.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). *ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais*. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 2010. 180 p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo/SP, 2^a Ed., Instituto Geológico, 2012, 196p.

RABELO, F. *Riscos naturais e ação antrópica*. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

VIEILLARD-BARON, H. *Os riscos sociais*. In: VEYRET, Y. (Org.) *Os Riscos – o Homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. Pag. 275-316.

VEYRET, Y. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*, São Paulo: editora contexto, 2007, 319 p.