

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N<sup>o</sup> 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 327-337  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **MAPEAMENTO DO GRAU DE FRAGILIDADE COM PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO E OPERADORES FUZZY GAMA NA DETECÇÃO ÁREAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL**

*Mapping of Fragility Degree with Hierarchical Analytical Process and Operators Fuzzy Gama for Detection of Environmental Fragility Areas*

**Stela Rosa Amaral Gonçalves, Renata Ribeiro de Araújo  
& Nilton Nobuhiro Imai**

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP**  
**Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas – PPGCC**  
Caixa Postal 305 – 19060-900 – Presidente Prudente – SP - Brasil  
goncalvessra@gmail.com, reriibeiro@fct.unesp.br, nilton.imai@gmail.com

*Recebido em 30 de Novembro, 2014/ Aceito em 7 de Agosto, 2015*  
*Received on November 30, 2014/ Accepted on August 7, 2015*

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi inferir a variação espacial dos graus de fragilidade da bacia hidrográfica do alto Rio Santo Anastácio/SP e comparar as técnicas de síntese pelo processo hierárquico analítico e operador *Fuzzy gama*. Com dados de natureza física do ambiente foi criado um banco de dados no programa *Spring 5.2* com os planos de informações: uso e cobertura da terra, distância ao curso d'água e declividade foram elaborados dois mapas sínteses de instabilidade ambiental um com o processo analítico hierárquico (AHP) e outro baseado na abordagem *Fuzzy gama*. Os resultados mostraram que, para o estudo de caso, o processo analítico hierárquico (AHP) produziu resultados com maior aderência com a realidade observada no campo.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Mapeamento Ambiental, Rio Santo Anastácio, Área Degradada

### **ABSTRACT**

The main goal of this work was evaluate the spatial variation of fragility degrees in the watershed of Santo Anastácio River (São Paulo State) and compare the several techniques of synthesis using analytical hierarchical process and operator *Fuzzy gama*. Physical variables were used to create a database in *Spring 5.2* program with the following layers: land use and land cover, distance to the watercourse and slope. Theses layers were adopted and provided two environmental instability maps by using two approach, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) and *fuzzy gama* operator. The results showed that for the study case, the analytical hierarchical process (AHP) produced results with greater grip with the reality observed in the field.

**Keywords:** Geoprocessing, Mapping Environmental, Santo Anastácio River, Degraded Areas.

## 1. INTRODUÇÃO

As formas de relevo oriundas de ambientes fluviais estão relacionadas aos processos erosivos e de sedimentação. Em uma bacia hidrográfica, o comportamento hidrológico está fortemente relacionado com suas características morfológicas, dentre elas, a cobertura vegetal, área, forma e topografia. Porém, observa-se que a proteção dos mananciais não ocorre, visto que as bacias hidrográficas brasileiras são alvo de significativas alterações de suas características naturais, em função das atividades antrópicas e do crescimento urbano.

Em razão de impactos antrópicos no meio ambiente, em especial nos recursos hídricos e na bacia que os contém, observa-se uma política de importar água de bacias hidrográficas cada vez mais distantes dos centros urbanos, para satisfazer as necessidades e o crescimento da demanda.

Um diagnóstico ambiental dos recursos hídricos deve ser realizado com base nas características físicas de uma bacia hidrográfica, o que remete à necessidade de espacialização das variáveis que melhor representam esse meio físico.

Uma das formas de espacialização de dados é, segundo Ribeiro Júnior e Vieira (2012), através da utilização de ferramentas de sensoriamento remoto a fim de minimizar problemas referentes aos métodos de levantamentos tracionais.

O processo analítico hierárquico foi desenvolvido pelo Dr Thomas L. Saaty, no ano de 1971 e teve sua primeira aplicação em 1972. Detalhes desse processo estão descritos em Saaty (1990).

Uma das técnicas para detectar problemas ambientais é o processo analítico hierárquico que segundo João & Pereira (2006, apud Ribeiro Júnior; Vieira, 2012) foi desenvolvido pelo Dr. Thomas L. Saaty, no ano de 1971 e teve sua primeira aplicação em 1972.

Nesse processo segundo Ribeiro Júnior e Vieira (2012) existem cinco passos. Primeiramente deve ser criada uma estrutura hierárquica levando em conta o problema as variáveis envolvidas e os critérios que devem ser considerados. Em seguida devem ser realizadas as comparações binárias entre as variáveis. No terceiro e quarto passo são definidas as prioridades globais entre as variáveis e comparação binária entre os critérios.

Por fim as prioridades são avaliadas por meio da determinação das coerências tanto em relação as variáveis quanto aos critérios adotados.

O processo AHP foi adotado e avaliado no suporte a decisão em análise multicritério por muitos autores como Svoray *et al.* (2012), Samizava *et al.* (2008), Dias e Da Silva (2014), De Oliveira *et al.* (2014) e Weber e Chapman (2011).

Segundo Câmara *et al.* (2001) os conjuntos Fuzzy iniciaram-se com Zadeh em 1965, trata-se de uma metodologia de caracterização de classes, utilizada quando não é possível definição de limites rígidos. “Essas classes definidas de maneira inexata são chamadas de conjunto *Fuzzy*” (CÂMARA *et al.*, 2001).

Samizava *et al.* (2008) afirma que utilizar conjuntos Fuzzy tornam os conceitos imprecisos, encontrados no meio físico, mais próximos a realidade.

