



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TARCÍSIO DE MOURA FERNANDES NETO

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA MAPEAR RISCO DE INUNDAÇÃO E ALAGAMENTO DA
CIDADE DE ASSÚ/RN**

ANGICOS/RN

2019

TARCÍSIO DE MOURA FERNANDES NETO

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA MAPEAR RISCO DE INUNDAÇÃO E ALAGAMENTO DA
CIDADE DE ASSÚ/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao
Departamento do Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal Rural do Semi-
Árido, para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia civil

Orientador: Andrea Saraiva de Oliveira. Prof.
Msc.

ANGICOS/RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

FF363 Fernandes Neto, Tarcísio de Moura.
u Utilização da ferramenta de sistema de
 informação geográfica para mapear o risco de
 inundação e alagamento da cidade de Assú/RN /
 Tarcísio de Moura Fernandes Neto. - 2019.
 53 f. : il.

 Orientadora: Andrea Saraiva de Oliveira.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

 1. Assú/RN. 2. Mapa de Risco. 3. Drenagem. 4.
Geoprocessamento. 5. Geographic Information
System. I. de Oliveira, Andrea Saraiva , orient.
II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

TARCÍSIO DE MOURA FERNANDES NETO

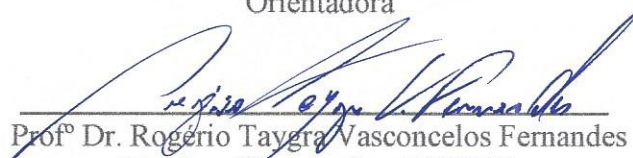
**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
PARA MAPEAR RISCO DE INUNDAÇÃO E ALAGAMENTO DA CIDADE DE
ASSÚ/RN**

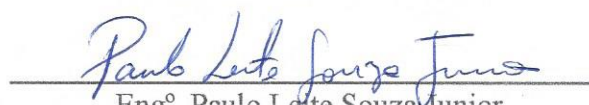
Trabalho Final de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharias para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 13 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA


Profª Msc. Andrea Saraiva de Oliveira
Orientadora


Profº Dr. Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes
Membro Examinador: UFERSA


Engº. Paulo Leite Souza Junior
Membro Externo

DEDICATÓRIAS

Dedico primeiramente, ao meu querido Deus, por sempre me direcionar para os melhores caminhos e sem Ele nada seria possível.

Dedico especialmente aos meus pais, Maria Dalvanira e Francisco Sétimo e as minhas irmãs, Niara Fernandes e Nadjá Fernandes, que são minha fortaleza.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família (tios e primos), por me fazerem lembrar que nos momentos difíceis, nunca estive só.

A minha professora orientadora Andrea Saraiva, pela dedicação e esforço para a conclusão do trabalho e principalmente pela paciência comigo.

Ao meu professor Rogério Taygra, pelos incentivos e ideias à realização do trabalho.

A minha namorada, Isis Medeiros que me acompanha em todas decisões e segue lutando comigo.

Ao meu grande amigo, Laerte Medeiros pelo incentivo e oportunidades.

RESUMO

A urbanização das cidades de forma desordenada e mal planejada nas décadas passadas tem causado atualmente, até nas pequenas cidades, inundações e alagamentos, causando impactos negativos tanto para a economia como também problemas sociais tais como perdas materiais e transtornos em trânsito. A cidade de Assú/RN, devido a sua morfometria e tipos de uso e ocupação, vem alagando as principais vias de trânsito e alguns bairros da cidade, principalmente o centro. Os pontos facilmente alagados são: a Avenida Senador João Câmara, Rua Dr. Luiz Correia de Sá Leitão e rua Moisés Soares. Onde as bacias hidrográficas apresentam ocupação aqui classificadas como do tipo residenciais. As edificações próximas aos cursos de águas e a grande quantidade de impermeabilização sem a preocupação com a drenagem pluvial, aumentam os picos de vazão, causando os transtornos e prejuízos à população. Este trabalho mostra as etapas de elaboração de um mapa de risco de inundação e alagamento para a zona urbana da cidade de Assú/RN, utilizando o artifício de álgebra de mapas, com as informações de hipsometria, declividade e de uso e ocupação do solo. A cada variável foi atribuído pesos, conforme critérios de infiltração e impermeabilização de solo, históricos de alagamento e velocidade de escoamento superficial. As informações obtidas com o mapa de risco de inundação e alagamento foram de níveis satisfatórios e condizentes com a realidade. Este trabalho poderá ser útil ao replanejamento do solo, e ser utilizado como ferramenta de gestão e auxílio para projetos de drenagem de águas pluviais.

Palavras-chave: Assú/RN. Mapa de risco. Drenagem. Geoprocessamento. *Geographic Information System*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro de açudes do Município.....	27
Tabela 2: Classificação de declividade EMBARAPA (1979).....	30
Tabela 3: Classes do uso e ocupação do solo	31
Tabela 4: Atribuição de pesos do mapa hipsométrico.....	32
Tabela 5: Atribuição de pesos do mapa de declividade	32
Tabela 6: Atribuição de pesos ao mapa de uso e ocupação do solo	32
Tabela 7: Critério de classificação dos riscos	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do relevo, a esquerda modelo TIN e a direita MDE	13
Figura 2: Forma das bacias e seus respectivos hidrogramas	14
Figura 3: Diferença entre enchente, inundação e alagamento	16
Figura 4: Comparação do uso e ocupação do solo, nas datas de agosto de 2010 e agosto de 2013	18
Figura 5: Representação de aproximações da forma da terra	22
Figura 6: Fluxograma do mapa de risco de inundação e alagamento	24
Figura 7: Mapa de localização da cidade	25
Figura 8: Sub-bacias hidrográfica da bacia Atlântico Nordeste Oriental	26
Figura 9: Mapa esquemático da bacia Piranhas-Açú	27
Figura 10: Área de estudo	28
Figura 11: <i>Sink</i> preenchido	29
Figura 12: MDE da área de estudo corrigido	34
Figura 13: Prováveis curso de água em suas bacias	35
Figura 14: Mapa hipsométrico e de curvas de níveis	36
Figura 15: Mapa hipsométrico com o efeito de sombreado aplicado	37
Figura 16: Mapa de declividade com um perfil traçado com a ferramenta <i>Profile Tools</i>	38
Figura 17: Corte do perfil traçado	38
Figura 18: Modelo 3D	39
Figura 19: Mapa de uso e ocupação do solo	40
Figura 20: Mapa de risco de inundação e alagamento	41
Figura 21: Rua Prefeito Manoel Montenegro	42
Figura 22: Alagamento da Av. Sen. João Câmara e Ruas 24 de junho, 16 de outubro e Moisés Soares	43
Figura 23: Rua Moisés Soares	43
Figura 24: Rua Dr. Luiz Correia de Sá Leitão com a Av. João Celso Filho	44
Figura 25: Rua João Celso Filho, proximidades do “sinal da rodoviária”	44
Figura 26: Rua João Celso Filho, proximidades da CHESF	45
Figura 27: Rua Ulisses Caldas	45
Figura 28: Rua Monsenhor Júlio A. Bezerra cruzando a Rua Dr. Luis Antônio	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
APP's	Área de Preservação Permanentes
AVNIR-2	<i>Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2</i>
CHESF	Companhia de Hidrelétrica do São Francisco
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEM	<i>Digital Elevation Models</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
PALSAR	<i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PD	Plano Diretor
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PNRRC	Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes
PRISM	<i>Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
ReCESA	Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivos Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1. Conceitos de hidrologia.....	11
3.1.1. Ciclo hidrológico	11
3.1.2. Bacia hidrográfica.....	12
3.1.3. Características da bacia hidrográfica	13
3.1.4. Inundação, enchente e alagamento	15
3.2. Urbanização e drenagem.....	16
3.2.1. Introdução geral	16
3.2.2. Processo de urbanização da cidade de Assú/RN	17
3.2.3. Gestão de planos diretor, drenagem e uso e ocupação do solo.....	18
3.2.3.1. Conceitos.....	18
3.2.3.2. Gestão municipal de drenagem pluvial	19
3.3. Princípios de cartografia e geoprocessamento	20
4. METODOLOGIA	24
4.1. Caracterização do município em estudo.....	24
4.1.1. Localização	24
4.1.2. Clima.....	25
4.1.3. Recursos Hídricos	26
4.2. Delimitação da área de estudo.....	28
4.3. Mapas temáticos	29
4.3.1. Modelo Digital de Elevação	29
4.3.2. Modelo hidrológico.....	29
4.3.3. Mapa hipsométrico	30
4.3.4. Mapa de declividade	30
4.3.5. Mapa de uso e ocupação do solo	30
4.4. Atribuição de pesos e classificação dos riscos	31
5. RESULTADOS.....	34
5.1. MDE da área de estudo	34
5.2. Mapa de bacia de hidrográficas e cursos de água	34

5.3.	Mapa hipsométrico	35
5.4.	Mapa de declividade.....	37
5.5.	Mapa tridimensional das bacias hidrográfica	38
5.6.	Mapa de uso e ocupação do solo.....	39
5.7.	Mapa de risco de inundação e alagamento.....	40
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	42
7.	ANEXOS	48
7.1.	Missão do satélite ALOS PALSAR	48
7.2.	Mapa de risco de inundação e alagamento apenas zonas de alto risco.....	49
7.3.	Mapa de risco de inundação e alagamento.....	50
	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes (PNRRC), através do documento de Gestão do Risco de Inundação (2016), muitas áreas urbanas e rurais são afetadas por inundações de forma periódica, devido as mais diversas formas, seja galgamentos de encostas, chuvas intensas, entre outras. As alterações climáticas é um fator importante ao aumento do risco, tanto pelo aumento da frequência das ocorrências como o incremento do zoneamento das zonas afetadas. Ainda de acordo com o PNRRC, o risco de inundação deve ser integrado no processo do planejamento e aliado às propostas de desenvolvimento territorial.

O controle sobre o risco à inundação se dá por utilização de medidas de que miram reduzir ao mínimo o risco da população exposta. São as medidas do tipo estrutural e não estrutural. As medidas estruturais baseiam-se em obras de engenharia que são implementadas para corrigir e ou prevenir o risco de enchentes, porém são medidas onerosas. (TUCCI, 2005).

As medidas não estruturais, são medidas que visam estimular conscientização da população, uso de regulamentação de normas e programas sociais para o disciplinamento do uso e ocupação do solo, com o intuito de reduzir os riscos e danos das inundações. São medidas com custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação, comparado com as estruturais. (CANHOLI, 2015)

A utilização da cartografia na identificação de áreas de risco, tem sido muito usada nas cidades brasileiras, onde de modo geral, têm como base, a metodologia de cruzamento de dados e informações referentes a aspectos geológicos no caso da litologia, geomorfológicos como a declividade e hipsometria, e de uso do solo. Sendo assim, assume um papel importante na gestão do risco, pois através dela é possível elaborar mapas associando os conhecimentos físico, ambientais e sociais que interferem na dinâmica das inundações. (HORA & GOMES, 2009)

O cenário atual do sistema de drenagem da cidade de Assú/RN ainda é deficiente, assim como é realidade da maioria das cidades do interior no Brasil.

Ultimamente a cidade vem sofrendo muitos problemas com as precipitações até consideradas de baixas e de pequenas durações, ocasionando uma série de problemas de alagamento nas partes mais baixas da cidade. Durante e após esses eventos podem ser observados transtornos na mobilidade, principalmente no centro da cidade e nos locais próximos aos bueiros, devido ao provável subdimensionamento destes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Geral

O trabalho tem como objetivo geral utilizar o Sistema de Informações Geográficas (SIG), para elaboração de mapas temáticos, para obtenção de um mapa de risco de inundação e alagamento da zona urbana da cidade de Assú-RN.

2.2. Objetivos Específicos

- Obtenção de imagens de satélite ALOS PALSAR e posteriormente a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE);
- Elaborar um modelo hidrológico com a delimitação de bacias de drenagem, cursos de águas e caminhos preferenciais de drenagem;
- Elaborar mapa hipsométrico com curvas de níveis de 1 em 1m e de 10 em 10m;
- Elaborar mapa de declividade, expressos em porcentagem e reclassificar conforme modelo da EMBRAPA;
- Criar vetores sobrepondo a imagem da base WMS *Google Map*, identificando cada tipo de feição para criar o mapa de uso e ocupação do solo;
- Associar os cursos de água gerado com o risco de inundação obtido em mapa e tentar concluir se realmente isso acontece baseado em observações e conhecimento sobre histórico de alagamentos;
- Conclusões e sugestões/ideias para trabalhos futuros.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Conceitos de hidrologia

3.1.1. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico global, é um evento de circulação fechada entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulada principalmente pela radiação solar, a gravidade e a rotação terrestre. Diz-se que é fechado apenas a nível global, pois o volume que é evaporado em uma região não é precipitado necessariamente neste mesmo local, isso se deve a vários fatores, alguns deles são os movimentos da terra, variabilidade da cobertura vegetal, dos solos, incidência dos raios solares, etc. O ciclo é dado pelos fenômenos de evaporação e evapotranspiração no sentido da superfície-atmosfera. No sentido atmosfera-superfície, ocorre principalmente pela precipitação de chuvas e neves. (DA SILVEIRA, 2001)

O processo do ciclo hidrológico dá início pela energia solar aquecendo a água superficial, o solo e o ar causando a evaporação da água superficial e a evapotranspiração da água do solo através das plantas. O ar transporta o vapor de água que em situações específicas, pode condensar e formar nuvens e retornar a superfície em forma de precipitação. A precipitação que cai na superfície, pode infiltrar no solo ou escoar superficialmente até atingir um curso de água. A água infiltrada satura o solo, contribui para recarga dos aquíferos e gera o escoamento subterrâneo. (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

Muito embora o ciclo se pareça um processo contínuo, com a água circulando num processo constante, mas o que acontece é bastante diferente, o movimento da água em cada uma das suas fases é bastante aleatório e varia no espaço e no tempo. Em certos casos ocorrerá as chuvas torrenciais que extrapolam a capacidade dos cursos de água provocando inundações e em outras ocasiões não ocorre o fenômeno de precipitação dando a ideia de que o ciclo parou. (VILLELA & MATTOS, 1975)

O estudo das cheias está intimamente relacionado ao ciclo hidrológico. A partir de características de uma bacia hidrográfica, podem-se definir quais parcelas desse ciclo apresentam maior importância, sendo possível, ao utilizar modelos de simulação, desprezar aquelas de menor relevância (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Das parcelas do ciclo hidrológico, as mais importantes para o estudo de drenagem são: precipitação, infiltração, interceptação e retenção e os escoamentos superficiais.

