



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

LUIS FELIPE SANTOS MOURA

**USO DO SIG NA ANÁLISE DO RISCO A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
ITAPIPOCA - CE**

FORTALEZA
2021

LUIS FELIPE SANTOS MOURA

USO DO SIG NA ANÁLISE DO RISCO A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
ITAPIPOCA - CE

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em geografia.

Orientador: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M887u Moura, Luis Felipe Santos'.

Uso do SIG na análise de risco a inundação / Luis Felipe Santos' Moura. – 2021.
19 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Geografia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

1. Inundações. 2. Risco. 3. SIG - Sistema de Informação Geográfica. I. Título.

CDD 910

LUIS FELIPE SANTOS MOURA

USO DO SIG NA ANÁLISE DE RISCO A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ITAPIPOCA
- CE

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em geografia.

Orientador: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

Aprovada em: 26/03/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Elisa Zanella (orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Antônio Lima Ferreira Júnior (avaliador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Marysol Dantas de Medeiros (avaliadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis, pelo apoio financeiro durante toda a minha graduação e ao CNPq pelo financiamento das pesquisas no Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos.

A Profa. Dra. Maria Elisa Zanella, pela excelente orientação.

Aos membros do programa de pós-graduação em geografia participantes da banca examinadora Antônio Lima Ferreira Júnior e Marysol Dantas de Medeiros pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos que de alguma forma ajudaram a chegar a onde eu estou hoje.

“Eu acredito que uma folha de relva não vale
menos que a jornada das estrelas.”

-Walt Whitman

RESUMO

Os desastres naturais causados por fenômenos associados ao clima estão cada vez mais frequentes dentro do ambiente de grandes e médias cidades, e a mudança climática, em conjunto com as atividades humanas já é considerada uma grande aliada dos mais diversos desastres naturais, dentre eles, a inundação. Neste trabalho, o município de Itapipoca, localizado no litoral norte cearense foi alvo de um estudo para se analisar os seus graus de risco à inundação. Para isso utilizou-se a metodologia de álgebra de mapas dentro do ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) com diversos parâmetros do meio físico como: uso e ocupação do solo, tipos de solos, nascentes e matas ciliares, risco geológico, NDWI (Normalized Difference Water Index), carta de pontes e declividade. Cada um deles foi dividido em variáveis e atribuído um peso e manipulados via ambiente SIG o que resultou em um mapa de risco à inundação. A metodologia aqui usada fez com que, numa análise hierárquica, pode-se verificar quais as localizações de maior e menor risco. O estudo demonstrou que as zonas rurais tiveram sua maior parte classificada como risco moderado embora algumas áreas chegam a ser alto ou muito alto risco, mais associado as variáveis físico-ambientais. Já a cidade teve sua maior parte concentrada em alto risco a inundação. Foram avaliados alguns pontos de maior risco e suas possíveis causas, e no fim, confirma-se que a cidade é um ambiente propício para a formação de inundações, intensificadas pela expansão urbana e falta de planejamento urbano dentro da cidade.

Palavras-chave: Desastre. Inundação. Álgebra de Mapas. SIG – Sistema de Informação Geográfica

ABSTRACT

Natural disasters caused by weather-related phenomena are increasingly frequent within the environment of populous cities, but also in medium-sized cities, and climate change, together with the anthropic change in the environment, is already considered a great ally of the most diverse natural disasters, including flooding. In this work, the municipality of Itapipoca, on the north coast of Ceará, was the target of a study to analyze its degrees of risk to flooding. For that, we used the map algebra methodology within the GIS (Geographic Information System) environment with several parameters of the physical environment, such as: land use and occupation, types of soils, springs and riparian forests, geological risk of CPRM (Mineral Resource Research Company), NDWI (Normalized Difference Water Index), bridge chart and slope. Each of them was divided into variables and assigned a weight and manipulated via the GIS environment, which resulted in a flood risk map. The methodology used here makes it possible, in a hierarchical analysis, to check which locations are at higher and lower risk. The study showed that the rural areas had their major part classified as moderate risk with some points that can be high or very high risk, but little connected by anthropic action. The city, on the other hand, had its majority concentrated in high risk of flooding, some points of greatest risk and their possible causes were evaluated, and in the end, it confirms that the city is the ideal environment for the formation of floods, intensified by anthropic expansion actions. and lack of urban planning within the city

Keywords: Natural disaster. Flood Risk. Map Algebra. GIS - Geographic Information System

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Área de Estudo da Pesquisa	13
Figura 2	– Mapa de Declividade de Itapipoca.....	15
Figura 3	– Mapa de Mata Ciliar e nascentes com <i>buffer</i>	17
Figura 4	– Mapa de NDWI.....	18
Figura 5	– Mapa de pontes simuladas.....	20
Figura 6	– Mapa de áreas de risco da CPRM.....	21
Figura 7	– Mapa de solos.....	22
Figura 8	– Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	24
Figura 9	– Mapa de risco a inundação do município de Itapipoca.....	26
Figura 10	– Mapa de risco a inundação da sede do município de Itapipoca.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do relevo da EMBRAPA.....	15
Tabela 2 – Reclassificação da declividade por peso	16
Tabela 3 – Reclassificação do parâmetro de mata ciliar e nascentes.....	17
Tabela 4 – Reclassificação dos valores de NDWI.....	19
Tabela 5 – Reclassificação de pesos para o mapa de pontes.....	20
Tabela 6 – Reclassificação do parâmetro de risco da CPRM.....	21
Tabela 7 – Reclassificação do parâmetro de mapa de solos.....	22
Tabela 8 – Reclassificação do parâmetro de uso de ocupação do solo.....	24
Tabela 9 – Convenções de valores para o mapa final.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1	Área de estudo	13
2.2	Mapas e variáveis	14
2.1.1	<i>Mapa de declividade</i>	15
2.1.2	<i>Mapa de mata ciliar a nascentes</i>	16
2.1.3	<i>Mapa de NDWI</i>	17
2.1.4	<i>Mapa de pontes</i>	19
2.1.5	<i>Mapa de risco da CPRM</i>	20
2.1.6	<i>Mapa de solos</i>	21
2.1.7	<i>Mapa de uso e ocupação do solo</i>	23
2.3	Álgebra de mapas	25
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
3.1	Município em geral	26
3.2	Sede municipal	27
4	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Discutir os eventos climáticos extremos nunca foi tão importante como nos dias atuais, assim como discutir seus impactos dentro do ambiente das grandes cidades. Dentro desse sítio, é importante a atuação do geógrafo como agente crucial na articulação entre os processos naturais e sociais à degradação do ambiente urbano. Coelho (2007) diz que o impacto ambiental não é só resultado: é relação. Os registros históricos e o reconhecimento do processo não finalizam a análise, mas redireciona para as ações mitigadoras. Tais impactos se agravam quando se considera as mudanças climáticas que acabam provocando eventos climáticos extremos com infintos impactos ambientais e danos socioeconômicos.

Um desses eventos, as inundações, provocam prejuízos nas cidades, sejam elas grandes, médias ou pequenas. As zonas urbanas são as mais afetadas por diversos fenômenos climáticos, principalmente diante de eventos extremos. Dentro desse ambiente, a cobertura original do solo foi removida para expansão da malha urbana e com a impermeabilização do solo acontece a diminuição da capacidade de infiltração de água, provocando risco a inundações que ocorrem também por supressão da planície de inundação e problemas de saneamento e drenagem adequadas.

Tominaga et al. (2011), conceitua que a inundação abrange o transbordamento d'água do curso fluvial atingindo a planície de inundação ou área de várzea. Diferentemente do alagamento que é o acúmulo temporário da água em determinados locais ocasionados pela deficiência do sistema de drenagem. Pinheiro (2012) ressalta que nem sempre toda ocorrência de inundação está associada à catástrofe, pois muitos rios possuem suas áreas naturais de inundação. O grande problema é quando há a ocupação humana nessas áreas, cujas inundações podem trazer consequências econômicas e sociais drásticas. Nesse assunto, Cruz et al. (1999) ressalta que o plano diretor urbano de grande parte das cidades foi elaborado sem contemplar os aspectos relacionados à drenagem urbana e à qualidade ambiental das águas superficiais e subterrâneas.

No levantamento de fatores naturais que podem contribuir para a problemática da inundação, existem uma diversidade de referências bibliográficas que podem ajudar na caracterização como por exemplo Tricart (1977), Saaty (1977), Ross (1994), Crepani et al. (2001) ao indicar variáveis e detalhar os níveis de impactos de alguma delas.

Diante da necessidade de auxílio na prevenção desse tipo de fenômeno, o geoprocessamento pode ser uma ferramenta crucial no desenvolvimento de metodologias para verificar áreas de risco de inundação, podendo dar suporte para o mapeamento de grandes

extensões de áreas (JUNIOR, 2001), de forma a caracterizar os problemas e contribuir com o planejamento urbano dessas áreas.

