



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ESTUDO DE VULNERABILIDADE DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO POR AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL, O CASO DA RESERVA BIOLÓGICA DE SOORETAMA-ES

Luciano Melo Coutinho¹ ; Roberto Avelino Cecílio²

RESUMO

A Reserva Biológica de Sooretama (RBS), localizada ao norte do Estado do Espírito Santo, foi criada para preservação de um fragmento de 24.250 ha de Mata Atlântica (Decreto 87.588/1949). Atividades antrópicas no entorno de unidades de conservação podem ofertar riscos a sua área física e as espécies do ecossistema, tornando estas vulneráveis pelo efeito de borda. Estudos de vulnerabilidade por Avaliação Multicriterial (AMC) consistem da adoção e avaliação de diferentes técnicas de decisão em um mesmo processo decisório, onde os resultados podem estar associados a uma variedade de incertezas (critérios, prioridades e pesos). O presente trabalho utilizou AMC (média ponderada e lógica Fuzzy) para estudo de vulnerabilidade da RBS, considerando as atividades agropecuárias, estradas, urbanização, desmatamento e orientação dos corpos hídricos como potenciais fatores de riscos. Verificou-se maior robustez nos resultados gerados pela Lógica Fuzzy (CR = 0,053) e não concordância entre os métodos de análise no processo de validação dos dados (índice de Kappa = 0,01). As classes de maior e menor vulnerabilidade estão espacializadas, respectivamente, da borda para o centro desta unidade de conservação.

Palavras-chave: fator de risco, fragmentação, supressão, sensibilidade, processo decisório

STUDY OF VULNERABILITY CONSERVATION UNIT FOR MULTICRITERIAL ASSESSMENT, THE CASE OF BIOLOGICAL RESERVE SOORETAMA-ES

ABSTRACT

The Biological Reserve Sooretama (BRS), located north of the State of Espírito Santo, was created for preservation of a fragment of 24,250 ha of Atlantic Forest (Decree 87.588/1949). Anthropogenic activities in the surroundings of conservation units can proffer its risks physical area and ecosystem species, making these vulnerable by border effect. Vulnerability study for Multicriterial Evaluation (MCE) consists of the adoption and evaluation of different techniques of decision in a single decision-making process, where the results can be linked to a variety of uncertainties (criteria, priorities and weights). The present study used MCE (weighted average and Fuzzy logic) for BRS vulnerability study, considering agricultural activities, roads, urbanization, deforestation and orientation of water bodies as potential risk factors. There has been greater robustness in results generated by Fuzzy logic (CR = 0.053) and no correlation between the methods of analysis in the process of validating the data (index Kappa = 0.01). The classes of high and low vulnerability are spatialized, respectively, the edge to the center of this conservation unit.

Keywords: risk factor, fragmentation, suppression, sensitivity, decision-making process

¹ DSc. em Engenharia Agrícola pela UFV. Bolsista em produção pelo CNPQ. Docente do CCAUFES, Av. Gov. Lindenberg, 316 – Centro. Jerônimo Monteiro, ES; E-mail: racecilio@yahoo.com.br

² DSc. em Engenharia Agrícola pela UFV. Bolsista em produção pelo CNPQ. Docente do CCAUFES, Av. Gov. Lindenberg, 316 – Centro. Jerônimo Monteiro, ES; E-mail: racecilio@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

As coberturas vegetais nativas são recursos de inestimável importância ambiental, pois, no desempenho de suas funções fisiológicas, interagem diretamente com os recursos hídricos, a atmosfera e os solos. Representam o principal abrigo para a vida selvagem, propiciando a manutenção de suas atividades vitais e funções ecológicas, principal característica dos ecossistemas. As florestas, o pantanal, a caatinga e o cerrado são exemplos de fontes de recursos para sustentabilidade de diversos grupos sociais (BARGIEL e HERRMANN, 2011; HERRMANN *et al.*, 2005; RODRIGUES e NASCIMENTO, 2006; ROSS, 1994).

A vegetação interage com os elementos do meio biótico e abiótico, como nos processos físicos (incidência solar, iluminação e ventos) e químicos (material em suspensão), refletindo em controle de condições ambientais (temperatura e umidade, sensação térmica, fixação de carbono, dentre outras). No contexto do ciclo hidrológico a água precipitada é distribuída por influência da cobertura vegetal por intermédio de armazenamento nas copas, evapotranspiração, infiltração no solo, abastecimento de aquíferos e escoamento

superficial. A ocorrência e a intensidade de processos modeladores do relevo de bacias hidrográficas estão relacionadas à cobertura vegetal, a saber, o intemperismo físico e químico, processos erosivos e movimentos de massas (CASTAGNARA, 2007; COELHO NETO, 1994; HARTTER e SOUTHWORTH, 2009; STOY *et al.*, 2008).

Com base na Teoria de Sistemas das Unidades Ecodinâmicas entende-se que os ambientes naturais estão originalmente em equilíbrio dinâmico, nos quais ocorrem as trocas de energia que se processam em decorrência das relações de equilíbrio. Uma das principais causas de alteração e rompimento do equilíbrio dos ecossistemas é a intervenção humana, seja durante ou após o desmatamento, o que os torna vulneráveis a fatores externos, podendo resultar até mesmo na sua total supressão (ROSS, 1994; TRICART, 1977).

Associado ao modelo atual de desenvolvimento econômico ocorre a ocupação de novas áreas e a exploração de seus recursos, assim como a intensificação do poder humano de modificar o ambiente. Tal fato resultou na alteração de mais de 50% da superfície terrestre desde a Revolução Industrial. Diante tal cenário muitos ecossistemas perderam até 70% de sua vegetação, o que levou a criação de 25 *hotspots* prioritários à conservação,

incluindo a Mata Atlântica. Embora representem apenas 1,4% da superfície terrestre os *hotspots* contêm 60% da biota (JESUS e ROLIM, 2007; MYERES *et al.*, 2000; ROSS, 1994).

O histórico do uso e da ocupação do solo no Brasil é marcado pela intensa supressão de vegetação nativa, a qual atualmente restringe-se, em boa parte, a fragmentos isolados. No país, a agropecuária e a urbanização são atividades marcadas pelo crescimento acelerado e desordenado, o que faz destas as principais responsáveis pela supressão e fragmentação da vegetação. Estudos sobre desmatamentos indicam que 137 ha de Mata Atlântica e de Cerrado são desmatados diariamente desde a década de 1990. A Caatinga perde cerca de 25 ha diários, enquanto a Amazônia, caso mais alarmante, sofre diariamente perdas em torno de 4.600 ha (JESUS e ROLIM, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2009).

