

## **Delimitação e estudo de vulnerabilidade da Área de Preservação Permanente no entorno da Lagoa Guanandi, Itapemirim-ES**

Luciano Melo Coutinho<sup>1</sup>  
Roberto Avelino Cecílio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES/ Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro, Jerônimo Monteiro – ES, Brasil.  
lncoutinho@hotmail.com; racecilio@yahoo.com.br

**Abstract.** Delimitation of Permanent Preservation Areas (PPA), as provided for Brazilian legislation (Brazilian Forest Code - Law 4771 of 1965), seeks the protection and conservation natural resources. These are areas defined by specific criteria, forming a barrier against potential natural vegetation changes to natural resources. The anthropic causes imbalance in environmental systems, due disruption their dynamic balance, making them vulnerable to external factors. The vulnerability study of environmental systems can be accomplished from inferences from the occurrences of your surroundings (multicriteria analysis), whether by proximity or by their proportion of the spatial distribution. The Geographic Information Systems (GIS) software to specific generation, processing and storage spatial data from different formats (vector and matrix) capable of automatically identifying or defining factors interest. In this work, we carried out the demarcation PPA (buffer) of Lake Guanandi environment in ArcGIS 9.2®, based in the distances provided by law for source, canals and lakes, followed by the analysis of vulnerability by identifying and assigning weights forms use and occupation their surroundings. The context of the procedures adopted (Fuzzy Logic adapted to the application AHP) allowed the generation of a vulnerability map around the lagoon and its drainage network. We conclude that proximity of identified human factors make this area a great PPA environmental disturbance.

**Palavras chave:** natural vegetation, land use, map distances, multicriteria analysis, Fuzzy Logic, vegetação natural, uso do solo, mapa de distâncias, análise multicriterial, Lógica Fuzzy.

### **1- Introdução**

Na intenção de amenizar os impactos e limitar a ação antrópica sobre os recursos naturais, a legislação prevê a criação de áreas em que a vegetação não pode ser retirada, denominadas Áreas de Proteção Permanente (APPs) (Pinheiro e Cabral, 2007). A adoção e delimitação de APPs consistem, portanto, em medidas previstas por lei para proteção de recursos naturais, com o objetivo de proteger os recursos naturais devido à formação de barreiras de vegetação natural contra as possíveis alterações físicas, químicas e biológicas dos recursos ambientais, sejam naturais ou decorrentes da ação antrópica (Oliveira et al., 2008).

O Código Florestal Brasileiro (Lei N°. 4771 de 15 de setembro de 1965, parcialmente alterada pela Lei N°. 7803 de 18 de julho de 1989), em seu Artigo 2º, considera como APPs as formações vegetais próximas a corpos hídricos e prevê a delimitação de uma faixa marginal de 30 metros para cursos de largura inferior a 10 metros, e de um raio de 50 metros para nascentes. Ainda a Resolução N° 303/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em seu Artigo 3º-III-b, trata diretamente da delimitação da APP de lagoas por uma faixa de 100 metros para as localizadas em áreas rurais, desde que sua superfície seja superior a 20 ha. Entretanto, a vigoração da legislação ainda não é uma realidade, em função da inexistência de uma delimitação oficial das APP's e pela deficiência estrutural dos órgãos administrativos (Ribeiro et al., 2005).

Ruhoff et al. (2005) afirmam, com base na Teoria de Sistemas das Unidades Ecodinâmicas, que os ambientes naturais se encontram originalmente em equilíbrio dinâmico, nos quais as trocas de energia se processam através de relações de equilíbrio. Entretanto, a intervenção humana pode ocasionar o rompimento deste equilíbrio, tornando os sistemas vulneráveis a fatores externos, seguido de alterações ou até sua total supressão. De acordo com Ribeiro et al. (2005) as atividades agropecuárias podem romper o equilíbrio dinâmico do

meio físico ambiental, tendo como principal consequência o desmatamento, devido ao contexto histórico e ocupacional do território brasileiro, que se pauta na exploração predatória dos recursos naturais.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são programas que se utilizam de dados representados por uma projeção cartográfica de precisão (georreferenciados), nos quais é possível manipular e armazenar dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e dados matriciais (imagens). Em ambiente de SIG é possível gerar um mapa de distância a partir de um objeto, sendo esta uma análise de proximidade com base em unidade de comprimento indicada, o que pode ser feito a partir de dados de representação vetorial (Câmara et al., 1996; Druck et al., 2004; Santos, 2007).

