

ANALYSE THE VULNERABILITY IN THE MARANHÃO ILHA, BRAZIL, USING GIS TECHNIQUES AND GEOSPATIAL INFERENCE.

Ulisses Denache Vieira Souza¹
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux²

Abstract

Vulnerability and sustainability studies of an area help to assess both its level of exposure and capacity to support possible environmental impacts, and it is of primordial importance for proposals of the Legislation on Zoning, Allotment, Land Use/land cover, aiming to stimulate those areas indicated for urban growth, to discourage growth of overcrowded areas, to detect sections with restrictive use, as well as districts for permanent protection. This paper aims to analyze the vulnerability in the Maranhão Ilha, using GIS techniques, geospatial inference intersected with relevant social-environmental indicators.

Resumo

Estudos de vulnerabilidade e de sustentabilidade de uma área ajudam a avaliar o seu grau de exposição e sua capacidade de suporte a possíveis impactos ambientais, sendo fundamental para propostas de Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, tendo por finalidade orientar as áreas onde deverá haver estímulo para o crescimento urbano; contenção da malha urbana; detecção de locais com possibilidade de uso restritivo, bem como locais de proteção permanente. Este trabalho propõe analisar o índice de vulnerabilidade a perda de solo da Ilha do Maranhão com base na metodologia proposta por (CREPANI, et al. 2001) e em técnicas de inferência espacial com apoio na AHP (Análise Hierárquica de Processo).

Palavras-chave: AHP, Vulnerabilidade, Sustentabilidade, Plano de Informação.

¹ DSR/INPE. E-mail: ulisses@dsr.inpe.br

² DSR/INPE. E-mail: hermann@dsr.inpe.br

1. Introdução

As cidades são afetadas por aspectos positivos e/ou negativos impostos pelas transformações decorrentes da dinâmica da sociedade que rege seu funcionamento e desenvolvimento. A remoção da cobertura vegetal nos centros urbanos associado à impermeabilização do solo acelera o escoamento das águas superficiais, ocasionando a diminuição da taxa de infiltração e a redução dos lençóis freáticos. Tal alteração intensifica, no período chuvoso, a ocorrência das enchentes, deslizamentos de encostas e as mais variadas catástrofes naturais (SANTOS, 2007).

Assim, o estudo da sensibilidade permite identificar a vulnerabilidade e a sustentabilidade de uma área. A relação entre as duas primeiras e a última é inversamente proporcional. Logo quanto mais sensível, mais vulnerável e menos sustentável é a área, isto é, o grau de exposição do local e a capacidade para suportar determinadas ações antrópicas e impactos ambientais (NOVAES et al, 2007).

A Ilha do Maranhão, principalmente no município de São Luís - Maranhão apresenta um processo de ocupação do solo de forma não-planejada, provocando diversos impactos ambientais negativos, como: diminuição das áreas de manguezais, aterramentos, impermeabilizações do solo, erosão, contaminação da água, inundações e outros. Fatos que podem ser observados na bacia do Bacanga, área de proteção ambiental estratégica por se tratar de um ecossistema frágil (PEREIRA, 2006).

Essa área encontra-se urbanizada e com alto grau de impermeabilização. O esgoto doméstico produzido é lançado *in natura* para a área da barragem do rio Bacanga, onde pessoas retiram seu sustento com a pesca e coleta de caranguejos, sururus e outros (PEREIRA, 2006).

Diante do atual cenário de utilização de forma irracional dos recursos ambientais, Pandey et al. (2007) descreve a necessidade de priorizar a conservação dos recursos do solo promovendo sua utilização de maneira adequada. Assim, para alcançar tal objetivo o planejamento, a conservação e o gerenciamento de áreas vulneráveis são necessários.

Para realizar e executar as etapas que proporcionem o planejamento, a conservação e o gerenciamento é fundamental a identificação de características específicas de cada localidade, haja vista a diversidade de agentes que aliados a fatores desencadeiam os processos que geram à perda de solos, tornando tais áreas mais vulneráveis. Segundo Santos et al. (2007), a eficiência da gestão ambiental de um

território depende de levantamentos e estudos sistemáticos prévios sobre os principais elementos e condicionantes do meio físico. Uma das formas de desenvolver o planejamento ambiental é a divisão de uma área em zonas de ocupação do solo, baseados no conhecimento das áreas críticas ou vulneráveis ambientalmente.

Sabe-se que os principais fatores associados à perda de solo podem ser utilizados no planejamento de conservação do solo, permitindo o isolamento e descrição de áreas vulneráveis a erosão, bem como a determinação de medidas imediatas de conservação em locais específicos. Pode-se citar o estudo que foi desenvolvido com intuito de auxiliar na identificação de áreas vulneráveis subsidiando o planejamento ambiental (Crepani et al., 2001).

A utilização de dados integrados em Sistema de Informações Geográficas (SIG) além de técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas úteis e eficazes na avaliação da vulnerabilidade, por apresentarem a possibilidade de integração de múltiplas camadas de informações que podem ser processadas e analisadas com base em metodologias próprias de uso de SIG para tais atividades.

Para subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia, Crepani et al. (2001) propôs uma metodologia para elaboração de mapas de Vulnerabilidade baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). A utilização de ferramentas de suporte a decisão como AHP ajudam a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. A eficiência do método AHP baseia-se na aplicação de uma comparação par a par entre as variáveis, onde são consideradas as diferentes influências exercidas por cada variável física aos processos que desencadeiam a perda de solo na área estudada.

Quando se trata de análise ambiental, o método apresenta desempenho favorável por essa possibilidade de estabelecer dentro de uma única avaliação comparações entre variáveis que desempenham e possuem diferentes pesos na determinação do grau de vulnerabilidade de tais áreas. Deste modo, objetivou-se avaliar a utilização do método AHP para ponderação de fatores aplicados na obtenção da vulnerabilidade de áreas como a Ilha do Maranhão com características de fragilidade ambiental, comparando-o com o método original de Crepani et al. (2001) proposto para o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia.