Portanto, considerando que essas alternativas de análise multicritério vem apresentando resultados de alta confiabilidade em diversas aplicações, decidiu-se realizar uma avaliação comparativa dessas abordagens na avaliação do grau de fragilidade de uma bacia hidrográfica. O principal objetivo desse trabalho foi inferir a variação espacial dos graus de fragilidade da bacia hidrográfica do alto Rio Santo Anastácio/SP e comparar as técnicas de síntese pelo processo hierárquico analítico (AHP) e operador *Fuzzy gama*.

Neste trabalho adotou-se a hipótese de que a combinação de dados geográficos baseados em técnicas de inferência geográficas, podem produzir informações adequadas para a gestão de bacias hidrográficas e, mais especificadamente, de mananciais de recursos hídricos.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho pode ser dividida em 3 partes. Sendo a primeira parte o mapeamento de informações de uso e cobertura da terra, declividade e mapa de distância em relação a drenagem. Segunda etapa foi o mapeamento de síntese do grau de fragilidade por meio do método AHP e Fuzzy Gama. Por fim a terceira etapa foram os trabalhos de campo, sendo um primeiro para reconhecimento da área e o segundo para validação do mapeamento em 3 pontos ao longo do curso do rio Santo Anastácio.

## 2.1 Área de estudo

A bacia do manancial Rio Santo Anastácio totaliza uma área de 198,30 km<sup>2</sup>, localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema - UGRHI-22, no Oeste Paulista, abrangendo parte dos municípios de Presidente Prudente, Pirapozinho, Regente Feijó, Anhumas e Álvares Machado. Está localizada entre as coordenadas 22° 07' 37"S e 51° 19' 46"W, e as coordenadas 22° 16' 52"S e 51° 31' 27"W (DIBIESO, 2007).

A área do manancial é composta pelos córregos: do Palmitalzinho; Noite Negra; da Olga; Embiri; Santa Luzia; Pindaíba; Araci; Lajeadinho; São Sebastião; do Cedro; do Cedrinho e Botafogo.

A sistemática de captação de água, para o abastecimento humano, no Município de Presidente Prudente-SP, seguiu uma tendência de substituição.

Dentre as diversas ações impactantes ocorridas na bacia do Rio Santo Anastácio pode-se citar a supressão da mata ciliar, o lançamento de esgoto doméstico e industrial "in natura", a utilização de suas águas para dessedentação de animais e para tanques de aquicultura, os quais, sem um manejo adequado, comprometem a qualidade da água. Ressalta-se, como resposta a estas ações perturbadoras, a eutrofização do reservatório no Rio Santo Anastácio, construído para a captação de água.

Tendo em vista a problemática apresentada em torno do Rio Santo Anastácio é necessário um estudo mais aprofundado da situação real do recurso hídrico tanto no espaço quanto no tempo.

## 2.2 Processamentos dos dados

Utilizaram-se imagens do satélite Landsat5 (órbita/ponto – 222/075) do mês de setembro de 2011, sendo que esses dados orbitais foram adquiridos no *site* do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e os mesmos processados no software *Spring 5.2*.

A escolha das cenas foi baseada em parâmetros como cobertura de nuvens e possíveis ruídos. Cada uma delas foi recortada para a região de interesse nas três bandas espectrais da imagem, sendo que estas foram importadas para o software e georreferenciadas.

O uso e cobertura da terra foi mapeado,

tendo como base uma imagem Landsat5 georreferenciada na projeção UTM e sistema SIRGAS 2000. Aplicou-se uma classificação supervisionada em regiões obtidas pela aplicação de um algoritmo de crescimento de regiões.

Este algoritmo usa a informação espectral de cada pixel e a informação espacial dos pixels vizinhos para criar agrupamentos com base na medida de similaridade. Adotou-se a distância de Battacharya como critério de similaridade entre classes de informações.

Foi realizada uma transformação RGB->IHS. Com a imagem transformada, aplicou-se um contraste linear que representava a componente da cor intensidade. Produziu-se uma composição colorida com Banda 3, 4 e 5 (BGR).

Na etapa de treinamento selecionou-se regiões amostrais de treinamento para que o *Spring 5.2* pudesse gerar uma imagem classificada nas classes temáticas de uso e cobertura que se chamou de *vegetação, culturas, água, área urbana, pastagem e solo exposto*.

A partir de um arquivo de dados amostrais extraídos de um mapa topográfico na escala de 1:50000 gerou-se uma grade regular utilizando o interpolador *Média Ponderada Por Quadrante*, isso porque como o relevo tem um padrão suave não haveria necessidade de utilizar outro tipo de interpolador.

A matriz de declividade foi produzida com base na grade de altimetria gerada anteriormente com as amostras de isolinhas na escala de 1:50000, sendo a unidade escolhida a porcentagem, conforme a metodologia proposta por Ross (1994). Aplicou-se uma ponderação conforme Tabela 1 nos valores de declividade. Desta forma a partir das classes já consagradas por Ross (1994) e Ross *et al.* (2005), adaptou-se os códigos de 1 a 5 descritos na tabela 1 para uma escala entre 0 e 1, para posterior ponderação.

O plano de informação contendo o uso e cobertura da terra foi ponderado, com base na abordagem de Ross *et al.* (2005), conforme tabela 2. Respeitou-se o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal e cultivada de Ross (1994), onde o autor organiza por ordem decrescente da capacidade de proteção e adaptou-se para a escala entre 0 e 1 demonstrados na Tabela 2. Para este trabalho não foi prevista a classe de área estável e, portanto, o peso zero não foi usado.