A partir da Lógica Fuzzy, diversos fatores de proximidade podem ser ordenados e verificados quanto à sua importância para um processo analisado como um todo, procedimento de análise multicriterial. A geração de um modelo é possível a partir da distribuição ideal de pesos aos fatores analisados, passando da condição de inexato para uma informação confiável pela redução da propagação de erros (Valente e Vettorazzi, 2009). A distribuição ideal dos pesos é realizada em SIG pelo uso do Método de Análise Hierárquica (AHP).

Do exposto, este trabalho consistiu da delimitação da APP da Lagoa Guanandi a partir dos recursos hídricos (com base no Código Florestal Brasileiro), e da análise de vulnerabilidade a partir das formas de uso do solo de seu entorno (Lógica Fuzzy adaptada ao aplicativo AHP) em ambiente de SIG.

## 2- Material e metodos

A Lagoa Guanandi está localizada no Município de Itapemirim, Sul do Estado do Espírito Santo, entre as Latitudes (S) 20°55' e 20°56' e as Longitudes (W) 40°47' e 40°50' (Figura 1). Trata-se de uma área de grande potencial turístico, devido a sua localização litorânea, sendo um grande atrativo alternativo e retirado dos centros urbanos. A ação antrópica é verificada ainda por urbanização, agropecuária e mineração.

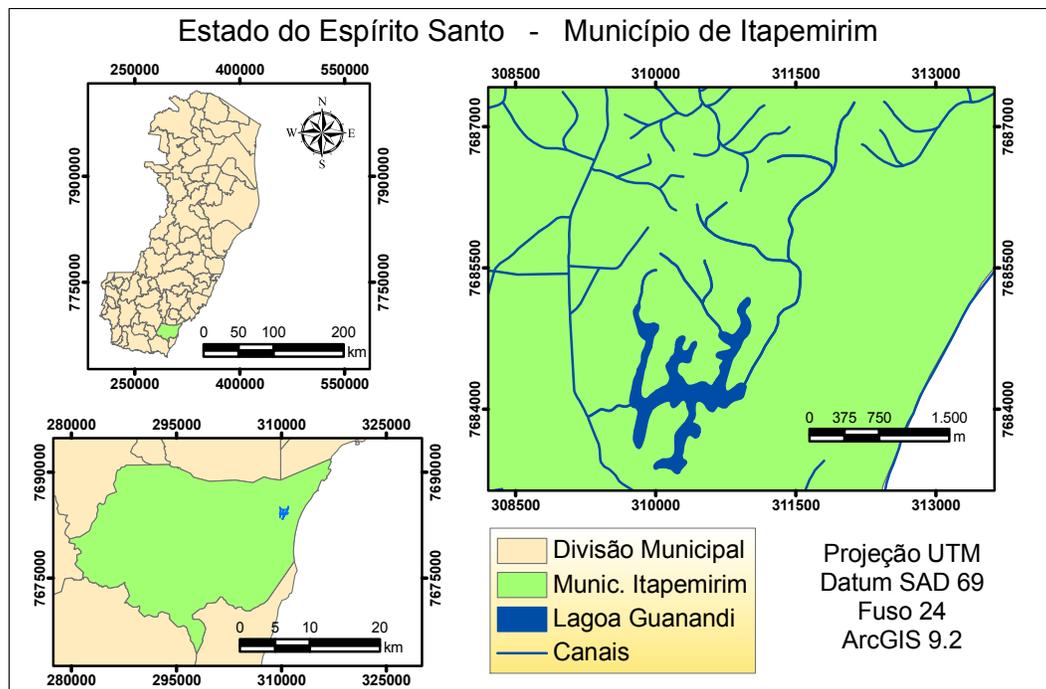


Figura 1. Localização da Lagoa Guanandi.