Com a fragmentação dos ecossistemas ocorre a criação da borda, ou seja, uma região de contato entre a vegetação nativa e as áreas modificadas pela ação do homem. A proximidade e a intensidade das formas antrópicas de uso do solo podem acelerar a supressão e a fragmentação da vegetação nativa pelo “efeito de borda”. Este se reflete de forma negativa para a biodiversidade devido à

redução do *habitat* das espécies, seguido do isolamento, alteração de sua composição (diversidade de espécies), população (quantidade de indivíduos por espécie) e por introdução de espécies exóticas. Pode ainda gerar prejuízos diretos ao solo (empobrecimento, poluição, erosão e compactação) e à água (contaminação e comprometimento de disponibilidade e qualidade) (FARIG, 2003; HARTTER e SOUTHWORTH, 2009; HERRMMAN *et al.* 2005).

Em reconhecimento de sua importância ecológica, ambiental e de sustentabilidade, muitos fragmentos de vegetação estão inclusos na categoria de unidades de conservação (UC). Devido aos riscos e pressões que os fatores antrópicos exercem sobre as UC, é prevista a criação de zonas de amortecimento (ZA) para redução do efeito de borda. A delimitação da ZA se pauta em estudos (EIA/RIMA), seguido da regulamentação e/ou proibição de atividades no entorno das áreas destinadas à conservação. Estas unidades são reconhecidas e amparadas por legislação específica, a saber, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC - Lei N°. 9985/2000), o Código Florestal Brasileiro (Lei N°. 4771/1965, alterada pela Lei N°. 7803/1989) e a Resolução N° 428/2010 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (LIMA *et al.*, 2011).

Entretanto, a simples delimitação da UC e de sua ZA podem não ser as medidas suficientes para manutenção dos ecossistemas, o que leva a necessidade de iniciativas e estudos para identificação de áreas de maior vulnerabilidade, ou seja, mais sujeitas a alterações por consequência da proximidade do(s) fator(es) de risco(s). Os estudos de vulnerabilidade (ou sensibilidade) ambiental devem ser precedidos de delimitação da área de estudo, definição da abordagem de análise, organização dos indicadores ambientais e delimitação espacial dos fatores que oferecem riscos (BORGES, 2005; LIMA *et al.*, 2011).

Uma concepção consistente de vulnerabilidade deve contemplar, sejam de forma distinta ou conjunta, as seguintes categorias de fatores de riscos: mudanças globais (alterações e possíveis efeitos da exposição do sistema), meio físico (declividade, solo, recursos hídricos), meio biótico (espécies e processos do ecossistema), degradação ambiental (desmatamento, erosão, movimentos de massa, enchentes) e pressão de elementos antrópicos (população, uso do solo, transportes, efluentes, edificações) (BORGES, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2010; VALENTE e VETTORAZZI, 2009).

A Avaliação Multicriterial (AMC) é uma das técnicas utilizadas para tomadas

de decisão, uma vez que contempla opiniões de um grupo em um mesmo processo decisório. Os possíveis resultados encontram-se atrelados a uma variedade de incertezas, decorrentes dos componentes que se relacionam à tomada de decisão (critérios, prioridades e pesos). Neste contexto tratam-se os conceitos de “processo decisório” como a junção de tomadores de decisão e de diferentes objetivos a se alcançar, e “opinião” como os critérios que sustentam a solução de um problema no processo decisório. Os procedimentos de AMC dividem-se em dois grupos principais, a saber: 1) Operações Booleanas: combinação estática dos fatores de análise; e 2) Combinações Lineares Ponderadas: adoção de diferentes alternativas e regras compensatórias para um mesmo problema (EASTMAN, 1996; CUNHA *et al.*, 2011; FIGUEIREDO *et al.*, 2010; KIKER *et al.*, 2005; VALENTE e VETTORAZZI, 2009; RUHOFF *et al.*, 2005).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são a categoria de *softwares* que dispõem dos ambientes ideais para espacialização e manipulação dos elementos de representação espacial, o que inclui os estudos de situação e vulnerabilidade de áreas de interesse. Os recursos de manipulação de dados georeferenciados fazem dos SIG importantes ferramentas para estudos

ambientais, quando comparados a *softwares* convencionais de representação espacial (CAD), pois seus ambientes e recursos permitem representações e simulações de fenômenos do mundo real, adotadas em tomadas de decisão (CÂMARA *et al.*, 1996; EASTMAN, 1996; XAVIER-DA-SILVA, 2001).

Os dados de SIG podem ser em formato vetorial (pontos, linhas e polígonos) ou matricial (imagens). A partir de dados vetoriais estáticos é possível gerar dados matriciais para representação da relação de proximidade, dotados de valores de distâncias pré-determinadas (mapa de distâncias). Efeitos dos fatores de riscos podem então ser espacializados para simular a emissão e a intensidade de seus efeitos, sendo mais intensos quanto mais próximos da fonte, reduzindo proporcionalmente com o aumento da distância. O cruzamento destes fatores permite a avaliação da situação de áreas de interesse pela junção dos riscos, formando um cenário geral ou superfície de decisão (BERGER, 2007; FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010; LIMA, *et al.*, 2011; SANTOS, 2007; VALENTE e VETTORAZZI, 2009).

De acordo com os dados do Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica (IPEMA, 2004) o Estado do Espírito Santo tinha cerca de 90% de sua área coberta por Mata Atlântica, a qual sofreu intensa supressão

devido aos ciclos econômicos (madeira, café, pastagem e indústria). Atualmente a Mata Atlântica e as unidades de conservação representam, respectivamente, 8% e 3% da área deste estado.

Do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de espacializar e integrar fatores de riscos, seguido da representação (superfície de decisão) e avaliação da vulnerabilidade ambiental da Reserva Biológica de Sooretama-ES. Para tanto procedeu a Avaliação Multicriterial (AMC) em ambiente de SIG por média ponderada e Lógica Fuzzy.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudos

A Reserva Biológica de Sooretama (RBS) foi criada pelo Decreto 87.588/1949. Localizada ao norte do Estado do Espírito Santo, entre 18°54' e 19°04' de latitude sul (S) e 39°54' e 40°16' de longitude oeste (W), sua área de 24.250 ha é distribuída nos limites municípios de Sooretama, Linhares, Jaguaré e Vila Valério (Figura 1).