Tabela 1: Classes de fragilidade para declividade

Fragilidade	Categorias Hierárquicas	Código	Código adaptado
Muito Fraca	até 6%	1	0,1
Fraca	de 6% a 12%	2	0,3
Média	de 12% a 20%	3	0,5
Forte	de 20% a 30%	4	0,7
Muito Forte	acima de 30%	5	0,9

Fonte: adaptado de Ross *et al.* (2005).

Tabela 2: Classes de uso e cobertura

Grau de Proteção	Tipo de Cobertura	Código Adaptado
1-Muito Alta	Florestas/Matas Naturais/ Florestas	0,2
2-Alta	Culturas de ciclos longos	0,4
3-Média	Pastagens	0,6
4-Baixa	Solo exposto entre ruas/área urbana	0,7
5-Muito Baixa e Nula	<b>Áreas desmatadas/solo exposto</b>	0,9

Fonte: adaptado de Ross (1994)

De acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), para construção do mapa de fragilidade seria necessário obter informações das variáveis de uso e cobertura da terra, de padrões de forma do relevo onde no caso utilizou-se a declividade, e de solo.

A fim de respeitar essa metodologia já consagrada, mas considerando a ausência de informações sobre solos na escala desejada, foi necessário adaptar essa metodologia. Para isso a informação de solos foi substituída pela informação da variável distância ao Rio que traz informações sobre a área de preservação permanente.

O plano de distância ao Rio foi elaborado a partir de uma drenagem na escala de 1:10000 da área de estudo, e padronizado com base em uma transformação *Fuzzy* por meio da linguagem Legal.

Os valores da distância foram padronizados entre 0 e 1 pela aplicação da equação 1. Essa transformação inclui regiões de transição que

representam a incerteza envolvida nas análises de inferência geográfica decorrentes de limites incertos e escalas diferentes entre fontes de dados.

Essa padronização prevê que valores menores que 30 metros devem receber o valor 1 por serem consideradas de alta instabilidade e valores maiores que 50 metros são convertidos para zero por serem classificados como de baixa instabilidade. Finalmente, na região de transição entre 30 e 50 metros os valores variam entre 1 e 0 diminuindo suavemente de acordo com a equação 1.

$$dist\_padr = \cos\left(\left(\frac{dist - 30}{50 - 30}\right) * \frac{\pi^2}{2}\right)^2 \quad (1)$$

sendo, *dist* a distância em relação ao Rio e *dist\_padr* a distância em relação ao Rio padronizada.

Foi aplicado o Método AHP (Processo Analítico Hierárquico) baseando-se em Moreira *et al.* (2001), para atribuir pesos aos planos padronizados numa combinação de planos de informação baseada em média ponderada e avaliou-se a qualidade da matriz de comparação pareada com base na razão de consistência.

Outro tipo de combinação de dados é baseado na inferência *Fuzzy*. Esse algoritmo utiliza métodos lógicos para combinar dados provenientes de vários conjuntos e, portanto, também pode ser utilizado para se obter um mapa síntese de vários planos de informação. Dentre os operadores *Fuzzy* têm-se: *and*, *or*, *soma algébrica*, *produto algébrico* e operador *gama*.

O *produto algébrico* tem a função de um *produtório* e possui a tendência de produzir valores muito pequenos devido a multiplicação de valores menores que 1. A *soma algébrica* pode-se dizer que seja operador complementar ao *produto algébrico* que causa um aumento do valor de pertinência.

Desta forma, o operador *Fuzzy gama* integra a *soma algébrica Fuzzy* com o *produto algébrico Fuzzy* por meio de uma multiplicação e um expoente *gama* ( $\gamma$ ) conforme equação 2 abaixo onde o valor do *gama* pode variar entre 0 a 1.

$$\mu = (\text{soma algébrica Fuzzy})^\gamma X (\text{produto algébrico Fuzzy})^{1-\gamma} \quad (2)$$

Ao fim, com uma ferramenta de cálculo de medida de classe do *Spring 5.2*, foi possível obter os valores em quilômetros quadrados respectivos de cada classe para os dois métodos.

Foram realizados dois trabalhos de campo, o primeiro para reconhecimento da área em setembro de 2012 e escolha de possíveis seções de amostragem e o segundo para validação do mapeamento em março de 2013.

Como se trata de uma região numa área de manancial não ocorrem muitas alterações ao longo do tempo, tendo sido possível verificar onde ocorreram mudanças desde a tomada da cena até a realização dos levantamentos de campo.

A área foi dividida em três regiões, em relação ao eixo hidráulico do rio, com origem nas nascentes em direção ao exutório. Assim observaram-se três pontos (Tabela 3) de amostragem um em cada região com características específicas já detectadas durante o reconhecimento da área.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao mapeamento das características morfológicas da área em estudo

percebeu-se que a imagem realçada RGB/IHS apresentou brilho melhor, como se observa na comparação entre as figuras 1 e 2.

Esse contraste contribuiu muito para escolha das amostras de treinamento no processo de classificação supervisionada para elaboração do mapeamento de uso e cobertura da terra.

Com o mapa de uso e cobertura elaborado (Figura 3), calculou-se os resultados apresentados na tabela 3, através de uma ferramenta de medidas de classe.

Tabela 3: Localização dos pontos de amostragem para validação do mapeamento.