De acordo com RADAMBRASIL (1983) sua vegetação de entorno é de restinga do tipo herbácea de influência marinha, característica de áreas instáveis de deposições sedimentares e de influência fluvial próximas a cursos de água e lagoas. Sua geologia é do tipo Quaternário Marinho com ocorrência de dunas, restingas e cordões litorâneos.

Foi utilizado o *software* ArcGIS 9.2®, para o tratamento dos dados. A base cartográfica (*layers* de hidrografia e estradas) utilizada foi a original do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O tutorial do SPRING 5.1.2 foi utilizado para consulta e revisão conceitual dos métodos de Mapa de Distância, Lógica Fuzzy e aplicativo AHP em ambiente de SIG (Câmara et al., 1996).

As imagens de sensoriamento remoto são as fotografias aéreas do Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (IEMA). Estas imagens são do levantamento aerofotogramétrico realizado em junho de 2007, onde cada imagem consta de uma cena de 10km x 10km, com resolução espacial de 1m x 1m.

Os *layers* da base cartográfica foram modificados de formato DXF para *Shapefile*, associados a projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e referenciadas ao Datum SAD 69 na escala 1: 50.000, com *pixels* de resolução de 10m x 10m considerando o erro médio quadrático da escala de trabalho.

Para delimitação da APP foram indicadas as distâncias, previstas pela legislação, para os canais, nascentes e margens da lagoa (*ArcToolbox – Buffer*), os quais foram reunidos em um único *layer*. Por se tratar de uma área predominantemente plana, não foram considerados fatores como declividade, topos de morros e divisores topográficos.

As nascentes foram identificadas por pontos pela ferramenta *Editor*, tendo como referência os canais e seus pontos de origem, identificados pela opção *Snapping*. Todos os *layers* referentes a APP foram reunidos em um único *Shapefile* e eliminadas suas linhas internas pela ferramenta *Dissolve* do *ArcToolbox*, o que pode ser visto em sequência da Figura 2 (Santos, 2007).

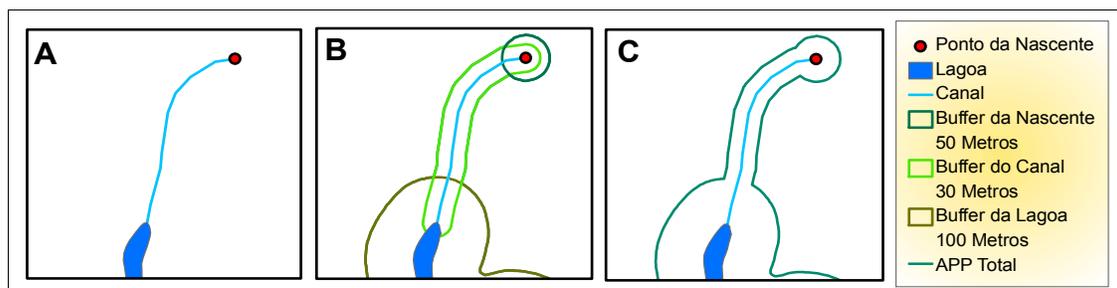


Figura 2. Geração da APP da Lagoa Guanandi em ambiente de SIG. A- Identificação da nascente por ponto. B- *Buffers* a partir dos vetores. C- *Dissolve* aplicado aos *Buffers*.

Devido a alta resolução das imagens utilizadas, optou-se pela digitalização dos temas, sendo identificadas por polígonos as áreas de vegetação nativa distintas (gramíneas e árvores), culturas permanentes na forma de silvicultura e agricultura, pastagens, áreas urbanas e extração de areia (mineração).

A opção pela Lógica Fuzzy se deve a redução de riscos verificada, onde os dados espaciais tem seus valores distribuídos entre 0 e 1 (0% a 100%), o que permite a geração de uma superfície de decisão a partir de uma grade numérica. As referências utilizadas apresentam um parecer comum para a confiabilidade da distribuição dos pesos, que é a “razão de consistência”, a qual é fornecida pelo SIG. A distribuição deve ser adotada quando a razão de consistência for inferior a 0,1 (Borges, 2009; Valente e Vettorazzi, 2009).

