UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
***CAMPUS* VALE DO RIO MADEIRA**
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

AIRTON SENA FERREIRA

USO DE GEOPROCESSAMENTO E GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE VULNERABILIDADE Á INUNDAÇÃO NO PERIMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

Humaitá-Amazonas
2019

AIRTON SENA FERREIRA

USO DE GEOPROCESSAMENTO E GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE VULNERABILIDADE Á INUNDAÇÃO NO PERIMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal do Amazonas-UFAM, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues do Anjos
Coorientador: Msc. Diogo André Pinheiro da Silva

Humaitá-Amazonas
2019

Ferreira, Airton Sena

F383u Uso de geoprocessamento e geotecnologias no mapeamento de áreas de vulnerabilidade á inundação no perímetro urbano do município de Humaitá, Sudoeste da Amazônia. / Airton Sena Ferreira. 2019

51 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Anjos

Coorientador: Diogo André Pinheiro da Silva

TCC de Graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Geoprocessamento. 2. Inundaçao. 3. Global Mapper . 4. Vulnerabilidade. I. Anjos, Marcelo Rodrigues dos II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

AIRTON SENA FERREIRA

USO DE GEOPROCESSAMENTO E GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE VULNERABILIDADE Á INUNDAÇÃO NO PERIMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ, SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal do Amazonas-UFAM, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel do curso de Engenharia Ambiental.

Aprovado em 10 de Julho 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues dos Anjos (Presidente)
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Marcelo Dayron Rodrigues Soares (Membro)
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino (Membro)
Universidade Federal do Amazonas

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pai Fernando Gonzaga a minha mãe Maria Sena e a minha irmã Eliza Sena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos, pois ele é o maior orientador que alguém pode ter;

Aos meus pais, Fernando Gonzaga e Maria Sena, que me deram coragem e incentivo a persistir na caminhada e a minha irmã Eliza Viviane pelo apoio também;

Ao meu orientador e amigo professor Dr. Marcelo dos Anjos, por ter me acolhido no Laboratório de Ictiologia e Ordenamento Pesqueiro do Vale do Rio Madeira– LIOP;

Agradeço aos professores do curso de Engenharia Ambiental, em especial Matheus Lucas, Antônio Nina, Juliane Kayse e Allison Batista (Matemática e Física) que me ensinaram a ser uma pessoa respeitosa, de bom caráter e paciente, também a Universidade Federal do Amazonas por ter me dado oportunidade e aquisição de conhecimento com professores capacitados;

Agradeço a minha mãe Maria Sena, que diante de todas as dificuldades me deu o apoio necessário para minha caminhada, e ao meu pai Fernando Gonzaga por me conceder sabedoria, por ter me guiado e ensinado a ser um homem digno;

Meus agradecimentos à todos os meus amigos que me incentivaram a não desistir, deram suas contribuições para meu trabalho e me mantiveram firme e me acolheram em momentos difíceis, em especial ao Marcelo Pebles, Thaisa Valtierre, Hildeberto Macedo, Hemmely Gonzaga, Sergio Ramos, Luiz Henrique aos novos amigos também Luana Medeiros, e Sarah Deniesle. Agradeço também aos estagiários do LIOP pela força, compreensão e amizade.

E a todos aqueles que contribuíram indiretamente, meu muito obrigado.

A persistência é o caminho do êxito

Charles Chaplin

RESUMO

A elevação do nível das águas do Rio Madeira no ano de 2014 invadiu os corpos hídricos da zona urbana do município de Humaitá-AM, ocasionando o impedimento do escoamento causando inundação, e consequentemente impactos de grande escala socioambiental. No estudo de impactos ambientais o geoprocessamento no uso de suas atribuições se configura como uma ferramenta essencial para medidas não estruturais gerando informações significativas sobre a situação geomorfológica e climática regional. O objetivo desta pesquisa é utilizar as ferramentas de geoprocessamento e geotecnologias para auxiliar no mapeamento das áreas de vulnerabilidade á inundações, especificamente em um bairro da zona urbana do município de Humaitá - Amazonas, e a partir desta caracterização elaborar em um mapa de mancha de inundação para pontuar as áreas que são castigadas pela inundação frequentemente. A metodologia atribuída consiste no processamento de dados de superfície por meio de reconhecimento em campo por drone e GPS comum e procedimento laboratorial utilizando-se de softwares como o *Google Earth pro* e o *Global Mapper 20.1.* Conforme o procedimento metodológico desenvolvido na pesquisa, como resultado foi possível identificar as áreas afetadas, pela elaboração do modelo de mancha de inundação, através do tratamento dos dados gerou-se em no mapa de mancha de inundação, no qual servirá de incentivo nas tomadas de decisões públicas e tornar como subsídio de uma medida não-estrutural, para o monitoramento continuo das áreas de vulnerabilidade e garantir a mobilidade social.

Palavras-Chave: Geoprocessamento, Inundação, Global Mapper, Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The elevation of the level of the waters of the Madeira River in the year 2014 invaded the water bodies of the urban area of the municipality of Humaitá-AM, causing the impediment of the flow causing flood, and consequently impacts of large socio-environmental. In the study of environmental impacts geoprocessing in the use of its attributions is configured as an essential tool for non-structural measures generating significant information on the regional geomorphological and climatic situation. Therefore, the objective of the research is to use geoprocessing tools and geotechnologies to assist in the mapping of areas of vulnerability to floods, specifically in a neighborhood of the urban area of the municipality of Humaitá – Amazonas, and from this characterization elaborate on a flood spot map to punctuate areas that are often punished by flood. The assigned methodology consists of surface data processing through field recognition by drone and common GPS and laboratory procedure using software such as Google Earth pro and Global Mapper 20.1. According to the methodological procedure developed in the research, as a result it was possible to identify the affected areas by the elaboration of the flood spot model, through the treatment of the data generated in the flood spot map, which will serve as an incentive in the decisions as a subsidy for a non-structural measure, for the continuous monitoring of vulnerability areas and for ensuring social mobility

Keywords: Geoprocessing, Flood, Global Mapper, Vulnerability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grafico das cheias do Rio Madeira no periodo (1993 - 2005). Fonte: Agência Nacional de Aguas (ANA). Elaborado pelo autor. 19
Figura 2: Delimitação da Bacia do Rio Madeira. Fonte: espaçogeografico (2010) 21
Figura 3: Unidades morfoestruturais da bacia do Rio Madeira. Fonte Ribeiro Neto (2006) .. 22
Figura 4: Distribuição de precipitação na bacia do Rio Madeira (Brasil e Bolívia). Muniz (2013); Ribeiro Neto (2006). 23
Figura 5: Esquema do processo de Enchente e inundação. Fonte: IPT(2007:92) 25
Figura 6: Localização da Área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor. 29
Figura 7: Caracterização da área de estudo. Fonte: Google Earth. Fonte: Elaborada pelo autor. 30
Figura 8:Fluxograma de procedimentos que foram seguidos durante o trabalho. Elaborado pelo autor. 32
Figura 9: Caracterização detalhada dos pontos de inundação feito por Drone: Elaborado pelo autor. 34
Figura 10: Limite do Bairro Santo Antônio. Elaborado pelo autor. 34
Figura 11: Área de estudo com ampliação do perímetro, com seus respectivos pontos de inundações dado por GPS em campo. Elaborado pelo autor. 35
Figura 12: Recorte Poligonal da Área de Estudo elaborado no Global Mapper. Autoria própria 36
Figura 13: Modelo Digital de Elevação do Terreno, utilizando imagem SRTM, na qual observa-se na legenda à esquerda o espectro de cores para distinção de elevação em todo o terreno. Elaborado pelo autor. 37
Figura 14: Sobreposição do polígono da área de estudo no MDE. Elaborado pelo autor. 37
Figura 15: Ilustração detalhada das curvas de nível no shapefile. Elaborado pelo autor. 38
Figura 16: plotagem da rede de Drenagem na área de estudo. Elaborado pelo autor 39
Figura 17: Simulação de evento de inundação. aumento da cota em 1m (metro). Elaborado pelo autor. 40
Figura 18: Elevação da cota de inundação para 2 m. Elaborado pelo autor. 40
Figura 19: Elevação da cota de inundação em 3 m. Elaborado pelo autor. 41
Figura 20: Elevação da cota para 4 m. Elaborado pelo autor. 41
Figura 21: Elevação da cota em 5 m. Elaborado pelo autor 42

Figura 22: Elevação da cota em 6 m. Elaborado pelo autor. 42
Figura 23: Figura 24: Visualização de alto contraste detalhada da mancha de inundação e da malha viária do terreno. Elaborado pelo autor. 43
Figura 24: Recorte representativo Sobreposição do modelo de inundação ao mapa urbano do Bairro de Santo Antônio. Elaborado pelo autor. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de habitantes nos bairros da cidade de Humaitá – Am.....30

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SRTM	(*Shuttle Radar Topograph Mission*) – Missão Topográfica Radar Shuttle
MDE	Modelo Digital de Elevação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
VANT	Veículo Aéreo Não - Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16

1.1. Justificativa 18

2. OBJETIVO 20

2.1. Geral 20

2.2. Específicos 20

3. REVISÃO DE LITERATURA 21

3.1. O Rio Madeira 21

3.2. Eventos hidrológicos na bacia do Rio Madeira 22

3.3. Inundações 24

3.4. SIGs, GEOTECNOLOGIAS E APLICAÇÃO EM AREAS VULNERAVÉIS 26

3.4.1. VANT – Veiculo Aéreo Não-Tripulado 26

3.4.2. GPS e Aplicações 27

3.4.3. Modelos Digitais de Elevação (MDE) 27

3.5. Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM) 27

4. MATERIAL E MÉTODOS 29

4.1. Caracterização da Área de Estudo 29

4.2. Clima 31

4.3. Obtenção de Dados 31

4.4. Processamento de dados e análise 31

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33

5.1. Identificação da área 33

5.2. Exportando as imagens para o *global mapper* 20.1 35

5.3. A criação do MDE (modelo digital de elevação). 36

5.4. Atribuição de Curvas de Nível 37

5.5. Modelo de Drenagem 38

5.6. Mancha de Inundação 39

6. CONSIDERAÇOES FINAIS E RECOMENDAÇOES 45

7. REFERÊNCIAS 46

1. INTRODUÇÃO

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes linhas de sofisticações (ROSA, 2013). O geoprocessamento é elaborado por meio de geotecnologias que envolvem desde processo de aquisição de dados espaciais, não espaciais, à sua modelagem, atualização, análises e tratamento, até os mecanismos de visualização e saída. Trabalhar com geoinformação significa, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados (CAMARA, 2001). As ferramentas computacionais para geoprocessamento, são chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), no qual permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (CAMARA, 2001). Os SIGs têm desempenhado um papel importante como integrador de tecnologia, no qual têm unido várias tecnologias discretas em um todo.