Ponto	Referencial	Latitude/Longitude
1	Confluência do Rio Santo Anastácio/ Palmitalzinho	22°14'19.78"S/ 51°22'13.80"O
2	Confluência do Rio Santo Anastácio/ Embiri	22°12'10.64"S/ 51°23'59.00"O
3	Próximo da Confluência do Rio Santo Anastácio/ Lajeadozinho	22°11'53.59"S/ 51°28'8.95"O

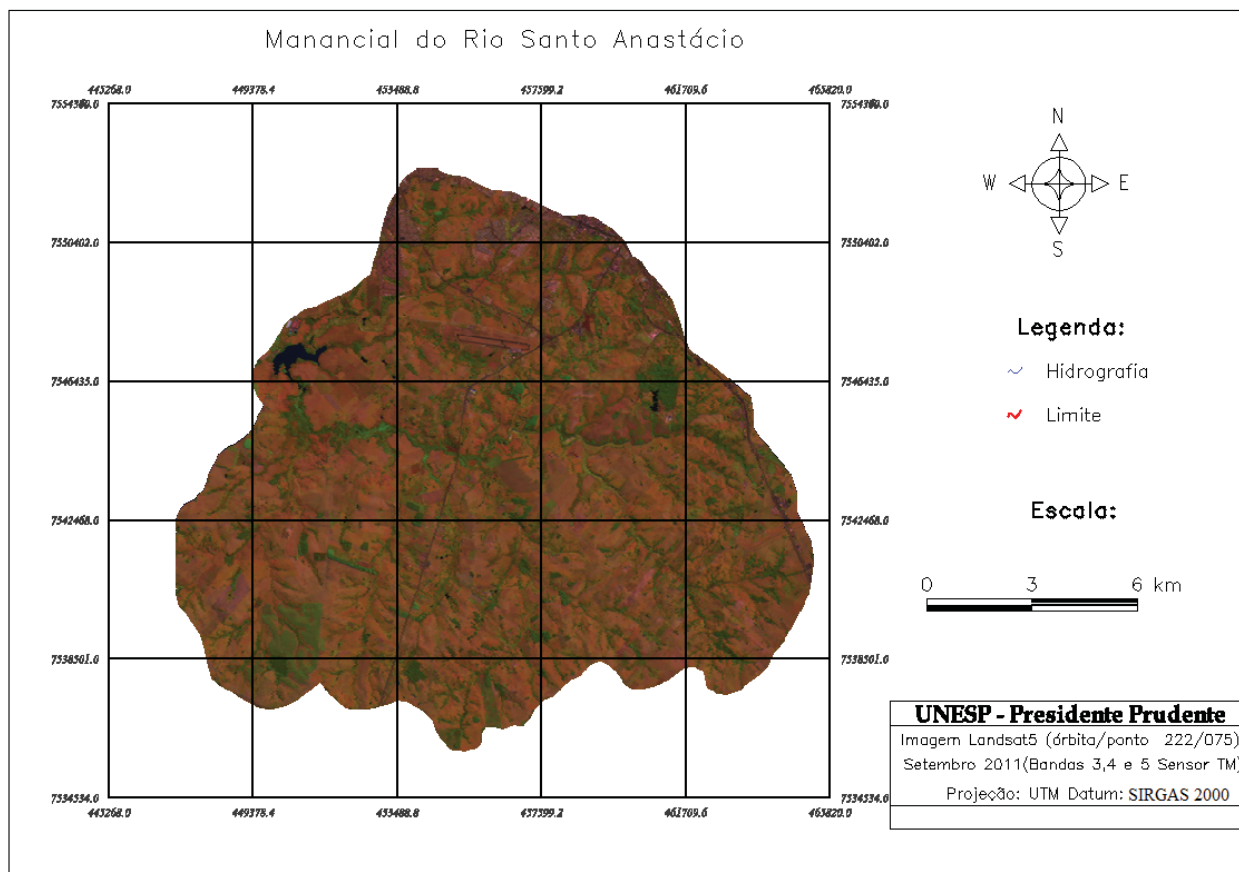


Fig. 1 – Imagem Landsat5 original. Composição colorida RGB (543).

