

Revista Brasileira de Cartografia (2010) N° 63/4, p. 515-525  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CEARÁ-CE

*Geographical Information Systems in Environmental Vulnerability Analyzes of Ceará River Basin*

**Eder Mileno Silva de Paula<sup>1</sup> & Marcos José Nogueira de Souza<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará – UFPA**

**Campus Universitário de Altamira – Faculdade de Geografia**  
Rua Cel. José Porfírio, 2515 – São Sebastião - Altamira-PA  
edermileno@ufpa.br

**<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará – UFC**

**Centro de Ciências e Tecnologias - Departamento de Geografia**  
Av. Paranjana, SN - Itaperi Fortaleza-CE  
mag@uece.br

*Recebido em 10 de Dezembro de 2010/ Aceito em 26 de Fevereiro de 2011*  
*Received on December 10, 2010/ Accepted on February 26, 2011*

### RESUMO

Com o avanço da microinformática, técnicas de geoprocessamento foram implementadas em Sistemas de Informações Geográficas - SIG, fato que ampliou a capacidade de análise espacial. Este artigo discute algumas das relações existentes entre as técnicas implementadas nos SIG's e o método geossistêmico de análise da paisagem. Para tanto, apresenta-se percurso técnico-metodológico adotado na análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará – CE, a qual passa por mudanças ambientais significativas.

**Palavras-Chave:** Sistema de Informações Geográficas, Vulnerabilidade Ambiental, Lógica Fuzzy, Rio Ceará.

### ABSTRACT

With the advancement of the micro informatics, geoprocessing techniques have been implanted in Geographic Information Systems – GIS, which increased the spatial analysis capability. The present article discusses some of the relations between the techniques implemented in the GIS and the geosystemic method of landscape analysis. To that end, it is presented a technical-methodological path used in the analysis of the environmental vulnerability of the Ceará River drainage basin – CE, which currently goes through significant environmental changes.

**Keywords:** Geographical Information Systems, Environmental Vulnerability, Logic Fuzzy, Ceará River.

### 1. INTRODUÇÃO

Os estudos ambientais, assim como os demais estudos territoriais, utilizam técnicas de geoprocessamento em apoio a suas análises espaciais, e com o avanço da microinformática e

da programação eletrônica tais técnicas foram implementadas e diversificadas nos Sistemas de Informação Geográfica-SIG, ampliando a capacidade e minimizado o tempo necessário de análise.

Nesses estudos percebe-se que as técnicas de geoprocessamento devem estar sempre atreladas a um método consolidado de análise espacial. Esse texto discute, de forma breve, os laços entre método geossistêmico e algumas técnicas de geoprocessamento, especificamente a álgebra de mapas baseada na lógica *Fuzzy*, e indica-se caminho técnico-metodológico para análise da vulnerabilidade ambiental da paisagem utilizando tais técnicas.

A bacia do Rio Ceará foi a área de estudo escolhida para análise da vulnerabilidade ambiental, a qual está localizada na porção Norte do Estado do Ceará, e pertence ao conjunto de bacias da Região Metropolitana de Fortaleza. O comprometimento do equilíbrio natural dessa bacia, reflete-se na capacidade de suporte ambiental da mesma, fato que se agrava, pois vastos espaços da bacia são urbanizados ou participarão do processo de expansão urbana sem um devido planejamento ambiental.

## 2. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A análise da vulnerabilidade ambiental da paisagem é realizada de acordo com o Método Geossistêmico pela necessidade de integrar todos os fatores e processos envolvidos.

A vulnerabilidade ambiental é identificada com base na dinâmica do meio ambiente. Tricart (1977) apontou três tipos de meios dinâmicos, em função de processos morfogênicos e pedogênicos atuais, a saber: os meios estáveis, *intergrades* ou de transição e os fortemente instáveis.

Segundo Tricart *op. cit.* os meios estáveis possuem evolução do modelado lenta, e somente medições difíceis de serem realizadas poderiam colocar a evolução em evidência. Os fortemente instáveis tem a morfogênese como elemento predominante da dinâmica. Já os meios de transição representam uma passagem gradual entre os meios estáveis e os fortemente instáveis.

De acordo com Rodrigues (2001), a noção da dinâmica possibilita a classificação da paisagem de acordo com o seu estado ou estados sucessivos, sendo possível propor hipóteses sobre sua dinâmica futura, característica essencial para o planejamento.

Para Souza (2000), ambientes com dinâmica ambiental alta possuem vulnerabilidade ambiental alta

e sustentabilidade baixa, e ambientes com dinâmica ambiental baixa possuem vulnerabilidade ambiental baixa e sustentabilidade alta.

