

MAPEAMENTO DO RISCO DE INUNDAÇÃO DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO PIAUÍ

*MAPPING THE RISK OF FLOODING ON THE COASTAL PLAIN OF THE STATE OF
PIAUI*

*MAPEO DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN LA LLANA COSTERA DEL ESTADO
DE PIAUI*

JÉSSICA CRISTINA OLIVEIRA FROTA¹
GUSTAVO SOUZA VALLADARES²
JORGE EDUARDO DE ABREU PAULA³

¹Doutoranda PRODEMA – Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: jessicaupi@hotmail.com – ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5314-8058>

²Professor adjunto – Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: valladares@ufpi.edu.br – ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4884-6588>

³Professor adjunto -Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

E-mail: jorgeabreupaula@yahoo.com.br – ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3968-3956>

RESUMO

Este estudo teve como objetivo o mapeamento das áreas de risco de inundação da Planície costeira do Piauí, com o intuito de constituir um instrumento de gestão para essas áreas. A área de estudo, localiza-se na porção norte do litoral piauiense e no nordeste setentrional do Brasil, apresentando uma linha de costa de 66 km. Esta abrange quatro municípios, sendo eles: Ilha Grande de Santa Isabel, Parnaíba, Luís Correia e Cajueiro da Praia. A metodologia empregada se fundamentou no conceito de ecodinâmica e no uso do geoprocessamento e sensoriamento remoto, onde foi realizada uma análise de multicritério baseada na média ponderada, estabelecendo pesos e notas para cada variável utilizada (Altimetria, declividade, geologia, geomorfologia e uso e cobertura). Os resultados destacaram a presença de cinco classes de risco a inundação, estas variando em diferentes graus que vão desde risco muito baixo a risco muito alto. Assim, notou-se que as áreas que apresentam altitudes mais elevadas destacadas em (tabuleiros costeiros e campos de dunas móveis) apresentaram risco muito baixo de inundação e já as áreas próximas a canais fluviais representam as áreas de maior risco de inundação. Com isso, viu-se que as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram bastante eficazes como instrumento de análise da pesquisa. Viu-se também a necessidade de uma melhor gestão dessas áreas, necessitando de um plano de manejo e políticas públicas que visem uma melhor administração dessas zonas.

Palavras-chave: SIGs; Inundação; Análise multicritério.

ABSTRACT

The objective of this study was to map the flood risk areas of the coastal plain of Piauí, in order to constitute a management tool for these areas. The study area is located in the northern portion of the Piauían coast and in the north-east of Brazil, with a coastline of 66 km. It covers four municipalities, being: Ilha Grande de Santa Isabel, Parnaíba, Luís Correia and Cajueiro da Praia. The methodology used was based on the concept of ecodynamics and the use of geoprocessing and remote sensing, where a multicriteria analysis was performed based on the weighted average, establishing weights and notes for each variable used (Altimetry, declivity, geology, geomorphology and use and coverage). The results highlighted the presence of five flood risk classes varying in different degrees ranging from very low risk to very high risk. Thus, it was observed that the areas with higher altitudes highlighted in (coastal trails and mobile dune fields) presented very low risk of flooding and already the areas near fluvial channels represent the areas of greater risk of flooding. With this, it was seen that the techniques of geoprocessing and remote sensing were quite effective as an instrument of analysis of the research. There was also a need for better management of these areas, requiring a management plan and public policies aimed at better administration of these areas.

Key words: GIS; Inundation; Multicriteria analysis

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo mapear las áreas de riesgo de inundación de la Llanura Costera de Piauí, con el objetivo de constituir un instrumento de gestión para esas áreas. El área de estudio está ubicada en la porción norte de la costa de Piauí y en el noreste norte de Brasil, con un litoral de 66 km. Abarca cuatro municipios, a saber: Ilha Grande de Santa Isabel, Parnaíba, Luís Correia y Cajueiro da Praia. La metodología utilizada se basó en el concepto de ecodinámica y el uso de geoprocésamiento y teledetección, donde se realizó un análisis multicriterio a partir del promedio ponderado, estableciendo pesos y puntuaciones para cada variable utilizada (Altimetría, pendiente, geología, geomorfología) y uso y cobertura). Los resultados resaltaron la presencia de cinco clases de riesgo de inundaciones, que varían en diferentes grados, desde un riesgo muy bajo hasta un riesgo muy alto. Así, se observó que las áreas con mayor altitud resaltadas en (mesetas costeras y campos de dunas móviles) presentaban un riesgo de inundación muy bajo y las áreas cercanas a los cauces de los ríos representan las áreas con mayor riesgo de inundación. Con esto, se vio que las técnicas de geoprocésamiento y teledetección eran bastante efectivas como

herramienta de análisis de investigación. También era necesario una mejor gestión de estas áreas, lo que requería un plan de gestión y políticas públicas destinadas a una mejor administración de estas áreas.