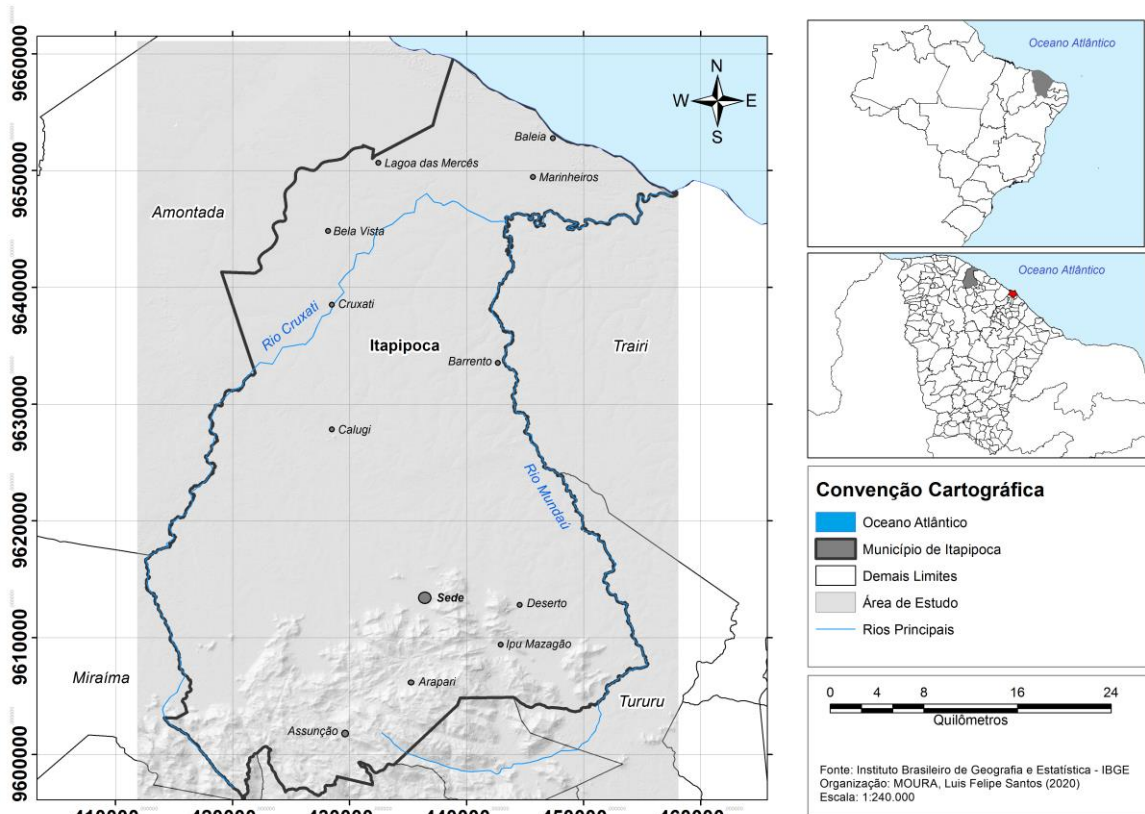
Com isso, o presente trabalho tem como objetivo estudar as áreas de risco a inundação no município de Itapipoca através de métodos dentro do ambiente SIG. Através disso, elaborar mapas, realizar modelagens e avaliar as áreas de maiores riscos à inundação. Tais análises dão subsídios ao planejamento urbano, ações mitigadoras e de gestão das cidades, especialmente para pequenas e médias cidades que experimentam crescimentos desordenados com uma escassa atuação dos órgãos de planejamento

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A cidade de Itapipoca, localizada a 140km de distância de Fortaleza e possui cerca de 130 mil habitantes e se localiza nas coordenadas 3° 21' 42" S e 39° 49' 54" W (Figura 1), com uma forte tendência a expansão urbana.

Figura 1 – Área de estudo da pesquisa: município de Itapipoca



Fonte: Autor.

O município, localizado adjacente à Serra da Uruburetama, possui uma diversidade de solos sendo sua maior parte sendo tipicamente argilosos. O clima da região, segundo o IPECE (2017) é maior parte tropical semiárido brando e a temperatura varia em média entre 26°C e 28°C com uma pluviometria média anual de 1.130mm sendo o período chuvoso de janeiro a maio. O relevo da região apresenta-se bastante ondulado na porção sul do município em função da presença da serra da Uruburetama, suave ondulado na região de tabuleiro e mais plano ao norte, na zona litorânea do município. O município está encaixado na bacia do rio Mundaú, sendo este rio e o rio Cruxati, seu afluente, os mais importantes do município. Dos açudes, os principais são o açude Gameleira, Quandú e Poço Verde (COGERH, 2004).

Segundo dados do IBGE (2020) entre 2000 e 2020 a cidade tem experimentando um elevado crescimento urbano, que não se segue de um planejamento urbano adequado, o que configura em diversas problemáticas, como a poluição de corpos hídricos e o soterramento de pequenos corpos hídricos superficiais, principalmente porque a cidade cresce ao longo de inúmeros córregos, riachos e planícies de inundação. Em vista disso, a cidade, principalmente a sede, forma pontos altamente acometível a inundações.

2.1 Mapas e variáveis

Foi produzido um levantamento sistemático de algumas variáveis representativas no estudo de risco. Também se examinou diferentes bibliografias para complementar os temas a serem estudados e algumas caracterizações foram adaptadas. Os mapas produzidos para a análise de risco podem ser verificados de duas formas: um lado são as que só possuem dois pesos e uma outra, que possui mais de dois pesos. Conforme a metodologia de Mendes et al. (2020), essas duas formas são chamadas de cartas limitantes e não limitantes.

Os mapas com dois pesos possuem duas possibilidades de risco a inundação, com alto e baixo risco, sendo atribuído peso 1 ao baixo risco e 2 ao alto risco. Os tipos de mapas representativos desse tipo de situação são: mapa de solos, mata ciliar e nascentes, mapa de NDWI, mapa de risco da CPRM e Mapa de pontes. Os mapas que possuem mais de dois pesos têm situações mais complexas de risco, aqui, cada mapa recebeu 3 pesos que são: 1 - baixo, 1,5 - moderado e 2 - alto risco a inundação. São eles: mapa de declividade e mapa de uso e ocupação do solo. Em seguida, as variáveis foram associadas através da metodologia de álgebra de mapas dentro do ambiente SIG para a modelagem de um mapa de risco a inundação.

2.1.1 Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi produzido a partir de dados de imagens SRTM obtidos pela USGS – United States Geological Service (2020), utilizando-se do modelo digital de elevação (MDE). Os dados foram tratados no ArcGIS 10.8 por meio da ferramenta *Slope* dentro da opção *Spatial Analyst* obtendo-se porcentagens que variaram de 0% a 81,24%

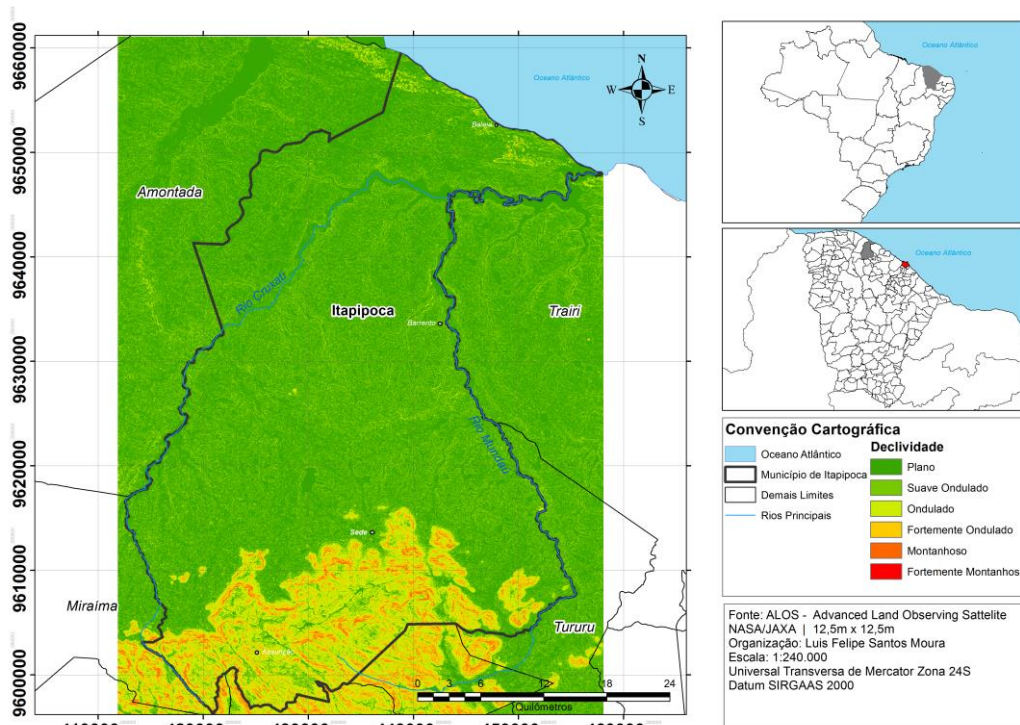
Os valores foram divididos de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979) que resultou nos dados obtidos na tabela 1 e que no fim gerou o mapa de classes de declividade (figura 2)

Tabela 1 – Mapa de descrição da classificação do relevo da Embrapa (1979)

Declividade (%)	Classificação da Embrapa
0 a 3%	Relevo Plano
3 a 8%	Relevo Suavemente Ondulado
8 a 20%	Relevo Ondulado
20 a 45%	Relevo Fortemente Ondulado
45 a 75%	Relevo Montanhoso
>75%	Relevo Fortemente Montanhoso

Fonte: Autor. (2021)

Figura 2 – Mapa de declividade do Município conforme metodologia da Embrapa (1979)



Fonte: Autor. (2021)

Segundo Schechi (2013), as áreas onde ocorrem a presença de declividade mais acentuadas e solos mais rasos conferem condições de fluxo rápido e não há saturação em períodos chuvosos. Com a porosidade preenchida rapidamente, o fluxo rapidamente aumenta com a saturação de poros. Essa condição de relevo acentuado se configura principalmente na Serra da Uruburetama, porém, a maior parte do município se mantém entre plano e ondulado.

