

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL – ECC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO “*STRICTU SENSO*” EM**  
**ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

**KAMILA ALMEIDA DOS SANTOS**

**UTILIZAÇÃO DE MODELO HIDRODINÂMICO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS INUN-  
DÁVEIS.**

Goiânia- GO

2015



## Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**       **Dissertação**       **Tese**

### 2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a):	Kamila Almeida dos Santos				
CPF:		E-mail:	kamilas.geo@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não					
Vínculo Empregatício do autor					
Agência de fomento:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico			Sigla:	CNPQ
País:	Brasil	UF:	GO	CNPJ:	
Título:	Utilização de Modelo Hidrodinâmico Para Mapeamento de Áreas Inundáveis				
Palavras-chave:	Inundação, SIG, HEC-RAS, modelo hidrodinâmico.				
Título em outra língua:	Using Hydrodynamic Model on Flooding Map.				
Palavras-chave em outra língua:	Flooding, GIS, HEC-RAS, hydrodynamic model.				
Área de concentração:	<b>Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental</b>				
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	10/12/2015				
Programa de Pós-Graduação:	<i>Stricto sensu</i> em engenharia do meio ambiente				
Orientador(a):	Klebber Teodomiro Martins Formiga				
CPF:		E-mail:	Klebber.formiga@gmail.com		
Co-orientador(a):					
CPF:		E-mail:			

### 3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?<sup>1</sup>       total       parcial

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Assinatura do(a) autor(a)

<sup>1</sup> Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e meta dados ficarão sempre disponibilizados.

KAMILA ALMEIDA DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE MODELO HIDRODINÂMICO PARA MAPEAMENTO DE  
ÁREAS INUNDÁVEIS.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro  
Martins Formiga

Goiânia,

2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Santos, Kamila Almeida dos  
Utilização de Modelo Hidrodinâmico para Mapeamento de Áreas  
Inundáveis [manuscrito] / Kamila Almeida dos Santos. - 2015.  
LXXXIX, 89 f.: il.

Orientador: Prof. Klebber Teodomiro Martins Formiga.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de  
Engenharia Civil (EEC) , Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
do Meio Ambiente, Goiânia, 2015.

Bibliografia. Apêndice.  
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, tabelas, algoritmos,  
lista de figuras, lista de tabelas.

1. Inundação. 2. SIG. 3. HEC-RAS. 4. modelo hidrodinâmico. I.  
Formiga, Klebber Teodomiro Martins, orient. II. Título.

**KAMILA ALMEIDA DOS SANTOS**

**UTILIZAÇÃO DE MODELO HIDRODINÂMICO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS  
INUNDÁVEIS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, aprovada em **10** de **dezembro** de 2015 pela seguinte Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga – UFG**

Presidente da Banca

**Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares – UFG**

Examinador Interno

**Prof. Dr. Fernanda Posch Rios – IFG**

Examinador Externo

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela graça da vida.

A Minha família, que sempre me apoiou e vibrou com minhas conquistas. A minha mãe que sempre está ao meu lado, a Vete (*in memoriam*) minhas irmãs Anna Karolina e Cristina e minha tia Lena pelo incentivo de sempre.

Ao meu motorista, cara da T.I., faz tudo e namorado Frederico Halley por todo suporte e paciência.

Ao meu querido orientador Klebber Teodomiro Martins Formiga pelo exemplo, estímulo, paciência, amizade e confiança durante todo esse tempo.

Aos professores do PPGEMA prof. Dr. Alexandre Kepler, Eduardo Queija, José Vicente pela disponibilidade e incentivo.

Meus amigos do mestrado, onde pudemos passar por essa etapa, em especial a Bruna Ferreira, Ricardo Coutinho, Rubens Villar, Daniel Rodrigues e Tatiane Souza.

Ao pesquisador doutor Antônio Nobre do INPA por gentilmente ceder a versão alpha do programa HAND e ao Jeilson Santiago do INPE por sempre me elucidar em minhas dúvidas sobre o programa.

À Secretária do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), Deuzélia Rosa Gomes dos Santos, pelo apoio e conselhos.

A técnica do laboratório de hidráulica Joana D'Arc.

