

Utilização de análise multicriterial para propor o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental de Guaibim, Bahia, Brasil

Elfany Reis do Nascimento Lopes¹
Gil Marcelo Reuss-Strenzel¹

¹ Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC
Rod. Jorge Amado, Km 16 – 45662-900 - Ilhéus - BA, Brasil
elfanyl@hotmail.com, gmrstrenzel@uesc.br

Abstract. A zoning proposal for protected areas requires a decision-making process able to integrate different features of the study site and attend multiple objectives. Our study aimed to apply the multi-criteria analysis developed in GIS environment to draft a proposal for ecological zoning for the Guaibim Protected Area, located at Bahia state in Eastern Brazilian coast (-13°S, -39°S). The criteria applied in the analysis were obtained on a land-use and vegetation map at scale 1:10,000. Weights were assigned to the criteria after hierarchical analysis. The criteria were aggregated according its weights by weighted linear combination to generate maps of viability for conservation and development. The conflicts between the two maps of viability were accommodated through multi-objective analysis. The multi-criteria analysis was able to differentiate between zones vulnerable and important in providing environmental services from zones with consolidated economic activities. Mangroves, salt marshes, swamps and rivers, located at ends of the protected area, were included into conservation zone, which occupies about 67% of the Guaibim Protected Area. On the other hand, the development zone was concentrated in the center of the protected area, associated to roads, residential areas, shrimp farms, tourist facilities and subsistence farming. Finally, each zone was characterized, and its objectives, permitted uses and management actions were proposed.

Palavras-chaves: decision making, geographical information system, environmental zoning tomada de decisão, sistema de informações geográficas, zoneamento ambiental.

1. Introdução

O Zoneamento como instrumento do planejamento e da gestão ambiental, requer a integração de múltiplas variáveis durante a sua elaboração para buscar as relações entre os aspectos ecológicos e econômicos do território, a demarcação de áreas protegidas e a avaliação das probabilidades de crescimento ou a restrição das atividades (Brasil, 2002; 2011; Silva et al., 2012; Vasconcelos et al., 2013).

Para Unidades de Conservação (UCs), o zoneamento deve ser elaborado e instituído, segundo o preconizado no capítulo I, art. 2º, parágrafo XV da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). No SNUC, o zoneamento é entendido como a definição de setores ou zonas com objetivos de manejo e normas específicas, proporcionando meios e condições para alcançar os objetivos da UC de forma harmônica (Brasil, 2000).

A Análise Multicriterial (AMC) tem surgido como uma ferramenta de auxílio a elaboração do zoneamento e, quando ambientada no SIG, seu potencial tem apresentado maior capacidade de espacializar os atributos da terra e definir zonas de fácil implantação e gestão territorial. Diversos estudos utilizaram estas ferramentas para estabelecer zoneamentos em áreas protegidas terrestres e marinhas e adequar o uso da terra (Joerin et al., 2001; Villa et al., 2002; Geneletti, Durem, 2008; Zhang et al., 2013), confirmando a praticidade e a potencialidade da AMC via SIG, como ferramenta para estudos espacializados em UCs.

Este artigo propõe confirmar a aplicação da AMC no zoneamento de UCs de Uso Sustentável, visando compatibilizar conservação e desenvolvimento local e empregando-a a APA de Guaibim como estudo de caso.

1. Metodologia

1.1. Área de estudo

A APA de Guaibim encontra-se no município de Valença, Bahia (13°01'41,17"S e 38°56'29,97"W), sendo criada pela Lei Estadual 1.164/1992 e ampliada para uma extensão territorial de aproximadamente 13.000 ha por Decreto Municipal em 2007 (Figura 1).