A vegetação é característica da abrangente formação de Mata Atlântica, com espécies de até 50m de altura e extrato de arbustos pouco densos. Devido à proximidade do litoral é também

classificada como Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas ou Floresta de Tabuleiro (IBGE, 1992).

Elementos de representação espacial

Utilizou-se o *software* ArcGIS 9.1® da categoria de SIG para manipulação de dados espaciais. Foram utilizados os *layers* de hidrografia e de estradas (cartas 42467, 42468, 42504, 42505) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da área da RBS do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA). Os dados foram georeferenciados pelo *datum* SIRGAS 2000 UTM, fuso 24S,

escala 1: 250.000 e resolução espacial de 50m x 50m considerando o RMS compatível a escala de trabalho de acordo com a metodologia de preparo de material proposta por Santos (2007).

A ZA foi gerada a partir dos limites da reserva com a indicação de 2km no recurso *buffer*. Para vetorização do uso do solo na UC e na ZA utilizaram-se as imagens do aerolevante realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) nos anos de 2007 e 2008, em resolução espacial de 1m x 1m.

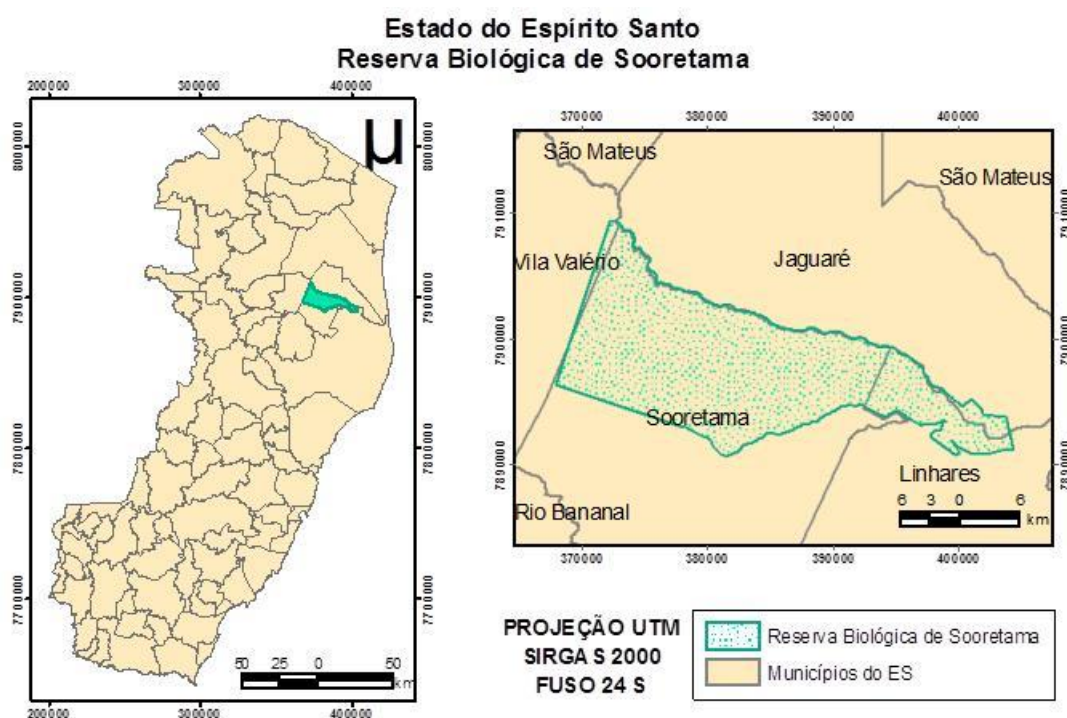


Figura 1. Localização da Reserva Biológica de Sooretama-ES

Identificação e ordenamento dos fatores de riscos

Deve-se atentar que a presença humana é o elemento fundamental para geração de riscos para unidades de conservação, uma vez que o homem é o agente idealizador e operador das atividades que podem resultar em danos ambientais (BORGES, 2009). Valente e Vettorazzi (2009) utilizaram a Técnica Participatória por meio de consulta de especialistas de distintas áreas do conhecimento para ordenamento de fatores de risco.

Utilizou-se a pesquisa bibliográfica e a consulta a especialistas (Método *Ad Hoc*) em Ciências Agrárias, Ciências Biológicas, Geoprocessamento e Meio Ambiente para identificação e ordenamento dos fatores de riscos, sendo:

- Agropecuária: inclui o uso do solo para fins de atividades agrícolas, pastagens e silvicultura, as quais são inseridas diante as etapas de supressão e substituição da vegetação natural, podendo resultar na redução-migração de espécies, alteração dos recursos hídricos e erosão dos solos. Na maioria dos casos estas atividades não são precedidas de estudos de aptidão dos solos para plantio ou peso de gado compatível. O uso de agrotóxicos pode ocasionar danos diretos à água e ao solo (contaminação, salinização e perdas de

nutrientes). As pastagens oferecem riscos devido à grande área necessária e pela presença de animais domésticos, os quais podem disputar espaço com a fauna local (LIMA, *et al.*, 2011).

- Estradas: as vias de circulação proporcionam as diversas formas de intervenção humana através dos deslocamentos e acesso a área de proteção, viabilizando formas de planejamento e exploração da região (novas edificações e áreas a serem utilizadas). São prejudiciais por causas diretas (supressão de vegetação natural) e indiretas (fragmentação da vegetação), oferecem risco direto à biota (caça, coleta e atropelamento), além de riscos de incêndio e contaminação pela emissão de efluentes durante os deslocamentos dos veículos (CHANG *et al.*, 2008). A BR 101 e uma via intermediária atravessam a RBS em sentido latitudinal, intensificando a oferta de riscos pelo intenso fluxo de automóveis e veículos de grande porte. Verificam-se ainda vias de menor porte muito próximas de quase todo perímetro externo.

- Áreas urbanizadas e edificações isoladas: concentram e abrigam pessoas próximas às UC, potencializando as atividades que oferecem riscos, o que inclui a supressão da vegetação para sua expansão, além da emissão de efluentes e resíduos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010). As

edificações são associadas a insumos como redes elétricas (riscos de incêndios) e sistemas de saneamento (fossas e redes de esgoto), que intensificam riscos de contaminações.

- **Áreas desmatadas:** são porções que sofreram a retirada da vegetação natural e estão suscetíveis a redução de propriedades férteis do solo e processos erosivos, dificultando a recuperação e retorno da vegetação. A ocorrência de desmatamentos pode comprometer a área de preservação em função de fatores bióticos (resiliência ou recuperação após o dano) e socioeconômicos (continuidade da supressão). O desmatamento é entendido como fator de grande oferta de risco e por ser resultante dos demais fatores (CUNHA *et al.*, 2011).

