

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO EM GUAÇUÍ, ES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS

Ivo Augusto Lopes MAGALHÃES¹
 Carlos Roberto Lima THIAGO²
 Daniela Vantil AGRIZZI³
 Alexandre Rosa dos SANTOS⁴

¹ Engenheiro Ambiental, Mestrando em Ciências Florestais – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. E-mail: ivo-magalhaes@hotmail.com

² Biólogo, Professor da Prefeitura Municipal de Guaçuí – ES. E-mail: tuca119@hotmail.com

³ Engenheira Florestal, Mestranda em Ciências Florestais – UFES. E-mail: danielagrizzi@yahoo.com.br

⁴ Prof. Dr. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural – UFES. E-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br

RESUMO. O presente estudo teve como objetivo a comparação entre dois diferentes métodos para mapeamento de áreas susceptíveis a risco de inundação para o município de Guaçuí, no Estado do Espírito Santo. Para a elaboração do mapeamento, o primeiro método consistiu na coleta dos dados a partir de informações primárias obtidos em trabalho de campo, onde foi gerado o polígono com o GPS de navegação, representado e delimitando o local que a inundação alcançou no perímetro urbano; já o segundo método foi elaborado utilizando o modelo de Análise Hierárquica (AHP), proposto por Saaty (1977). O modelo foi elaborado no Software computacional ArcGIS 10, onde foi feito um segundo polígono de altíssimo risco de inundação para a área de estudo. O método obtido pela análise de campo apresentou uma área inundável equivalente a 137,79 ha, e o Modelo AHP apresentou uma área inundável de 188,78 ha, representando uma diferença de 51 ha ou 6,13% de área inundada. A superestimação encontrada pelo método AHP, quando comparado ao modelo desenvolvido pela realidade de Campo, representa pouca discrepância em relação à precisão do mapeamento das áreas de risco de inundação.

Palavras-chave: Inundação, Modelagem, Método de Análise Hierárquica.

ABSTRACT. *Geotechnology for use mapping of flood risk areas in Guaçuí, ES: a comparative analysis between two methods.* This study aimed to compare two different methods for mapping areas susceptible to flooding risk for the city of Guaçuí, Espírito Santo State. For the mapping, the first method consisted of collecting data from primary information obtained from field work, and the polygon that represented the limits of the flood reached the city was generated with GPS navigation. The second method was developed using the model of Analytic Hierarchy Process (AHP) proposed by Saaty (1977). The model was developed in ArcGIS 10 Software, where a second circle of very high risk of flooding was made for the studied area. The method obtained by field analysis showed a floodable area equivalent to 137.79 hectares, and the AHP model presented a flooded area of 188.78 ha, representing a difference of 51 ha or 6.13% of flooded area. The overestimation found by AHP when compared to the model developed by the reality field, has a little discrepancy as to the accuracy of the mapped areas of flood risk.

Keywords: Flood, Modeling, Analytic Hierarchy Process.

INTRODUÇÃO

A localização de áreas urbanas próximas a corpos hídricos deve-se, sobretudo, à necessidade fisiológica do ser humano pela água, à presença de solos férteis nas regiões ribeirinhas, para cultivo, à necessidade de irrigar plantações, estabelecimento de portos e, em certos casos, está associada à topografia. A estruturação das primeiras cidades nos séculos passados ocorreram às margens dos corpos hídricos e de maneira inadequada, porém ao comparar a evolução temporal da antiguidade até os dias atuais, grande parte das civilizações permanecem com o mesmo costume de habitar em locais próximo aos recursos hídricos.

No entanto, apesar de a localização ribeirinha das cidades ser vista de forma estratégica para o desenvolvimento da humanidade, ela não é eficiente para a conservação do meio ambiente. As Áreas de Preservação Permanente – APP's instituídas por meio da Lei Federal 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965) com objetivo de garantir a preservação das margens dos recursos hídricos de forma física e ecológica, pouco foi respeitada. O cenário atual que se tem é de cidades que não respeitam a legislação vigente e que sofrem constantes problemas advindos das enchentes por não haverem respeitado a dinâmica das enchentes dos rios.

Tucci (1993) afirma que as enchentes acontecem quando ocorre uma precipitação

intensa e o total de água que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em inundações das áreas ribeirinhas.

Para as cidades onde as enchentes tornam-se problemas e ocasionam danos humanos e materiais, elas se agravam em função do aumento da urbanização, habitação de áreas de riscos, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Todas essas ações têm como consequência direta o aumento de áreas impermeáveis, o aumento do escoamento superficial e da vazão na bacia hidrográfica, contribuindo para o agravamento das enchentes (ENOMOTO, 2004).

