

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N° 64/1: 1-14
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

EMPREGO DAS TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA / CE

*Employment Geoinformation Technology in Determining Natural and
Environmental Vulnerability of the City of Fortaleza / CE*

João Luís Sampaio Olímpio & Maria Elisa Zanella

Universidade Federal do Ceará – UFC

Departamento de Geografia

Centro de Ciências, Pici, CEP: 60455-760 – Fortaleza, CE.

joao.luis_ce@hotmail.com

elisazv@terra.com.br

Recebido em 18 Maio, 2009/ Aceito em 19 Fevereiro, 2010

Received on May 18, 2009/ accepted on February 19, 2010

RESUMO

As cidades litorâneas concentram a maior parte da população mundial. Contudo, em alguns casos, a ocupação do espaço geográfico destes territórios não foi planejada ambientalmente, de tal forma, que as limitações impostas pelos sistemas ambientais não foram plenamente consideradas. O município de Fortaleza insere-se neste quadro, pois no decorrer do processo de formação e ocupação do seu território a cidade não foi pensada para garantir a qualidade ambiental de todos os indivíduos, bem como para evitar as situações de riscos ambientais futuros. O referencial teórico empregado foi a análise ecodinâmica, fundamentada sobre os conceitos de estabilidade/instabilidade ambiental. A metodologia consistiu na utilização dos Sistemas de Informação Geográfica para elaboração e integração dos mapas de geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e uso e ocupação do espaço, a fim de se obter a vulnerabilidade natural e ambiental. Este trabalho se propõe analisar, numa perspectiva integrada, a vulnerabilidade natural e ambiental do município de Fortaleza, indicando as áreas mais vulneráveis às intervenções antropogênicas e as potencialidades dos sistemas ambientais, visando auxiliar as atividades de planejamento urbano-ambiental.

Palavras-Chaves: Vulnerabilidade Natural, Vulnerabilidade Ambiental, SIG, Fortaleza.

ABSTRACT

The coastal cities concentrate most of the world population. However, in some cases, the occupation of the geographic space of these territories was not environmentally planned, so that the constraints imposed by environmental systems were not fully considered. The city of Fortaleza is part of this situation arises because in the process of formation and occupation of their territory the city was not designed to ensure the environmental quality of all individuals as well as the avoidance of future environmental risks. The theoretical analysis was employed ecodynamics, based on the concepts of stability / instability environmental. The methodology consisted in the use of Geographic Information Systems for development and integration of maps on geology, geomorphology, pedology, vegetation cover and use and occupancy of space in order to obtain the vulnerability to natural and environmental. This study proposes to examine in an integrated approach, the natural and environmental vulnerability of the city of Fortaleza, indicating the areas most

vulnerable to anthropogenic interventions and the potential of environmental systems, to assist the activities of urban-environmental planning.

Key Words: Natural Vulnerability, Environmental Vulnerability, GIS, Fortaleza

1. INTRODUÇÃO

Entre as características que marcam a história do homem na Terra destaca-se a ocupação dos espaços naturais, como meio de aquisição de recursos ambientais que garantiriam a sua própria subsistência, bem como o desenvolvimento dos grupos sociais e dos territórios os quais participavam. Assim, os espaços que proporcionam boas condições ambientais, como a existência de alimentos, solos férteis, água, fontes de energia, além de proteção estratégica, foram ocupados por grupos humanos, muitas vezes gerando conflitos entre as diferentes sociedades pela posse do território (SOUZA & ZANELLA, 2009).

Contudo, a ocupação destes espaços, em alguns casos, não respeitou as limitações impostas pelos sistemas ambientais, por vezes, expondo estes indivíduos às situações de risco. Além disso, as próprias sociedades ampliaram ou mesmo criaram as vulnerabilidades ambientais do meio, a partir da exploração exacerbada, não planejada ou mesmo inconsciente dos recursos naturais e por meio das formas incorretas de ocupação do espaço geográfico.

Em 1972, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, inicia-se a compreensão que a humanidade participa ativamente dos processos naturais, afetando, direta e indiretamente, sua dinâmica, independente do nível tecnológico e das características culturais das sociedades (ROSS, 2009). Tal situação refletiu em abordagens que visam o entendimento das inter-relações de dependência e funcionalidade entre sociedade e natureza, resultando em estudos ambientais integrados e em políticas nacionais e internacionais que rezam a proteção do meio ambiente (MENDONÇA, 2005), notadamente através da realização de estudos ambientais que objetivam analisar os impactos sobre o meio natural, artificial e cultural causados por intervenções humanas (COSTA et al, 2006). Reconhece-se que a sociedade é sujeito, elemento e parte fundamental da problemática ambiental contemporânea (MENDONÇA, 2002).

Ross (2009) enfatiza que as intervenções humanas sejam planejadas, objetivando o

ordenamento territorial, pautado sobre a valorização da preservação, conservação e recuperação ambiental, tomando como premissas as potencialidades dos recursos naturais e humanos, bem como as vulnerabilidades dos ambientes naturais e antropogênicos.

Para Souza (2000) o conhecimento sobre os sistemas ambientais compõem a base para a planificação do desenvolvimento, com intuito de criar melhores condições para o bem-estar da população. Assim, é necessária a compatibilidade entre políticas de desenvolvimento econômico, equidade social e proteção do meio ambiente, a fim de que se possa realizar um desenvolvimento pautado na sustentabilidade.

Salienta-se que na perspectiva das sociedades modernas todas as ações que visam à gestão e o planejamento do território devem considerar as análises dos diferentes componentes da paisagem, incluindo os aspectos físicos, bióticos e humanos, além dos seus inter-relacionamentos, com vistas à normatização da ocupação e do uso do espaço (CÂMARA & MEDEIROS, 2004).

O emprego da tecnologia da geoinformação ganha destaque ao proporcionar a análise ambiental e territorial dos fenômenos espaciais, sobressaindo-se o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta matemática-computacional de elaboração, representação e análise das informações espaciais georreferenciadas associadas a um sistema de gerenciamentos de banco de dados (CÂMARA & MONTEIRO, 2004), permitindo a análise da espacialização e organização dos sistemas ambientais e de suas vulnerabilidades sobre o espaço geográfico em questão, além da realização de prognósticos da situação futura, de modo a auxiliar a tomada de decisão.

Dias et al (2010) expõem que as análises ambientais apoiadas sobre o uso de Sistemas de Informação Geográfica permitem a elaboração de recomendações que visam mitigar ou impedir a problemática ambiental, notadamente a proliferação da ocupação humana sobre ambientes instáveis, indicando áreas potenciais para os diversos usos e reduzindo a exposição de indivíduos e bens aos riscos naturais.