- **Recursos hídricos:** são de grande importância ecológica e paisagística, mas também atrativo de fauna, o que facilita a observação de seus hábitos e captura de exemplares por caçadores. Favorecem ainda a entrada e os deslocamentos na floresta devido à formação de clareiras e orientação de deslocamentos pelos canais (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010).

Espacialização da vulnerabilidade

Foram gerados dois grupos de mapas matriciais de distâncias (*Distance - Straight Line*) com resolução espacial de

50m x 50m, sendo o primeiro dos riscos de cada vetor (agropecuária, estradas, urbanização, desmatamento e hidrografia) limitado pela ZA, e o segundo grupo de integração dos riscos (vulnerabilidade) de acordo com cada método proposto (média 1 e 2, e lógica Fuzzy) limitado pela RBS. Em sequência adotou-se a normalização (*Reclassify*) de todos os mapas para escalonamento comum dos valores entre 0 a 255 bytes (BERGER *et al.*, 2007; VALENTE e VETTORAZZI, 2009).

Os procedimentos a seguir explicam os distintos métodos adotados para cruzamento de dados espaciais e geração dos mapas de distâncias (XAVIER-DASILVA, 2001). O diferencial entre os procedimentos verifica-se na organização e atribuição dos pesos aos mapas de fator de risco, sendo:

- **Média ponderada:** este procedimento pauta-se na atribuição de pesos aos temas a partir de distintos critérios. A Equação 1 representa o procedimento de identificação de pesos dos fatores de riscos, a qual foi adequada em planilhas do Microsoft EXCEL 2007. O uso da média ponderada se pautou em dois procedimentos, sendo o primeiro (Média 1) pelo uso de pesos apenas das áreas de ocorrência dos fatores, e o segundo (Média 2) pela combinação da média dos pesos de área (km²), perímetro (km), distância média (km) e distância

máxima (km). Considerando que as proximidades dos fatores (distância média e máxima) representam mais riscos, adotou-se a inversão dos pesos destes fatores, sendo a maior distância o menor risco e a menor distância o maior risco. Desta forma, foram confrontados critérios de distribuição espacial e relação de proximidade entre os riscos.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

em que:

E_m = espacialização média;

E_i = espacialização de fator;

A_i = área de influência de E_i ; e

n = fatores adotados.

• **Lógica Fuzzy:** também chamado de combinação numérica, se pauta na comparação pareada entre fatores, os quais são ordenados pelo critério de importância relativa em escala de 1 a 9 (Tabela 1). A inferência Fuzzy ponderada (Processo Analítico Hierárquico - AHP) é utilizada para ordenamento dos fatores e normalização em um espaço de referência entre 0 e 1 (0 a 100%), onde se pode obter um julgamento consiste dos critérios na forma de pesos (DE PAULA e SOUZA, 2007). O critério para a confiabilidade da distribuição dos pesos é a “razão de consistência” (CR), a qual só pode ser adotada quando inferior a 0,1 ou 10%.

Tabela 1: Escala da matriz de comparação pareada

Valor	Importância	Valor	Importância
1	Igualmente importante a	1/9	Extremamente menos importante que
3	Moderadamente mais importante que	1/7	Muito fortemente menos importante que
5	Fortemente mais importante que	1/5	Fortemente menos importante que
7	Muito fortemente mais importante que	1/3	Moderadamente menos importante que
9	Extremamente mais importante que	-	-
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	-	-

Em cada contexto de procedimento gerou-se os mapas de vulnerabilidade pelo *Spatial Analyst (Raster Calculator)* por multiplicação dos fatores pelos respectivos pesos, seguido da soma dos fatores. Em sequência os mapas de vulnerabilidade passaram pelo processo de normalização para distribuição entre 0 e 255 bytes.

Para verificação da confiabilidade dos procedimentos utilizou-se o processo

de validação por grade regular, também chamado de índice de Kappa. Este recurso de comparação permite uma determinação da confiabilidade dos resultados a partir dos dados de referência, considerando que estes representam a verdade pela espacialização dos dados. O processo de validação realiza a verificação de proximidade entre os dados a partir de um conjunto de amostras organizados em

formato de grade (Tabela 2). As grades são organizadas por diferentes métodos e valores de entradas (%) para fim de descobrir qual organização possui maior grau de confiabilidade em relação aos dados de referência (CÂMARA *et al.*, 1994; HOEHLER, 2000; LOBÃO *et al.*, 2005). Os valores obtidos pelo coeficiente

de Kappa (K) podem ser classificados pela tabela de concordância (Tabela 3). A sequência de preparo, manuseio e cruzamento de dados, seguido da geração de novos dados e resultados, estão representados esquematicamente na Figura 2

Tabela 2: Procedimento de validação por índice de Kappa (adaptado de Câmara *et al.*, 1994)

Classificador	Referências				Total
	Classe A	Classe B	Classe C		
Classe A	60	20	20	100	
Classe B	15	70	15	100	
Classe C	0	20	80	100	
Total	75	110	115	300	
N = Número de amostras				300	
P1 = Soma das interseções				210	
P2 = total das classes * 100				30.000	
$K = [(P1 * N) - P2] / [(N * N) - P2]$				0,55	

Tabela 3: Classificação do coeficiente de Kappa (Câmara *et al.*, 1994)

Índice Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0,00 a 0,19	Pobre
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada
0,60 a 0,79	Forte
0,80 a 1,00	Excelente