O Método de Análise Hierárquica (AHP), proposto por Saaty (Câmara et al., 1996), indica a distribuição ideal de pesos para os fatores (classes temáticas), a contribuição de cada

um para o problema de forma abrangente. Os fatores são comparados dois a dois a partir de uma escala pré-definida, chamada de comparação pareada, estruturada na Tabela 1.

Tabela 1. Escala de Comparação Pareada (adaptado de CÂMARA et al., 1996)

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual.
3	Importância moderada.
5	Importância essencial.
7	Importância demonstrada.
9	Importância extrema.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos.

Para análise da vulnerabilidade desta APP, foram selecionados individualmente (*Attribute Table*) as classes de uso do solo que representam riscos e gerados novos *Shapefiles*. A partir de cada fator de risco foram gerados os mapas de distância, de acordo com a metodologia utilizada por Berger et al. (2007) e por Santos (2007).

Os fatores considerados de risco foram organizados de acordo com as propostas de Borges (2009) e Berger et al. (2007):

- *mineração*: ocorre a retirada de areia para construção civil, o que prejudica a cobertura vegetal pela retirada das plantas e pela remoção da cobertura morta, dificultando a reposição da vegetação, por se tratar de um ambiente de grande fragilidade.

- *estradas*: favorecem o acesso a área, pois visam o deslocamento de moradores e de turistas, seguido do escoamento de produtos agropecuários e de mineração. Oferecem risco a exemplares da fauna (atropelamento e caça) e flora (coleta), e ainda pela emissão de efluentes dos automóveis durante os deslocamentos.

- *urbanização e edificações*: foram representados por formas distintas devido a sua distribuição (a urbanização por polígonos e as edificações por pontos), mas tiveram pesos iguais (5) na matriz. Causam impactos pela emissão de efluentes e resíduos, além da supressão de vegetação pela expansão desordenada, verificados às margens da lagoa.

- *cultura permanente*: afeta a fauna e flora pela redução do fluxo genético de espécies e reduz as áreas de vegetação nativa, dificultando sua reposição. A queimada e utilização de produtos químicos são práticas comuns para limpeza de áreas naturais e formação de novas áreas de plantio.

- *pastagem*: suas ocorrências são similares a cultura permanente, mas podem ser mais prejudiciais devido a maior área necessária e pela presença do gado. Raramente esta prática é precedida de estudos que consideram as condições de aptidão do solo e peso do gado compatível, favorecendo erosão e queimadas.

Para a aplicação do método AHP, os temas foram distribuídos de forma ordenada, e seus respectivos pesos foram atribuídos de acordo com o risco oferecido para a área de estudos (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição dos pesos para os temas.

Categoria	Mineração	Estrada	Edificações	Cultura	Pastagem	Peso
Mineração	1	-	-	-	-	0,0333
Estrada	3	1	-	-	-	0,0634
Edificações	5	3	1	-	-	0,1290
Cultura	7	5	3	1	-	0,2615
Pastagem	9	7	5	3	1	0,5128

De acordo com a metodologia proposta por Santos (2007), foram gerados individualmente os mapas de distância pela ferramenta *Spatial Analyst (Distance)* a partir dos *layers* de mineração, estradas, edificações, cultura permanente e pastagem. Os mapas originais foram reclassificados para o nivelamento dos valores (de 0 a 255) pelo *Spatial Analyst (Reclassify)*, o que pode ser verificado na Figura 3.