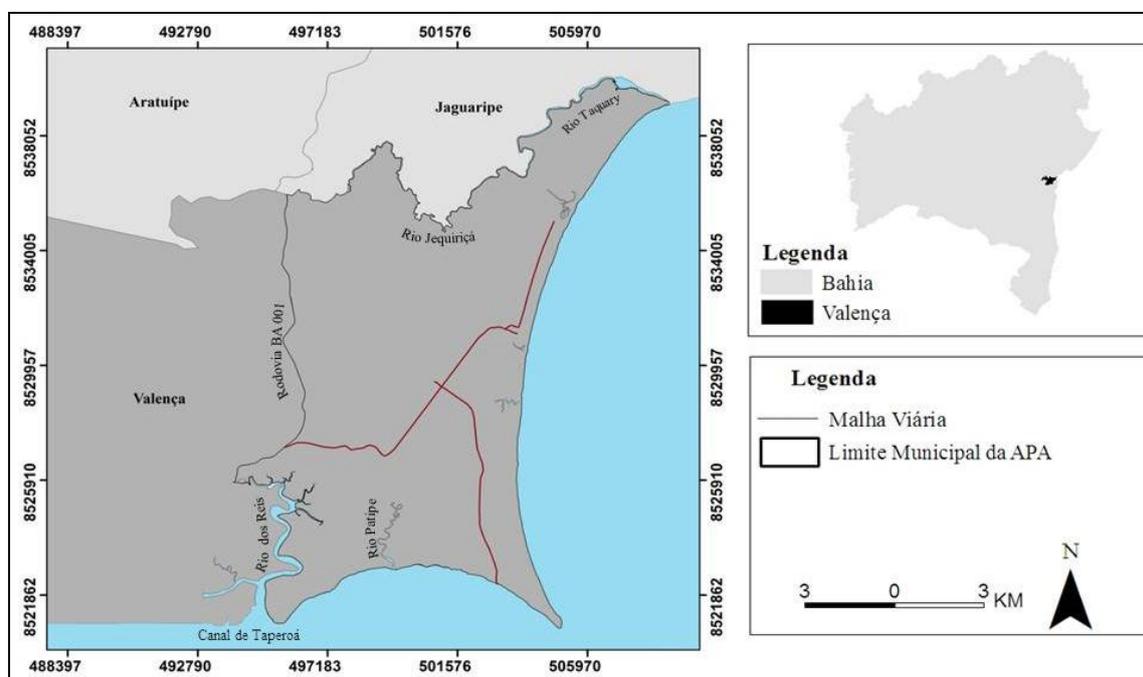


Figura 1. Localização da Área de Proteção Ambiental do Guaibim, Valença, Bahia (UTM WGS84).

A APA encontra-se delimitada a oeste pela rodovia estadual BA 001, a nordeste pelo rio Jequiçá, a sudeste pelo rio dos Reis, ao sul pelo canal de Taperoá e foz do rio Una e a Leste pelo Oceano Atlântico. O clima na região é As, segundo a classificação de Köppen, com predominância de verão quente e seco e inverno chuvoso. A área apresenta importantes ecossistemas de restinga, manguezais, rios, brejos e remanescentes de floresta ombrófila densa, associada a uma vasta faixa de praia utilizada para o turismo durante todo o ano.

1.2. Análise Multicriterial Multiobjetivo

Para a aplicação da AMC, foram determinados dois cenários de análise: Cenário de Conservação e o Cenário de Desenvolvimento e proposta uma metodologia composta de três etapas descritas abaixo.

1.2.1. Delimitação e ponderação dos critérios

Os critérios foram selecionados com base num mapa digital em escala 1:5000 dos usos da terra e cobertura vegetal, elaborado pelos autores, a partir da interpretação visual de imagens RapidEye obtidas em 2009. A seleção considerou os objetivos propostos para a APA, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município de Valença e o Código Florestal Brasileiro, no que tange as Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Tabela 1). Os vetores representando cada critério foram convertidos para o formato *raster* no *software* Idrisi Selva. Em seguida, por meio da função *stretch*, todos os critérios foram convertidos em fatores padronizados numa escala variando entre 0 e 255. Os critérios foram selecionados de modo a atender dois objetivos: conservação e desenvolvimento da APA. Trata-se, portanto, de uma AMC do tipo Análise Multiobjetivo (AMO). Ambas são aplicadas em etapas subsequentes (Eastman, 2012).

Tabela 1. Critérios utilizados na análise multicriterial visando mapear áreas adequadas à conservação e ao desenvolvimento da APA de Guaibim.

| Conservação | Desenvolvimento |
|-------------------------------|--|
| Proximidade com as APPs | Proximidade da área turística |
| Vegetação | Proximidade da área urbana |
| Proximidade com a Hidrografia | Proximidade de áreas comerciais, agrícolas e industriais |
| Unidades Geológicas | Proximidade da Malha Viária |
| Distancia da Malha Viária | |
| Distancia da área urbana | |

Obs. A AMC realizada para atender o objetivo de desenvolvimento foi executada restringindo as APPs, de vegetação e de áreas degradadas, pois estas foram consideradas inviáveis para consecução deste objetivo.