Diante desta afirmação, Tucci et al. (1995) sustentam que uma sequência de anos sem enchentes é suficiente para que áreas de risco de inundação voltem a ser ocupadas pela população. Diante deste contexto, surge a necessidade de conhecer métodos eficazes e práticos para o mapeamento de áreas que possuem maiores susceptibilidades a risco de inundações, para consequentemente evitar prejuízos e também catástrofes.

Entretanto, é extremamente difícil evitar um desastre natural, mas é possível reduzi-lo e mitigá-lo se cada membro da comunidade realizar a sua parte, e, por conseguinte minimizar os prejuízos e os impactos (MACHADO et al., 2009).

Diante do exposto, esse estudo objetivou elaborar e confrontar dois mapas de risco de inundação para o perímetro urbano do Município de Guaçuí, ES, sendo um modelo elaborado por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP) e o segundo modelo por coleta de dados a campo.

A área de estudo

O município de Guaçuí está localizado na região Sul do Espírito Santo, situado na microrregião do Caparaó, com uma população aproximada 28 mil habitantes de acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010). Sua ocupação se deu às margens do rio Veado que pertence à bacia hidrográfica do rio Itabapoana.

A área determinada para o estudo foi a mancha urbana da sede desse município (20°46' S / 41°40' W) com a aplicação de um *buffer* de 200 m (Figura 1), gerando uma área de 832,14 ha. Dentro desse perímetro o rio Veado é afluente dos córregos Santa Catarina e Santa Cruz que também contribuem para a inundação no município.

