

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**CAMPUS GOIÂNIA**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III**  
**COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**GEOVANA DE MORAES LACERDA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ENCHENTES**  
**EMPREGANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL NO PERÍMETRO**  
**URBANO DE GOIÂNIA**

Goiânia, GO  
JANEIRO/2022

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

GEOVANA DE MORAES LACERDA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ENCHENTES  
EMPREGANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL NO PERÍMETRO  
URBANO DE GOIÂNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado  
à Coordenação do Curso de Engenharia  
Cartográfica e de Agrimensura do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr Hostilio Maia de Paula Neto

Goiânia, GO

JANEIRO, 2022

L131m Lacerda, Geovana de Moraes.

Mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes empregando técnicas de análise espacial no perímetro urbano de Goiânia / Geovana de Moraes Lacerda. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.

50f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Hostillo Maia de Paula Neto.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Área III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Sistema de informação geográfica. 2. Drenagem urbana. 3. Enchentes. I. Paula Neto, Hostillo Maia de (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 627.4

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631  
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO  
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: Geovana de Moraes Lacerda

Matrícula: 20161011190270

Título do Trabalho: Mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes empregando técnicas de análise espacial no perímetro urbano de Goiânia.

**Autorização - Marque uma das opções**

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 10/12/2022 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.  
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
☐ Outra justificativa: \_\_\_\_\_

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Geovana de Moraes  
Lacerda

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Goiânia, 07/03/2022.  
Local      Data



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS GOIÂNIA

**ATA Nº ECA 08 - TCC/2021.2**

**ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA / Câmpus Goiânia**

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA VIRTUAL DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos dez dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 8:00 horas, na sala virtual [meet.google.com/pkg-fppp-pbs](https://meet.google.com/pkg-fppp-pbs), foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduanda **Geovana de Moraes Lacerda (matrícula 20161011190270)** do curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Departamento III, Câmpus Goiânia, do Instituto Federal de Goiás, no segundo semestre do ano de dois mil e vinte e um. A banca foi composta pelos seguintes membros:

- Hostilio Maia de Paula Neto (Professor-Orientador)

- Fábio Campos Macedo

- Ricardo Fernandes de Sousa

sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título **“Mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes empregando técnicas de análise espacial no perímetro urbano de Goiânia”**, sob orientação do Prof. **Hostilio Maia de Paula Neto**. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido a autora arguida pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 9,0 (nove).

Encerrou-se a sessão às 10 horas e 45 minutos. Eu, Profa. Marina Alberti Macedo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

Profa. Marina Alberti Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Hostilio Maia de Paula Neto (Assinado eletronicamente)

Prof. Fábio Campos Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Ricardo Fernandes de Sousa (Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marina Alberti Macedo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/02/2022 10:39:47.
- Ricardo Fernandes de Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/02/2022 10:39:30.
- Fabio Campos Macedo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/02/2022 10:39:10.
- Hostilio Maia de Paula Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/02/2022 10:38:35.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 243214

Código de Autenticação: 68a3618357



**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás**  
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110  
(62) 3227-2735 (ramal: 2735)

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo identificar áreas com risco de enchentes a partir do uso de modelo digital de elevação e dados SIG (Sistema de Informação Geográfica), no qual tais informações foram necessárias para a criação do modelo hidrológico utilizando o *software* HEC-RAS. Alguns parâmetros também foram avaliados de acordo com a propriedade do sistema de drenagem local, como o coeficiente de rugosidade, vazão e declividade. A partir do resultado criado com este modelo, foi utilizado o aplicativo de dispositivo móvel QField, que permite a identificação das áreas de risco a partir de uma análise de campo, onde este funciona de forma *offline* na coleta dos pontos necessários para validação e possibilita o registro fotográfico, além de suas coordenadas N, E e H no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator). Seguindo o resultado, foi analisada a gravidade das áreas de risco em torno da macha de enchente usando o método de análise de decisões AHP (Processo Hierárquico Analítico), onde as variáveis determinantes foram: altitude, declividade e grau de urbanização, usando o *software* QGIS. Por fim foram gerados mapas identificando as áreas de risco de enchentes e a intensidade de cada região, com o grau variando em 5 classes: muito baixo a muito alto.

**Palavras-chave:** Modelo hidrológico, modelo digital de elevação, SIG, mancha de inundação.

## ABSTRACT

This work aimed to identify areas at risk of flooding using a digital elevation model and SIG data (Geographic Information System), in which such information was necessary for the creation of the hydrological model using the HEC-RAS *software*. Some parameters were also evaluated according to the property of the local drainage system, such as the roughness coefficient, flow rate and slope. From the result created with this model, the QField mobile device application was used, which allows the identification of risk areas from a field analysis, where it works *offline* in the collection of the necessary points for validation and allows the photographic record, in addition to its N, E and H coordinates in the UTM ( Universal Transversa de Mercator) projection system. Following the result, the severity of the risk areas around the floodplain was analyzed using the AHP (Analytic Hierarchy Process) decision analysis method, where the determining variables were: altitude, slope and degree of urbanization, using the QGIS *software*. Finally, maps were generated identifying the areas at risk of flooding and the intensity of each region, with the degree varying in 5 classes: very low to very high.

Keywords: Hydrological model, digital elevation model, GIS, floodplain

## LISTA DE FIGURAS

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Localização da Área de Estudo ..... | 20 |
| <b>Figura 2</b> – MDE. ....                           | 23 |
| <b>Figura 3</b> – QGIS. ....                          | 25 |
| <b>Figura 4</b> – QField .....                        | 26 |
| <b>Figura 5</b> – HEC-RAS. ....                       | 27 |
| <b>Figura 6</b> – Fluxograma .....                    | 28 |
| <b>Figura 7</b> – Dado hipsométrico .....             | 30 |
| <b>Figura 8</b> – Dado de declividade .....           | 31 |
| <b>Figura 9</b> – Valores interpolados de vazão ..... | 32 |
| <b>Figura 10</b> – Configuração dos repositórios..... | 34 |
| <b>Figura 11</b> – Pontos de referência .....         | 36 |
| <b>Figura 12</b> – Rede de drenagem.....              | 37 |
| <b>Figura 13</b> – Mancha de inundação HEC-RAS.....   | 39 |
| <b>Figura 14</b> – Mapa dos pontos coletados.....     | 41 |
| <b>Figura 15</b> – Mapa de seriedade.....             | 43 |

## LISTA DE TABELAS

|                      |          |   |               |    |             |          |
|----------------------|----------|---|---------------|----|-------------|----------|
| <b>Tabela</b>        | <b>1</b> | – | <b>Tabela</b> | da | velocidade  | do       |
| escoamento .....21   |          |   |               |    |             |          |
| <b>Tabela</b>        | <b>2</b> | – | <b>Tabela</b> | do | coeficiente | de       |
| Manning.....22       |          |   |               |    |             |          |
| <b>Tabela</b>        | <b>3</b> | – | <b>Tabela</b> |    |             | de       |
| declividade ..... 24 |          |   |               |    |             |          |
| <b>Tabela</b>        | <b>4</b> | – | <b>Tabela</b> |    |             | de       |
| importância ..... 36 |          |   |               |    |             |          |
| <b>Tabela</b>        | <b>5</b> | – | <b>Matriz</b> |    |             | de       |
| pesos. .... 36       |          |   |               |    |             |          |
| <b>Tabela</b>        | <b>6</b> | – | <b>Tabela</b> | de | áreas       | afetadas |
| mancha.....38        |          |   |               |    |             |          |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| AHP     | <i>Hierarchical Analysis Process</i>                         |
| BITS    | <i>Binary digit</i>                                          |
| CIMEHGO | Centro de Informações Meteorológicas e Hidrológicas de Goiás |
| Comurg  | Companhia de Urbanização do Município de Goiânia             |
| DECAR   | Delegacia Estadual de Repreensão                             |
| Dr      | Doutor                                                       |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                  |
| EPSG    | <i>European Petroleum Survey Group</i>                       |
| GIS     | <i>Geographic Information System</i>                         |
| GPS     | <i>Global Positioning System</i>                             |
| HEC-RAS | <i>Hydrologic. Engineers Corps – River Analysis System</i>   |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística              |
| ID      | Identidade                                                   |
| IMG     | Imagem                                                       |
| IPTU    | Imposto Predial e Territorial Urbano                         |
| MDE     | Modelo Digital de Elevação                                   |
| NASA    | <i>National Aeronautics and Space Administration</i>         |
| NIMA    | <i>National Imagery and Mapping Agency</i>                   |
| QGIS    | <i>Quantum GIS</i>                                           |
| RADAR   | <i>Radio Detection And Ranging</i>                           |
| SAR     | <i>Synthetic Aperture Radar</i>                              |
| SIG     | Sistema de Informação Geográfica                             |
| SRTM    | <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>                      |
| UTM     | Universal Transversa de Mercator                             |

## SUMÁRIO

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                       | 11        |
| 2. OBJETIVOS.....                                        | 13        |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                                  | 13        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                           | 13        |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO .....                             | 14        |
| 3.1 CARTOGRAFIA.....                                     | 14        |
| 3.2 DRENAGEM URBANA.....                                 | 15        |
| 3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....                | 16        |
| <b>3.3.1 Fuzzy em SIG .....</b>                          | <b>17</b> |
| 4. METODOLOGIA.....                                      | 19        |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... | 19        |
| 4.2 MATERIAIS .....                                      | 21        |
| <b>4.2.1 Dado de vazão.....</b>                          | <b>21</b> |
| <b>4.2.2 MDE - SRTM.....</b>                             | <b>22</b> |
| <b>4.2.3 Dado de declividade.....</b>                    | <b>23</b> |
| <b>4.2.4 Software QGIS.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>4.2.6 Software HEC-RAS .....</b>                      | <b>27</b> |
| 4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....                     | 27        |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                         | 37        |
| 5.1 ANÁLISE DO MDE.....                                  | 37        |
| 5.2 SIMULAÇÃO HEC-RAS .....                              | 38        |
| 5.3 COLETA EM CAMPO .....                                | 39        |
| 5.4 ANÁLISE DA SERIEDADE .....                           | 42        |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                            | 44        |
| 7. PROPOSTAS FUTURAS.....                                | 45        |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                       | 47        |

## 1. INTRODUÇÃO

A definição para enchente, de acordo com Licco e Dowel (2015), deve-se a eventos hidrológicos com o aumento da vazão, que combinados à problemática de crescimento urbano, sobrecarregam o sistema de drenagem atingindo cota máxima do canal e excedendo-a.

Nas áreas urbanas onde houve crescimento desenfreado, o fenômeno é agravado devido à baixa permeabilidade do solo, e pela falta de rotas que tornam possível a vazão para um local apropriado. Em vista disso, a taxa de escoamento aumenta cerca de mais de 90%, de acordo o estudo de Godenfum (1990 apud PIRES; CARRILHO; GALVÃO, 2019), devido a declividade e altitude do terreno, gerando pontos alagados que podem comprometer diversos tipos de fundações.