## 3. ÁLGEBRA DE MAPAS BASEADA NA LÓGICA FUZZY

O geoprocessamento tem como objetivo principal fornecer ferramentas de suporte a análise das evoluções espaço-temporais dos fenômenos sócio-ambientais e suas interrelações para tomada de decisões.

Dentre as ferramentas ou técnicas vinculadas ao geoprocessamento identifica-se a álgebra de mapas cumulativa e não cumulativa, sendo que a cumulativa tem como produtos mapas fundidos, e a não cumulativa com mapas integrados. (SILVA, 2003)

A lógica ou possibilidade *Fuzzy* está contida na categoria de análises algébricas de mapas não-cumulativa (ou análises lógicas), junto com a simultaneidade Booleana e a probabilidade Bayesiana (SILVA, 2001).

Conforme Katinsky (1994), a lógica *Fuzzy* pode ser definida como parte da lógica matemática que se dedica aos princípios formais do raciocínio incerto, a qual se aproxima do pensamento humano e da linguagem natural.

Nos componentes naturais os limites entre superfícies contínuas não ocorrem bruscamente na grande maioria das vezes, por exemplo na distinção de relevo suave e íngreme, percebe-se uma gradual passagem de uma característica para o outra, por vezes não ocorrendo essa mudança bruscamente, criando-se as áreas descontínuas, de transição.

Para Silva (2001), a lógica *Fuzzy* fora concebida para análise das áreas onde se observam as discontinuidades, as incertezas. Acrescenta-se que as áreas de transição nas paisagens deixam de ser colocadas à margem do processo de análise com o uso da lógica *Fuzzy*.

Elaborar análises tendo como princípio a lógica *Fuzzy* permite um aumento na possibilidade de acerto nas áreas de transição, contribuindo para o aumento da certeza na tomada de decisão.

A lógica *Fuzzy* tem sido largamente utilizada em trabalhos de análise espacial desenvolvidos em SIG. As vantagens do modelamento *Fuzzy* são inúmeras quando comparadas aos modelamentos convencionais, como a lógica booleana, que forçam os especialistas a definir em regras dicotômicas

rígidas com contatos normalmente artificiais, diminuindo a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comuns em processos naturais.

#### **4. SISTEMAS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO CEARÁ**

A bacia do Rio Ceará foi compartimentada em unidades de paisagem: geossistema e geofácie. Foram identificados os geossistemas Planície Litorânea, Planície Fluvial, Glacís de Acumulação, Maciços Residuais e Depressão Sertaneja, e 12 geofácies, a saber: Campo de Dunas, Paleodunas, Planície Flúvio-Marinha, Planície Fluvial do Rio Ceará, Planície Fluvial do Rio Maranguapinho, Tabuleiros Interiores, Tabuleiros Pré-litorâneo, Cristas Residuais, Serra de Aratanha, Serra de Maranguape, Depressão Sertaneja do Rio Ceará e Depressão Sertaneja do Rio Maranguapinho. Caracterizou-se todos os componentes da paisagem dos geossistemas e geofácies que compõe a bacia do Rio Ceará, conforme a seguir:

##### **4.1. Planície Litorânea**

###### **4.1.1. Campo de Dunas**

São litologicamente constituídas de areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados e, eventualmente, exibindo uma maior compactação. De clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando, com 5 a 6 meses secos, e precipitações entre 1400mm e 1600mm anuais, possuem alto potencial Hidrogeológico, porém com grande susceptibilidade à poluição. Seus solos do tipo Neossolos Quartzarênicos possuem drenagem excessiva, baixa a muito baixa fertilidade natural, saturação de bases inferior a 30% no horizonte C e reação do solo fortemente ácida, sendo, assim, considerados inaptos para a atividade agrícola. Foi desordenadamente urbanizado, descaracterizando as feições de dunas e comprometendo a movimentação dos sedimentos das dunas móveis.

###### **4.1.2. Paleodunas**

As paleodunas representam uma geração de dunas mais antigas, que sobrepõem os tabuleiros pré-litorâneos com litologias compostas por areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas,

com tons amarelos, alaranjados ou acizentados. Possui de 5 a 6 meses secos, caracterizando clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando, e suas precipitações variam entre 1400mm a 1600mm anuais. Assim, como o campo de dunas possui alto potencial Hidrogeológico e alta susceptibilidade à poluição. Possuem Neossolos quartzarênicos, porém mais desenvolvidos que os encontrados nos campos de dunas, que proporciona aporte para uma cobertura vegetal mais densa e de porte arbóreo, que detém ou atenua os efeitos da deflação eólica. Encontra-se toda urbanizada.