Posteriormente, foi feita a reclassificação do parâmetro com o uso da ferramenta *reclassify* dentro do ArcGIS 10.8. Os pesos foram dispostos conforme a tabela 2: baixo, moderado e alto potencial de risco de inundação.

Tabela 2 – Reclassificação das declividades por peso

Declividade	Risco	Peso
> 45%	Baixo	1
8% a 45%	Moderado	1,5
0 a 8 %	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

2.1.2 Mapa de Mata Ciliar e de Nascentes

As matas ciliares, conhecidas como mata de galeria ou mata de várzea, tem papel importante no meio ambiente, e são protegidas pela lei do Novo Código Florestal - NCF (BRASIL, 2012) que inclui também as nascentes. A retirada da mata ciliar acarreta prejuízos ambientais pois facilita a entrada de sedimentos à água prejudicando a vida marinha, expõem a ribanceira dos rios à erosão, impede a filtragem os poluentes, e também inibe a retenção de água da chuva, podendo agravar inundações ou torná-las mais frequentes.

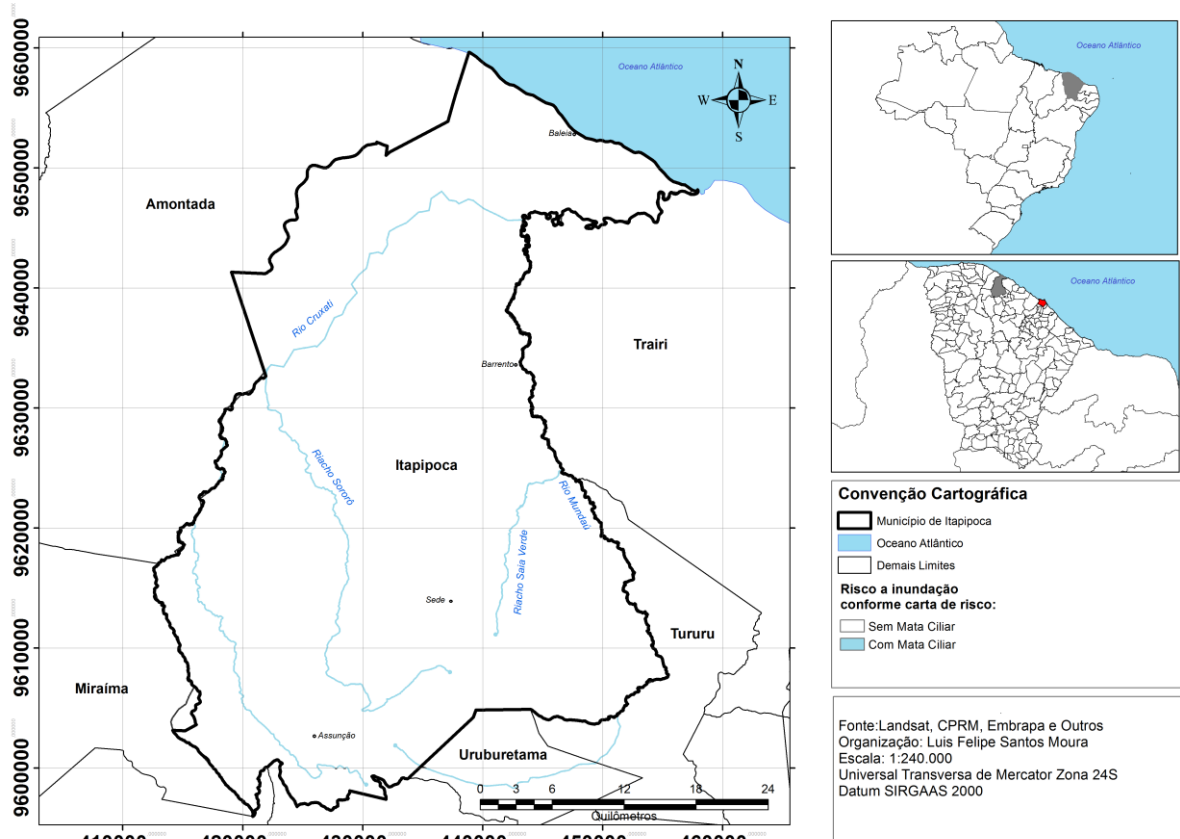
Foram mapeadas as matas ciliares a partir da malha de recursos hídricos disponibilizada pelo IPECE (2008a). A malha foi trabalhada via SIG com a utilização da ferramenta *Buffer* para adaptar os córregos ao NCF (BRASIL, 2012) que institui as adjacências dos rios como Áreas de Preservação Permanente. Seguindo o NCF, foi criado um *buffer* de 30 metros de cada lado do rio para leitos de até 10 metros de comprimento, totalizando 60 metros. Para as nascentes, instituiu-se um raio de 50 metros de APP, também criado por *buffer*.

Os parâmetros do Novo Código Florestal servem de referência de localização de área inundável pois a planície de inundação de rios são áreas de risco a inundação (JUNK, 1980; MENDES et al., 2020). Os pesos atribuídos estão dispostos na tabela 3 e o produto do mapa na figura 3.

Tabela 3 – Pesos atribuídos aos parâmetros de mata ciliar.

Tipo da área	Risco	Peso
Área sem mata ciliar	Baixo	1
Área de mata ciliar	Alto	2

Fonte: Autor.

Figura 3 – Mapa de mata ciliar com *buffer* dos rios e nascentes principais do município.

Fonte: Autor. (2021)

2.1.3 Mapa de NDWI

Índices são ferramentas aplicadas por sensoriamento remoto importantes no monitoramento das alterações no meio ambiente, principalmente aquelas produzidas pelo homem nos ecossistemas. Esses índices utilizam-se do cruzamento de comprimento de ondas de bandas de satélites que são obtidas a partir de cálculo simples entre elas. (GITELSON et al., 1996; PONZONI et al., 2012; RISSO et al., 2012).

O NDWI (*Normalized Difference Water Index*) é um índice que destaca as áreas úmidas em relação aos demais fatores físicos, foi concebido para analisar a dinâmica da água em relação ao solo e a vegetação e por isso, esse índice atualmente tem sido amplamente

usado principalmente em lugares suscetíveis a inundação (BRUBACHER e GUASSELLI, 2013; BORGES et al., 2015; BRENNER, 2016).