Um dos efeitos da urbanização acelerada foi o comprometimento da preservação de drenagens, que acarretou em um problema de distribuição da água precipitada. Como dito por Canholi (2014) todo o espaço que já foi destinado ao armazenamento natural, hoje se encontra coberto por materiais impermeáveis e áreas inundadas, pois não há espaço para a infiltração da água.

É necessário identificar todas as condições que acarretam este fenômeno antes mesmo de serem propostas soluções. Sendo assim, a engenharia se torna indispensável para o estudo e planejamento de ações que possam prevenir que se sucedam as enchentes.

Para melhor compreensão, será observada a variabilidade de informações geográficas combinados com técnicas e dados de imagens para a determinação de áreas de risco, verificando se os métodos implantados condizem com a realidade.

A engenharia cartográfica e de agrimensura é o ramo da engenharia responsável por descrever e monitorar eventos geoespaciais, a partir da análise de dados geográficos. Desta forma, tal ciência é necessária para o estudo de áreas de risco, visto que episódios de enchentes são muito comuns

devido à falta de monitoramento e de aplicações de métodos eficientes para prevenir e/ou combater os acidentes que afetam não só o governo e sua economia, como também a população.

O município de Goiânia possui um histórico de enchentes e pontos de alagamentos devido à alta impermeabilização do solo. De acordo com o site da prefeitura e valores do Centro de Informações Meteorológicas e Hidrológicas de Goiás (CIMEHGO), em fevereiro de 2021 o maior valor de precipitação registrado foi de 132 mm na região norte do município, considerando que até então os últimos indícios de chuva com valores similares ocorreram em dezembro de 1972 e dezembro 2005. Era esperado que durante todo o mês de fevereiro as precipitações fossem de 222,9 mm, porém em apenas um dia, o volume de chuva foi aproximadamente 60% do valor total do mês. (Prefeitura de Goiânia, 2021)

Eventos como estes de chuvas intensas necessitam de atenção do poder público, pois como foi registrado em 2018, Goiânia constatou 57 pontos de alagamento que causaram estragos a comerciantes, propriedades, bens de domínio público e até mesmo com perda de vidas humanas (G1, 2018).

Como é destacado no Jornal Extra de 2021, a prefeitura de Goiânia tem realizado medidas para com a população em decorrência das fortes chuvas. Foram movidos moradores de setores alagados, enviados servidores da Companhia de Urbanização do Município de Goiânia (Comurg) para limpeza das ruas e emitidos comunicados para a população.

No entanto as ações da prefeitura têm sido vagas, pois apenas tratam o efeito do que se sucedeu. Isso se torna um risco à sociedade que pode arcar com as consequências da privação de medidas preventivas do poder público.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos geral e específico serão descritos a seguir.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar possíveis áreas com potencial de enchentes por meio da análise da dados de sistema de informações geográficas e modelo digital de elevação, agregando diferentes métodos com o intuito de determinar as áreas críticas e sua gravidade.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar imagens RADAR da missão SRTM para o uso de Modelo Digital de Elevação (MDE) e extração da declividade;
- Determinar as áreas críticas classificando de acordo com sua intensidade;
- Analisar in loco as regiões que se encontram na mancha de enchente simulada;
- Analisar o uso e cobertura do solo a fim de compreender as falhas no sistema de drenagem;
- Geração de produtos cartográficos.
-

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CARTOGRAFIA

A cartografia é definida, segundo Duarte (2002 apud FEC UNICAMP, s.d.), como sendo o conjunto de estudos científicos e técnicas resultantes de dados de observações diretas ou por meio de documentos, cartas, ou outras formas de expressão.

O principal objeto da Cartografia é a carta, que é um meio de transcrição gráfica dos fenômenos geográficos; e seu objetivo primordial é a pesquisa de métodos, processos de elaboração e utilização de cartas, além do estudo exaustivo do conteúdo (SILVA, 2003 apud FEC UNICAMP, s.d.).

A arte de mapear e estudar situações e informações geográficas parte do princípio de prática, pois cada caso deve ser estudado como único, por possuir suas particularidades. Sendo assim a cartografia engloba diversos processos diferentes, porém para atingir os mesmos produtos (PASSOS; KASTRUP e ESCÓSSIA, 2009).

A cartografia vem sendo usada na literatura como base para o estudo de controle e prevenção de enchentes, pois são indispensáveis as informações de cobertura vegetal, impermeabilização do solo, redes de drenagem e geomorfologia. A partir de então são elaborados mapas indicativos de áreas com riscos de enchentes (DIAS, 2004 apud OLIVEIRA; GUASSELLI).

A resposta para os problemas de drenagem vem sendo citada nos planos diretores como sendo recursos que tratam os efeitos causados pelas enchentes, mas que não a impedem. Uma das principais recomendações são de construções de obras de galeria e canalizações, porém em alguns casos sobrecarregam rios e córregos, o que pode provocar outras adversidades. Devido a este fato são necessários estudos de engenharia para determinar a melhor solução (SHEAFFER; WRIGHT, 1982 apud CANHOLI, p. 22. 2014).

Como dito por Godinho, Falcade e Ahlert (2007, p. 1485), os dados obtidos por sensores remotos a bordo de satélites têm sido de grande valia em diversos ramos governamentais, pois contribuem e servem de base para o desenvolvimento de projetos associados às atividades humanas, contribuindo para o planejamento sócio-econômico-ambiental.

### 3.2 DRENAGEM URBANA

Para Tucci (2007) quanto à causa, há três tipos de enchentes. Estas podem ser causadas devido a áreas ribeirinhas, a urbanização ou por região específica no qual são chamadas de inundações localizadas. Esta última se refere à estrapolação da vazão dos cursos d'água, erros de execução de projetos de drenagem, entre outros.

A drenagem urbana possui ligação com diferentes elementos de infraestrutura, sendo necessária uma atenção especial dos órgãos responsáveis, pois esta exerce influência sobre fatores ambientais e socioeconômicos, principalmente quando se trata da restauração de áreas degradadas pela urbanização. (CANHOLI, p. 9, 2014)

O crescimento inadequado e desenfreado das cidades resultou em um efeito adverso em relação ao meio ambiente. O uso do solo interfere diretamente no deflúvio, pois este determina a capacidade de infiltração do solo. Em consequência, este é levado a outras regiões, podendo gerar assim as enchentes. (CANHOLI, p. 21, 2014).

A aceleração dos escoamentos teve como efeito transferir para jusante o problema de redução de espaços naturais. Quanto menor o tempo de concentração, maior o pico da vazão a jusante. Isso, com frequência, traz inundação em áreas que anteriormente não sofriam tais problemas, visto que a ocupação urbana nos vales normalmente se desenvolve no sentido de jusante para montante. (CANHOLI, p. 22, 2014).

No plano diretor da Prefeitura de Goiânia exige que os índices de permeabilidade sejam de 25% de cobertura vegetal, ou 10% de cobertura de cobertura vegetal permeável e o restante em estruturas de infiltração para recarga do lençol freático, sendo acompanhado do teste de percolação do solo. Estes dados são para as áreas de ocupação sustentável, porém para as demais áreas são exigidos apenas 15% de cobertura natural permeável, ou 5% permeável e 10% em cobertura não permeável. (Plano Diretor de Goiânia, s.d.).

Os trabalhos de planejamento e gerenciamento dos recursos naturais requerem muitos tipos de dados. Uso do solo, solos, superfícies de água, vegetação etc., são todos importantes. Para cada problema, um cenário deve ser desenvolvido com o propósito de identificar os tipos de dados quantitativos; eles são necessários para produzir a informação quantitativa para o planejamento e a tomada de decisão (PAREDES 1994, apud DONHA, SOUZA e SUGAMOSTRO, p. 176, 2006).

### 3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

De acordo com Ferreira (2006) a definição para Sistema de Informação Geográfica (SIG) é qualquer informação sobre locais na superfície da terra, como por exemplo o conhecimento de uma determinada localização ou até mesmo conhecimentos superficiais como clima de uma região específica.

Os sistemas de informações geográficas são essenciais na produção de produtos cartográficos, pois foram construídos para armazenar, analisar e manipular os dados geográficos, ou seja, todo e qualquer fenômeno em que sua localização geográfica é indispensável para sua manipulação (CÂMARA, CASANOVA, HEMERLY, MAGALHÃES e MEDEIROS, 1996).

A tecnologia SIG tem sido usada por vários setores que tratam da questão ambiental como importante ferramenta para o planejamento

ambiental, pois a avaliação integrada de um grande número de variáveis se torna possível e simplificada com o uso deste sistema; permite a rápida geração de informações intermediárias e finais, além da inclusão de variáveis anteriormente não pensadas, visto que possibilita novas interações a qualquer momento. (DONHA, SOUZA e SUGAMOSTO, p. 176, 2006).

Os dados SIG possibilitam à administração pública uma ampla perspectiva sobre a situação do meio urbano. Através destes são observados aspectos de saúde, educação, transporte, IPTU, entre outros, o que contribui no planejamento urbano e na tomada de decisões. (SILVA, DAVID e BIANCHI, p. 81, 2017)

“A utilização do SIG junto com as imagens de satélites, além de trazer contribuições para o desenvolvimento do Plano Diretor, como ajudar várias secretarias do município a planejar e disponibilizar suas ações e informações.” (CAVENAGHI, LIMA, 2006 apud SILVA, DAVID e BIANCHI, p. 81, 2017).

Sendo assim, SIG é um sistema definido não apenas como dados, mas sim um conjunto de fatores que integram as informações geográficas a outros componentes, como programas de computador (*softwares*), equipamentos, métodos e recursos humanos. (FERREIRA, p. 3, 2006)

O processo de análise dos dados pelo SIG é realizado a partir de uma análise estatística multivariada comumente chamada de “Processo de Análise Hierárquica” - AHP. Este método auxilia no processo de tomada de decisão e tem o propósito de reproduzir o raciocínio humano no que diz respeito à comparação de elementos de um conjunto (SAATY, 1994, apud BEZERRA, DUARTE, DOMINGUES, HAMILTON e CAVALLI, 2011).

### **3.3.1 Fuzzy em SIG**

A lógica *fuzzy* faz parte dos métodos usados em SIG e atualmente é utilizada na aplicação de projetos de engenharia e em outros processos, pois definem graus de incerteza que se diferem de acordo com cada variável. De certa forma é uma extensão da lógica booleana por aceitar valores entre falso (0) e verdadeiro (1), como por exemplo o valor médio talvez (0,5) (RBGEO, p. 150, 2019).

Para Filippini (2003 apud RBGEO, p. 151, 2019) “a lógica *fuzzy* suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, como naturalmente estar-se acostumado a trabalhar”.