###### **4.1.3. Planície Flúvio-Marinha**

São litologicamente representados por areias, cascalhos, siltes e argilas, com matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, estuarinos recentes. É originada por processos combinados de agentes fluviais e marinhos. Anualmente precipita em média 1400mm a 1600mm, e possui de 5 a 6 meses secos, classificando a geofácie de clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando. Os Solos Gleissolos Sálícos Sódicos, que a compõem, são continuamente afetados pela preamar, e foram formados em virtude de acumulações flúvio-marinhas, constituídos por sedimentos argilo-siltosos e até arenosos e outros em mistura com detritos orgânicos oriundos da decomposição da vegetação e da atividade biológica. A vegetação de mangue (Arboreto Edáfico Marino-limoso) possui espécies adaptadas à elevada salinidade do solo, inundação e encharcamento do terreno, variações de salinidade e de temperatura hídrica e edáfica, alta concentração de H<sub>2</sub>S(sulfeto de hidrogênio), baixos teores de oxigênio para aeração no substrato, além de estarem sujeitas às oscilações diárias das marés. A dificuldade de manejo, os elevados teores de sais solúveis e excesso de água tornam a geofácie inapta para o uso agrícola. Em algumas áreas de apicum (Figura 1) onde as oscilações da maré não estão tão presentes, estão sendo ocupadas.

##### **4.2. Planície Fluvial**

###### **4.2.1. Planície Fluvial do Rio Ceará**

Derivadas da ação fluvial são litologicamente constituídas por areias, cascalhos, siltes e argilas. Anualmente precipita em média 1100mm a 1600mm, e possui de 5 a 6 meses secos, classificando a geofácie de clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando. Baixo potencial hidrogeológico. Com

Neossolos Flúvicos, que representam a classe de solos com grande potencial natural, mesmo possuindo características físicas com fortes limitações ao uso, é parcialmente capeado por mata ciliar (Arboreto Edáfico Fluvial), com espécies vegetais adaptadas à inundação dos solos e aos períodos de estiagem. Possui algumas áreas urbanizadas no baixo curso, diferenciado-se do médio e alto curso ocupados por atividades agrícolas.

#### **4.2.2. Planície Fluvial do Rio Maranguapinho**

Principal afluente do Rio Ceará, possui litologia formada por areias, cascalhos, siltes e argilas. Com precipitações anuais médias de 1200mm a 1600mm, de clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando com 5 a 6 meses secos. Baixo potencial hidrogeológico. Seus Neossolos Flúvicos apresentam grande potencial natural, mesmo possuindo características físicas com fortes limitações ao uso. A urbanização desordenada comprometeu suas características ambientais, sendo a mata ciliar encontrada em forma de remanescente. O alto curso é também ocupado por atividades agrícolas.

### **4.3. Glacís de Acumulação**

#### **4.3.1. Tabuleiros Interiores**

Distribuindo-se de forma irregular na área da bacia, a unidade é caracterizada por material areno-argiloso, alaranjado e/ou avermelhado, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseiro, inconsolidado, com horizonte laterizado na base em muitas vezes, conservando resquícios de estruturas gnáissicas e fragmentos de veios de quartzo. Com precipitações anuais médias de 1200mm a 1400mm, de clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. São discriminados os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, que possuem baixa fertilidade natural, deficiência de água e susceptibilidade à erosão como limitações ao uso agrícola. Capeado por caatinga arbustiva (Frutíceto Estacional Caducifólio Xeromórfico) onde as condições ambientais são desfavoráveis para o surgimento de uma vegetação de maior porte, e por vegetação de tabuleiro (Frutíceto Estacional Semi-caducifólio Esclero-mesomórfico) quando o contrário. Sua terras são usadas para atividades agrícolas.

#### **4.3.2. Tabuleiros Pré-litorâneo**

Constituída por sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes de aspecto mosqueado, com granulação variando de fina a média e contendo intercalações de níveis conglomeráticos. Com precipitações anuais médias de 1300mm a 1600mm, de clima Quente Semi-Úmido e Semi-Árido Brando com 5 a 6 meses secos. Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos possuem baixa fertilidade natural, deficiência de água e susceptibilidade à erosão como limitações ao uso agrícola. A urbanização de Caucaia e Fortaleza degradou grande parte da vegetação de tabuleiros (Frutíceto Estacional Semi-caducifólio Esclero-mesomórfico), exibindo-se a vegetação no Parque Botânico do Ceará e seu entorno e em manchas dispersas.