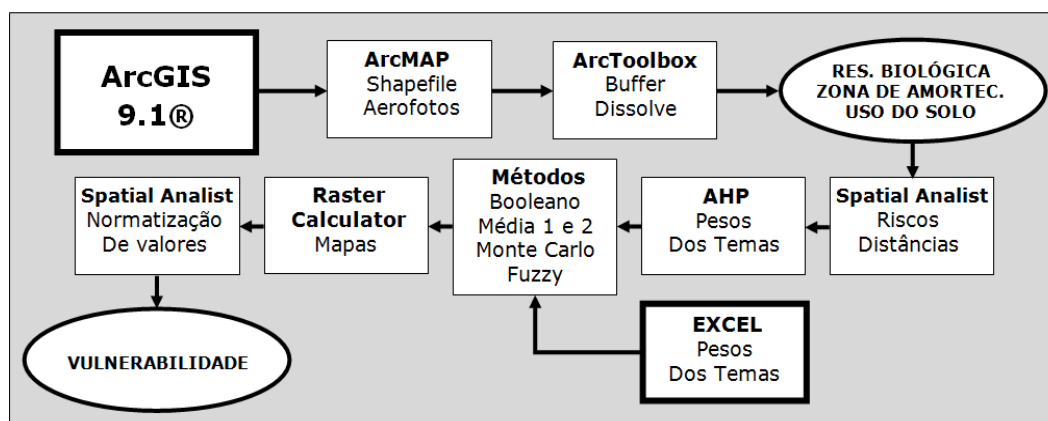


Figura 2. Fluxograma de preparo de material e aplicação de métodos de AMC

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento de classificação do uso do solo pelas aerofotos apresentou resultados a contento devido as certezas de definição dos alvos e de seus limites, o que se deve a alta resolução espacial das imagens (1m x 1m) e ao Padrão de Exatidão Cartográfica classe "A". De acordo com o IEMA o erro de posicionamento de 90% dos pontos é de no máximo 0,5mm em relação à escala da carta utilizada. Foram identificados elementos naturais (floresta nativa e corpos hídricos), antrópicos (agropecuária, urbanização, edificações, estradas) e degradação ambiental (áreas desmatadas), os quais constam na Figura 3.

Berger *et al.* (2007) utilizaram base de dados digitais do Sistema de Informações Hidrológicas da Bacia do Rio Itapemirim (SIHBRI) para geração de mapa temático do entorno da RPPN Cafundó (Cachoeiro de Itapemirim-ES), identificando cultura permanente, pastagem, estradas e mineroduto como os fatores de riscos. Coutinho e Cecílio (2011) ao avaliarem o entorno da Lagoa Guanandi (Itapemirim-ES) identificaram redução de vulnerabilidade na porção sudeste, proporcional ao aumento da distância dos fatores de risco e adensamento da vegetação nativa. Lima *et*

al. (2011) cruzaram dados de uso do solo (vulnerabilidade biótica e abiótica) para implantação de unidade de conservação e zona de amortecimento na Serra das Carrancas-MG, o que permitiu a tematização de classes de vulnerabilidade em muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. Valente e Vettorazi (2009) identificaram áreas prioritárias à conservação florestal por combinação das porções distantes de malha viária, centros urbanos e tendências à erosão, e as próximas a fragmentos florestais de maior área nuclear e entre fragmentos florestais.

Com a criação da zona de amortecimento (199 km²) somada à área de reserva (242,50 km²) gerou-se uma área de estudos de 441,50 km². Os valores de espacialização vetorial e matricial dos riscos constam na Tabela 4. A maior ocorrência de área é a agropecuária (124,37 km²), seguido de desmatamento (7,41 km²), corpos hídricos (4,90 km²), estradas (3,32 km²) e urbanização (0,65 km²), cujos valores foram adotados para o procedimento de análise nomeado Média 1. Os valores de perímetro foram utilizados para inferir o quanto cada fator representa risco pela distribuição de sua borda, sendo o maior por estradas (1.104,73 km), seguido por hidrografia (949,94 km), agropecuária (930 km), desmatamento (133,03 km) e urbanização (68,78 km).

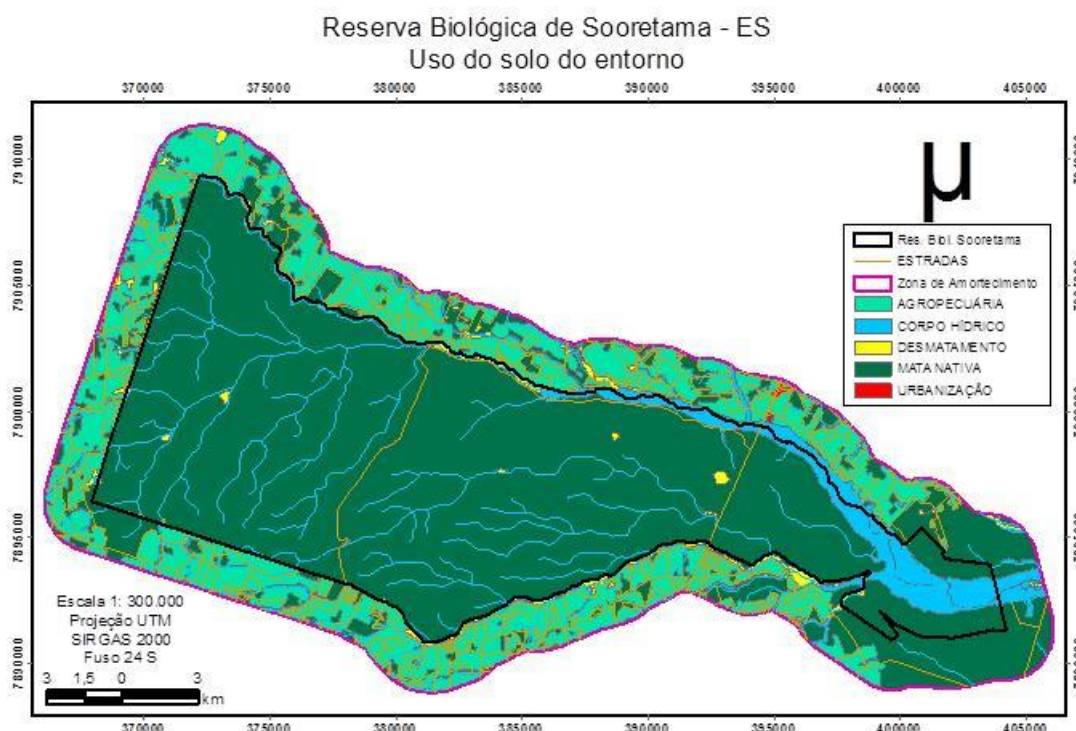


Figura 3. Uso do solo no entorno (ZA) e nos limites da RBS.

Foi possível gerar individualmente os mapas de distância a partir de cada fator de risco identificado pelo método *Ad Hoc*, os quais foram delimitados pela zona de amortecimento (2km) gerada a partir do limite da RBS (Figura 4). O procedimento de análise Média 2 se pautou no cruzamento de valores de dados vetoriais (área e perímetro) e matriciais, sendo para estes últimos adotados os valores das

distâncias Média (km) e Máxima (km) dos mapas de distâncias. Cunha *et al.* (2011) avaliaram a suscetibilidade de erosão da bacia do Ribeirão do Feijão (São Carlos-SP) nos ambientes naturais e antropizados, onde as classes de instabilidade foram comparadas às variáveis, o que permitiu comparar a influência de cada fator ao contexto do processo.