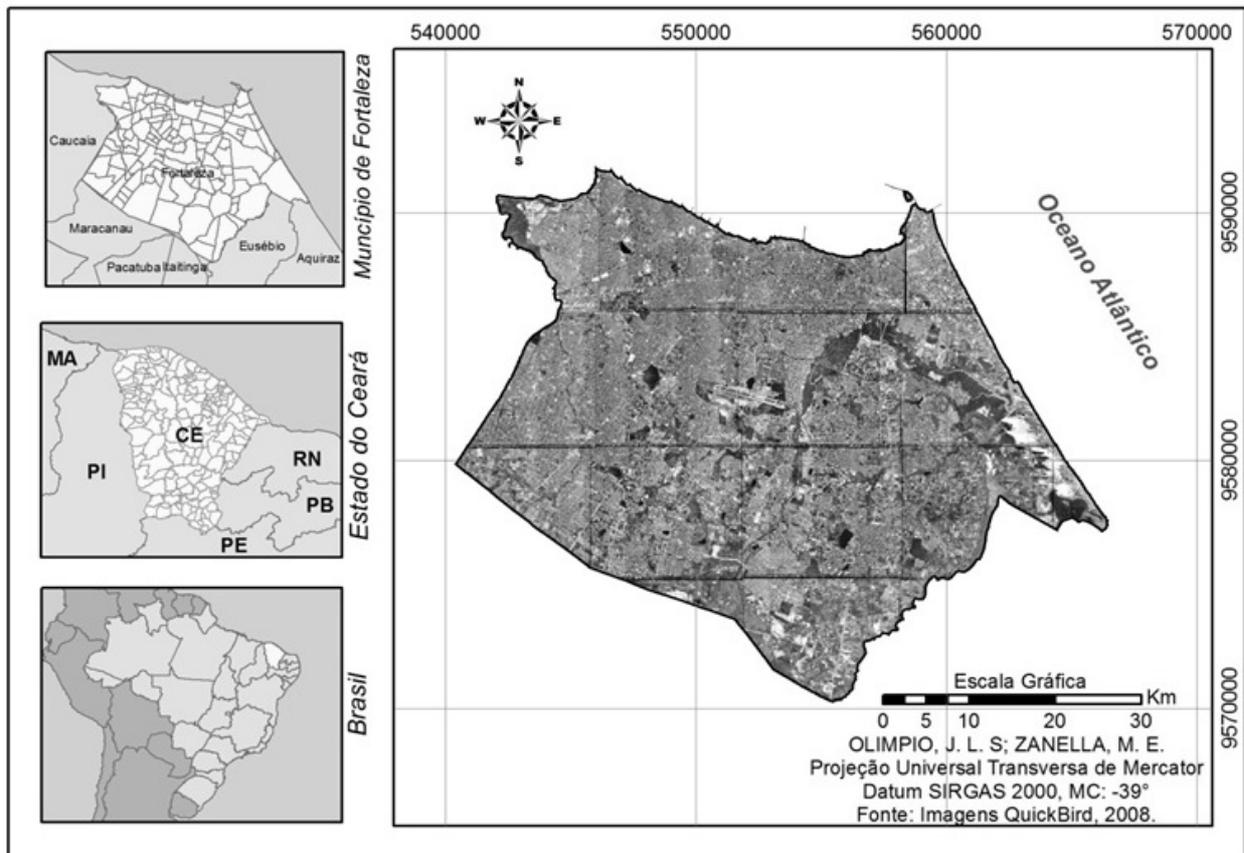


Fig. 1 – Mapa de Localização do Município de Fortaleza / CE. Fonte: Autores.

Para Grigio (2003) um mapa de vulnerabilidade possibilita a identificação das áreas que podem apresentar possíveis impactos ambientais, sendo uma ferramenta essencial ao planejamento ambiental e ao ordenamento territorial, pois possibilita a elaboração de sugestões que visam o melhor aproveitamento das potencialidades de cada sistema ambiental, por meio da conjunção entre a análise das vulnerabilidades e da previsão dos impactos causados por determinadas intervenções antropogênicas.

Neste sentido, as áreas urbanas costeiras tomam destaque ao sofrer intensamente as pressões sobre a ocupação dos sistemas ambientais e sobre a exploração dos recursos naturais, afetando diretamente os fluxos de matéria e energia do meio. Assim, apresenta-se a necessidade de organizar o espaço construído de forma coerente (HÉTU, 2003).

Nestes termos, o município de Fortaleza apresenta problemática semelhante. Situada na porção centro-norte do Estado do Ceará, Fortaleza ocupa uma área de 314 Km² (Figura 1). É o quinto município mais populoso do Brasil, com 2.447.409 habitantes (IBGE, 2011), o que representa 28,97% da população total do estado. É um território

totalmente urbanizado, contudo somente adquire relevância no Nordeste brasileiro a partir da segunda metade do século XIX, devido à vinda de migrantes e pela articulação urbana cearense que permitiram a supremacia da capital diante dos demais núcleos urbanos do estado.

O rápido crescimento espacial e populacional não possibilitou que a ocupação do território fosse ordenada, gerando diversos problemas socioambientais existentes na atualidade. Partes destes problemas urbanos decorrem da ocupação de áreas de elevada dinamicidade ambiental por populações de alta vulnerabilidade social (escassez de recursos humanos, sejam eles tecnológicos, financeiros, educacionais, sanitários, profissionais, entre outros.), gerando áreas de risco ambiental na cidade (ROSA & COSTA, 2009). Todavia, a população que se instalou nestes espaços, devido às condições sociais, não tem meios financeiros para enfrentar positivamente as adversidades ambientais, ampliando os problemas socioambientais da cidade (ZANELLA et al, 2009).

Nestes termos, urge medidas que visem o ordenamento territorial do município de Fortaleza. Para tal realização é necessária a análise e a aplicação de medidas que minimizem os diversos

problemas socioambientais. Entres estas cita-se a definição das potencialidades e limitações de cada sistema ambiental do município às intervenções humanas.

Este trabalho visa identificar as áreas de maior vulnerabilidade natural e ambiental da cidade de Fortaleza, por meio da análise integrada das unidades ecodinâmicas e do emprego dos Sistemas de Informação Geográfica. Assim, as informações produzidas são uma importante fonte de dados para o ordenamento territorial urbano de Fortaleza, pautado sobre as premissas do desenvolvimento sustentável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como referencial teórico optou-se pelo emprego da análise Ecodinâmica, proposta por Tricart (1977), estando fundamentada sobre o conceito de estabilidade/instabilidade ambiental. Assim, são definidas as unidades ecodinâmicas por meio da análise dos processos de pedogênese e morfogênese. Para o autor, as unidades ecodinâmicas correspondem a um espaço territorial natural, funcionando como um sistema e deste modo, mantendo relações mútuas entre os diversos componentes em um fluxo de energia e matéria que o distingue.

Para Tricart e Kiewietdejonge (1992) citado por Ross (2009) a análise morfodinâmica é essencial para a compreensão do comportamento do ambiente, visando o uso racional dos recursos naturais e a avaliação da suscetibilidade aos riscos ambientais, diante das intervenções antropogênicas e da degradação ambiental. Assim, a análise ecodinâmica é uma das bases para a organização territorial, prevendo como determinadas ações humanas se inserem sobre um determinado sistema ambiental, marcado por uma dinamicidade própria, e por consequência com uma resposta específica para esta ação. Deste modo, esta abordagem visa que as intervenções humanas sobre os sistemas ambientais naturais sejam ambientalmente planejadas, com intuito de otimizar o uso dos recursos naturais, e não apenas adotar uma postura exacerbadamente preservacionista, restringindo os processos socioeconômicos das sociedades modernas.