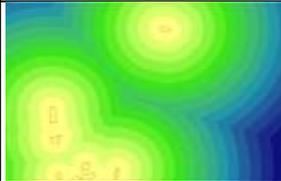
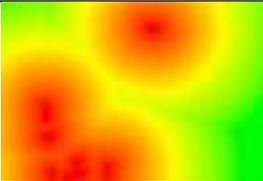
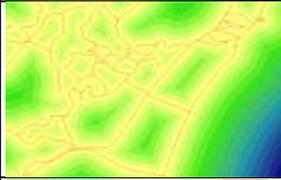
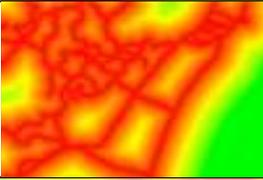
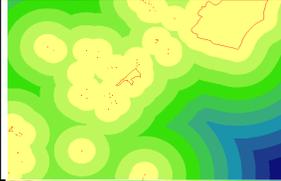
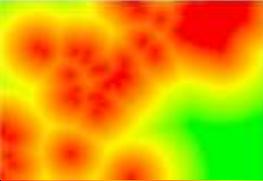
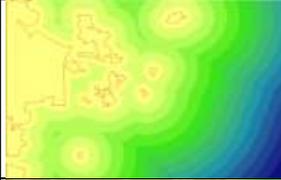
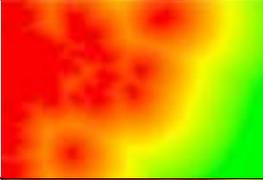
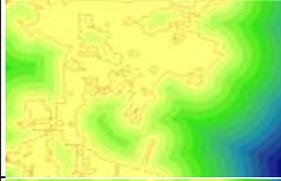
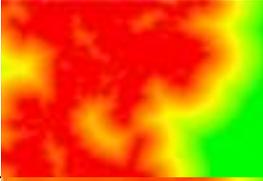
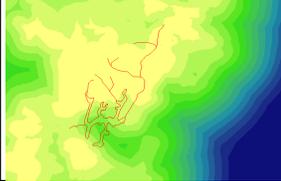
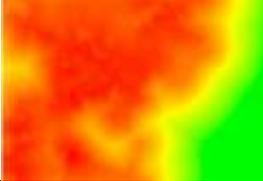
Mapas originais		Mapas reclassificados	
	MINERAÇÃO Máximo: 5.070,19 Mínimo: 0		MINERAÇÃO Máximo: 255 Mínimo: 0
	ESTRADA Máximo: 3.525,97 Mínimo: 0		ESTRADA Máximo: 255 Mínimo: 0
	EDIFICAÇÕES Máximo: 4.233,83 Mínimo: 0		EDIFICAÇÕES Máximo: 255 Mínimo: 0
	CULTURA PERMANENTE Máximo: 5.067,19 Mínimo: 0		CULTURA PERMANENTE Máximo: 255 Mínimo: 0
	PASTAGEM Máximo: 3.734,83 Mínimo: 0		PASTAGEM Máximo: 255 Mínimo: 0
	MAPA FINAL Máximo: 256 Mínimo: 4,94		MAPA FINAL Máximo: 255 Mínimo: 0

Figura 3. Geração e correção de mapas de distâncias dos fatores de risco.

Os valores dos mapas de distancias são considerados a partir da origem das representações vetoriais, indicando sua distância mínima (valor zero) e máxima (maior distância a partir da origem vetorial).

O mapa de vulnerabilidade foi gerado pela ferramenta Calculadora Raster (*Spatial Analyst - Raster Calculator*), organizando-se a equação de forma a multiplicar cada mapa por seu respectivo peso gerado pelo método AHP, seguido da soma dos valores obtidos (Berger et al., 2007; Santos, 2007). O mapa final foi reclassificado para ajuste dos valores, e a proporção de vulnerabilidade da área foi distribuída em alto, médio e baixo.

A sequência de preparo e manuseio de dados, seguido da geração de novos dados e obtenção de resultados, estão representados esquematicamente na Figura 4.

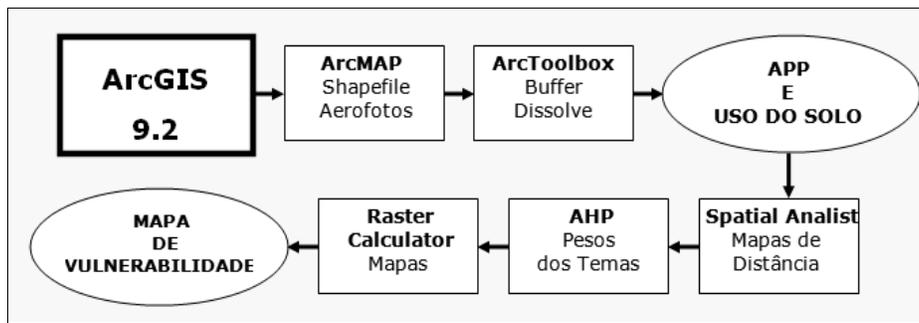


Figura 4. Fluxograma de preparo de material e métodos.