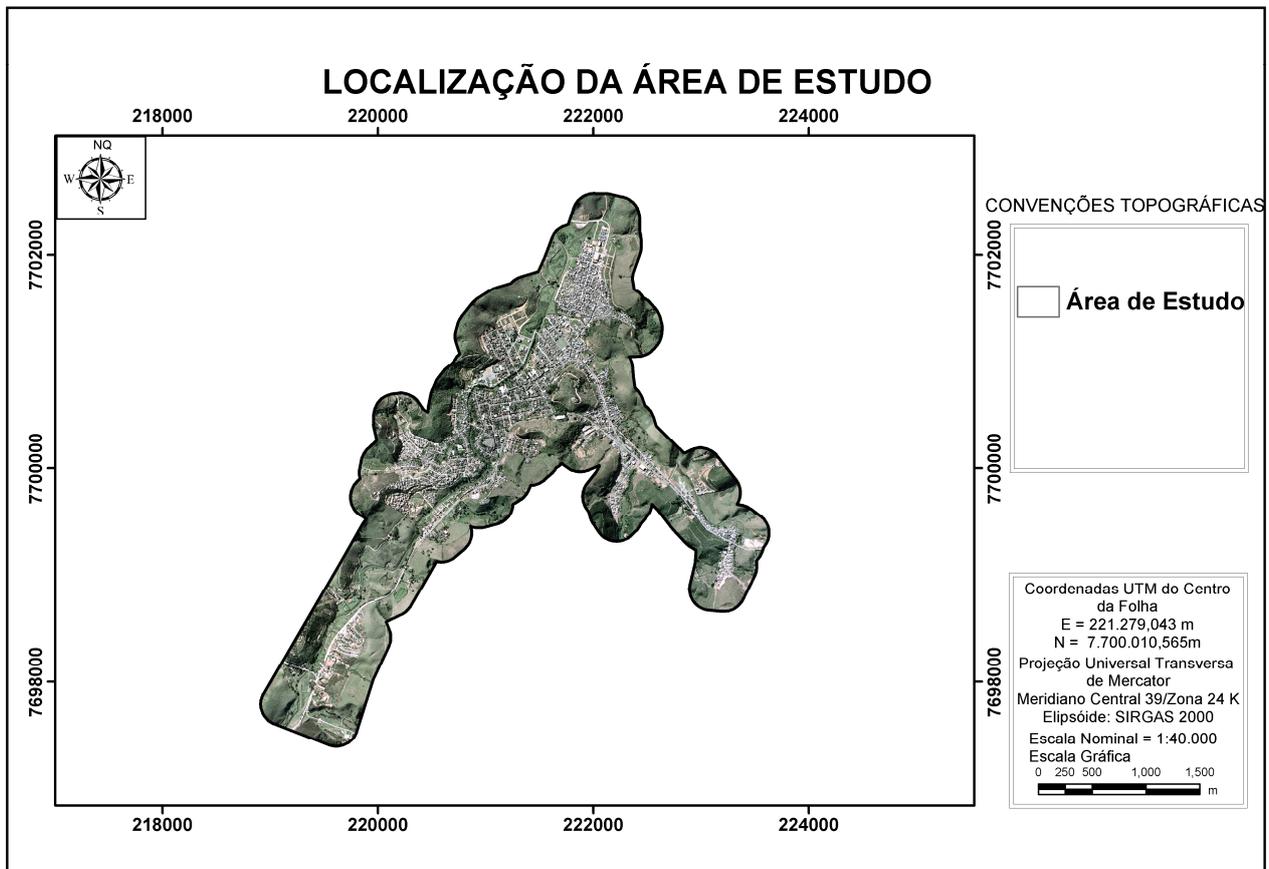


Figura 1. Delimitação da área de estudo: mancha urbana da sede do município de Guaçuí, ES.

METODOLOGIA

A execução do trabalho de elaboração dos mapas de risco envolveu diversas etapas, a seguir descritas.

Etapa 1: Mapa de risco de inundação de Guaçuí por coleta de dados em campo

Para elaboração do mapa de risco a partir de dados adquiridos do trabalho de campo, foram coletados 34 pontos com GPS ao longo das margens direita e esquerda do rio Veado, dos afluentes Santa Catarina e Santa Cruz, abrangendo todo o perímetro fluvial da área de estudo. Utilizou-se um odômetro para marcar as distâncias percorridas, mantendo sempre a distância de 1 km entre os pontos. A aquisição das coordenadas com GPS foi obtida no local com maior altitude referente a cada margem do corpo hídrico, referente ao local de maior alcance pelo leito fluvial no momento da maior inundação registrada no perímetro urbano do município por meio de informações adquiridas pelo estudo de séries históricas e por meio de entrevistas a moradores mais antigos do local em estudo.

De posse deste banco de dados elaborado pela coleta de campo as coordenadas obtidas foram plotadas para o *software* ArcGIS 10.0 e posteriormente foi gerado um polígono de inundação real para o município de Guaçuí.

Etapa 2: Mapa de risco de inundação de Guaçuí pelo Método (AHP) desenvolvido por Saaty (1977).

O método de Análise Hierárquica (AHP), criado por Saaty (1977), consiste em construir uma escala de importância entre os fatores analisados e posteriormente colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os mesmos (BERGER et al., 2007).

Este método determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa priorizando-a ao utilizar o método (GOMES et al., 2004), apud (GALLI et al., 2007).

Os fatores determinados como importantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente, independente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo (SANTOS, 2010).

Fatores e justificativas

Altitude

Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas.

Declividade

A declividade do terreno influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas.

Uso da Terra

A forma de ocupação da terra influencia na infiltração e escoamento superficial da água. As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados.

Tipo do Solo

O tipo de solo presente na região reflete também na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água. No entanto, para o presente trabalho, o mesmo não foi utilizado na citada modelagem pelo fato da área em estudo apresentar somente um tipo de solo, definido por Latossolo Vermelho, variando apenas em suas subordens.

Matrizes de decisão

Para elaboração da matriz utilizou-se a escala fundamental de Saaty, conforme apresentado no Quadro 1. A elaboração é definida a partir de uma escala linearmente hierárquica de importância entre os fatores altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo.

Quadro 1. Escala de comparadores.

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 mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1997), citado por ROSOT et al. (2000).

Santos et al. (2010) afirmam que a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante o processo de confecção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferiram diretamente no resultado obtido.

A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada conforme o Quadro 2. Portanto o fator declividade foi definido como mais importante diante os três fatores, e a altitude com menor importância. De forma que a declividade é sete vezes mais importante que a altitude.

Quadro 2. Matriz de comparação dos fatores.

Fatores	Altitude	Uso da Terra	Declividade	Pesos
Altitude	1	0,3333	0,1429	0,088
Uso da Terra	3	1	0,3333	0,2426
Declividade	7	3	1	0,6694

FONTE: Saaty (1997), citado por ROSOT et al. (2000).

Após a obtenção dos pesos de cada fator, atribui-se os valores conforme a Equação 1, para elaboração do mapa de área de risco inundação.

$$RIG = 0,6694D + 0,2426U + 0,088A \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

RIG: Risco de Inundação de Guaçuí, ES;

D: Mapa de declividade (%);

U: Mapa de uso e ocupação da terra;

A: Mapa de altitude (m).

Elaboração dos mapas dos fatores analisados

Para elaboração dos mapas dos fatores analisados, esses foram reclassificados em subfatores sobre os quais foram aplicadas notas de acordo com o grau de susceptibilidade à inundação variando de 0 a 10, do menos ao mais susceptível.