Entende-se por vulnerabilidade natural o maior ou menor estágio de estabilidade/instabilidade dos elementos físicos e bióticos, frente à intensidade, dinâmica e magnitude da ação dos processos morfogenéticos, pedogenéticos e de fitossucessão,

atuantes em cada unidade ecodinâmica. (TRICART, 1977; GRIGIO, 2003).

A vulnerabilidade ambiental indica o grau de suscetibilidade às situações de riscos naturais e de degradação ambiental, a partir da análise da dinâmica natural dos sistemas ambientais e por meio do uso e exploração dos recursos naturais, com intuito de prever como uma determinada intervenção antropogênica refletirá sobre os fluxos de matéria e energia no meio.

Tagliani (2002) considera que vulnerabilidade ambiental é a susceptibilidade do ambiente a um impacto provocado por um uso antrópico. Santos e Caldeyro (2007) afirmam que a vulnerabilidade corresponde à resposta do meio às ações humanas, variando conforme suas características naturais e antropogênicas, afetando diretamente a estabilidade do meio, bem como sua qualidade ambiental.

A metodologia utilizada para a confecção dos mapas de vulnerabilidade natural e ambiental da cidade de Fortaleza consistiu na integração dos índices de vulnerabilidade de cada atributo dos meios físico, biótico e das formas de uso e ocupação do espaço geográfico, de tal forma, que todos os elementos constituintes da paisagem foram considerados. Deste modo, foram gerados os mapas de geologia, geomorfologia, pedologia e cobertura vegetal para a construção do mapa de vulnerabilidade natural, e posteriormente cruzou-se este mapa com o mapa de uso e ocupação do espaço, obtendo-se o mapa de vulnerabilidade ambiental (Figura 2). Ressalta-se que a realidade ambiental foi analisada sobre a estrutura de planos de informação, onde ocorre um conjunto de camadas contendo informações ambientais georreferenciadas (mapeamentos), sendo que cada uma possui uma representação digital da distribuição geográfica de uma variável componente da paisagem (XAVIER-DA-SILVA, 2007).

A definição dos valores do grau de vulnerabilidade de cada atributo foi adaptada da metodologia empregada por Costa et al (2006) e Grigio (2003). Utilizou-se para a determinação do grau de vulnerabilidade de cada atributo a relação de predomínio entre os processos erosivos e pedogenéticos. Assim, em cada classe o grau de vulnerabilidade foi distribuído em uma escala de 1 a 3, com intervalos de 0,5. Nos ambientes onde há o predomínio da pedogênese, apresentando vulnerabilidade muito baixa, atribuiu-se o valor 1.



Fig. 2 – Roteiro para elaboração dos Mapas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental. Fonte: adaptado de Costa et al (2006).

Com o aumento da influência dos processos erosivos, o grau de vulnerabilidade aumenta até atingir o valor máximo, ou seja, 3, representando ambientes de vulnerabilidade muito alta. A tabela 1 apresenta o índice de vulnerabilidade de cada atributo ambiental.

Deste modo, foram formadas cinco classes de vulnerabilidade, definidas pelo método estatístico *Natural Breaks (Jenks)*. A tabela 2 representa as classes de vulnerabilidades natural e ambiental formadas pelos cruzamentos dos diversos atributos analisados.

Para a confecção dos mapas foi empregado o *software* ArcGis 9.3. Este programa apresenta uma plataforma SIG, possibilitando a manipulação de feições espaciais georreferenciadas associadas a um banco de dados com informações analíticas, além de permitir o cruzamento entre os mapas produzidos.

Para a efetivação do mapeamento foram empregadas as imagens do sensor *Quick Bird*, datadas de 2008. Utilizou-se o senso MS (multiespectral), apresentando resolução espectral de 450 nm a 690 nm e resolução espacial de 2,44 a 2,88 metros. Também foram utilizadas bases cartográficas georreferenciadas disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Fortaleza.

3. TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO & ANÁLISE AMBIENTAL

A aquisição, o registro e o armazenamento das informações ambientais sempre fizeram parte das atividades desempenhadas pelas sociedades humanas. Mesmo aquelas menos desenvolvidas tecnicamente possuíam formas de registrar a

Tabela 1. Índices de vulnerabilidade dos elementos ambientais.

Elementos Ambientais	Índices de Vulnerabilidade
Geologia	
Depósito Eólico Litorâneo	3
Depósito Eólico Litorâneo (Dunas)	3
Sedimentos Aluviais	3
Sedimentos Flúvio-Marinhas	3
Sedimentos Lacustres	3
Formação Barreiras	1
Formação Messejana	2
Complexo Ceará – unidade Canindé	1
Geomorfologia	
Tabuleiros Pré-Litorâneos	1
Transição Tabuleiro Pré-Litorâneo/ Depressão Sertaneja	1,5
Cristas e Morros Residuais	2
Dunas Fixas	2
Área de Inundação Sazonal	2,5
Planície Flúvio-Marinha com Mangue	3
Planície Fluvial	3
Planície Lacustre	3
Dunas Móveis	3
Terraços Marinhos	3
Faixa de Praia	3
Pedologia	
Gleissolos	3
Neossolos Flúvicos	2,5
Neossolos Quartzarênicos	2,5
Planossolos	2,5
Neossolos Regolíticos	2
Argissolos Vermelho-Amarelos	1
Cobertura Vegetal	
Sem Cobertura Vegetal	3
Sem Cobertura Vegetal (Dunas Móveis)	3
Vegetação de Mangue	2,5
Vegetação Ribeirinha/Lacustre	1,5
Vegetação Subperenifólia de Tabuleiro	1
Uso e Ocupação do Espaço	
(qualidade da infraestrutura urbana)	
Áreas com Infraestrutura Precária	3
Áreas com Infraestrutura Mediana	2
Áreas com Infraestrutura Consolidada	1

Tabela 2. Classes de vulnerabilidade natural e ambiental.

Classes	Intervalos
Muito Baixa	1,00 - 1,17
Baixa	1,18 - 1,67
Mediana	1,68 - 2,00
Alta	2,01 - 2,50
Muito Alta	2,51 - 3,00

localização dos espaços mais propícios para a obtenção de recursos naturais a serem explorados. Contudo, estas atividades eram marcadas pelas limitações, devido à baixa eficiência das técnicas empregadas naquele período histórico.

Somente após a Segunda Guerra Mundial que as tecnologias da geoinformação evoluem associadas ao desenvolvimento de sistemas mais

robustos de *softwares*, *hardwares*, informática, internet e da engenharia dos satélites, possibilitando a análise de informações espaciais mais complexas, bem como o gerenciamento de uma grande quantidade de dados.

Concomitantemente, iniciam-se os princípios de conservação e preservação do meio ambiente, representados pelo conceito de desenvolvimento sustentável. No mesmo instante, as ciências ambientais encontravam-se em processo de reformulação aderindo às tendências de interdisciplinaridade e do conhecimento holístico do meio. Tal situação refletiu em ações que buscam garantir a qualidade ambiental, principalmente sobre o ordenamento territorial e na avaliação de impactos ambientais.

Entende-se por ciência da geoinformação o campo do conhecimento de caráter interdisciplinar que apresenta um conjunto de técnicas e procedimentos teóricos e metodológicos que visam a representação computacional da realidade espacial (CAMARA et al, 2003). Atualmente estes conhecimentos estão sendo aplicados em diversos fins, merecendo destaque o emprego da tecnologia da geoinformação sobre as análises ambientais.