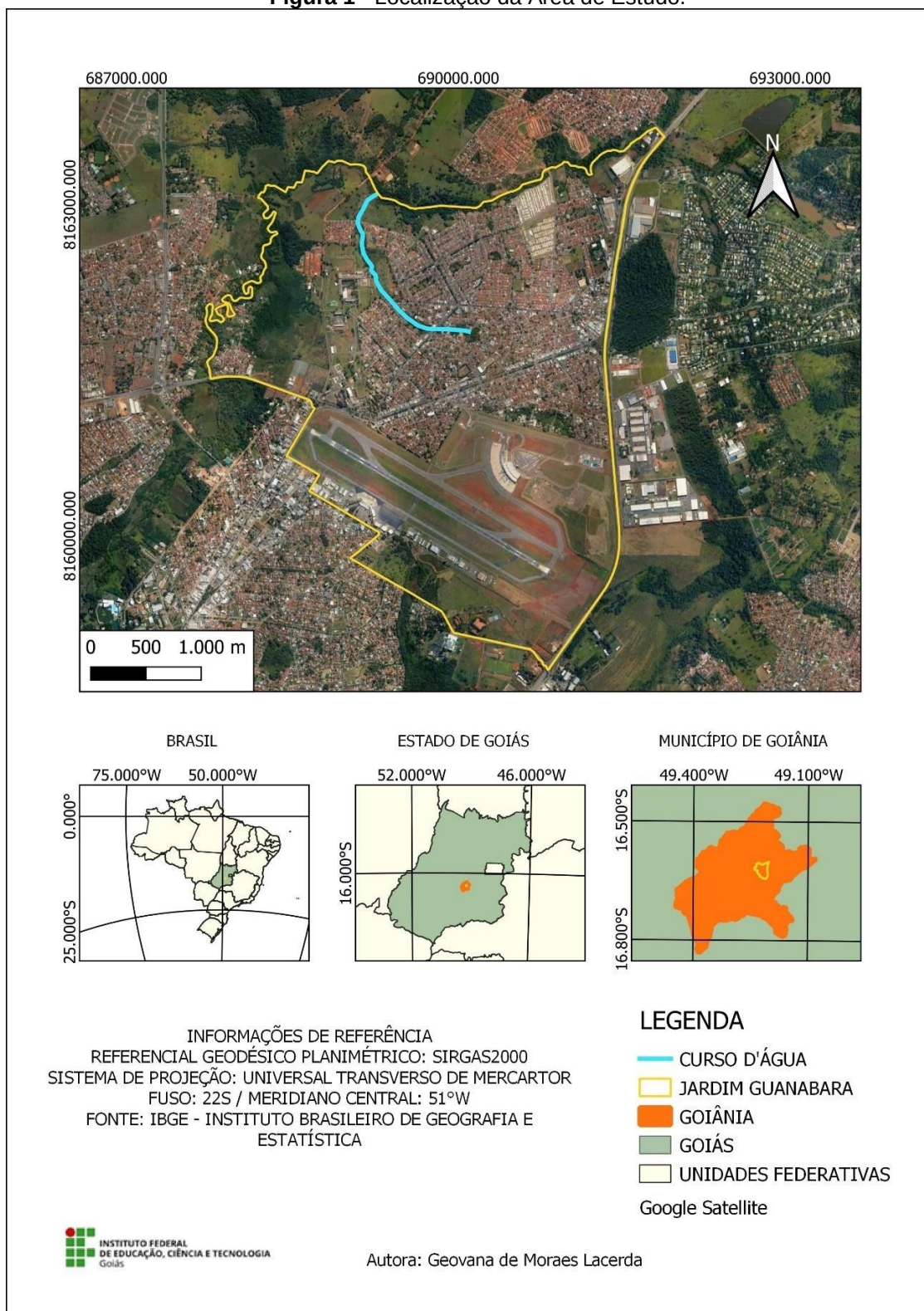
## 4. METODOLOGIA

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região a ser estudada é um curso d'água que se encontra no bairro Jardim Guanabara pertencente ao município de Goiânia no estado de Goiás, de coordenadas geográficas Latitude: 16°37'4.34" Sul, Longitude: 49°13'6.38" Oeste para o sistema de referência SIRGAS2000. É considerado o mais populoso bairro da região norte da cidade, possuindo de acordo com o censo do IBGE de 2010, cerca de 27.144 habitantes para uma área total de 3,67 km².

Inicialmente o bairro foi predominante em residências, porém hoje são observadas extensas variedades em estruturas de comércio. Grandes companhias podem ser encontradas neste setor como lojas com grande comércio de móveis, agências de diversos bancos e depósitos de grandes empresas. Nele se encontra também o Aeroporto Internacional Santa Genoveva, o 1º Batalhão de Forças Especiais e o 9º Juizado Especial Cível. O mapa da área estudada se encontra na Figura 1.

**Figura 1 - Localização da Área de Estudo.**



**Fonte:** A autora (2022).

## 4.2 MATERIAIS

Para a realização desse estudo será necessária a aquisição dos seguintes materiais:

### 4.2.1 Dado de vazão

Vazão é a quantidade volumétrica de um fluido que escoar por meio de uma seção em um intervalo de tempo, podendo ser de um fluxo natural ou de uma tubulação. Para este trabalho a vazão foi determinada de acordo com a dissertação de mestrado do Professor Dr. Hostilio Neto (2013) que se baseou nos dados livro de Porto (2006) para o cálculo de vazão em canais naturais de Goiânia, no qual foi estabelecido um valor próximo ao tabelado que indica a velocidade média do escoamento de acordo com o material das paredes do canal. A vazão máxima determinada foi de 39,3 m<sup>3</sup>/s. A tabela de referência se encontra na Tabela 1.

**Tabela 1** – Tabela da velocidade do escoamento

| Material das Paredes do Canal        | Velocidade Média (m/s) |
|--------------------------------------|------------------------|
| Areia muito fina                     | 0,23 a 0,30            |
| Areia solta-média                    | 0,30 a 0,46            |
| Areia grossa                         | 0,46 a 0,61            |
| Terreno arenoso comum                | 0,61 a 0,76            |
| Terreno silte-argiloso               | 0,76 a 0,84            |
| Terreno de aluvião                   | 0,84 a 0,91            |
| Terreno argiloso-compacto            | 0,91 a 1,14            |
| Terreno argiloso duro                | 1,14 a 1,22            |
| Solo cascalhado                      | 1,22 a 1,52            |
| Cascalho grosso, pedregulho, piçarra | 1,52 a 1,83            |
| Rochas sedimentares moles-xistos     | 1,83 a 2,44            |
| Alvenaria                            | 2,44 a 3,05            |
| Rochas compactas                     | 3,05 a 4,00            |
| Concreto                             | 4,00 a 6,00            |

**Fonte:** Rodrigo de Melo Porto (2006)

O coeficiente de escoamento é um valor que representa a razão entre o volume de água que escoar superficialmente e o volume de água precipitado.

Este coeficiente pode ser calculado através da fórmula de Manning, porém neste caso foi utilizado o valor tabelado também encontrado no livro de Porto (2006), este definido de acordo com a natureza das paredes para arroios e rios. A tabela com o coeficiente de Manning está na Tabela 2.

**Tabela 2** – Tabela do coeficiente de Manning

| Natureza das Paredes                                         | Condições  |       |           |       |
|--------------------------------------------------------------|------------|-------|-----------|-------|
|                                                              | Muito Boas | Boas  | Regulares | Más   |
| <b>ARROIOS E RIOS</b>                                        |            |       |           |       |
| 1. Limpos, retilíneos e uniformes.....                       | 0,025      | 0,028 | 0,030     | 0,033 |
| 2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.                  | 0,030      | 0,033 | 0,035     | 0,040 |
| 3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos..... | 0,035      | 0,040 | 0,045     | 0,050 |
| 4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca                | 0,040      | 0,045 | 0,050     | 0,055 |
| 5. Como em 3, com vegetação e pedras.....                    | 0,033      | 0,035 | 0,040     | 0,045 |
| 6. Como em 4, com pedras.....                                | 0,045      | 0,050 | 0,055     | 0,060 |
| 7. Com margens espraçadas, pouca vegetação...                | 0,050      | 0,060 | 0,070     | 0,080 |
| 8. Com margens espraçadas, muita vegetação...                | 0,075      | 0,100 | 0,125     | 0,150 |
| * Valores aconselhados para projetos.                        |            |       |           |       |

Fonte: Rodrigo de Melo Porto (2006)

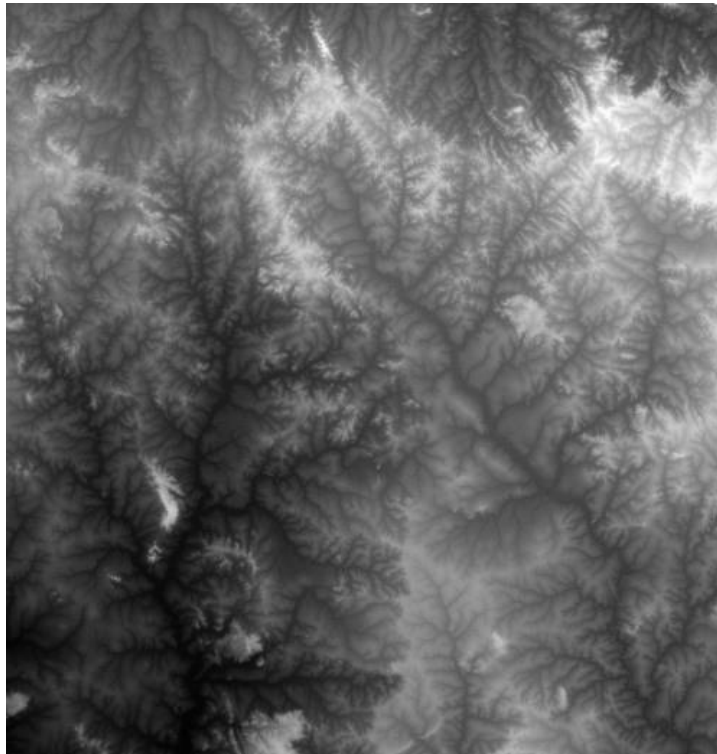
#### 4.2.2 MDE - SRTM

Os modelos digitais de elevação são dados obtidos por imagens de fotografias aéreas ou mesmo de satélite, e que segundo o IBGE, representam altitudes da superfície terrestre em conjunto com informações geográficas, gerando mapas topográficos. Os produtos dos dados MDE (Modelo Digital de Elevação) são elaborados a partir de imagens RADAR (*Radio Detection And Ranging*).

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi um projeto realizado pelas grandes agências espaciais NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) no ano 2000, cujo intuito é a produção de banco de dados digitais de todo o planeta para a elaboração de um MDE. O método de coleta é realizado por interferometria SAR (*Synthetic Aperture Radar*), com resolução radiométrica de 16 bits, resolução espacial de 30 m e acurácia de 16 m para a altimetria (Duren

et. al. 1998; JPL, 2004 apud Barros, Cruz, 2007). O MDE usado no trabalho pode ser visto na Figura 2.

**Figura 2 – MDE**



**Fonte:** A autora (2022)

#### **4.2.3 Dado de declividade**

A declividade é a representação da inclinação da superfície do terreno, ou seja, esta considera a distância entre dois pontos e a diferença de altura entre eles. É obtido pelo ângulo zenital (ângulo formado pela vertical do lugar e a linha de visada) da superfície terrena no que se refere a horizontal, onde seus valores podem variar de 0° a 90°, podendo ser apresentados em porcentagem.