### **4.4. Maciços Residuais**

#### **4.4.1. Cristas Residuais**

O corpo ultrabásico do serrote Manoel Gonçalves trata-se de um piroxenito de coloração preto-esverdeada, maciço, e de granulação média. Na porção sudoeste da bacia encontram-se litotipos classificados como fonólitos e traquitos, de coloração cinza-esverdeada, com pórfiros milimétricos de feldspato envoltos por uma matriz afanítica. As serras do complexo Juá-Conceição são sequências dominantes de paraderivadas, constituídas de gnaisses aluminosos, e em parte, migmatizados e, por vezes, intercalados por níveis carbonáticos. Com precipitações anuais médias de 1200mm a 1600mm, de clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. Neossolos Litólicos considerados inaptos com limitações dependentes ainda da pedregosidade, presença de afloramentos rochosos, pouca profundidade e relevo acidentado. Este solos são capeados por caatinga arbustiva degradada (Frutíceto Estacional Caducifólio Xeromórfico), caatinga arbórea degradada (Arboreto Climático Estacional Caducifólio Xerofílico).

#### **4.4.2. Serra de Aratanha**

É litologicamente constituída por rochas foliadas desde gnaisses migmatizados até migmatitos metatexíticos e núcleos granitóides. Na bacia compreende a vertente a sotavento, com

precipitações anuais médias de 1100mm a 1300mm, clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. Possui Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos caracterizados como de média a alta fertilidade natural com aptidão restrita à agricultura em função do declive acentuado. A mata plúvio-nebular subperenifólia (Arboreto Climático Pluvial) constitui unidade vegetacional que a capea no topo da serra, e os menores valores altimétricos são dominados pela caatinga arbórea.

#### **4.4.3. Serra de Maranguape**

Litologicamente constituída por rochas foliadas desde gnaisses migmatizados até migmatitos metatexíticos e núcleos granitóides. Com precipitações anuais médias de 1200mm a 1300mm, clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. Possui Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos caracterizados como de média a alta fertilidade natural com restrição à agricultura em função da declividade acentuada. A mata plúvionebular subperenifólia (Arboreto Climático Pluvial) constitui unidade vegetacional que a capea na vertente barlavento e no topo da serra, e no sotavento pela caatinga arbórea. No sopé a barlavento está situada a sede de Maranguape.

#### **4.5. Depressão Sertaneja**

##### **4.5.1. Depressão Sertaneja do Rio Ceará**

Litologicamente constituída por seqüência dominante de paraderivadas, constituída de gnaisses aluminosos e, em parte, migmatizados, e por vezes, intercalados por níveis carbonáticos. Precipitações anuais médias de 1200mm a 1300mm, clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. Potencial hidrogeológico limitado as zonas de fraturas. Grande parte da unidade é constituída por Planossolos Háplicos Eutróficos, porém, apresenta manchas de Luvisolos Crômicos, Vertissolos e Neossolos Litólicos. Constituem o domínio da caatinga arbustiva degradada (Frutíceto Estacional Caducifólio Xeromórfico), com grandes áreas, em geral próximas a açudes, destinadas à atividades agrícolas e extrativismo.

##### **4.5.2 Depressão Sertaneja do Rio Maranguapinho**

Litologicamente constituída por rochas foliadas desde gnaisses migmatizados até migmatitos

metatexíticos e núcleos granitóides. Com precipitações anuais médias de 1200mm a 1300mm, clima Semi-Árido Brando com 6 meses secos. Potencial hidrogeológico limitado às zonas de fraturas. Grande parte da unidade é constituída por Planossolos Háplicos Eutróficos com uso limitado para atividades agrícolas. Capeada em geral pela caatinga arbustiva degradada com áreas destinadas à atividade agrícola, e áreas urbanas de Fortaleza, Maracanaú e Maranguape.

#### **5. PERCUSSO TÉCNICO - METODOLÓGICO**

De Paula e Souza (2007) consideram que de forma geral, os estudos ambientais que têm em sua metodologia de integração de mapas a lógica *Fuzzy*, permeiam o seguinte caminho metodológico, a saber: instituição, padronização e ponderação dos critérios.