Por meio do módulo *Decision Support*, aplicou-se a o Processo de Análise Hierárquica (PAH), estabelecendo pesos de importância para cada fator através de uma matriz de comparação pareada, seguindo o preconizado por Saaty (1977). Após o cálculo dos pesos, o Grau de Consistência (GC) foi realizado para atestar a coerência com que os pesos foram atribuídos para cada análise (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Matriz de comparação pareada com os respectivos pesos atribuídos aos fatores usados para o objetivo de conservação, bem como pesos finais e grau de consistência calculados a partir da matriz pareada (Saaty 1977). Legenda: APP – Área de Preservação Permanente. VEG – Vegetação. PH – Proximidade com a Hidrografia. UG – Unidades Geológicas. DAU – Distância da Área Urbana. DMV – Distância da Malha Viária. GC – Grau de Consistência

| Fatores | APP | VEG | PRH | UG | DAU | DMV | Peso Final |
|------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|------------------|
| APP | 1 | | | | | | 0.0807 |
| VEG | 1 | 1 | | | | | 0.0636 |
| PRH | 1 | 1 | 1 | | | | 0.0636 |
| UG | 1/3 | 1 | 1 | 1 | | | 0.0553 |
| DAU | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | | 0.2587 |
| DMV | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 0.4782 |
| | | | | | | | GC = 0.07 |

Tabela 3. Matriz de comparação pareada com os respectivos pesos atribuídos aos fatores usados para o objetivo de desenvolvimento, bem como pesos finais e grau de consistência calculados a partir da matriz pareada (Saaty 1977). Legenda: PAT – Proximidade da Área Turística. PMV – Proximidade da Malha Viária. PCIA – Proximidade da Área Comercial, Industrial e Agrícola. PAUR – Proximidade da Área Urbana. GC – Grau de Consistência.

| Fatores | PAT | PMV | PCIA | PAUR | Peso Final |
|-------------|-----|-----|------|------|------------------|
| PAT | 1 | | | | 0.3916 |
| PMV | 1 | 1 | | | 0.2736 |
| PCIA | 1/3 | 1 | 1 | | 0.2515 |
| PAUR | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 0.0833 |
| | | | | | GC = 0.10 |

1.2.2. Agregação dos fatores

A agregação dos fatores foi realizada por Combinação Linear Ponderada (CLP) e objetivou gerar mapas de adequação para cada cenário (Eastman, 2012). Nesta técnica, os

fatores são combinados multiplicando cada célula ou pixel, de cada mapa pelo seu peso e, então, soma-se os resultados (Sartori et al., 2012). Os mapas finais são apresentados numa escala padronizada entre 0 a 255 níveis, na qual 0 corresponde as áreas menos favoráveis para o objetivo analisado e 255 as áreas mais favoráveis.

1.2.3. Análise Multiobjetivo e definição do Zoneamento

Os mapas de viabilidade para a conservação e para o desenvolvimento da APA foram combinados, buscando eliminar os conflitos e acomodar as áreas mais adequadas para cada objetivo dentro do mesmo território. Os mapas foram ranqueados e suas áreas reclassificadas para obtenção de um mapa de conflitos. O propósito dessa etapa é conhecer as áreas passíveis de atender ambos os objetivos, as quais serão consideradas na resolução de impasses durante a AMO, cuja aplicação foi efetuada através do módulo *Mola*. Foram estabelecidos os pesos de 0.7 para o objetivo de conservação e de 0.3 para o objetivo de desenvolvimento. Os pesos são empregados para resolver conflitos entre os objetivos em cada pixel (Eastman, 2012).

3. Resultados e Discussão

O mapa de adequabilidade à conservação da APA é apresentado na Figura 2A, onde as áreas mais adequadas estão localizadas nos extremos norte e sul do território: áreas de manguezais, restingas, brejos e o Rio Taquary. Como o conjunto de critérios privilegiou áreas distantes da zona urbana e da malha viária, as áreas extremas foram fortemente indicadas para serem conservadas. O mapa obtido com as áreas viáveis ao desenvolvimento da APA é apresentado na Figura 2B, indicando a área central com maior adequação, consolidada por atividades industriais, turísticas, agrícolas e pelo comércio.