3.1.2. Bacia hidrográfica

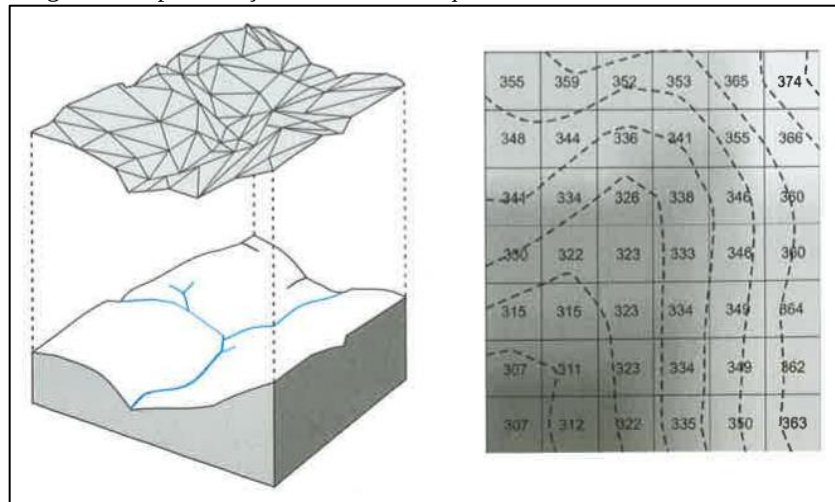
“A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório”. (DA SILVEIRA, 2001)

É composta por superfícies vertentes ligadas entre si e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até convergir para a saída da bacia. A precipitação que cai, infiltra e satura superficialmente o solo e o escoamento superficial começam a crescer, este escoamento é direcionado as redes de drenagem que por fim destina-se ao exutório. A entrada na bacia é todo volume precipitado enquanto que a saída, tem-se subtraído os volumes de infiltração, evaporação e transpiração, mas para facilitar na estimativa de transformação de chuva em vazão, desconsidera-se estas perdas. (DA SILVEIRA, 2001)

As bacias hidrográficas podem ser delimitadas usando procedimentos de identificação manual, encontrando os divisores de água em mapas de papel ou utilizando computadores, que por fim utiliza-se do relevo numérico para demarcar as bacias. (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

A partir da década de 70 a utilização de computadores permitiu a representação do relevo de forma digital ou numérica. Existem três maneiras de representação do relevo no computador, a primeira são as curvas de níveis, a segunda utilizando faces triangulares inclinadas formadas a partir de três pontos de cotas e coordenadas conhecidas, muito usada no modelo tridimensional. São também conhecidas como TIN (*Triangular Irregular Network*). E a terceira forma de armazenar dados topográficos é a utilização de uma matriz em que cada elemento possui um valor de altitude, é conhecido como MDE (Modelo Digital de Elevação) e é a mais utilizada para estudos hidrológicos. Também pode-se utilizar do artifício para ser ter uma melhor visualização, alterando os valores dos elementos da matriz, para cores ou tons de cinza. A Figura 1 ilustra os dois últimos modelos de representação citados. (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

Figura 1: Representação do relevo, a esquerda modelo TIN e a direita MDE



Fonte: COLLISCHONN & DORNELLES (2013)

3.1.3. Características da bacia hidrográfica

Existem vários fatores que influenciam na interação da água da chuva com a bacia hidrográfica, a morfometria é um dos parâmetros que mais se destaca. Estas características morfométricas são associadas ao relevo, comprimento do curso principal do rio, área de drenagem e a declividade. (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

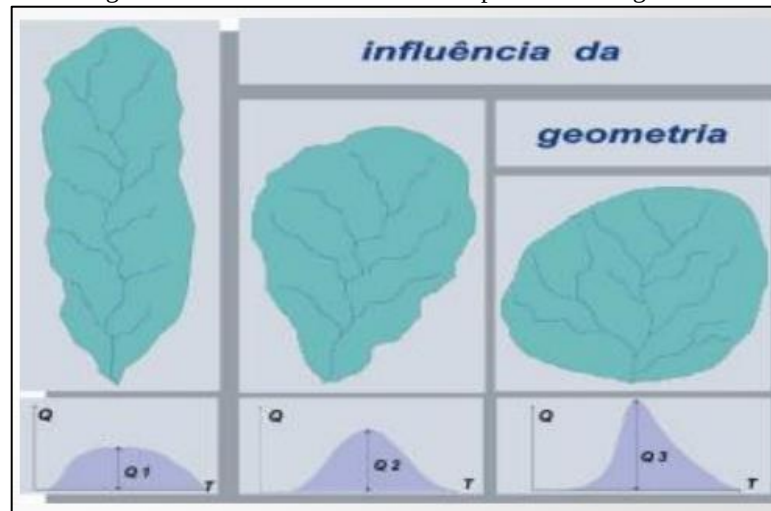
Ainda de acordo com Collischonn & Dornelles (2013), a principal característica da bacia hidrográfica é a área de drenagem visto que caracteriza o potencial hídrico da mesma. Multiplicando-se a área da bacia pela altura da lâmina de água da precipitação em um determinado intervalo de tempo, tem-se o volume captado por esta bacia. Esta é uma característica muito importante na gestão de bacias hidrográficas e águas.

Outra característica importante é a amplitude altimétrica que é a diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo, fornece parâmetros sobre energia potencial disponível no sistema, o que interferirá no potencial erosivo e velocidade de escoamento. (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

Em síntese, considerando as formas geométricas das bacias, podemos classificar em bacias alongadas, intermediárias e arredondada (Figura 2). No geral, quanto mais arredondada, mais propensa a processos de inundação rápida uma vez que todos os fluxos chegam ao mesmo tempo no canal principal e quanto mais alongada, ocorre escoamento mais moderado na bacia, com menor probabilidade de inundação rápida, somado ao fato de receber um aporte menor de chuva devido ao princípio de que a chuva sofre variação no espaço, ou seja, as chuvas são de diferentes pluviosidades e intensidades em diferentes espaços da bacia hidrológica. O grau de

sinuosidade também é determinante na dinâmica de uma inundação, funcionando como mecanismo controlador da velocidade do escoamento das águas. (MELLO; NASCIMENTO & LIN, 2014)

Figura 2: Forma das bacias e seus respectivos hidrogramas



Fonte: CPRM, 2017

Existe outros índices relacionados a forma da bacia, como o coeficiente de compacidade e fator de forma que tentam assemelhar a bacia a formas já conhecidas, a primeira se relaciona com um círculo e a segunda com um retângulo. O fator de compacidade é a relação entre o perímetro P (km) da bacia e a circunferência de um círculo de área A (km²) igual a ocupada pela bacia, quanto maior o valor adimensional de K_c menor será a probabilidade de ser ter enchente, se for igual a 1, então a bacia é circular e quanto menor, maior a probabilidade de ser ter enchentes (VILLELA & MATTOS, 1975)

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Quanto ao fator de forma, é a relação entre a largura média (obtido dividindo a área pelo comprimento da bacia) e o comprimento axial da bacia seguindo o curso de água mais distante.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

Uma bacia com fator de forma baixo é menos propícia a ocorrer enchentes do que outra que possui mesmo tamanho e fator de forma maior.

Villela & Mattos (1975), define tempo de concentração como o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial no ponto de saída, ou seja, o tempo que a água leva dos limites da bacia até seu exutório, está associado a forma e a declividade da bacia.

Existem várias equações para o cálculo do tempo de concentração e cada uma resultará em estimativas diferentes para uma mesma bacia, deve-se conhecer bem a bacia em estudo e a bacia utilizada na formulação da equação para utilizar a mais adequada. A equação de Kirpich é uma equação empírica e é a mais utilizada, pois mostra-se eficiente tanto em bacias pequenas, menores de 0,5km², como também em bacias de médio e grande portes, acima de 12000 km². (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013)

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad \text{Eq. (3)}$$

3.1.4. Inundação, enchente e alagamento

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), faz uma distinção entre enchentes, inundação e alagamento (ver Figura 3), porém relata que apenas enchentes e inundações são fenômenos hidrometeorológicos que fazem parte da dinâmica natural e o alagamento é parte de ação antrópica.

Segundo a CPRM, define-se enchente como o aumento temporário do nível de água normal da drenagem, devido ao aumento da descarga, fica restrito ao leito menor do rio. Já a inundação não se limita apenas a calha principal do rio, extravasa para área que não são ocupadas pelo curso do rio.

Alagamento é definido pelo glossário da Defesa Civil de Minas Gerais, como a água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes chuvas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. A Defesa Civil trata ainda também de enxurrada e cita que a enchentes e enxurradas ambas são exemplos de inundações, porém a primeira é de maneira gradual, enquanto que a segunda vem de forma rápida e inesperada. A figura abaixo ilustra bem os conceitos supracitados.

Figura 3: Diferença entre enchente, inundação e alagamento



Fonte: Proteção e Defesa Civil de São Bernardo do Campo- SP <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/>

3.2. Urbanização e drenagem

3.2.1. Introdução geral

Nascimento (2011), diz que o processo de urbanização no Brasil a partir da década de 1960, teve como característica: “*uma expansão não planejada e muito acelerada, sem o crescimento proporcional dos serviços de infraestrutura urbana, entre os quais os sistemas de drenagem, ocasionaram situações críticas em praticamente todas as regiões do Brasil*”.

Righetto (2009), fala sobre a ocupação do espaço urbano sem a consideração dos seus limites e seus respectivos problemas diretos, causados pelo imediatismo das ações do homem sobre o meio ambiente. Essa expansão de áreas urbanas, caracterizadas principalmente pela mudança nas características da cobertura vegetal e consequentemente aumentando a impermeabilização da bacia, que é um fator de grande influência para a inundação do meio urbano e alterações drásticas da funcionalidade do sistema de drenagem existente.

Um sistema de drenagem eficiente está correlacionado com o nível de desenvolvimento urbano de uma cidade. Porém, na grande maioria das cidades brasileiras, o processo de uso e ocupação do solo acontece de forma desordenada, sem os devidos cuidados, resultando em uma série de problemas de ordem social, ambiental e de infraestrutura. (Produto C– Diagnóstico Técnico-Participativo, 2018)

Um dos impactos causados pela ocupação desordenada, é o aumento do volume escoado, devido à impermeabilização do solo e consequente diminuição da infiltração, fazendo com que uma parcela maior da chuva se transfira para os cursos de água da bacia através do

escoamento superficial. Outro impacto importante, são as enchentes naturais que atingem a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo, por ocupação indevida ou pelo não convencimento dos reais perigos envolvidos na questão.

Braga (1997), cita os principais fatores causadores dos problemas da drenagem urbana associada a países em processo de desenvolvimento.

- Acelerado crescimento da população que vive em áreas urbanas;
- Nível de conscientização baixo e falta de conhecimento da população sobre o problema;
- Planos diretores e planos de longo prazo ineficientes;
- Precária utilização de medidas não estruturais;
- Inadequada utilização dos sistemas de controle de cheias.

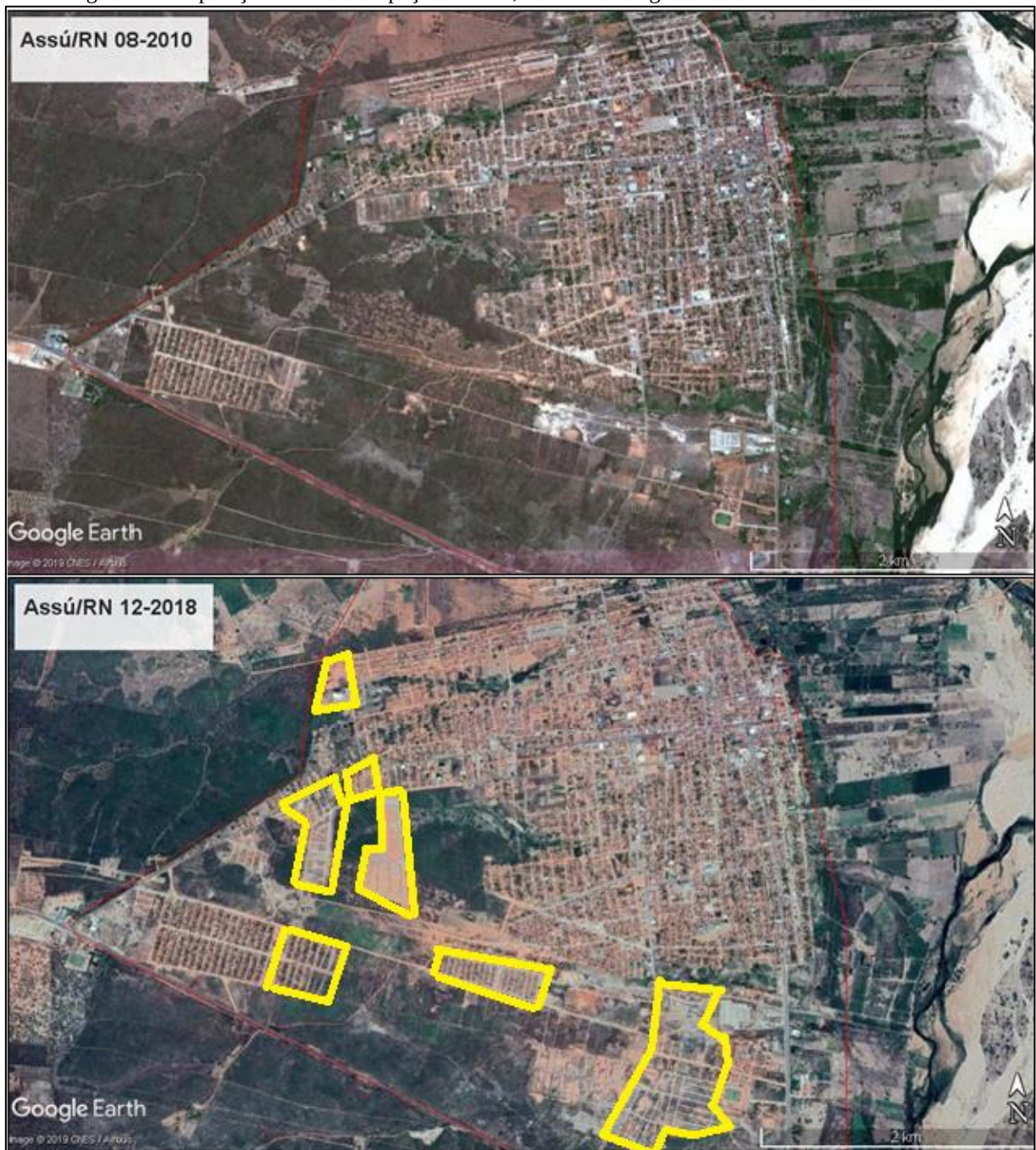
As questões de drenagem urbana, são pontos que só recebem atenção após o surgimento de perturbações e perdas para a população e de consequências negativas em outras áreas estratégicas, tais como a social, ambiental e saúde pública. Miguez *et al* (2016), ainda complementa que as perdas econômicas e sociais diversas incluem: danos em infraestrutura e nas habitações, degradação do ambiente natural e desvalorização do ambiente construído, propagação de doenças de veiculação hídrica, empobrecimento da população com perdas sucessivas e etc.

3.2.2. Processo de urbanização da cidade de Assú/RN

De acordo com o Produto C Diagnóstico Técnico-Participativo (2018), o processo de urbanização do município de Assú teve um aumento de 22% entre 1991 e 2010, com 43.591 habitantes em 1991 para 53.227 habitantes em 2010, atualmente a população é de 57.644 pessoas. Realizando uma média entre 1991 e 2010, o município vem crescendo aproximadamente 1,10% / ano. Analisando estes dados, não há dúvidas do crescimento da cidade e a real necessidade de se pensar em planos que tragam melhorias, conforto e segurança para a população, a drenagem pluvial se insere nesse meio.

No período entre 2010 e 2016, a cidade de Assú/RN passou por um amplo processo de urbanização, e pavimentação das ruas alterando o uso do solo. Analisando a Figura 4, percebe-se uma moderada mudança no uso e ocupação do solo (polígonos destacados na cor amarela), a cidade ganhou novos loteamentos em bairros mais distantes do centro da cidade. Neste mesmo período não houve constatação de obras de drenagem pluvial o que poderá ter sobrecarregado os dispositivos de drenagem já existentes.

Figura 4: Comparação do uso e ocupação do solo, nas datas de agosto de 2010 e dezembro de 2018



Fonte: Google Earth PRO (2019).

3.2.3. Gestão de planos diretor, drenagem e uso e ocupação do solo

3.2.3.1. Conceitos

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 12267/92 Normas para elaboração de Plano Diretor, o Plano Diretor (PD) é “*Instrumento básico de um processo de planejamento municipal para a implantação da política de desenvolvimento urbano, norteador a ação dos agentes públicos e privados*”.

O PD é regulamentado pela Lei Federal n.º10.257/01, mais conhecida como Estatuto da Cidade, pelo Código Florestal (Lei n.º4.771/65) e pela Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei n.º 6.766/79). O Estatuto da Cidade aponta a obrigatoriedade da criação do PD aprovado por lei na câmara de vereadores, para todos os municípios com mais de 20 mil habitantes, cidades integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, cidades em áreas de especial interesse turístico ou inseridas na área de influência de empreendimentos com significativo impacto ambiental. Já o Código Florestal é um instrumento de proteção ambiental a qual autoriza a retirada vegetal de forma sustentável das áreas de reservas legal que não se enquadrem em Área de Preservação Permanentes (APP's). A Lei de Parcelamento do Solo Urbano ordena o espaço urbano destinado a habitação, definindo índices urbanísticos relativos a dimensões de lotes, a previsão da densidade de ocupação permitida em cada zoneamento, recuos de casa, áreas de drenagem, alturas de prédios, larguras de ruas, etc. (Fonte: Blog GPSKAL, 2017)

Basicamente o Plano Diretor deve propor diretrizes que nos guiam sobre o que deve ou não ser feito no território municipal.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) tem como principal objetivo criar diretrizes de gestão da infraestrutura urbana, relacionados com o escoamento das águas pluviais, dos rios em áreas urbanas. Este planejamento mira evitar perdas econômicas e melhora das condições de saneamento, obedecendo o tripé da sustentabilidade da economia, social e ambiental. (TUCCI, 2005)

3.2.3.2. Gestão municipal de drenagem pluvial

A cidade de Assú/RN possui um Plano Diretor (PD) de 2006, como um dos principais instrumentos legais, nele consta poucos artigos relacionado a drenagem pluvial, um deles é o artigo N° 37, Subseção II - Drenagem Pluvial.