Assim a análise das áreas vulneráveis a perda de solo por meio da metodologia proposta por CREPANI, et al. (2001) auxilia na identificação do quão vulnerável a

perda de solo é a área em estudo, subsidiando a tomada de decisão e as ações de planejamento dos Municípios, localizados na Ilha do Maranhão.

2. Area de estudo

A área em estudo encontra-se inserida no contexto da Região Geomorfológica definida como Planícies Litorâneas, em particular, na unidade Geomorfológica conhecida como Golfão Maranhense. Geologicamente, toda área encontra-se dentro da feição geotectônica denominada Craton de São Luís, coberto quase em totalidade por sedimentos Mesozóico e Cenozóico. Ocupa 4276.1 km² e possui a mais importante concentração populacional do Estado do Maranhão, em virtude de aí se localizar a micro-região de São Luís, Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar (FIGURA 01).

2.1 Caracterização da área

A área de estudo encontra-se no segmento do Golfão Maranhense – que abrange a reentrância delimitada, a oeste, pela ponta do Guajuru, município de Cedral, e a leste, pela ilha de Santaninha, no município de Humberto de Campos, tendo, ao centro, a ilha Upaon-Açu, mais conhecida como ilha do Maranhão ou ilha de São Luís, além das ilhas do Medo, Pequena, Livramento, Carangueijos, Duas Irmãs, Tauá-Redonda, Tauá-Mirim e Ponta Grossa e as baías de Cumã, São Marcos, São José e Tubarão (SOUZA e FEITOSA 2009).

Segundo Feitosa (1989), a denominação de Upaon-Açu para a ilha onde se situa a cidade de São Luís constitui uma homenagem a um povo que não tem mais qualquer representação na toponímia local, sendo mais apropriada a de ilha do Maranhão, por sua importância histórica e econômica atual.

As baías de São Marcos e de São José são consideradas as mais importantes da zona costeira do Maranhão tanto pelos aspectos fisiográficos, por serem desaguadouros dos maiores rios do estado e apresentarem intensa dinâmica da paisagem, quanto pela densidade das atividades humanas e a circulação de riquezas.

A fragilidade das estruturas geológicas facilita a dinâmica da paisagem na área do Golfão Maranhense por sua exposição aos agentes modeladores do relevo como os de origem climática, hidrológica e oceanográfica, e pela intensa atividade eólica, marinha e fluviomarina, gerando ondas e correntes que modelam o maior conjunto de

falésias do litoral do Maranhão, e pelo aporte de sedimentos continentais carreados pelos rios.

No Golfão Maranhense, deságuam os maiores rios genuinamente maranhenses como o Mearim, na baía de São Marcos, e o Itapecuru e Munim, na baía de São José. Estas duas baías se comunicam através do estreito dos Mosquitos, onde foram construídas a ponte rodoviária e as pontes férreas, que favorecem o acesso à cidade de São Luís.

Em conseqüência das altas taxas de crescimento populacional e de alguns tipos de indústrias instaladas na área do Golfão Maranhense, a intensidade e a magnitude das atividades humanas, notadamente na faixa litorânea da ilha do Maranhão, impõem grande vulnerabilidade à paisagem. Na margem oriental da baía de São Marcos, encontra-se instalado o complexo portuário do Estado do Maranhão, formado pelos portos do Itaqui, da Vale do Rio Doce e da ALUMAR, que são responsáveis por todas as exportações do Estado. Dentre os produtos exportados, salientam-se os derivados de ferro e alumínio e os produtos do setor primário como soja e derivados de babaçu.

A cidade de São Luís polariza o desenvolvimento urbano e regional. Com população aproximada de 1 milhão de habitantes e ultrapassando esta cifra com a soma da população dos demais municípios da ilha, São Luís oferece mão-de-obra para atender à demanda do mercado na indústria e nas demais atividades econômicas, apresenta alguns problemas de planejamento e mau uso do solo visível ao longo de suas praias que sofrem com alto índice de poluição.

Analyse the vulnerability in the Maranhão Ilha, Brazil, using gis techniques and geospatial inference.

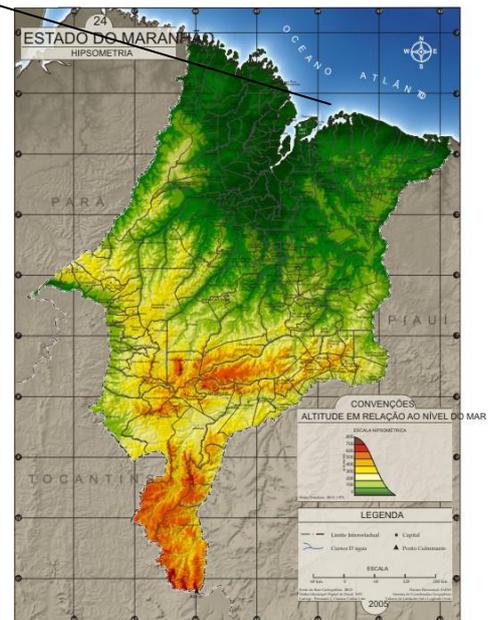


Figura 01: Mapa de Localização da Ilha do Maranhão.
Fonte: FEITOSA e TROVÃO, 2006. Adaptado por Souza, 2010.

2. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas as variáveis geomorfologia, geologia, pedologia e uso e cobertura do solo presentes no banco de dados geográficos fornecido pelo Núcleo de Geoprocessamento da Universidade Federal do Maranhão. Foi utilizado o software Spring 5.1.

A Figura 2 ilustra o modelo OMT-G através do modelo conceitual do banco de dados geográficos e os procedimentos empregados no presente estudo.