Palabras clave: SIG; Inundación; Análisis multicriterio.

INTRODUÇÃO

Em face de sua elevada fragilidade e sensibilidade ecológica, as zonas costeiras vem apresentando diversas limitações do ponto de vista ambiental. Estas, relacionadas tanto a ação natural como a ação antrópica. Dentre alguns desses referidos problemas ambientais pode-se destacar o risco de inundação das zonas costeiras.

Segundo o relatório da International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2007 citado por Hora e Gomes, 2009), o conceito de risco é utilizado nas mais diversas áreas do conhecimento, o que permite ressaltar a existência de uma grande variedade de riscos, podendo ser definido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas previstas como (mortes, ferimentos, propriedade, meios de subsistência, interrupção de atividade econômica ou destruição ambiental) resultando das interações entre perigos naturais ou sociais e circunstâncias vulneráveis.

Assim, o risco pode ser determinado pelas perdas que podem ocorrer (de vidas, ferimentos em pessoas, propriedades, rupturas das atividades econômicas ou danos ambientais), resultantes da influência natural que podem ter sido induzidos ou não pelo homem, da vulnerabilidade e do dano potencial (AMARAL e RAMOS, 2011).

De acordo com ISDR (2007), as inundações destacam-se como um risco e representam um dos fenômenos naturais mais ocorrentes no mundo, afetando numerosas populações em todos os continentes. Estas causam impactos desastrosos nas áreas afetadas, podendo provocar perdas humanas e materiais.

As inundações têm causado também grandes desastres à população brasileira principalmente em razão da ocupação desordenada no leito maior dos rios e a impermeabilização do solo das bacias urbanas. Dessa forma, é possível afirmar que a falta de uma política de monitoramento e controle das inundações tem aumentado os prejuízos e perdas nas cidades, ocasionados pela falta de planejamento do espaço ocupado, falta de conhecimento do risco das áreas passíveis a inundação e interesse na solução desse problema (HORA E GOMES, 2009).

Observa-se que os danos causados pelas inundações tendem sempre a aumentar quando há o incremento dos eventos climáticos extremos, às constantes alterações do uso do solo, com o aumento da ocupação dos leitos de cheia com áreas urbanas e à destruição de áreas florestais, ou seja, as alterações das condições de drenagem natural como: a modificação da topografia e da cobertura vegetal, a impermeabilização sistemática de extensas áreas, desvio incorreto e/ou canalização de linhas de água, conjugadas com a precipitação intensa, potenciam situações de inundação que é indispensável minimizar (TOMINAGA et al., 2009).

De acordo com Pereira e Ventura (2004) as inundações são provocadas por fatores naturais e ampliadas por fatores antrópicos. Nos primeiros se sobressai a precipitação (responsável primordial pelo desencadeamento da situação), regime de escoamento torrencial, configuração morfológica da bacia, natureza geológica dos solos e características da cobertura vegetal. Já nos segundos destacam-se a pressão urbana e a inerente impermeabilização de vastas superfícies como as obstruções à livre circulação da água, a artificialização de linhas de água e a diminuição das áreas de risco.

Segundo Tucci (2005), a gestão e o combate ao risco à inundação acontecem através da utilização de medidas de controle da inundação que visam tornar mínimo o risco das populações que estão expostas, diminuindo assim, os prejuízos causados. Essas medidas segundo o mesmo podem ser tanto do tipo estrutural como não estrutural, as medidas estruturais fundamentam-se em obras de engenharia que são implementadas para reduzir o risco de enchentes.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvido destacando-se a realidade dos risco de inundação oferecido por áreas suscetíveis. Estudos como de Rocha (1998); Pereira e Ventura (2004); Naime et al., (2005); Hora e Gomes (2009); Lins-de-Barro e Muehe (2011); Cunha e Taveira-Pinto (2011); Andres et al., (2015), dentre outros procuram demonstrar a realidade de municípios ou de zonas costeiras avaliando sua vulnerabilidade e riscos ambientais, ai incluídos o risco de inundação.