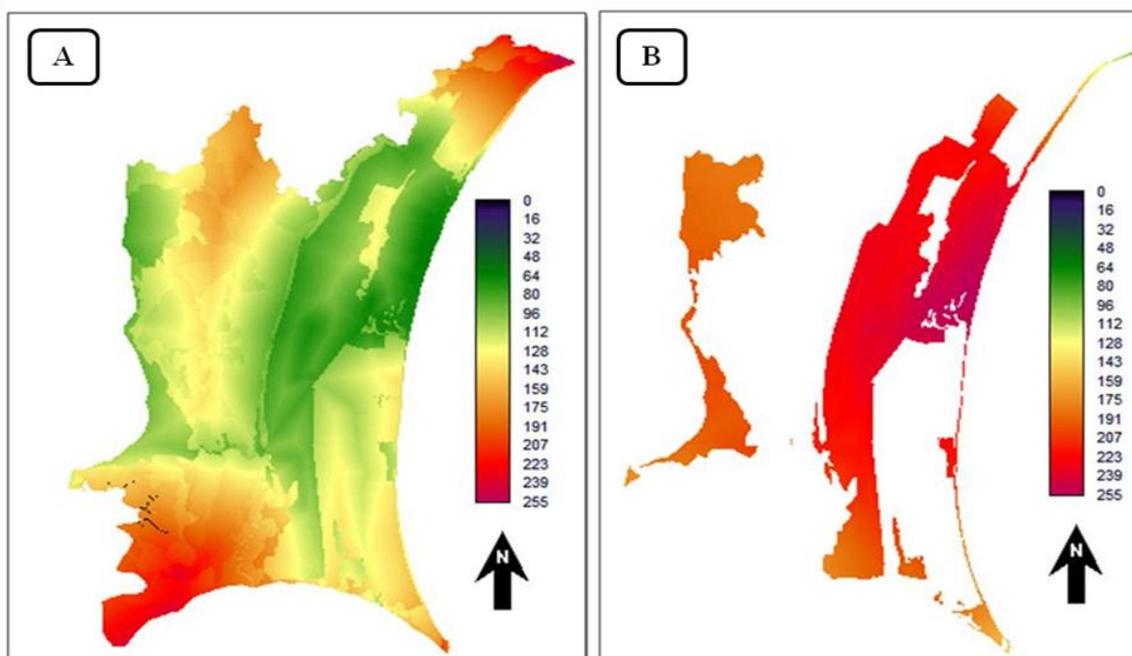


Figura 2. (A) Mapa de viabilidade à conservação. (B). Mapa de viabilidade ao desenvolvimento.

A sobreposição entre os mapas de adequação é apresentada na Figura 3. Este mapa identifica zonas de conflito entre os objetivos definidos na AMC. De maneira geral, são locais que reúnem tanto atributos naturais, como vegetação de restinga, manguezais, brejos ou rios, quanto atributos econômicos, como áreas comerciais, agrícolas, industriais, urbanas ou turísticas.

O mapa de resolução de conflitos resultante da AMO é apresentado na Figura 4. Neste mapa os conflitos são eliminados pela acomodação dos objetivos no território e delimitação das zonas de conservação e desenvolvimento. Os resultados apresentaram uma maior extensão para a Zona de Conservação, com 67% do território da APA, enquanto a Zona de Desenvolvimento correspondeu a 33%. As características, objetivos, usos permitidos, potencialidades e ações de manejo são propostos para cada zona na Tabela 4.