Art. 37. Os serviços urbanos de drenagem de águas pluviais deverão ser implementados por meio de sistema natural ou construído, permitindo o escoamento das águas pluviais nas áreas onde ocorre este fenômeno, de modo a propiciar segurança e conforto aos seus ocupantes e às edificações existentes.

§1º São prioritárias para as ações de implantação do sistema de drenagem os locais onde:

Margens e cursos d água onde haja risco de inundações das edificações;

Locais onde o lençol freático aflora com facilidade;

Bacias fechadas em que fica difícil o escoamento natural das águas;

Os projetos novos de loteamentos, de conjuntos habitacionais e condomínios só terão aprovação por parte da Prefeitura se forem contemplados com projeto de drenagem, com soluções que não venham a comprometer terceiros ou o poder público;

Para facilitar a drenagem natural das águas pluviais, cada terreno, ao ser utilizado, deverá deixar uma área desprovida de cobertura impermeável na equivalência de,

no mínimo, 30% (trinta por cento) da área total do terreno, usando cobertura permeável, de modo a impedir que a água drenada em cada área seja carregada para outro local.

§2º Serão dispensados casos especiais onde o terreno não possibilita qualquer das formas de drenagem e ouvido o setor responsável pelo controle ambiental.

Ainda no Art. 55 do PD, diz que para liberar a licença de construção de empreendimentos do tipo condomínio ou conjunto habitacional, com mais de 100 (cem) unidades autônomas, o Poder Executivo exigirá do empreendedor obras de infra-estrutura, como por exemplo: Pavimentação de vias, implementação de sistema de drenagem de águas pluviais, sistema de abastecimento de água, iluminação pública entre outros.

Outro tópico que relata sobre drenagem pluvial da cidade, é o Art. 58 que fala sobre empreendimentos que geram impactos (viários e ambientais) em seu entorno, que devem apresentar uma justificativa técnica informando sobre vários itens, a absorção de águas pluviais é um deles.

Na subseção do parcelamento do solo, Art. 61 faz a proibição do parcelamento do solo em *“terreno de baixa cota, alagadiço ou sujeito a inundações ou acúmulo de águas pluviais, sem que antes sejam adotadas as medidas para escoamento e drenagem das águas”*.

O PD da cidade de Assú, embora possua alguns itens que relacione a urbanização com planejamento de sistema de drenagens de água pluviais, ainda deixa muito vago sobre as áreas que são inundáveis, sujeitas a alagamentos ou zonas de risco e ainda, o que são consideradas terrenos de cotas baixas para se ter um padrão de comparação e análise, deixando brechas para a subjetividade da lei e possíveis erros de ocupação de áreas consideradas inabitáveis ou de riscos. Talvez isso seja explicado pela ausência do PDDU, pois ele determina e direciona os investimentos no setor do saneamento.

Existe outros instrumentos que também tratam do manejo de águas pluviais, são eles o código de obras da cidade e o Produto C Diagnóstico Técnico-Participativo, porém não são tão efetivos como o PD, mas que no seu corpo textual, principalmente o Produto C Diagnóstico Técnico-Participativo, que relata bem a atual situação do saneamento da cidade e em especial a drenagem de águas pluviais, fazendo desde a caracterização das bacias de drenagens até as perspectivas de projetos futuros.

3.3. Princípios de cartografia e geoprocessamento

A definição de cartografia pode ser encontrada facilmente na literatura, porém é válido salientar que ocorre a evolução também do conceito ao longo do tempo, devido ao avanço tecnológico. Rosa (2013), define cartografia como a ciência e arte de representar, por meio de

mapas e cartas, o conhecimento da superfície terrestre. Ciência pelo fato de conter a exatidão ou aproximação da geodésia e matemática e arte pelo fato da questão da organização, clareza e estética na representação.

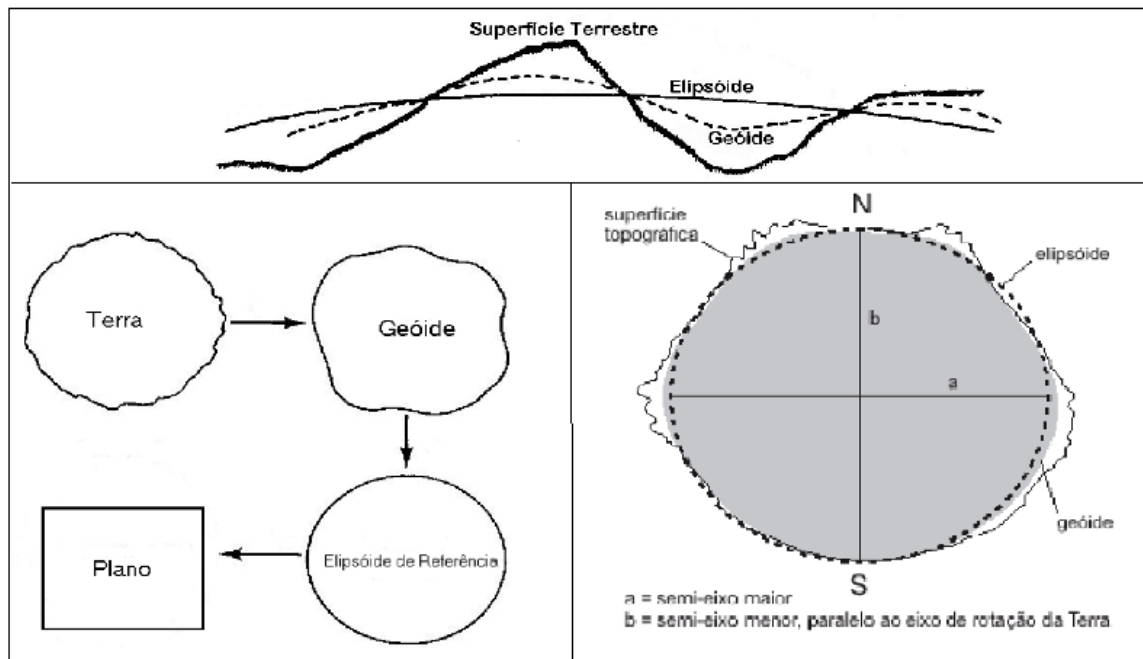
Rosa (2013), relaciona mapa e cartas e diz que no Brasil quando se trata de um documento simples, existe uma tendência em chamar de mapa e quando se elabora documentos um pouco mais complexo, chama-se de carta. E ainda define mapa como:

Representação no plano em geral de escala pequena, apresentando os aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos. (ROSA, 2013. p8)

Ainda de acordo com Rosa (2013), as cartas também são representadas no plano e representam também os aspectos naturais e artificiais de uma área, porém a escala é média ou grande, e a área é tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais (paralelos e meridianos) com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala.

Os formatos e modelos de representação da terra são estudados desde os antepassados e assumia que a terra tinha um formato rudimentar de geóide. Porém, devido as mais variadas atividades humanas surge a necessidade de representação de um modelo matemático para a forma do planeta, e o geóide por não ter uma superfície exatamente lisa, utiliza-se apenas para o nivelamento geodésico. Surge a figura elipsoide que ao girar em torno do seu menor eixo gera o elipsoide de revolução que mais se aproxima do modelo real da terra, assim essa figura tornou-se como a referência básica para todos os cálculos exigidos para uma representação cartográfica. (ROSA, 2013)

Figura 5: Representação de aproximações da forma da terra



Fonte: Adaptado de ROSA (2013)

Cada país busca um elipsóide de revolução que mais se aproxime o geóide local, para que se tenha menor erro possível, definindo as origens para as coordenadas geodésicas referenciadas, através do *Datum* horizontal e vertical.

Então surge-se o conceito de *Datum*, que é um conjunto de pontos e suas respectivas coordenadas que definem os critérios iniciais para a criação de um sistema geodésicos que possuem suas coordenadas e seus marcos. Pode ser dividido em *Datum* planimétrico, que serve de base para os levantamentos horizontais, no Brasil utiliza-se o SIRGAS – 1993 (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) e o outro, é o *Datum* Altimétrico que é definido através de um marégrafo estável. No Brasil, o Marégrafo de Imbituba (SC) - 1958 é a altitude do ponto de origem do *Datum* Altimétrico. (ROSA, 2013)

De acordo com a Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA (2013), o geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de conceitos, métodos e técnicas aplicados na tentativa de resolver um determinado problema.

Existem muitas maneiras de representar os dados espaciais, mas quase todas as variações produzidas são sobre dois tipos básicos de representação. Uma é conhecida como raster e a outra vetorial. A principal diferença está no modelo de espaço que cada uma representa. As estruturas vetoriais se baseiam em um espaço contínuo, já as estruturas raster dividem o espaço geográfico em elementos discretos, requerendo a adoção de uma geometria própria que poderíamos chamar de geometria digital. (ROSA, 2013)

Na representação raster, cada célula é individualmente integrada ao sistema por suas coordenadas, assume que o espaço pode ser tratado como uma superfície cartesiana plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A superfície bi-dimensional sobre a qual os dados estão sendo representados não é uma superfície contínua, mas sim discreta. Esse aspecto interfere na avaliação de áreas e distâncias, principalmente quando o tamanho da célula é grande com relação ao tamanho do fenômeno representado. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno. (ROSA, 2013)

Na estrutura vetorial, é usada uma série de pontos (coordenadas x, y) para definir o limite do objeto ou feição de interesse, é uma tentativa de reproduzir um elemento o mais exatamente possível, assumindo que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Além disto, usam relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam armazenados em menos espaço no computador comparado com o raster, que requerem grandes quantidades de memória em disco. Assume-se o espaço como contínuo, o que permite que todas as posições, distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior. (ROSA, 2013)

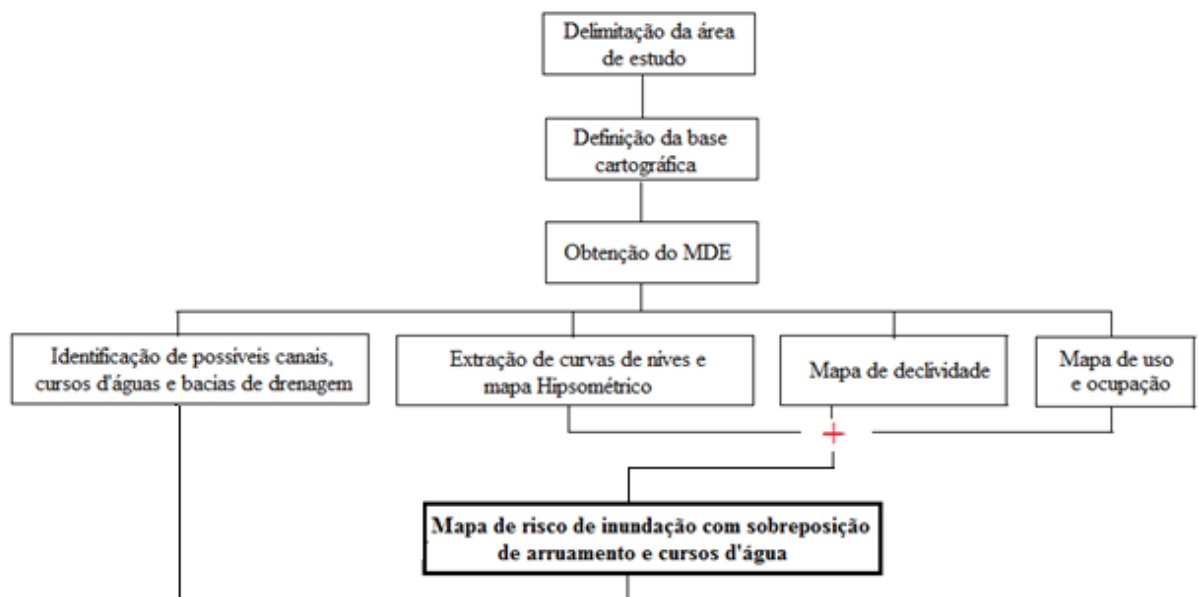
A criação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou em inglês *Digital Elevation Models* (DEM) são qualquer representação da variação contínua de dados físicos no espaço como por exemplo a temperatura, pressão e altitude. Esta representação é feita por um sistema de coordenadas (x, y e z), onde o par de coordenadas (x, y) representa o plano e a outra “coordenada” representa a variação do dado físico. (ROSA, 2013)

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi feita uma caracterização da área de estudo, mostrando aspectos que diretamente influem para a formações de alagamento, são estas: localização, clima, recursos hídricos, etc. Em seguida mostra-se como obteve-se o mapeamento da área de estudo e elaboração que cada mapa temático. Por fim, no tópico de atribuição de pesos e classificação, é detalhado como foram pensados os critérios de classificação das zonas de riscos.

A imagem do fluxograma detalha bem o passo a passo para realização do mapa de risco de inundação e alagamento.

Figura 6: Fluxograma do mapa de risco de inundação e alagamento



Fonte: Autoria Própria

4.1. Caracterização do município em estudo

4.1.1. Localização

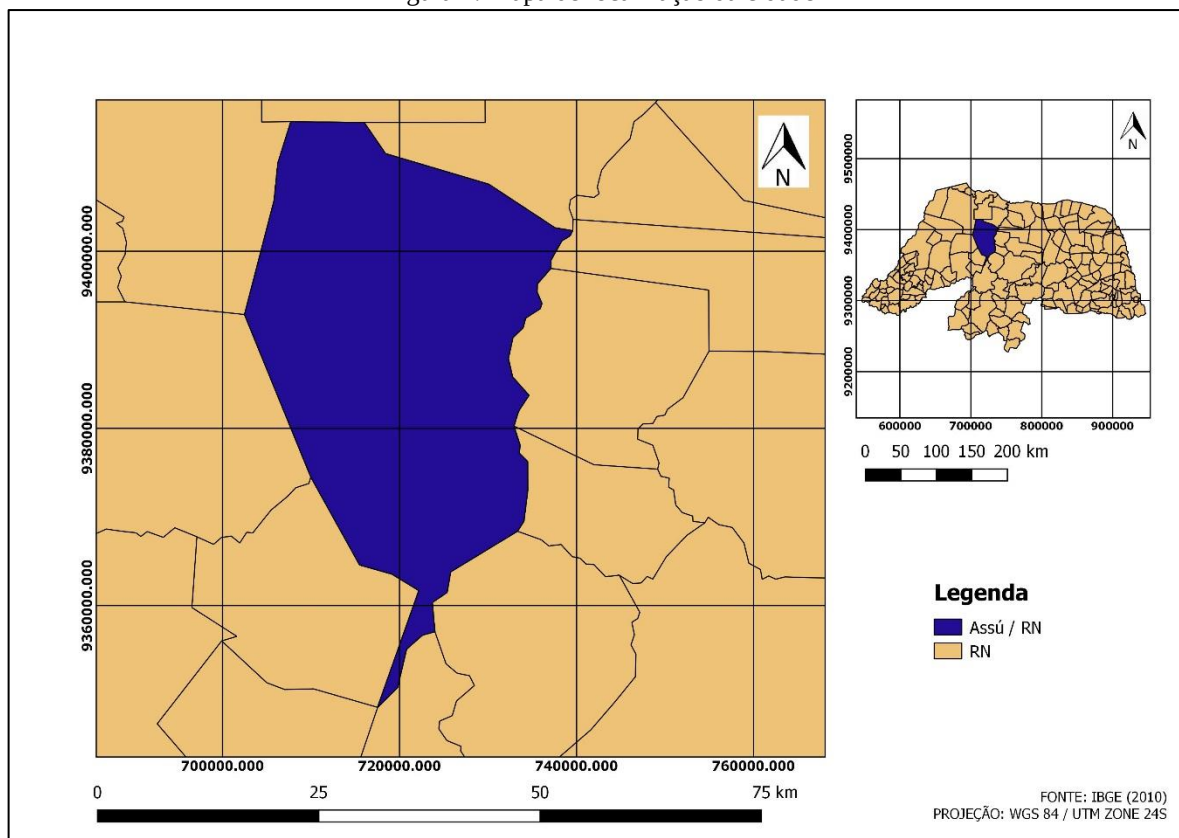
De acordo com o Site da prefeitura municipal de Assú/RN, “Assú é um município brasileiro no interior do estado do Rio Grande do Norte, localizado na microrregião do Vale do Açu, que está na mesorregião do Oeste Potiguar e no Polo Costa Branca, a 207 km da capital do estado, Natal”.

No último censo do IBGE realizado em 2010, a cidade possuía aproximadamente 53.227

habitantes, porém o instituto estima através da taxa de crescimento populacional, que no ano de 2018 a cidade possui 57.644 habitantes. A área territorial do município é de 1.303,442 Km².