Aos amigos Nady Elle, Leomar Rufino e João Cortes que sempre me auxiliaram com conselhos e apoio técnico.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e entenderam minha ausência Ráfylla França, Rhayssa França, Bianca Dutra, Ludmilla Dutra, Iulliane Garcia, Gilberto Lopes, Mônica Morgana, Cíntia Carneiro, Ludymilla Guimarães, Virgínia Peçanha.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo auxílio financeiro.

## EPÍGRAFRE

“... Com o tempo, eu acumularia todos os progressos e os centímetros se transformariam em quilômetros...”

Amyr Klink

SANTOS, Kamila Almeida (2015). **Utilização de Modelo Hidrodinâmico para Mapeamento de Áreas Inundáveis**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2015. 85 p.

## RESUMO

O processo de urbanização que está ocorrendo nas cidades brasileiras tem se mostrado desorganizado e com isso as inundações estão se tornando um fenômeno recorrente.

O crescimento da impermeabilização no solo urbano diminui a quantidade de água infiltrada no solo durante o período de chuva, os córregos não conseguem suprir a demanda da água nos canais, além de receber do escoamento superficial uma grande quantidade.

Nesse contexto a modelagem hidrodinâmica é uma ferramenta importante para avaliar os sistemas de drenagens e prever os efeitos da inundação. Dessa forma o presente trabalho foi aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, no município de Goiânia, onde uma parte considerável da bacia se encontra em área urbanizada. Utilizando o modelo hidrodinâmico HEC-RAS foram criados vários cenários de inundação com os tempos de retorno de 15, 25, 50 e 100 anos para a chuva de projeto; houve auxílio de um Sistema de Informações Geográficas, utilizando o programa ArcMap 10.0 a ortofoto do município de alta resolução e o MDT feito a partir de laser scanner aerotransportado, com esse material se extraiu a geometria da bacia hidrográfica. Na modelagem hidrodinâmica trabalhada o modelo foi executado no regime não permanente, considerando a equação de Saint Venant completa. Além da modelagem hidrodinâmica foi realizada uma simulação no modelo simplificado HAND do INPE, onde se mostrou ser uma ferramenta barata, de fácil acesso e com resultados de qualidade.

Com os resultados obtidos (hidrogramas de cheia e manchas de inundação referente aos diferentes tempos de retorno) foram mostradas áreas de inundação nos diferentes cenários criados, sendo possível compara-los. Os resultados mostraram que a mancha de inundação ao longo da bacia se tornaram significativamente maiores a medida que os tempos de retorno cresciam. Nos córregos urbanizados houve mudanças maiores do que

as mudanças que ocorreram nos córregos afastados do perímetro urbano. Nos córregos que estão fora da área urbanizada foca o alerta, são córregos naturais e mostraram que não suportarão o volume de água resultante deste trabalho.

Palavras-chave: Inundação, SIG, HEC-RAS, modelo hidrodinâmico.

SANTOS, Kamila Almeida (2015). **Using Hydrodynamic Model on Flooding Map.** Dissertation (MSc degree in Environment Engineering) – School of Civil Engineering, Federal University of Goiás – UFG, Goiânia, 2015. 85 p.

## **ABSTRACT**

The urbanization issues is taking place in Brazilian cities has proved disorganized and thus the floods are becoming a recurring phenomenon.

The growth of waterproofing in urban land decreases the amount of infiltrated water in the soil during the rainy season, the rivers might otherwise not conform the water demand in the channels in addition to receive a lot of water runoff

In this context the hydrodynamic modeling is an important tool to assess the drainage systems and predict the effects of flooding.

This study was applied to the watershed of Ribeirão Anicuns in Goiania, where a considerable part of the basin is in an urban area. Using the hydrodynamic model HEC-RAS were created various flood scenarios with return periods of 15, 25, 50 and 100 years for the project rainfall; there was aid of a geographic information system, using ArcMap 10.0 to the high-resolution orthophoto city and DEM made from airborne laser scanner, with this material extracted the geometry of the basin. In hydrodynamic modeling crafted the model was run in unsteady flow considering the full Saint Venant equation. In addition to the hydrodynamic modeling was carried out a simulation on the INPE simplified model called HAND, which turned out to be an inexpensive tool, easily accessible and with quality results.