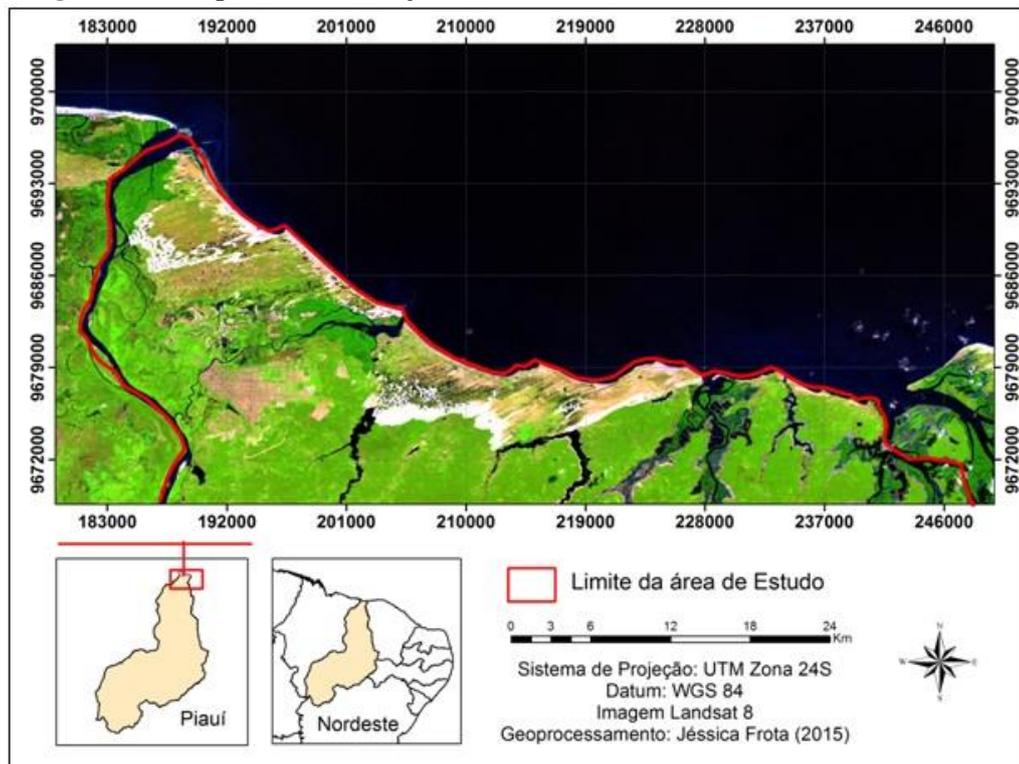
Diante dessas perspectivas, a pesquisa tem como principal objetivo identificar e mapear as áreas da Planície costeira do estado do Piauí que apresentam risco a inundação, destacando seus variados graus de inundação.

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

A planície costeira do estado do Piauí encontra-se localizada na porção norte do litoral piauiense e no nordeste setentrional do Brasil, apresentando uma linha de costa de 66 km (sentido Leste-Oeste), que vai desde a Baía das Canárias, até o limite com o Ceará, na foz dos rios Ubatuba e Timonha (BAPTISTA, 2004; FUNDAÇÃO CEPRO, 1990). Apesar de possuir um litoral pouco extenso, a planície costeira do Piauí é uma área que merece destaque por sua grande importância social, econômica e ambiental, dando especial atenção às preocupações de uso sustentável dos recursos costeiros e o estudo de estruturação de suas principais unidades geomorfológicas. Diante disso, o recorte espacial da área de estudo abrange o município de Ilha Grande e parcialmente os municípios costeiros de Cajueiro da Praia, Luís Correia e Parnaíba (Figura 1) e ainda integra parte da área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (APA). A área é limitada pelas coordenadas UTM 9668000/ 182000 W e 9668000/250000 e corresponde aos limites continentais das folhas topográficas SUDENE/DSG (1972) (SA 24 Y-A-IV) folha Parnaíba e (SA 24 Y-A-V) folha Bitupitá, ambas na escala 1:100.000.

Figura 1 – Mapa de Localização da Planície Costeira do Estado do Piauí



Fonte: Elaborado por Autores.

Mapeamento de Risco de Inundação

Dos procedimentos técnicos e metodológicos aplicados na pesquisa foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto (através da interpretação de imagens de satélite) e dados do sistema de posicionamento global (GPS) levantados na área.

Para a obtenção do mapa de risco de inundação, foram consideradas as relações e interações de fatores do meio físico como: declividade, altimetria, geologia, geomorfologia e fatores do meio antrópico como o uso e cobertura da terra.

Para elaboração dos mapas básicos: Declividade e Altimetria levou-se em consideração o MDE (Modelo Digital de Elevação) da área de estudo adquirido a partir do processamento e da análise de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Estas, por sua vez, foram obtidas no site do Banco de dados geomorfológicos do Brasil-Topodata/INPE as quais estão disponíveis gratuitamente para *download*. Foram obtidos os dados refinados da resolução espacial original (~90m) no formato GRID para (~30) m.

No caso da área em estudo, a imagem SRTM requerida foi a de índice 02S42_ZN referente ao MDE da planície costeira do estado do Piauí. Através do MDE foi possível gerar os mapas de declividade e altimetria, que serviram como instrumento de análise das áreas que apresentam risco.

Para a geração do mapa temático de declividade utilizou-se as ferramentas *ArcToolbox > Spatial Analyst tools > Surface > Slope* do *software*. O mapa foi gerado em porcentagem (PERCENT) estabelecendo-se cinco classes, estas variando de plano a ondulado com os intervalos (0 – 3; 3 – 5; 5 – 10; 10 – 20; > 20) seguindo a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995), porém adaptada de acordo com os declives apresentados na área de estudo.