A sede do município tem uma altitude média de 27 m e apresenta coordenadas 05°34'37,2" de latitude sul e 36°54'32,4" de longitude oeste. (CPRM, 2005).

Figura 7: Mapa de localização da cidade



Fonte: Autoria própria

4.1.2. Clima

A cidade de Assú está inserida no clima Tropical Equatorial Semi-Árido, apresenta em torno de 2.700 horas de insolação por ano e possui umidade relativa média anual de 70% e altas temperaturas, com média de 28,1°C, máxima de 33,0°C e mínima de 21,0°C. (Produto C Diagnóstico Técnico-Participativo, 2018)

“O município possui um clima do tipo muito quente e semiárido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono, precipitação pluviométrica anual média de 588,8mm, período chuvoso de março a abril”. (CPRM, 2005)

4.1.3. Recursos Hídricos

A Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu está situada na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental e é a maior bacia situada nessa região, com 15% de sua área, que corresponde a uma área de drenagem de 43.681,50 Km². (ANA, 2010)

Figura 8: Sub-bacias hidrográfica da bacia Atlântico Nordeste Oriental



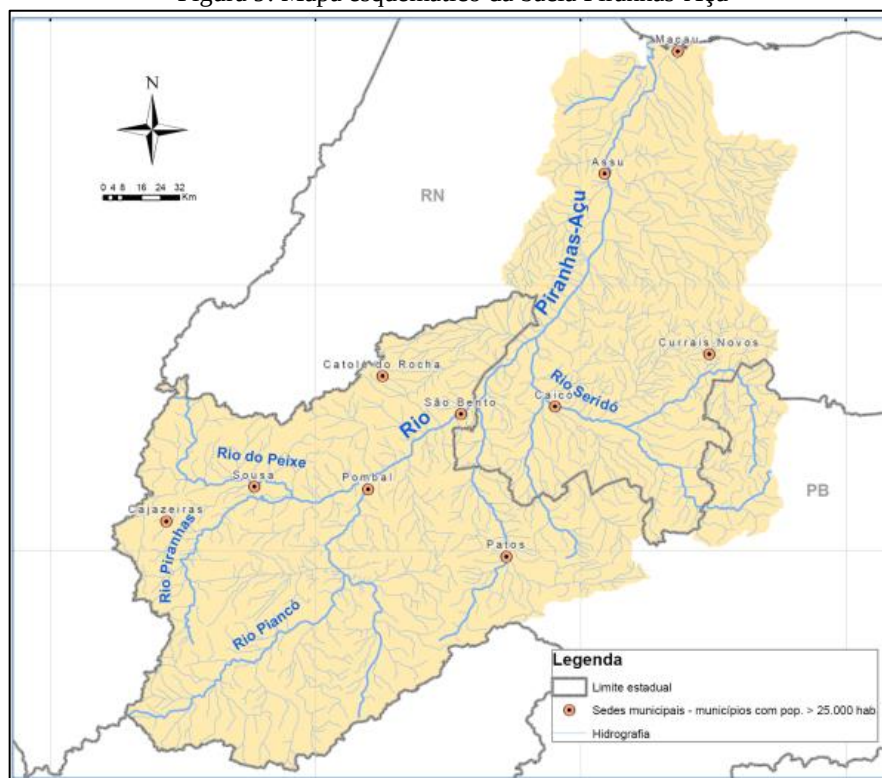
Fonte: ANA (2010)

No estado do Rio Grande do Norte, a bacia ocupa uma superfície de 17.498,5 km², correspondendo a cerca de 32,8% do território do estado do RN. (GAUW, 2004)

A bacia hidrográfica é a Piranhas-Açu e seu rio principal nasce na Serra do Bongá, na Paraíba, com o nome de Piranhas que recebe águas dos Rios Piancó e Peixe. Entra no estado do Rio Grande do Norte pelo Município de Jardim de Piranhas. Abrange 46 municípios e ocupa o 1º lugar em número de açudes e em volume acumulado. É barrado pela Barragem Engº Armando Ribeiro Gonçalves, após a sangria o rio continua o seu curso, passando pela cidade de Macau e desaguando no Oceano Atlântico. (Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável – PTDRS, 2009)

O município de Assú, encontra-se com 95% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, o restante 5% encontra-se dentro da Bacia Hidrográfica Apodí/Mossoró. (IDEMA, 2008)

Figura 9: Mapa esquemático da bacia Piranhas-Açu



Fonte: ANA (2010)

Na parte sul do município, localiza-se o açude público Engº Armando Ribeiro Gonçalves, considerado o maior do nordeste, com capacidade de 2.400.000.000 m³, alimentado pelo Rio Piranhas-Açu. A cidade ainda possui outros açudes públicos e comunitários. (IDEMA, 2008)

Tabela 1: Quadro de açudes do Município

Tipo	Nome	Rio/Riacho Barrado	Capacidade (m ³)
Público	Engº Armando Ribeiro Gonçalves	Rio Piranhas-Açu	2.400.000.000
	Do Limoeiro	Riachos do Campo e Camelos	900.000
	Mendubim	Rio Paraú	76.349.000
	Volta dos Tanques	Riacho dos Tanques	100.000
Comunitário	Do Padre		100.000
	Palheiros	Riacho Paulista e Palheiros	100.000

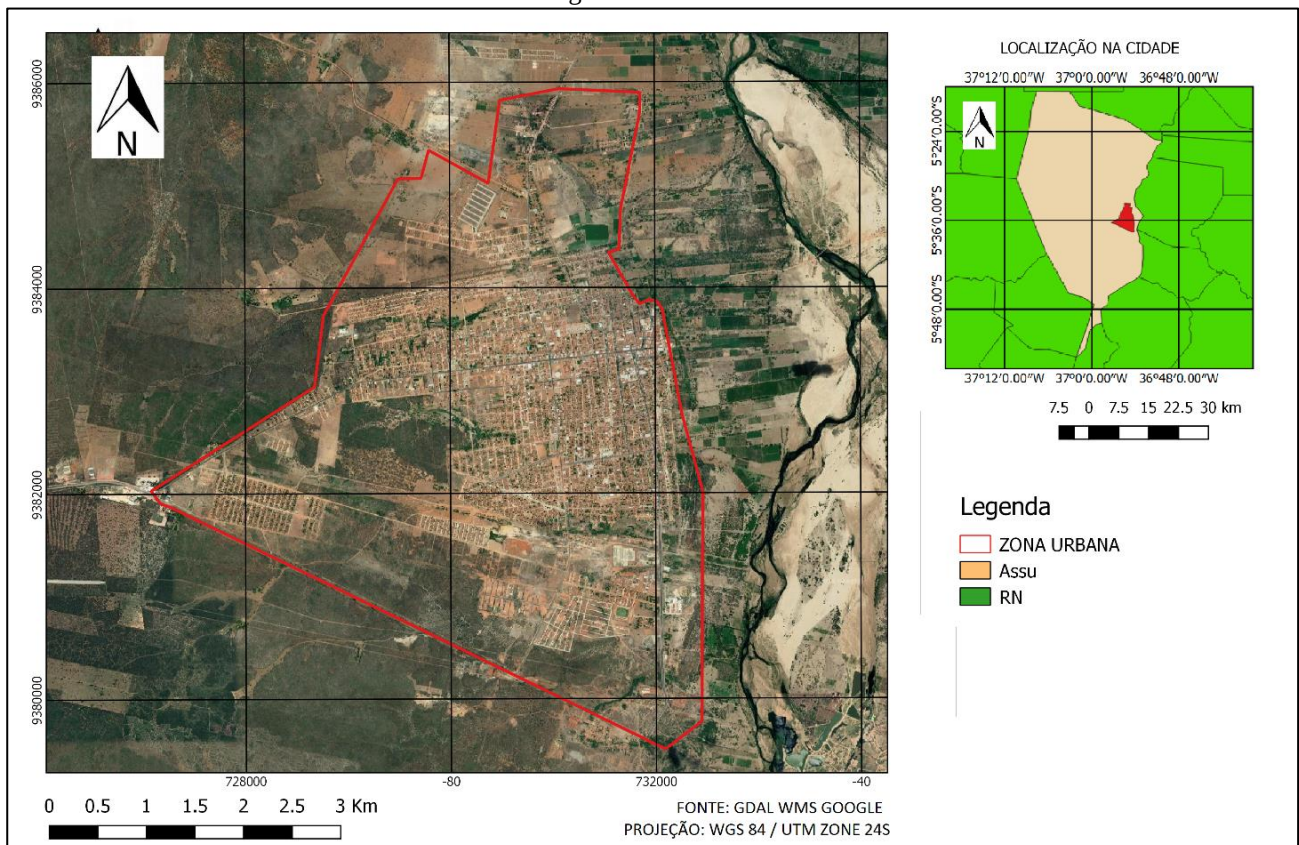
Fonte: Adaptado de IDEMA (2008)

Existe ainda a Lagoa Piató, com aproximadamente 96.000.000 m³ armazenados. Todos os cursos d' água, exceto o do Piató que deságua no Rio Piranhas-Açu, são intermitentes até a barragem do açude Engº Armando Ribeiro Gonçalves, a partir do qual o Rio Piranhas-Açu passa a ser perene. (IDEMA, 2008)

4.2. Delimitação da área de estudo

Foi retirado do Produto Diagnóstico C da cidade de Assú/RN (2018), um polígono da área urbana da cidade de Assú, assim como os bairros que nele estão. Foi feito um georreferenciamento da imagem no *Software* livre *QuantumGIS* (QGIS) para a partir dele delimitar a área de estudo (Figura 10). Esta área de estudo engloba um polígono de 18,9 km² e 20 km de perímetro, localizado aproximadamente na região leste da cidade. Dentro desta área estão situados os bairros Lagoa do Ferrero de fora, Casa Forte, Feliz Assú, Bela Vista, Novo Horizonte, Janduís, Dom Eliseu, Carnaubinha, Centro, Vertentes, São João, Farol, Frutilândia, Parati 2000 e Alto do São Francisco.

Figura 10: Área de estudo



Fonte: Autoria própria

4.3. Mapas temáticos

4.3.1. Modelo Digital de Elevação

A partir da imagem de satélite do ALOS PALSAR - AP_26270_FBS_F7070_RT1.dem (retirada do sítio *Alaska Satellite Facility*: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Detalhes sobre a missão do satélite e sensor nos anexos) a imagem é da data 30 de dezembro de 2010, possui uma qualidade considerada boa, com pixels do tamanho de 12,5m x 12,5m que envolve a cidade de Assú/RN, pôde-se obter o Modelo Digital de Elevação (MDE).

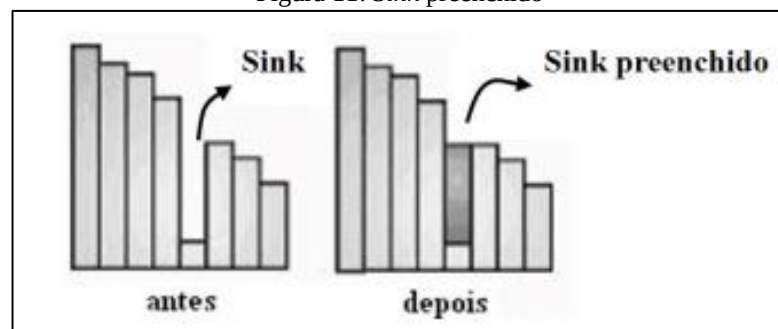
Um MDE representa o comportamento de um fenômeno ou variabilidade de um atributo geográfico que ocorre em uma região da superfície terrestre. (FELGUEIRAS, 2000)

As análises desenvolvidas sobre um modelo digital de terreno permitem: visualizar os modelos em projeção geométrica planar; gerar imagens de nível de cinza, imagens sombreadas e imagens temáticas; calcular volumes de aterro e corte; realizar análises de perfis sobre trajetórias predeterminadas e; gerar mapeamentos derivados tais como mapas de declividade e exposição, mapas de drenagem, mapas de curva de nível e mapas de visibilidade. Os produtos das análises podem, ainda, serem integrados com outros tipos de dados geográficos objetivando o desenvolvimento de diversas aplicações de geoprocessamento, tais como, planejamento urbano e rural, análises de aptidão agrícola, determinação de áreas de riscos, geração de relatórios de impacto ambiental e outros. (FELGUEIRAS, 2000)

4.3.2. Modelo hidrológico

A imagem de satélite geralmente vem com alguns pixels inconsistentes, que destoam muito sua atribuição de um pixel para o outro vizinho, essas falhas são chamadas de *sinks* (ver Figura 11) e são consideradas empecilhos ao escoamento, o que poderia ocasionar uma inconsistência no modelo hidrológico, no caso, pixels que contém valores que não retratam o modelo, poderia indicar, por exemplo um provável acúmulo de água onde não existe. (ALVES SOBRINHO *et al*, 2010)

Figura 11: Sink preenchido



Fonte: ALVES SOBRINHO *et al*, 2010

As correções no MDE, foram feitas usando um algoritmo proposto por Wang & Liu, o

algoritmo *Fill Sinks* da SAGA (que faz parte do *software* QGIS), para identificar e preencher as falhas considerando as altitudes dos pixels vizinhos para obter um MDE mais consistente. Utilizando ainda do mesmo algoritmo, fez-se a identificação das prováveis bacias hidrográficas e seus respectivos cursos de água.

4.3.3. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico também foi gerado pelo MDE da imagem de satélite da missão do ALOS PALSAR. Primeiramente, obteve-se as curvas de níveis intervaladas em 1 metro e em seguida curvas de 10 metros de equidistância para fazer curvas mestras e depois rasterizar para aplicar cores de forma a melhorar a visualização através de cores e não por linhas rotuladas.

4.3.4. Mapa de declividade

De acordo com o site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal. Os valores de declividade podem variar de 0° a 90°, mas também pode ser expresso como porcentagem.

Utilizou-se o MDE da área de estudo, para se obter a declividade do terreno expressa em porcentagem, mas como a classificação feita pelo programa dificultava a identificação do relevo, foi feita uma reclassificação do arquivo com o algoritmo do R. RECODE do SAGA. A reclassificação foi baseada no modelo da EMBRAPA.

Tabela 2: Classificação de declividade EMBRAPA (1979)

Declividade	Discriminação
0 - 3 %	Plano
3 - 8 %	Suavemente Ondulado
8 - 20 %	Ondulado
20 - 45 %	Fortemente Ondulado
45 - 75 %	Montanhoso
>75 %	Fortemente Montanhoso

Fonte: Adaptado EMBRAPA

4.3.5. Mapa de uso e ocupação do solo

A identificação dos principais usos do solo, com vistas à elaboração do mapa de uso e ocupação do solo na área em estudo, foi realizada por meio de vetorização da superposição de

imagens como visto no *Web Map Services* da base de mapas do *Google* (GDAL WMS *GOOGLE MAPS*). A partir do visto no mapa e as vezes comprovando no *Google Street View* ou ainda reconhecendo a área, foram feitas as identificações e classificações das feições de forma manual.

A tabela abaixo, mostra como foi feita a classificação de cada categoria, as considerações foram realizadas considerando como critério a semelhança de impermeabilização do solo, embora saibamos que os mais diversos tipos de vegetação possuem uma taxa de retenção e suporte ao solo diferentes, porém não seria viável sair identificando cada tipo de vegetação.

Tabela 3: Classes do uso e ocupação do solo

CLASSES	DESCRIÇÃO
Residências	Casas
	Praças / Área de lazer
	Comércios
	Escolas / Igrejas
Pavimentação	Asfáltica
	Paralelepípedos
Ruas de terra	Estradas de areias
	Estradas de piçarro
Vegetação / Pastagem	Gramíneas
	Grandes/Pequenos Arbustos
Solo exposto	Tudo que não é considerado nas classificações acima

Fonte: Autoria própria

4.4. Atribuição de pesos e classificação dos riscos

Após o término da elaboração dos mapas temáticos, baseado em critérios de impermeabilização, infiltração, históricos de alagamentos e velocidade de escoamento, foram atribuídos pesos de forma que cada mapa terá seus pixels baseado nesses pesos para no fim realizar-se o processo de álgebra de mapas (soma de mapas) para a concretização do mapa de risco a inundação e alagamento.

Para o mapa hipsométrico, utilizou-se de pesos variando de 1 a 8. A tabela abaixo foi subdividida em 6 variações de cotas, por conhecimento das cotas da cidade e de locais que facilmente e dificilmente alagavam, pôde-se atribuir pesos de forma que, quanto menor o peso, menor o risco de alagamento, no caso de locais que possuem cotas acima de 83m recebeu o peso 1, pois dificilmente será alagado e assim seguiu a atribuição.