Altitude

Para adquirir as altitudes da área de estudo, foi feita uma conversão dos dados do satélite SRTM (*Shuttle Radar Topographic of Mission*) para *shapes* de pontos. A partir destes pontos representativos da área de estudo, foram geradas as curvas de nível, posteriormente transformadas em uma imagem vetorial.

Em sequência, esta imagem vetorial foi convertida em imagem raster (ou matricial) para elaboração do Modelo Digital de Elevação – MDE e foi utilizado o MDE-Fill para eliminar as depressões espúrias do relevo.

Para a geração do mapa de altitude, o MDE-Fill foi reclassificado em 4 classes e as notas aplicadas conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Peso do MDE.

Classe de altitude (m)	Notas
575 – 600	10
600 – 650	9
650 – 700	5
700 – 750	2

Declividade

Para a geração do mapa de declividade, o MDE foi reclassificado em 6 classes e as notas foram aplicadas de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4. Pesos de Declividade.

Declividade (%)	Classificação do relevo	Notas
0 – 3	Plano	10
3 – 8	Suavemente ondulado	7
8 – 20	ondulado	5
20 – 45	Fortemente ondulado	4
45 – 75	montanhoso	3
> 75	escarpado	1

Uso e ocupação da terra

O mapa de uso e Ocupação da terra foi desenvolvido a partir de uma fotointerpretação em tela, vetorizado em uma escala contínua de 1:1.500 sobre a imagem do satélite *GEOEYE* com de menos de 5% de presença de nuvens, adquirida em 23 de maio de 2010, referente a órbita 216. Foram digitalizados 14 tipos diferentes de ocupação da terra no perímetro de estudo no município de Guaçuí, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Pesos do uso do solo.

Classe de declividade (%)	Notas
Área Agricultada	5
Área Edificada	7
Área Urbana	8
Café	4
Capoeira	6
Corpos d'água	10
Estrada não Pavimentada	7
Estrada Pavimentada	8
Fragmento Florestal	1
Pastagem	3
Reflorestamento	2
Solo Exposto	7
Várzea	3

Após a execução do cálculo algébrico do RIG, foi obtida uma imagem matricial referente às áreas de risco de enchente no município que posteriormente foi convertida para polígono para possibilitar o cálculo e delimitação da área de altíssimo risco de inundação.

Etapa 3: Confronto dos mapas de risco de enchente gerados pelos dois Métodos

Foi realizada uma sobreposição de ambas as áreas de risco de inundação geradas pelos dois métodos em análise, permitindo assim observar a variação entre os mesmos e as relativas estimativas referentes ao município.

As etapas da metodologia utilizada no desenvolvimento do mapeamento de risco de enchentes podem ser observadas no fluxograma apresentado na Figura 2.

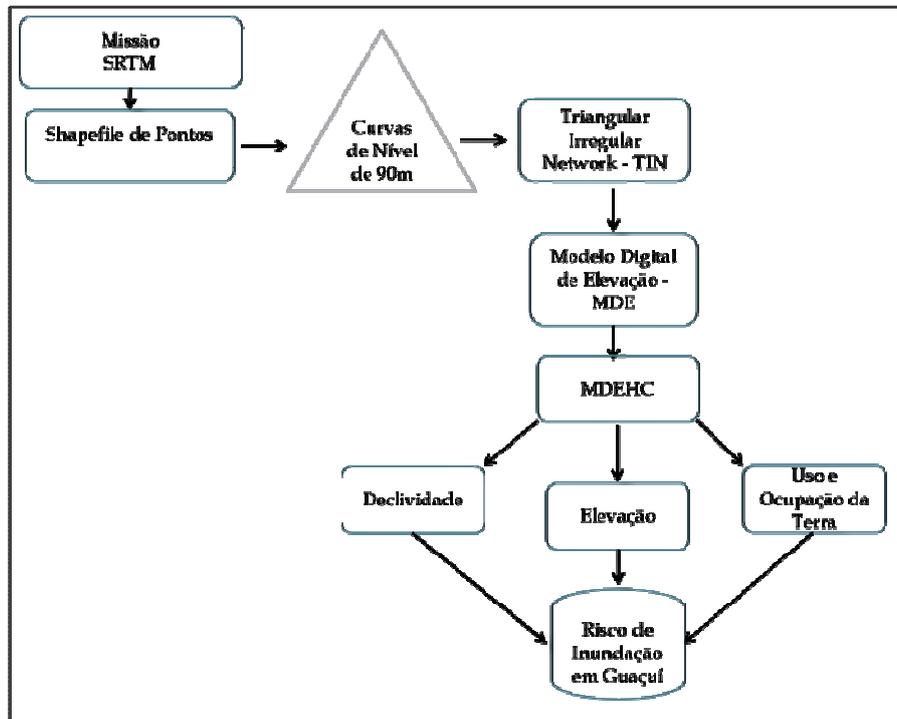


Figura 2. Fluxograma das etapas 1, 2 e 3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapa de inundação obtido pelo método de análise de campo evidenciou uma área de risco vulnerável à inundação correspondente a 137,79 ha, conforme pode ser observado na Figura 03. Essa área representa 16,56% da área de estudo no município.