Dentre as tecnologias destacam-se: a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de informação geográfica, e os aplicativos gráficos disponíveis na WEB (Google Maps, Google Earth, Microsoft Virtual Earth, Google Street View etc.) (ROSA, 2011). Estas tecnologias apresentam vantagens técnicas e econômicas, facilitando na aquisição de dados em campo e processamento. As tecnologias ligadas ao sensoriamento remoto e aos sistemas de informações geográficas estão mais interligadas, apresentando potencial de aplicação em variadas áreas do conhecimento (FLORENZANO, 2005).

No contexto de geotecnologias destacam-se as novas plataformas de aquisição de dados em sensoriamento remoto e mapeamento, os chamados Veículos Aéreos Não - Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones (BUFFON et al, 2018). Os drones são aeronaves não tripuladas que podem possuir controle autônomo ou ser controlados remotamente de forma manual (DE MELO FERRAZ, 2015). As ortofotos obtidas com VANTs são importantes ferramentas para análise da problemática socioambiental na perspectiva de vulnerabilidades de áreas (BUFFON, 2017). Além das ortofotos, podem ser gerados outros trabalhos, como modelos digital de superfície e de terreno (MDT), e aquisição de atributos representativos do relevo.

Na perspectiva atual de gestão territorial, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento (CAMARA, 2001). Num país de extensão territorial como o Brasil, com carência de informações adequadas

para tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta grande potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CAMARA, 2001). Grande parte das aplicações das tecnologias de informações geográficas no Brasil, estão ligadas à gestão municipal (ROSA, 2011). A gestão municipal é uma das aplicações clássicas das tecnologias de informação geográfica, estima-se que cerca de 80 % das atividades efetuadas em uma administração municipal sejam dependentes do fator localização (ROSA, 2011). No meio ambiente as tecnologias de informação geográfica são usadas também no monitoramento de regiões remotas e distantes, como o caso da região amazônica, na detecção de focos de queimadas e estudos de impactos ambientais (ROSA, 2011).Relacionando mapas ao estudo ambiental e o mapeamento de inundação, se configura como um importante instrumento na prevenção, controle e gestão das inundações, pois através deles e possível definir as áreas de risco (BORGES, 2009).

Na busca por oportunidades nas cidades e em centros urbanos, tem-se originando aglomerações espaciais e irregularidades em função do uso e ocupação do solo. As pessoas sem compreender as variações geográficas e climáticas das regiões, acabam edificando em caráter ocupacional e empreendedor em localidades irregulares, sem levar em consideração os riscos e às legislações vigentes, que podem ser ocasionados pela dinâmica da natureza, ou remodelagem antrópica. As alterações antropogênicas contribuem na intensificação dos processos de vertentes, fluviais, de escoamento concentrado e assoreamento. Logo as interferências antrópicas no meio físico tem sido motivo de apreensão nas últimas décadas, sendo crescente a preocupação com o sistema ambiental (FRANCO et al, 2011). Os principais fenômenos relacionados a desastres naturais no Brasil são derivados da dinâmica externa da Terra, tais como, inundações, enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades. Estes fenômenos ocorrem normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados (DE MIRANDA, 2015).

Neste contexto Tucci (2004), diz que as enchentes ocorrem quando há precipitação intensa e a quantidade de água proveniente dela que chega ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, provocando inundações das áreas ribeirinhas. Nos centros urbanos, as estruturas físicas remodeladas e construídas pelo homem, são capazes de alterar o fluxo superficial da água no solo interceptando o corpo hídrico, criando depressões topográficas no terreno e como consequência intensifica o acúmulo de água em vias urbanas (SOUZA, 2017). Tais estudos tem importância e relevância ambiental quando se trata de inundações urbanas, pois apresenta melhor observação da dinâmica da água em ambientes edificados.

A cheia do ano hidrológico 2013-2014 foi consequência dos altos montantes de precipitações associados com condições anômalas de temperatura da superfície dos Oceanos Pacifico-Indico e Atlântico Sul Tropical (ESPINOZA et al., 2017) no qual condicionaram a variabilidade climática na região, causando elevação no índice de precipitação na bacia do rio Madeira a montante de Porto Velho (GERMANO, 2015). O padrão de distribuição espacial e temporal das chuvas nas planícies da Bolívia determinaram que a onda de cheia no sistema de drenagem do Guaporé-Mamoré entrasse em fase com a onda de cheia do sistema Beni-Madre de Dios em Abunã (OVANDO et al., 2016).

1.1. Justificativa

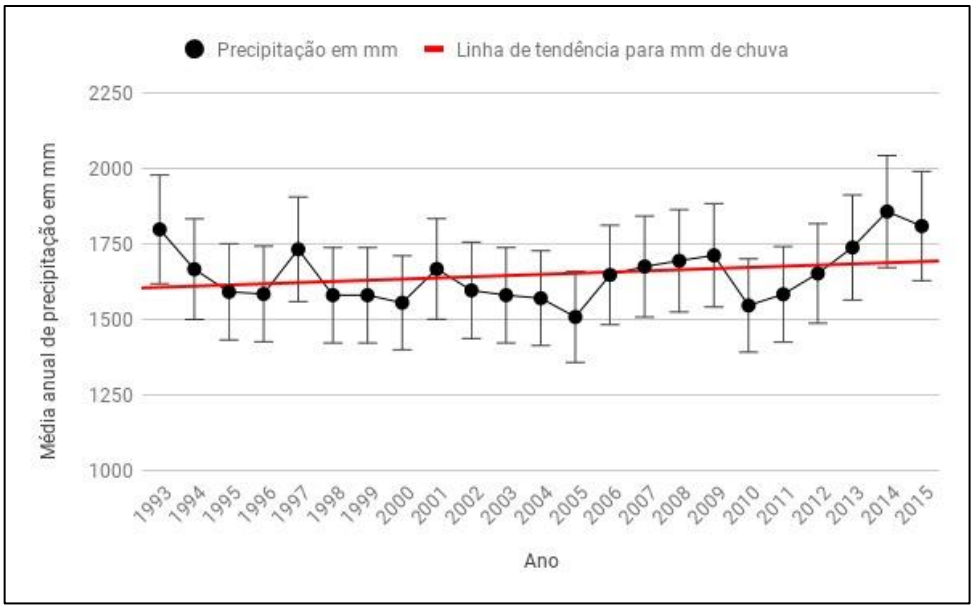
No município de Humaitá, mais precisamente na zona urbana, a cheia do rio Madeira estendeu-se pelos canais dos igarapés, os quais represaram, por consequência, vários bairros foram inundados por um longo período, o que deixou a população no prejuízo, principalmente nos setores , como malha viária, residências e prédios públicos, e deixou um número significativo de famílias desabrigadas, que segundo a Comissão da Defesa Civil Municipal de Humaitá (CDCMH) de 2014, levantou dados dos danos causados pela cheia, informando que mais de 544 residências foram atingidas pela inundação em diversos bairros (Defesa Civil do Amazonas, 2014), deixando mais de 100 famílias desabrigadas. O bairro de Santo Antônio torna-se um dos primeiros a ser atingido, por ser cercado por áreas de drenagem urbana, e consequentemente torna-se um dos últimos a sair da situação de inundação.

A maioria dos municípios brasileiros têm dificuldade em elaborar e atualizar suas bases de dados. Isso ocorre por não haver o acompanhamento no processamento dos dados, no qual ocasiona erros em seus registros. A cidade de Humaitá não dispõe de corpo técnico para atualização da base de dados geográficas, dependendo das agências externas elaborarem o acompanhamento através de satélite ou monitoramento anual, ou aproveitamento de dados antigos com preenchimento de lacunas, no qual implica em dados defasados. Por incumbência desses problemas, o setor administrativo tem dificuldade em elaborar uma base cartográfica digital para auxiliar no monitoramento dos desastres naturais e de natureza antrópica através da criação de mapa de vulnerabilidade.

Dessa forma o mapeamento das áreas inundáveis proporcionará dados necessários das regiões passíveis às inundações. Tais informações servirão como base para a tomada de decisões do poder público e minimizarão os danos decorrentes deste fenômeno, com mitigações de ordem não estrutural e estrutural. Algumas variáveis que tornam o estudo imprescindível, é o

fato de o município de Humaitá estar inserido em uma região de alta vulnerabilidade por ser uma região de planície, e o histórico de transbordamento durante vários anos de ocorrência do evento. A Figura 1 demonstra dados coletados da Agência Nacional de Águas (ANA) sobre ocorrência de cheias do rio Madeira nos últimos 22 anos.

Figura 1: Grafico das cheias do Rio Madeira no periodo (1993 - 2005). Fonte: Agência Nacional de Aguas (ANA). Elaborado pelo autor.



2. OBJETIVO

2.1. Geral

Diagnosticar possíveis áreas de vulnerabilidade a inundação urbana no bairro de Santo Antônio, Humaitá –AM, Brasil.

2.2. Específicos

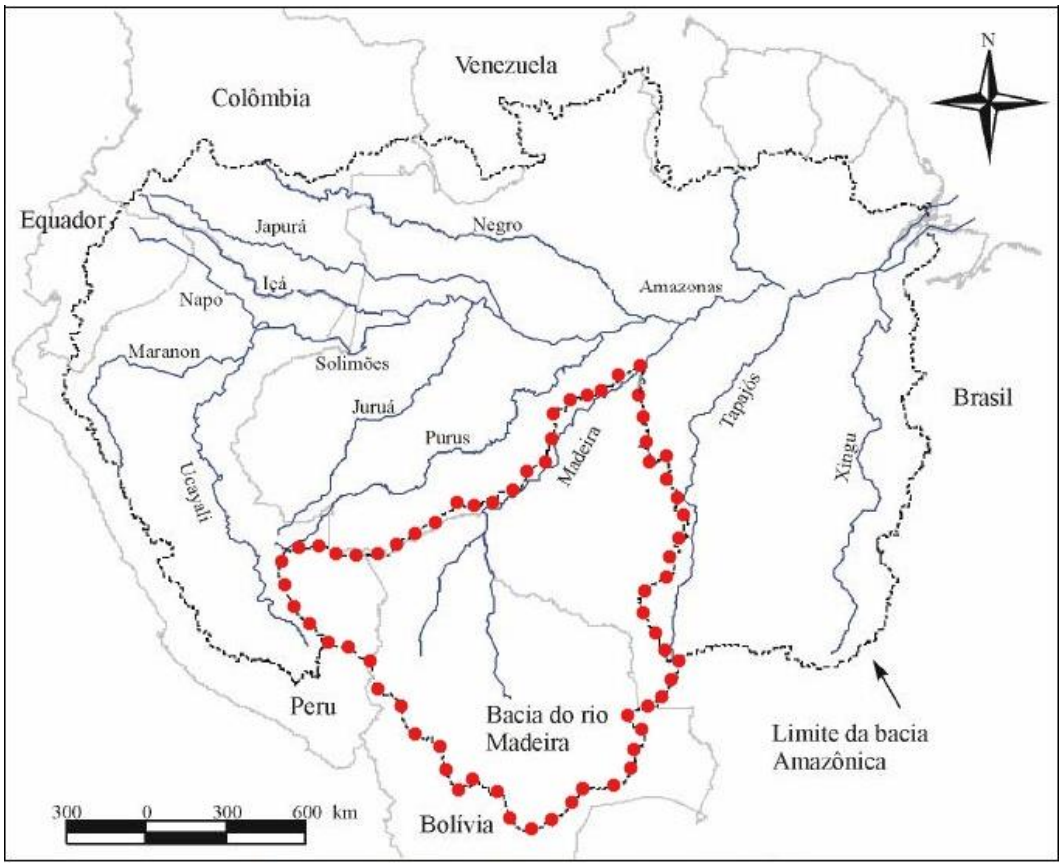
- Identificar áreas de vulnerabilidade por meio de uso de GPS (Global Position System) e dados aerofotogramétricos capturados pelo VANT (veículo aéreo não tripulado);
- Produzir um modelo básico do relevo através do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Bairro Santo Antônio utilizando-se os softwares Google Earth Pro 2019 v 7.3.2 5776 (64 – bit) e Global Mapper v. 20.1;
- Elaborar um modelo das manchas de inundações das áreas de vulnerabilidade utilizando o software Global Mapper v. 20.1.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O Rio Madeira