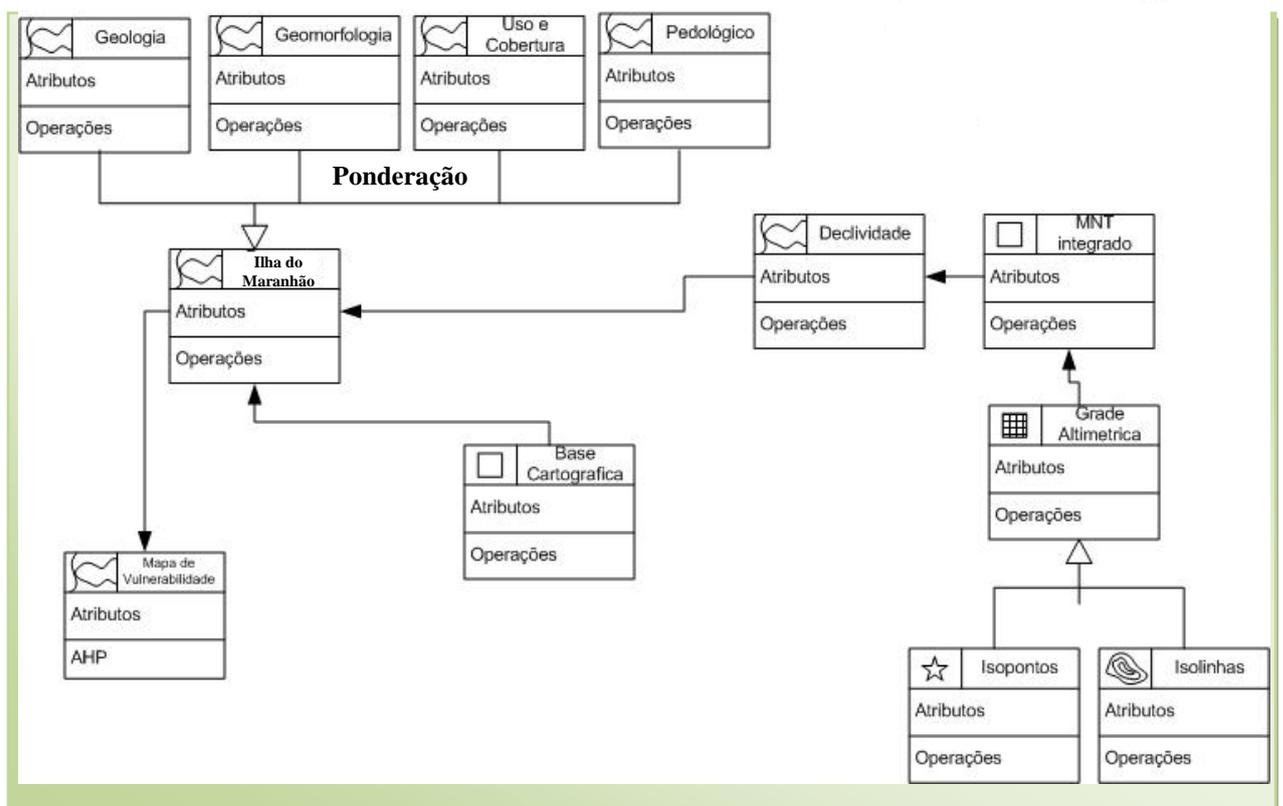


Figura 2 – Modelo OMT-G

Para a aplicação e análise da metodologia empregue neste trabalho foram necessários alguns procedimentos metodológicos, tais como:

- ✓ Criação de um banco de dados com nome de (SÃO LUÍS) no software SPRING 5.1 disponível na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com posterior modelagem do Banco a partir do projeto denominado (ILHA).
- ✓ Os dados em formato shape foram importados para o banco de dados anteriormente citado através da função IMPORTAR sendo distribuídos de

acordo com as categorias de acordo com sua formatação inicial (NUMÉRICOS, TEMÁTICOS, IMAGENS e CADASTRAIS).

- ✓ Assim, os dados foram sendo preparados e adequados a escala de trabalho, por exemplo os pontos cotados e as isolinhas geraram uma grade retangular, que depois foram através do Menu MNT do Spring manipulados para gerar um temático de Declividade e de exposição.

A possibilidade de se detectar o grau de vulnerabilidade de um determinado ambiente com o uso dos geossistemas/geofácies em uma determinada categoria do meio serve de base para indicar condições favoráveis ou limitantes para o uso dos recursos naturais. (FIGURA 03).

Souza 2000 descreve os sobre seguintes ambientes ecodinâmicos que auxiliam no entendimento da dinâmica ambiental dos sistemas:

- ✓ *Ambientes estáveis*: potencial erosivo reduzido devido estabilidade morfogenética. A cobertura vegetal protege o solo por conta de seu estado conservado ou pouco degradado.
- ✓ *Ambientes de transição*: marcado pela preponderância de processos morfogenéticos ou pedogenéticos favorecendo outra condição ao ambiente sendo estável ou instável.
- ✓ *Ambientes instáveis*: evidencia de atividades de elevado poder erosivo comprometendo a capacidade produtiva dos recursos naturais e por consequência comprometimento do contingente vegetacional.

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese / Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Figura 03: Crepani, et al. (2001)

A metodologia usada para vulnerabilidade foi desenvolvida por CREPANI et. al (2001), a partir do conceito da Ecodinâmica de TRICART (1977), baseado na relação Morfogênese/Pedogênese.

Primeiramente foram gerados mapas temáticos de tipo de solo, geologia, geomorfologia/declividade e uso e cobertura vegetal (FIGURA 04). Em seguida foram determinados os valores de vulnerabilidade dos temas usando como base os critérios adotados por Crepani et al. (2001), quais sejam:

- ✓ PI de geologia: a história da evolução geológica da região e as informações relativas ao grau de coesão das rochas;
- ✓ PI de geomorfologia, a análise dos índices morfométricos;
- ✓ PI de solos, a maturidade;
- ✓ PI de uso e cobertura vegetal, a densidade de cobertura vegetal.

Após a classificação do grau de instabilidade foi gerada a vulnerabilidade natural à erosão usando-se operações de álgebra de mapas utilizando a linguagem de programação, implementada no SPRING, denominada de LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico)(Em anexo).

A partir de planos de informação de entrada (solos, geomorfologia/declividade, geologia e uso e cobertura vegetal), gerou-se um mapa temático de classes de vulnerabilidade natural à erosão.