Tabela 4: Espacialização e proximidade dos temas

Classe	Área (km ²)	Perímetro (km)	Média (km)	Máxima (km)
Agropecuária	124,37	930,00	1,32	6,00
Estrada	3,32	1.104,73	0,98	4,94
Urbanização	0,65	68,78	1,62	6,42
Desmatam.	7,41	133,03	1,45	5,09
Hidrografia	4,90	949,94	0,36	1,85
Total	140,24	3.186,48	-	-

A agropecuária encontra-se distribuída apenas no entorno da reserva (cena 4-A), sendo a distância média 1,32 km e a máxima 6,0 km, o que faz deste um menor risco ao se considerar sua espacialização. O fator estrada (cena 4-B) encontra-se predominantemente no entorno da reserva, apenas com duas vias inseridas no interior, o que resultou na fragmentação das áreas de risco, sendo a maior em sentido oeste, reduzindo em sentido centro, e a menor ao leste, e seus valores de proximidade são 0,98 km de média e 4,94 km de distância máxima. A área urbanizada e as edificações (cena 4-C) apresentam comportamento similar ao da agropecuária, com maior ocorrência no entorno, mas com ocorrências pontuais no limite da reserva, próximas às estradas, sendo a distância média 1,62 km e a máxima 6,42 km. Porções desmatadas (cena 4-D) ocorrem de forma aleatória, ou seja, sem conformidade ou proximidade com os demais fatores de risco, reduzindo do centro para sudoeste e na porção leste, com valores de espacialização 1,45 km (médio) e 5,09 km (máximo). Os canais e os corpos hídricos distribuem-se no entorno e nos limites da reserva e suas distâncias são média 0,36 km e máxima 2,05 km (Figura 4-E). Valente e Vettorazzi (2009) recomendam retirar os recursos hídricos da análise de identificação de

áreas prioritárias a conservação florestal, pois ocorreram tendências de priorização de áreas de maior proximidade dos recursos hídricos. Por se tratarem de fatores naturais os recursos hídricos ocorrem sem padrão de relação com os fatores antrópicos, sendo aqui considerados riscos por favorecerem a presença e a ação humana.

Os procedimentos de Análise Multicriterial (AMC) apresentaram distintos resultados em função do ordenamento e da atribuição de pesos. Os pesos originais e reordenados, adotados para geração dos mapas por Média 1 (Área) e Média 2 (Média dos Pesos) constam na Tabela 5. A Lógica Fuzzy foi o procedimento que se pautou no ordenamento dos fatores de acordo com os riscos ofertados (Tabela 6) pelo método *Add Hoc*.

Os mapas de vulnerabilidade gerados por cada procedimento proposto (Média 1 e 2, e Lógica Fuzzy), embora tenham adotado os riscos de entorno (Figura 4), foram delimitados pelo perímetro da RBS com o objetivo de adensar a distribuição da vulnerabilidade dentro da área de interesse (Figura 5). Adotar a distribuição da vulnerabilidade a partir do entorno pode não representar a realidade espacial, principalmente ao se considerar a dinâmica

do efeito de borda, pois as classes de maior vulnerabilidade podem ser distribuídas no

entorno da área de interesse (HERRMMAN *et al.* 2005).

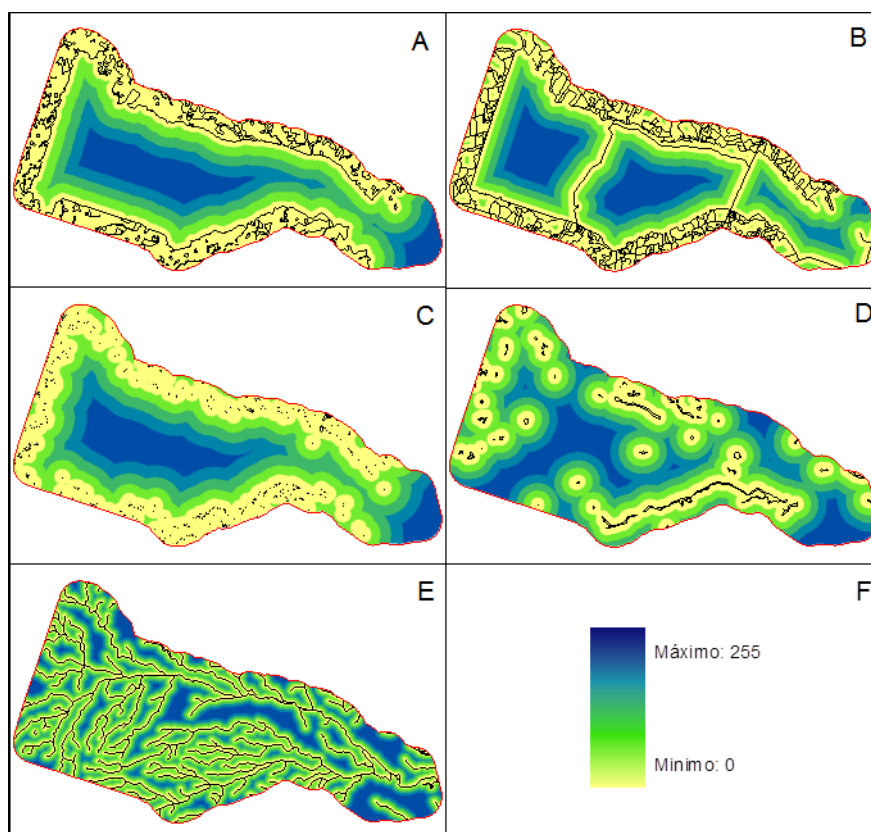


Figura 4. Mapas de distâncias da RBS e entorno a partir de agropecuária (A), estradas (B), urbanização (C), desmatamento (D), hidrografia (E) e valores de distribuição normalizada (F).