A bacia do Rio Madeira estende-se pelos países: Bolívia, Brasil e Peru e possui uma superfície de 1.420.000 Km². O Rio Madeira recebe este nome após o encontro dos rios Beni e Mamoré na fronteira entre Brasil e Bolívia (RIBEIRO, 2006). A região do alto Madeira apresenta uma planície de inundação conhecida como *Llanos del Moxos*, formando a planície do Rio Beni, composta pelos rios Beni, Mamoré e Guaporé (ESPINOZA et al., 2017). Na figura 2 mostra a delimitação da bacia do Rio Madeira em relação a bacia Amazônica

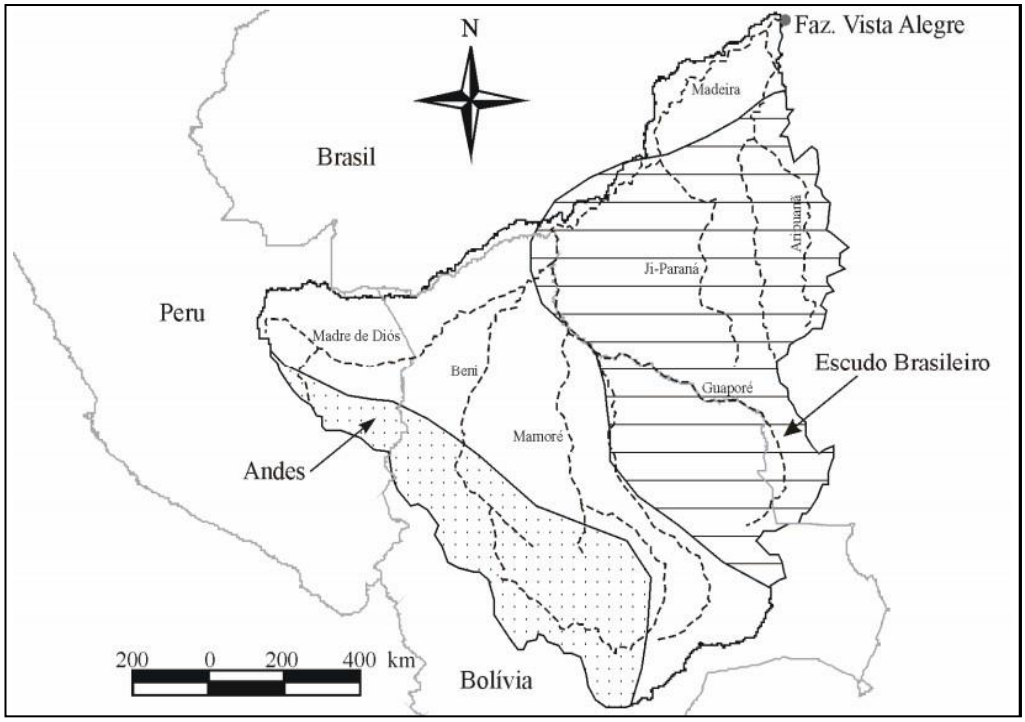
Figura 2: Delimitação da Bacia do Rio Madeira. Fonte: espaçogeografico (2010)



A bacia do Madeira possui três unidades morfo-estruturais apresentadas com a seguinte proporção: Andes (15%), planície Amazônica (44%) e escudo Brasileiro (41%) conforme a figura 3. Devido essa característica, verificam-se grandes altitudes na parte montante da bacia, vastas zonas de inundação na planície e a presença de cachoeiras no escudo brasileiro (RIBEIRO, 2006). O Rio Madeira é classificado como um rio de águas brancas, por transportar grande quantidade de material em suspensão, substancialmente elevada durante a estação chuvosa, quando sua vazão e aumentada exponencialmente, passando 5.000 – 6.000 m³/s

(período seco) para 45.000 – 50.000 m³/s (período chuvoso), com uma média anual de 23.000 m³/s. (ADAMY, 2016).

Figura 3: Unidades morfoestruturais da bacia do Rio Madeira. Fonte Ribeiro Neto (2006)



3.2. Eventos hidrológicos na bacia do Rio Madeira

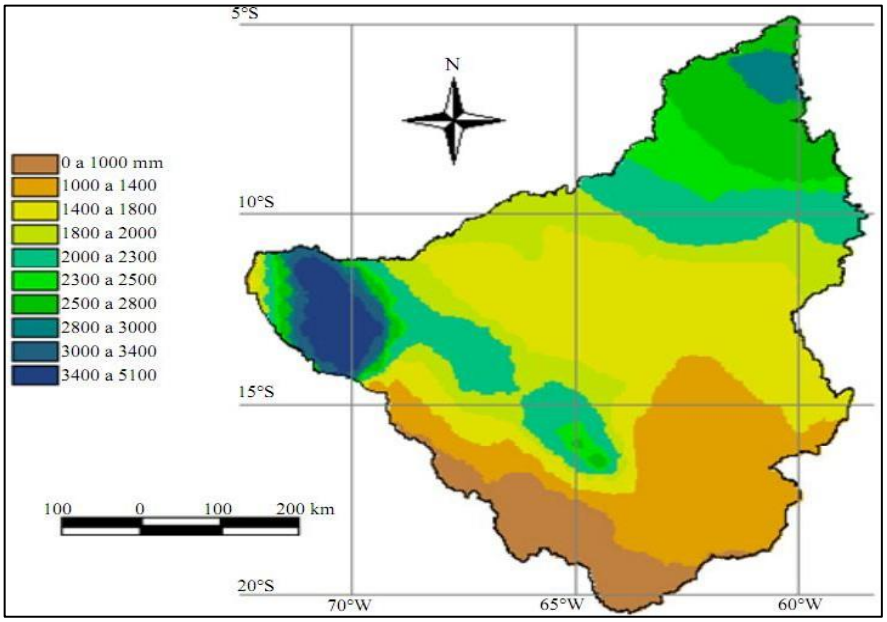
A Amazônia exibe peculiaridades em comparação a outros regiões terrestres. Dentro dessas especificidades, o território amazônico possui uma extensa área com clima predominantemente quente e úmido, contendo altos índices de precipitação que, segundo Marengo (2009), chega em torno de 2300 mm/ano a 5000 mm/ano no setor ocidental da região. Essa característica só é decorrente pela sua posição favorável, próximo da linha do equador, onde incide uma abundante radiação solar, e aspectos relativos à circulação geral da atmosfera. A região apresenta características hidrológicas e pluviométricas diferenciadas, contudo, as regiões ribeirinhas em planícies de inundação tendem a enfrentar todos os anos constantes cheias, decorrentes da variação climática, que caracterizam o regime de chuva da região.

A bacia do Rio Madeira na porção brasileira possui aspectos semelhantes à bacia amazônica, caracterizando-se predominantemente por um clima quente e úmido (clima equatorial) (IBGE, 2010). Segundo a classificação de Koppen (1948), a região representa um clima tropical úmido de monção, exibe um longo período com precipitação pluviométrica elevada e uma curta estação seca (MASSON, 2005). A precipitação média anual é de 1.940

mm, a descarga média anual é igual a 31.200 m³. s -¹, a vazão específica é de 23,551. s-¹.km-² e o coeficiente de escoamento (razão entre volume escoado e precipitado) e igual a 0,38 (MOLINIER et al., 1994).

Andrade (2008), ainda destaca que na parte sul da bacia amazônica, localizada na Bolívia, a distribuição de chuvas depende do movimento das principais massas de ar na América do Sul e do papel orográfico dos Andes. A bacia do Rio Madeira apresenta zonas de instabilidade climática, influenciadas por fenômenos de circulação atmosférica e chuvas intensas determinando um alto índice de vazão, e umidade. A distribuição de chuvas pode ser explicada, pela dinâmica das principais massas de ar ativas e os sistemas de circulação atmosférica: em parte da América do Sul, há formação de depressões barométricas no interior de massas de ar equatorial, sistema de norte, da zona de convergência intertropical (ZCIT), sistema de sul, correspondente ao anticiclone polar com influência de frentes frias, massas de ar polar e sistemas de circulação atmosférica o anticiclone da Alta da Bolívia (AB) (FISCH et al.,1996) e pela orografia, dada a influência das montanhas na cordilheira dos Andes, na escala continental (MUNIZ, 2013). A figura 4 determina que os maiores acúmulos de precipitação se encontram na faixa Andina da bacia (Peru) (MUNIZ, 2013).

Figura 4: Distribuição de precipitação na bacia do Rio Madeira (Brasil e Bolívia). Muniz (2013); Ribeiro Neto (2006).



O regime hidrológico é estudado sobre a variação sazonal de enchente e vazante que são componentes principais. A variação do nível ou vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica. As distribuições temporal e espacial da

precipitação são as principais condições climatológicas (MUNIZ, 2013). A variabilidade sazonal das cheias dos rios da Amazônia tem sua dinâmica diferenciada conforme o regime chuvoso. Segundo Ribeiro (2006), nos rios que se localizam na parte centro-sul da bacia a cheia ocorre entre março e maio, e as que estão localizadas na porção norte apresentam cheias entre junho e julho.