Os critérios instituídos para a identificação da vulnerabilidade ambiental são de limitação relativa. O especialista, de acordo com método utilizado, poderá acrescentar ou suprimir critérios enfatizando-se com isso a importância de existir um método “sólido” de análise. Baseado pelo método geossistêmico, considerou-se critérios os componentes ambientais, e instanciou-se para esta pesquisa a geomorfologia, geologia, clima, solos, cobertura vegetal e uso da terra.

O sensoriamento remoto permitiu o uso de imagens de satélite para reambulação das informações de geologia e pedologia, como para restituição da geomorfologia e dos sistemas ambientais. E, utilizando o Processamento Digital de Imagem – PDI identificou-se o uso da terra e cobertura vegetal.

A necessidade de padronização dos componentes ambientais deve-se ao fato de cada componente possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade.

A padronização aqui destacada não está em detrimento das especificidades dos componentes ambientais, mas relaciona as características de cada componente à categoria de análise, no caso a vulnerabilidade ambiental.

Os dados são transformados para um espaço de referência e processados por combinação numérica através da lógica *Fuzzy*, obtendo-se uma superfície de decisão, onde se classifica em áreas

mais ou menos vulneráveis ambientalmente. (DE PAULA e SOUZA, 2007)

Cada classe dos componentes ambientais foi escalonada no intervalo de valor 0 a 1 de acordo com o método geossitêmico. Quanto mais próximo do valor 1 (um), maior será a contribuição a vulnerabilidade ambiental, e quanto mais próximo de 0 (zero) menos contribuirá a vulnerabilidade, como esboçado na Figura 1. Na Tabela 1 exibe-se os valores de vulnerabilidade de cada classe dos componentes da paisagem.

Na fase ponderação dos critérios, os componentes foram integrados através de soma ponderada, tendo como princípio a lógica Fuzzy, e pesos dos componentes ambientais definidos empiricamente, segundo a técnica de tomada de decisão AHP – Processo de Análise Hierárquica.

Segundo Câmara et al. (2004) a AHP “permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências e probabilidade”.

Atualmente, existem vários operadores de análise espacial para a integração de dados, dentre os quais se destacam o modelo Bayesiano, Redes Neurais, Média Ponderada e o AHP. Dentre estes operadores, o AHP foi o mais utilizado em pesquisas com objetivos semelhantes à análise de vulnerabilidade ambiental, em virtude da maior facilidade e simplicidade de modelagem.

Segundo INPE (2007), AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências e probabilidade entre dois critérios.

Os fatores são comparados dois-a-dois, atribuindo ao relacionamento um critério de importância, conforme escala pré-definida. Essa relação pretende capturar o conhecimento do especialista, que indicará o grau de importância relativo entre os critérios comparados.

No quadro 1 encontra-se a escala de valores usada pelo Sistema de Processamento de Informações Georeferenciados - SPRING 4.3, a qual foi utilizada como dados de entrada da matriz de comparação pareada apresentada no quadro 2.



Fig. 1 - Representação gráfica da escala de Vulnerabilidade Ambiental. Fonte: DE PAULA (2008)

A comparação pareada dos componentes ambientais possibilitou a construção da tabela 2, que exibe os valores dos pesos de cada componente, ou seja, quanto cada componente contribui para a vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará. O cálculo dos pesos foram realizados no SPRING4.3, e teve como razão de consistência da comparação pareada o valor 0,099, que segundo sistema de ajuda do SPRING4.3 (INPE, 2007), é aceitável.

O resultado da soma ponderada dos componentes ambientais foi uma superfície de decisão que variou seus valores de vulnerabilidade ambiental entre 0,22 e 0,97. A superfície de decisão pode ser fatiada conforme o objetivo e escala da pesquisa, assim, para bacia do Rio Ceará, após vários testes, fatiou-se em três classes, sendo a classe vulnerabilidade baixa com valores no intervalo de 0,22 a 0,45, vulnerabilidade moderada no intervalo de 0,45 a 0,70 e de vulnerabilidade alta no intervalo de 0,70 a 0,97.

## 6. VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CEARÁ

Com base na síntese das características dos sistemas ambientais estabeleceram-se os valores de contribuição de cada classe dos componentes ambientais – relevo, geologia, clima, solos, cobertura vegetal e uso da terra -, e a importância destes componentes para a intensificação da morfogênese no ambiente. A identificação desses valores, aliados à técnica de álgebra de mapas, permitiu a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará, mapa 1.

Os sistemas ambientais da bacia foram cruzados com os valores de vulnerabilidade ambiental, e estabeleceu-se a quantidade percentual dos níveis de vulnerabilidade baixa, moderada e alta de cada geofácia. Com o cruzamento do mapa das unidades geoambientais e o de vulnerabilidade ambiental, e posterior cálculo de área, detalhou-se

Tabela 1 - Valores atribuídos aos componentes ambientais para a bacia do rio Ceará. Fonte: de Paula (2008).