Tabela 5: Identificação de pesos de espacialização e proximidade dos temas

Classe	Área	Perímetro	Distância Média		Distância Máxima		Média dos Pesos
			Original	Reordenado	Original	Reordenado	
Agropecuária	0,887	0,231	0,230	0,230	0,245	0,202	0,388
Estradas	0,024	0,490	0,170	0,253	0,202	0,245	0,253
Urbanização	0,005	0,031	0,283	0,063	0,262	0,084	0,046
Desmatam.	0,053	0,059	0,253	0,170	0,208	0,208	0,123
Hidrografia	0,032	0,189	0,063	0,283	0,084	0,262	0,192
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabela 6: Ordenamento e julgamento dos fatores por lógica Fuzzy (AHP)

Classe	DISTRIBUIÇÃO						PESO
Hidrografia	1	-	-	-	-	-	0,033
Desmatamento	3	1	-	-	-	-	0,063
Urbanização	5	3	1	-	-	-	0,129
Estradas	7	5	3	1	-	-	0,261
Agropecuária	9	7	5	3	1	-	0,512
Razão de consistência (CR)							0,053

Os resultados foram ordenados por convenção cartográfica para oferta de risco, sendo Altíssimo (vermelho), Alto (laranja), Médio (amarelo), Baixo (verde claro) e Muito Baixo (verde escuro). Em todos os procedimentos ocorre o risco Altíssimo por quase todo o perímetro da reserva, com exceção da porção ao leste, o que representa conformidade com a espacialização dos fatores de risco. Nota-se uma redução de vulnerabilidade a partir das bordas (Altíssimo) para o centro (Muito Baixo), o que é esperado por se tratar de uma unidade de conservação. Deve-se atentar que o tema Muito Baixo não representa risco nulo, devido à mobilidade espacial dos fatores observados (COUTINHO e CECÍLIO, 2011; SILVEIRA *et al.* 2008).

O mapa gerado a partir da média ponderada pelo peso das áreas (Média 1) apresentou classes contínuas em direção ao centro da reserva (cena 5-A). O peso das atividades agropecuárias manteve-se como o mais alto (0,887), mas os riscos de estradas (0,024) e urbanização (0,005) ficaram menores que desmatamento (0,053) e hidrografia (0,032). A diminuição do peso das estradas omitiu informação, o que se verifica pela homogeneidade das classes no local de passagem das estradas ao centro da reserva.

Os valores de distância média e máxima dos riscos foram obtidos pelos mapas de distâncias e reordenados para o procedimento Média 2 (cena 5-B). Estes valores foram readequados considerando que quanto maiores as distâncias menores serão os riscos, e inversamente, quanto mais próximos do fator maior será a oferta de risco. Este procedimento atribuiu maior risco a agropecuária (0,388), seguido de estradas (0,253), hidrografia (0,192), desmatamento (0,123) e urbanização (0,046). Embora haja disparidade entre o maior e o menor peso, o resultado deste procedimento foi a contento, pois manteve um padrão de intensidade das bordas para o centro e nota-se, mesmo que suavemente, a influência das estradas ao centro da imagem.

Na distribuição Fuzzy constam sequencialmente os pesos atribuídos à agropecuária (0,512), estradas (0,261), urbanização (0,129), desmatamentos (0,063) e hidrografia (0,033). A confiabilidade deste ordenamento confirma-se pela eliminação de subjetividades (robustez) e pela razão de consistência 0,053 (inferior a 0,1 ou 10%), ao contrário dos riscos oferecidos por espacialização. Segundo Jesen (1984 apud Borges, 2009) não se deve forçar os dados

para adequação matricial, pois apenas o critério do rigor matemático não é válido quando rompe com a realidade espacial dos dados. Pela interpretação visual da

imagem (cena 5-C) este procedimento manteve o padrão de distribuição por densidade, destacando-se o risco baixo ao centro da área de estudos.

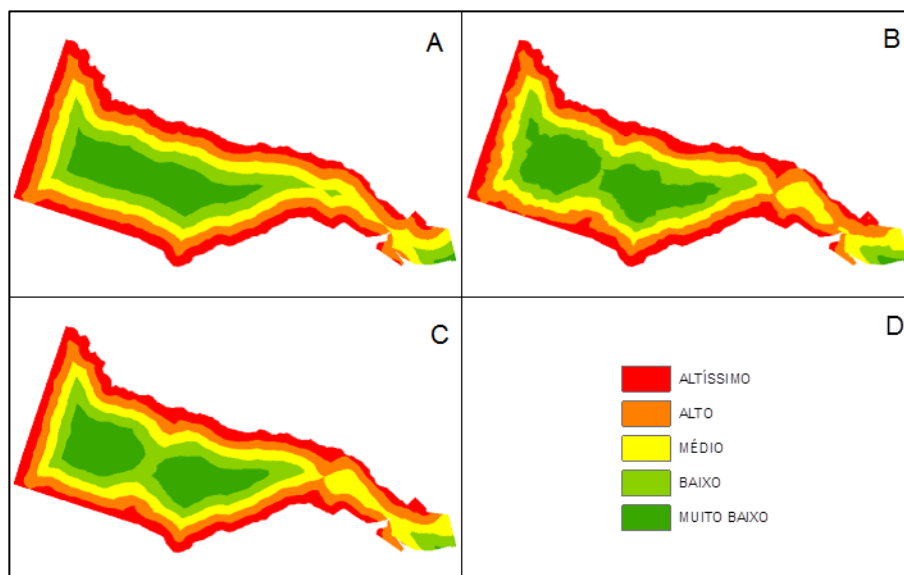


Figura 5. Espacialização da vulnerabilidade da RBS pelos procedimentos Média 1 (A), Média 2 (B), Lógica Fuzzy (C) e classes de vulnerabilidade (D).

Para validação do processo (AMC) pelo índice de Kappa a grade regular (Tabela 7) foi organizada com os métodos adotados no eixo Y (classificadores) e as classes de riscos no eixo X (%). As classes foram redistribuídas (Altíssimo, Médio e Muito Baixo) para enquadramento matricial (DE PAULA e SOUZA, 2011), sendo verificada uma concordância pobre entre os procedimentos ($K = 0,01$). Este valor pode se justificar pela variedade entre os valores de classes (%) obtidos pelos diferentes métodos, onde o somatório indica maior valor para classe de risco Alto (108%) e menor para o risco Muito Baixo

(86%), uma disparidade de 22% entre ambos, e ainda pela disparidade acentuada (198) entre as amostras ($N = 300$) e soma das interseções ($P1 = 102$). Lobão *et al.* (2005) obtiveram índices Kappa insuficientes para validação consistente para classificadores de imagens ($K =$ baixo 0,0 - médio 0,6 - alto 0,8).

As interpretações visuais dos mapas indicam que a RBS é de significativa fragilidade ambiental, pois os principais riscos (agropecuária, estradas e urbanização) ocorrem no entorno de grande parte reserva. Apesar de a agropecuária estar classificada como maior

fator de risco, não se verifica tal atividade no limite da unidade, o que é considerado um fato positivo, devido aos riscos de tais atividades. Entretanto todos os demais riscos são verificados no interior da reserva, mesmo que em diferentes proporções, representando maior risco.