As inundações da planície Amazônica boliviana, ocorrem praticamente todos os anos durante o período de chuvas (novembro-março) (MUNIZ, 2013). Ainda Muniz (2013), observou-se que a influência do fenômeno *El Nino* em certas regiões da bacia do Madeira constatou tanto déficit hídrico, como excesso de precipitação. Devido a magnitude da bacia eventos relacionados ao *El Nino* Oscilação Sul as inundações constituem em uma ameaça presente, que se intensifica durante os anos que o fenômeno *El Nino* se manifesta. Os condicionantes da precipitação na Amazônia são complexos e extremamente importantes para conhecer o regime hidrológico. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e a erosão do solo (TUCCI, 2007).

3.3. Inundações

Há conceitos que se confundem quando envolvem temas como: inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos. Nesse contexto, pode ser diferenciado quanto ao comportamento do corpo hídrico, tempo ou o relevo local. Entende-se enchente ou cheia como a elevação temporária do nível da água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga (IPT, 2007). Inundação se configura como o processo de extravasamento das aguas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge a cota acima do nível máximo da calha principal do rio (IPT, 2007); enxurrada, quando o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte (IPT, 2007); e alagamento é o acumulo momentâneo de aguas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial (IPT, 2007). A figura 5 demonstra os conceitos acima citados.

Figura 5: Esquema do processo de Enchente e inundação. Fonte: IPT(2007:92)

Tucci (2005), afirma que o escoamento pluvial produz inundações e impactos nas áreas urbanas resultantes de dois processos. No quais são as inundações de áreas ribeirinhas e as inundações resultantes da urbanização.

> **Inundações de Áreas ribeirinhas:** são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
> **Inundações resultantes da urbanização:** ocorrem na drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou da obstrução ao escoamento. (TUCCI, 2005).

Tucci (2007) explica que, a inundação do leito maior dos rios é um processo natural, como decorrência do ciclo hidrológico das águas. Com a ocupação das áreas de várzea os impactos são frequentes resultando em problemas tais como:

- No plano diretor não há restrição quanto a ocupação das áreas de várzea;
- Invasão de áreas ribeirinhas;
- Ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com frequência menor;

os impactos causados a sociedade são:

- Perdas materiais e humanas;
- Interrupção das atividades econômicas nas áreas inundadas;
- Contaminação por doenças de veiculação hídrica;
- Contaminação pela deposição de material toxico.

Tucci (2005), afirma que o gerenciamento atual não incentiva a prevenção das

inundações, ao invés disso o município declara estado de calamidade pública e recebe recursos a fundo perdido, e não precisa de concorrência pública para gastar.

3.4. SIGs, GEOTECNOLOGIAS E APLICAÇÃO EM AREAS VULNERAVÉIS

Os Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIGs) são aceitos como uma tecnologia que possuí a ferramenta necessária para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo a geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatistica. Os SIGs correspondem as ferramentas computacionais de geoprocessamento, que permitem a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciadas (CAMARA et al., 2005). Dentre essas ferramentas tem-se os Modelos Digitais de elevação (MDEs) que permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão (GROHMANN, 2008). Os sistemas de informações, são bancos de dados georreferenciados que permitem a integração de dados de sensoriamento remoto, temáticos, cadastrais, tabulares e de MDT (Modelo Digital de Terreno) (FERNANDES, 2016). No ambiente SIG usa-se termos para construção da interpretação:

Dados: trata-se de valores numéricos de acordo com as características reais da área de estudo, oriundos de observações diretas ou indiretas, que podem ser a mensuração de atributos E a determinação de localização e forma de um objeto ou fenômeno (LONGLEY, 2013); Informações: e o conjunto de dados que possuem significado para um uso ou aplicação em particular; Atributo: informações descritivas como nomes, números, tabelas e textos relacionados com um único objeto, elemento, entidade gráfica, caracterizando um fenômeno geográfico (CAMARA; 2001).

3.4.1. VANT – Veiculo Aéreo Não-Tripulado

VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é a terminologia oficial prevista pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este tipo de plataforma. Segundo a Legislação Pertinente (Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10), caracteriza-se como VANT toda Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo (BRASIL, 2019).O interesse pelos Veículos Aéreos Não Tripulados tem se difundido rapidamente, segundo Carneiro (2018), o desenvolvimento desta tecnologia se deve ao fato por ter a capacidade de realizar voos em áreas de difícil acesso ou hostis, baixo custo e facilidade de operacionalização. Além disso

Carneiro (2018) expõe que com o uso da tecnologia há baixo risco de acidente envolvendo pessoas e utilização em espaços reduzidos com baixa altitude de voo.

3.4.2. GPS e Aplicações

O GPS é um sistema de rádio navegação baseado em satélites desenvolvido e controlado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América (U.S. DoD) que permite ao usuário saber sua localização, velocidade e tempo, sob quaisquer condições atmosféricas em qualquer ponto do globo terrestre (ROSA, 2013). Os GPS baseiam-se na determinação da distância entre um ponto, o receptor, a outros de referência, os satélites. Sabendo a distância que nos separa de 3 pontos pode ser determinado a nossa posição relativa a esses mesmos 3 pontos através da intersecção de 3 circunferências cujos raios são as distancias medidas entre os receptores e os satélites. São necessários no mínimo 4 satélites para determinar nossa posição corretamente. O uso do GPS e muito requisitado nos serviços de mapeamento e geoprocessamento, ou seja, na coleta de dados (coordenadas) de posicionamento dos diversos objetos a serem mapeados (analógicos ou digitais). Suas aplicações são intensas na parte de captura de dados para Monitoramento Ambiental (ROSA, 2013).

3.4.3. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Qualquer representação da variação contínua de dados físicos no espaço (temperatura, pressão, altitude, população...) e conhecida como Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Models* – DEM's). Rosa (2013) salienta que os MDEs são utilizados em diversas áreas, sendo suas aplicações básicas as seguintes: Armazenamento de dados de elevação para mapas topográficos digitais; Elaboração de mapas de declividade, mapas de aspecto, e para desenhos de perfis; Geração de dados para simulação de modelo de imagens do terreno.

O mapeamento das áreas de risco as inundações dependem necessariamente do conhecimento da vulnerabilidade destas (BUFFON, 2017). A aplicação de geotecnologias está relacionada a importância que o estudo do espaço geográfico vem ganhando na sociedade contemporânea nos últimos anos (FERNANDES, 2016). As tecnologias que fazem parte desse tipo de trabalho são destacadas: Sensoriamento Remoto, GPS, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e os Drones também podem auxiliar em levantamentos de dados.

3.5. Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM)

A missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) trouxe um avanço na aquisição

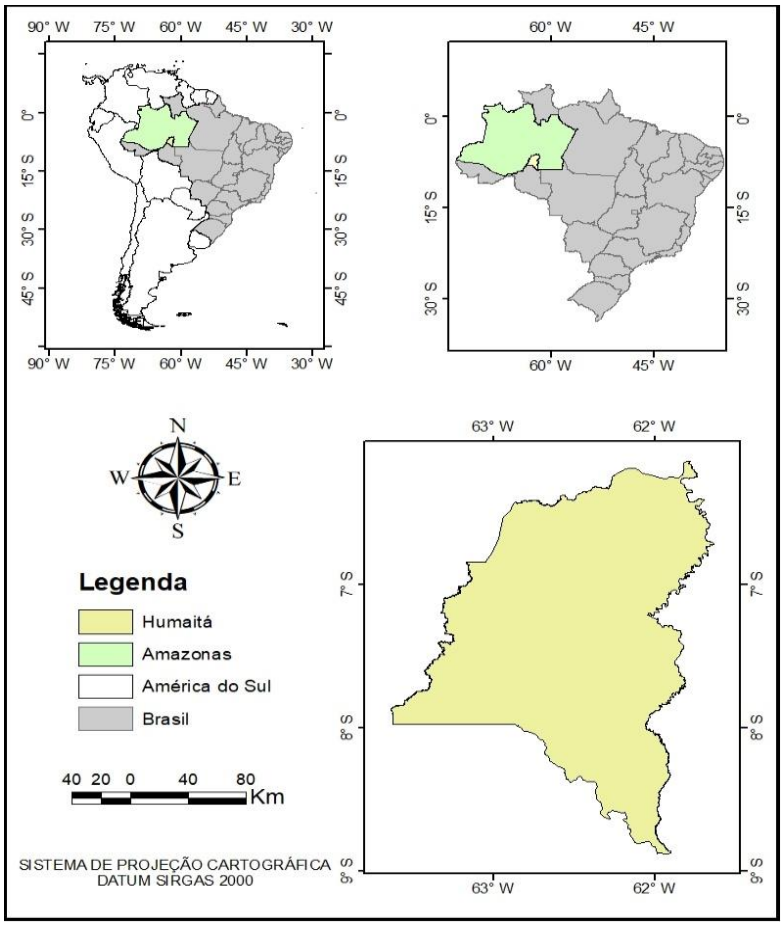
de dados topográficos, pois permitiu que dados altimétricos fossem obtidos a partir de um único sobrevôo que recobriu 80% da superfície terrestre em apenas 11 dias, entre as latitudes de 60° Norte e 56° Sul (PINTO, 2004). O SRTM consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do ônibus espacial ENDEVOUR (ROSA, 2013). O sobrevoo forneceu modelos tridimensionais de alta qualidade e com resoluções espaciais de 1 *arc sec* (30 metros) e de 3 *arc sec* (90 metros), com datum horizontal WGS 84 e datum vertical WGS 84 / EGM 96, com acuidade vertical relativa na ordem de 5 metros.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo

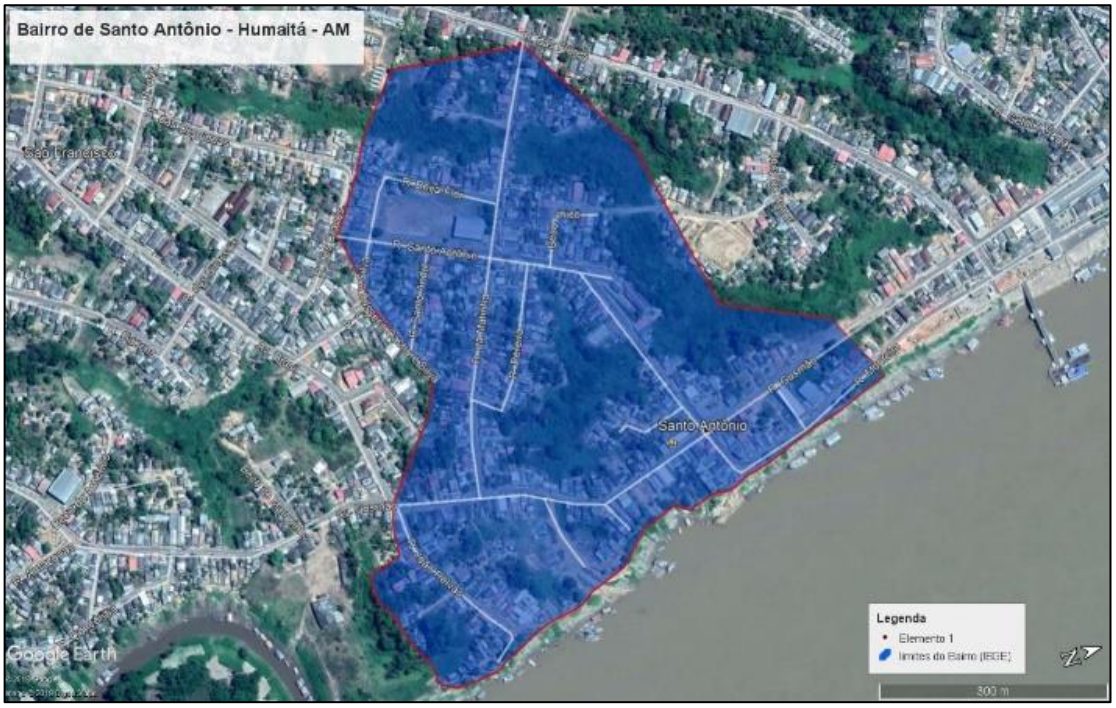
O estudo foi desenvolvido no perímetro urbano do município de Humaitá, no qual está localizado a sudoeste da Amazônia nas coordenadas geográficas (07°30’22’’ S e 63°01’15’’ W), (Figura 2). Possui uma altitude em média de 58 m à nível do mar, seu território ocupa uma área total de 33,213,3 km², fica distante da capital Manaus 972 Km por via fluvial e 679 km por via terrestre. Humaitá está limitado ao norte e a leste pelo município de Manicoré, ao Sul pelo Estado de Rondônia, a Oeste pelo município de Canutama e a noroeste com Tapauá. segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), possui uma população estimada de 54.001 habitantes.

Figura 6: Localização da Área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.



O bairro de Santo Antônio possui uma área de 0,31 Km² e seu perímetro chega a obter 2,51 Km², e a elevação do terreno varia entre 45 m e 65 m acima do nível do mar.

Figura 7: Caracterização da área de estudo. Fonte: Google Earth. Fonte: Elaborada pelo autor.



Dentro do município foi delimitado a área de estudo, mais precisamente na zona leste, onde localiza-se o bairro de Santo Antônio (07°30’54,10” S; 63°01’12,83” O), na qual, possui uma população no total de 2.420 pessoas residentes, conforme a Tabela 1, (IBGE, 2010) último censo.

Tabela 1: Número de habitantes nos bairros da cidade de Humaitá - Am. Fonte: IBGE 2010.

CÓDIGO	MUNICÍPIO	BAIRRO/DISTRITO	TOTAL	HOMENS	%	MULHERES	%
1301704	**HUMAITÁ**	Centro	2.048	1015	49,5	1033	50,5
1301704	**HUMAITÁ**	São José	1.027	514	50,1	513	49,9
1301704	**HUMAITÁ**	São Cristóvão	4028	2043	50,7	1985	49,3
1301704	**HUMAITÁ**	São Pedro	1764	928	52,6	836	47,4
1301704	**HUMAITÁ**	Nova Humaitá	5026	2498	49,7	2528	50,3
1301704	**HUMAITÁ**	Divino Pranto	1542	800	51,8	742	48,2
1301704	**HUMAITÁ**	Novo Centenário	1147	581	50,6	566	49,4
1301704	**HUMAITÁ**	Santo Antônio	2420	1219	50,3	1201	49,7
1301704	**HUMAITÁ**	São Francisco	3599	1879	52,2	1720	47,8
1301704	**HUMAITÁ**	São Sebastião	1419	737	51,9	682	48,1
1301704	**HUMAITÁ**	São Domingos Sávio	3471	1771	51,0	1700	49,0
1301704	**HUMAITÁ**	Nossa Senhora do Carmo	2544	1348	52,9	1196	47,1
1301704	**HUMAITÁ**	Nova Esperança	466	248	53,2	218	46,8

4.2. Clima

O clima da região é classificado como quente e úmido com dois períodos bem definidos: um chuvoso prolongado (outubro a maio) e um seco de pequena duração (junho a setembro) (TAVARES, 2017). No período chuvoso o total pluviométrico esperado e de 1949,6 mm e no período seco 244,1 mm, totalizando 2193,7 mm por ano (INMET, 2009). O período chuvoso comumente ocorre entre outubro e março e o período seco ocorre entre junho a agosto, considerando o restante dos meses o período de transição (VIDOTTO et al., 2007).

4.3. Obtenção de Dados

A primeira etapa do trabalho conteve na busca de informações no banco de dados de defesa civil de Humaitá a respeito de mapas de risco, por hora estes não foram consideradas, por não apresentarem boletins diários, mensais ou anuais das cotas altimétricas das cheias do Rio Madeira, em seus registros apenas havia dados do número de residências e famílias que foram afetadas.

A segunda etapa consistiu-se em levantamentos de dados *in loco*. Efetivando-se marcações de pontos no GPS comum (GARMIN MAP. modelo – 62 St com precisão de 3 m) onde houve ocorrências de inundações. Posteriormente a esta verificação, elaborou-se o pré estabelecimento dos planos de voo com o VANT *(Drone)*. O *drone* utilizado foi da marca DJI - MAVIC PRO modelo – M1P (com Sistemas de Posicionamento por Satélite: GPS / GLONASS, equipado com câmera de alta resolução de 12 megapixels com captura no formato RAW). Inicializou-se o aplicativo (*DJI GO* 4.0) devidamente instalado no celular, e por fim calibrou-se o drone. Assim que houve a sincronização do aparelho com o aplicativo no celular, executou-se o voo e a coleta das ortofotos, que foram armazenados automaticamente e em dois locais de memória: interna no próprio *drone*, e no celular.

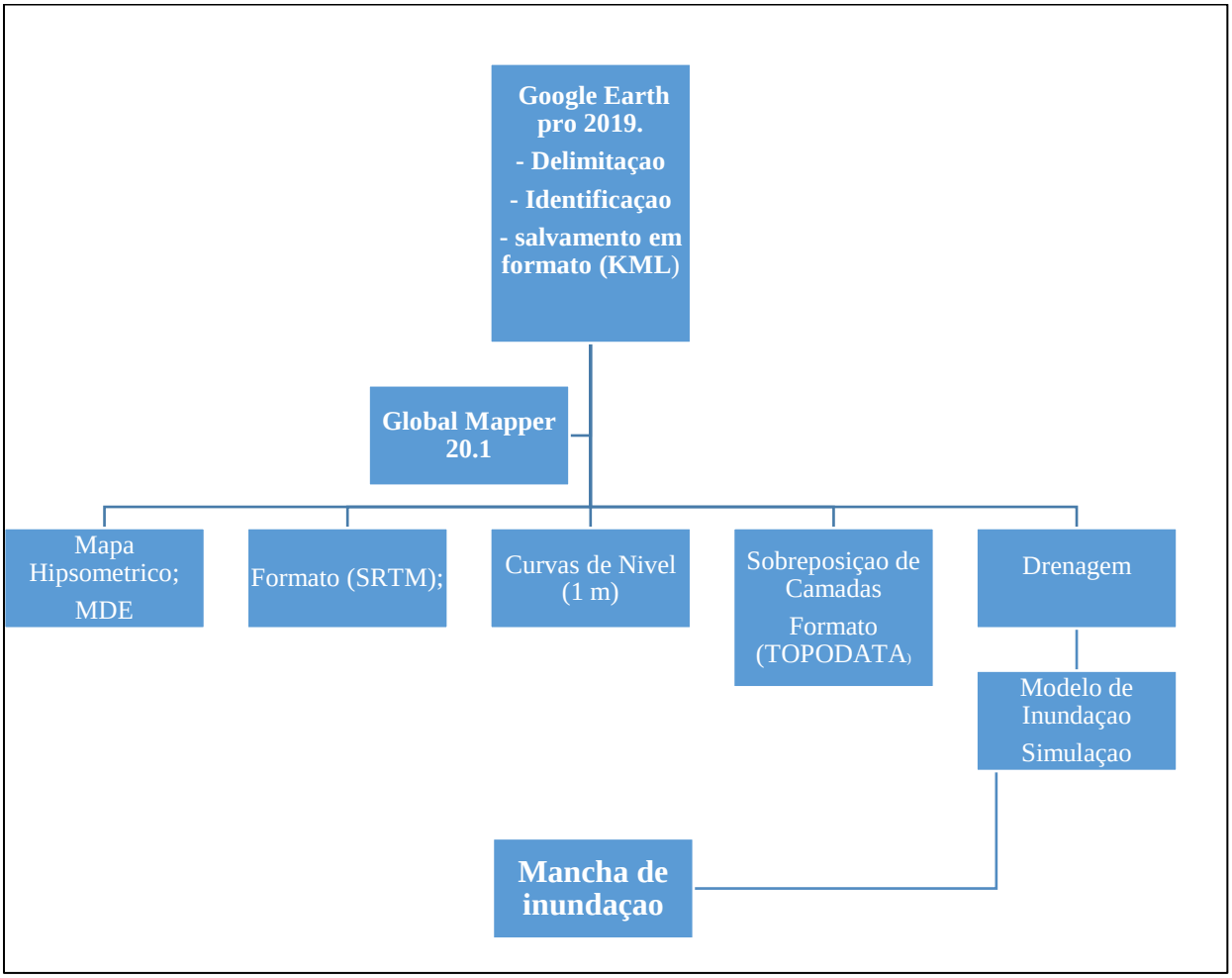
4.4. Processamento de dados e análise

O tratamento dos dados foram processados no Laboratório do Ictiologia e Ordenamento Pesqueiro do Vale do Rio Madeira (LIOP), utilizou-se as ferramentas do *software Global Mapper* 20.1 e *Google Earth Pro* v 7.3.2.5776 (2019), devidamente instalados nos computadores. Delimitou-se o perímetro da área de estudo, no qual foi utilizado o software *Google Earth*, para configuração, recorte e conversão da imagem da área de estudo. A área de interesse foi georreferenciada e projetada para o sistema de coordenadas UTM e Datum WGS 84 alteradas no próprio *Google Earth pro* e no *Global Mapper 20.*1.

Procedeu-se na elaboração de um modelo básico do relevo do município de Humaitá no programa *Global Mapper 20.1*, com delimitação caracterizada no software Google Earth 2019. No qual produziu-se um MDE (Modelo Digital de Elevação) adquirido na fonte de dados Mundiais (*World Wide Data)* online, fornecido em uma das ferramentas do programa, e aderiu-se aos dados de elevação mundial pela missão SRTM (*Shuttler Radar Topograph Mission*) – (Missão de topografia de radar de ônibus espacial). Após a adesão do MDE fixou-se as curvas de nível no MDE. Os dados do SRTM obtêm informações sobre relevo, rede de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas, nascentes, curvas de nível e outros atributos da camada da superfície terrestre.