Em seguida, o MDE foi reclassificado gerando cinco classes de altimetria, estas por sua vez, variando de 0 a 70 metros. .

Para os parâmetros: geologia, geomorfologia e uso e cobertura das terras, foram utilizados os mapas produzidos por Sousa (2015) em formato *shapfile*, tendo em vista que os mesmos estão relacionados à mesma área de estudo e foram produzidos na mesma escala de análise da pesquisa 1: 100.000. Vale ressaltar que na utilização do parâmetro geomorfologia foi realizado uma atualização e refinamento do mapeamento de Sousa (2015).

Como forma de melhor detalhar o mapeamento geomorfológico realizado pela autora foram estabelecidos pontos de controle (marcação de ponto) para realização do mapeamento de praias. O levantamento da linha de praia no litoral do Piauí consistiu em medir a posição do perfil longitudinal da linha d'água, tomando-o como perfil representativo da posição da linha de praia a qual corresponde à linha de espraiamento da onda ou linha de *swash* conforme denomina Toldo e Almeida (2003).

Dessa forma, foram percorridos os 66 km da costa piauiense para realização da marcação de pontos com o auxílio do aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) e um veículo que se deslocou ao longo da linha de deixa (limite da linha d'água na última maré ocorrida) associada ao espraiamento da onda.

Uma vez marcados, esses pontos foram georreferenciados e transferidos para o SIG (Sistema de Informações Geográficas) onde foram retrabalhados para geração do vetor que deu origem a delimitação das praias da planície costeira do estado do Piauí. Como auxílio utilizou-se de imagens de alta resolução espacial (imagens *rapideye*) para verificar o limite da linha de espraiamento da onda até o início da praia em contato direto com o mar, obtendo assim a delimitação das praias da zona costeira piauiense.

Para o processamento da avaliação ambiental com base em uma integração (Modelagem e Geoprocessamento) dessas variáveis foi adotado um algoritmo classificador, baseado em um método multicritério ordinal aditivo, também definido por Xavier da Silva (2001) como média ponderada. O algoritmo é representado abaixo pela seguinte equação (Eq.1).

$$(1) \quad A_{ij} = \sum_{K=1}^n (Pk.Nk)$$

Onde,

K=1;

A_{ij} = qualquer célula da matriz;

n = número de parâmetros envolvidos;

P= peso atribuído ao parâmetro ou variável de 0 a 1;

N= nota atribuída ao fator ou parâmetro espacial de interesse.

O suporte à decisão por Multicritério é amplamente utilizado na análise de estudos de risco, sendo abordado por diversos autores, onde a integração com o SIG é fundamental para a obtenção de rápidos resultados e possibilidade de repetição de operações com diversos mapas de interesse (Jankowski, 1995; Malczewski, 1999; Valladares e Faria, 2004). Segundo Xavier da Silva (2001) esse método de análise multicriterial é baseado em um processo de ponderação aditiva, no qual os diversos atributos relevantes são representados através de sua importância relativa.

O princípio metodológico foi baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977) que define uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, onde ao predominar a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e ao predominar a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos. Neste método conforme ressalta Silva (2015) além de estabelecer uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, utiliza-se ainda as informações obtidas a partir das imagens de satélites para estudos integrados.

A partir do processo aditivo por Multicritério, o qual funciona como um método de ponderação de camadas ou planos de informação foi adotado pesos para cada variável envolvida no processo, conforme o grau de significância com relação à situação analisada conforme mostra a tabela 1.

Levando em consideração a análise multicriterial da média ponderada é importante compreender que o somatório dos pesos aplicados aos parâmetros não deverá exceder a 1 de acordo com sua intensidade de participação. Assim, definiu-se que a ponderação dos pesos seguiria uma variação de 0 a 1, onde zero representa o menor risco e 1 o maior risco.

Tabela 1 - Pesos atribuídos a cada variável utilizada no mapeamento de risco de inundação

VARIÁVEL	PESO/RISCO DE INUNDAÇÃO (0 a 1)
<i>Geomorfologia</i>	0,25
<i>Altimetria</i>	0,20
<i>Declividade</i>	0,20
<i>Geologia</i>	0,15
<i>Uso e cobertura</i>	0,20
SOMATÓRIO	1

Fonte: Elaborado por Autores.

Em seguida foram estabelecidas notas para as classes de cada variável selecionada, levando em consideração as unidades de maneira individual. As notas também variaram de 0 a 1, no entanto, as áreas fora de análise receberam uma nota superior a 1,0 para ficar fora de análise (Tabela 2, 3, 4, 5 e 6).