Tabela 4: Atribuição de pesos do mapa hipsométrico

Mapa Hipsométrico (m)	Pesos
> 83	1
83 – 68	2
68 – 52	4
52 – 37	6
37 – 21	7
21 – 0	8

Fonte: Autoria Própria

Para o mapa de declividade, o processo foi muito semelhante ao do mapa hipsométrico, quanto maior a classe de declividade um maior o peso foi atribuído, devido menor probabilidade de infiltração e consequentemente maiores velocidades de escoamento superficial.

Tabela 5: Atribuição de pesos do mapa de declividade

Mapa de Declividade (%)	Pesos
0 - 3	1
3 - 8	2
8 - 20	3
20 - 45	4
45 - 75	5
>75	6

Fonte: Autoria Própria

No mapa de uso e ocupação do solo, pensou-se no critério de impermeabilização para atribuição do peso. Dividiu-se o uso do solo em 5 classes como já mencionado na tabela 3. Abaixo segue a tabela com os seguintes pesos.

Tabela 6: Atribuição de pesos ao mapa de uso e ocupação do solo

Uso e Ocupação	Pesos
Vegetação/Pastagem	1
Solo Exposto	2
Ruas de Terra	3
Residenciais	4
Pavimentação	6

Fonte: Autoria Própria

Pensando na classificação do mapa de risco de inundação e alagamento, dividiu-se em 4 classes, sendo elas: risco baixo, risco médio, risco alto e risco muito alto. Então, após a aplicação da soma dos mapas (pixels), pensando na situação em que dificilmente teria um

alagamento/inundação seria um local que estivesse a uma cota acima de 83 m (peso 1), com a declividade entre 0 – 3% (peso 1) e que possua vegetação/pasto (peso 1), somando esses 3 pesos teríamos um pixel de valor 3. E seguiu-se julgando quais as classes para os três tipos de mapas temáticos estariam inseridas em seus respectivos riscos. Desta forma obteve-se a tabela abaixo com limites inferiores e superiores dos valores de pixels que classificariam como baixo, médio, alto ou muito alto.

Tabela 7: Critério de classificação dos riscos

Classificação dos riscos								
Riscos	Mapa Hipsométrico (m)	Pesos	Mapa de Declividade (%)	Pesos	Uso e Ocupação	Pesos	Limites	Valores pixels
Baixo	> 83	1	0 - 3	1	Vegetação/Pastagem	1	Inferior 1+1+1	3
	83 - 68	2	3 - 8	2			Superior 2+2+1	5
Médio	68 - 52	4	8 - 20	3	Solo Exposto	2	Inferior 4+3+2	9
					Ruas de Terra	3	Superior 4+3+3	10
Alto	52 - 37	6	20 - 45	4	Residencias	4	Inferior 6+4+4	14
							Superior 6+4+4	14
Muito	37 - 21	7	45 - 75	5	Pavimentação	6	Inferior 7+5+6	18
Alto	21 - 0	8	>75	6			Superior 8+6+6	20

Fonte: Autoria Própria

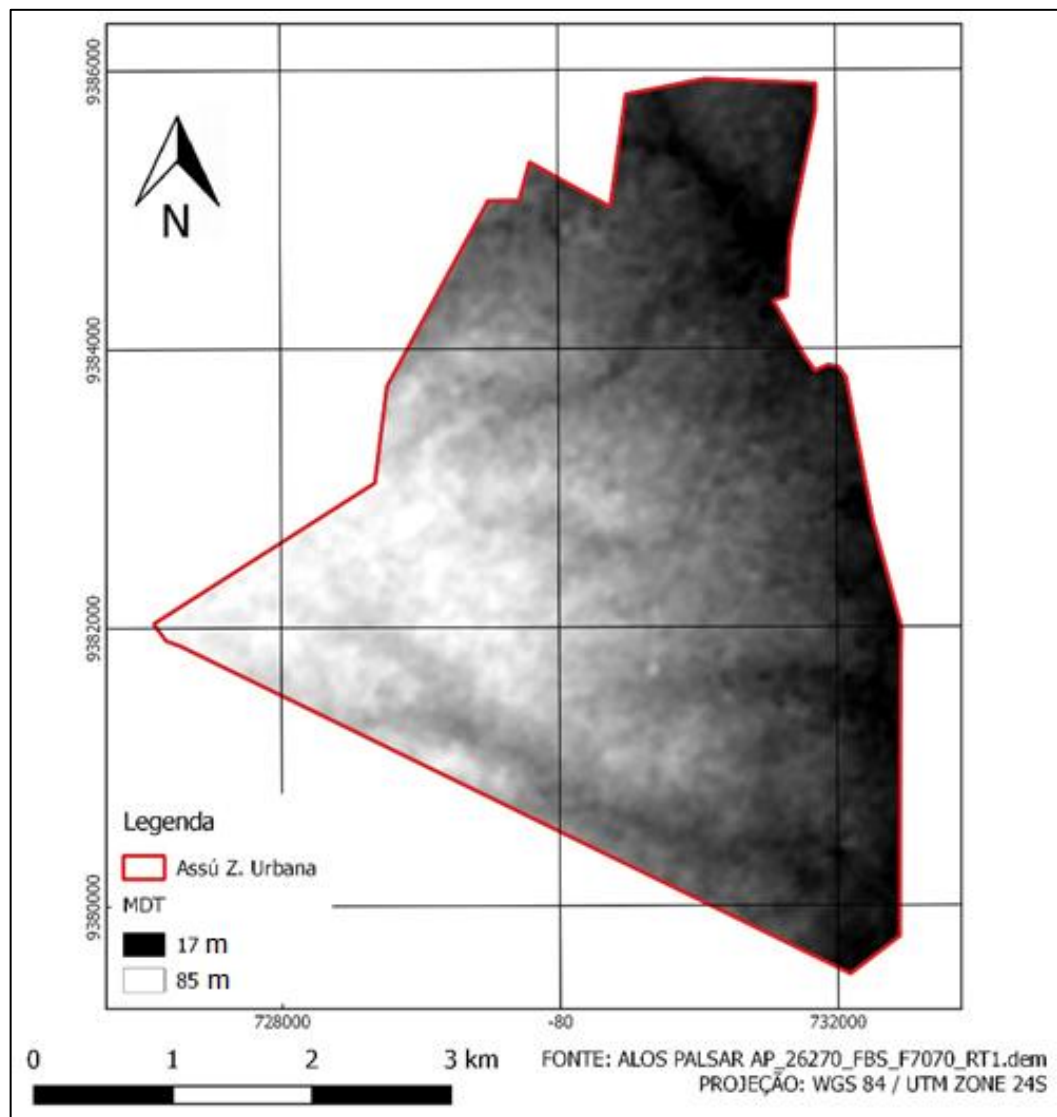
Desta forma, para a classificação de risco baixo, os valores dos pixels devem estar entre 3 e 5, então usamos de 0 a 5. Para ser classificado como médio, deve estar com valores de pixels entre 9 e 10, então usamos de 5 a 10. Risco alto valores de pixels 14, usou-se 10 a 14 e por último risco muito alto valores de pixels entre 18 e 20, usou-se 15 a 20.

5. RESULTADOS

5.1. MDE da área de estudo

A Figura 12 é o resultado do MDE da área de estudo, já com a aplicação do preenchimento dos *sinks*, pelo algoritmo de Wang & Liu. A figura está em tons de cinza, do preto para o branco, de modo que, quanto mais escuro mais baixo é o valor da cota.

Figura 12: MDE da área de estudo corrigido



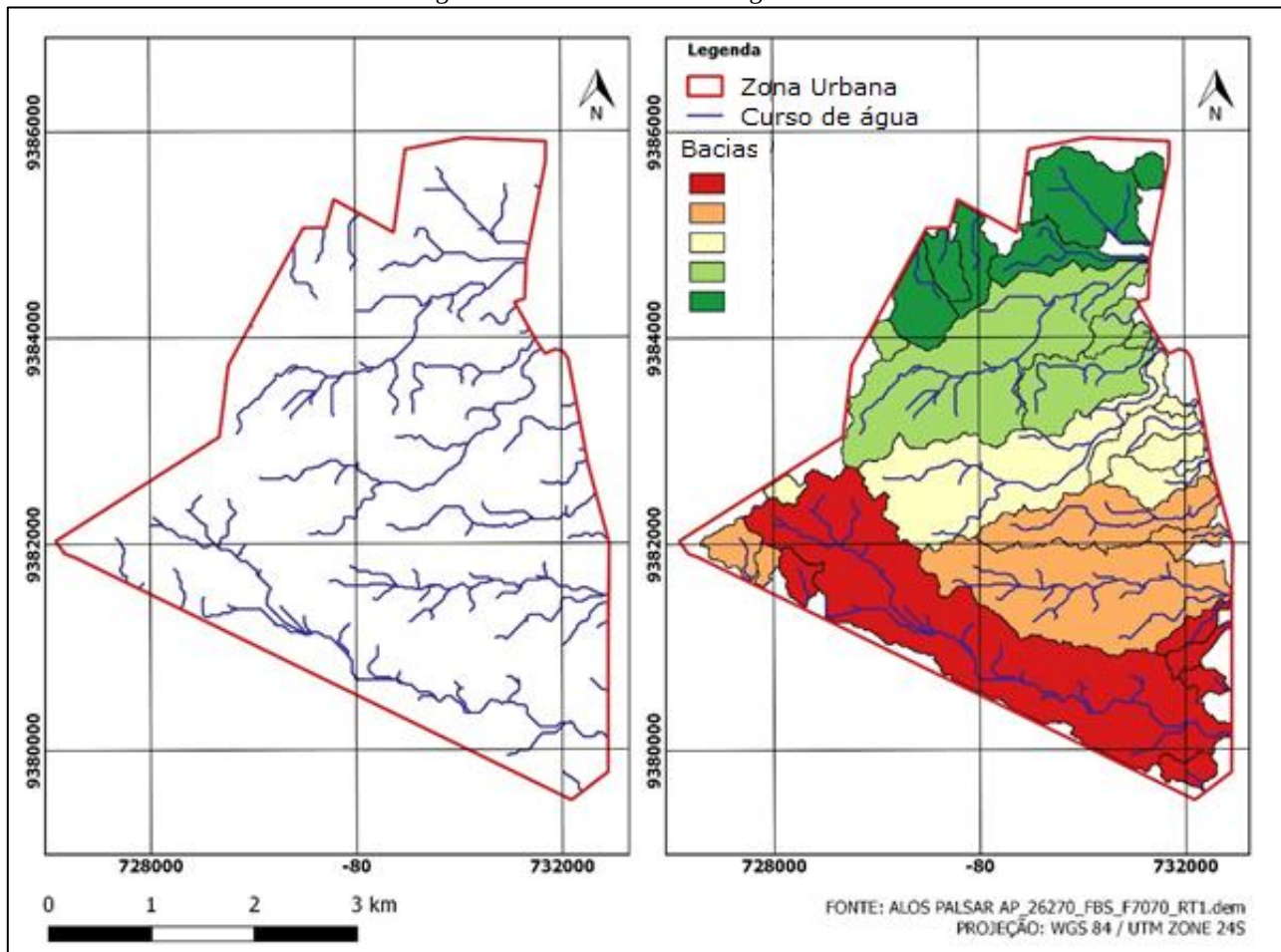
Fonte: Autoria própria

5.2. Mapa de bacia de hidrográficas e cursos de água

Abaixo seguem as imagens geradas pelo algoritmo do QGIS com os prováveis cursos de água e canais em suas bacias. De acordo com o mapa gerado (Figura 13), pode-se observar

que dentro do perímetro urbano existem 5 sub-bacias contribuindo para o escoamento superficial.

Figura 13: Prováveis curso de água em suas bacias



Fonte: Autoria própria

5.3. Mapa hipsométrico

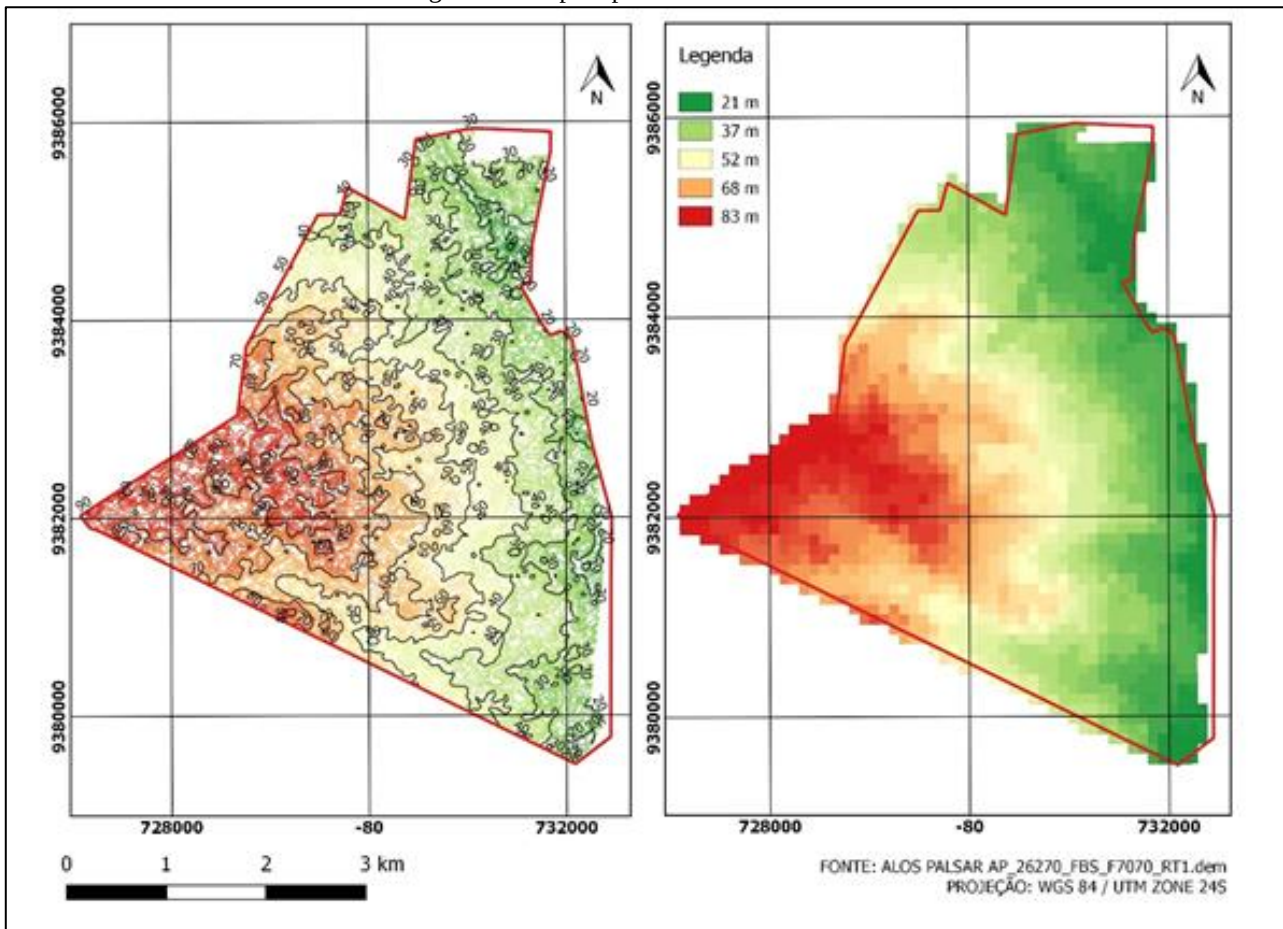
Abaixo segue o resultado do mapa hipsométrico, com uma aplicação de estilo categorizado nas curvas de níveis intervaladas a cada metro, utilizando a falsa cor, do verde para o vermelho, sendo o verde cotas mais baixas e o vermelho cotas mais altas. Poderia inverter estas cores, para associar o vermelho a cotas baixas e a altos riscos, mas normalmente na literatura, o verde é que possui cotas mais baixas.

Foi aplicado também a propriedade de rotulação das cotas, nas curvas de níveis de 10 metros de equidistância, e colocando na cor preta para se fazer as curvas mestras. O mapa do lado direito da Figura 14, é o resultado da rasterização destas curvas de níveis, com o

intuito de discretizar e atribuir valores aos pixels.

É notável a presença das cores dos extremos, tanto do verde escuro, que representa as cotas baixas como também do vermelho, que representa as cotas mais altas. Caracterizando uma bacia com grande amplitude altimétrica (declives), o que analisado de forma isolada, explica as altas velocidades de escoamento superficial.