### 3- Resultados e discussão

A geração do mapa de uso do solo apresentou bons resultados, facilitado pela alta resolução espacial das imagens, sendo possível diferenciar os fatores de risco (ação antrópica) e os fatores benéficos (vegetação nativa) para a área analisada e seu entorno (Figura 5).

Stempniak et al. (2009) apresentam resultados satisfatórios na delimitação de APP na bacia hidrográfica do Rio Vidoca em ambiente de SPRING. Valente e Vettorazzi (2009) identificaram áreas prioritárias para conservação florestal na bacia do rio Corumbataí. Ambos os trabalhos corroboram com os procedimentos aqui adotados.

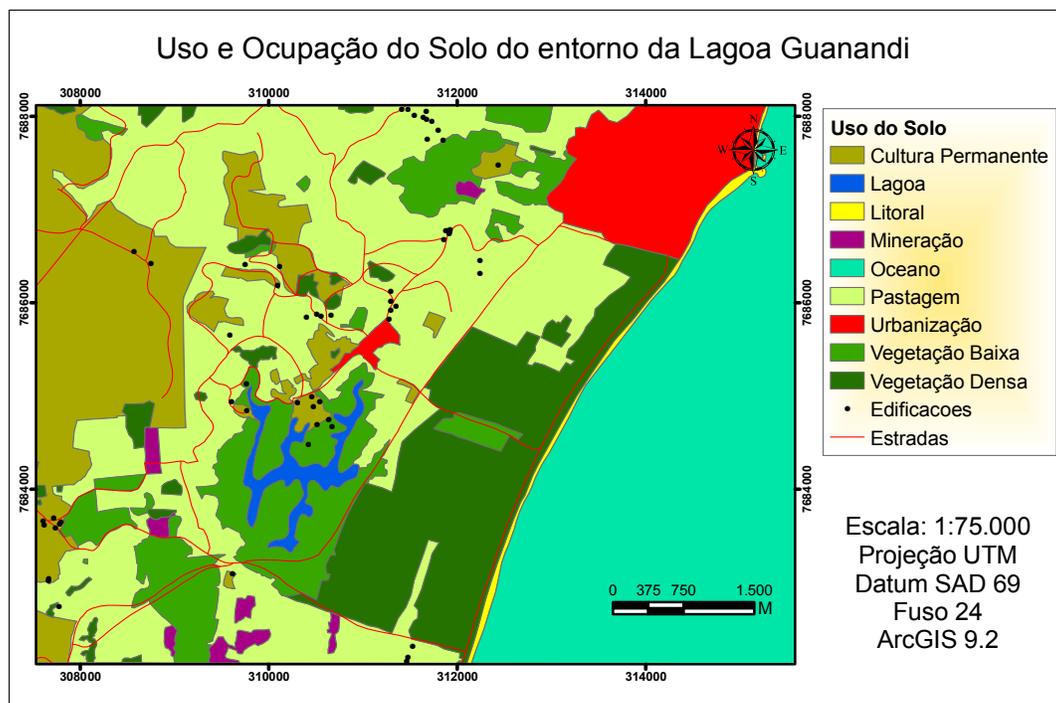


Figura 5. Mapa de uso do solo do entorno da Lagoa Guanandi.

O *layer* de hidrografia permitiu a geração do *buffer* da APP, dentro dos critérios da legislação consultada, sendo utilizados as linhas dos canais (30 metros a partir da margem), o polígono da lagoa (100 metros a partir da margem) e dos pontos das nascentes (50 metros de raio), constituindo uma área total de 226,28 ha.