Vale ressaltar que os pesos e as notas inseridas nessa pesquisa foram atribuídos com base na experiência e por consenso de equipe multidisciplinar especializada em meio físico e na interpretação de mapas de riscos ambientais, também foram adaptados empiricamente à realidade e a escala de análise da área de estudo, observando a maior influência das variáveis na área. Partindo dessa premissa, optou-se por dar pesos maiores para a geomorfologia, tendo em vista que esta apresenta uma influência maior na área de estudo quando se fala em risco de inundação.

Tabela 2 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	NOTAS/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Praias</i>	1,0	0,25
<i>Cordão arenoso</i>	0,5	0,125
<i>Planície eólica</i>	0,4	0,1
<i>Dunas móveis</i>	0	0
<i>Dunas estabilizadas</i>	0	0
<i>Paleodunas</i>	0	0
<i>Planície Fluvio-Marinha</i>	1,0	0,175
<i>Terraço Marinho</i>	1,0	0,1
<i>Planície e terraço fluvial</i>	0,7	0,25
<i>Planície Lacustre</i>	1,0	0,25
<i>Tabuleiro costeiro</i>	0	0
<i>Canais fluviais</i>	0	0

Fonte: Elaborado por Autores.

Tabela 3 - Notas atribuídas a cada classe de Altimetria

ALTIMETRIA (m)	NOTAS/ INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>0-15</i>	1,0	0,2
<i>15-30</i>	0,5	0,1
<i>30-50</i>	0,2	0,04
<i>50-90</i>	0,1	0,02

Fonte: Elaborado por Autores.

Tabela 4 – Notas atribuídas a cada classe de Declividade.

DECLIVIDADE (%)	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>0-1</i>	1,0	0,2
<i>1-3</i>	0,9	0,18
<i>3-5</i>	0,8	0,16
<i>5-10</i>	0,5	0,1
<i>10-20</i>	0,2	0,04
<i>>20</i>	0	0

Fonte: Elaborado por Autores.

Tabela 5 – Notas atribuídas a cada classe das Unidades Geológicas

GEOLOGIA	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Depósito eólico não vegetado</i>	0	0

<i>Depósito aluvial de planície de inundação</i>	1,0	0,15
<i>Depósito fluvio-marinho</i>	1,0	0,15
<i>Grupo Barreiras</i>	0	0
<i>Depósito eólico vegetado</i>	0	0
<i>Depósito fluvio-lacustre</i>	1,0	0,15
<i>Depósitos praiais</i>	0,5	0,075
<i>Paleodunas</i>	0	0
<i>Depósitos eólicos arrasados</i>	0,5	0,075
<i>Canais fluviais</i>	0	0

Fonte: Elaborado por Autores.

As unidades identificadas como fora de análise como: os depósitos não vegetados, o Grupo Barreiras, o depósito eólico vegetado e as paleodunas receberam essa classificação por serem áreas que não apresentam risco de inundação do ponto de vista geológico, isto porque são áreas que apresentam altitudes mais elevadas, solos mais profundos e boa drenagem, ou seja, essas unidades apresentam uma boa estruturação, resistindo melhor aos impactos da chuva, favorecendo a infiltração da água e reduzindo a erosão por escoamento.

Tabela 6 – Notas atribuídas a cada classe das unidades de Uso e Cobertura das terras

USO E COBERTURA DA TERRA	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Área urbana</i>	0,9	0,18
<i>Corpo d'água</i>	0	0
<i>Cordão arenoso</i>	0,5	0,1
<i>Dunas móveis</i>	0	0
<i>Vegetação de Mangue</i>	1,0	0,2
<i>Pasto limpo</i>	0,5	0,1
<i>Pasto sujo</i>	0,3	0,06
<i>Solo exposto</i>	0,7	0,14
<i>Vegetação de várzea associada à carnaúba</i>	0,9	0,18
<i>Vegetação arbustiva densa</i>	0,2	0,04
<i>Vegetação de caatinga aberta</i>	0,1	0,02
<i>Área úmida</i>	0	0

Fonte: Elaborado por Autores.

A importância de cada evento analisado foi considerada em função do somatório dos produtos dos pesos relativos das variáveis escolhidas, multiplicado pelas notas das classes em cada unidade das células. Dessa forma, uma vez estabelecido pesos e notas, utilizando-se do algoritmo descrito na (Eq.1) foi feita a multiplicação (*nota x peso*) entre cada unidade e cada parâmetro utilizado.

A manipulação dos dados em SIG foi feita em formato matricial, no qual os elementos foram representados por *pixel*, unidade a partir da qual serão efetuados os cruzamentos. Para isso, os dados adquiridos (geologia, geomorfologia, declividade, uso e cobertura e altimetria) foram convertidos em *raster* e todas as variáveis analisadas tiveram o mesmo tamanho de *pixel*, tamanho estes compatíveis aos objetivos do estudo para que seja feito o cruzamento, conforme (SOARES FILHO, 2000).