Ruhhof *et al.* (2005) afirmam que na classe de maior risco (altamente instáveis) são identificadas áreas desmatadas e atividades agropecuárias, e em contrapartida nas classes estáveis predominam baixas declividades e boa cobertura vegetal.

Tabela 7: Validação da AMC por organização dos temas (%) em grade regular

Classe	Altíssimo	Médio	Muito baixo	Total
Média 1	38	36	26	100
Média 2	34	35	31	100
Fuzzy	36	35	29	100
Total	108	106	86	300
N			300	
P1			102	
P2			30.000	
K			0,01	

Dentre os procedimentos adotados atesta-se a eficiência e redução de subjetividades pela Lógica Fuzzy (AHP), uma vez que o ordenamento dos dados é criterioso. O uso do critério espacial, assim como dos demais fatores subjetivos, pode ser considerado uma limitação, pois podem gerar distribuições de pesos contrárias aos reais riscos ambientais que cada fator oferece a área de estudos. Os resultados obtidos pelos distintos métodos da AMC foram a contento e atingiram os objetivos propostos, apesar das diferentes representações espaciais, pois foram geradas superfícies de decisões para avaliação de sensibilidade da RBS. Resultados similares foram obtidos por Valente e Vettorazzi (2009), pois os

métodos da AMC apresentaram vantagens e desvantagens.

A análise de vulnerabilidade de unidade de conservação por Avaliação Multicriterial (AMC) realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) mostra-se uma prática eficiente. Destaca-se o ganho de tempo, o baixo custo e a precisão cartográfica que o *software* proporciona em procedimentos de manipulação e cruzamento de dados.

4. CONCLUSÕES

Estudos de vulnerabilidade de unidades de conservação por AMC adaptada ao ambiente de SIG apresentam diversas vantagens, pois os recursos destes *softwares* permitem diversas formas de

organização e cruzamento de elementos espaciais georeferenciados, seguido da geração de superfícies de decisão.

Cabe ao(s) pesquisador(es) a definição do objeto de estudo, a seleção de materiais e a adoção criteriosa dos métodos. Espera-se que este trabalho possa viabilizar a adoção de AMC e uso de recursos de SIG para estudos ambientais.

5. REFERÊNCIAS

- BARGIEL, D.; HERRMANN, S. Multi-temporal land-cover classification of agricultural areas in two European regions with high resolution SPOTLIGHT TERRASAR-X data. **Remote Sensing** 3, 859-877, 2011.
- BERGER, M.V.S. (et al.). 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.
- BRASIL. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal.
- BRASIL. **Lei Nº 7.803, de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (...).
- CASTAGNARA, D. (et al.). Importância ambiental das áreas de reserva legal e sua quantificação na microbacia hidrográfica da Sanga Mineira do município de Mercedes-PR. **Rev. Bras. de Agroecologia**, vol.2; n.2; Out. 2007.
- CHANG, N.B. (et al.). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region, **Journal of Environmental Management**, 2008 Apr: 87(1): p. 139-53.
- COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: BERTRAND, 1994.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Nº 428, de 17 de dezembro de 2010. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental (...).
- COUTINHO, L.M.; CECÍLIO, R.A. Delimitação e estudo de vulnerabilidade da Área de Preservação Permanente no entorno da Lagoa Guanandi, Itapemirim-ES. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (15). **Anais...** Curitiba-PR, Brasil: INPE, 2011. p. 5868-5875. 30 de abril a 05 de maio.
- CUNHA, R.C. da (et al.). Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos-SP, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.
- DE PAULA, E.M.S.; SOUZA, M.J.N. de. Sistemas de Informações Geográficas na análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará-CE. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 63/04, 2011
- EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows**. Editores da versão em português:

- HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos IDRISI, 1996.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** 2003. 34: 487–515.
- FIGUEIRÊDO, M.C.B. de (et al.). **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. EMBRAPA Agroindústria Tropical: Fortaleza-CE, 2010.
- HARTTER, J.; SOUTHWORTH, J. Dwindling resources and fragmentation of landscapes around parks: wetlands and forest patches around Kibale National Park, Uganda. **Landscape Ecol**, 24: 643–656, 2009.
- HERRMMAN, B.C. (et al.). A paisagem como condicionadora de bordas de fragmentos florestais. **Floresta**. Curitiba: PR, v.35, n. 1, jan-abr. 2005.
- HOEHLER, F. K. Bias and prevalence effects on kappa viewed in terms of sensitivity and specificity, *in*: **Journal of Clinical Epidemiology**, n. 53 (2000), p. 499-503.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Manual Técnico de Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 1992.
- Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF). Disponível em: <www.idaf.es.gov.br>. Acesso em 03 de fevereiro de 2010.
- Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica (IPEMA). **Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo: Cobertura florestal, unidades de conservação e fauna ameaçada**. Vitória-ES: IPEMA, 2004.
- JESUS, R.M. de; ROLIM, S.G. Experiências relevantes na restauração da Mata Atlântica. In: GALVÃO, A.P.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2005.
- KIKER, G.A. (et al.). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v1, n2, 2005.
- LIMA, L.P.Z. (et al.). Análise da vulnerabilidade natural para implantação de unidades de conservação na microrregião da serra de Carrancas, MG. **CERNE**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 151-159, abr./jun. 2011.
- LOBÃO, J.S.B. (et al.). Aplicação dos Índices KAPPA & PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana-BA. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1207-1214.
- MYERS, N.R.A. (et al.). Biodiversity hot spots for conservation priorities. **Nature**, 403: 853-858, 2000.
- RIBEIRO, M.C. (et al.). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142, p. 1141–1153, 2009.
- RODRIGUES, P.J.F.; NASCIMENTO, M. T. Fragmentação Florestal: Breves Considerações Teóricas Sobre Efeitos de Borda. **Rodriguésia**, 57 (1): 63-74. 2006.
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia (USP)**. (6): 63 - 74. 1994.
- RUHOFF, A.L. (et al.). 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.
- SILVEIRA, H.L.F. da. (*et al.*). Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.259-268, 2008.
- STOY, P.C., (*et al.*). Role of vegetation in determining carbon sequestration along ecological succession in the southeastern United States. **Global Change Biology**, 14, 1-19 (2008).
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.
- 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.
- XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Produção Gráfica, 2001.