O ordenamento dos temas considerados impactantes para APP da Lagoa Guanandi (mineração, estradas, edificações, culturas permanentes e pastagens) e a indicação de seus pesos pela Lógica Fuzzy, adequados no aplicativo AHP, mostrou-se a contento, conforme os

objetivos. Obteve-se uma razão de consistência aceitável (0,053), sem necessidade de adequações e alterações do ordenamento da matriz. De acordo com Jesen (1984, citado por Borges, 2009) ao se forçar os dados para enquadramento da matriz corre-se o risco de responder apenas ao rigor matemático e não à realidade representada. Devido a utilização de mapas de distância, os fatores de risco e o produto final (mapa de vulnerabilidade) podem ser analisados a partir da densidade de sua distribuição, ao contrário das distribuições convencionais de forma estática (booleana).

É possível identificar no mapa de vulnerabilidade (Figura 6) as áreas de maior perturbação da APP, distribuídos na legenda como ALTO (vermelho), MÉDIO (amarelo) e BAIXO (verde). As porções em tons vermelhos indicam os encontros, ou maior proximidade, dos fatores de risco. A principal ocorrência a se observar é a redução do risco a partir do centro (amarelo) em sentido sudeste (verde), o que se deve ao distanciamento de fatores antrópicos e proximidade da vegetação nativa. Com base na Figura 5, verifica-se (sentido centro-sudeste) a ocorrência de vegetação baixa, e a transição para vegetação densa.

A partir das inferências visuais de interpretação do mapa, a APP da Lagoa Guanandi pode ser considerada de grande fragilidade ambiental, com base nos fatores aqui analisados, pois sua área apresenta predominância ou tendências de risco ALTO. Deve-se ainda atentar que o risco BAIXO não significa risco nulo, pois os fatores antrópicos analisados são de grande mobilidade espacial (Pinheiro e Cabral, 2007; Oliveira et al., 2008).

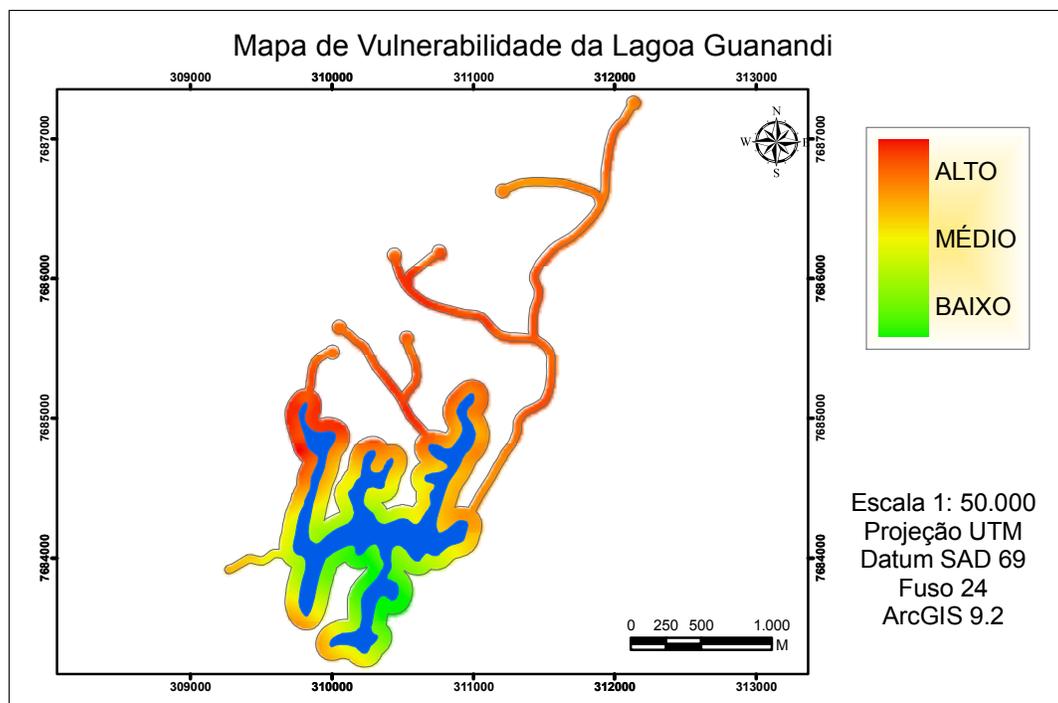


Figura 6. Mapa de vulnerabilidade da APP da Lagoa Guanandi.