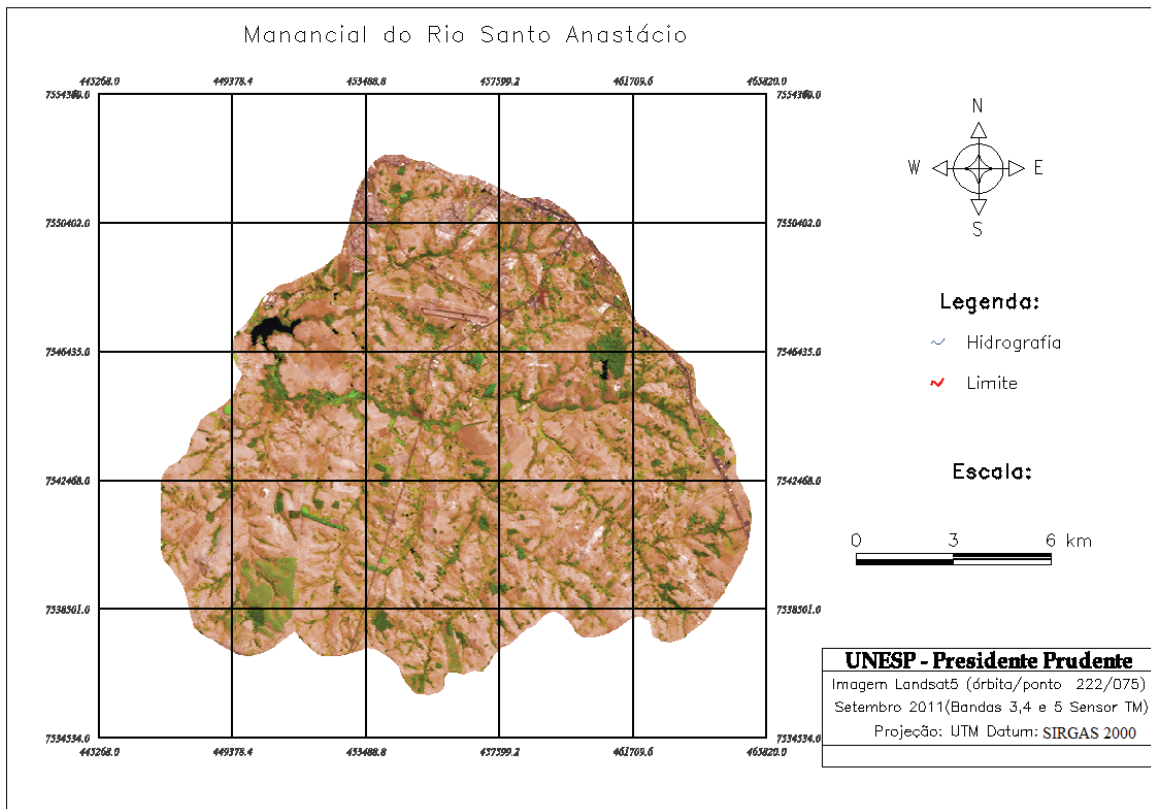


Fig. 2 – Imagem Landsat5 contrastada (A), composição colorida RGB (543).

Na tabela 4 estão apresentados os tipos de uso e cobertura da área de estudo e seus respectivos valores em quilômetros quadrados e porcentagem. Observou-se que a área de

corpos d’água foi muito pequena. Isso ocorreu devido a largura dos canais serem inferiores a capacidade de resolução espacial da imagem de satélite usada.

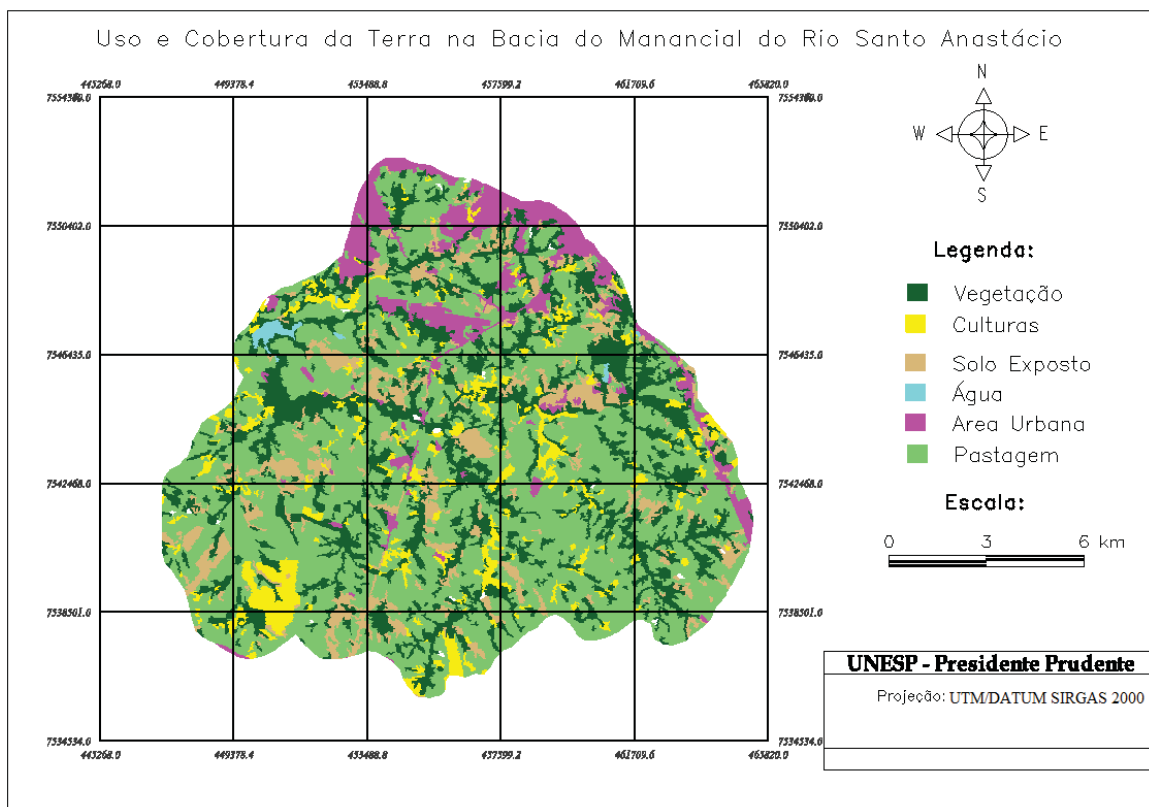


Fig. 3 – Uso e cobertura da terra.

Tabela 4: tipos de uso e cobertura da área de estudo e áreas em km<sup>2</sup> e %

Classes	Área em %	Área em km <sup>2</sup>
Pastagem	52,8	104,71
Vegetação	22,87	45,36
Solo Exposto	9,26	18,37
Área Urbana	7,53	14,93
Culturas	7,15	14,18
Água	0,39	0,77

Observou-se um predomínio da classe de cobertura por pastagem com aproximadamente 53%, seguida da cobertura vegetação. Esta última é composta principalmente por vegetação ciliar, fato que foi comprovado em trabalhos de campo realizados na mesma bacia.