A utilização destas novas tecnologias permite a análise sistemática das propriedades e relações espaciais estabelecidas no ambiente, indicando os seus componentes, suas distribuições locais, os processos reinantes e os eventos presentes e futuros, transformando dados aleatórios em conhecimento espacial de apoio a tomada de decisão (XAVIER-DA-SILVA, 2000).

Destaca-se a modelagem digital do ambiente através de modelos matemático-computacionais que processam um conjunto de dados ambientais, permitindo reproduzir os limites, as partes componentes e os processos existentes de um determinado sistema ambiental (XAVIER-DA-SILVA, 2000).

Na atualidade, a temática ambiental é uma das principais questões discutidas, refletindo em alterações em várias áreas do conhecimento, as quais buscam a compreensão do meio e a solução de problemas ambientais. A cartografia encontra-se entre estes ramos. Martinelli e Pedrotti (2001) elaboram uma Cartografia Ambiental, voltada para a compressão da dinâmica total do meio ambiente, abarcando todos os aspectos naturais formadores da paisagem, assim como, as relações do homem com a natureza. Na cartografia ambiental os mapas

são uma síntese, ou seja, originam-se a partir da fusão das unidades taxonômicas de cada elemento da paisagem (mapas analíticos), objetivando a integração e reconstrução de um todo sistêmico.

Neste sentido, percebe-se, que a abordagem integrada do meio e a realização de uma cartografia ambiental integrativa podem fornecer importantes contribuições ao planejamento e a gestão do espaço, sobretudo das relações estabelecidas entre sociedade e natureza.

Sobre a reprodução computacional dos processos e interações estabelecidas entre os diversos componentes do ambiente erige-se a maior dificuldade do geoprocessamento aplicado a análise ambiental, tendo em vista a complexidade presente na dinâmica dos sistemas ambientais. Assim, tais representações apresentam uma incerteza relativa, devido, teoricamente, à incapacidade de representar todas as situações ambientais possíveis.

Todavia, tais considerações não reduzem a legitimidade e a qualidade da pesquisa ambiental utilizadora do geoprocessamento. Muitos são os trabalhos que vêm atingindo ótimos resultados, principalmente as ações que visam à ordenação territorial, como a geração de produtos cartográficos destinados aos Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Planos Diretores Participativos, Zoneamentos Agroflorestais, Planos de Manejo de Unidade de Conservação, monitoramento e fiscalização ambiental, entre diversos outros, subsidiando à tomada de decisão.

4. SISTEMAS AMBIENTAIS

Os sistemas ambientais relacionam os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitogeográficos e hidroclimatológicos. São representações organizadas na superfície da Terra, apresentando como características principais a espacialidade e a dinâmica evolutiva, resultado das interações e relações de dependências entre os elementos constituintes (CRISTOFOLETTI, 1999).

Assim, o sítio urbano de Fortaleza é compartimentado em onze sistemas ambientais (Figura 3), cuja caracterização é realizada por meio das publicações de Souza et al (2009) e Moura-Fé (2008). A seguir faz-se uma descrição de cada sistema.

Planície Praial – corresponde à faixa sobre influência constante dos movimentos das marés. São terrenos com leve inclinação para o mar, marcados pela erosão eólica e marinha. Constituem-se de

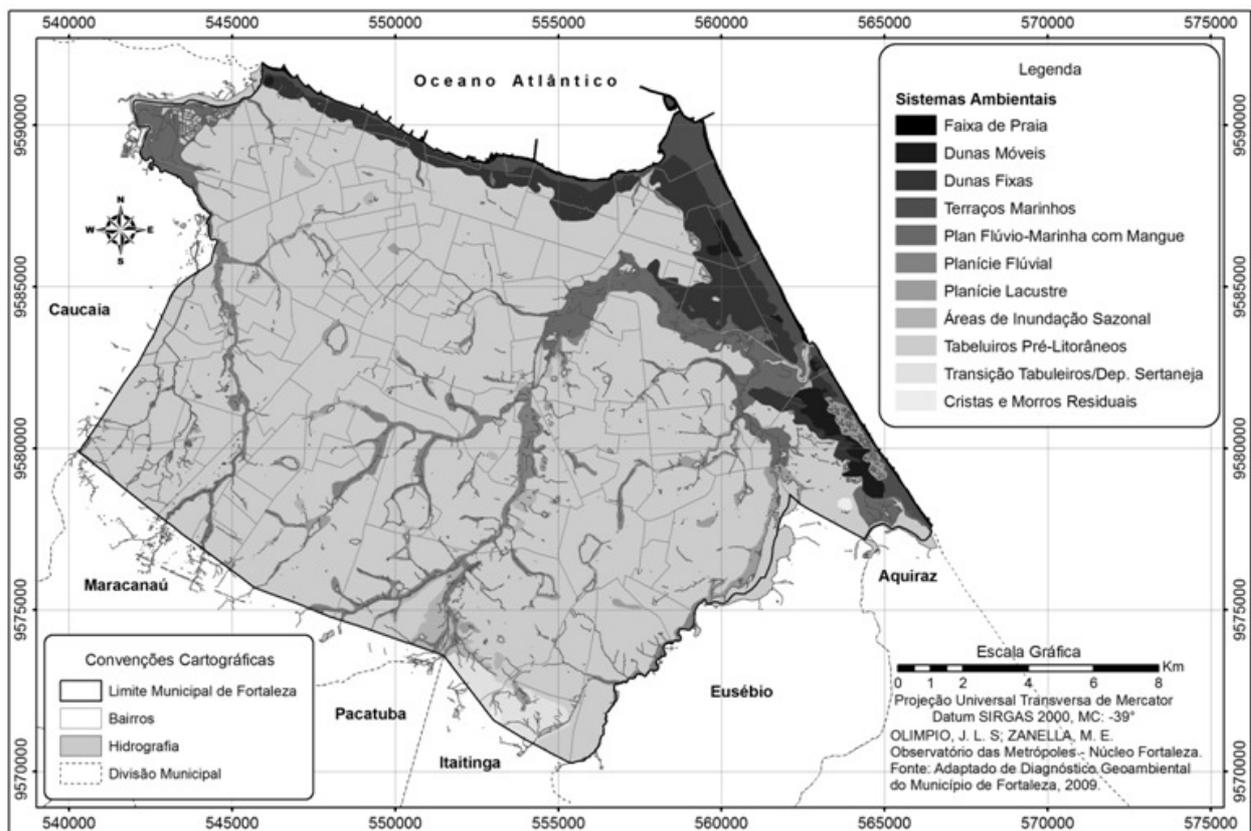


Fig. 3 – Mapa dos Sistemas Ambientais do Município de Fortaleza / CE. Fonte: Adaptado de Souza et al (2009).

depósitos marinhos, caracterizados por apresentar textura arenosa, essencialmente quartzosa, com presença de detritos orgânicos e minerais pesados. Os solos existentes são os Neossolos Quartzarênicos. Não há presença de vegetação, devido aos fatores limitantes do meio.

Terraços Marinheiros – correspondem as feições suave onduladas, situadas entre o campo de dunas e a praia. São formados por litologias eólicas litorâneas e apresentam, essencialmente, Neossolos Quartzarênicos, recobertos pela vegetação pioneira psamófila. São ambientes de elevada vulnerabilidade, decorrente da deflação eólica.