A Figura 8 demonstra o procedimento tomado até a elaboração do modelo de mancha de inundação.

Figura 8:Fluxograma de procedimentos que foram seguidos durante o trabalho. Elaborado pelo autor.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos seguem quatro etapas: a primeira etapa consistiu em identificar áreas de vulnerabilidade por meio de uso de GPS e dados aerofotogramétricos capturados pelo *drone*. A segunda etapa baseou-se na delimitação da área do bairro Santo Antônio compilando-se os pontos coletados por GPS no software *Google Earth*. A terceira atribuiu-se na criação de um modelo básico do relevo Modelo Digital de Elevação (MDE) no *Global Mapper,* tendo as informações sobre o perfil de elevação do terreno, onde estabeleceu-se em representar a altitude com curvas de nível com distância de 1m (um metro) entre elas. A quarta etapa incumbiu-se em fixar a rede de drenagem no *shapefile*, e em seguida dispor de uma camada que representa a malha viária do terreno da área, descarregada no próprio programa, na ferramenta (*Topomap*). Na mesma etapa na ferramenta de visualização em 3D do terreno simulou-se a inundação do rio Madeira subindo a água a cada 1 (um) metro e formando-se assim a mancha de inundação.

Conforme a metodologia descrita durante o processamento das imagens gerou-se os seguintes resultados:

- Mapa com os pontos de inundação *in loco*;
- Mapa representativo do Modelo Digital de Elevação (MDE) da região;
- MDE com curvas de nível;
- Mapa com a rede de drenagem;
- Sobreposição de camadas e geração da mancha de inundação.

5.1. Identificação da área

Como resultado, Identificou-se os locais de inundação, utilizando-se os pontos coletados com GPS, na sequência, usando o drone (*DJI MAVIC PRO*) foi retirada fotos aéreas para visualização mais detalhada do terreno como certifica a Figura 7. Na sequência as informações e dados coletados foram transferidos ao computador do Laboratório de Ictiologia e Ordenamento Pesqueiro do Vale do Rio Madeira (LIOP) e consecutivamente enviados para plataforma *Google Earth*.

A Figura 8 informa a delimitação do Bairro de Santo Antônio conforme apresenta a caracterização da área de estudo. Ao lado exibe-se o produto gerado pelo *drone*, que apresentam uma alta resolução com dimensão aproximada de detalhes do terreno.

Figura 9: Caracterização detalhada dos pontos de inundação feito por Drone: Elaborado pelo autor.

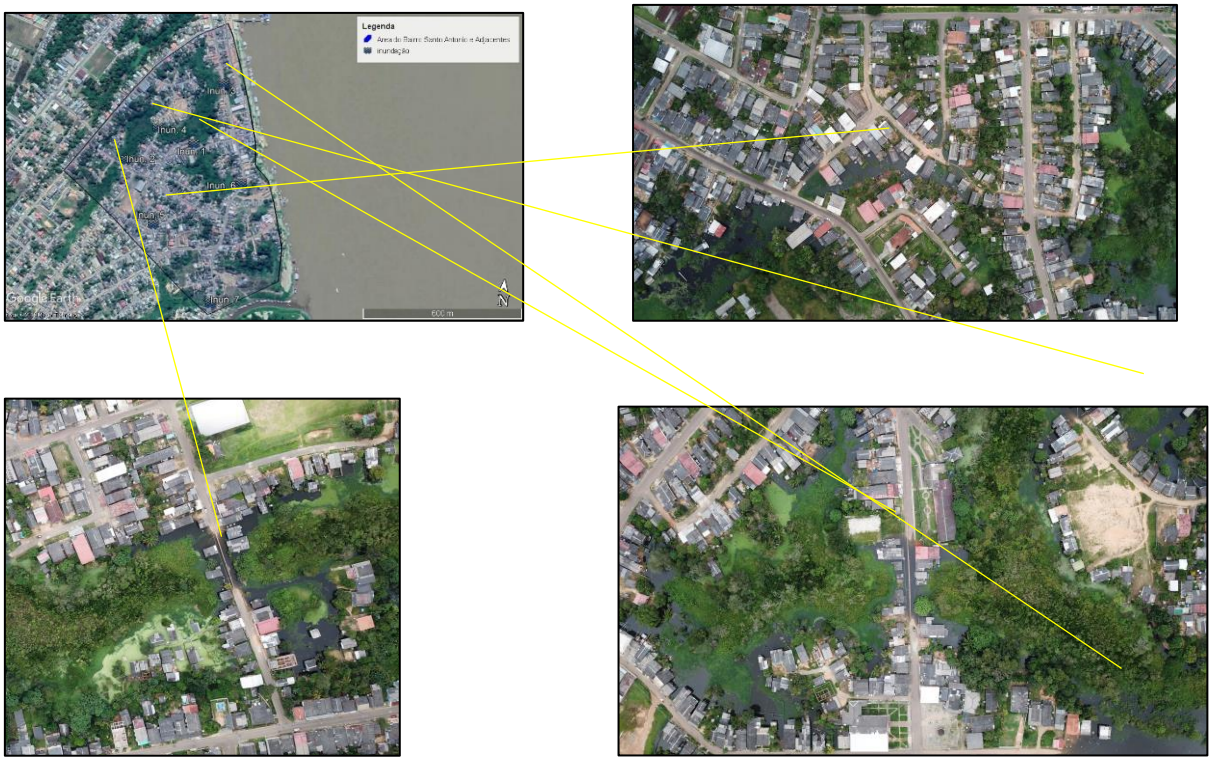
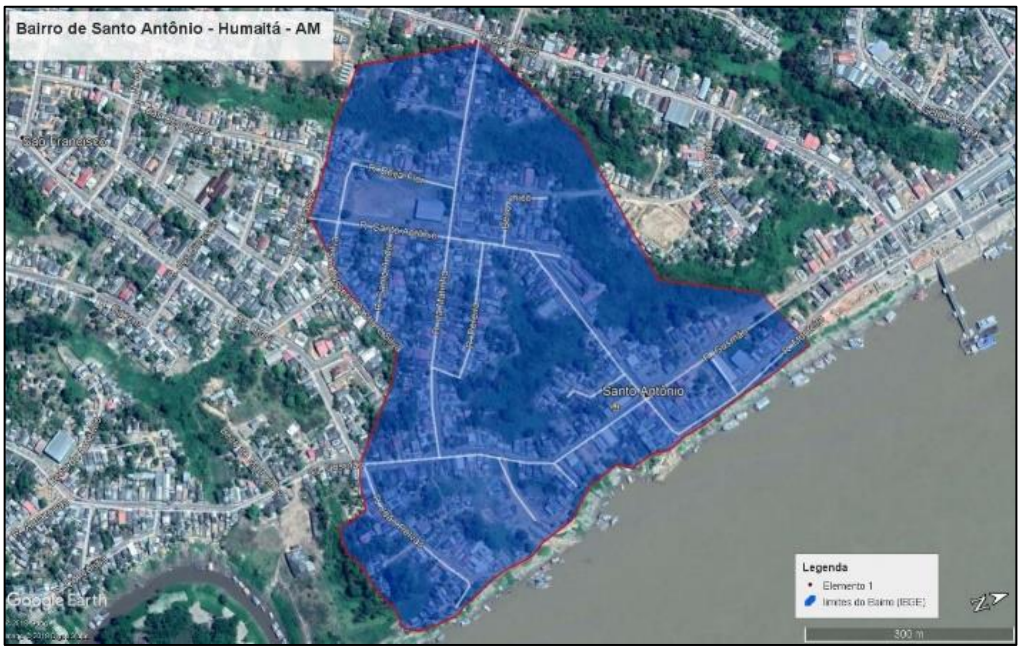


Figura 10: Limite do Bairro Santo Antônio. Elaborado pelo autor.



Após ter efetivado a transferência dos pontos, delimitou-se novamente a localização da área de estudo, estendendo-se além dos limites do bairro Santo Antônio, incluindo ao mapa os corpos hídricos adjacentes, no qual contribuem para a inundação. Como atesta a figura 9 em que configura o resultado da ampliação poligonal expandindo-a, totalizando 521.331 m² de

área, e um perímetro de 2.940 m. Elaborou-se um recorte em forma de polígono com arestas retas com o propósito de facilitar a exportação e para a plataforma do programa *Global Mapper*.

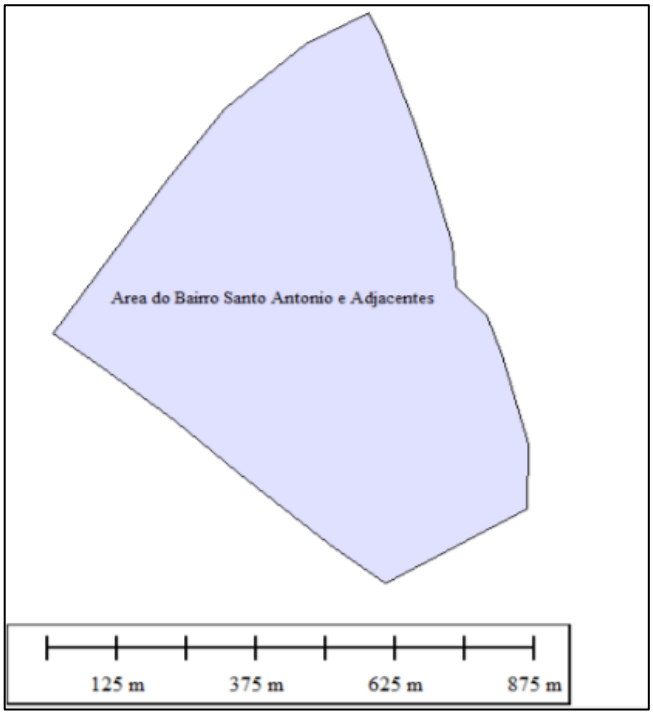
Figura 11: Área de estudo com ampliação do perímetro, com seus respectivos pontos de inundações dado por GPS em campo. Elaborado pelo autor.

5.2. Exportando as imagens para o *global mapper* 20.1

Ao ter implementado o procedimento configurativo das imagens no próprio *Google Earth* elas foram devidamente salvas no formato KML. No software *Global Mapper 20.1*, na tela inicial de acesso selecionou-se a ferramenta (*Open Data Files*), no qual se localizou o arquivo em KML, já salvo. Dando prosseguimento no processo, no layout do programa a imagem foi gerada como uma espécie de *shapefile* de acordo com a figura 12.

Com a imagem do terreno em tela, configurou-se a projeção cartográfica para o modo UTM (*Universal Transversa de Mercartor*), que utiliza um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional que serve para localizar superfície na Terra e no sistema de referência (DATUM WGS 84) que é uma norma cartográfica de origem geocêntrica, com as unidades planares em metros.