Após avaliação e quantificação das classes de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, notou-se que no alto curso da Bacia predominam o uso de pastagem, alguns tipos de culturas como café e cana-de-açúcar para ração animal, além de vegetação natural, principalmente próximo aos afluentes, além da grande extensão de uso urbano caracterizando o núcleo urbano de Presidente Prudente (GONÇALVES, 2011).

Áreas urbanas predominam na porção que abrange o município de Presidente Prudente. Foi também possível identificar a presença da rodovia Assis Chateaubriand que cruza a área central do manancial e a rodovia Raposo Tavares que aparece mais a leste na imagem. Já em relação às culturas maiores observou-se cana de açúcar e milho.

A declividade da área de estudo, apresentou predominância de classes com declividade de 6% a 12% (tabela 5), o que corroborou com o resultado de Gonçalves (2011).

Neste caso, verificou-se a predominância de declives entre 5 a 12% nessa região do alto curso da bacia, os quais foram intercalados por terrenos com declives de 12% a 30%, vinculados a patamares intermediários que dão acesso ao curso principal, tais declividades mais acentuadas implicam em um maior poder erosivo destas drenagens.

Tabela 5: classes de declividade e áreas em km<sup>2</sup>

Classes	Área (km <sup>2</sup> )
Até 6%	131,1
De 6% a 12%	28,3
De 12% a 20%	19,30
De 20% a 30%	12,12
Acima de 30%	7,52

O resultado do zoneamento das áreas de instabilidade, com o método AHP está apresentado na figura 4. A matriz de comparação pareada apresentou uma razão de consistência de 0,016 sendo considerada excelente.

Os níveis dos pares das variáveis utilizadas no modelo foram: declividade com peso 3 em relação a distância ao rio, e o uso e cobertura apresentou igualdade de peso em relação a declividade e peso 2 comparado a distância ao rio.

Após o cálculo de medida de classe, observou-se que a área total das classes foi de 198,34 km<sup>2</sup>. Esse resultado pode ser observado na tabela 5, bem como o valor em quilômetro quadrado de todas as classes de instabilidade ambiental nos dois métodos.

O plano de informação temático resultante da aplicação do operador *Fuzzy gama* chamado de Zoneamento está apresentado na figura 5.

Com o mapa síntese de zoneamento elaborado pelos dois métodos calculou-se em quilômetros quadrados as respectivas áreas de instabilidade de cada classe conforme resultado da tabela 6.

As 5 classes de instabilidade foram definidas e distribuídas por divisão igualitária, ou seja, baseado no intervalo dividiu-se em 5 classes que foram fatiadas e nomeadas conforme tabela 6.

Os resultados do mapeamento de síntese com o método AHP apresentaram as áreas sendo classificadas como Muito Alta ou Alta Instabilidade as áreas muito próximas ao Rio Santo Anastácio e de seus afluentes com uso e cobertura classificado por solo exposto ou áreas urbanas, bem como áreas com declividade acentuada.