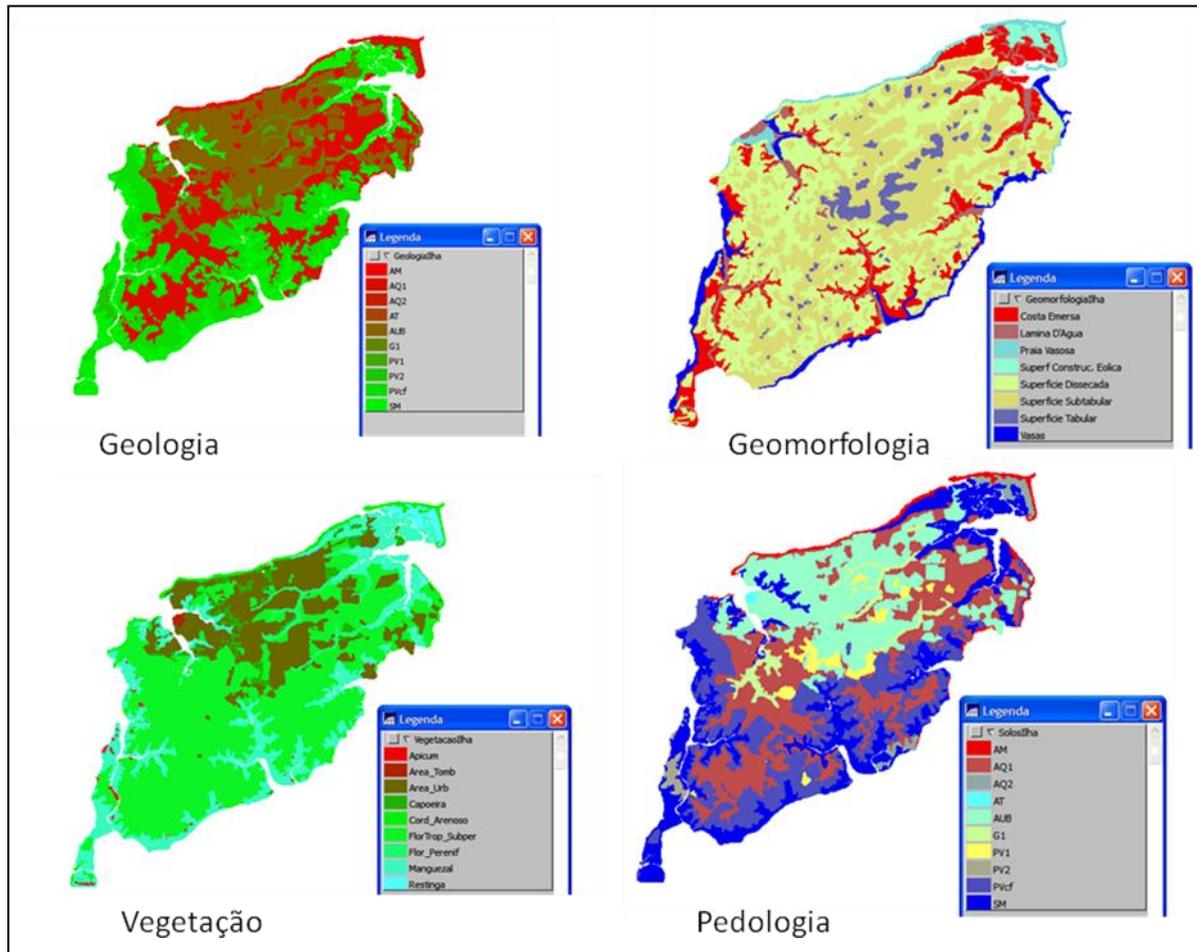


Figura 04:PT's utilizados

Inicialmente, gerou-se um conjunto de regras de ponderação, atribuindo-se um conjunto de pesos a cada classe temática dos mapas de entrada. O resultado desta operação foi um mapa temático em formato matricial, que foi vetorizado através da operação Raster-Vetor. Adiante encontram-se os valores dos pesos associados a cada classe dos temas de entrada (Quadro 01).

- *Vulnerabilidade Baixa:* áreas que apresentam características contidas nos setores de sustentabilidade alta.
- *Vulnerabilidade Moderada:* áreas que apresentam características contidas nos ambientes com sustentabilidade moderada.
- *Vulnerabilidade Alta:* áreas cujas condições de sustentabilidade se enquadram nas categorias de sustentabilidade baixa e muito baixa.

A *AHP* é uma teoria matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Ela pondera todos os critérios através de uma comparação e calcula um valor de razão de consistência entre 0 e 1, sendo o 0 a completa consistência do processo de julgamento (SAATY, 1980).

As informações constantes nos PIs subsidiarão a utilização do método de análise múltiplos critérios, passível de integração num ambiente SIG denominado *AHP* (*Analytic Hierarchy Process*) ou Processo Analítico Hierárquico.

3. Resultados e discussões

O cruzamento das informações contidas nos projetos foi realizado pelo formato *raster*, pois, neste formato cada *pixel* do projeto resultante será fruto do cruzamento dos *pixels* dos outros três PIs existentes na mesma coordenada *x,y*. Para tanto foi necessário transformar os projetos do formato vetorial para o formato matricial, onde cada pixel passou a conter o PESO definido por sua matriz.

O resultado deste cruzamento é o projeto de Vulnerabilidade Ambiental, fruto da análise integrada do ambiente, abordando a região como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam entre si e com outros sistemas.

A estruturação da hierarquia conduz a definição da influência mútua entre os eles. No topo da hierarquia está a objetivo, definir a vulnerabilidade ambiental. No segundo nível estão os atributos que irão determinar as classes de vulnerabilidade, compostos pelos PIs solos, geomorfologia/declividade, geologia e uso e cobertura vegetal. No último nível estão as feições já mapeadas em cada um dos projetos que compõem o segundo nível (FIGURA 05).