Dunas Móveis – também são constituídas pela mesma litologia dos terraços marinhos, apresentam feições onduladas a muito onduladas. Contêm Neossolos Quartzarênicos sem cobertura vegetal, por vezes, ocorre a vegetação pioneira psamófila, iniciando a fixação da duna. Possui alto potencial hidrogeológico.

Dunas Fixas – são dunas mais antigas, onde a erosão eólica foi reduzida, permitindo o desenvolvimento de Neossolos Quartzarênicos e de uma cobertura vegetal característica, a subperenifolia

de dunas. Esta vegetação é essencial a fitoestabilização do relevo, reduzindo a vulnerabilidade natural, e a manutenção do aquífero dunas.

Planície Flúvio-Marinha – são ambientes de interseção entre oceano e continente, e onde ocorre a atuação conjunta dos processos eólicos, marinhos e fluviais. Caracterizam-se pela influência das marés, elevados teores de salinidade, enxofre e umidade, com sedimentos argilosos, ricos matéria-orgânica, abrigando diversas espécies da fauna. Os solos predominantes são os Gleissolos, recobertos pela vegetação perenifolia paludosa marítima de mangue, com espécies adaptadas às condições limitantes do meio.

Planícies Fluviais – são sistemas formados as margens dos cursos d'água, a partir da deposição fluvial. São compostos por sedimentos aluviais, com diversas litologias, apresentando boas condições para o armazenamento de água subterrânea. Os solos predominantes são os Neossolos Flúvicos e, secundariamente, os Planossolos. Naturalmente, eram recobertos pela mata ciliar, contudo, devido ao histórico processo de ocupação, pouco resta desta vegetação, predominando a ocupação urbana

ou o cultivo de espécies antrópicas. Estão sujeitas a enchentes durante a estação chuvosa.

Planícies Lacustres – são depressões formadas por sedimentos aluviais, mas com ocorrência de maiores teores de matéria-orgânica. Predominam os Neossolos Flúvicos. No aspecto vegetacional apresenta a mesma situação das planícies fluviais.

Áreas de Inundação Sazonal – são feições planas compostas por sedimentos argilosos, que impedem, parcialmente, a infiltração e o escoamento das águas durante o período chuvoso, provocando alagamentos sazonais.

Tabuleiros Pré-Litorâneos - são constituídos pelas litologias areno-argilosas da Formação Barreiras, apresentando topografias planas a suave onduladas. Nesta unidade os solos predominantes são Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e, secundariamente, os Neossolos Quartzarênicos. Em condições naturais os tabuleiros são recobertos pela Vegetação Subperenifólia de Tabuleiro, que devido as suas características fisionômicas protege os solos da ação erosiva dos agentes externos. Contudo, esta unidade também se encontra bastante degradada, em decorrência do processo de urbanização de Fortaleza. Atualmente são encontradas apenas resquícios de mata nativa.

Transição Tabuleiro Pré-Litorâneo e Depressão Sertaneja – corresponde ao contato do embasamento cristalino com a Formação Barreiras. Possui relevo plano, com uma rede de canais densa, porém de pouco poder de erosão, devido à intermitência. Os solos predominando são os Argissolos Vermelho-Amarelos, recobertos por matas secundárias e de transição para a caatinga.

Morros Residuais - são constituídos por rochas vulcânicas terciárias (Formação Messejana) formadas pelo evento de formação do arquipélago de Fernando de Noronha. Sobre estas litologias assentam-se relevos de exceção, testemunhos pretéritos dos eventos mencionados. Ocorrem Neossolos Regolíticos, recobertos por vegetações herbáceo-arbustivas ou mesmo sem cobertura vegetal.

Tais sistemas ambientais apresentam graus de vulnerabilidades diferenciados cujo valor é dado pelos atributos físicos e pelas formas de uso e ocupação do solo, aqui consideradas como a qualidade da infraestrutura urbana da cidade de Fortaleza. Procura-se a partir dessa integração

apresentar a vulnerabilidade natural (associação dos atributos biofísicos) e a vulnerabilidade ambiental (associação dos atributos biofísicos mais a qualidade da infraestrutura urbana).

5. VULNERABILIDADE NATURAL

O mapa de vulnerabilidade natural representa uma importante ferramenta para a tomada de decisão ao indicar espacialmente os ambientes mais vulneráveis, possibilitando vislumbrar as respostas do meio às intervenções antrópicas. A tabela 3 mostra a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade natural, as quais serão descritas a seguir (Figura 4).

Muito Baixa – é a menor unidade, correspondendo às porções isoladas em tabuleiros pré-litorâneos da Formação Barreiras ou sobrepostos ao embasamento cristalino, com Argissolos Vermelho-Amarelos e recobertos com resquícios de vegetação nativa ou por manchas de vegetação antrópica mais significativas. Representam ambientes com elevada estabilidade, decorrente das características dos elementos da paisagem, prevalecendo os processos pedogenéticos e fitoecológicos. Deste modo, são ambientes menos susceptíveis aos riscos ambientais.

Baixa – corresponde a maior unidade da cidade de Fortaleza. É formada pela mesma geologia e geomorfologia da unidade anterior, mas contendo apenas um fator mais vulnerável. Pode decorrer da ausência de vegetação, que foi substituída pelas infraestruturas urbanas ou estar relaciona a solos com fatores limitantes como o mau desenvolvimento físico ou a baixa fertilidade natural (Neossolos Quartzarênicos, Regolíticos ou Flúvicos). As unidades de baixa e mediana vulnerabilidade são as melhores áreas para ocupação e intervenção ambiental, deste que

Tabela 3. Distribuição espacial da vulnerabilidade natural.

Vulnerabilidade Natural		
Classes	Área (Km ²)	(%)
Muito Baixa	16,81	5,35
Baixa	171,9	54,68
Mediana	56,41	17,95
Alta	19,43	6,18
Muito Alta	49,8	15,84