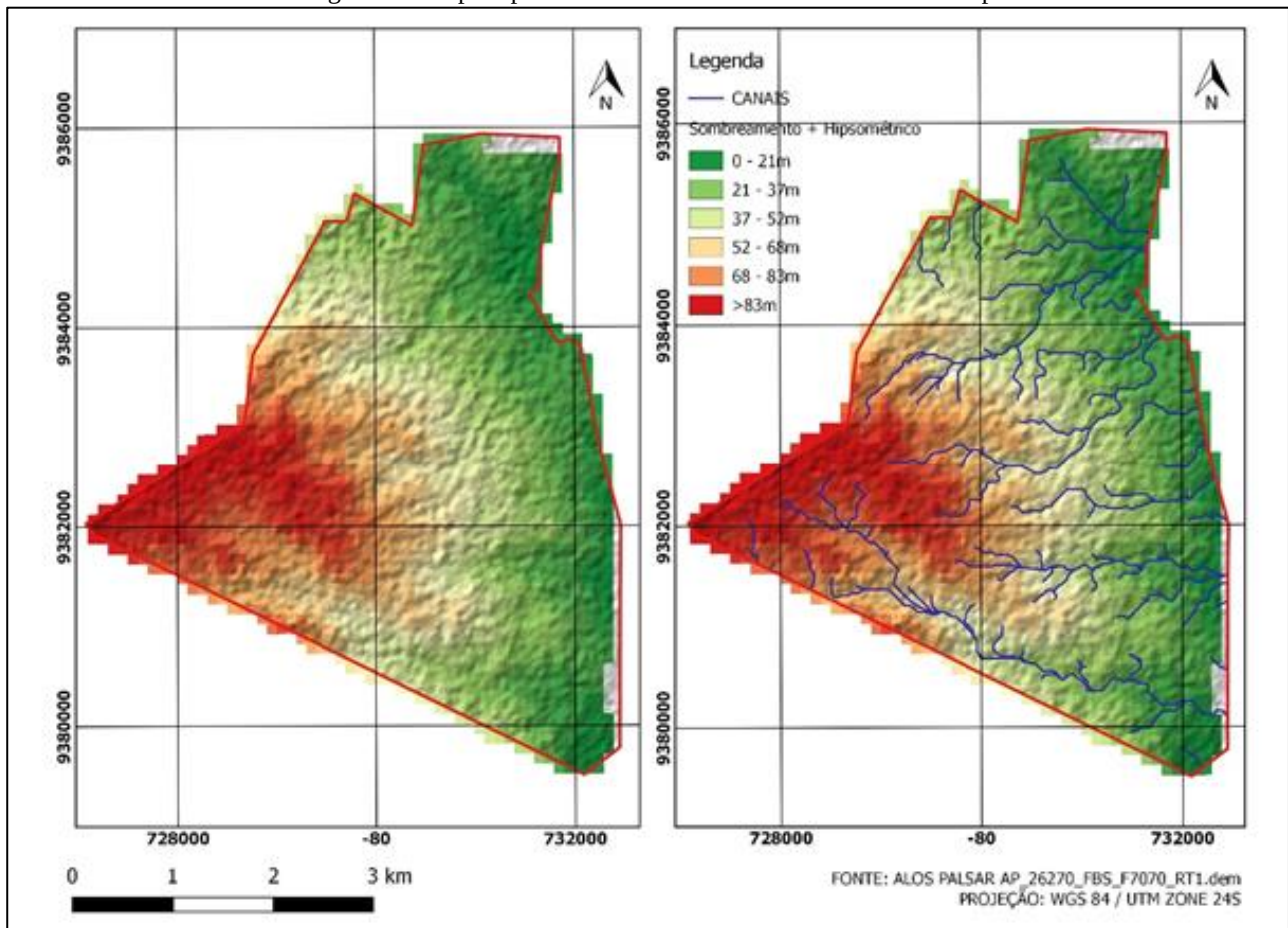
Figura 14: Mapa hipsométrico e de curvas de níveis



Fonte: Autoria Própria

Com a finalidade de visualizar ainda melhor o relevo da área de estudo, aplicou-se um efeito de sombreamento e superposição de imagens para observar melhor os cursos de água na Figura 15.

Figura 15: Mapa hipsométrico com o efeito de sombreamento aplicado

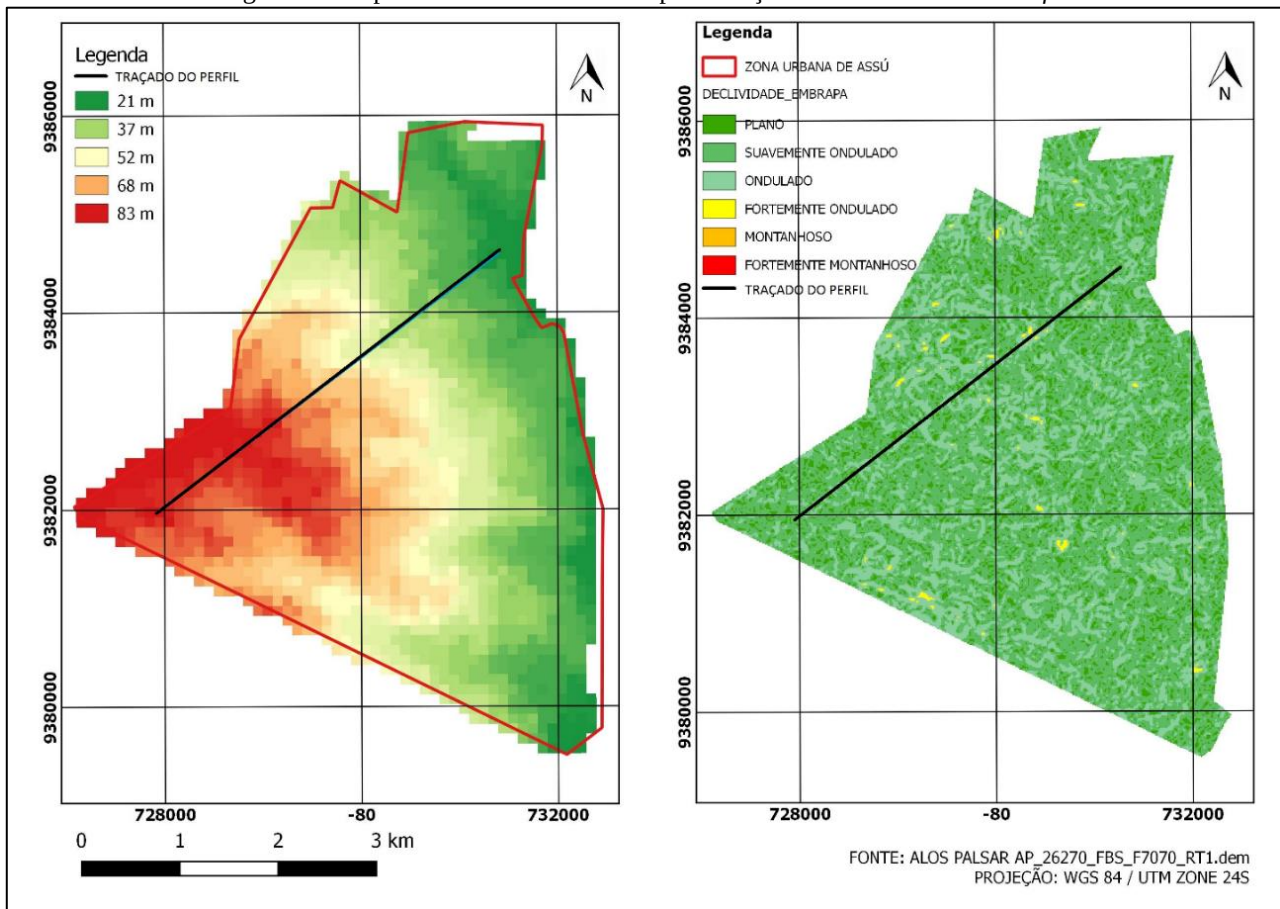


Fonte: Autoria Própria

5.4. Mapa de declividade

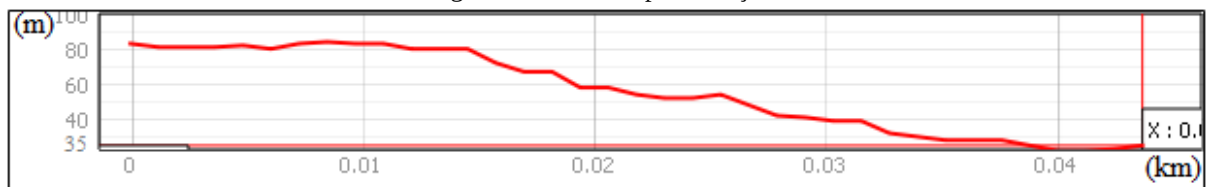
No mapa de declividade (Figura 16), utilizou-se de um *plugin Profile Tools* que é uma ferramenta que permite traçar um caminho e obter o perfil do terreno, juntamente com uma análise do mapa de declividade e do hipsométrico, da zona urbana de Assú/RN, nota-se que o terreno é basicamente dividido entre ondulado e suavemente ondulado, quase que todo fluxo de água vai para os bairros do Centro e um pouco do São João.

Figura 16: Mapa de declividade com um perfil traçado com a ferramenta *Profile Tools*



Fonte: Autoria Própria

Figura 17: Corte do perfil traçado

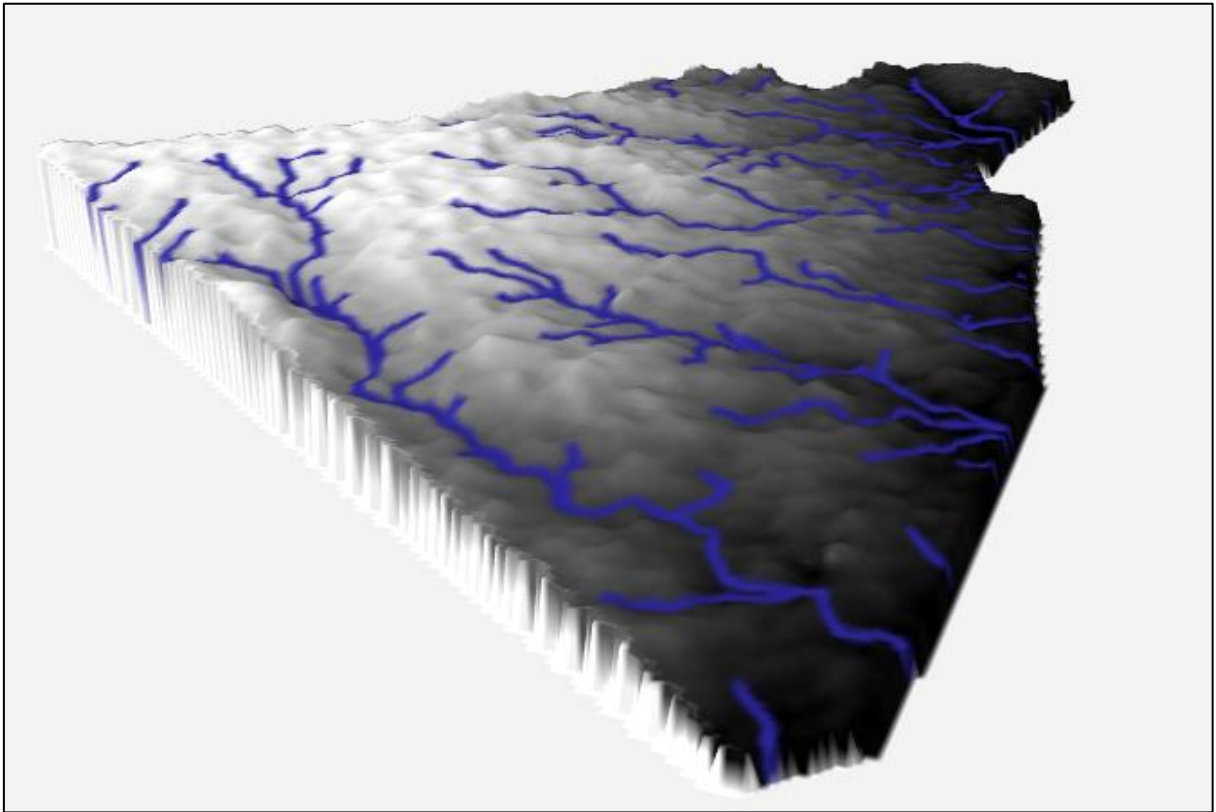


Fonte: Autoria Própria

5.5. Mapa tridimensional das bacias hidrográfica

Realizou-se com o *plugin* QGIS2threejs a modelagem do MDE em 3D com as linhas dos cursos dos rios ativos. Mesmo com o exagero da escala do eixo y em 5 vezes, a área confirmou um relevo suavemente ondulado.

Figura 18: Modelo 3D



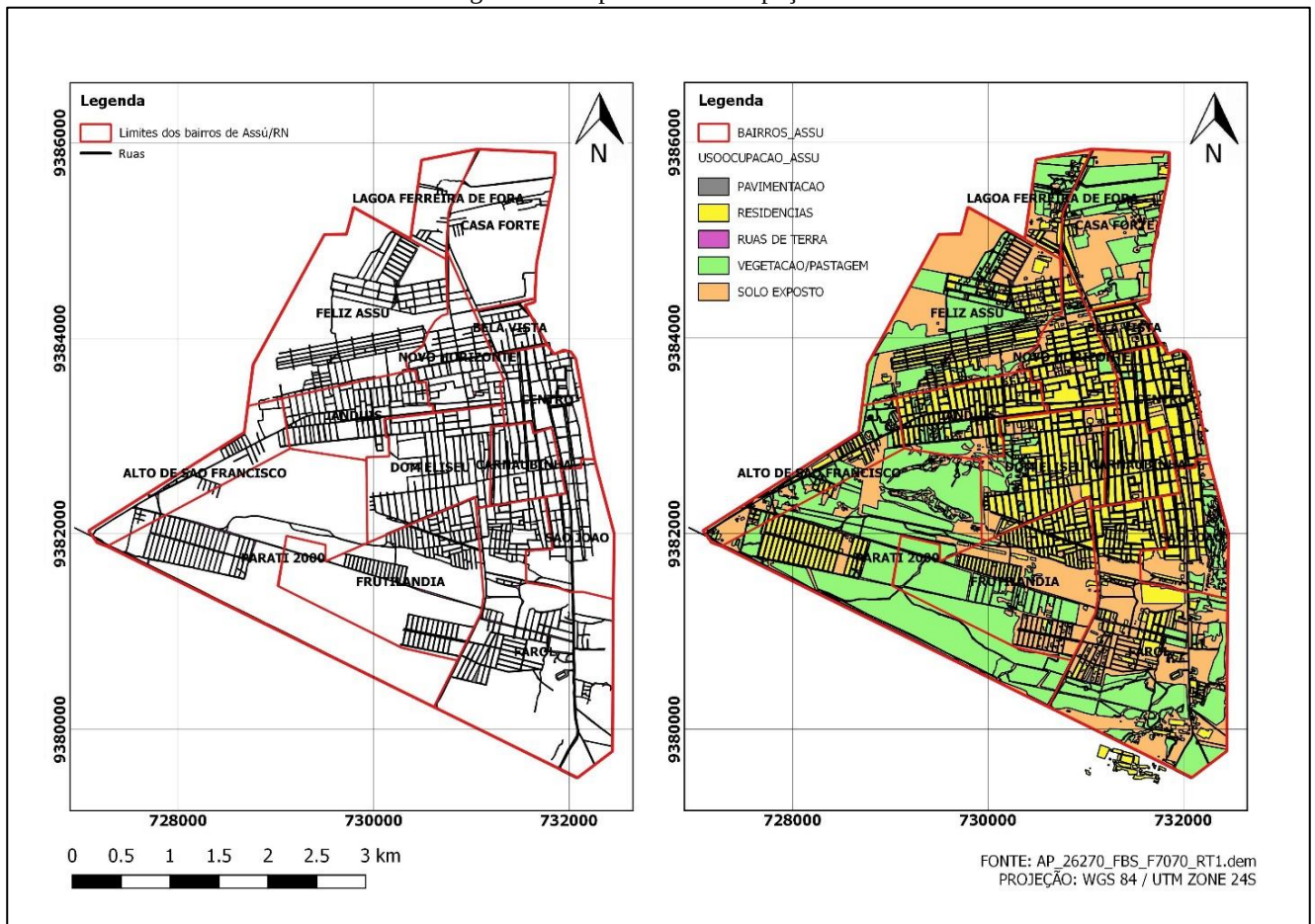
Fonte: Autoria Própria

5.6. Mapa de uso e ocupação do solo

A Figura 19 mostra o resultado final do mapa de uso e ocupação do solo, o mapa à esquerda mostra o arruamento e a divisão dos bairros e o mapa à direita mostra as classificações feitas às cores.