A importância relativa entre os elementos que compõem os níveis desta hierarquia foi definida a parti da relação entre as evidências, sendo esta relação utilizada como *input* de uma matriz de comparação pareada, que definiu os pesos relativos dos elementos de decisão. A técnica *AHP* baseia-se numa matriz quadrada de $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna.

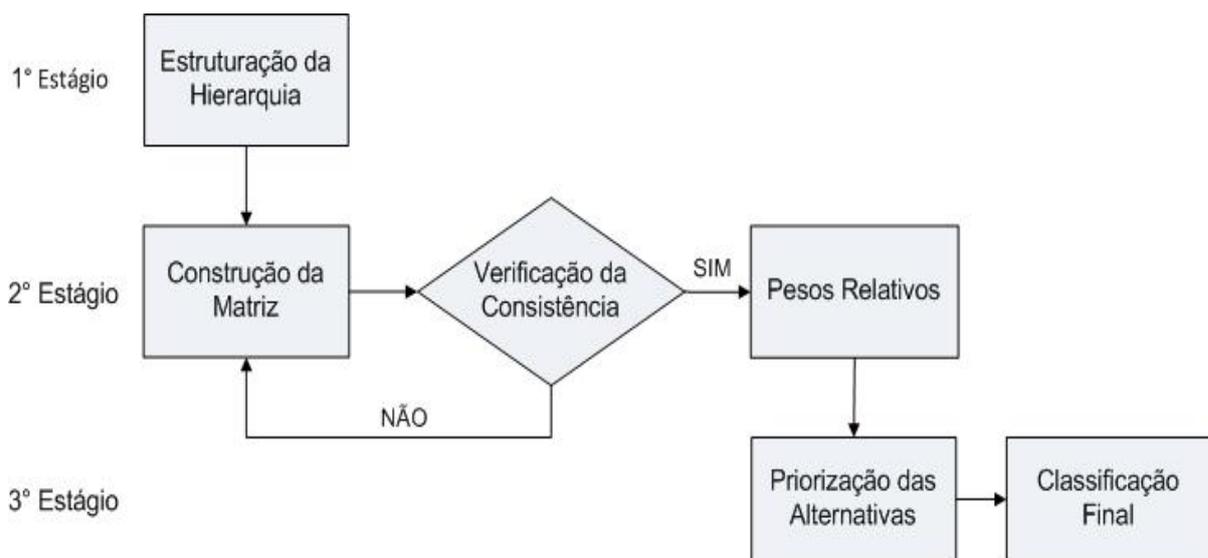


Figura 05: Estágios do Processo AHP

Os valores de entrada nas matrizes foram obtidos com base na comparação em pares dos fatores que influenciam na vulnerabilidade ambiental da área. A partir desta comparação se estabeleceu o critério de importância relativa entre os fatores, conforme uma escala pré-definida de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro. A opção para ponderação a partir da técnica AHP encontra-se disponível no software SPRING, sendo gerado um arquivo que pode ser importado direto para o LEGAL já com os pesos com base na seguinte fórmula:

$$VNE = (p1 * G + p2 * R + p3 * S + p4 * Vg) \quad \text{Onde: } p = \text{peso AHP}$$

G = PI Geologia R = PI Geomorfologia S = PI Solos Vg = Uso e cobertura

No Quadro 01 abaixo, as NOTAS e PESOS obtidos, representando o grau de influência exercido por cada fator para determinação da vulnerabilidade, tanto os calculados com base no método proposto por (CREPANI, 2001), como os calculados com base no método da AHP, tendo uma razão de consistência de CR 0,081.

Plano de Informação	Classes	Valoraçã o Crepani	Peso Método AHP
Pedologia	AM	3,0	0.287
	AQ1	3,0	
	AQ2	3,0	
	AT	3,0	
	AUB	3,0	
	G1	3,0	
	PV1	2,0	
	PV2	2,0	
	PVcf	2,0	
	SM	2,5	
Geomorfologia	Costa Emersa	1,0	0.078
	Lamina D'água	-	
	Praia Vasosa	1,3	
	SuperfConstruc.Eolic a	1,8 1,9	
	Superficie Dissecada	1,6	
	Superficie Subtabular	1,6	
	Superficie Tabular	1,3	
	Vasas		
	Apicum	3,0	
Vegetação	Area_Tomb	1,0	0.535
	Area_Urb	3,0	
	Capoeira	2,0	
	Cord_Arenoso	2,5	
	FlorTrop_Subper	1,2	
	Flor_Perenif	1,2	
	Manguezal	1,7	
Restinga			

Geologia			
Enb	-	Formação	2,0
Barreiras			3,0
ha	-	Dep. Aluvionares	
e Coluvionares			2,5
Qhe	-	Depósitos	3,0
Eólicos		Litorâneos	0.169
QHm	-	Dep. de	3,0
Pântanos		e Mangues	
QHml	-	Dep.	
Marinhos		Litorâneos	

Quadro 01. Resultado das Matrizes de Comparação Pareada

A utilização dos dois métodos geraram as cartas de vulnerabilidade com base nos PI's citados anteriormente que foram analisados através da comparação com base nas categorias estável, moderadamente estável, moderadamente estável e vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável.

Considerando o potencial ambiental, as limitações de uso dos recursos naturais, e com informações obtidas com a análise dos dados contidos no projeto Ilha, tais como: Geologia, Geomorfologia, Solos e Uso e Cobertura do Solo, através do método AHP analisaram-se os principais resultados obtidos, para determinar a vulnerabilidade ambiental da área em estudo, estes valores foram divididos em quatro classes distintas de vulnerabilidade, conforme os intervalos ilustrados abaixo (TABELA 01).

A partir destes dados (através da conversão dos dados do formato matricial para o vetorial) foi possível calcular a área em km² de cada uma das classes, bem como construir o layout final do mapa de vulnerabilidade ambiental da área em estudo. Assim foram obtidos dois mapas de vulnerabilidade, um gerado a partir dos valores e da utilização do LEGAL pela metodologia Crepani (2001) (FIGURA 06), e outro com base nos pesos gerados pela metodologia AHP, (FIGURA 07).