Para o mapeamento realizado na pesquisa foram convertidos os arquivos vetoriais para matriciais, utilizando-se uma dimensão de célula de 30 x 30 m.

Em seguida aplicando a função *Raster calculator* do software *ArcGis* obteve-se a soma entre os parâmetros:

$$\text{SOMA} = \text{Geomorfologia} + \text{Altimetria} + \text{Declividade} + \text{Geologia} + \text{Uso e Cobertura das terras}$$

Na sequência, os resultados quantitativos foram transformados em classes qualitativas, como, por exemplo, Muito baixo, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Altíssimo, tendo como resultado o mapa de risco de inundação da planície costeira do estado do Piauí. Método semelhantes também foram empregados nos trabalhos sobre inferência espacial de riscos ambientais a exemplo de Sousa (2015) Crepani et al., (1996), Valladares et al., (2002), Valladares & Faria (2004); Garcia et al., (2006); Meirelles et al.. (2007), Faria et al., (2012) dentre outros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Risco de Inundação na planície costeira do estado do Piauí

A integração das informações realizadas a partir de cálculos algébricos entre diversos mapas temáticos possibilitou estabelecer os parâmetros para a criação do mapa de risco de inundação da planície costeira do estado do Piauí, avaliando a ponderação dos valores que tentassem indicar de forma mais fiel possível, os graus de risco dos ambientes analisados, considerando suas influências antrópicas.

Dessa forma, conforme pode-se observar na (Tabela 7) para a planície costeira do estado do Piauí foram identificadas cinco classes de risco de inundação, estas variando em: Muito Baixo (< 0,4); Baixo (0,4 – 0,6); Moderado (0,6 – 0,8); Alto (0,8 – 0,9) Muito Alto (0,9 – 1) e Altíssimo (>1).

Observa-se que 30,84% da área foi classificada com risco de inundação muito baixo, e a classe de maior expressão geográfica ocupa 270,65 km² da área, sendo esta associada principalmente as áreas de tabuleiro costeiro, pertencentes ao Grupo Barreiras, onde segundo Paula (2010) os solos presentes nessa unidade geomorfológica têm como classes dominantes os neossolos quartzarênicos, argissolo vermelho-amarelo distrófico e os argissolos acinzentados distróficos, recobertos por vegetação do tipo “mata de tabuleiro” e associações do Cerrado, Cerradão e Caatinga em algumas áreas, o que demonstra boa permeabilidade e boa drenagem dos solos.

Tabela 7 – Classes de Risco de Inundação na planície costeira do estado do Piauí.

CLASSES DE RISCO DE INUNDAÇÃO	ÁREA		GRAU
	km ²	(%)	
<i>Muito Baixo</i>	270,65	30,84	< 0,4
<i>Baixo</i>	146,02	16,64	0,4 – 0,6
<i>Moderado</i>	170,47	19,42	0,6 – 0,8
<i>Alto</i>	115,40	13,15	0,8 – 0,9
<i>Muito Alto</i>	76,46	8,71	0,9 – 1
<i>Altíssimo</i>	98,65	11,24	>1
TOTAL	877,65	100	

Fonte: Elaborado por Autores.

A classe de risco baixo ocupa 16,64% (146,02 km²) da área de estudo e localiza-se principalmente nas áreas que correspondem às unidades de paleodunas, dunas estabilizadas e

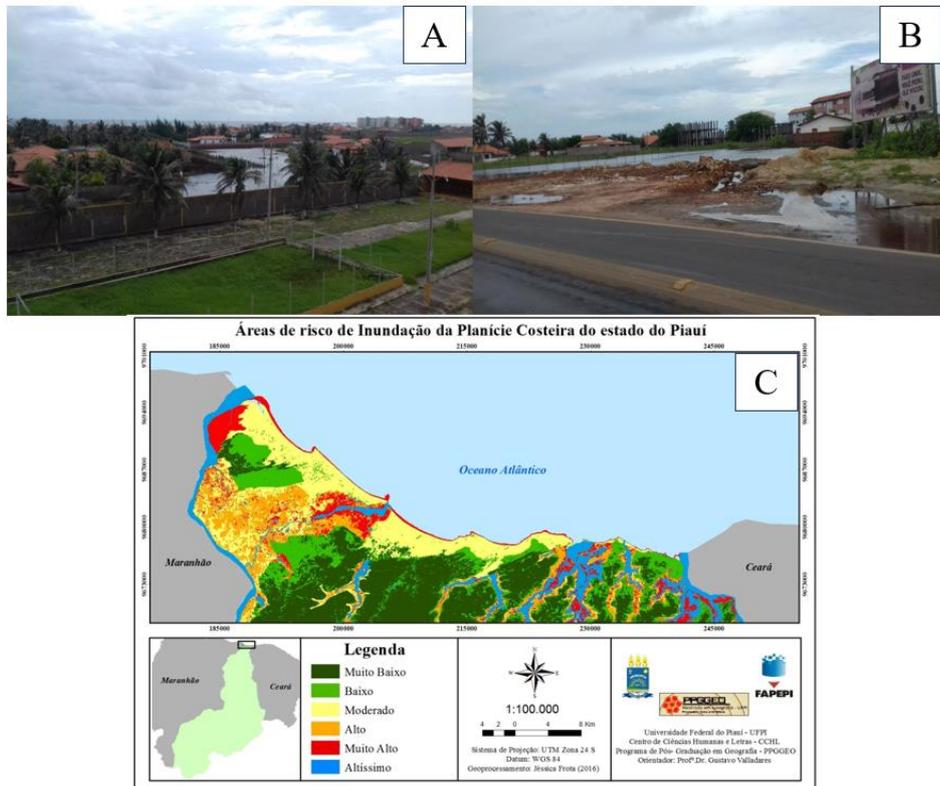
uma pequena parte das áreas de tabuleiros que por localizarem-se em altitudes mais elevadas e no entanto, por serem áreas de contato das unidades: Planície e terraço fluvial e Planície lacustre apresentam uma classe de baixo risco de inundação e não um risco de inundação muito baixo.