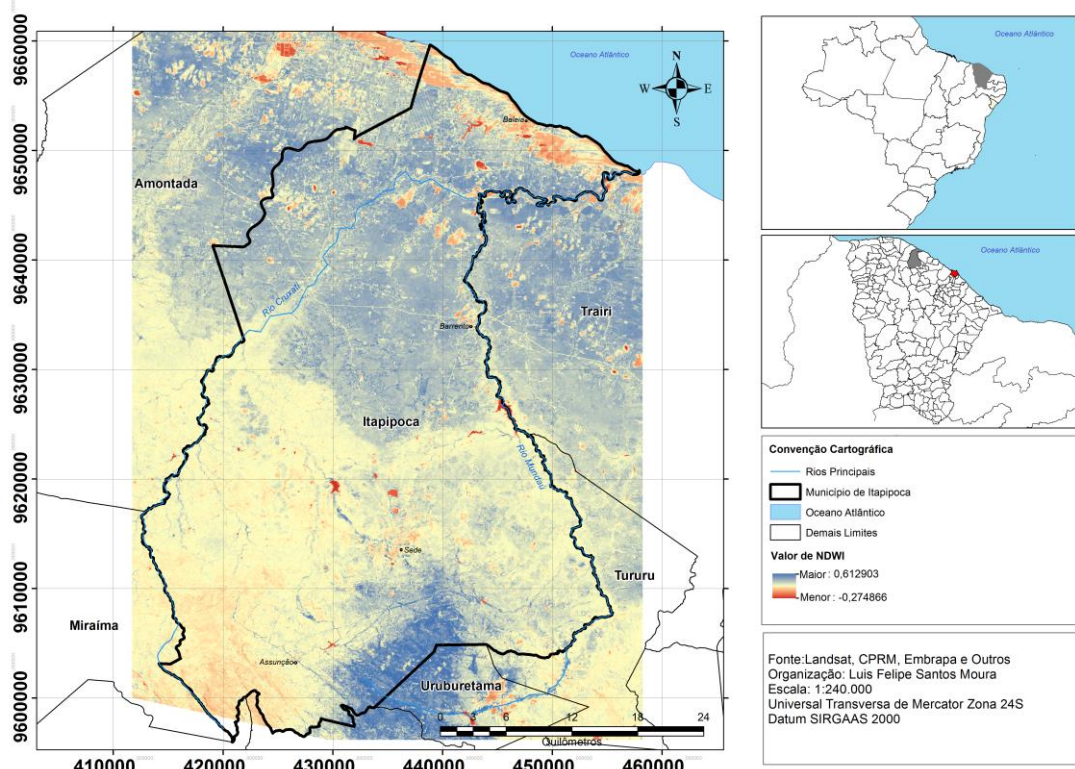
O mapa de NDWI foi produzido com a extração das bandas 5 e 6 do satélite Landsat-8 (INPE, 2019), a escolha das bandas se deve ao fato da água absorver energia no comprimento de onda do infravermelho próximo e infravermelho. A data das imagens é de 25 de maio de 2017. O NDWI utiliza um cálculo conforme demonstra a equação 1, que segue a mesma lógica do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), porém este, analisa a condição da vegetação:

$$NDWI = \frac{B5 - B6}{B5 + B6} \quad (1)$$

Onde: B5 → banda 5; B6 → banda 6

Com a utilização do *raster calculator* dentro do ArcGIS foi possível efetuar o cálculo do NDWI que resultou no mapa da figura 4. Foi percebido que alguns pontos do mapa tiveram interferência das nuvens, porém se constatam apenas numa área próxima a 1% do raster e não afetou a visualização do terreno para a aplicação do método.

Figura 4 – Mapa de NDWI para o município de Itapipoca.



Fonte: Autor. (2021)

Como outros índices, os valores finais variam entre 1 e -1, e constatou-se valores entre $\cong -0,27$ e $\cong 0,61$. Os valores negativos indicam áreas não úmidas como se observa na região de dunas ao norte, e os números positivos representam áreas úmidas como se observa na serra da Uruburetama ao sul. Destarte, o NDWI gerado foi reclassificado de acordo com o risco e os valores estão na tabela 4.

Tabela 4 – Reclassificação dos valores para NDWI.

Valor do NDWI	Risco	Peso
-0,27 até 0	Baixo	1
0,01 até 0,61	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

2.1.4 Mapa de Pontes

Tucci (1995) destaca os seguintes pontos em inundações urbanas: enchentes em áreas ribeirinhas, enchentes por urbanização e enchentes de várzea natural, mostrando que algumas inundações localizadas existem principalmente por estrangulamento da seção do rio devido a aterros, pilares de pontes, estradas, aterros, lixo e erros de execução de drenagem que ficam fora de controle do poder público local e com isso, adutoras, pontes e rodovias são frequentemente projetadas desconsiderando o impacto sobre a drenagem urbana.

Para simular essa compressão dos sistemas hídricos urbanos e não urbanos foram selecionados pontos por onde passam riachos, rios e sangradouros. Para o mapeamento, foi usado imagens do Google Earth Pro para localizar as pontes, localizações pontuais encontradas *in loco*, mapas do IPECE (2008b) e base de dados do IBGE (2019).

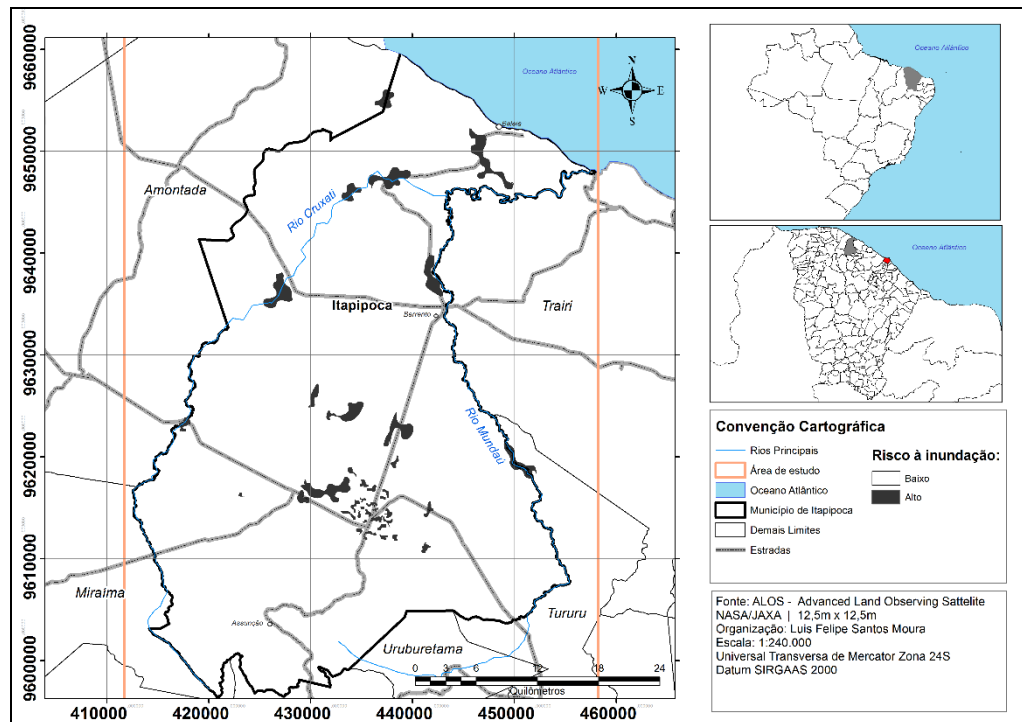
Com o uso do SIG e imagens SRTM do Earth Explorer (USGS, 2020), foi gerado um MDE tratado com o auxílio do algoritmo *r.lake.layer* do GRASS no programa Qgis. Essa ferramenta simula o enchimento de um lago através de um determinado ponto (GRASS-PROJECT, 2012) utilizando o MDE para determinar o nível da água como base de profundidade. Foi gerado então um mapa com áreas inundáveis com base em pontes existentes (figura 5), conseqüentemente, essas áreas são consideradas áreas de risco a inundação, ao qual foi reclassificada conforme mostra a tabela 5.

Tabela 5 – Tabela de pesos para os dados adquiridos do mapa de pontes.

Tipo da área	Risco	Peso
Fora da área inundável	Baixo	1
Dentro da área inundável	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

Figura 5 – Mapa de pontes simuladas por ambiente SIG do município de Itapipoca.



Fonte: Autor. (2021)

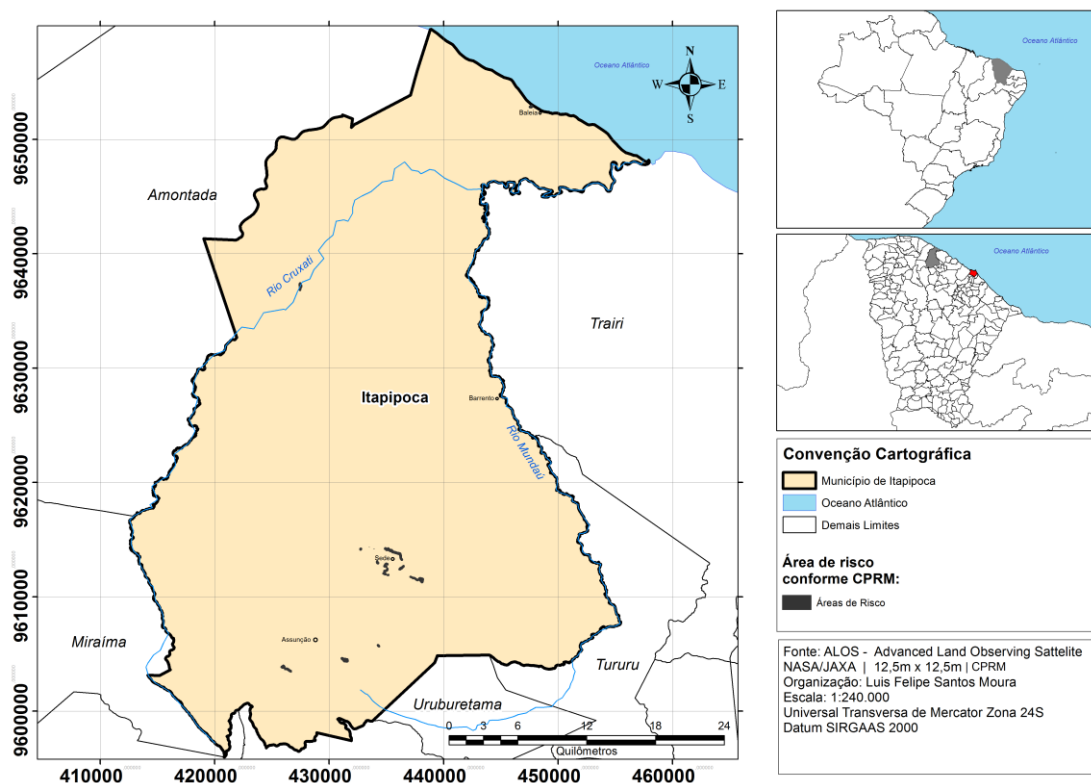
2.1.5 Mapa de Risco da CPRM

A CPRM, ligada ao Serviço Geológico do Brasil, produziu um levantamento geológico sistemático de uma ação emergencial para delimitação de áreas de alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa na cidade de Itapipoca (CPRM, 2015). O trabalho, divulgado no repositório da instituição, disponibiliza todos os arquivos georreferenciados, questionários e outros meios.