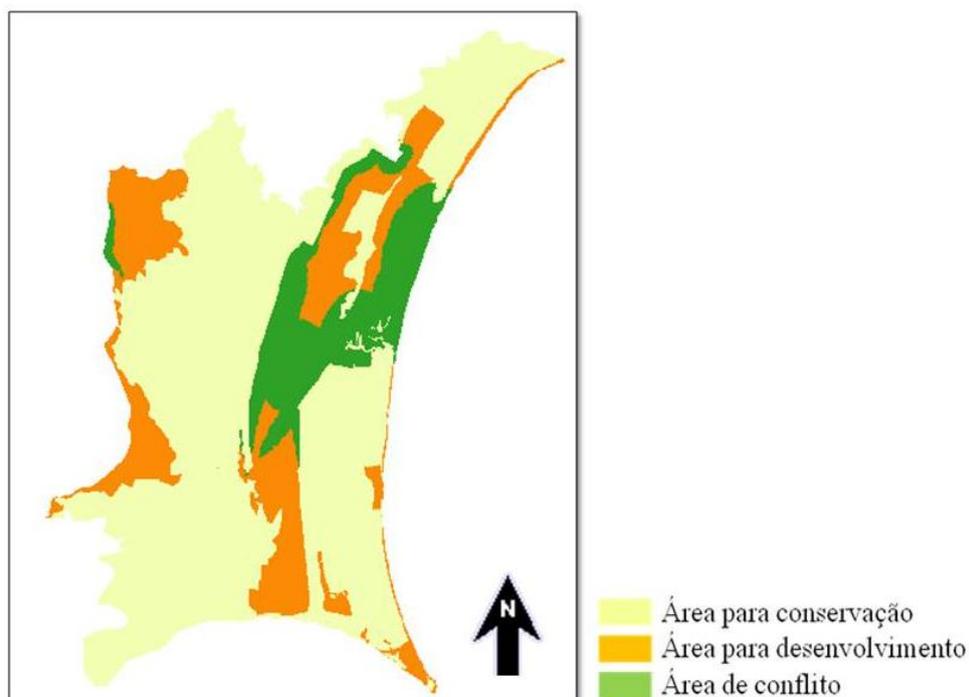


Figura 3. Mapa de conflitos entre os objetivos de conservação e desenvolvimento, segundo a AMC aplicada para a APA de Guaibim.

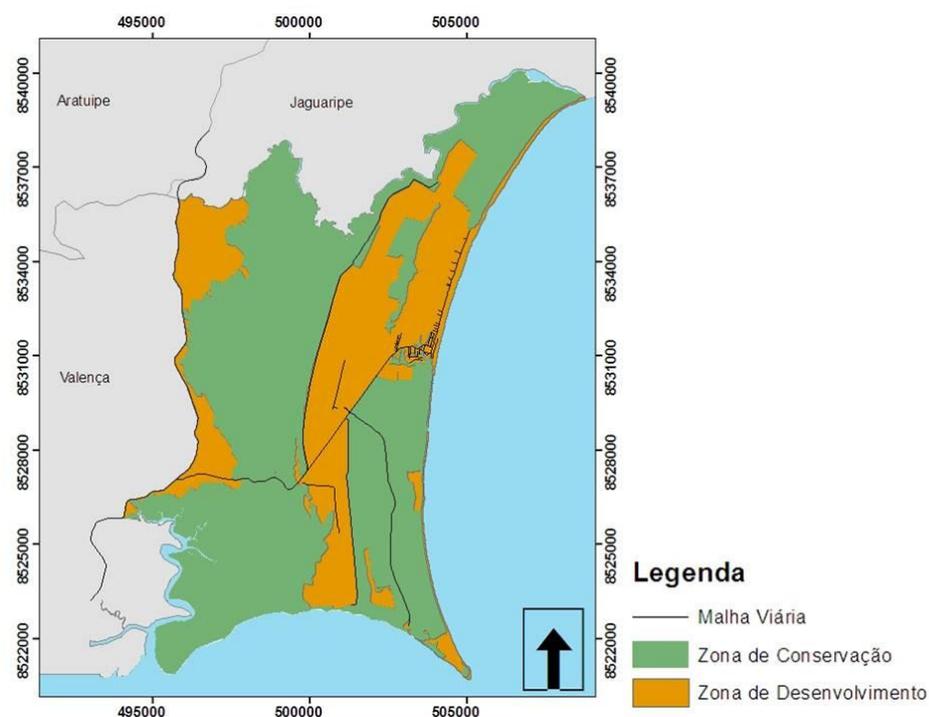


Figura 4. Mapa de resolução de conflitos, apresentando as zonas de conservação e desenvolvimento para a APA de Guaibim.