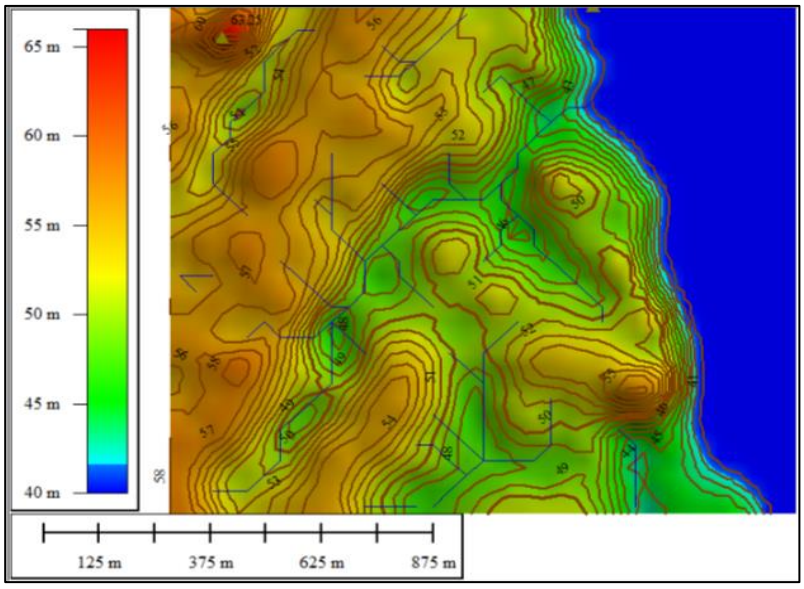
Figura 12: Recorte Poligonal da Área de Estudo elaborado no Global Mapper. Autoria própria



5.3. A criação do MDE (modelo digital de elevação).

A ferramenta (*connect to on line*) determinou-se a forma que melhor se adaptaria a trabalhar o Modelo Digital de Elevação (MDE), onde manipulou dados do SRTM que utiliza o espectro de cores para indicar o nível de elevação do terreno conforme descreve a Figura 11 que determina o processamento da criação do MDE e SRTM.

Figura 13: Modelo Digital de Elevação do Terreno, utilizando imagem SRTM, na qual observa-se na legenda à esquerda o espectro de cores para distinção de elevação em todo o terreno. Elaborado pelo autor.



5.4. Atribuição de Curvas de Nível

No *shapefile* com o MDE já atribuído, utilizou-se a ferramenta (*Created Área Feature*) no qual fora selecionada somente a área do polígono, utilizando-se da ferramenta (*Contorn*) Resultando-se na produção das curvas de nível, de acordo com a Figura 12. A distância entre as curvas de nível foram configuradas para 1 metro para dar mais precisão na medida altimétrica da superfície do terreno. Após o produto gerado pelo processamento da imagem, retirou-se a camada MDE para fins de melhor visualização como demonstra a figura 15.

Figura 14: *Sobreposição do polígono da área de estudo no MDE. Elaborado pelo autor.*

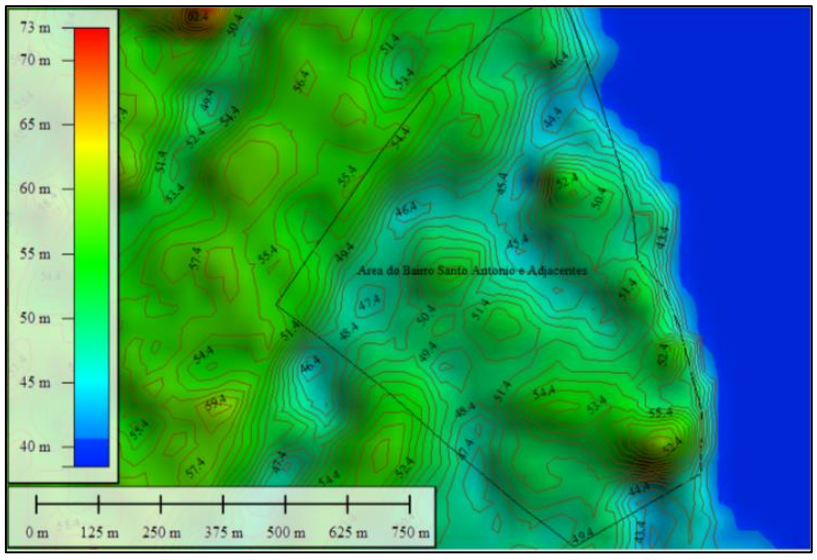
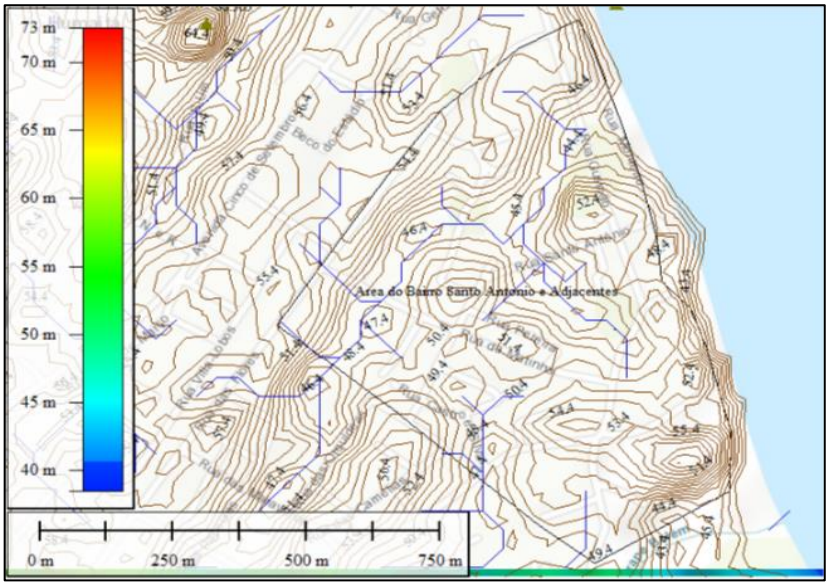


Figura 15: Ilustração detalhada das curvas de nível no shapefile. Elaborado pelo autor.

5.5. Modelo de Drenagem

Produziu-se um modelo da rede de drenagem do bairro Santo Antônio a partir da atribuição das curvas de nível, no qual auxiliou na identificação das áreas de planície, o método de fixação do modelo de drenagem levou em consideração as áreas de várzea do terreno seguindo a altimetria estabelecida pelas curvas de nível. Na mesma sequência na ferramenta vinculou-se uma outra camada para representar a malha viária do terreno, através da análise da imagem e de acordo como demonstra a Figura 14.

Figura 16: plotagem da rede de Drenagem na área de estudo. Elaborado pelo autor



5.6. Mancha de Inundação

No modelo que caracteriza a mancha de inundação, como resultado fez-se a sobreposição de camadas Modelo Digital de Elevação (MDE) e o *Topomap* – camada com representação da malha viária extraída a partir de um mapa *on line* – ao abrir a plataforma de visualização em 3D simulou-se a elevação do nível da água para cada 1 m conforme a distância estabelecida entre as curvas de nível, como demonstra a sequência das figuras 15 a 21. E neste mesmo esquema constatou-se os locais que são afetados progressivamente pela inundação.

Figura 17: Simulação de evento de inundação. aumento da cota em 1m (metro). Elaborado pelo autor.

Figura 18: Elevação da cota de inundação para 2 m. Elaborado pelo autor.

Figura 19: Elevação da cota de inundação em 3 m. Elaborado pelo autor.

.

Figura 20: Elevação da cota para 4 m. Elaborado pelo autor.

Figura 21: Elevação da cota em 5 m. Elaborado pelo *autor*

Figura 22: Elevação da cota em 6 m. Elaborado pelo autor.

Figura 23: Figura 24: Visualização de alto contraste detalhada da mancha de inundação e da malha viária do terreno. Elaborado pelo autor.

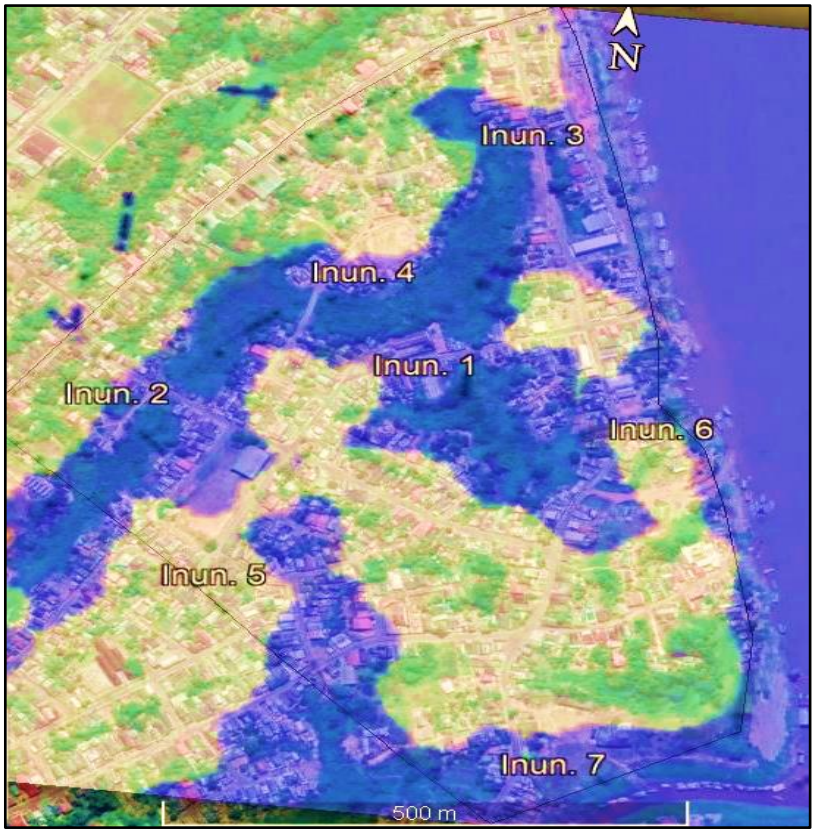
Como resultado, foi possível identificar as áreas afetadas, pela elaboração do modelo de mancha de inundação, ocasionadas pela cheia de 2014, através da sobreposição de imagens da camada criada no *Global Mapper.* Os dados coletados em campo possibilitaram realizar um comparativo com o mapa processado no programa, na qual se atribui a credibilidade dos dados representados na modelagem, pelo fato de demonstrar respectiva relação semelhante da área afetada e a zona mapeada.