<b>Componente Ambiental</b>	<b>Classes</b>	<b>Valores</b>
Geomorfologia	Dunas	1
	Paleodunas	0,6
	Planície Flúvio-Marinha	1
	Planície Fluvial	0,6
	Tabuleiro Pré-Litorâneo	0,2
	Tabuleiros Interiores	0,2
	Cristas	0,8
	Maciços Residuais	0,6
	Depressões Sertanejas	0,4
Geologia	Dunas	1
	Depósitos fluviais e de mangues	1
	Paleodunas	0,6
	Coberturas colúvio-eluviais	0,4
	Formação Barreiras	0,4
	Rochas vulcânicas alcalinas	0,6
	Ultrabásitos	0,6
	Complexo Gnássico-Migmatítico	0,4
	Complexo Granitóide-Migmatítico	0,4
Clima	Quente Semi-Úmido	0,4
	Quente Semi-Árido Brando	0,4
Solos	Neossolos Flúvico-Eutróficos	0,6
	Neossolos Quartzarênicos	1
	Neossolos Litólicos Eutróficos	0,8
	Gleissolos Sálcos Sódicos	1
	Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos	0,2
	Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos	0,8
	Luvissolos Crômicos	0,4
	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,4
	Vertissolos	0,4
Uso da Terra	Área Urbana	0,8
	Área Agrícola	0,6
Cobertura Vegetal	Caatinga Arbórea Degradada	0,4
	Caatinga Arbustiva Degradada	0,6
	Apicun	0,8
	Mangue	0,2
	Mata Ciliar	0,6
	Mata Pluvionebular subpernifólia	0,2
	Vegetação de Tabuleiro	0,2

Quadro 1 - Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Modificado do Manual do Usuário do SPRING 4.3.(INPE, 2007)

Quadro 2 - Matriz de comparação dos componentes ambientais da bacia do rio Ceará.

Crítérios	Geomorfologia	Geologia	Clima	Solos	Uso da Terra e Cobertura Vegetal
Geomorfologia	-	3	1	9	5
Geologia	-	-	1	3	9
Clima	-	-	-	1	9
Solos	-	-	-	-	9
Uso da Terra e Cobertura Vegetal	-	-	-	-	-

Fonte: DE PAULA(2008)

Tabela 2 - Peso dos componentes ambientais para vulnerabilidade ambiental.

Componentes	Valores
Geomorfologia	0,162
Geologia	0,051
Clima	0,08
Solos	0,075
Uso da Terra e Cobertura Vegetal	0,599

Fonte: DE PAULA(2008)

o percentual de áreas em relação a vulnerabilidade ambiental no quadro 3, e propõe-se alternativas de uso dos recursos naturais. As propostas de uso foram estabelecidas de acordo com Souza(1990, 1998 e 2000); Brandão(1995); e De Paula(2008).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