O resultado do trabalho detalha cada ponto de risco com descrição, tipologia do processo, grau de risco, imóveis e pessoas em risco e sugestões de intervenção. No trabalho, foram mapeadas áreas bem detalhadas (escalas muito grandes) e por isso foi usado um *buffer* de pouco mais de 20 metros de ampliação de raio caso a área se localize em relevo plano ou suave-ondulado.

Foi executada uma vetorização de acordo com cada ponto descrito pela CPRM que resultou em um mapa que consta na figura 6.

Figura 6 – Mapa de áreas de risco de acordo com a CPRM.



Fonte: Autor. (2021)

Após, foi produzida uma reclassificação para dois valores que são de áreas que são de risco e áreas que não são de risco para esse parâmetro, conforme é demonstrado na tabela 6.

Tabela 6 – Reclassificação dos atributos do parâmetro de risco da CPRM.

Tipo da área	Risco	Peso
Fora da área de risco	Baixo	1
Dentro da área de risco	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

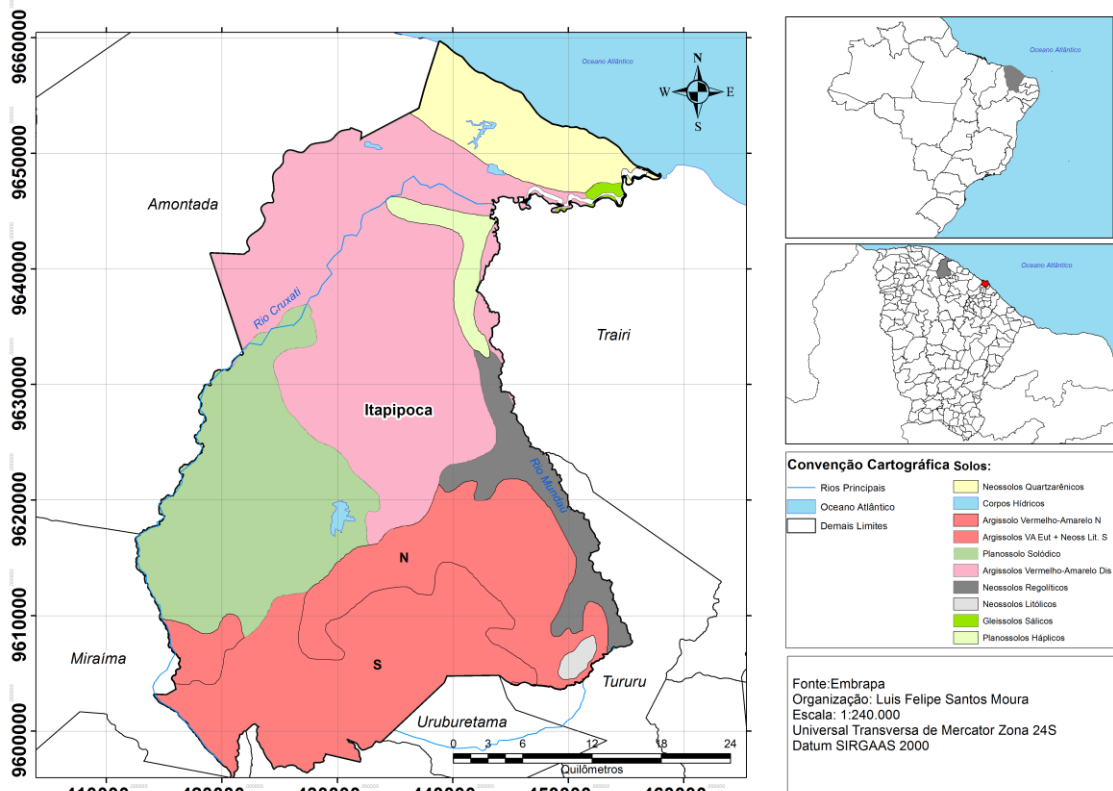
2.1.6 Mapa de Solos

A carta de solos foi baseada no trabalho da Embrapa com o levantamento exploratório de solos de reconhecimento de solos do estado do Ceará (EMBRAPA, 2009). A escala é de 1:600.000 e tem como base o levantamento de 1973, com metadados atualizados. Em Itaipoca, encontram-se os seguintes solos: neossolos quartzarênicos, regolíticos e litólicos; argissolos vermelho-amarelos eutróficos e distróficos; planossolos e gleissolos.

Schwab et al. (1993) relata que solos argilosos como os argissolos e planossolos, possuem má drenagem e podem provocar excesso hídrico superficial, principalmente em depressões. Com baixa condutividade hidráulica, altas precipitações fazem com que o lençol freático se eleve e permaneça por longo período, saturando o solo e podendo formar inundações e alagamentos caso não haja drenagem adequada. Entretanto, os solos arenosos possuem lençol freáticos mais profundos e fácil condutividade hidráulica, porém com suprimento hídrico muito instável, podendo secar rapidamente. (KORCELSKI, 2018).

Para o mapa de solos, foi adicionado metadados ao ambiente SIG gerando o mapa de solos da figura 7. Depois, foi feito um levantamento das descrições, principalmente sobre o teor de argila por textura (JACOMINE, 1973) que por fim, foram reclassificados no ambiente SIG conforme demonstra a tabela 7.

Figura 7 – Mapa de solos para o município de Itapipoca.



Fonte: Autor. (2021)

Tabela 7 – Atributos das reclassificações para o parâmetro de solo.

Característica do Solo	Risco	Peso
Arenoso	Baixo	1
Argiloso	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

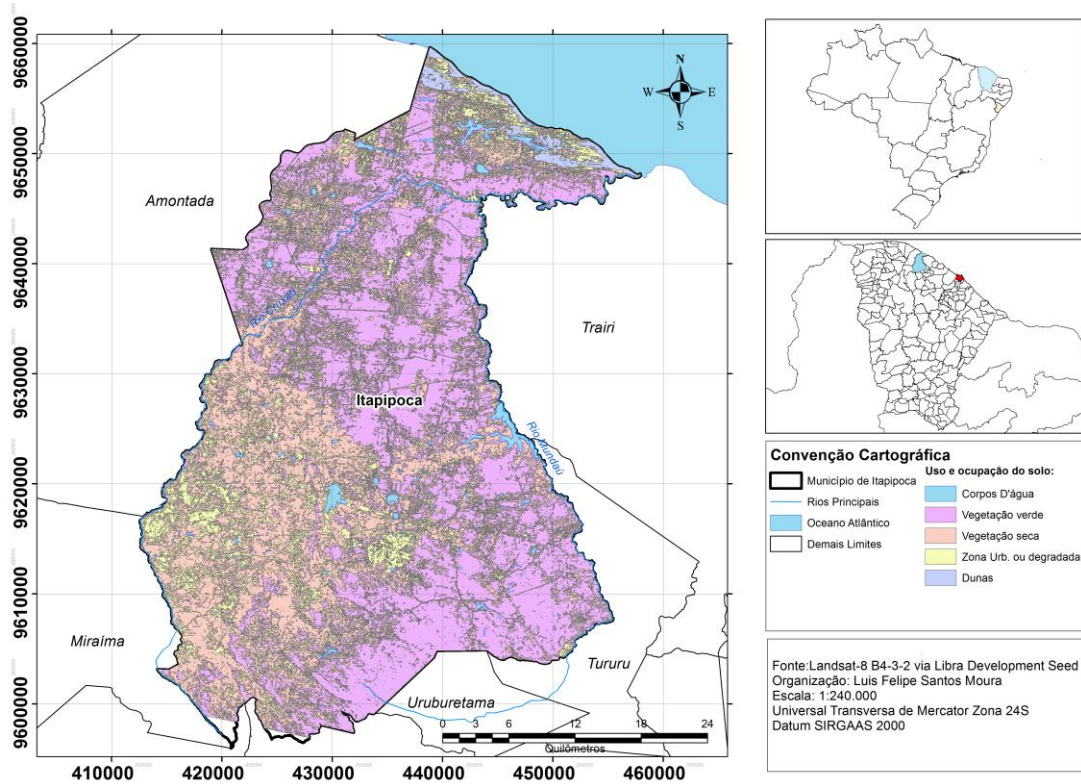
2.1.7 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

As inundações também devem levar em conta as alterações e interações diretas nos sistemas fluviais. Para mapear essas interações, é fundamental um zoneamento, que será a delimitação das áreas de risco em relação às edificações que podem servir de base para o planejamento de uso e ocupação do solo, de forma a, por exemplo, delimitar áreas seguras e áreas de risco.