Nota-se que este modelo foi elaborado tendo como base a implantação das curvas de nivel, e que não levou em consideraçao a profundidade alcançada pela inundação, e nem pelo método de cota máxima. Para o estudo de geoprocessamento o programa *Global Mapper* é uma ferramenta de simples processamento que tem facilidades na execução e elaboração de mapas logo ao comparar o trabalho que foi gerado no laboratário (LIOP) com dados de campo ele foi o que mais se aproximou do real. A figura 24, remete-se a confirmação e interpolação de dados de de campo e o que foi gerado no *Global Mapper*.

Como produto final da identificaçao, da interpolaçao do MDE, das avaliaçoes das curvas de nivel e atribuiçao das areas de drenagem conhecidas implicou se na elaboraçao do mapa de inundaçao como demonstra a figura 24.

Oobserva-se que que ha

Figura 24: Recorte representativo Sobreposição do modelo de inundação ao mapa urbano do Bairro de Santo Antônio. Elaborado pelo autor.



6. CONSIDERAÇOES FINAIS E RECOMENDAÇOES

- A realização do geoprocessamento e reconhecimento das áreas de vulnerabilidade foi de importância significativa para levantamento de dados espaciais no que se refere a questão de mapeamento.
- A utilização de técnicas de geoprocessamento e uso de geotecnologias no auxílio da criação do mapa de mancha de inundação, mostraram-se fundamentais na identificação das regiões de vulnerabilidade, conforme confrontados como levantamento de campo.
- O MDE, a atribuição das curvas de nível e a rede de drenagem permitiram verificar com clareza e precisão os pontos de inundação coletados em campo, através do modelo de manchas e simulação gerados foi possível estabelecer em termos comparativos que os objetivos obtiveram êxito em comprovar que o software demonstrou com clareza a realidade com que se aproxima as simulações da inundação.

E recomendar que:

O presente trabalho servirá como base de subsídio referencial para construção e elaboração de outros pelo fato de que ele apresenta o modo de operação das geotecnologias e geoprocessamento sem levar em conta aos parâmetros de tempo de retorno das enchentes do rio Madeira. E utiliza a mancha de inundação para referenciar os locais mais impactados nas áreas de vulnerabilidade.

Portanto o estudo pode dar subsídio na orientação às políticas públicas do município de Humaitá como medidas profiláticas, e na resolução de problemas de caráter ocupacional em regiões vulneráveis. Utilizar de artifícios não estruturais como a geotecnologia em função da elaboração de mapas de vulnerabilidade e risco, para difundir informações importantes e com o propósito de não haver plano de ocupação ilegal. Dado que estas informações deverão estar inclusas mediante ao PD (Plano Diretor) do Município de Humaitá, servindo de base referencial para planos estruturais, remoção das pessoas e contingenciamento.

7. REFERÊNCIAS

ADAMY, AMILCAR. "Dinâmica Fluvial do Rio Madeira." Temática; Edufro, 2016.

ALBUQUERQUE, Miguel da G.; ESPINOZA[1], Jean Marcel de A.; ALVES, Deivid C. Leal. **uso de geotecnologias no gerenciamento de riscos associados à ação de eventos meteorológicos de grande intensidade no extremo sul do brasil**. 2016.

ANDRADE, Claudia Daza**. Análise Pluviométrica da bacia transfronteiriça do Rio Madeira** / Claudia Daza andrade. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em <http://www.ana.gov.br/ >. Acesso em 20 de maio de 2019.

BORGES DA HORA, Silmara; LIMA GOMES, Ronaldo. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA**. Sociedade & Natureza, v. 21, n. 2, 2009.

BUFFON, Elaiz Aparecida Mensch; DA PAZ, Otacílio Lopes de Souza; SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento das vulnerabilidades à inundação urbana: referenciais e bases de aplicação**. Revista do Departamento de Geografia, p. 180-189, 2017.

BUFFON, Elaiz; SAMPAIO, Tony; PAZ, Otacílio. **Veículo aéreo não tripulado (VANT): aplicação na análise de inundações em áreas urbanas**. GOT, Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 13, p. 85-108, 2018.

BRASIL: Ministério da Economia, indústria comercio exterior e serviços. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Acesso em 10/06/2019.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira**. Introdução à ciência da geoinformação.** 2001.

CARNEIRO, Marciano et al. **Geração de modelo digital de terreno por restituição aerofotogramétrica com apoio de veículo aéreo não tripulado de pequeno porte: estudo de caso na pedreira da empresa incopel-estância velha/rs**. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 15, n. 3, 2018.

CERRI, LE da S.; AMARAL, CP do. **Riscos geológicos**. OLIVEIRA, AMS & BRITO, SNA (eds.), 1998.

DE MELO FERRAZ, Carlos Augusto et al. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, n. 133, p. 40-53, 2015.

Defesa Civil do Amazonas. **Comissão Municipal de Defesa Civil de Humaitá-AM: relatório final operação enchente** – 2014.

ESPAÇOSGEOGRAFICOS disponivel em: http://espacosgeograficos.files.wordpress.com/2010/08/mapa-madeira.jpg. Acessado em: 13/07/2019

ESPINOZA JC., RONCHAIL J., FRAPPART F., LAVADO W., SANTINI W., GUYOT JL. The major floods in the Amazonas River and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970 – 2012 period: A focus on the 2012 flood. 2013 Journal of Hydrometeorology, 14, 1000-1008. doi: 10.1175/JHM-D-12-0100.1.

FERNANDES, Nadinne. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS / Nadinne Fernandes. – 2016

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

FONSECA, Ledel Lima. Desastres naturais de origem hídrica e seus impactos socioambientais na cidade de Fortaleza / Liedel Lima Fonseca – Fortaleza, 2010.

FRANCO, Gustavo Barreto et al. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Almada-Bahia. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

RIBEIRO NETO, Alfredo. Simulação hidrológica na Amazônia: rio Madeira. **Rio de Janeiro**, 2006.

GERMANO, Andrea de Oliveira et al. Cheia de 2014 na bacia do rio Madeira. 2015.

GONÇALVES, Anderson Sene; TOMASELLA, Javier; RODRIGUEZ, Daniel Andres. **Estudos dos efeitos das mudanças globais na bacia do rio Madeira.** Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, v. 109, 2014.

GUERRA, Franciele Caroline; ZACHARIAS, Andréa Aparecida. Mapeamento das áreas de riscos hidrológicos e as políticas públicas de sustentabilidade: o caso de Ourinhos/SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 4, n. 26, 2016.

GROHMANN, Carlos Henrique; RICCOMINI, Claudio; DOS SANTOS STEINER, Samar. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

IBGE. Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica, 2010, 2017, 2019. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 mai 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.

KOBIYAMA, Masato. et.al. Prevençao de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba. Ed. Rorganic Trading, 2006.p. 109.

LATRUBESSE, E. D,STEVAUX, J. C. SINHA, R. **Grandes sistemas tropicais: uma visão geral.** Revista Brasileira de geomorfologia, ano 6, nº1, 2005 pag. 1-18.

LONGLEY, P. A. et al. Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.(Tradução de André Schneider et al.). 2013.

MASSON, C. G. M. J. **Subsídios para uma gestão dos recursos hídricos na Amazônia: Estudo de caso da bacia do rio Madeira**. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 277p.

MENDONÇA, Marcelo Rodrigues; PELÁ, Márcia. O CERRADO GOIANO NUMA ENCRUZILHADA DE TEMPOS: OS TERRITÓRIOS EM DISPUTA E AS NOVAS TERRITORIALIDADES DO CONFLITO. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-18, 2011.

MENDONÇA, Ricardo Abad Meireles de et al. **Uso das geotecnologias para gestão ambiental:** Experiências na Amazônia Meridional. Cuiabá: Instituto Centro de Vida, 2011. 40 p.

MERZ, B.; THIEKEN, A. H. Flood risk Analysis: Concepts and challenges. Austria. 2004. Disponivel em: <ftp://ftp.gfz-postdam.de/pub/pub/home/hydro/krahn/Merz-Thieken_%D6WAW2004.pdf>. Acesso em: 22 mai 2019.

MOLINIER, Michel; DE ALBUQUERQUE, C.; CADIER, Eric. Análise da pluviometria e isoietas homogeneizadas do Nordeste brasileiro. 1994.

MONTEIRO, Nágila Veiga Adrião et al. **Identificação das áreas de risco a inundações e enchentes na cidade de Sobral-Ce**. Revista Equador, v. 5, n. 4, p. 02-22, 2016.

MUNIZ, Luciana da Silva et al. **Análise dos padrões fluviométricos da Bacia do Rio Madeira-Brasil**. 2013.

NOGUEIRA DE SOUZA, Fátima Maria et al. **ANÁLISE DE RISCOS COMO INSTRUMENTO PARA SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 3, n. 1, 2012.

OLÍMPIO, João Luís Sampaio; ZANELLA, Maria Elisa. **RISCOS NATURAIS: CONCEITOS, COMPONENTES E RELAÇÕES ENTRE NATUREZA E SOCIEDADE**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 40, p. 94-109, 2017.

OVANDO, A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; MARTINEZ, J.M.; SIQUEIRA JUNIOR, J. L.; PINTO L. N.; PASSY, P.; VAUCHEL, P.; NORIEGA, L.; VON RANDOW, C. Extreme flood events in the Bolivian Amazon wetlands. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 5, p. 293-308, 2016.

PINTO, Amanda Odelius Teixeira et al. Tratamento Dos Dados Da Missão Shuttle Radar Topography Mission E Comparação Com Modelo Digital De Terreno Gerado Por Interpolação De Cartas Topográficas. **Revista Espaço e Geografia**, v. 7, n. 1, 2004.

REIS, Patrícia Antunes dos et al. **Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos**. 2015.

RECKZIEGEL, Bernadete Weber et al. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005. 2007.**

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento: um retrato atual. Revista fator GIS**. Curitiba, 1993. Ministério do Meio Ambiente. Ciclo Hidrológico. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 31 de maio de 2019.

ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luis Silva. Introdução ao geoprocessamento. **Uberlândia: Universidades Federais de Uberlândia**, (1996-2013).

SANTOS, J. de O. **Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos**. Revista Mercator, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.

SILVA, Ana Camila. **Simulação da descarga fluvial em resposta a mudanças de uso e cobertura da terra: bacia** do rio bonfim, petrópolis (rj). 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Petrópolis, 2013.

SOUSA, Bruno de Castro. **Modelo digital de elevação a partir de imagens de VANT aplicado na identificação de áreas suscetíveis a alagamentos em uma sub-bacia**

hidrográfica da cidade de Teresina, Piaui. / Bruno de Castro Sousa – 2017.

SOUSA, Marlison Leão de Sousa et al. **Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS**. 2015.

TAVARES, L. Cordeiro, L**. Perfil Socioeconômico e ambiental do Sul do Amazonas: Subsídios para Análise da Paisagem**. WWF-Brasil, 2017.

TUCCI, Carlos EM et al. **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

TUCCI, Carlos EM. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

VIDOTTO, Elaine et al. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. 2007.