With the results obtained (flood hydrograph and flood patches concerning the different return times) flood areas were shown in different scenarios created, and you can compare them. The results showed that the flood spot along the basin have become significantly larger as the return periods grow. In urbanized streams were no major changes than the changes that occurred in streams away from the urban area. Streams that are outside the urbanized area focuses on the alert, they are natural streams and showed that will not support the volume of water resulting from this work.

Key-words: Flooding, GIS, HEC-RAS, hydrodynamic model.

## SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BHRA	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns
BRUM	Bacias Representativas de Uso Misto
CN	<i>Curve Number</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Finep	Financiadora de estudos e projetos
GIS	<i>Geographic Information System</i>
HEC-geoRAS	<i>Hydraulic Engeneer Center – geoprocessing River Analysis System</i>
HEC-RAS	<i>Hydraulic Engeneer Center – River Analysis System</i>
HU	Hidrograma Unitário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIDAR	<i>Lights Detection And Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
MUBDG	Mapa Urbano Digital de Goiânia
ONG	Organização Não Governamental
PD	Plano Diretor
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SEMOB	Secretaria Municipal De Obras
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e Informação Geográfica de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

USACE

*United States Army Corps of Engineers*

XML

*Extensible Mark-Up Language.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferença entre enchente e inundação .....	18
Figura 2: Área de estudo da BHRA. ....	31
Figura 3: Hidrograma SCS .....	35
Figura 4: Mapa e solos da bacia. ....	38
Figura 5: valores dos CN para as bacias. ....	39
Figura 6: Tipos de canais. ....	41
Figura 7: Valor de Manning para os canais.....	42
Figura 8: Seção transversal no HEC-RAS. ....	43
Figura 9: Procedimento do HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011) .....	44
Figura 10: Procedimentos do modelo HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011) .....	45
Figura 11: Procedimento da classificação no HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011) .....	45
Figura 12: Mapa hipsométrico.....	48
Figura 13: Mapa de declividade. ....	49
Figura 14: Numeração das bacias. ....	50
Figura 15: Mancha de inundação com TR15 .....	54
Figura 16: Mancha de inundação com TR25 .....	55
Figura 17: Mancha de inundação com TR50 .....	56
Figura 18: Mancha de inundação com TR100 .....	57
Figura 19: Localização dos pontos em destaque na inundação. ....	58
Figura 20: Avenida Jamel Cecílio .....	59
Figura 21: Avenida A.....	59
Figura 22: Parque Botafogo .....	60
Figura 23: Foz córrego Botafogo.....	60
Figura 24: Avenida 90.....	61
Figura 25: Setor ferroviário .....	61
Figura 26: Avenida T-2.....	62
Figura 27: Parque Vaca Brava.....	62
Figura 28: Próximidades da Santa Casa de Misericórdia.....	63
Figura 29: Avenida Feira de Santana.....	63
Figura 30: Foz do córrego Serrinha. ....	64
Figura 31: Córrego Macambira próximo a BR-060.....	65
Figura 32: Córrego Buriti. ....	65
Figura 33: Córrego Taquaral - próx. a BR-060 .....	66
Figura 34: Córrego Santa Rita .....	66
Figura 35: Foz do córrego Salinas. ....	67
Figura 36: Foz dos córregos Quebra Anzol e Da Cruz .....	67
Figura 37: Classificação do HAND com imagem SRTM.....	68
Figura 38: Classificação do HAND com curva de nível.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: formulações da caracterização morfométrica.....	32
Tabela 2: Dados das bacias hidrográficas .....	39
Tabela 3: Valores de n dos canais.....	41
Tabela 4: Caracterização morfométrica da BHRA. ....	47
Tabela 5: Valores de CN, área e vazão máxima para diferentes tempos de retorno. ....	50
Tabela 6: Tempo de processamento do HEC-RAS em cada bacia.....	53