De acordo com o mapa de risco de inundação mostrado na figura 3, as áreas com maiores riscos de intensidade à inundação são mais amplas nas áreas centrais e sudeste; entretanto, destaca-se também toda a extensão do município que é margeada pelos corpos hídricos, pois o córrego Veado atravessa todo o perímetro urbano de Guaçuí.

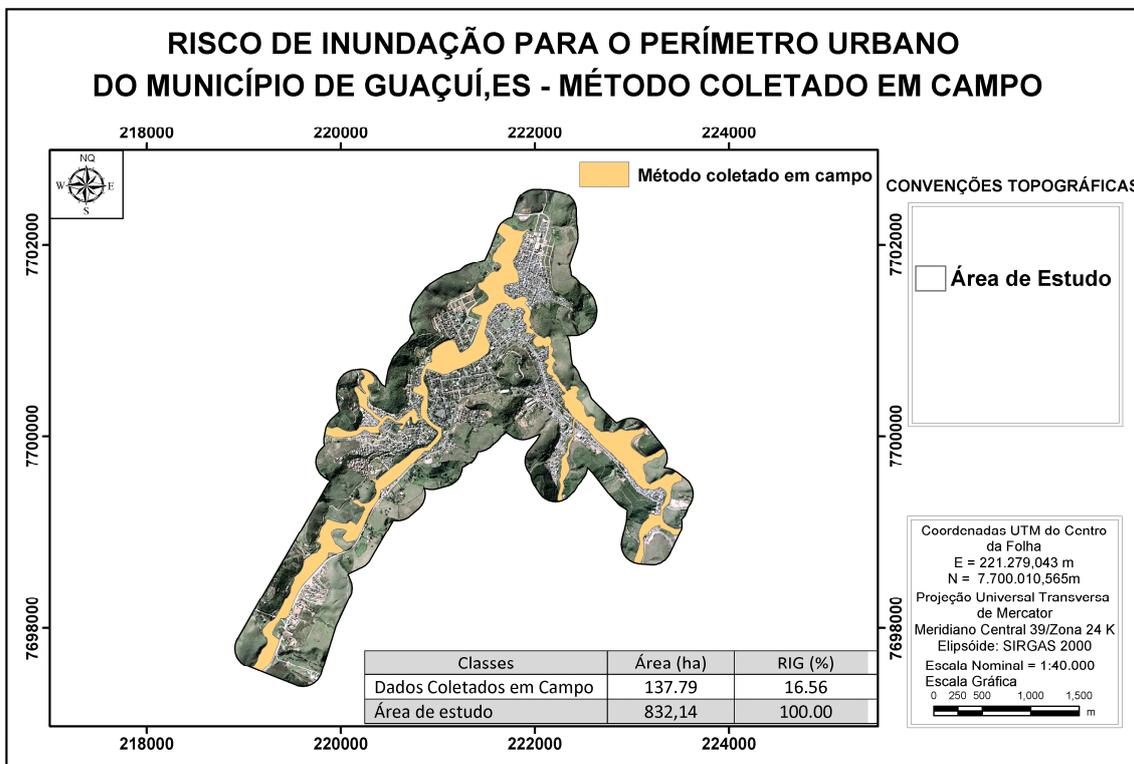


Figura 3. Área de inundação gerada pelo método coletado em campo.

Na Figura 4 são apresentadas as áreas com graus variados de risco à inunda o geradas a partir da aplica o do método AHP e dos fatores e hierarquia citados.

O município foi dividido em cinco classes de áreas susceptíveis aos riscos a enchentes, onde a classe de baixíssimo risco representa a menor propor o do município, apresentando apenas 0,34 ha e a classe de médio a baixo risco representa 79,36 ha, sendo que essas duas classes representam apenas 9,58% da área de estudo.

As áreas de médio risco representam 397,39 ha. Por ser a maior representa o de área de risco e situar-se próximo aos cursos d'água e no perímetro urbano, estas áreas precisam ser monitoradas em momentos de chuvas mais prolongadas.