A referência indicativa para o aspecto do terreno de acordo com os valores de declividade foi atribuída à tabela da Embrapa, onde indica também o grau de vulnerabilidade do solo. A tabela de referência se encontra na Tabela 3.

**Tabela 3** – Tabela de declividade

| DECLVIDADE (%) | RELEVO         | GRAU DE SUSCETIBILIDADE |
|----------------|----------------|-------------------------|
| 0 – 3          | PLANO          | I - MUITO FRACA         |
| 3 – 8          | SUAVE ONDULADO | II - FRACA              |
| 8 – 20         | ONDULADO       | III - MÉDIA             |
| 20 – 45        | FORTE ONDULADO | IV - FORTE              |
| 45 - 75        | MONTANHOSO     | V - MUITO FORTE         |

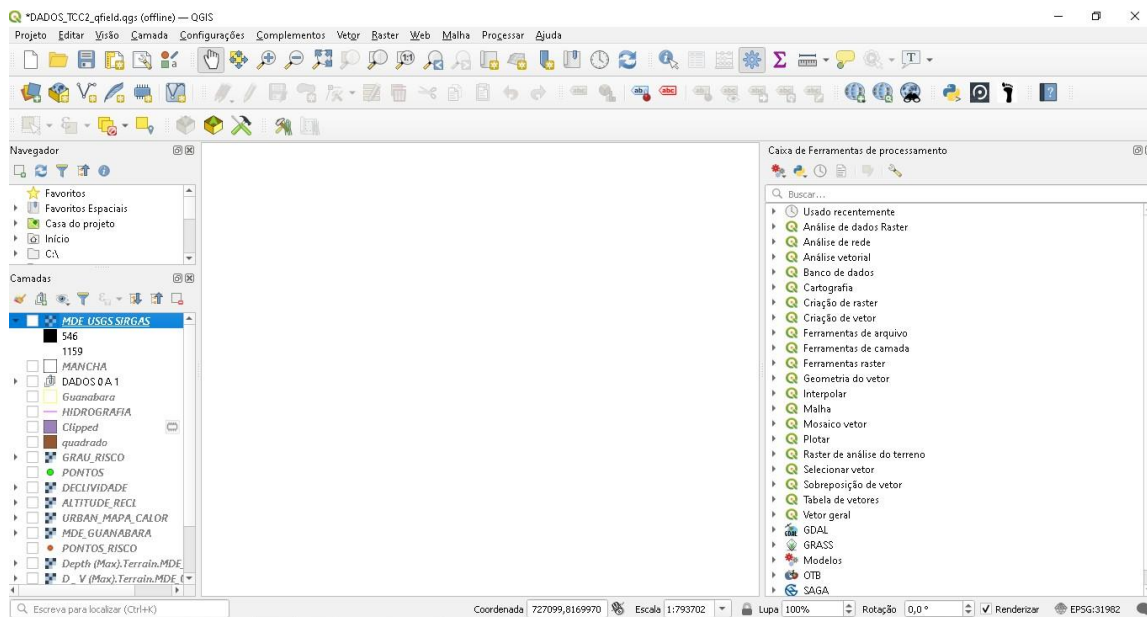
**Fonte:** Embrapa adaptado pela Autora (2021)

O dado de declividade pode ser obtido no site do TOPODATA ou gerado em *softwares* como QGIS a partir do MDE.

#### 4.2.4 Software QGIS

O *software* QGIS (*Quantum GIS*) é programa de livre acesso de sistema de informação geográfica criado por Gary Sherman em 2002, e tornou-se um projecto incubado no *Open Source Geospatial Foundation* em 2007, entretanto a versão 1.0 só foi lançada em janeiro de 2009 (WIKIPEDIA, 2021). Este permite o manuseio de dados geoespaciais georrefrenciados incluindo diversas funcionalidades como a criação de mapa, geração de declividade, criação de vários tipos de camadas, entre outros, a partir de dados raster e/ou vetoriais. Estes são formados com uma tabela de atributos que permite armazenar diversas expressões e valores para um único dado. São gerados pontos, linhas e polígonos que permitem representar qualquer tipo de elemento na superfície da terra. Um exemplo da página do aplicativo pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3 – QGIS**



**Fonte:** A autora. (2021)

Devido a sua variedade de opções de ferramentas e à sua integração para com outros *softwares*, o QGIS se torna essencial para o estudo de áreas de enchentes, pois por meio deste é possível mapear as áreas de risco e integrar complementos que ajudam neste estudo, como por exemplo o QField.

#### 4.2.5 Aplicativo QField

O QField é um projeto simultâneo com o *software* QGIS em forma de um aplicativo de dispositivo móvel com o intuito de atividades de campo. Este assim como o QGIS possui código aberto e foi desenvolvido pelo *OpenGIS*. Pode ser feito o download gratuitamente pela Google Play para smartphones dentre diversos sistemas operacionais, entretanto este aplicativo encontra-se indisponível para smartphones com sistema operacional IOS.

O dispositivo móvel permite que suas funções sejam exercidas de forma offline, além de funcionar com a localização GPS e possuir capacidade de sincronização e visualização de camadas raster e vetoriais, inseridas no projeto

e criadas no computador por meio de seu complemento instalado no QGIS. A imagem do aplicativo está na Figura 4.

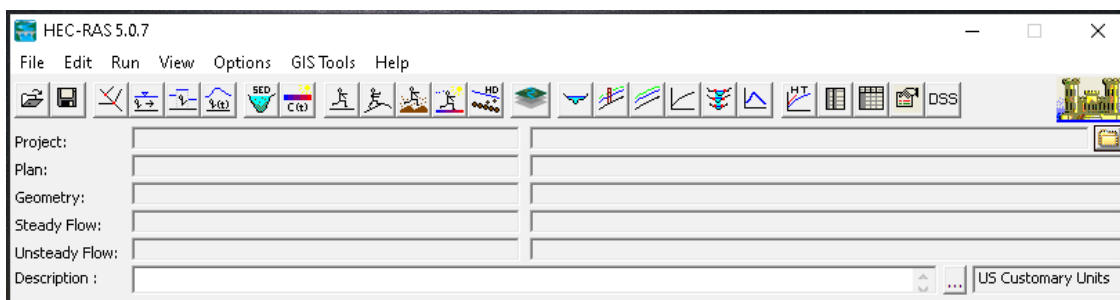
**Figura 4** – QField

**Fonte:** A autora. (2021)

#### 4.2.6 Software HEC-RAS

O *software* HEC-RAS é um programa criado pelo Centro de Engenharia Hidrológica do corpo de engenheiros dos Estados Unidos, com o intuito de gerenciar cursos d'água. Possui grande utilidade no âmbito geral, pois assim como o QGIS, permite o gerenciamento de arquivos, edição de dados, mapeamento de inundações, etc. Porém, o HEC-RAS oferece outras funcionalidades para resolver problemas de forma clara e simples, como a criação de animações simuladas. A partir deste são geradas manchas de inundação em barragens ou em cursos d'água em geral (HEC-RAS, s.d.). O layout do *software* está na Figura 5.

**Figura 5 – HEC-RAS**

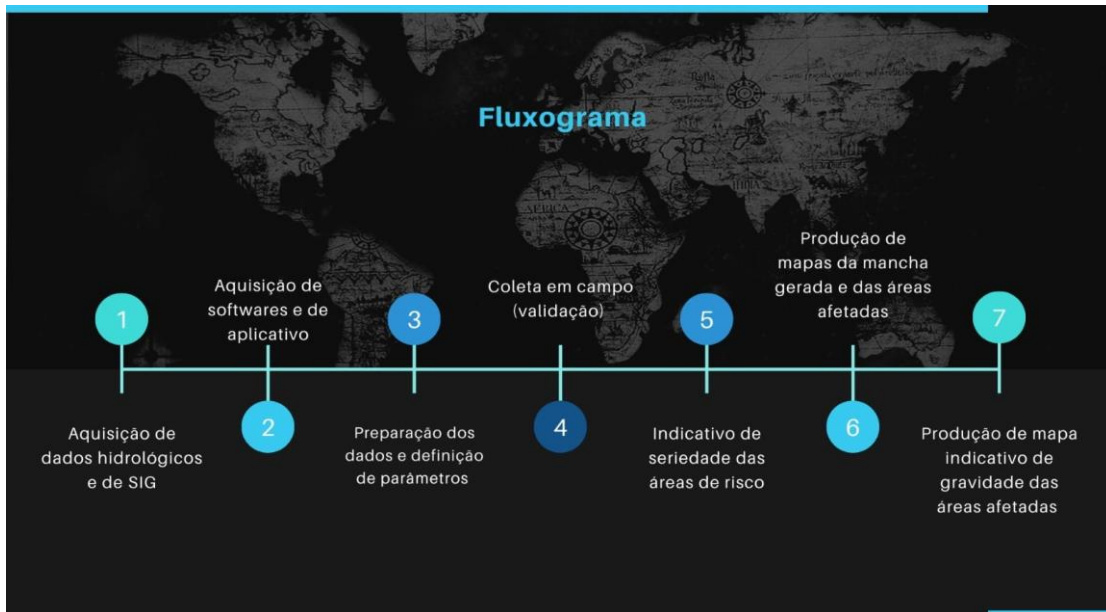


**Fonte:** A autora. (2021)

#### 4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A execução do presente estudo foi dividida em sete etapas apresentadas no fluxograma da Figura 6.

**Figura 6 – Fluxograma**



Fonte: Autora (2021)

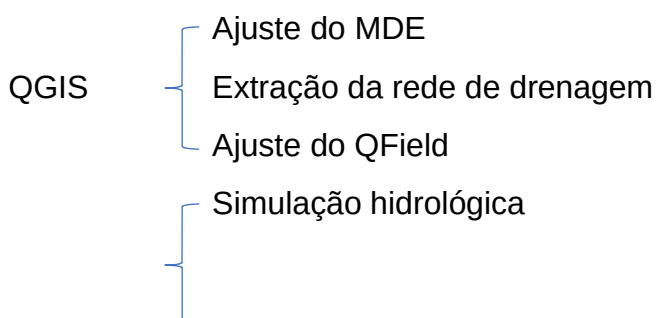
## ETAPA 1 - AQUISIÇÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS E DE SIG

- MDE - gratuitamente no site da USGS;
- Dado vetorial do Jardim Guanabara - gratuitamente no site do IBGE;
- Declividade - extração pelo MDE;
- Hidrografia - extração pelo MDE;
- Vazão - tabela de Porto (2006).

## ETAPA 2 - AQUISIÇÃO DE SOFTWARES E DE APLICATIVO

- QGIS - *download* gratuito no próprio site;
- HEC-RAS - *download* gratuito no site HEC *usace*;
- QField - *download* gratuito pela *play store*.