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	14
2.	OBJETIVO GERAL .....	17
2.1	Objetivo Específico: .....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1	Inundações Urbanas .....	18
3.1.1	Medidas de controle de inundação .....	21
3.2	Modelo Hidrodinâmico .....	22
3.2.1	O Modelo HEC-RAS .....	24
3.3	Sistemas De Informações Geográficas no Estudo de Inundações Urbanas .....	25
3.4	Modelo <i>Height Above the Nearest Drainage – HAND</i> .....	28
4	MATERIAL E MÉTODO .....	30
4.1	Área de Estudo.....	30
4.2	Materiais.....	33
4.2.1	Programas utilizados.....	33
4.2.2	Base de Dados de Geoinformação.....	33
4.3	Metodologia.....	34
4.3.1	Hidrograma Unitário.....	35
4.3.2	Modelagem Hidráulica – HEC-RAS. ....	39
5	RESULTADOS.....	47
5.1	Área de Estudo.....	47
5.2	Hidrogramas .....	49
5.3	Modelo HEC-RAS.....	53
5.4	Modelo <i>Height Above the Nearest Drainage - HAND</i> .....	68
6	CONCLUSÃO .....	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
	APÊNDICE .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

A falta de planejamento no uso e ocupação do solo além dos altos índices pluviométricos tem acarretando inundações mais intensas e frequentes nas cidades brasileiras. Pois, no Brasil uma parte considerável dos municípios não possui projetos que visem minimizar ou eliminar os efeitos das inundações.

No Brasil existe uma cultura de impermeabilização, fazendo com que tornem as cidades mais fragilizadas durante eventos chuvosos, os cursos d'água não suportam todo o volume de água, as áreas alagadas irão se tornando maiores. Além de ter grande parte do município impermeabilizado, as bocas de lobo não conseguem suprir todo o volume de água da chuva, quando também não estão entupidas por lixo. Fora a impermeabilização, a canalização de Córregos e rios são alguns fatores que influenciam na inundação urbana.

A Lei Federal n.10.257 de 2001, que trata do Estatuto da Cidade, diz que se deve ter um ordenamento do uso do solo para que se possa evitar a degradação da área urbana, a poluição ambiental, entre outros. Para isso, entra em questão a criação do plano diretor (PD), que também é citado na mesma lei e exige sua elaboração para municípios com mais de 20 mil habitantes. Por meio de medidas de ordenamento acerca dos usos e ocupação do solo, busca-se também a preservação das bacias hidrográficas que dependem de como são esses usos e as atividades desenvolvidas em toda sua extensão. Nas áreas urbanizadas, a tendência é sua expansão e com ela vêm acompanhadas diversas alterações ambientais, inclusive mudanças no ciclo hidrológico.

Com a expansão urbana surgem novos loteamentos e condomínios e com eles são criados novos sistemas de micro-drenagens. A partir do crescimento urbano e a criação desses sistemas de drenagem é necessário que essas obras ocorram de forma integrada ao município, dentro de um planejamento urbano completo, caso não ocorra um planejamento esses sistemas de drenagens que são criados acabam sobrecarregando a macrodrenagem do município, de forma que a mesma não esteja preparada para receber todo o volume de água escoado, graças ao aumento da rede de drenagem. Dessa forma é necessário destacar a importância do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), onde é possível diagnosticar a viabilidade, ou não, de ocupação de determinada área, afirmando assim a necessidade de se fazer um PD com qualidade

técnica para que se tenha uma melhora no ambiente urbano. No plano diretor de cada município devem ser propostas leis de macrozoneamento e zoneamento dos espaços.

Tucci (1997) diz que o PDDU tem como objetivo trabalhar a parte da infraestrutura urbana e correlacioná-las com o escoamento de águas pluviais e dos rios das áreas urbanas dos municípios, de forma que possa ter um objeto de gestão urbana. Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, tem um PDDU criado em 2005, onde foram analisadas bacias hidrográficas pertencentes ao município, suas drenagens e realizadas simulações para diferentes cenários de urbanização, no qual foi sugerida a implantação de reservatórios de retenção.

O PD da cidade de Curitiba – PR focou em realizar uma abordagem chamada de sustentável (Curitiba, 2012) ao utilizar um controle no lote ou outras áreas primárias de desenvolvimento e medidas de macro e microdrenagem.

Goiânia tem um plano diretor de drenagem urbana, porém não foi homologado. No momento está sendo realizado estudo para a criação do novo PDDU do município.