De acordo com o mapa de uso e ocupação, a bacia se caracteriza como do tipo residencial, sendo sua maior densidade próxima ao centro da cidade, nas cotas mais baixas

Figura 19: Mapa de uso e ocupação do solo

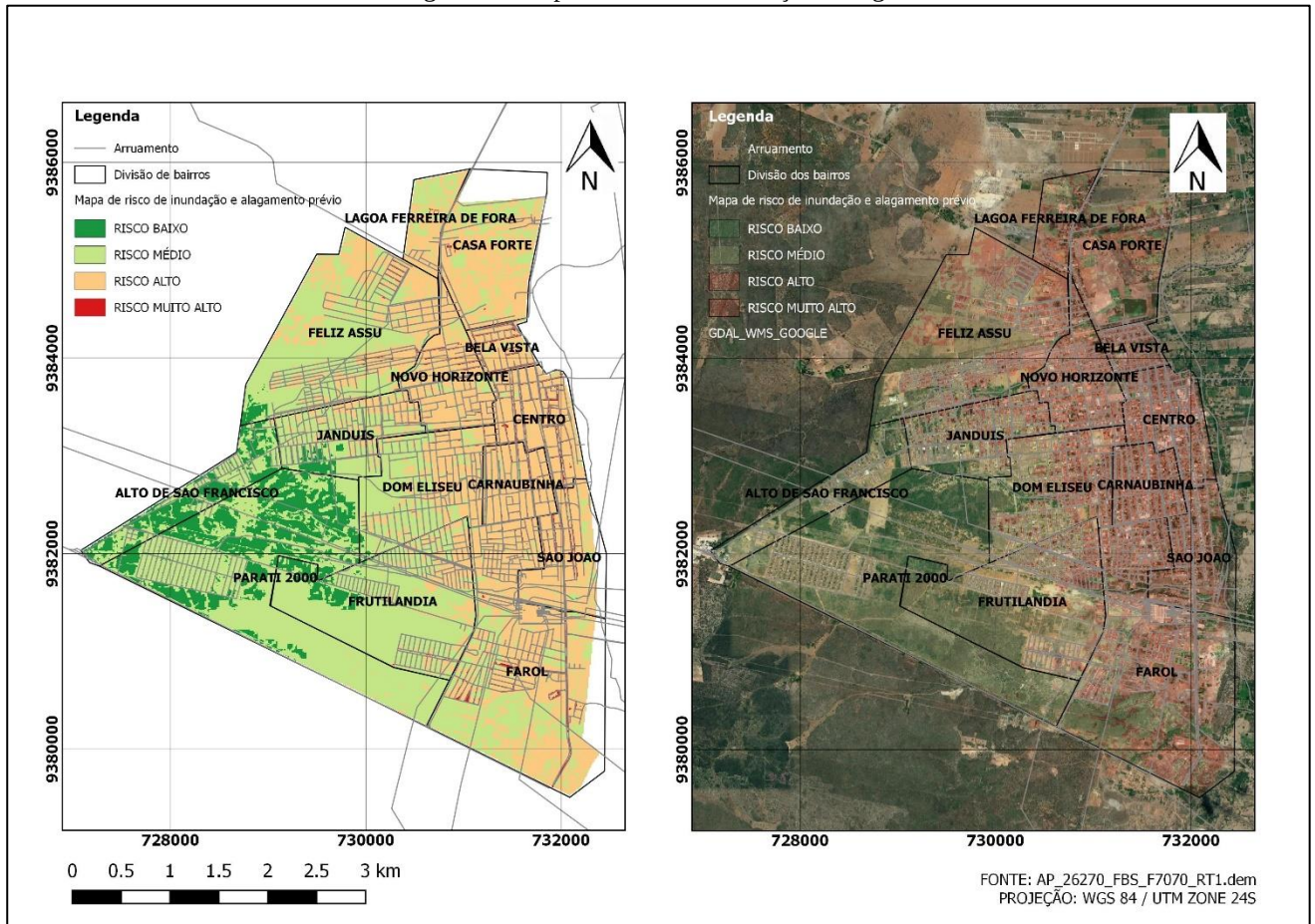


Fonte: Autoria Própria

5.7. Mapa de risco de inundação e alagamento

O mapa de risco de inundação e alagamento foi obtido através da álgebra de mapas (operação de soma entre os mapas temáticos) e depois reclassificado com o uso do R.RECODE como já dito. Podemos visualizar o resultado prévio tanto separado apenas com o arruamento e divisão de bairros, como também aplicado com sobreposição e transparência sobre o a camada GDAL WMS *Google Maps*.

Figura 20: Mapa de risco de inundação e alagamento



Fonte: Autoria Própria

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Analisando o resultado obtido do mapa de risco de inundação e alagamento na Figura 20 e comparando com relatos reais (conhecimento dos locais que normalmente inundam) nota-se uma boa validação do resultado, visto que o cruzamento da Av. Senador João Câmara com a rua Dr. Luiz Carlos é uma área bastante susceptível a alagamentos. Também descendo pela mesma avenida e entrando nas ruas 24 de Junho e 16 de outubro e posteriormente seguindo a rua Moisés Soares (Figura 21: Rua Prefeito Manoel Montenegro, cruzando a Moisés Soares), que também são facilmente alagadas tivemos um resultado de alto risco de inundação/alagamento condizendo com a realidade.

Figura 21: Rua Prefeito Manoel Montenegro



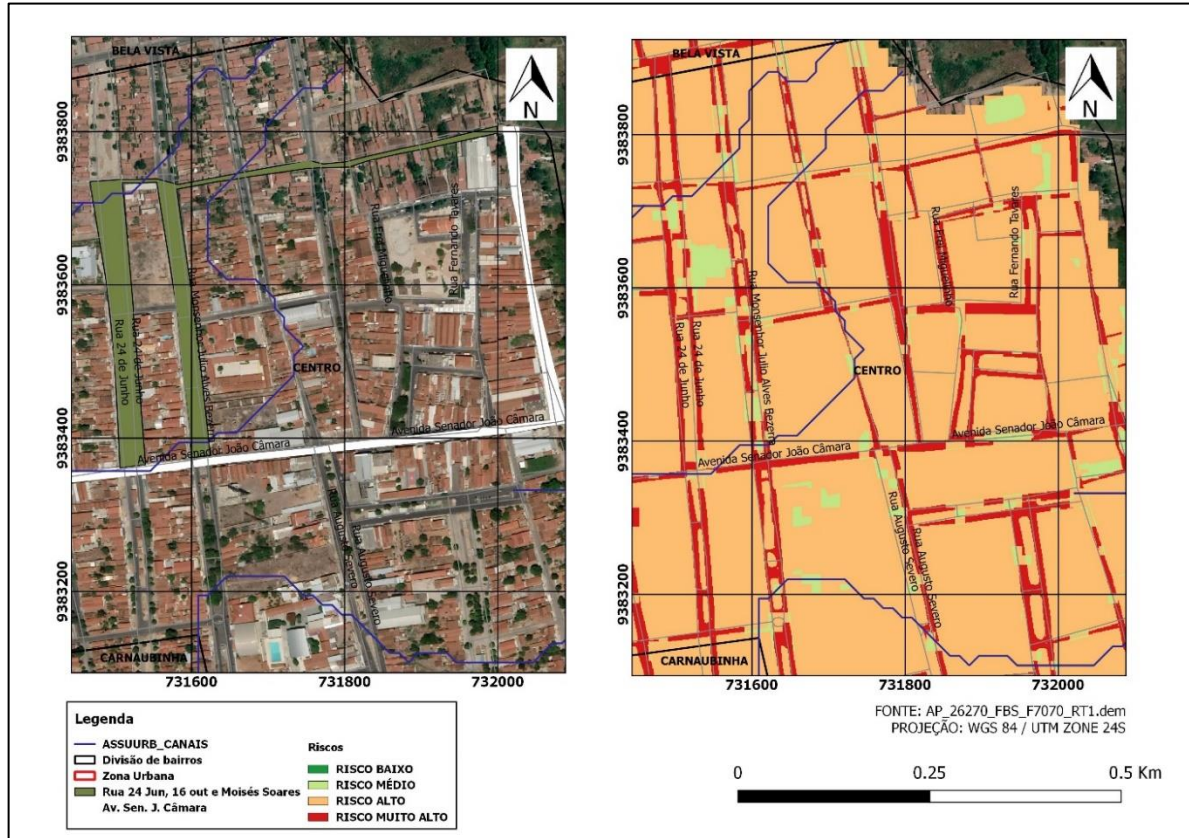
Fonte: Blog do VT (2018)

Na Figura 22, no mapa do lado esquerdo, as ruas em verde escuro são as ruas 24 de junho, 16 de outubro e Moisés Soares (Figura 23: Rua Moisés Soares), em branco é a Av. Sen. João Câmara. Observando o mapa do lado direito, sem o preenchimento das ruas percebemos os pixels em vermelho que denota zona de alto risco.

Atentando as linhas em azul que são os cursos d'água pode-se inicialmente apontar uma possível falha no planejamento urbano com edificações muito próximas aos cursos naturais de água. Associado a isto, ainda temos a problemática da ausência de dispositivos de drenagem,

Como as ruas supracitadas são praticamente impermeabilizadas, e com uma boa diferença de cota (aproximadamente 50m, ver Figura 17), esses fatores associados, promovem um aumento da velocidade com que a água desce, acarretando na diminuição do tempo de concentração de água na bacia, gerando um grande acúmulo de água em um curto espaço de tempo.

Figura 22: Alagamento da Av. Sen. João Câmara e Ruas 24 de junho, 16 de outubro e Moisés Soares



Fonte: Autoria Própria

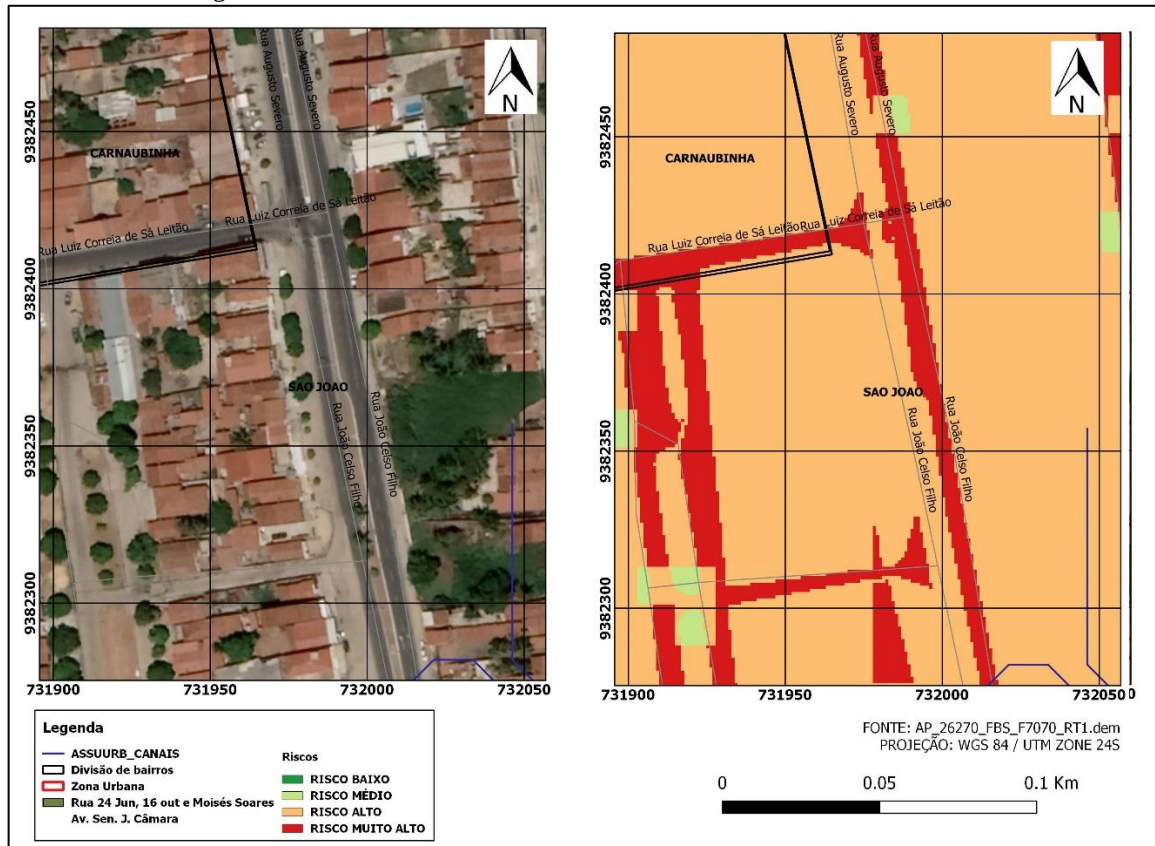
Figura 23: Rua Moisés Soares



Fonte: Blog do VT (2018)

Analisou-se as ruas Dr. Luiz Correia de Sá Leitão confrontando a Av. João Celso Filho, popularmente conhecido como o “sinal da rodoviária” e ainda na Rua João Celso Filho nas proximidades da CHESF, ambas são ruas com grande acumulo de água também foi bem identificado no mapa aumentando ainda mais o nível de confiabilidade do mapa obtido.

Figura 24: Rua Dr. Luiz Correia de Sá Leitão com a Av. João Celso Filho



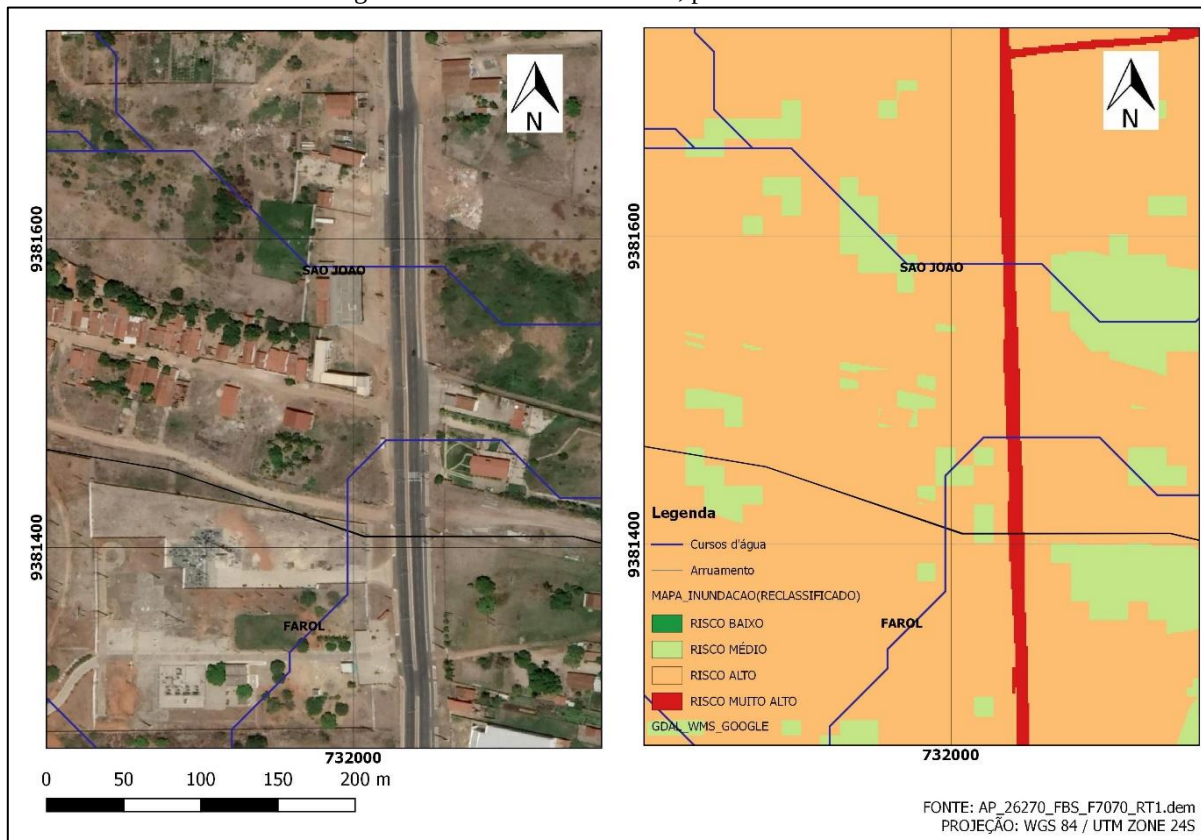
Fonte: Autoria Própria

Figura 25: Rua João Celso Filho, proximidades do “sinal da rodoviária”



Fonte: G1 (2016)

Figura 26: Rua João Celso Filho, proximidades da CHESF



Fonte: Autoria Própria

Locais como a Rua Monsenhor Júlio Alves Bezerra próximo ao cruzamento com a Rua Dr. Luis Antônio (Figura 28: Rua Monsenhor Júlio A. Bezerra cruzando a Rua Dr. Luis Antônio) e a Rua Profª Eufrosina Fernandes (Figura 27: Rua Professora Eufrosina Fernandes), também foram identificadas no mapa de risco de inundação e alagamento.