Os procedimentos realizados em cada *software* podem ser vistos abaixo:



HEC-RAS

Mancha de inundação

QField

{ Coleta em campo dos pontos de validação

### ETAPA 3 - PREPARAÇÃO DOS DADOS E DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

Foi realizado o download do MDE gerado por SRTM fornecido gratuitamente no site da USGS com resolução espacial de 1 arco de segundo global, que equivale a 30 m, com coordenadas da imagem “-17° e -50°”, e cuja a ID da entidade da imagem é SRTM1S17W050V3. A imagem é do ano de 2014 e foi adquirida no formato GEOTIFF com coordenadas geográficas no sistema de referência WGS84 (EPSG 4326). O dado inicialmente foi reprojetoado para o sistema de referência SIRGAS2000 (EPSG 31982) no sistema de projeção UTM zona 22S usando o comando “reprojetar coordenadas” do *software* QGIS.

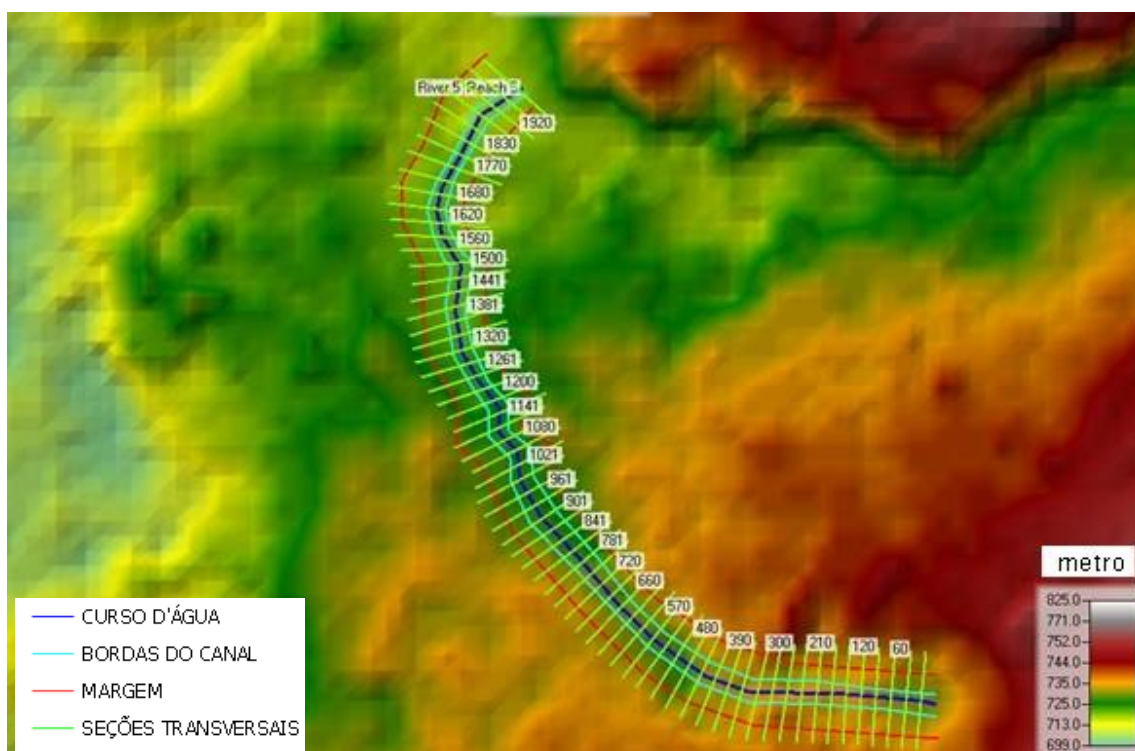
Após a obtenção do MDE, deu-se início ao uso do *software* gratuito americano HEC-RAS na versão 5.0.7. Para criar um projeto foi necessário mudar alguns parâmetros do computador e do *software* para que não houvesse problemas no seguimento do programa, como por exemplo o sistema de unidades dos Estados Unidos (*US customary units*) do HEC-RAS foi alterado para o sistema internacional de medidas (SI). Ao abrir a página “HAS MAPPER”, foi inserido o sistema de referência SIRGAS2000 zona 22S, adquirido gratuitamente por meio do site [spatialreference.org](http://spatialreference.org), no qual foi feito o download do arquivo .prj.

Para a geração da mancha de inundação foi necessária a inserção do modelo digital de elevação no *software* HEC-RAS, através do comando “*terrains*”, onde foi criado um novo *layer* de terreno, o que gerou uma representação hipsométrica caracterizando as formas do relevo local. A partir deste modelo pôde-se definir a geometria do canal e seus contornos, as seções transversais e consequentemente a direção de fluxo da água, considerando toda a topografia da área.

Após todo o processo de preparação dos dados e usando o *software* QGIS, foi extraído automaticamente o sistema de drenagem utilizando um modelo de complemento ainda em execução pelo Professor Dr. Hostilio Neto. Inicialmente foi feito de forma manual usando o HEC-RAS, porém não houve êxito devido ao *software* não identificar a superfície de forma correta em relação a posição do curso d'água e sua elevação. O desenho do rio foi definido seguindo o curso do sistema de drenagem extraído do próprio modelo de elevação no QGIS.

Logo após deu-se início ao processo de criação das “*bank lines*” e “*flow paths*”, bordas e possíveis áreas de alagamento respectivamente, seguindo o curso dos rios, usando o HEC-RAS. Para a criação de seções transversais foi necessário selecionar o rio e usar o comando “*generate cross sections*” que é responsável por gerar as seções automaticamente a partir de parâmetros pré definidos, sendo estes 30 m de equidistância entre as seções e 200 m de comprimento para cada. O dado hipsométrico com todas as geometrias criadas pode ser visto na Figura 7.

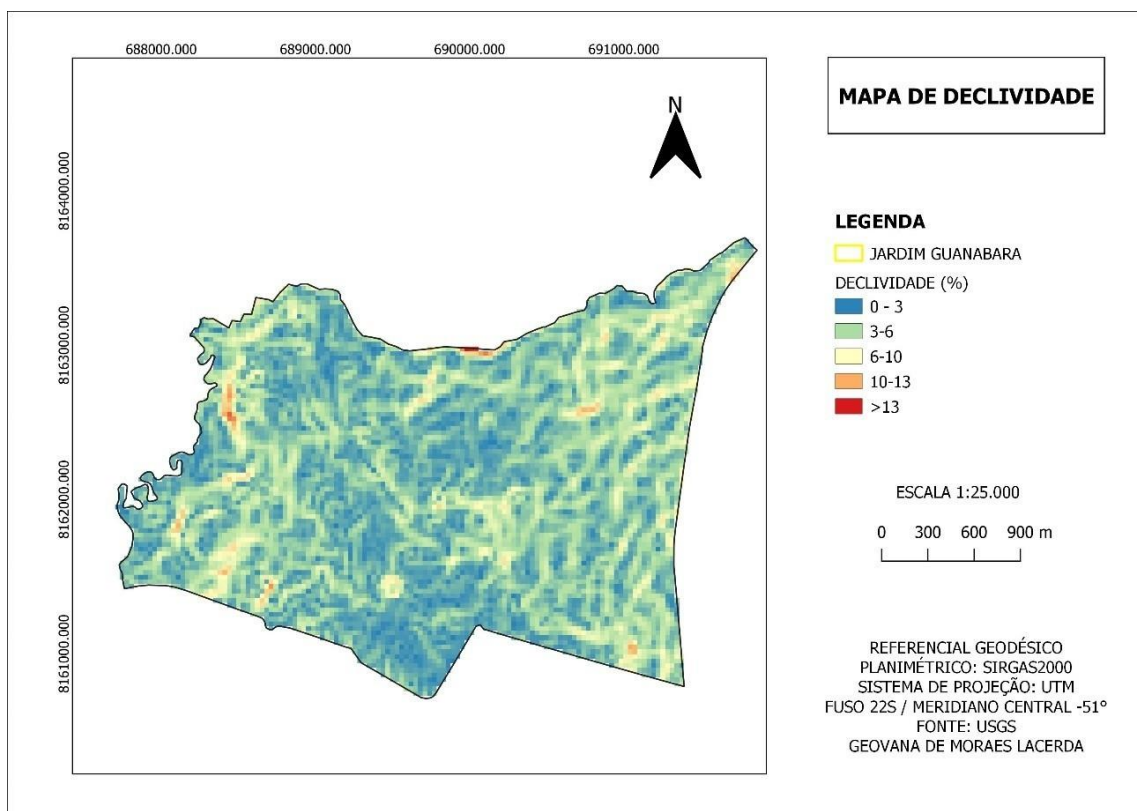
**Figura 7** – Dado hipsométrico



**Fonte:** A autora (2021)

Com o dado de MDE fez-se a extração da declividade no qual se gerou um mapa informativo. Para a região do curso d'água foi visto que a declividade predominante é de 0,02 ou 2%, sendo este valor usado na configuração dos parâmetros do HEC-RAS. O dado de declividade se encontra na Figura 8.

**Figura 8 – Dado declividade**



**Fonte:** A autora (2021)

Foram inseridos os valores do coeficiente de rugosidade apresentado como valor de manning, sendo 0,032 para dentro do canal e 0,048 para as margens.

Para o processamento dos dados na geração da mancha, foi inserido o valor de vazão segundo a tabela 1 para o período médio da chuva (50 min), no qual os outros valores foram determinados a partir de uma interpolação feita pelo próprio HEC-RAS. Foi fixado um intervalo de tempo de 10 minutos, ou

seja, a cada 10 minutos foram feitas medidas durante 1 hora e 40 minutos de chuva. Os valores da vazão podem ser vistos na Figura 9.

**Figura 9** – Valores interpolados de vazão

Flow Hydrograph

River: River 5 Reach: Reach 5 RS: 1920

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 10 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 01SEP2008 Time: 00:00

☒ Fixed Start Time: Date:  Time:

No. Ordinates: Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

| Hydrograph Data |      |                            |                |
|-----------------|------|----------------------------|----------------|
|                 | Date | Simulation Time<br>(hours) | Flow<br>(m3/s) |
| 1               |      | 00:00                      | 3              |
| 2               |      | 00:10                      | 10.26          |
| 3               |      | 00:20                      | 17.52          |
| 4               |      | 00:30                      | 24.78          |
| 5               |      | 00:40                      | 32.04          |
| 6               |      | 00:50                      | 39.3           |
| 7               |      | 01:00                      | 32.84          |
| 8               |      | 01:10                      | 26.38          |
| 9               |      | 01:20                      | 19.92          |
| 10              |      | 01:30                      | 13.46          |
| 11              |      | 01:40                      | 7              |
| 12              |      | 01:50                      |                |
| 13              |      | 02:00                      |                |
| 14              |      | 02:10                      |                |
| 15              |      | 02:20                      |                |

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow:  Multiplier:

Plot Data OK Cancel

Fonte: A autora (2021)

Ao fim desta etapa, em “*unsteady flow analysis*”, foram configurados alguns parâmetros de tempo para o desenvolvimento da simulação. O intervalo de gravação foi definido como sendo 1 minuto, o intervalo de saída do mapeamento foi de 5 min, e os intervalos de saída detalhado e do histograma foram de 10 min.