A modelagem hidrológica-hidrodinâmica da bacia hidrográfica é essencial para o plano diretor, pois ela avalia os cenários e faz diagnósticos futuros. Ela entra no PD diretor em seu zoneamento de áreas inundáveis, onde é analisado o comportamento das cheias das bacias hidrográficas dos municípios. Gerando vários tempos de recorrência o resultado desse modelo pode ser utilizado pelo poder público na criação de um programa gestão de riscos. Os modelos hidráulicos entram como a finalidade de conhecer a área de estudo e minimizando os impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana.

Para a construção desses modelos é necessária obter bons dados, sua aquisição é fundamental para a construção de um resultado de alta qualidade. Mas nem sempre é possível obtê-los, seja pelo fato da bacia não ter algum tipo de monitoramento físico, se localizada em uma região remota ou não possuir algum tipo de dados do local trabalhado. Na falta de dados de observação *in situ* é necessário fazer um levantamento completo para a obtenção da maior quantidade de dados da bacia trabalhada para que haja um resultado com alta qualidade. Souza, Collischonn e Tucci (2007) afirmam que apesar das limitações e incertezas os dados obtidos remotamente podem ser utilizados em um momento inicial como uma fonte primária de material.

Como alternativa, a aplicação de abordagens que careçam de poucos dados ou utilizem de métodos diferenciados para aquisição pode ser empregada como primeira aproximação, mesmo ciente de suas limitações e incertezas.

Um modelo com fácil acesso e aplicação é o *Height Above the Nearest Drainage HAND* criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), de acordo com Nobre et. al. (2011) a análise do modelo *HAND* começa com o reconhecimento de que a força gravitacional acelera o movimento da água de percolação ou do escoamento superficial nas encostas, tornando a topografia fundamental na definição da dinâmica das águas superficiais.

Uma ferramenta encontrada para a aquisição de dados é o sensoriamento remoto. Com ele é possível a aquisição de dados sem muita necessidade de ir a campo. O sensoriamento remoto faz parte do sistema de geoprocessamento. Este pode ser definido como a manipulação de dados espaciais georreferenciados dentro de um sistema computacional. O geoprocessamento em conjunto com metodologias adequadas pode ser uma boa ferramenta no planejamento, tomada de decisão e controle de inundações. Com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível coletar, armazenar, recuperar dados, gerar informações e dar suporte ao planejamento de ações em diferentes áreas: ambiental (SENA, SANTIAGO E LEITE 2012; TANCREDI e BORGES, 2009; NASCIMENTO et. al. 2005), saúde, entre outras.

Com a utilização de MDT's é possível fazer a extração das informações necessárias para se trabalhar com modelos numéricos. Os MDT's podem ser feitos a partir de dados topográficos, mapas ou equipamentos instalados de aeronaves ou plataformas espaciais. O MDT utilizado nesse trabalho foi LiDAR (*Lights Detection And Ranging*) gerado a partir de perfilamento a laser aerotransportado. Além da geração de MDT, na aplicação do LiDAR estão incluídos modelos tridimensionais de cidades (MACHADO E MITISHITA, 2006; MARCATO e POZ, 2014; GALVANIN et. al., 2007) proteção costeira (SOUZA et. al., 2008), estudos de deslizamentos de encostas (SILVA e SILVA, 2014), sistema viário (OLIVEIRA, 2010; PAVI et. al. 2014), etc.

A contribuição dos Sistemas de Informação Geográfica vinculados a modelos hidrológicos - hidrodinâmicos tornou possível a simulação de inundação em áreas urbanas.

O trabalho foi desenvolvido como parte do projeto intitulado Rede de Bacias Representativas de Uso Misto (BRUM), é um projeto no âmbito da Financiadora de

Estudos e Projetos (FINEP). Aplicado na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Anicuns (BHRA) responsável por 70% da drenagem do município de Goiânia - GO. A ideia é utilizar um SIG em conjunto com um modelo hidrodinâmico 1-D para a construção de um mapa de inundação.

## 2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral a geração de mancha de inundação utilizando imagens alta resolução na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns e empregar essas imagens em um modelo hidrodinâmico - HEC-RAS e em um modelo simplificado - HAND.