Tabela 4. Descrição das zonas de conservação e desenvolvimento propostas para o Zoneamento Ecológico-Econômico da APA de Guaibim.

| Zona | Características | Objetivo | Usos permitidos | Ações de manejo |
|-----------------|---|---|--|--|
| Conservação | Zona com rica composição vegetacional, presença de restinga, brejos, manguezais e floresta ombrófila densa de terras baixas, áreas de preservação permanente e os Rios Taquary, Piam, Patipe e Jequiriá. A zona dá acesso e se limita com as principais atividades econômicas da APA. | Conservar os recursos naturais e paisagísticos, assegurando a existência da biodiversidade local e a salvaguardando a capacidade dos ecossistemas costeiros prestarem serviços ambientais. | Em áreas de manguezais e rios, permite-se a pesca sustentável de peixes, crustáceos e bivalves respeitando o período do defeso. Extrativismo e exploração sustentável de espécies, flores e frutos de espécies florestais. Desenvolvimento de pesquisas científicas e programas de educação ambiental. Turismo de aventura com baixo impacto ambiental | Fiscalização e monitoramento do uso. Sensibilização das funções ecológicas dos ecossistemas costeiros e áreas úmidas. Ações de educação ambiental. Restrição à ocupação de áreas úmidas. Estudos de qualidade hídrica da rede hidrográfica. Controle da erosão do solo, supressão e desmatamento. |
| Desenvolvimento | Zona com atividades socioeconômicas consolidadas ou em potencial crescimento, servindo à economia local e municipal, com geração de emprego e renda para a população. Nesta zona se insere a subzona de turismo, que possui grande importância para o desenvolvimento da APA. | Consolidar, manter e gerir as atividades socioeconômicas na APA, visando assegurar a qualidade urbanística, paisagística, turística e comercial, conciliando atividades econômicas à disponibilidade de recursos naturais locais de maneira sustentada. | Cultivo agrícola em áreas consolidadas, garantindo a conservação do solo, sem o uso de agrotóxicos, de modo a minimizar a poluição hídrica. Instalações de médio e grande porte, potencialmente degradadoras, após licenciamento ambiental específico. Desenvolvimento da malha viária principal com acesso a Vila de Guaibim e secundária aos bairros instalados. Desenvolvimento da atividade turística | Fiscalização e monitoramento da utilização nos limites da zona. Manejo da área urbana em áreas distantes da vegetação, especialmente dos manguezais, restingas e corpos hídricos. Instalação do sistema de saneamento básico e captação dos efluentes domésticos, com tratamento adequado. Ações de educação ambiental. |

A AMC apresentou resultados espaciais relevantes para atender a criação de uma proposta de zoneamento, compatível com a realidade da APA de Guaibim. Embora sua utilização pareça complexa, Geneletti e Duren (2008) ao utilizá-la na elaboração do zoneamento de uma área protegida na Itália, concluíram que a abordagem é inovadora, já que a análise permite determinar diferentes níveis de usos, a partir de múltiplos objetivos. Os autores concluem que a opção de usar a AMC permite a tomada de decisões transparentes, onde as etapas podem ser analisadas, apresentadas, discutidas e ao mesmo tempo revisadas e atualizadas.

Como a análise não é fechada em nenhum momento ressalta-se que os tomadores de decisão possuem a opção de testar diferentes critérios e pesos ao longo do processo (Sartori et al., 2012). A análise hierárquica (PAH), usada para determinação dos pesos dos critérios, permite uma liberdade adicional aos tomadores de decisão, uma vez que novas combinações de pesos sejam facilmente testadas, sua consciência seja analisada e rapidamente aplicada em uma AMC alternativa (Joerin et al., 2001; Villa et al., 2002; Geneletti, Duren, 2008; Mazaher et al., 2010; Szu-Hsien et al., 2012; Zhang et al., 2013).

A CLP possibilitou a agregação de diferentes fatores num mesmo mapa mostrando a viabilidade da área para cada objetivo proposto. Para Sartori et al.(2012) as informações ambientais geradas a partir do uso da CLP apresentam alto potencial para apoiar um planejamento racional do uso dos recursos naturais, a ocupação territorial, políticas públicas e processos de tomada de decisão. No zoneamento realizado por Zahirian et al.(2012), o uso da CLP foi fundamental para determinar o estado de conservação dos recursos e identificar áreas úmidas. O zoneamento realizado por Anh et al.(2014) também corrobora com este estudo, ao indicar a AHP e a CLP como técnicas viáveis para uma abordagem eficaz na quantificação direta do desenvolvimento socioeconômico no meio ambiente.