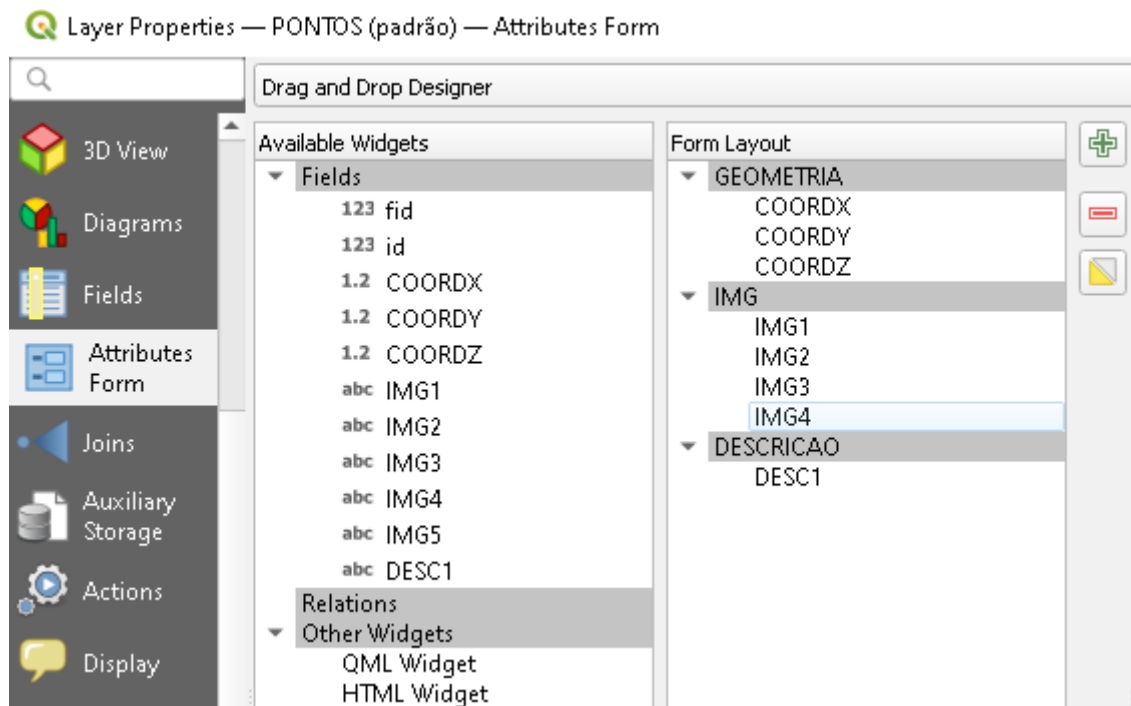
#### ETAPA 4 - COLETA EM CAMPO (VALIDAÇÃO)

Depois de finalizado o modelo hidrodinâmico, o resultado foi exportado em formato .geotiff para o QGIS. Com a mancha inserida no *software*, foram determinadas as áreas de risco através da análise visual do Google Satélite e da área alagada, criando pontos manualmente que auxiliaram na coleta de campo.

Em seguida foi realizada uma integração do HEC-RAS com o QGIS onde foi instalado o complemento QField Sync que tem como objetivo proporcionar a criação e manipulação de projetos com diversas funções. A partir disto, inicialmente foi criada uma camada vetorial do tipo ponto, usada na coleta de campo. Em seguida deu-se início às configurações do projeto pelo plugin no qual foi criado um banco de dados. Em propriedades, na aba “campos” foram criados campos de coordenadas X, Y e Z, do tipo real, usados para definir a localização exata de cada ponto coletado; id para identificação; campo de imagem no formato texto para coleta de fotos de acordo com o levantamento dos pontos; e descrição em formato de texto também para qualquer eventual observação. Ainda em propriedades na aba de “formulário de atributos” foram criadas ferramentas para a inserção dos campos gerados para que fosse possível a configuração de cada componente.

Foram criados os repositórios de *geometria*, no qual foi inserido os campos de coordenadas, IMG onde os campos de imagem se encontram, e por fim o repositório de *descrição* onde o campo de descrição foi inserido. Usando a calculadora do QGIS foi atribuída a expressão “round(\$n,3)” para os campos de coordenadas (o “n” varia entre X, Y e Z de acordo com cada campo). Em imagem foi modificado o tipo de objeto, que foi determinado como anexo. Em descrição se manteve os padrões de configuração determinados pelo *software*. Com a criação do geoidentificador, o projeto finalmente pôde ser comprimido e exportado para o QField para a coleta de campo. A Figura 10 mostra os repositórios configurados.

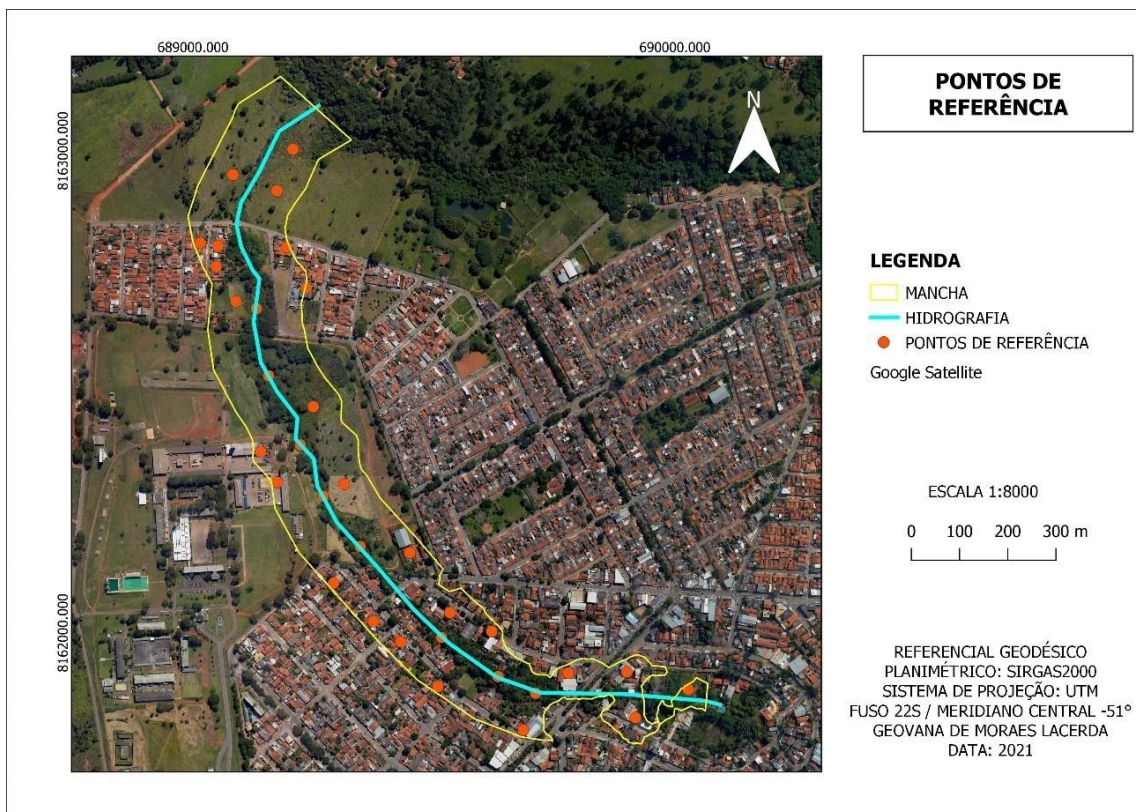
**Figura 10** – Configuração dos repositórios



Fonte: A autora (2021)

O arquivo exportado foi salvo na pasta interna do celular e em seguida importado para o aplicativo QField após sua instalação. Por fim foi feita a coleta em campo sem o uso de dados móveis, onde os primeiros pontos determinados manualmente no *software* serviram de referência para os pontos levantados, bem como a mancha que limitou os lugares que poderiam ser analisados. Através da configuração, foi possível obter as coordenadas, fotografias e descrição das áreas de risco. Para a criação dos mapas e análise final dos resultados, o arquivo salvo foi novamente inserido no QGIS. Os pontos usados como referência para a coleta de campo podem ser vistos na Figura 11.

**Figura 11 – Pontos de referência**



**Fonte:** Autora (2021)

## **ETAPA 5 - INDICATIVO DE SERIEDADE DAS ÁREAS DE RISCO**

Para a criação do mapa que indica a gravidade das áreas críticas, foi extraída a declividade a partir do dado de MDE usando o QGIS, pois este gera valores em porcentagem. Em seguida foi realizada a reclassificação por tabela usando o mesmo *software* cujos intervalos foram definidos de acordo com a tabela da Embrapa (tabela 3) que indica o grau de seriedade para cada informação.

Gerado este dado, foi necessário o processo de normalização para que este seja equivalente com a variação de 0 a 1, seguindo a lógica *fuzzy*, indicando assim que o dado cresce de forma linear.

O MDE também passou pelo mesmo processo de reclassificação de acordo com a variação de altitude do dado que varia de 700 m a 797 m para a região do Jardim Guanabara.

Foram coletados pontos por meio da análise visual da imagem de satélite para determinar os locais com maior nível de urbanização, ou seja, onde há ou não áreas com possibilidade de permeabilidade. Através destes pontos foi gerado um mapa de calor com raio de 300 m usando o parâmetro triangular. Logo em seguida foi realizado o processo de reclassificação e normalização.

Após todo o processo de correção dos dados, foi feita uma matriz com as variáveis analisadas e seus graus de importância seguindo a tabela de Saaty. A tabela de referência se encontra na Tabela 4 enquanto a matriz de pesos gerada se encontra na Tabela 5.

**Tabela 4** – Tabela de importância

| Valor                                           | Definição                    | Explicação                                                                                 |
|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                               | Igual importância            | os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo                             |
| 3                                               | Pouco mais importante        | a análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro   |
| 5                                               | Muito mais importante        | a análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro |
| 7                                               | Bastante mais importante     | a análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo      |
| 9                                               | Extremamente mais importante | sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo          |
| 2, 4, 6, 8<br>valores recíprocos dos anteriores | Valores intermediários       | também podem ser utilizados                                                                |

**Fonte:** Saaty (1994) apud Souza, Silvestre, Vianna e Vianna (2019)

**Tabela 5** – Matriz de Pesos

|                 | DECLIVIDA<br>DE | ALTITU<br>DE | URBANIS<br>MO |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|
| DECLIVIDA<br>DE | 1               | 1/9          | 3             |

|          |     |   |     |
|----------|-----|---|-----|
| ALTITUDE | 9   | 1 | 1/5 |
| URBANISM | 1/3 | 5 | 1   |
| O        |     |   |     |

**Fonte:** Autora (2021)

As etapas 6 e 7 estão apresentadas no tópico de resultados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISE DO MDE

Devido ao fato do dado MDE escolhido ter 30 m de resolução, não foi possível observar de forma nítida o curso de drenagem através dele. Desta forma, a geração da geometria do rio inicialmente ficou comprometida, ou seja, não foi aceita pelo *software* (HEC-RAS) quando feita de forma espontânea seguindo apenas a gradação indicativa do relevo.

Assim sendo, fez-se necessária a geração de uma rede de drenagem seguindo o próprio dado de MDE, este feito por meio do QGIS seguindo um complemento de extração desenvolvido pelo Professor Dr. Hostilio Neto. O resultado foi recortado e exportado ao HEC-RAS, permitindo que a nova geometria de rio criada em torno desta rede fosse identificada e aceita. Esta rede pode ser vista na Figura 12.