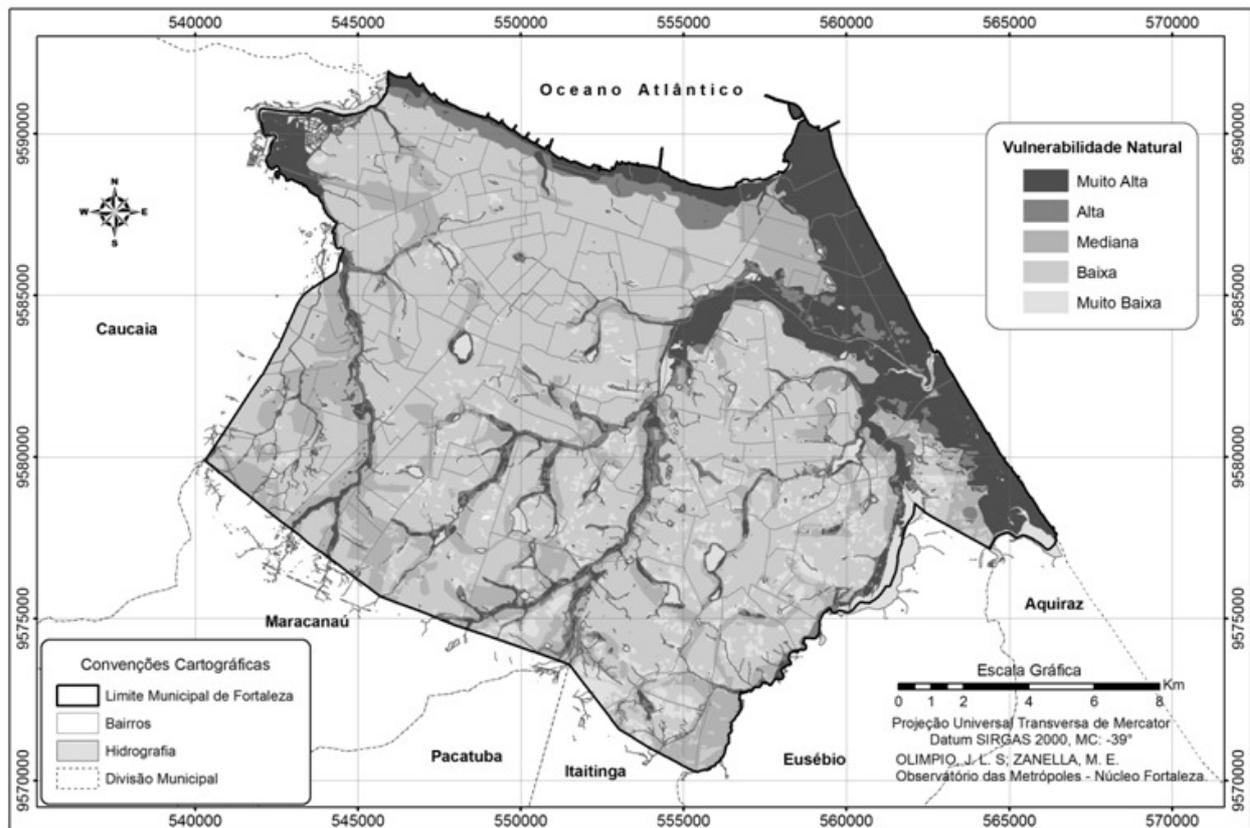


Fig. 4 – Mapa de Vulnerabilidade Natural do Município de Fortaleza / CE. Fonte: Autores.

respeitados os preceitos das legislações ambiental e urbanística e a adoção de práticas conservacionistas.

Mediana – também é constituída pelos tabuleiros da Formação Barreiras, mas apresenta solos e vegetação mais limitantes. Assim, foram identificados Neossolos Quartzarênicos, Flúvicos, Regolíticos e Planossolos associados à vegetação antrópica aberta ou mesmo ausência de vegetação.

Alta – representam unidades com alta dinâmica natural, devido à ação constante dos processos morfogenéticos. Localizam-se principalmente sobre as dunas fixas urbanizadas com Neossolos Quartzarênicos. Também é encontrada próxima aos cursos d’água e lagoas costeiras onde há solos mais vulneráveis ou ausência de vegetação.

Muito Alta – correspondem aos setores onde os processos morfogenéticos atuam mais intensamente. São representados pela planície litorânea urbanizada e pelas planícies fluviais, lacustre e flúvio-marinhas degradadas. Observa-se que as mesmas em estado natural apresentariam vulnerabilidade natural muito alta, contudo, devido aos processos de degradação, este fator é ampliado, colocando em situação de risco ambiental a população usuária destes espaços. Devido às características naturais, de relevância ambiental e o

estado de degradação desta unidade, bem como da anterior, devem prevalecer medidas de conservação e recuperação ambiental e, havendo a necessidade de intervenções antropogênicas, deve-se respeitar a legislação ambiental pertinente, emprego de tecnologias menos impactantes, aplicação dos planos de controle e monitoramento ambiental e adoção de práticas ambientalmente corretas.

6. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Após a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural procedeu-se o cruzamento deste com o mapa de uso e ocupação do espaço para o ano de 2008, gerando-se o mapa de vulnerabilidade ambiental (Figura 5). Neste mapa é representado o grau de suscetibilidade a situações de risco ambiental, prevendo-se os impactos ambientais possíveis e as respostas do meio às intervenções antropogênicas, variando conforme as características naturais e do uso e ocupação do espaço no sítio urbano de Fortaleza (OLÍMPIO, 2011). A tabela 4 apresenta a distribuição percentual e em área da vulnerabilidade ambiental. No quadro 1 encontram-se as principais sugestões para a gestão do espaço urbano de Fortaleza, definidas pelas

potencialidades e limitações de cada classe de vulnerabilidade ambiental.

Muito Baixa – representam áreas de vulnerabilidade natural baixa e muito baixa associadas a ambientes com infraestrutura urbana consolidada ou recobertas por vegetação, portanto são as áreas de melhor qualidade ambiental da cidade e as mais promissoras para a intervenção antropogênica, uma vez que suas características proporcionam menores situações de risco ambiental. Localizam-se principalmente nos bairros Aldeota, Parquelândia, Dionísio Torres, Joaquim Távora, Bairro de Fátima, Benfica e em pontos isolados pela cidade. Estas unidades devem ser preservadas, devido sua importância ecológica. Além disso, podem trazer benefícios à população local e visitante através da implantação de infraestruturas que permitam o uso sustentável destas unidades. Recomenda-se que a ocupação ocorra de forma racional, a fim de evitar a degradação ambiental das mesmas, rompendo a estabilidade ambiental, transformando-as em mediantemente ou altamente vulneráveis.

Baixa – corresponde a maior unidade mapeada em Fortaleza. É formada por ambientes de vulnerabilidade natural baixa ou mediana associada às áreas com infraestrutura mediana ou mesmo precária. Apesar de apresentar vulnerabilidade baixa esta unidade necessita de adoção de medidas de recuperação, controle e monitoramento ambiental, além da reurbanização das áreas com infraestrutura mediana e precária. A efetivação destas medidas pode reduzir a vulnerabilidade ambiental desta classe, melhorando a qualidade ambiental da população usuária. Entre os bairros que apresentam maior representatividade desta classe citam-se: Centro, Montese, Antônio Bezerra, Conjunto Ceará 1 e 2, Itaperi, Jangurussu, Pici, Rodolfo Teófilo, Luciano Cavalcanti, Quintino Cunha, Messejana, Damas, São João do Tauapé e Barroso.

Mediana – encontram-se distribuídos em manchas isoladas no interior do município, correspondendo a mosaicos, ora compostos por ambientes com vulnerabilidade natural muito alta associado a áreas com infraestrutura consolidada, ora constituídos ambientes de vulnerabilidade natural alta associada às áreas de infraestrutura precária, ou mesmo vulnerabilidade mediana com infraestrutura mediana. Devido às características

Tabela 4. Distribuição espacial da vulnerabilidade ambiental.

Vulnerabilidade Ambiental		
Classes	Área (Km²)	(%)
Muito Baixa	36,18	11,51
Baixa	122,1	38,84
Mediana	87,51	27,84
Alta	53,72	17,09
Muito Alta	14,85	4,72

diferenciadas entre os diversos setores desta unidade, as tomadas de decisões devem ser realizadas em escala mais detalhada e levando em consideração as especificidades ambientais de cada ambiente. Situam-se nos bairros nos Presidente Kennedy, Jardim Guanabara, Quintino Cunha, Jardim Iracema, Sabiaguaba, Papicu, Cidade 2000, Parque Santa Rosa, entre outros.