Tucci (2009) define as etapas do mapeamento de áreas de risco a inundação em duas etapas: (i) - Mapeamento das áreas de inundação com base no risco de enchentes; (ii) - Zoneamento de áreas de risco com base no levantamento da ocupação dessas áreas. Foi produzida a etapa (i) neste parâmetro como subsídio parcial pra obtenção de um zoneamento.

Para mapear, utilizou-se imagens do Landsat-8 sensor TM na órbita 218/62 e 217/63 nas bandas 7-6-4 (INPE, 2019) conhecida por falsa-cor-urbana (RAMIREZ, 2018). Elaborou-se uma classificação supervisionada com o uso do ArcGIS em 46 pontos de controle no município indicando: Corpos d'água, vegetação, zona urbana, áreas degradadas e dunas (figura 8). A área urbana inclui concentrações populacionais como os distritos e a sede; a vegetação pode ser seca ou úmida e é formada pela mata seca e úmida do cristalino, complexo vegetacional costeiro, manguezal e caatinga do cristalino (MORO et al, 2015); os corpos d'água são constituídos de pequenos lagos, açudes e córregos; as dunas são montes arenosos litorâneos, e, as zonas degradadas são zonas agropastoris à sudoeste citada em estudos sobre desertificação, e essas zonas são áreas ricas em planossolos argilosos em par com desmatamento em áreas planas a suave onduladas (BRASIL, 1973, OLIVEIRA, 2001; SALES, 2003; CORRÊA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2004; EMBRAPA, 2006).

Figura 8 – Mapa de uso e ocupação do solo do município de Itapipoca.



Fonte: Autor. (2021)

Após isso, produziu-se uma reclassificação via SIG para determinar os níveis de risco. O zoneamento pode indicar diferentes níveis de intensidade de risco à inundação e por isso, indicou-se três níveis de risco: baixo, moderado e alto (tabela 8) a partir de métodos de classificação geoestatística simples no próprio SIG em *layer properties*. O resultado demonstra que áreas com menor impermeabilização do solo tem valores mais baixos enquanto as áreas de maior impermeabilização têm valores mais altos.

Tabela 8 – Tabela de reclassificação para o parâmetro de uso e ocupação do solo.

Tipo de uso e ocupação	Risco	Peso
Vegetação seca e úmida; Dunas	Baixo	1
Áreas Degradadas (agropastoris)	Moderado	1,5
Área Urbanizada; Corpos D'água	Alto	2

Fonte: Autor. (2021)

2.2 Álgebra de Mapas

A sobreposição de mapas é recorrente no geoprocessamento. Estudos de Tricart (1977), Ross (1994), Saaty (1977) ou Crepani et al. (2001) auxiliam nos estudos em álgebra de mapas ao indicar níveis e variáveis. Este método se baseia no conjunto de procedimentos de análise espacial que produz novos dados a partir de um ou mais mapas através de operações matemáticas em ambiente adequado, principalmente quando se usam muitas variáveis, atribuindo valores e pesos e selecionando alternativas. (TOMLIN *apud* BARBOSA, 1990).

Nesse trabalho, os mapas são balizados por notas, então, para cada um se estabelece uma soma de notas já estabelecidas nas tabelas 2 a 8, que ocorre dentro do ambiente SIG com o *raster calculator* do ArcGIS 10.8 conforme a equação (2). O método se apoia nas operações zonais de Tomlin *apud* Barbosa (1990) de máximo e mínimo zonal.

$$\textit{Mapa de Risco a Inundação} = De + Mcn + NDWI + Mp + Rcprm + S + Uos$$

(2)

Onde: De → Mapa de Declividade; Mcn → Mapa de Mata Ciliar e Nascente; NDWI → Mapa de NDWI; Mp → Mapa de pontes; Rcprm → Mapa de Risco da CPRM; S → Mapa de Solos; Uos → Mapa de Uso e Ocupação do Solo.

A partir do cálculo por álgebra de mapas identificou-se uma hierarquia das áreas existentes com valores que iam de no mínimo 7 e de no máximo 14 que foram divididos em muito alto, alto, moderado e baixo. Conforme a seguinte divisão:

Tabela 9 – Convenções para os valores do mapa final

Intervalo de valores	Convenção atribuída
7,00 – 8,75	Baixo
8,76 – 10,51	Moderado
10,51 – 12,26	Alto
12,26 – 14,00	Muito Alto

Fonte: Autor (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

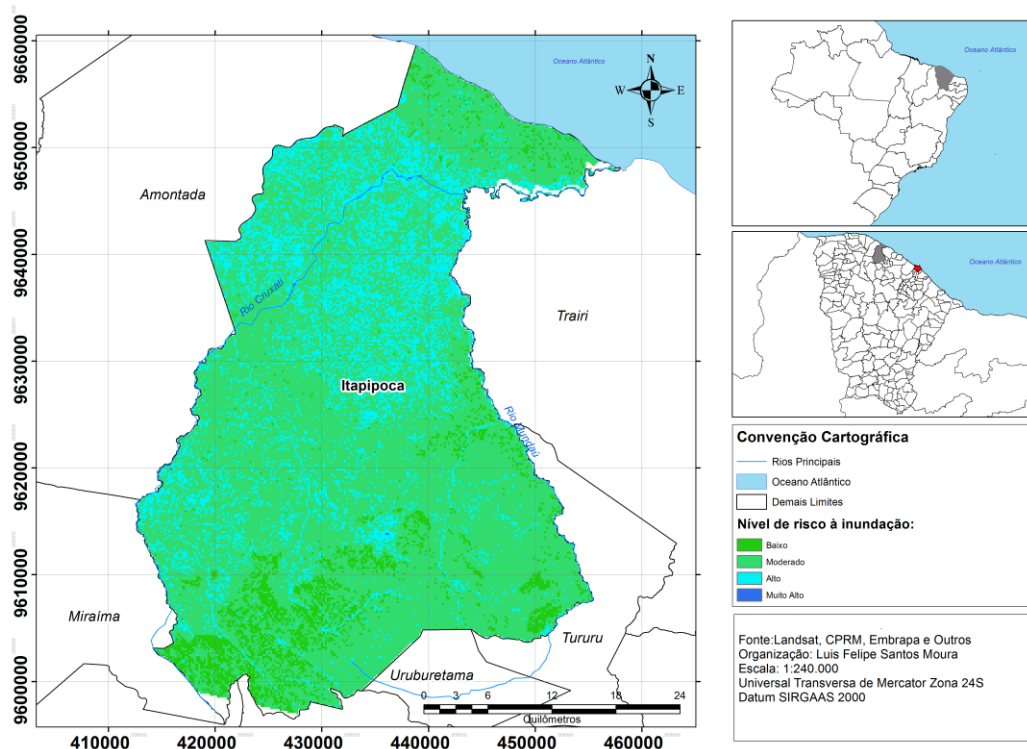
3.1 Município em geral

O mapa final resultante está na figura 10 e evidenciou, no geral, as seguintes assertivas: Regiões litorâneas como os distritos de **Marinheiros, Baleia e Lagoa das Mercês**, ao norte, foram consideradas áreas de risco a inundação moderada. Os solos arenosos existentes na região, em oposição com uma diversidade de lagoas e córregos dos conhecidos “lençóis baleienses” e a baixa densidade demográfica, oscilaram a taxa de risco para um de risco moderado. A ressalva é que no período chuvoso, essas lagoas e córregos existentes tendem a ficar maiores e se distribuir facilmente através do relevo plano litorâneo.

Na região de tabuleiro (ou intermediária) que consiste nos distritos de **Barrento, Cruxati, Calugi e Bela Vista** se observou uma área de risco de intensidade alta. Os agravantes são: a existência de solos argilosos, relevos planos a suave ondulados e principalmente o NDWI, por outro lado, é uma área onde a vegetação é pouco alterada e possui pouco povoamento. Outro destaque está na divisa com Trairi, a leste, também é observado valores altos que se deve a presença da planície de inundação do rio Mundaú na região, e ainda, outro destaque para a localidade de Betânia que fica a margem do rio Cruxati que foi constatada área de risco muito alto a inundação.