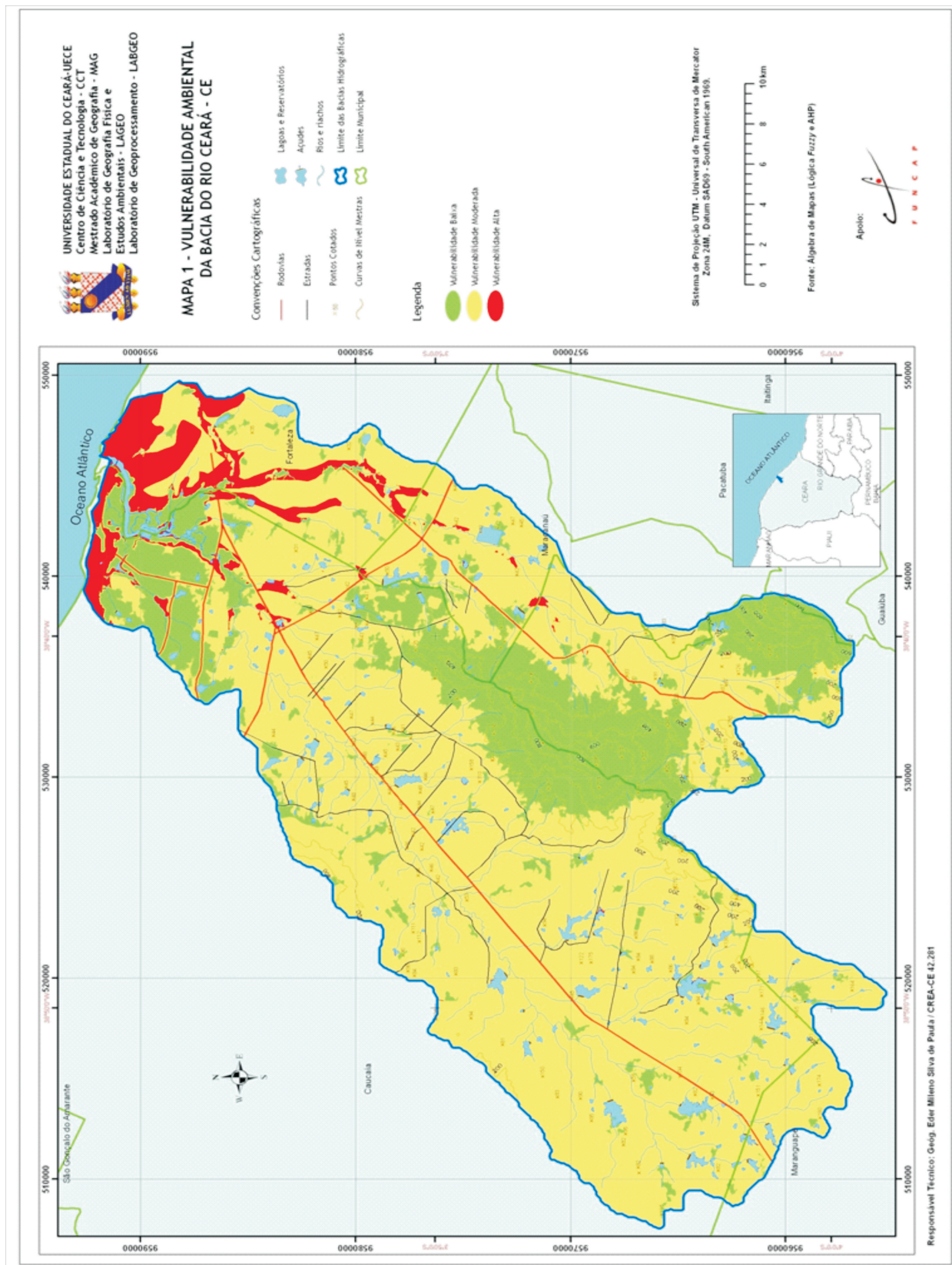
A lógica *Fuzzy* e AHP se integram com êxito ao método geossistêmico, modelando a análise

holística e sistêmica deste método de análise da paisagem. O AHP permite hierarquizações que são consideradas características do geossistema. E a lógica *Fuzzy*, por sua vez, possibilita avaliação das áreas *intergrades* ou de transição, contribuindo para o aumento da certeza na tomada de decisão.

A urbanização que comprimi as atividades agrícolas, nos municípios da bacia, também degrada as características dos sistemas ambientais da bacia. O uso urbano descontrolado dos sistemas ambientais torna-os ambientalmente vulneráveis, a exemplo da planície fluvial do Rio Maranguapinho, que poderia ter menor quantitativo de áreas de vulnerabilidade alta, caso não existisse a pressão urbana em suas terras.

Estudos como o de vulnerabilidade ambiental são imprescindíveis para o ordenamento territorial, pois visa, em essência, a convivência harmoniosa do homem com a natureza, e tais estudos aliados ao geoprocessamento subsidiam a sustentabilidade ambiental, com informações mais precisas e sem demandas excessivas de tempo para sua obtenção.





**Fig. 2** – Mapa da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia do Rio Ceará-CE. Fonte: DE PAULA(2008)

QUADRO 3 - VULNERABILIDADE AMBIENTAL E PROPOSIÇÃO DE USO COMPATÍVEL DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO CEARÁ.