Alta – localizam-se sobre a planície litorânea de vulnerabilidade natural muito alta, ocupadas por áreas com infraestrutura consolidada, como os bairros Meireles, Dunas, Papicu e Praia do Futuro I e II e nas planícies lacustre, fluviais e flúvio-marinhas vegetadas. Também foram identificadas em áreas com infraestrutura precárias assentadas sobre ambientes de vulnerabilidade mediana, como tabuleiros pré-litorâneos com solos limitantes. Recomenda-se que a expansão urbana sobre estes ambientes seja evitada, pois são áreas de dinamicidade natural muito alta, expondo a população usuária a situações de risco ambiental. Sobre estes ambientes devem prevalecer os usos voltados para a educação e interpretação ambiental, turismo sustentável, conservação, preservação e recuperação ambiental. No caso de necessidade extrema de ocupar estes ambientes com outros usos, é fundamental que se adote técnicas e materiais mais adequados a situação ambiental vigente. Além disso, devem seguir rigorosamente o Plano Diretor Participativo de Fortaleza, atendendo os limites de ocupação referidos neste documento. Ademais, deve-se respeitar a legislação ambiental municipal, estadual e federal, além de adotar medidas que busquem a sustentabilidade ambiental, adequando-se aos sistemas ambientais existentes.

Muito Alta – correspondem a todas as áreas que apresentam infraestrutura precária e ambientes de elevada vulnerabilidade natural, principalmente nas planícies fluviais dos rios Maranguapinho, Cocó,

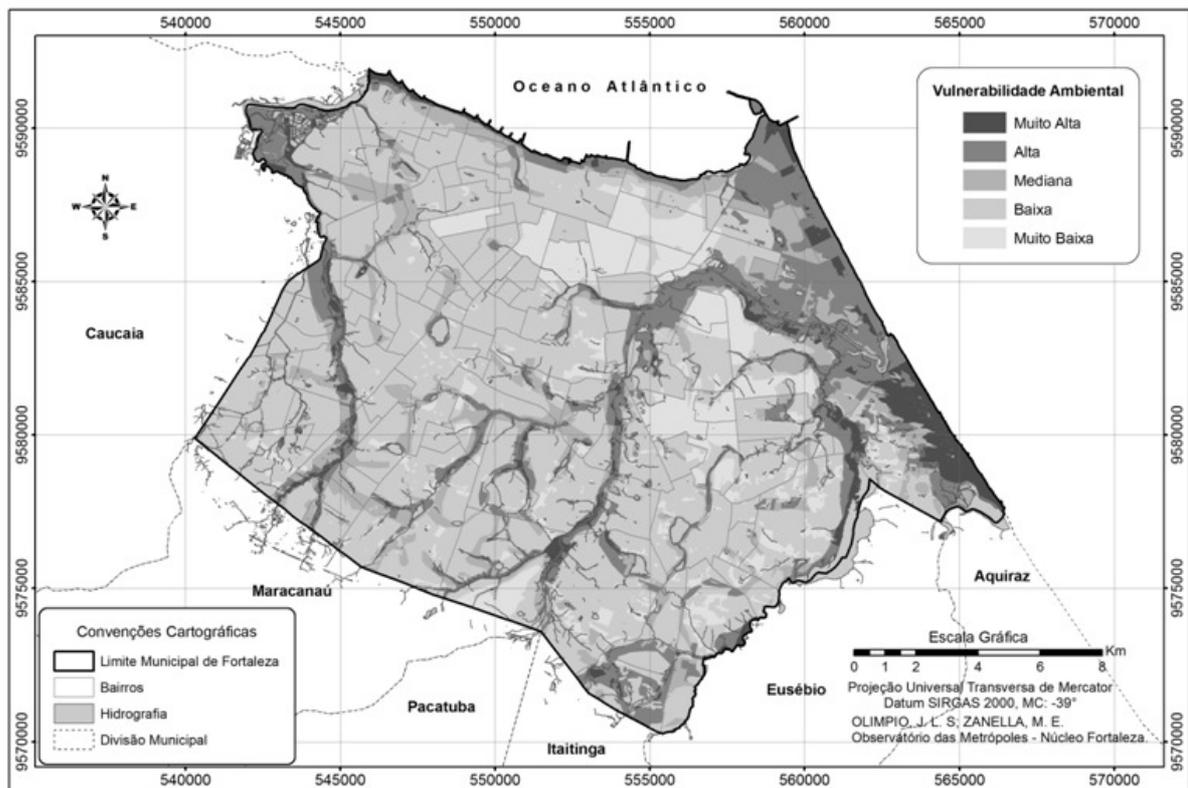


Fig. 5 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do Município de Fortaleza / CE. Fonte: Autores

Coaçu e distribuídos pela planície litorânea, com destaque ao grande Pirambu e a Sabiaguaba, estando todos expostos a riscos naturais, de tal forma que a população habitante está muito suscetível à dinâmica destes ambientes. Propõe-se que não se ocupe estes ambientes, além de realizar a retirada da população que os habitam, realocando-os para ambientes mais estáveis, notavelmente sobre os tabuleiros pré-litorâneos com ocupação menos adensada, além de implantar a infraestrutura urbana necessária. Posteriormente, deve-se realizar a recuperação ambiental destes ambientes, destinando-os a conservação e interpretação ambiental, com atividades de educação ambiental e patrimonial, criação de unidades de conservação e áreas de lazer. Todavia, deve-se estabelecer um sistema de fiscalização eficiente contra o retorno das ocupações irregulares.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental objetivam espacializar o comportamento do meio natural e analisar as respostas do meio as intervenções antropogênicas, respectivamente, indicando os usos potenciais e os riscos ambientais possíveis para cada unidade. Representam uma

importante fonte de informações para a tomada de decisões, especialmente aos gestores públicos.

Os procedimentos metodológicos são bastante flexíveis, permitindo a inserção de novos parâmetros de análise, bem como o cruzamento com outras informações cartográficas, possibilitando a realização de trabalhos multidisciplinares, a fim de subsidiar o zoneamento urbano-ambiental da cidade de Fortaleza.

Constatou-se que Fortaleza apresentou, predominantemente, vulnerabilidade natural baixa e mediana decorrente dos tabuleiros pré-litorâneos urbanizados. As áreas naturalmente mais vulneráveis foram as planícies fluviais, lacustres, flúvio-marinhas e litorâneas degradadas. Estes sistemas são fundamentais para a manutenção do equilíbrio ambiental da cidade, devendo prevalecer medidas de proteção e recuperação, associadas, quando necessário, a implantação das infraestruturas urbanas adaptadas às vulnerabilidades naturais existentes.

A vulnerabilidade natural muito baixa corresponde a pontos isolados no município, devendo haver medidas de proteção ambiental, pois estas são fundamentais para a qualidade ambiental de Fortaleza.

Enquanto a vulnerabilidade ambiental, conclui-se que a maior parte do município possui vulnerabilidades baixas e medianas. A classe alta representa ambientes de vulnerabilidade natural alta com infraestrutura consolidada ou áreas de infraestrutura precária sobre ambientes mediantemente vulneráveis. A classe muito alta é constituída por ambientes de vulnerabilidade natural muito alta com infraestrutura precária, ocupadas por populações

socialmente suscetíveis aos riscos ambientais. As áreas de vulnerabilidade ambiental muito baixa correspondem aos setores de tabuleiros vegetados ou aqueles com infraestrutura urbana consolidada.