As unidades geomorfológicas que se localizam mais próximas da linha de costa, como o cordão arenoso e as planícies eólicas, por se situarem em áreas mais rebaixadas e sofrerem ação direta do oceano, enquadram-se em uma classe já de maior risco sendo classificada de acordo com dados dessa pesquisa como áreas de risco de inundação moderado. Esta classe corresponde a 19,42% (170,47 km²) da área de estudo e são áreas onde há a predominância de Neossolos Quartzrênicos. Segundo Sousa (2015) esta classe apresenta elevado grau de vulnerabilidade ambiental, variando de 2,6 a 3,0 graus.

Já as unidades Planície Flúvio-Marinha, Planície Lacustre e aos Terraços fluviais correspondem as áreas de risco de inundação alto e muito alto. Isso devido principalmente ao fato de situarem-se em áreas correspondentes às planícies de inundação, portanto, muito próximas à rios e lagos, como é o caso da cidade de Luís Correia e Parnaíba, onde, a urbanização desenvolveu-se e vem se desenvolvendo em áreas muito vulneráveis, muito próximas a linha de costa. Segundo Sousa (2015) as áreas próximas à cidade de Luís Correia apresentam grau de vulnerabilidade muito alto e a cidade de Parnaíba apresenta um grau de vulnerabilidade ambiental variando de medianamente estável a moderadamente vulnerável variando de (1,7 a 2,6). Essas classes, por sua vez, representam cerca de 13,15% e 8,71% da área que corresponde a 115,40 km² e 76,46 km², ou seja, uma porção significativa da planície costeira com riscos de inundação.

A população chega a construir casas em áreas de elevado risco, sofrendo a ação de cheias de rios e a ação da erosão marinha, onde o mar avança destruindo casas que estão muito próximas à linha de costa e que desobedecem aos limites estipulados para impedimento desses transtornos. As imagens a seguir (figura 2A, B, C) demonstram a questão dos riscos de inundação na cidade de Luís Correia-PI.

Figura 2 A, B: Área com risco de inundação próximo à praia de Atalaia na cidade de



Luís Correia–PI. Figura 2C: Mapa de risco de inundação da Planície costeira do estado do Piauí.

Fonte: Elaborado por autores.

Vale ressaltar que durante a análise de multicritério realizada por meio do software ArcGis a área que corresponde à unidade planície flúvio-marinha localizada próximo ao rio Parnaíba, grande parte de sua extensão foi submetida a uma correção de pixel por esta estar subdividida em duas classes (Risco alto e risco muito alto). Isso devido principalmente a copas das árvores que se localizam no entorno desta unidade. No entanto, sabe-se que estas áreas apresentam um risco muito alto de inundação.

As áreas classificadas com risco altíssimo representam cerca de 11,24% da área de estudo e estão representadas principalmente pelos deltas e canais fluviais presentes na região, que em sua maioria encontram-se permanentemente inundados, com exceções de alguns canais e/meandros abandonados.

Assim, a partir das análises feitas por meio dos dados geográficos no presente estudo, pode-se observar que, a distribuição espacial das ocorrências georreferenciadas de inundações segue uma lógica que respeita as características topográficas dos locais onde os registros foram amostrados. Isto significa que a espacialização das áreas inundáveis tem relação diretamente proporcional à distância em relação aos canais fluviais, bem como à altitude, à declividade e às feições geomorfológicas da área.

Contudo, nota-se que as áreas que apresentam altitudes mais elevadas (tabuleiros e campos de dunas móveis) apresentam risco nulo de inundação e já as áreas próximas a canais fluviais representam as áreas de maior risco de inundação.