Geossistema	Geofácio	Vulnerabilidade		Alternativas de Uso	
		Classe	%		
Planície Litorânea	Campo de Dunas	Alta	68,71	Urbano-turístico controlado; com restrições para a mineração, agricultura, loteamento e estradas; uso restrito e controlado das faixas de praias e dos corpos d'água; necessidade de monitoramento da qualidade ambiental.	
		Moderada	1,72		
		Baixa	29,58		
	Paleodunas	Alta	92,53		Urbano controlado; com restrições para a mineração, agricultura, loteamento e estradas.
		Moderada	0,92		
		Baixa	6,55		
	Planície Flúvio-Marinha	Alta	35,68		Reservas biológicas; áreas de uso e acesso restrito por imposições legais; ecossistema sujeito à preservação compulsória e permanente de sua biodiversidade.
		Moderada	0,18		
		Baixa	64,14		
Planície Fluvial	Planície Fluvial do Rio Ceará	Alta	4,84	Áreas favoráveis às atividades agrícolas e à implantação de cerâmicas e olarias; Extrativismo vegetal nos camaubais	
		Moderada	84,57		
		Baixa	10,6		
	Planície Fluvial do Rio Maranguapinho	Alta	30,03	Requalificação ambiental; Áreas favoráveis às atividades agrícolas e a implantação de cerâmicas e olarias.	
		Moderada	65,49		
		Baixa	4,48		
Glacis de Acumulação	Tabuleiros Interiores	Alta	0,03	Áreas de uso e acesso livres; próprias à expansão urbana, atividades agrícolas e à implantação da rede viária.	
		Moderada	74,56		
		Baixa	25,41		
	Tabuleiros Pré-litorâneo	Alta	0,03	Áreas de uso e acesso livres; próprias à expansão urbana, atividades agrícolas, como o extrativismo e à implantação da rede viária.	
		Moderada	63,8		
		Baixa	36,18		
Maciços Residuais	Cristas Residuais	Alta	0,02	Propícias à atividade agrícolas, como pecuária, extrativismo vegetal, agricultura e mineração.	
		Moderada	98,95		
		Baixa	1,02		
	Serra de Aratanha	Alta	0,02	O platô-úmido constitui área parcialmente favorável às lavouras de ciclo longo, cafeicultura, fruticultura, silvicultura, e a vertente seca parcialmente favorável à silvicultura e às lavouras de ciclos longos.	
		Moderada	15,86		
		Baixa	84,12		
	Serra de Maranguape	Alta	0,16	A vertente e platô úmido são áreas parcialmente favoráveis às lavouras de ciclo longo, cafeicultura, fruticultura, silvicultura e ao uso urbano-turístico, e a vertente seca é parcialmente favorável à silvicultura e	
		Moderada	29,49		
		Baixa	70,36		
Depressão Sertaneja	Depressão Sertaneja do Rio Ceará	Alta	0,23	Propícias às atividades agrícolas, como pecuária, extrativismo vegetal, agricultura e mineração.	
		Moderada	94,26		
		Baixa	5,51		
	Depressão Sertaneja do Rio Maranguapinho	Alta	0,29	Propícias às atividades agrícolas, como pecuária, extrativismo vegetal, agricultura e à mineração, e ao uso urbano, na expansão das sedes de Maranguape e Maracanaú.	
		Moderada	84,74		
		Baixa	14,97		

Fonte: DE PAULA(2008).

**AGRADECIMENTO**

À Fundação Cearense de Amparo a Pesquisa – FUNCAP, à Faculdade de Geografia da

Universidade Federal do Pará – Campus Altamira, ao Mestrado Acadêmico em Geografia -MAG e ao Laboratório de Geoprocessamento - LABGEO da Universidade Estadual do Ceará – UECE.

## REFERÊNCIAS

- BRANDÃO, R.L. Sistemas de informações para a Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: **Diagnostico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação da Região Metropolitana de Fortaleza**: CPRM, 1995.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds), *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004.
- DE PAULA, E. M. S. **Geotecnologia aplicada à compartimentação ambiental da bacia do rio Ceará-CE**. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza - Ceará. 2008.
- DE PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. **Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental**. In ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2979 - 2984.
- INPE, Instituto de Pesquisas Espaciais do Brasil. **Manual do Usuário do Software SPRING 4.3**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html> Acesso em 21/06/2007.
- KATINSKY, M. **Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems**. 1994. MsC Thesis, University of Wisconsin-Madsin - USA, 1994.
- RODRIGUES, C. A. Teoria Geossitêmica e sua Contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, v. 14, p. 69-77, 2001.
- SILVA, A. B. **Sistemas de Informação Georeferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas-SP: Editora da UNICAMP, 2003.
- SOUZA, M. J. N. de. **Análise Geoambiental e Ecodinâmica da Paisagens do Estado do Ceará** - Tese de Professor Titular, UECE. 1998. Fortaleza. IIs.
- SOUZA, M. J. N. de. *et all*. **Relatório das Unidades Geoambientais e Identificação de Problemas Degradacionais na Bacia do Rio Ceará – 1990**.
- SOUZA, M.J.N. **Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará**. In. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 05-104.
- TRICART, Jean . **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento e análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 363 p.