A realização deste trabalho somente foi possível devido ao uso dos Sistemas de informação Geográfica que possibilitaram a espacialização dos elementos ambientais analisados. Assim, espera-se que as informações produzidas possam dar sua contribuição ao planejamento urbano-ambiental do

QUADRO 1 – POTENCIALIDADES, RISCOS E PROPOSTAS PARA A GESTÃO URBANO-AMBIENTAL			
Vulnerabilidade Ambiental	Potencialidades	Riscos e Impactos Ambientais	Proposta para a gestão ambiental
Muito Baixa	<ul style="list-style-type: none"> • Conservação e recuperação ambiental; • Refúgio biológico; • Áreas de lazer e turismo; • Educação ambiental; • Ocupação urbana controlada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de biodiversidade; • Ampliação dos processos erosivos; • Alterações microclimáticas; • Aumento do escoamento superficial; • Baixo potencial para os riscos de alagamentos; • Poluição e degradação ambiental. 	<p>Uso Permitido com Restrição Baixa I</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criação de parques e Unidades de Conservação; • Ocupação planejada; • Melhorar a qualidade da infraestrutura existente; • Medidas de conservação ambiental; • Monitoramento ambiental; • Educação ambiental.
Baixa	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação ambiental; • Diversos usos urbanos; • Ocupação urbana controlada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação dos processos erosivos; • Truncamento dos solos; • Aumento do escoamento superficial; • Impermeabilização dos solos; • Risco de alagamentos; • Poluição e degradação ambiental. 	<p>Uso Permitido com Restrição Baixa II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampliação da infraestrutura urbana; • Adoção de limites de ocupação para cada uso urbano; • Medidas de recuperação ambiental.
Mediana	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação ambiental; • Áreas de lazer e turismo; • Balneabilidade; • Diversos usos urbanos; • Ocupação urbana controlada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação dos processos erosivos; • Reativação da migração das dunas fixas; • Risco potencial de enchente e alagamentos, erosão da costa e dos solos; • Poluição e degradação ambiental. 	<p>Uso Permitido com Restrição Mediana</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampliação da infraestrutura urbana; • Ocupação planejada; • Ordenamento territorial urbano; • Medidas de recuperação ambiental.
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Conservação e recuperação ambiental; • Ocupação restrita; • Áreas de Preservação Ambiental; • Unidades de Conservação; • Áreas de lazer e turismo; • Balneabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Risco real de alagamentos, enchentes, inundações, soterramento por dunas, ao fluxo e refluxo das marés, erosão da costa e dos solos; • Perda ocasional de bens, paralização as atividades produtivas e exposição de vidas aos eventos naturais mais intensos; • Possibilidade de desastres naturais; • Poluição e degradação ambiental. 	<p>Uso Permitido com Restrição Alta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocupação urbana restrita; • Ordenação urbana; • Respeitar a legislação ambiental; • Unidades de conservação; • Áreas de lazer; • Pesca; • Turismo sustentável.
Muito Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Conservação e recuperação ambiental; • Balneabilidade; • Áreas de lazer; • Pesca; • Áreas de Preservação Permanente; • Unidades de Conservação; • Educação ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risco imediato de enchentes, inundações, alagamentos, soterramento, deslizamento, desmoronamentos, erosão da costa e dos solos e ao fluxo e refluxo das marés; • Perda frequente de bens, paralização as atividades produtivas e exposição de vidas aos eventos naturais; • Possibilidade de desastres naturais; • Poluição e degradação ambiental. 	<p>Uso Não Permitido</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adoção de medidas de conservação e recuperação ambiental; • Respeitar a legislação ambiental; • Criação de instrumentos legais de restrição do uso; • Retirar os indivíduos e os bens localizados sobre esta classe; • Educação e interpretação ambiental; • Turismo ecológico; • Fiscalização; • Implantar infraestruturas relativas as medidas anteriores.

município de Fortaleza, subsidiando a tomada de decisões dos agentes sociais envolvidos.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V; MEDEIROS, J. S. Representações Computacionais do Espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. **Geografia**. Rio Claro, n. 28, p. 83-96, jan./abril. 2003.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. In: CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V; MEDEIROS, J. S. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoes_ambientais.pdf> Acessado em: 15 de nov. 2010.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V; MEDEIROS, J. S. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acessado em: 15 de nov. 2010.

COSTA, F. H. S; PETTA, R. A; LIMA, R. F. S; MEDEIROS, C. N. de. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia potiguar, região de Macau (RN), utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n 58/02, ago. 2006. p. 119-127.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

DIAS, J. E; GOES, M. H. B; XAVIER-DA-SILVA, J; GOMES, O. V. Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental: o caso do município de Volta Redonda. In: XAVIER-DA-SILVA, J; ZAIDAN; R. T. (Org.). **Geoprocessamento e Análise Ambiental**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. cap. 4, p. 143-176.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica na Determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guamaré / RN**: simulação de risco das atividades da indústria petrolífera. Natal: UFRN, 2003. 222 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em

Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

HÉTU, B. Uma Geomorfologia socialmente útil: os riscos naturais em evidência. **Revista Mercator**. Fortaleza, ano 2, n. 3, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades@**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 01 jan. 2011.

MARTINELLI, M; PEDROTTI, F. A Geografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 14, 2001.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente**. 8. Ed. São Paulo: Contexto, 2005.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, F; KOZEL, S. (Org.) **Elementos de epistemologia da geografia contemporânea**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2002.

MOURA-FÉ, M. M. **Evolução do sítio natural de Fortaleza / Ceará**. Fortaleza: UFC, 2008. 242 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

OLÍMPIO, J. L. S. 2001. 126 f. **Emprego da tecnologia da geoinformação na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Fortaleza / CE**. Trabalho de Graduação do Bacharelado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ROSA, S. V; COSTA, M. C. D. Banco de dados de vulnerabilidade socioambiental da Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará. In: DANTAS, E. W. C; COSTA, M. C. L. (Org.). **Vulnerabilidade Socioambiental: na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: oficina de texto, 2009.

SANTOS, R. F; CALDEYRO, V. S. **Vulnerabilidade Ambiental**: desastres ambientais ou fenômenos induzidos?. In: SANTOS, R. F. (Org.) Brasília: MMA, 2007. cap. 2, p. 13-21.

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E. **Percepções de Riscos Ambientais**: teorias e aplicações. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

SOUZA, M. J. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L. C; MORAIS, J. O; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOUZA, M. J. N; NETO, J. M; SANTOS, J. O; GONDIM, M. S. **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza**: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo – PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. UFRS, 2002. 252f. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Campinas, v. 1, n. 1, 2000. p. 48-58.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. cap. 10, p. 393-413.

ZANELLA, M. E; COSTA, M. C. D; PANIZZA A. C; ROSA, M. V. Vulnerabilidade Socioambiental de Fortaleza. In: DANTAS, E. W. C; COSTA, M. C. L. (Org.). **Vulnerabilidade Socioambiental**: na Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: edições UFC, 2009.