Ao Sul, nos distritos de **Assunção e Arapari** na serra da Uruburetama, constatou-se que maior parte da área se resumiu a um risco baixo. Mas denota-se que há mudanças drásticas de risco a inundação que se deve a presença de vales onde passam os rios e também o valor considerável de NDWI que é prevaiente na região. Em geral, é uma área declivosa, de pouca intervenção urbana apenas com o agravante das planícies de inundação dos rios.

Figura 10 – Mapa de risco a inundação do município de Itapipoca.



Fonte: Autor. (2021)

As zonas de muito alto risco do município se apresentaram pontualmente. Constatou-se uma zona da sede municipal, alguns pontos isolados ao longo do rio Cruxati e outros localizados próximos ao distrito de Cruxati, na localidade de Betânia. Isso indica que essas regiões atenderam a praticamente todos os parâmetros de riscos a inundação e que pode servir de alerta para as comunidades próximas. Uma outra zona de alto risco foi constatado na região próxima a nascente do riacho Sororô entre Assunção e Arapari.

A identificação de que a metodologia está sendo aplicada corretamente é demonstrada em relevos íngremes, como em maciços residuais isolados, isso porque essas zonas geralmente constituem baixo risco em variados parâmetros e auxilia na gestão de erros, pois se uma zona íngreme constituir alto risco, deve ser analisada minuciosamente.

3.2 Sede Municipal

Precisamente, a sede do município ocorre recorrentes casos de inundações. Na sede, a zona urbana torna-se um núcleo de alto risco a inundação, isso porque fora da sede existem riscos dispersos e demonstra que a cidade é um ambiente preferencial para as inundações, principalmente pela impermeabilização do solo e ausência de planejamento.

A parte central da cidade detém um núcleo de muito alto risco. Essa zona se localiza no bairro Coqueiro, bairro residencial e comercial, parcialmente pavimentado, adjacente ao riacho das Almas, principal riacho da cidade com exutório no açude Poço Verde.

Ao alterar o mapa principal de 4 para 11 níveis hierárquicos em intervalos iguais colocando em relevância os cursos d'água locais, percebe-se melhor mais pontos de risco percebendo córregos delineando densos bairros, atravessam muitas pontes, cruzam ao lado ou em baixo de residenciais, expostos sem qualquer estrutura de passagens adequadas, além de suprimirem as planícies de várzeas e tornam os pontos de grande risco. Os níveis variam de 1 (baixo) até 11 (muito alto) conforme demonstra a figura 11 ao qual também se apontam 8 localizações da cidade que requerem atenção ao risco e descritas consequentemente:

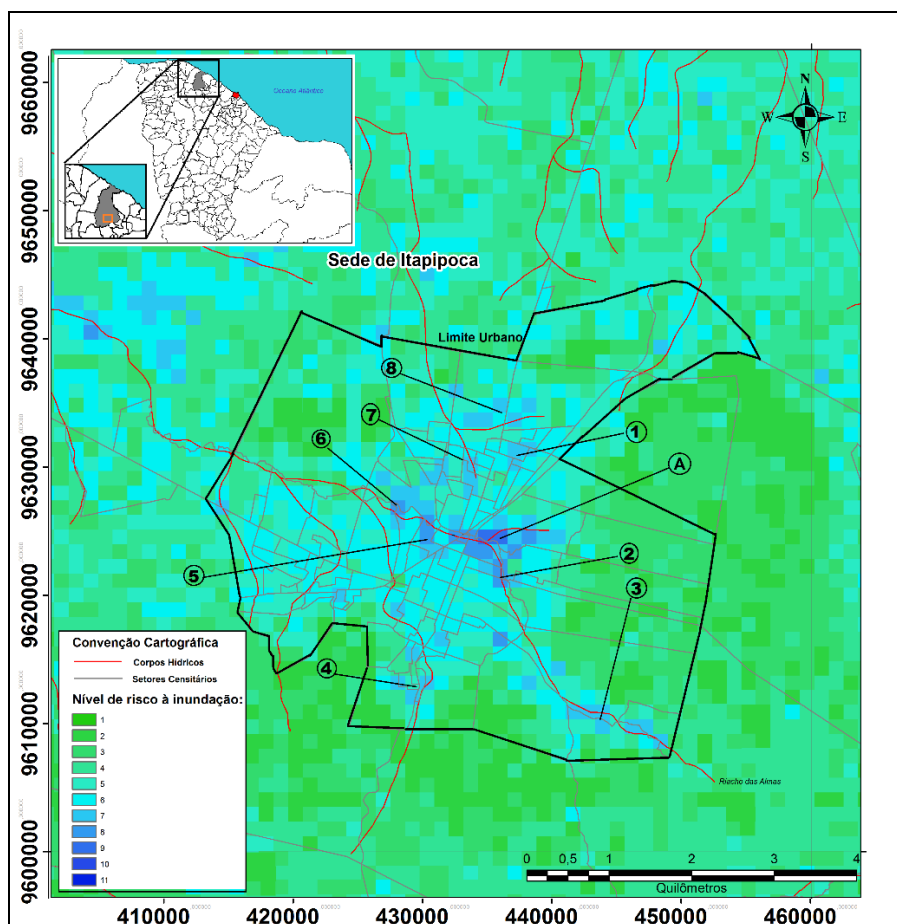
Ponto 1 – Bairro Violeta: O ponto refere-se a uma parte do bairro onde o principal problema é o escoamento superficial, pois mesmo com a existência de pontes, a impermeabilização dos solos e o lixo pode agravar o problema e obstruir esses canais. Além do alto povoamento, as casas se localizam dentro dos córregos que passam por baixo ou pelos quintais dessas casas.

Ponto 2 – Bairro Área Nobre: O principal problema desse bairro é a proximidade com o riacho das Almas que estando suprimido pelas casas, eleva-se e culmina no alagamento das proximidades. Precipitações de pouca intensidade já são suficientes pra alagamentos locais.

Ponto 3 – Bairro Picos: Esse bairro está próximo da região serrana e possui fortes ondulações, entre os declives, existem pontos de cotas baixas e devido a isso e a presença de córregos locais, torna-se um local de risco a inundação e também movimentos de massa.

Ponto 4 – Bairro Ladeira: Assim como o bairro Picos, também está na direção serrana, porém além do agravante das planícies de inundação, esse bairro possui um açude chamado Açude da Nação que ocupa uma grande área de planície inundável dentro da sede e que pode ser de risco para as casas que o cercam e nas proximidades à jusante.

Figura 11 – Mapa de risco a inundação na sede municipal de Itapipoca.



Fonte: Autor (2021).

Ponto 5 – Bairro Estação/Fazendinha: Da mesma forma que o ponto 2, esses bairros também estão na rota do principal riacho da cidade, mas também cercados por planícies de inundação sazonais, em conjunto com solos argilosos, agravam o risco a inundação.

Ponto 6 – Bairro da Exposição: Esse bairro já se tornou alvo de fortes reclamações ao poder público municipal, as ruas são inundadas periodicamente, não há pavimentação e escoamento facilmente atinge o interior nas casas quando as precipitações são mais fortes. Nesse bairro ficam muitas comunidades com baixa qualidade de saneamento básico.

Ponto 7 – Bairro Cruzeiro: Esse bairro também é alvo de inúmeras reclamações. O ponto indicado fica próximo de riachos que cortam a cidade que no período de cheia, juntamente com os solos argilosos, inundam as ruas do bairro e as casas que ficam sobre esse riacho. Esse bairro também tem o agravante de baixa qualidade de saneamento básico.

Ponto 8 – Bairro das Flores: Até uma década atrás, esse bairro era muito pouco habitado, porém, hoje em dia, as casas avançaram sobre regiões naturais, córregos e planícies de

inundação sem o devido anteparo público, além de não haver pavimentação e saneamento nessa área, dentre outros fatores de risco, apresentando risco às moradias que ali estão.

Ponto A – Bairro Coqueiro: As duas análises demonstraram que esse foi o ponto núcleo de mais alto risco a inundação na sede. Isso significa que esse ponto da sede foi o que mais incluiu os parâmetros de risco e se deve, sobretudo, a estes fatores principais: grandes córregos, pontes, supressão de várzea de riachos, assoreamento, remoção da mata de galeria, impermeabilização do solo, falha de drenagem, terreno plano, solos argilosos, e também, o lixo. As inundações são frequentes, principalmente quando os riachos já tem fracas enchentes e com as construções irregulares das casas que não respeitam a margem dos rios, acaba não deixando espaço para a passagem da água, formando inundações e alagamentos.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que existem diversas áreas de risco no município de Itapipoca, parte delas, localizada em área rural que está relacionada a riscos naturais. Por outro lado, a zona urbana se torna um núcleo de alto risco a inundação por conta da alteração antrópica na dinâmica de escoamento. Enquanto o município, em geral, predomina 40,76% de risco moderado a inundação, na zona urbana predomina 55,37% de risco alto a inundação o que comprova que as zonas urbanas tem um alto risco a inundação.