Tabela 01: Intervalos das Classes de Vulnerabilidade e áreas calculadas

Classes	Intervalo Crepani et al.	Crepani et al (2001) km ²	AHP km ²
Estável	1,00 – 1,35	7,71	5,5
Moderadamente Estável	1,35 – 1,75	209,5	181,7
Moderadamente Estável/Vulnerável	1,75 – 2,25	617,97	597,19
Moderadamente Vulnerável	2,25 – 2,65	74,19	124,97

O estudo e mapeamento da Ilha do Maranhão, expõe os efeitos ambientais do uso e ocupação da terra, coloca em discussão a vulnerabilidade ambiental da área estudada, podendo auxiliar em sua gestão através de ações que visam o desenvolvimento sustentável dos elementos que compõem o cenário ambiental desta região.

Os mapas de vulnerabilidade expõem uma concentração maior destas áreas no centro e no norte da área de estudo, nessas áreas prevalece à área de tabuleiros costeiros, sendo que na região central se encontram as áreas mais elevadas. Já na região norte se destaca a vertente oriental com declividades superiores a 45°, nessa área são comuns áreas recém desmatadas por se tratar de uma área de expansão da cidade, com novos loteamentos. A área nordeste da Ilha, através da análise do mapa apresenta um forte desequilíbrio ambiental causado pelo desmatamento indiscriminado e por práticas inadequadas de ocupação das áreas de preservação ambiental. As áreas mais degradadas estão localizadas na área de divisa do município de São Luís e Raposa.

Nas proximidades da praia do Araçagy a ocupação de áreas próxima a encostas é a atividade de maior impacto, destruindo a mata ciliar causando assoreamento e provocando o surgimento de áreas de voçorocamento. A declividade, sendo um indicador de vulnerabilidade, destaca-se de modo a 70% da área ser classificada como sendo de vulnerabilidade moderada, denotando a forte dissecação do relevo desta

região, de modo que, quanto mais desprotegido o solo mais vulnerável aos efeitos erosivos.

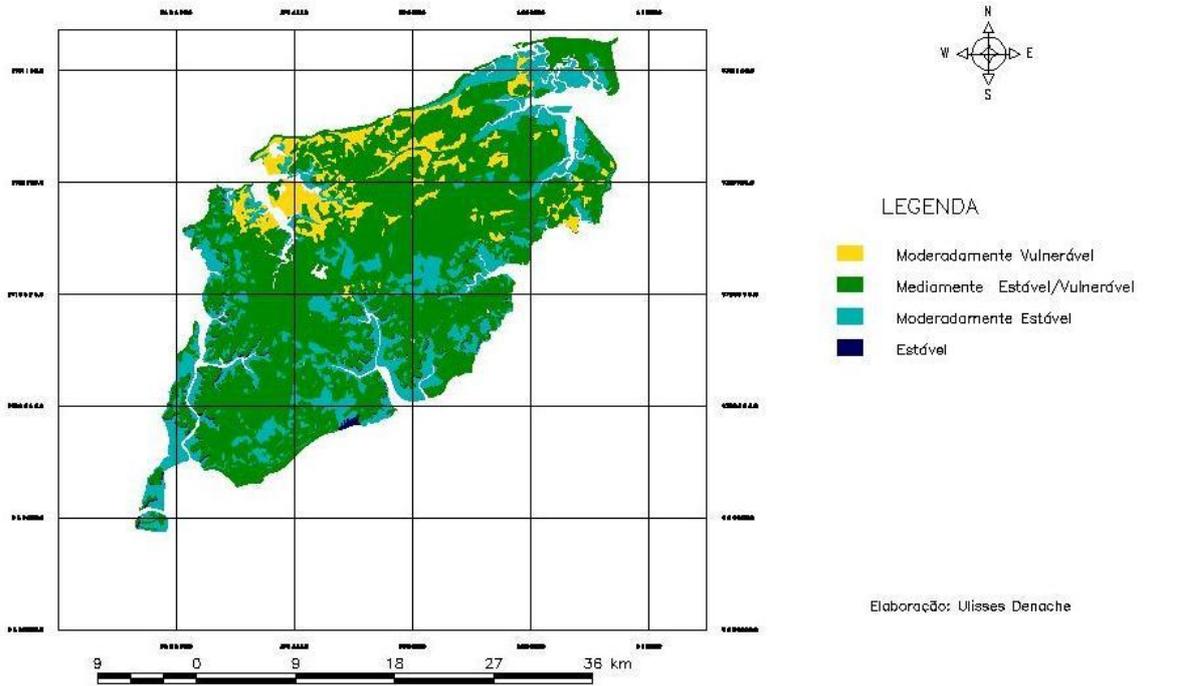


Figura 06: Mapa de Vulnerabilidade, método CREPANI (2001).