Figura 27: Rua Professora Eufrosina Fernandes



Fonte: Blog Assu todo dia (2017)

Figura 28: Rua Monsenhor Júlio A. Bezerra cruzando a Rua Dr. Luis Antônio



Fonte: G1 (2016)

A grande quantidade de microbacias de drenagem, cursos de água e morfometria da bacia apresentam-se como importantes fatores desencadeadores de cenas de alagamentos e inundações. A ocupação urbana mal planejada aliada a grande quantidade de pavimentação que foi implementada dos anos 2010 até recentemente, impermeabiliza excessivamente o solo, contribuindo para o aumento dos riscos naturais associados às inundações.

O mapa obtido pela soma dos mapas hipsométrico, declividade e uso e ocupação do solo, com a atribuição dos pesos, apresentou resultados satisfatórios e condizentes com a realidade. A inserção de outras variáveis relacionadas a chuva e tempo de retorno retornaria resultados ainda melhores. Ocorreu algumas variações de riscos, sendo eles muito próximos, devido a zonas de conflitos dos pixels, devido a classificação e pesos principalmente para o mapa de uso e ocupação, na pavimentação, o que poderia explicar a ausência de dispositivos de drenagens, ou caso exista, o trabalho não levou em consideração.

Visto vários pontos de alagamento na cidade, a maioria causado pelo barramento dos cursos de água por residências, aliados a impermeabilização, mostra a importância em se pensar na elaboração de um plano de drenagem aliado a um plano de uso e ocupação do solo, cujo englobe não somente guias, sarjetas e sarjetões, e sim desde a conscientização popular até obras

de engenharia, já que nos principais pontos de alagamentos todos eles possuem cursos de rios que tiveram seu trajeto alterado. Um exemplo é na Rua 24 de junho, após a construção de vários quiosques nos canteiros centrais que é um curso de água, moradores começaram a relatar a entrada de águas em suas casas, de fato não se pode atribuir somente a culpa a essas novas edificações, pois a área que influencia nesta bacia é muito grande e algo realizado em outras bacias de cotas superiores afetam diretamente este bairro.

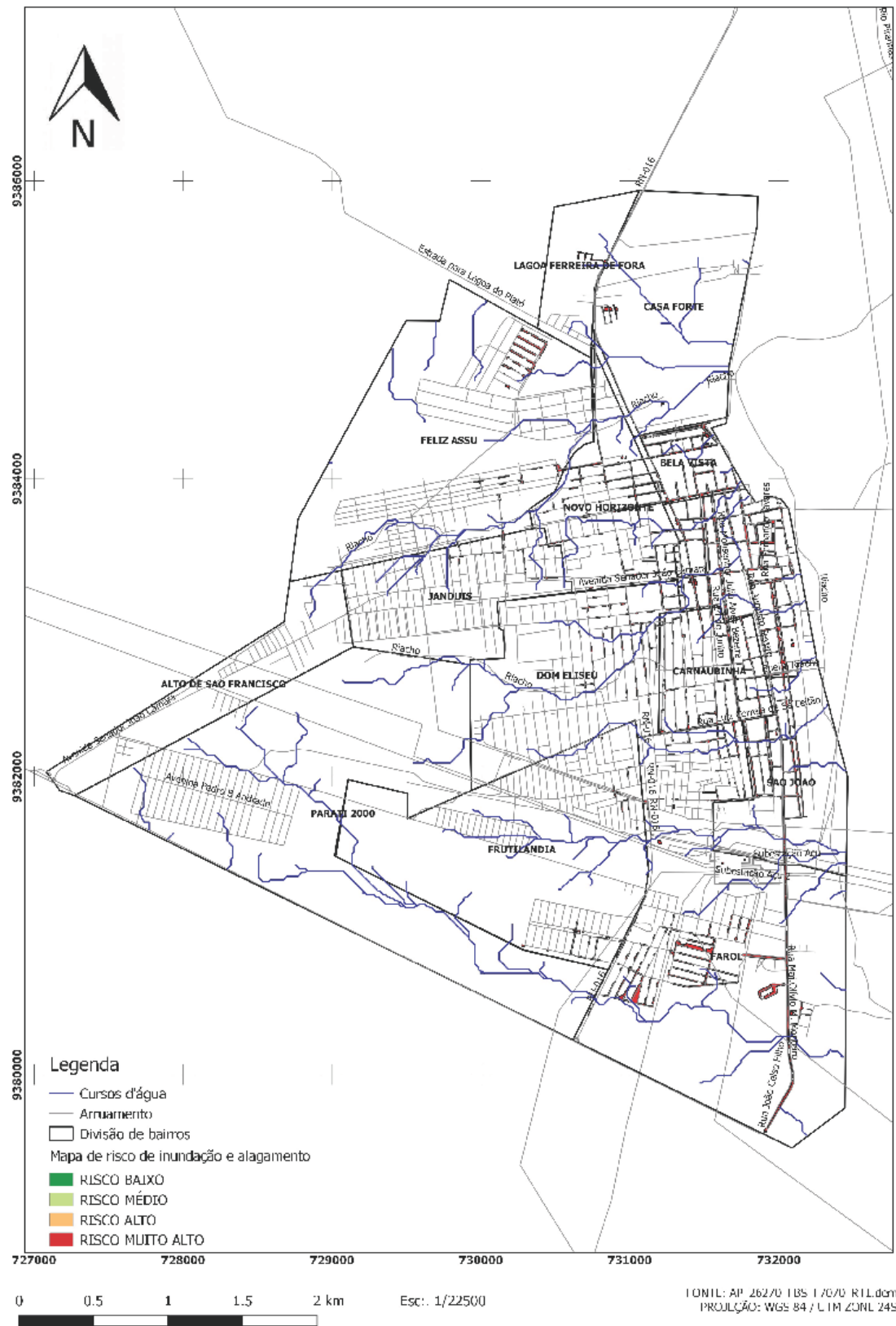
Uma sugestão para trabalhos futuros seria incrementar a curva IDF da chuva da região e simular quais cotas seriam atingidas devido a uma chuva de certa intensidade. Georreferenciar os dispositivos de drenagem existentes afim de associar eficácia destes dispositivos e sugerir novos dispositivos de drenagem, facilitando a gestão da drenagem de águas da cidade. Outra sugestão pertinente seria, a inserção da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para se obter uma classificação considerando os processos de maior relevância entre si.

7. ANEXOS

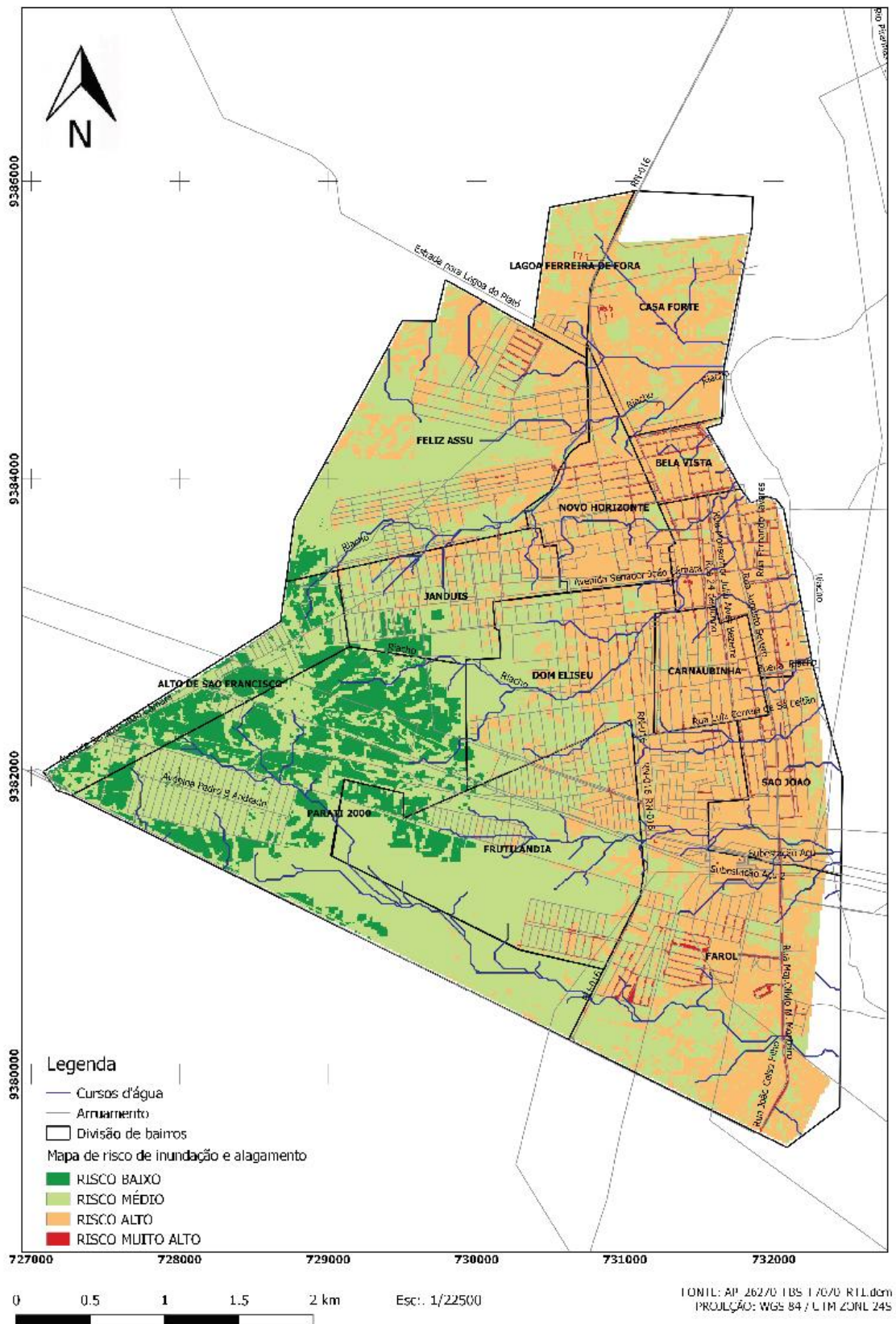
7.1. Missão do satélite ALOS PALSAR

A missão ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi criada para oferecer subsídios ao estudo de temas relacionados ao desenvolvimento sustentável, monitoramento de desastres naturais e recursos naturais especificamente para os países da Ásia do Pacífico e Japão. Foi lançado em 24 de janeiro de 2006 e entrou em fase operacional em 24 de outubro do mesmo ano. O satélite ALOS possuía três sensores: O primeiro era o radiômetro PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) mapeava a superfície terrestre bem detalhadas em modelo tridimensional. O segundo era o radiômetro multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*) específico para uso e ocupação do solo e o terceiro era o sensor de microondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. (EMBRAPA, 2013)

7.2. Mapa de risco de inundação e alagamento apenas zonas de alto risco



7.3. Mapa de risco de inundação e alagamento



REFERÊNCIAS

Agencia Nacional de Águas (ANA). **Termos de Referência para a Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas-Açú**, 2010. 79p. Disponível em: < <http://piranhasacu.ana.gov.br/termo/TDR.pdf> /> Acesso em novembro/2018.

ALVES SOBRINHO, T. *et al.* **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**, 2010. 12p.

Blog do VT. **Chuva forte de 90mm provoca alagamentos e prejuízos em vários pontos de Assú**. Disponível em: < <https://blogdovt.com/chuva-forte-de-90-mm-provoca-alagamento-e-prejuizos-em-varios-pontos-do-assu/> > Acesso em fevereiro de 2019.

BRAGA, B. P. F. **Controle de cheias urbanas em ambiente tropical**. In: DRENAGEM urbana: gerenciamento, simulação e controle. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 1997. p. 51-65.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo. Editora: Oficina de Textos, 2º Ed. 2015.

COLLISCHONN, W & DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre. Ed. da UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2013. 350p.

Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais. **Processos hidrológicos. Inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco** – CPRM, 2017

Defesa Civil de São Bernardo do Campo - SP. **Enchente, inundação, alagamento ou enxurrada?**. 2011. Disponível em: < <http://dcsbcsp.blogspot.com/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html> >. Acesso em nov 2018.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 13 Fev. 2019.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises Sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Informações Geográficas**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. 2000. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf > Acesso em 19 de fev. 2019.

FREITAS, Luís Carlos B.; ZWIRTES, Simone. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa**: Assú, RN. CPRM, 2013.

G1. **Cidades no interior do RN registram fortes chuvas no fim de semana**. 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2016/02/cidades-no-interior-do-rn-registram-fortes-chuvas-no-fim-de-semana.html> > Acesso em março de 2019.

GAUW D. S. **Análise Morfodinâmica do canal fluvial e caracterização faciológica da geometria dos depósitos recentes do rio Assú**. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2004. 122p.

HORA, S. B & GOMES, R. L. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21 (2): 57-75, ago. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo de Açu/RN**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/acu/panorama> > Acesso em março de 2019

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA. **Perfil do Seu Município**, 2008. 33p. Disponível em: < <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000016656.PDF> > Acesso em novembro de 2018.

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). **Divisão de Processamento de Imagens. Declividade ou Gradiente**. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/declividade_gradiente.php > . Acesso em 22 de fev. 2019.

MELLO, M. D; NASCIMENTO, R. S; LIN, S. C. **Educação para a prevenção e redução de riscos climáticos**. Florianópolis. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC, 2014. 98p.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO SECRETARIA ESPECIAL DE POLÍTICAS REGIONAIS DEPARTAMENTO DE DEFESA CIVIL. Glossário de defesa civil - **Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2ª ed. 1998. 173p. Disponível em: < <http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/GLOSSARIO-Dicionario-Defesa-Civil.pdf> >. Acesso em nov 2018.

MIGUEZ, M. G. *et al.* **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Rio de Janeiro. Ed: Elsevier, 2016. 366p.

MIRANDA, Ângelo Tiago. **Urbanização do Brasil: Consequências e características das cidades**. Disponível em: < <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm> >. Acesso em: nov. 2018.

NASCIMENTO, José. A. S. **Atlas de saneamento - Manejo de águas pluviais**. 2011. 32p. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap10.pdf >. Acesso em: nov. 2018.

Noções básicas de cartografia: IBGE. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoas/representacao.html. > Acesso em: nov. 2018.

Plano Diretor Municipal (PDM): o que é e para que serve? – 2017. Disponível em: < <http://www.gpskal.com.br/blog/plano-diretor-o-que-e-e-para-que-serve/> > Acesso em março /2018.

Perfil do Município de Assú. Disponível em < <https://assu.rn.gov.br/historia/>> Acesso em novembro/2018.

Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes. **Gestão do risco de inundação – Documento de apoio as boas práticas**, 2016. Disponível em: < <http://www.prociv.pt/bk/RISCOSPREV/REDRISCOCATASTROFE/Documents/GEST%C3%83O%20DO%20RISCO%20DE%20INUNDA%C3%87%C3%83O.pdf>. > Acesso em fevereiro de 2019.

Produto C Diagnóstico Técnico–Participativo, 2018. Disponível em: < https://assu.rn.gov.br/download/docs_e_downloads/PRODUTO-C-DIAGNOSTICO-TECNICO-PARTICIPATIVO-ASSU-V1-.pdf> Acesso em nov 2018.

RIGHETTO, Antônio Marozzi. **Manejo de águas pluviais**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlandia, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA). Transversal - **Princípios básicos de geoprocessamento para seu uso em saneamento** - Nível 2. 2013. 80p. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/principios-basicos-de-geoprocessamento.pdf>>. Acesso em nov 2018

DA SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia / Ciência e aplicação. 2ª ed.: 2. Reimpr – Porto Alegre. Ed: Universidade/UFRGS: ABRH. 2001

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

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana. Manual de Drenagem Urbana**. Porto Alegre Volume VI. 2005

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.