O avanço urbano sobre áreas de planície de inundação e outras áreas mais críticas, sem a devida atenção do poder público, pode acarretar impactos socioeconômicos e à vida. Com isso, esse trabalho traz a sugestão de que seja feita uma rigorosa relação do mapeamento com a ocupação das localizações aqui identificadas como áreas de alto risco e também áreas de ocupação recente, como os bairros Cohab, Bairro de Fátima, Bairro das Flores e Júlio 1, pois acabam sendo construídos sem a fiscalização ambiental

E por fim, compreende-se que esse trabalho pode servir de base para futuros projetos que possam envolver manutenção de sistemas de drenagem, reservatórios de amortecimentos, parques de áreas verdes, ou qualquer outro projeto que venha a minimizar os problemas de inundação decorrentes do processo e expansão da urbanização dentro do município de Itapipoca ou em qualquer outra cidade.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que existem diversas áreas de risco no município de Itapipoca, parte delas, localizada em área rural que está relacionada a riscos naturais. Por outro lado, a zona urbana se torna um núcleo de alto risco a inundação por conta da alteração antrópica nas enchentes de rios e riachos. Enquanto o município em geral predomina 40,76% de risco moderado a inundação, na zona urbana predomina 55,37% de risco alto a inundação o que comprova que as zonas urbanas tem um alto risco a inundação.

O avanço urbano sobre áreas de planície de inundação e outras áreas mais críticas, sem a devida atenção do poder público, pode acarretar impactos socioeconômicos e à vida. Com isso, esse trabalho traz a sugestão de que seja feita uma rigorosa relação do mapeamento com a ocupação das localizações aqui identificadas como áreas de alto risco e também áreas de ocupação recente, como os bairros Cohab, Bairro de Fátima, Bairro das Flores e Júlio 1, pois acabam sendo construídos sem a fiscalização ambiental. E por fim, sublinha-se a importância da preservação das matas de várzea e as adjacências de riachos como essencial para a estabilidade dos ciclos hidrológicos naturais sem afetar a população próxima e na política de limpeza de drenagem urbana pois os leitos assoreiam ou se tornam poluídos com o tempo.

A carga bibliográfica no campo da geografia e do geoprocessamento foram cruciais para selecionar parâmetros e também na influência desses no meio físico-urbano de forma a contribuir na análise dos dados dentro do ambiente SIG que favoreceram a criação de mapas de risco de maneira quantitativa e qualitativa das áreas e suas hierarquias.

E por fim, compreende-se que esse trabalho pode servir de base para futuros projetos que possam envolver manutenção de sistemas de drenagem, reservatórios de amortecimentos, parques de áreas verdes, ou qualquer outro projeto que venha a minimizar os problemas de inundação decorrentes do processo e expansão da urbanização dentro do município de Itapipoca ou em qualquer outra cidade.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. C. et al. **Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico**. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 487-500.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Institui o Novo Código Florestal e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm. Acesso em: outubro 2020.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. **Mapeamento da Área Inundável da Planície do Rio dos Sinos a partir do Índice NDWI, São Leopoldo – RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16; 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 4540-4547.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará.** Recife, 1973. (DNPA. Boletim Técnico, 28).

BRASIL. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC.** Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Disponível em: . Acesso em: 01 nov. 2020

BRENNER, V. C. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do rio Gravataí - RS.** 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142181>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

BORGES, R. de O.; CAMARGO, F. F.; CAMPAGNOLI, F.; BAYER, M. **Aplicação do Índice Diferença Normalizada da Água (NDWI) na Delimitação de Fluxos de Sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat-8 para o monitoramento hidroviário.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17.; 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, 2015. p. 6022-6029.

CPRM. Modesto. Filipe; Gonçalves, Juliana. Serviço Geológico do Brasil. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Itapipoca - CE.** Itapipoca: Repositório Institucional em Geociências, 2015. 1 v.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, 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: SAE/INPE. 2001.

CRUZ, M. A. S. TUCCI, C.E. M., SILVEIRA, A.L.L. **Controle do Escoamento com detenção em lotes urbanos.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.* Vol. 3, N.4, out/dez, São Paulo, p. 19-31,1998.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A. & BASTOS, R. S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB).** *R. Bras. Ci. Solo.* 27:311-324. 2003.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. **Relatório e Plano de Aplicação: Bacia Hidrográfica do Litoral, Características Gerais.** Fortaleza: COGERH/ANA, 2004.

COELHO, M. C. N. **Impactos ambientais em áreas urbanas – Teorias, conceitos e métodos de pesquisa.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.).2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, SNLCS, 83 p. 1979

EMBRAPA. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará.** [Rio de Janeiro]: MADNPEA; Recife: SUDENE-DRN, 2009. 2 v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Brasília, Produção de informação; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS.** Remote Sensing of Environment, v.58, p.289-298, 1996.

GRASS-PROJECT. **Geographic resource analysis support.** R.Lake.Series. system. 2012. Disponível em: <<http://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/r.lake.series.html>>. Acesso em: 07 out. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos Municípios Brasileiros: População.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

_____. **Base cartográfica contínua do Brasil.** Diretoria de Geociências. 4º versão digital. 2019. Disponível em: <http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/metadata.show?uuid=b6587519-14cc-4b00-97b0-4e2e6e380687>. Acesso em: 07 out. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Divisão de Geração de Imagens:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Acesso em 16 set. 2020.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal, 2017: Itapipoca.** Governo do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. Ceará, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Itapipoca_2009.pdf>. Acesso em: 11.set.2020.

_____. **I3geomaps,** 2017: Governo do Ceará. Metadados de Recursos Hídricos. Secretaria do Planejamento e Gestão. Ceará, 2008a. Disponível em: <<http://mapas.ipece.ce.gov.br.php>> Acesso em: 30 set.2020.

_____. **I3geomaps,** 2017: Governo do Ceará. Metadados de Cursos D'Água Secundários. Secretaria do Planejamento e Gestão. Ceará, 2008b. Disponível em: <<http://mapas.ipece.ce.gov.br.php>> Acesso em: 24 ago. 2020.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará.** Embrapa Solos – Divisão de Pesquisa Pedológica SUDENE/DRN. 1973.

JUNK, Wolfgang Johannes. **Áreas inundáveis - Um desafio para Limnologia.** *Acta Amaz.* [online]. 1980, vol.10, n.4, pp.775-795. ISSN 1809-4392. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921980104775>.

KORCELSKI, C.; FONTANELI, R. R. S.; SANTOS, H. P. dos; DALMAGO, G. A.; KLEIN, V. A. **Relações Solo-Planta em sistemas integrados de produção agropecuária.** In: Mostra de Iniciação Científica, 13.; Mostra de Pós Graduação da Embrapa Trigo, 10., 2018, Passo Fundo. Resumos... Brasília, DF: Embrapa, 2018.

MORO, Marcelo Freire et al. **Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará.** *Rodriguésia* [online]. 2015, vol.66, n.3, pp.717-743. ISSN 2175-7860.

MENDES, Y. S.; RIBEIRO, V. O.; FILHO, A. C. P.; GALBETTI, T. A. S. **Álgebra de mapas na elaboração da carta de risco a inundação.** Anuário do Instituto de Geociências. 2020. Vol. 43, n.2/2020, pp. 349-362. ISSN 0101-9759.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada.** Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 2001. 414p.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B. & JACOMINE, P. K. T. **Classificação de solos Planossólicos do Sertão do Araripe (PE).** R. Bras. Ci. Solo, 27:685-693, 2003.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; FERREIRA, M. G. V. X. & A. R. MERMUT, A. R. **Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos Planossólicos do sertão do Araripe, Estado de Pernambuco.** R. Bras. Ci. Solo, 28:665-678, 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação.** 2ª. Ed. Atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.

PINHEIRO, Adilson. Enchente e Inundação. In: SANTOS, Rozely F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. **Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja.** Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.47, n.9 p.1317-1326, 2012.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia (USP),** São Paulo, v. 08, 1994.

RAMIREZ-JUIDIAS, Emilio. **Evolution and Dynamics of Fractal Growth of the Urban Green Spaces in Seville (Spain).** 10.5772/intechopen.72924. 2018.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology,** New York, v. 15, p. 234-281, 1977.

SCHWAB, G.O.; FANGMEIER, D.D.; ELLIOT, W.J.; FREVERT, R.K. **Soil and water conservation engineering.** New York, John Wiley & Sons, 1993. 507 p.

SALES, M. C. L. **Estudos hidroclimáticos e morfopedológicos do núcleo de desertificação de Irauçuba (Ceará)**. Tese de Doutorado apresentado a USP, São Paulo, 2002.

TUCCI, C.E.M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. 1. Reimp. Porto Alegre. Editora da UFRGS; coleção ABRH de recursos hídricos, 2009. 4 v.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, Lídia Keiko. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico. São Paulo, p. 27-38, 2009.

SCHECHI, R.G. Avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia hidrográfica do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 2019.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: Ibge, 1977.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center**. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: 10 fev. 2020.