As áreas com classes de alto a médio risco e altíssimo a alto risco representam 45% do total do município, isto representa um grave problema relacionado   possibilidade de perdas humanas,

estruturais e materiais caso venha ocorrer um fen meno natural como uma chuva intensa e prolongada nesta região. Uma extensa área situada no centro do perímetro urbano e próxima a moradias ribeirinhas corresponde a 188,78ha, ou 22,69% da área de estudo. Contudo a delimita o dos riscos de inunda o comprova a iminência de inunda o neste local, pois no mapeamento estes locais representam as áreas referente ao altíssimo risco de inunda o. Devido   importância da área de Altíssimo a Alto Risco, foi gerada a Figura 5 que a destaca.

A sobreposi o dos polígonos obtidos pela compara o dos diferentes métodos elaborados mostrou-se com pequenas superestima es quando comparados aos valores extrapolados com a área equivalente do estudo (Figura 6).

A superestima o ocorrida pelo método AHP foi de 51 ha ou 6,13% da área de estudo quando confrontado pelo método de levantamento em campo (Figura 6).

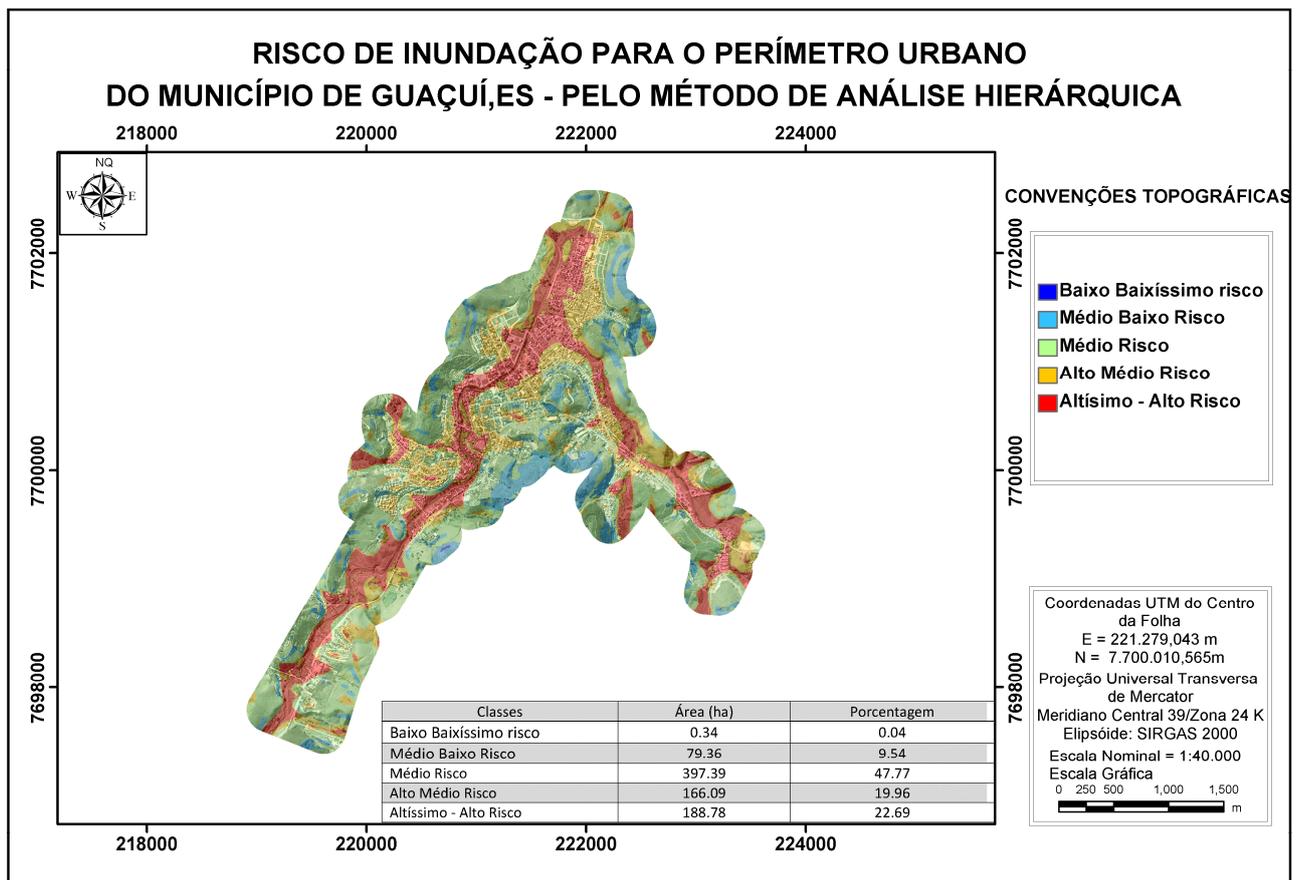


Figura 4. Mapa das áreas de risco de inunda o gerado pelo método AHP.