**Figura 12** – Rede de drenagem



**Fonte:** Autora (2021)

Com relação à declividade, o dado do MDE SRTM também não foi adequado, visto que a diferença do valor para cada pixel variava de forma brutal, como por exemplo pixels adjacentes com diferenças de 10 m de altitude.

De acordo com Grohmann, Riccomini e Steiner, o SRTM não é indicado para áreas que exigem detalhamento, como neste caso o sistema de drenagem, porém é considerado razoável e pode ser usado para análise em produtos de pequena a média escala.

## 5.2 SIMULAÇÃO HEC-RAS

O tipo de enchente que foi estudado neste trabalho é classificado como “inundação de área específica” de acordo com Tucci (2007) onde este foi formada pela estrapolação do curso d’água.

O uso do HEC-RAS para simulação de enchentes é o mais indicado considerando que modelos hidrológicos são mais precisos em estudos de inundação, visto que alisam dados de relevo, vazão, declividade e coeficientes que levam em consideração a estrutura e características do canal.

Através da mancha de inundação e da imagem do Google satélite é possível ver as áreas mais afetadas pela cheia, no qual foi calculada a área total, área com edificações e cobertura natural. Os dados podem ser analisados da tabela da Tabela 6.

**Tabela 6** – Tabela de áreas afetadas pela mancha

|                    | m <sup>2</sup> | %     |
|--------------------|----------------|-------|
| Área verde         | 157.003,895    | 48,51 |
| Área<br>construída | 166.710,948    | 51,49 |
| Total              | 323.714,843    | 100   |

Fonte: Autora (2021)

Pôde ser visto que pouco mais da metade da área afetada é composta por áreas construídas onde se encontram residências, escolas, comércios, entre outros. Entretanto a maior parte de área verde se encontra também em uso, visto que esta faz parte do Batalhão do Exército.

A mancha gerada apresentou pequenas falhas onde não há grandes variações de altitude, entretanto esta começa a ficar constante ao atingir uma altitude que varia em torno de 730 m. A vazão também aumenta ao atingir altitudes menores que 720 m, que representam o a jusante do curso drenante, como pode ser visto na Figura 13.

**Figura 13** – Mancha de inundação HEC-RAS



**Fonte:** A autora (2021)

### 5.3 COLETA EM CAMPO

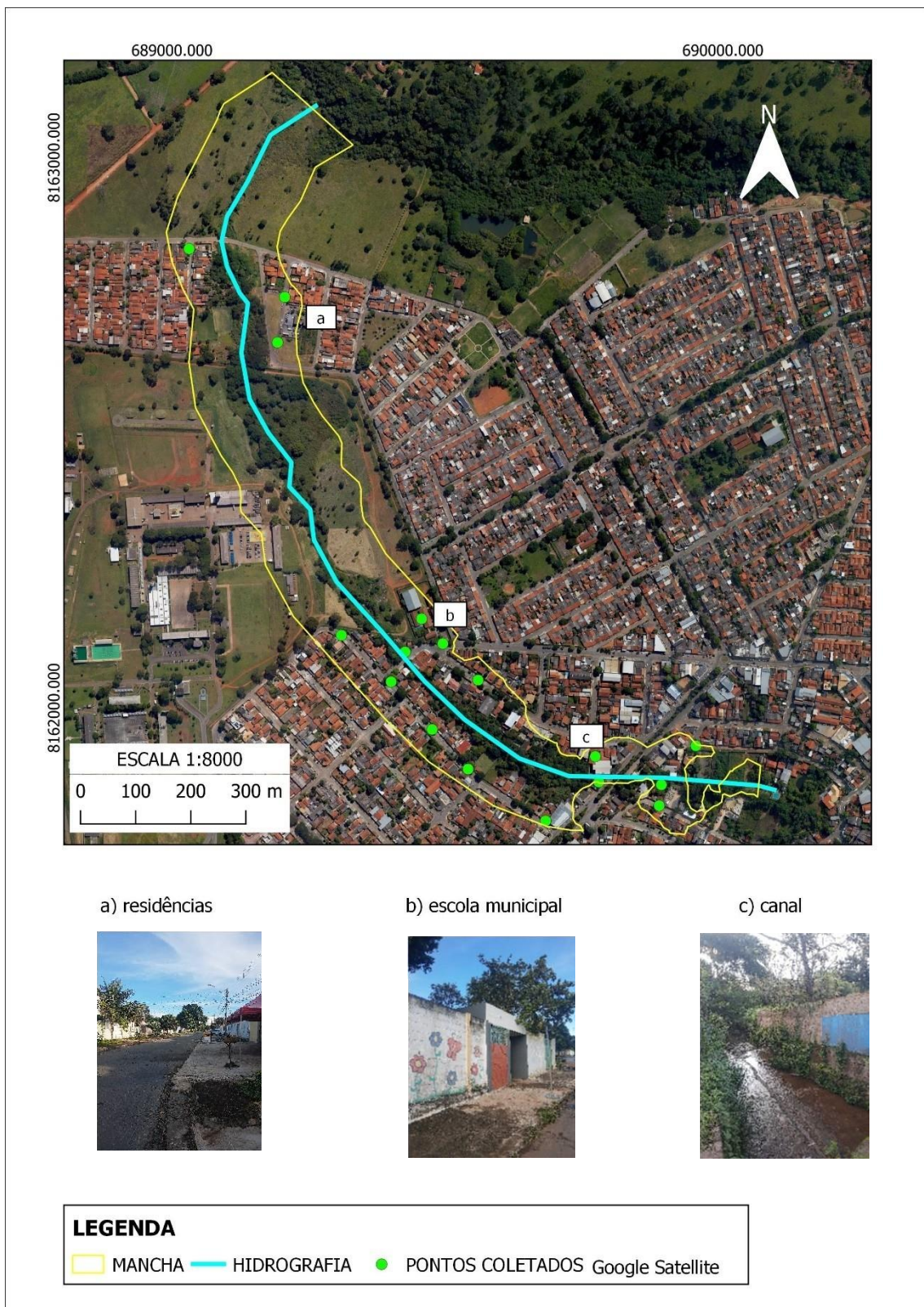
Através das propriedades do aplicativo de dispositivo móvel QField e dos parâmetros que foram configurados no QGIS, foi possível fazer a coleta de

pontos que representam as áreas mostradas na mancha gerada pela simulação. Este mostrou-se eficaz como um banco de dados para armazenamento de informações e imagens dos locais visitados.

Com a análise in loco seguindo o GPS do QField, foram registradas imagens de locais submetidos ao risco de enchente, sendo estas: escolas, residências, DECAR (Delegacia estadual de repressão a Furtos e Roubos de Cargas), comércios e parte do Batalhão de Apoio às Operações Especiais.

A composição das imagens coletadas, apresentadas na Figura 14, mostra a verdade de campo onde foi possível ver as zonas afetadas pela inundação, como residências e escolas adjuntas ao canal drenante. As áreas coletadas podem ser vistas em pontos no mapa, juntamente com estas imagens adquiridas durante a coleta.

**Figura 14 – Mapa dos pontos coletados**



**Fonte:** A autora (2021)

## 5.4 ANÁLISE DA SERIEDADE

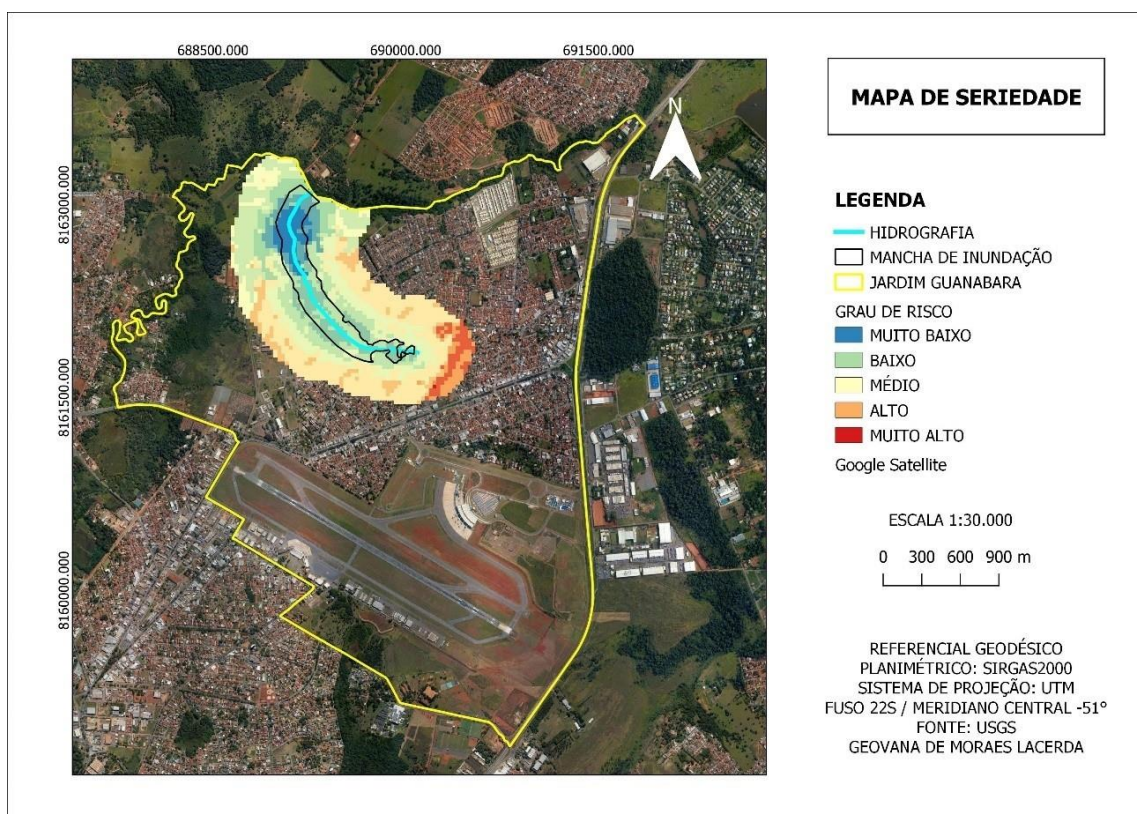
A determinação da importância das variáveis para a geração do mapa indicativo de seriedade foi baseada na análise visual dos elementos, onde foi visto que a declividade variou muito ao longo do curso d'água, sendo assim considerada de menor importância. O dado de altitude varia em torno de 15 m desde a nascente do curso d'água até a jusante, sendo este considerado de maior importância. E por fim o grau de urbanismo foi definido como média importância, visto que 51% são áreas construídas.

De acordo com Hayala Curto (s.d.) o princípio do método AHP se baseia na decomposição das relações entre as variáveis pré estabelecidas com finalidade de se chegar a uma priorização entre estes critérios. Este método usa uma lógica racional para modelar um problema podendo representar e quantificar as variáveis em uma hierarquia de critérios ponderados pela preferência. O resultado deste processo permite a análise de alternativas e a comparação das mesmas, o que reduz falhas.