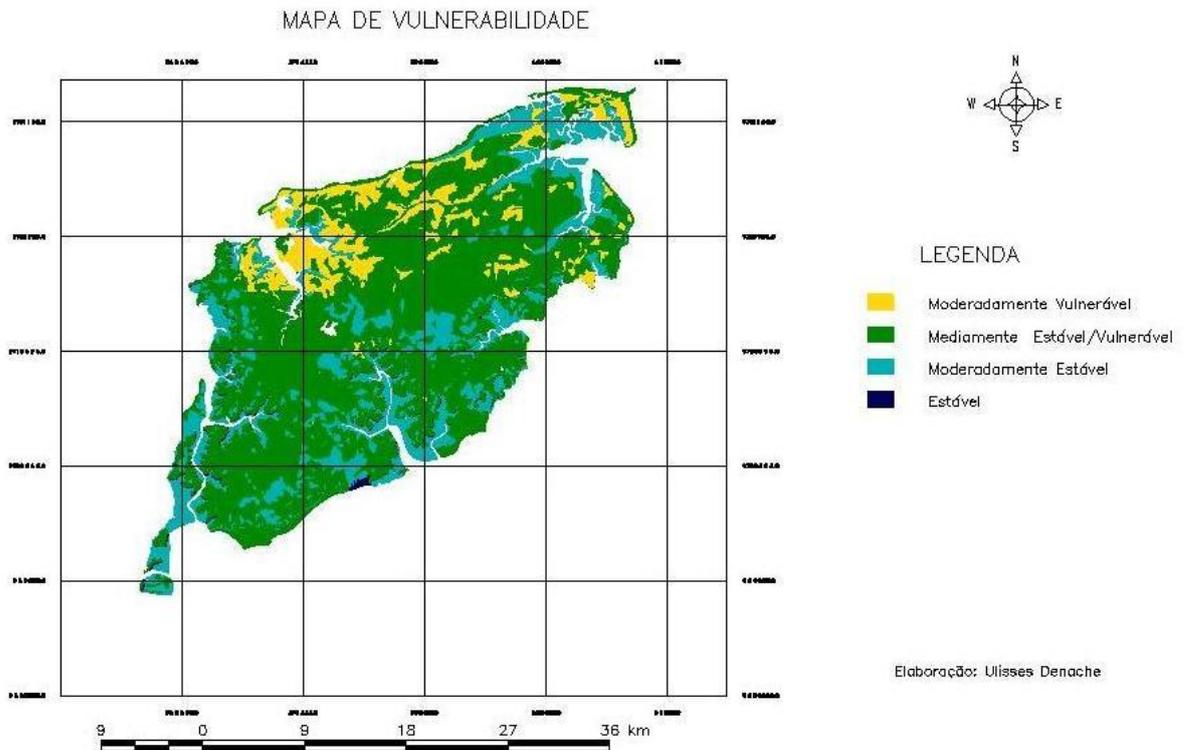


Figura 07: Mapa de Vulnerabilidade, método AHP.

Ao se comparar as áreas classificadas como moderadamente vulnerável pelos dois métodos, percebe-se que o método da AHP possui uma abrangência maior dessas áreas por ser construído a partir da comparação pareada definida pelo conhecimento do Analista.

Na Figura 08 pode se analisar que as mesmas áreas classificadas como vulneráveis pelos dois métodos são áreas com intenso processo de ocupação conforme as classificações de uso e ocupação do solo, tal fenômeno se iniciou por volta da década de 1980, tendo um forte impulso na década de 1990. Áreas de floresta secundária também estão entre as mais vulneráveis por já ter sofrido um processo de alteração no seu equilíbrio. Na figura 09 se pode perceber como essas áreas ficam após serem degradadas.

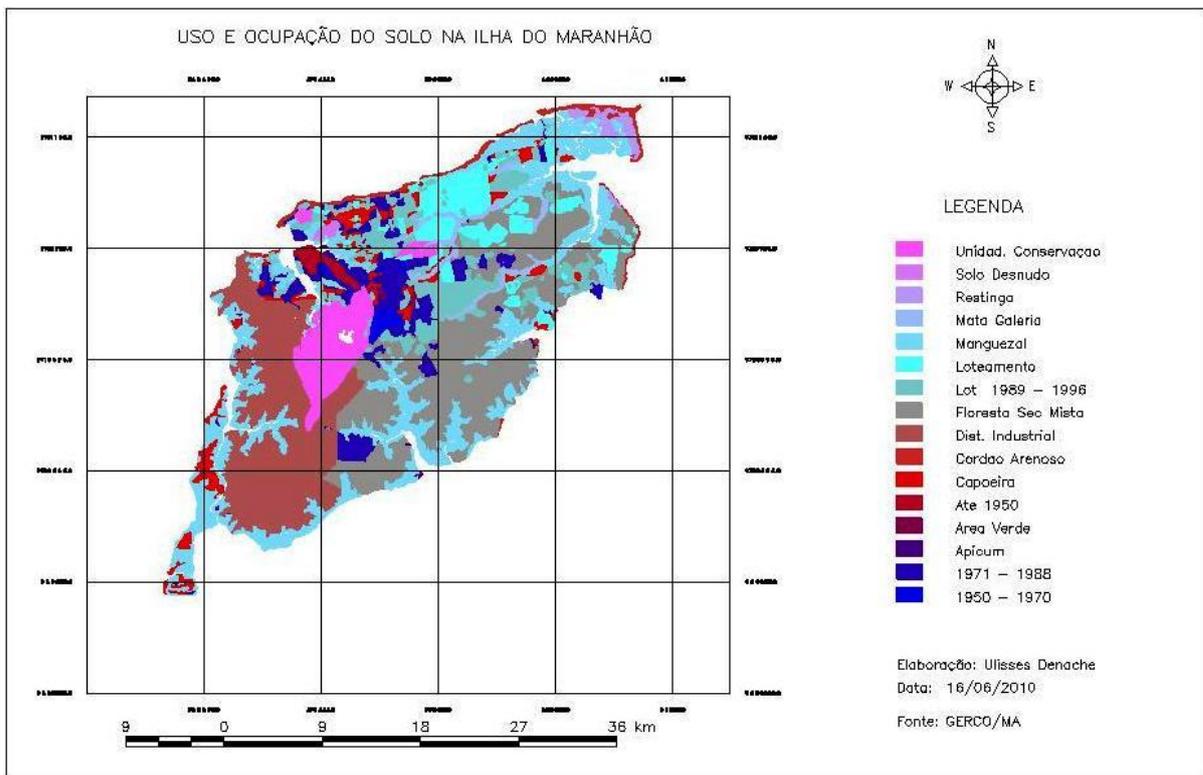


Figura 09: Mapa de Uso e Ocupação do Solo.



Figura 09: Área da Salina Sacavém (Voçorocamento)

Fonte: Projeto BORASSUS.

4. Conclusões

A utilização do método AHP na obtenção da vulnerabilidade natural a perda de solo mostra-se adequada, apresentando vantagens, como a hierarquização dos principais fatores que ocasionam tal processo, podendo ser útil na adequação dos conhecimentos do analista sobre a área em estudo.