Já a classe baixa do AHP foi constituída por áreas que não possuíam declividade

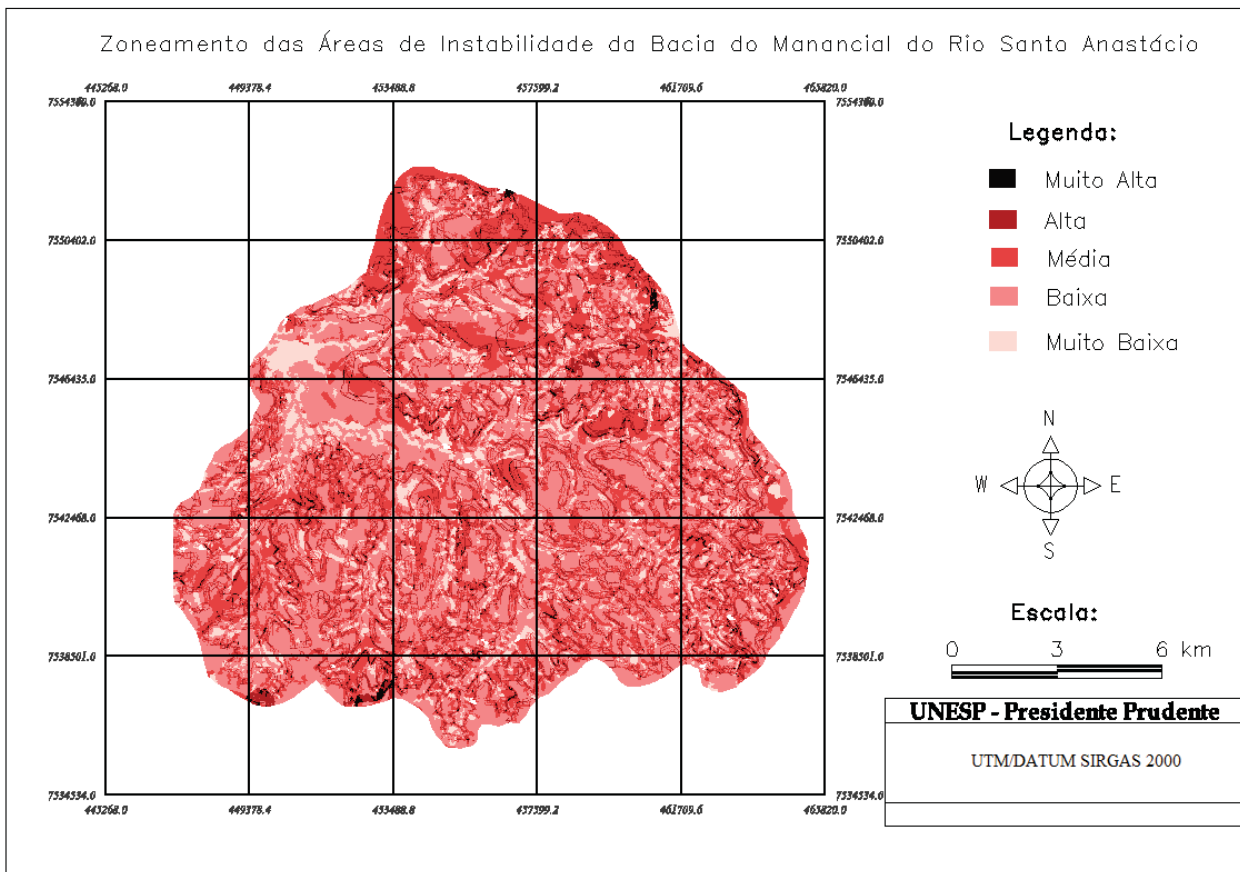


Fig. 4 - Áreas de Instabilidade com método AHP.

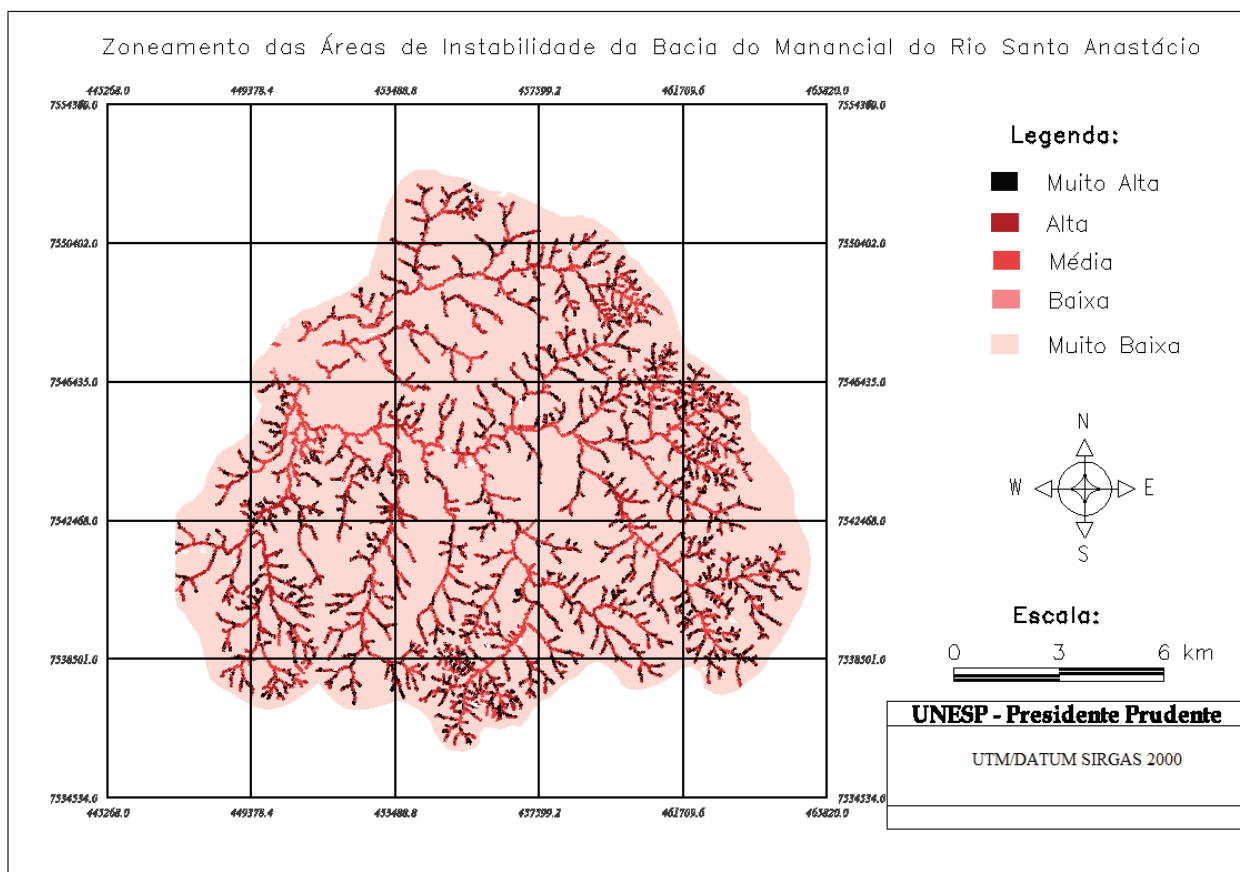


Fig. 5 - Zoneamento por meio do operador *Fuzzy Gama*.



Tabela 6: valores das áreas de fragilidade ambiental pelo método AHP e *fuzzy gama*

Áreas de Instabilidade Ambiental		
Grau	Km <sup>2</sup>	
Classes de instabilidade	<i>Fuzzy Gama</i>	AHP
Muito Alta	2,59	2,43
Alta	21,96	18,75
Média	53,83	68,20
Baixa	95,96	89,90
Muito Baixa	22,14	18,97
Não classificado	1,86	0,09
Total	198,34	198,34

acentuada cobertas por pastagem ou vegetação e que estavam a uma distancia maior que 50 m dos cursos d'água. As áreas de Muito Baixa fragilidade foram aquelas dentro da planície fluvial com declividade até 6%. Por fim áreas de Média Instabilidade foram áreas que não foram classificadas nem como Muito Altas, Alta, Muito Baixa ou Baixa.