Desta forma, o método AHP mostrou-se muito vantajoso, pois permitiu a simulação das variáveis resultando em pesos que foram analisados e decididos de acordo com os critérios de importância pré-estabelecidos. Os pesos resultantes da matriz (tabela 5) foram 0,494 para altitude; 0,199 para declividade e 0,307 para urbanização.

Foi realizada uma soma ponderada considerando os pesos definidos para cada variável, gerando assim um mapa indicativo com cinco classes de relevância. Este dado foi limitado para a região da mancha de inundação com o intuito de se analisar a gravidade das áreas já definidas como de risco e de regiões próximas a ela caso haja extrapolação da vazão em uma situação real. O mapa pode ser visto na Figura 15.

**Figura 15 – Mapa de seriedade**



**Fonte:** A autora (2021)

Ao se analisar o mapa, é possível perceber que as áreas verdes possuem o mais baixo grau de perigo e que a concentração desta informação se encontra a jusante do curso d'água, onde se encontram mais áreas verdes do que áreas construídas.

As áreas com maior risco de danos se encontram na região central do bairro onde há maior concentração de urbanização e não há áreas que permitem a infiltração da água. As regiões de risco intermediário são vistas como áreas que possuem alguns pontos com vegetação e não apenas construções.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o modelo digital de elevação foi de 30 m e que este não é o mais indicado para este tipo de trabalho, conclui-se que a carência de detalhes no sistema de drenagem interferiu na exatidão do resultado.

Ainda que o MDE usado não seja o mais indicado para esta situação de enchentes em canais drenantes, o modelo hidrológico oferece um bom grau de precisão e confiabilidade, pois o HEC-RAS considera a importância de cada dado na tomada de decisão em relação aos impactos causados pela inundação.

Ao analisar todo o cenário próximo a mancha de enchente, tanto por imagem de satélite quanto in loco, foi visto que há carência em estruturas próprias para drenagem da água, o que gerou inúmeras vezes alagamentos nas regiões que se encontram dentro da mancha, acometendo residências e comércios.

O uso de dados SIG foi de grande valia no estudo da gravidade das áreas de risco, pois permitiu a manipulação de cada informação que gerou relevâncias diferentes. Com o isso pôde-se ver que as áreas de maior seriedade se encontram onde há uma maior concentração de urbanização e onde não são vistas zonas permeáveis.

Por fim pode-se concluir que o uso de Geoprocessamento é efetivo quando usado para o planejamento urbano, pois pode atender as necessidades do município em vários aspectos, como por exemplo na prevenção ou mitigação de enchentes.

## 7. PROPOSTAS FUTURAS

Em vista da situação precária dos sistemas de drenagem é necessária a ação do poder público para solucionar ou até mesmo mitigar os agentes causadores de enchentes que acarretam, além de danos estruturais, prejuízos à saúde pública, como por exemplo manifestações de leptospirose que são comuns nestas situações. Com a falta de prevenção são gerados problemas que se acumulam e resultam em grandes novas consequências.

Algumas propostas se resumem ao monitoramento da meteorologia, acompanhamento da vulnerabilidade com relação às condições de saneamento e supervisão sobre as áreas ocupadas em zonas de risco. Estas são orientações que constituem um estudo e aprendizado contínuo sobre o contexto específico a ser analisado, para que assim possam gerar resultados a serem aplicados de forma coerente com a situação específica.

Para que haja sucesso na ação das soluções, é importante ser fiel a três fundamentos básicos: confiabilidade com relação ao desempenho esperado pela proposta de solução e as possíveis causas de falhas do processo, como sobrecarga de estruturas e outros fatores externos; flexibilidade sobre a adaptação do projeto, podendo este ser alterado conforme as necessidades do sistema drenante; e por fim a funcionalidade que diz respeito a praticidade que a proposta de solução apresenta em relação a construção, manutenção e operação.

Atualmente há medidas modernas para correção de sistemas de drenagem como a macrodrenagem que consiste na retirada do excesso de água do solo. Este tipo de solução pode envolver obras que a modificam e/ou complementam, como por exemplo canalizações. Quando esta é realizada, é necessário o estudo da resistência dos tubos seguindo o valor de vazão local, o diâmetro do tubo e o coeficiente de rugosidade.

Em geral, as propostas de soluções se resumem à novas direções para o fluxo d'água com o intuito de conduzir às superfícies drenantes, como por

exemplo, criação de reservatórios e canais, além de métodos de atraso do fluxo nas calhas dos rios e córregos.

Espera-se que este trabalho suceda em um melhor entendimento da situação dos sistemas de drenagem e os riscos que se procedem da falta de atenção com o mesmo, para que com isso possam ser geradas possíveis propostas para a prevenção e combate das enchentes. A princípio o estudo se limita ao setor do Jardim Guanabara, porém deve ser considerado também o histórico de enchentes que ocorrem em todo o município de Goiânia para realização de novos trabalhos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R.S.; CRUZ, C.B.M. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Florianópolis, p.1243-1250, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.17/doc/1243-1250.pdf>. Acesso em: 27 fev 2022.

BEZERRA, T.R.Q; DUARTE, C.C. DOMINGUES, E.C.; HAMILTON, S.; CAVALLI, R.O. **Uso de sistemas de informação geográfica na definição de áreas propícias para a piscicultura marinha**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, p.4856, 2011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.22.17.01/doc/p1273.pdf>. Acesso em: 03 jan 2022.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro, 1996.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Revista e Ampliada, 2014.

CURTO, H. **Problemas na tomada de decisão? Saiba como o método AHP pode te ajudar**. S.d. Disponível em: <https://netproject.com.br/blog/problemas-na-tomada-de-decisao-saiba-como-o-metodo-ahp-pode-te-ajudar/>. Acesso em: 20 fev. 2022

DONHA, A.G; SOUZA, L.C.P.; SUGAMOSTRO, M.L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.1, p.175–181, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RGGxMhT3T9LpKq7J9zxyZVz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 dez 2021.

FEC UNICAMP. **Cartografia**. (s.d.) Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~museuLTG/cartografia.htm>. Acesso em: 8 jul. 2021.

FERREIRA, N.C. **APOSTILA DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.** Goiânia, 2006. Disponível em: [http://www.geolab.faed.udesc.br/paginaweb/Pagina%20da%20disciplina%20geop\\_files/apostila\\_sig\[1\].pdf](http://www.geolab.faed.udesc.br/paginaweb/Pagina%20da%20disciplina%20geop_files/apostila_sig[1].pdf). Acesso em: 3 jan. 2022

G1. **Goiânia tem 57 pontos de alagamento; veja locais.** Goiânia, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/goiania-tem-57-pontos-de-alagamento-veja-locais.ghtml>. Acesso em: 16 jul. 2021.

GODINHO, J.; FALCADE, I.; AHLERT, S. O uso de imagens de satélite como recurso didático para o ensino de Geografia. **XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO.** FLORIANÓPOLIS, p. 1485-1489, abr 2007. Online. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.59.27/doc/1485-1489.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. **APLICAÇÕES DOS MODELOS DE ELEVAÇÃO SRTM EM GEOMORFOLOGIA SRTM DEMs APPLICATIONS IN GEOMORPHOLOGY**, Revista Geográfica Acadêmica, São Paulo, v.2, n.2, p.73-83, 2008. ISSN 1678-7226. Online Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/APLICA%C3%87%C3%95ES-DOS-MODELOS-DE-ELEVA%C3%87%C3%83O-SRTM-EM-SRTM-IN-Grohmann-Riccomini/31c920a98648e4f1a0b1ddf63ae325ac22ecd2fb>. Acesso em: 02 mar. 2022.

**HEC-RAS.** Estados Unidos. S.d. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>. Acesso em: 27 fev. 2022

Jornal Extra. **Prefeitura de Goiânia emite comunicado após fortes chuvas.** Goiânia, 2021. Disponível em: <https://jornalhoraextra.com.br/goiania/23257-prefeitura-de-goiania-emite-comunicado-apos-fortes-chuvas/>. Acesso em: 18 jul. 2021.

LICCO,E.A.; DOWELL, S.F.M. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança.** REVISTA DO SENAC, São Paulo: v. 5 n. 3, 2015. ISSN 2179-474X. Online. Disponível em:

[https://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wpcontent/uploads/2015/12/110\\_IC\\_artigo-.pdf](https://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wpcontent/uploads/2015/12/110_IC_artigo-.pdf). Acesso em 30 jun. 2021.

NETO, H. M. P. **CALIBRAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MODELO SWMM/LID PARA PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**. Goiânia, 2013.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Comparação de métodos para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações - Sub-bacia do Arroio da Areia, Porto Alegre/RS**. Brasília, (s.d.). Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0160.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

PASSOS, E.; KASTRUP, V.; ESCÓCIA, L. **Pistas do Método da Cartografia. Pesquisa-intervenção e produção de subjetividade**. Porto Alegre: Sulina, 2009.

PIRES, R.A.G.; CARRILHO, B.B.; GALVÃO, R.G. **Asfalto convencional ou permeável? Viabilidade técnica na prevenção de enchentes**. Natal: ENANPUR, 2019.

PORTO, R.M. **Hidráulica Básica**. EESC USP, 4 ed. São Carlos, 2006.

Prefeitura de Goiânia. **Plano diretor**. Goiânia, s.d. Disponível em: <http://docplayer.com.br/84258349-Iris-rezende-machado-prefeito-de-goiania.html>. Acesso em: 16 dez. 2021.

Prefeitura de Goiânia. **Prefeitura realiza intervenções após volume histórico de chuvas na capital**. Goiânia, 2021. Disponível em: [https://www.goiania.go.gov.br/\\_prefeitura-realiza-intervencoes-apos-volume-de-chuvas-historico-na-capital/](https://www.goiania.go.gov.br/_prefeitura-realiza-intervencoes-apos-volume-de-chuvas-historico-na-capital/). Acesso em: 16 jul. 2021.

SILVA, G.A.B; DAVID, P.L.D; BIANCHI, G. **A utilização do SIG para o planejamento urbano**. ANAP Brasil, São Paulo, v. 10, n.21, p.79, 2017. ISSN 1984-3240. Disponível em: <file:///C:/Users/Wagner/Downloads/administrador,+8.pdf>. Acesso em 20 dez. 2021.

SILVA, L.M.; SILVA, E.J.A.; FERREIRA, L.M.; GONÇALVES, R.M.; SILVA, B.Q. Estado da arte dos fundamentos e ideias da Lógica Fuzzy aplicada as Ciências e Tecnologia. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOMATICA (RBGEO)**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 149-169, jul/set 2019. ISSN 2317-4285. Online.

Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/9365>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SOUZA, R.S.; SILVESTRE, R.A.D.; VIANNA, D.S.; VIANNA, M.F.D. **Utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP) para Priorização de Serviços Submarinos na Indústria do Petróleo**. 2019. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/32224364.pdf>. Acesso em 10 dez 2021.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas**. 1 ed. ABRH, 2007.

Wikipédia. **QGIS**. 2021. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/QGIS>. Acesso em: 27 fev 2022.