Sendo assim uma possibilidade de atribuir uma menor subjetividade na determinação de pesos relativos e a possibilidade de analisar o grau de coerência adotado pelo usuário, a partir da razão de consistência obtida. A aplicação do método AHP promoveu a classificação de maior percentual da área em maiores níveis de vulnerabilidade quando comparado ao método original de Crepani.

A Ilha do Maranhão apresenta predominância da classe moderadamente estável vulnerável, no entanto, a região norte/nordeste é a mais vulnerável, com predominância da classe moderadamente vulnerável, tal fato segundo análise pode ser explicada pela fragilidade do solo da região, aliado a características de uso e ocupação do solo na área.

Referências bibliográficas

- ANDERSEN, L.J. e GOSK, J. *Applicability of vulnerability maps. TNO Committee for Hydrological Research: Proceedings and Information. The Netherlands.* 1987, v 38, p. 321-332.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 124 p., 2001.
- FEITOSA, Antonio Cordeiro. **Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão.** Rio Claro: IOGCE/UNESP, 1989. Dissertação de mestrado.
- NOVAES, Roberta Costa. **Análise da Sensibilidade Ambiental da Parte Ocidental da Ilha do Maranhão.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4089-4096.
- PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resources Management**, v. 21, p. 729-746, 2007
- PEREIRA, Ediléia Dutra. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batata – São Luís (MA).** 2006. 144f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro.
- SAATY, Thomas L.. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p
- SANTOS, Rozely Ferreira dos. –(org).– **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília: MMA, 2007.
- SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 812-820, 2007.
- SOUZA, U. FEITOSA, A. C. **Ocupação e Uso da Zona Costeira do Estado do Maranhão.** Anais XII Encontro de Geógrafos da América Latina, Montívideo, Uruguai, 12-15 de Abril de 2009, p. 342- 358.

Analyse the vulnerability in the Maranhão Ilha, Brazil, using gis techniques and geospatial inference.
Ulisses Denache Vieira Souza, Dr. Hermann Johann Heinrich Kux.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE-SUPREM.1977.91p.

PROGRAMAS LEGAL

```
//Inicio do programa
{ //Declaracao de variaveis
Tematico declividadeponder ("Vegetacao");
Numerico declividadeponderP ("Vegetacao-pond");
Tabela declividadeponderT (Ponderacao);
//Instanciacao
declividadeponder = Recupere (Nome= "VegetacaoIlha");
declividadeponderP = Novo (Nome="Vegetacao1", ResX=30,
ResY=30,Escala=250000, Min=0, Max=255);
declividadeponderT = Novo (CategoriaIni="Vegetacao",
"Apicum" : 3,
"Area_Tomb" : 1,
"Area_Urb" : 3,
"Capoeira" : 2,
"Cord_Arenoso" : 2.5,
"FlorTrop_Subper" : 1.2,
"Flor_Perenif" : 1.2,
"Manguezal" : 1.7,
"Restinga" : 2.5);
//Operacao
declividadeponderP = Pondere (declividadeponder, declividadeponderT);}
//Fim//Fim
```

```
//Inicio do programa
{ //Declaracao de variaveis
Tematico declividadeponder ("Geomorfologia");
Numerico declividadeponderP ("Geomorfologia-pond");
Tabela declividadeponderT (Ponderacao);
//Instanciacao
declividadeponder = Recupere (Nome= "GeomorfologiaIlha");
declividadeponderP = Novo (Nome="Geomorfologia1", ResX=30,
ResY=30,Escala=250000, Min=0, Max=255);
declividadeponderT = Novo (CategoriaIni="Geomorfologia",
```

```
-----  
"Costa Emersa" : 1,  
"Lamina D'Agua" : 0,  
"Praia Vasosa" : 1.3,  
"Superf Construc. Eolica" : 1.8,  
"Superficie Dissecada" : 1.9,  
"Superficie Subtabular" : 1.6,  
"Superficie Tabular" : 1.6,  
"Vasas" : 1.3);  
//Operacao  
declividadeponderP = Pondere (declividadeponder, declividadeponderT);  
}  
//Fim  
  
//Inicio do programa  
{  
//Declaracao de variaveis  
Tematico declividadeponder ("Solos");  
Numerico declividadeponderP ("Solos-pond");  
Tabela declividadeponderT (Ponderacao);  
//Instanciacao  
declividadeponder = Recupere (Nome= "SolosIlha");  
declividadeponderP = Novo (Nome="Solos1", ResX=30, ResY=30, Escala=250000,  
Min=0, Max=255);  
declividadeponderT = Novo (CategoriaIni="Solos",  
"AM" : 3,  
"AQ1" : 3,  
"AQ2" : 3,  
"AT" : 3,  
"AUB" : 3,  
"G1" : 3,  
"PV1" : 2,  
"PV2" : 2,  
"PVcf" : 2,  
"SM" : 2.5);  
//Operacao  
declividadeponderP = Pondere (declividadeponder, declividadeponderT);}
```

//Fim

AHP

```
{// Pesos a ser aplicados
// Geomorfologia-pond = 0.078
// Solos-pond = 0.287
// Vegetacao-pond = 0.537
    Pedologia-pond = 0.169
// Razao de consistência
// CR = 0.081
// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>
// Definicao dos dados de entrada
Numerico var1 ("Geomorfologia-pond");
Numerico var2 ("Solos-pond");
Numerico var3 ("Vegetacao-pond")
Numerico var4 ("Pedologia-pond");
// Definicao do dado de saida
Numerico var5("AHP");
// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="Geomorfologia-pond");
var2 = Recupere (Nome="Solos-pond");
var3 = Recupere (Nome="Vegetacao-pond")
Var4 = Recupere (Nome="Pedologia-pond");
// Criacao do dado de saida
var5 = Novo (Nome="ahp", ResX=30, ResY=30, Escala=250000,
Min=0, Max=255);
// Geracao da media ponderada
var5 = 0.537*var1 + 0.287*var2+ 0.078*var3+ 0.169*var3 ;
```