O zoneamento produzido foi atendido exclusivamente pelo uso da AMC e indicou fielmente as áreas para serem conservadas e desenvolvidas, corroborando com o zoneamento produzido por Zhang *et al.*(2013), ao utilizar a AMC e demonstrar que os altos valores de aptidão para os fins de conservação podem ser espacialmente segregados das áreas adequadas ao desenvolvimento econômico.

4. Conclusões

A AMC é robusta e flexível, capaz de indicar as áreas prioritárias ao objetivo que se deseja e pode ser utilizada na elaboração de zoneamentos em UCs. A metodologia permite aos gestores a visualização e compreensão do processo que levou ao esquema de zoneamento de uma forma clara e transparente, oportunizando testar alternativas e avaliar os resultados rapidamente.

O mapa conservação da APA de Guaibim, englobou cerca de 70% da área estudada, apresentando áreas viáveis em seus extremos territoriais, que abrigam manguezais, restingas, brejos e rios. As áreas indicadas para o desenvolvimento concentraram-se no centro da APA, com zonas turísticas, agrícolas e áreas já consolidadas de carnicultura. Tal zona encontra-se próxima à malha viária, confirmando um desenvolvimento direcionado a zona central.

A análise indicou maior área para a zona de conservação e entre as suas subzonas, a de interesse proteção ambiental, concentrou maior extensão territorial e importantes áreas de vegetação, rios e APP.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia pelo apoio financeiro e à Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) pela cessão da imagem.

Referências Bibliográficas

Bahia. **Decreto nº 1.164, de 11 de maio de 1992.** Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental de Guaibim, no Município de Valença e dá outras providências.

Brasil. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000.** Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Brasil. **Decreto 4.297 de 10 de Julho de 2002.** Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2011. **Programa de Zoneamento Ecológico Econômico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 19 de jan de 2014.

Eastman, J. R. **Idrisi Selva: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2012. 324p.

Geneletti, D.; Duren, I.V. Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, v. 85, p. 97–110, 2008.

Joerin, F.; Thériault, M.; Musy, A. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n. 2, p. 153-174. 2001.

Mazaher, M.; Nematollah, K.; Afshin, D.; Ali, A.D.; Mehdi, Z.Y. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). **Waste Management**, v. 30, p. 912–920. 2010.

Sartori, A.A. C.; Zimback, C.R.L. Recomposição florestal visando à conservação de recursos hídricos na bacia Dorio Pardo, SP. **Revista de Energia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 43-53, 2012.

Saaty, T. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

Silva, C.L.; Andersen, S.; Kassmayer, K. Avaliação comparativa de três políticas ambientais no estado do paraná: o ZEE, o GERCO e políticas de incentivo à agroecologia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.122, P. 95-122, 2012.

Szu-Hsien, P.; Meng-Ju, S.; Shih-YI, F. Potential Hazard Map for Disaster Prevention Using GIS-Based Linear Combination Approach and Analytic Hierarchy Method. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, p. 403-411. 2012.

Valença. Lei n. 1.856 de 07 de outubro de 2006. Disp e sobre o Plano Diretor do município de Valença e d  outras providências.

Vasconcelos, V.V.; Hadad, R.M. Martins Junior, P.P. Methodologies for integrated studies of natural resources: a discussion on ecological-economic zoning. **Pesquisas em Geoci ncias**, v. 40, n. 1, p. 21-30, 2013.

Villa, F.; Tunesi, L.; Agardi, T. Zoning Marine Protected Areas Through Spatial Multiple-Criteria Analysis: the Case of the Asinara Island National Marine Reserve of Italy. **Conservation Biology**, v. 16, n. 2, p.515-526, 2002.

Zahirian, A.; Padash, A.; Seyed, A. J.; Zamanpour, M.; Nabavi, S.M.B. Wetland Zoning to Establish Land Conservation Using MCE Method (Case Study: Parishan Wetland, Iran). **Advances in Environmental Biology**. v. 6, n. 3, p. 931-939. 2012.

Zhang, Z.; Sherman, R.; Yang, Z. Wu, R.; Wang, W.; Yin, M.; Yang, G. Xiaokun, O. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. **Journal for Nature Conservation**, v. 21, p. 225–240, 2013.