Operador *Fuzzy gama* foi aplicado por meio de uma (equação 2) função matemática que levou em consideração o produto de uma soma algébrica com o produto algébrico dos planos de informação já padronizados e ponderados. A soma algébrica foi elevada a um fator gama 0.6 e o produto algébrico foi elevado a um valor gama 0,4.

Na tabela 6 observou-se que o *Fuzzy gama* apresentou 1,86 km<sup>2</sup> de área não classificada enquanto o AHP somente 0,09km<sup>2</sup>. Além disso, o *Fuzzy gama* apresentou classificação pouco eficiente comprovada por validação de campo, onde locais observados com características típicas de regiões degradadas foram classificados como muito baixa fragilidade o que não corrobora com a realidade.

Um exemplo foi a região próxima à seção 2 de observação, localizada nas coordenadas planas E:458799,29 m e N:7544654,73 m, onde com o pisoteio do gado e falta de vegetação ciliar, o solo ficava exposto às margens do córrego. Nesse local ocorreu aporte de sedimentos durante eventos de precipitação.

A primeira seção de observação em campo era a mais próxima das nascentes com coordenadas E:461820,852 e N:7540691,051. Essa região apresentava mata ciliar degradada, porém, ainda assim melhor protegida que a

segunda.

E a Terceira seção, mais próxima ao exutório da bacia (E:451640,853; N:7545157,860), possuía área de preservação permanente bem preservada em estágio de clímax, porém a qualidade da água era mais degradada visualmente, por apresentar coloração escura e cheiro característico de esgoto.

#### 4. CONCLUSÕES

O método AHP processados com os parâmetros desse trabalho produziu resultados mais coerentes com as observações de campo, sendo que foi capaz de mapear observações mais coerente entre as classes de fragilidade no espaço, com variações que correspondem às observações do meio físico com o trabalho de campo.

Enquanto que os operadores *Fuzzy gama*, com os valores atribuídos desse trabalho para a variável gama, produziram resultados que não correspondem às observações de campo. Grande parte da região avaliada foi classificada como sendo de baixa fragilidade e as áreas mais críticas como sendo médio grau de fragilidade, classificando equivocadamente a sessão 2.

As técnicas de transformação *Fuzzy* e de inferência geográfica baseada no método AHP produziram resultados que foram consistentes com as verificações realizadas no campo.

A combinação de dados geográficos na técnica AHP permitiu produzir resultados que foram confirmados em observações realizadas no campo, assim como também a técnica AHP obteve sucesso no trabalho de Samizava *et al.* (2008) para classificação dos fatores delimitados na síntese de vulnerabilidade ambiental.

Dias e Da Silva (2014) também obtiveram sucesso na aplicação do processo AHP e observaram áreas de alta vulnerabilidade nas proximidades dos recursos hídricos que apresentavam solo exposto. De Oliveira *et al.* (2014) apontou áreas com cachoeiras e próximas as estruturas do parque mais propensas a medidas de conservação.

Assim tanto Dias e Da Silva (2014) quanto De Oliveira *et al.* (2014) corroboraram com os resultados desse trabalho em relação as áreas de alta instabilidade, próximas ao rio Santo Anastácio com solo exposto e próximas as áreas urbanas.

O mapa de instabilidade hierarquizou a bacia do Rio Santo Anastácio onde ocorreu predomínio de instabilidade baixa seguida pela média, sendo que essas características devem ser consideradas no planejamento ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BONISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. **Livro online**. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html](http://www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html). Acesso em 04/09/2012. [ebook; s/p.]. p.241-288, (2001)

DE OLIVEIRA, F. B., DE OLIVEIRA, C. H. R., DE SOUZALIMA, J. S., RIBEIRO FILHO, R. B., MIRANDA, M. R., NEVES, L. Z., & FERRAZ, F. Aplicação de geoprocessamento e lógica fuzzy para criação de zoneamento no parque estadual da cachoeira da fumaça/es para fins de conservação/Application of Geoprocessing and Fuzzy Logic for the Establishment of Zoning in Parque Estadual da Cachoeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 66 (3), p.545-554, 2014.

DIAS, V. S. B.; DA SILVA, A. de B. Ahp na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico serra das onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 66/6, p.1363-1377, 2014.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. Presidente Prudente, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP,

Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, p.157. 2007.

GONÇALVES, F. **Interações entre o ambiente físico, uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas no canal fluvial: a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista (Dez. 2009 – Dez. 2010)**. 2011. 145 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, S. & VIEIRA, C. A. O. Aplicação do processo analítico hierárquico na escolha de tecnologia de coleta de dados para cálculo de volume de minério estocado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/4, 2013.

MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. Inferência geográfica e suporte à decisão. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: **livro online**, sd Capítulo, v. 9, p.241-286, 2001.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

ROSS, J. L. S.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R. G; LUCHIARI, A.; CAMPOS, K.C. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, V.12, Goiânia, INPE, p.16-21, 2005.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAMIZAVA, T. M. ; KAIDA, R. H. ; IMAI, N. N. ; NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente–SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 1, p. 43-55, 2008.

SVORAY, T., MICHAÏLOV, E., COHEN, A., ROKAH, L., STURM, A. Predicting gully initiation: comparing data mining techniques, analytical hierarchy processes and the topographic threshold. **Earth Surface Process and Landforms** 37, ed.6, 607-619pp. 2011.

WEBER, P. & CHAPMAN, D. Location Intelligence: An Innovative Approach to Business Location Decision-making. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 3, p. 309-328, 2011.