Dessa forma, o mapa de risco de inundação produzido permitiu a compreensão das diferentes classes de risco de cada unidade mapeada, podendo ser utilizado como instrumento de gestão costeira para o desenvolvimento local e regional. O mapeamento também permitiu avaliar as potencialidades da planície costeira do Piauí de forma integrada, compatibilizando suas características naturais às restrições que a mesma apresenta, para edificações em áreas alagadiças e áreas não alagadiças.

CONCLUSÃO

A planície costeira do estado do Piauí é composta de uma diversidade de paisagens e fatores que atuam em interdependência na formação e dinâmica da mesma. Estes, ao atuarem em conjunto trazem transformações significativas ao ambiente modificando-o e modelando-o.

Utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foi possível analisar a dinâmica da planície costeira do estado, e perceber que as mesmas, apresentam ambientes com diferentes fragilidades.

Através do mapeamento de risco de inundação, foi possível identificar a presença de cinco classes de risco a inundação, proporcionando assim, uma separação dos ambientes que apresentam risco muito baixo a risco muito alto. Contudo, notou-se que as áreas que apresentam altitudes mais elevadas destacadas em (tabuleiros costeiros e campos de dunas móveis) apresentaram risco muito baixo de inundação e já as áreas próximas a canais fluviais representam as áreas de maior risco de inundação.

Diante disso, viu-se a necessidade de uma melhor gestão dessas áreas, necessitando de um plano de manejo e políticas públicas que visem uma melhor administração dessas zonas. Vê-se também a necessidade da conscientização das populações no sentido de respeitar as regras relacionadas ao limite proposto para urbanização e assim evitar a construção de edificações em áreas muito próximas à linha de costa.

REFERÊNCIAS

ANDRES, Juliano; CANEPARO, Sony. Cortese; HENDGES, Elvis. Habuske. Riscos de Inundação na Cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de Combinação Linear Ponderada Difusa. IN: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** João Pessoa-PB, Brasil, 2015, INPE.

BAPTISTA, E.M.C. **Caracterização e importância ecológica e econômica dos recifes da zona costeira do Estado do Piauí.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2004, 289 f.

BRASIL. Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico. Região Nordeste do Brasil. **Folha SA 24 Y-A –V Bitupitá.** [S.I.]: SUDENE/DSG, 1972. Escala: 1: 100.000.

BRASIL. Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico. Região Nordeste do Brasil. **Folha SA 24 Y-A-IV Parnaíba.** [S.I.]: SUDENE/DSG, 1972. Escala: 1: 100.000.

CUNHA, Sandra; TAVEIRA-PINTO, Francisco. Aplicação de uma metodologia de análise de risco de inundações à zona ribeirinha do Peso da Régua. IN: 6ª Jornada de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Anais...** FEUP, 211.

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ – FUNDAÇÃO CEPRO. 1990. **Atlas do Estado do Piauí.** Rio de Janeiro: IBGE. 26p.

HORA, Silmara Borges da; GOMES, Ronaldo Lima. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Revista Sociedade e natureza.** (Online) vol.21 no.2 Uberlândia Aug. 2009.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – ISDR – UN. **Secretariat. United Nations documents related to disaster reduction 2000- 2007:** Advance copy. Geneva, UN. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat, 2007.

JANKOWSKI, P. (1995). **Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision-making methods.** International Journal of Geographical Information System, 9, p. 251-273.

LINS-DE-BARROS, Flávia Moraes; MUEHE. Dieter. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. **Quaternary and Environmental Geosciences** (2010) 02 (1):55-66.

NAIME, Roberto; ALMEIDA, Paulo Roberto Coutinho Marques de. Áreas de risco por inundação na área da região urbana do município de Novo Hamburgo - Vale dos Sinos – RS. **Revista Ciência e Natura**, UFSM, 27(1): 71 - 91, 2005.

Muehe D., Fernandez G.B., Bulhões E.M.R., Azevedo I.F. de. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local tomando como exemplo o arco praiado entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios – RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - v. 12, nº 2 (2011).

PEREIRA. Margarida; VENTURA, José Eduardo. AS ÁREAS INUNDÁVEIS EM MEIO URBANO A abordagem dos instrumentos de planejamento territorial. 7º Congresso da Água, APRH, (em CD-ROM, s. p.), 2004.

SOUSA, Roneide dos Santos. **Planície Costeira do Estado do Piauí**: mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental. 138f. (Mestrado em Geografia – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí), Teresina, 2015.

TOMMINAGA, Lídia. Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.p. 196.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

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

VALLADARES, G.S.; FARIA, A.L.L. **SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe**, AL. ENGEVISTA, v. 6, p.86-98, 2004.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro, Ed. do Autor, 228p. 2001.