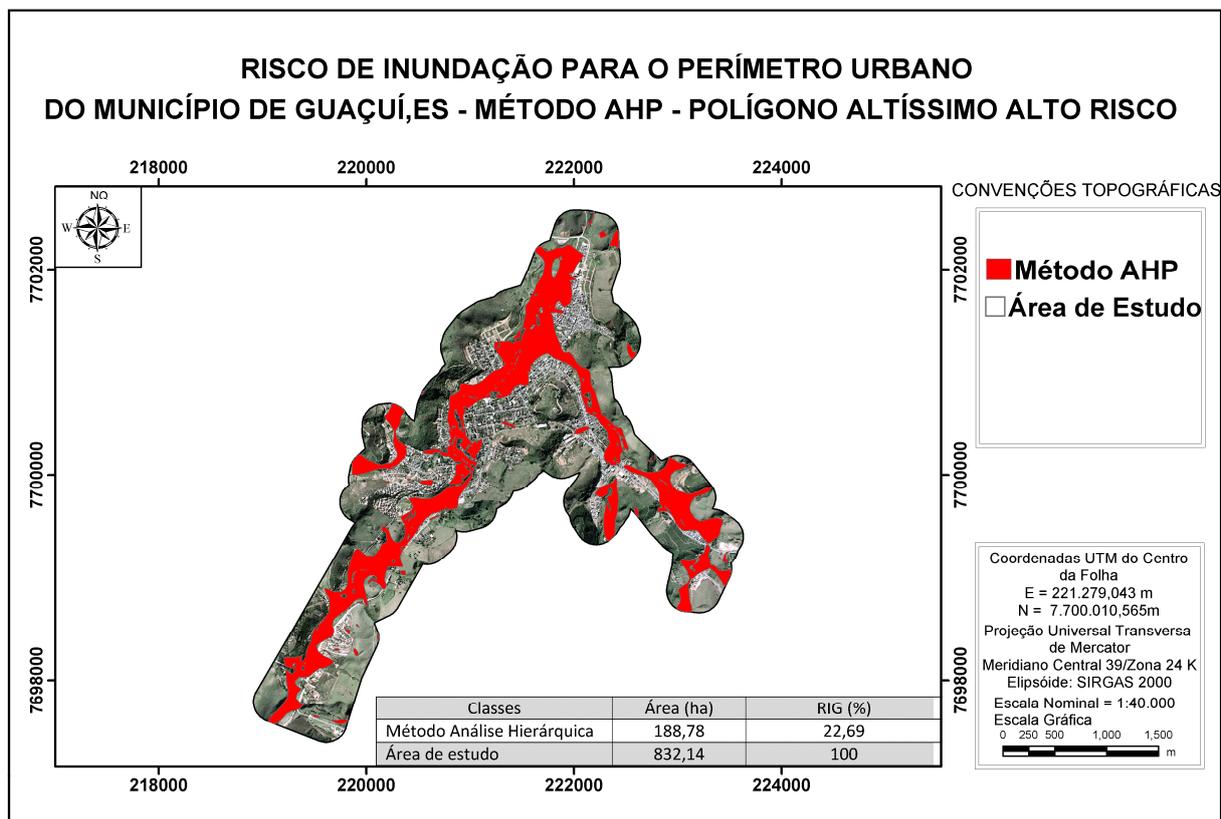


Figura 5. Área de alto risco gerado pelo RIG.