No contexto de identificação da APP da Lagoa Guanandi, destaca-se o ganho de tempo, baixo custo e precisão cartográfica de tal procedimento pelo uso de SIG, o que é de grande importância ao se considerar as propostas da legislação consultada (Código Florestal Brasileiro - Lei Nº. 4771/1965 e a Resolução CONAMA Nº. 303/2002).

O uso da Lógica Fuzzy em ambiente de SIG, assim como sua adequação pelo aplicativo AHP, mostra-se um procedimento de grande confiabilidade no suporte de decisões, o que possibilita o ordenamento e distribuição dos pesos diretamente aos fatores de risco. A

confiabilidade deste procedimento pode ser atribuída à precisão matemática verificada e a redução de subjetividade, em comparação ao uso de distribuições convencionais.

#### 4- Conclusão

A utilização de SIG para estudos ambientais mostra-se uma prática confiável, uma vez que seu ambiente permite a junção de elementos cartográficos e imagens de diferentes níveis de aquisição, seguido da utilização de modelos matemáticos específicos, os quais devem ser adotados de forma criteriosa pelo(s) pesquisador(es).

Espera-se que os métodos e resultados expostos neste trabalho possam nortear demais formas de aplicação de uso de SIG para estudos ambientais.

#### Referências Bibliográficas

Berger, M. V. S.; Silva, M.C. da; Saldanha, J.C.S. Análise da vulnerabilidade da RPPN Cafundó. *in*: Moraes, A. C. de; Santos, A. R. dos. (org.) **Geomática e Análise Ambiental**. Vitória, ES: EDUFES, 2007.

Borges, T. S. **Elaboração de metodologia para mapeamento do perigo de incêndios em florestas plantadas**. UFES: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (Dissertação de Mestrado). Alegre, ES. Julho de 2009.

Câmara, G.; Souza R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996. Disponível em: <www.dpi.inpe.br>. Acesso em: 26 jul. 2010.

Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (IEMA). Disponível em: <www.meioambiente.es.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2010.

Oliveira, F.S. de.; Soares, V.P.; Pezzopane, J.E.M.; Gleriani, J.M.; Lima, G.S.; Silva, E.; Ribeiro, C.A.A.S.; Oliveira, A.M.S. Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, Estado de Minas Gerais. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.899-908, 2008. Disponível em: < www.revistaarvore.ufv.br>. Acesso em: 10 jun. 2010.

Pinheiro, L. de S.; Cabral, N. R. A. J. Níveis de ocupação nas áreas de preservação permanente no entorno da lagoa do Catú, Aquiraz-CE. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica. **Anais...** João Pessoa-PB, 2007. Disponível em: <www.redenet.edu.br>. Acesso em: 13 jul. 2010.

RADAMBRASIL. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983.

Ribeiro, C. A. A. S.; Soares, V.P.; Oliveira, A.M.S.O.; Gleriani, J.M. O Desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.203-212, 2005. Disponível em: <www.revistaarvore.ufv.br>. Acesso em: 29 mar. 2010.

Ruhoff, A.L.; Souza, B.S.P. e; Giotto, E.; Pereira, R.S. Lógica *Fuzzy* e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2355-2362. Disponível em: <www.dsr.inpe.br>. Acesso em: 12 jul. 2010.

Santos, A. R. dos. **ArcGIS 9.1 Total: aplicações para dados espaciais**. Vitória, ES: Fundagres, 2007.

Stempniak, A.; Batista, G.T.; Morelli, A.F. Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente APP na Bacia do Vidoca no Município de São José dos Campos, SP. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade. **Anais...** Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 733-740. Disponível em: <www.ipabhi.org>. Acesso em: 12 jul. 2010.

Valente, R. de O. A.; Vettorazzi, C. A. Comparação entre métodos de análise de sensibilidade, empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 197-211, jun. 2009. Disponível em: <www.ipef.br>. Acesso em: 14 mai. 2010.