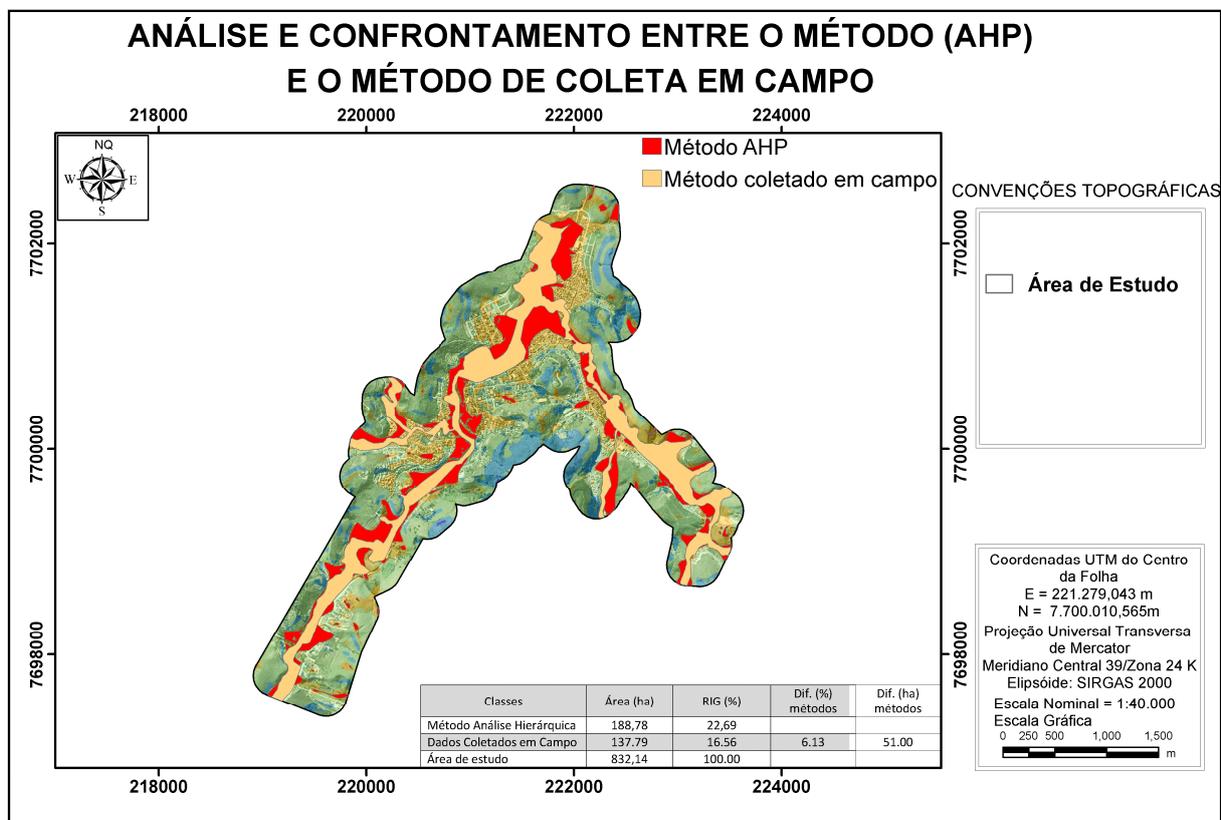


Figura 6. Comparação e sobreposição entre as duas áreas obtidas pelos métodos AHP e pelo método coletado em Campo.

CONCLUSÕES

Na avaliação dos níveis dos riscos de inundação para o município de Guaçuí, o método AHP superestimou o risco de inundação em relação aos dados gerados em levantamentos de campo.

O Modelo AHP apresentou-se como um método de mapeamento satisfatório para determinação de risco de inundação. O Modelo AHP tem grande aplicabilidade, fornecendo em geral bons resultados, especialmente em locais de difícil acesso e distante de análise de campo.

Por ser uma pesquisa qualitativa, o método sofre influência direta do pesquisado no momento de atribuir notas e pesos aos fatores, o que dificulta a comparação entre os métodos utilizados.

REFERENCIAS

- BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). **Geomática e análise ambiental**. Vitória, ES: EDUFES, 2007. p. 32-46.
- BRASIL. Lei nº 4.775, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm> Acesso em: 19 nov. 2011.
- ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação**: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- GALLI, I.; NASCIMENTO, L. P. A S.; BELDERRAIN, M. C. N. Aplicação do método AHP clássico na escolha do operador logístico de uma empresa de telecomunicações. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2007, Foz do Iguaçu. Anais Eletrônicos – Artigos. Foz do Iguaçu: ENEP, 2007. p. 1-9.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 19 nov. 2011.
- MACHADO, M. dos S.; MACHADO, S. W. S.; COHEN, S. C. A rota das chuvas em Petrópolis: cenário de uma inundação. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DEFESA CIVIL, 5., 2009, São Paulo. **Anais Eletrônicos – Artigos**. São Paulo: DEFENCIL, 2009. p. 1-9.
- ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi à ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 6., 2000, Florianópolis. **Resumos expandidos**. Santa Catarina: COBRAC, 2000. p. 1-12.
- SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997.
- SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total**: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.
- TUCCI, C. E. M. (Coord.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1993. 952 p.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.L., BARROS, M. T. (Coord.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1995. 430 p.