### 2.1 Objetivo Específico:

Para a realização do objetivo geral foram definidos alguns objetivos específicos para este trabalho, são eles:

- Avaliar o HAND para dados de alta precisão;
- Comparar os modelos digitais de terreno e seus resultados gerados no HAND;
- Comparar as manchas de inundação feitas pelo HAND e pelo HEC-RAS;
- Avaliar o comportamento das manchas de inundação nos diferentes tempos de retorno.
- Avaliar a urbanização na mancha de inundação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Inundações Urbanas

É importante diferenciar enchentes de inundação. As enchentes, ou cheias, são o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém sem transbordar. A inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais. É possível ver essa diferenciação na Figura 1.

Um dos fatores que tem grande influência nas inundações urbanas são as ocupações desordenadas. No Brasil muitas cidades cresceram desordenadamente sem a mínima estrutura para viver com qualidade. Falta o básico, como saneamento e coleta de lixo, como resultado nossa saúde é diretamente afetada.

Um dos principais problemas no crescimento das cidades é a falta de terra urbanizada para abrigar principalmente população de baixa renda. O processo imobiliário, a valorização excessiva de áreas já urbanizadas das cidades tem gerado uma expulsão da população dessas áreas, seja por processos imobiliários ou pelo estado.

O IBGE denomina como aglomerados subnormais os locais como favelas construídas em encostas de morros ou bairros sem infraestrutura, construções em áreas de proteção ou loteamentos clandestinos.

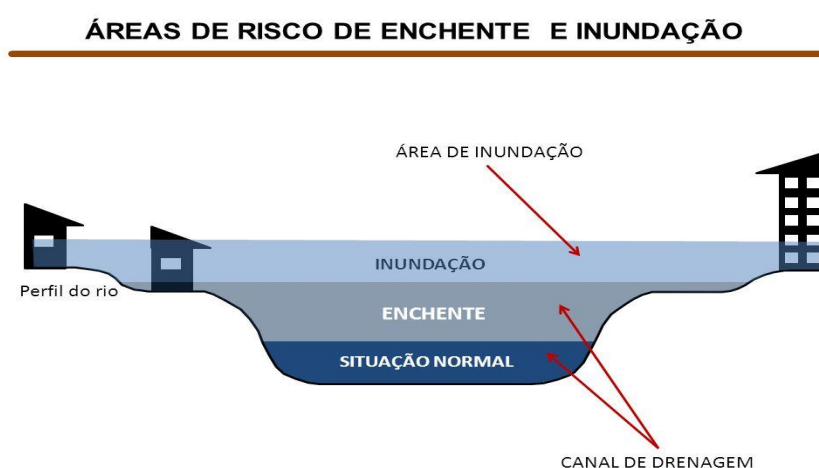


Figura 1: Diferença entre enchente e inundação

De acordo com a Política Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2007) existem vários tipos de inundação:

1) Inundações repentinas, bruscas ou enxurradas.

Ocorrem em regiões montanhosas com muita inclinação e vales, onde a água da chuva pode arrastar terra e vegetação por causa dos deslizamentos nas margens do rio. As chuvas fortes e moderadas, mas contínuas também podem ocasionar inundações repentinas, que ocorrem quando o solo tem sua capacidade de infiltração saturada.

2) Inundação lenta ou de planície

Nas enchentes, as águas do curso d'água se elevam devagar e de forma previsível, elas se mantem em situação de cheia por um período de tempo, e em seguida, escoam-se. Essas inundações normalmente são cíclicas e sazonais.

3) Inundações em cidades ou alagamentos

Ocorrem a partir de águas acumuladas das ruas e perímetro urbano. São ocasionados por sistemas de drenagem deficientes, extravasa água por vários fatores.

Tucci (2003) divide as inundações em dois processos principais:

- 1) Inundações em áreas ribeirinhas: essas inundações ocorrem pelo processo natural de cheia do rio em evento com grandes precipitações. O nível d'água do rio e passa a escoar em sua calha secundária, com uma recorrência de aproximadamente 2 anos.
- 2) Inundação urbana: são ocasionadas principalmente em consequência da alta taxa de impermeabilização do solo que ocorrem devido ao processo de urbanização. A medida que as cidades crescem a cobertura vegetal vai se tornando escassa, dificultando assim a infiltração da água da chuva no solo e aumentando o volume de escoamento superficial.

### 3.1.1 Medidas de controle de inundação

De acordo com Tucci (1995) estes são os princípios para controle de inundação:

- a) Considerar a bacia como sistema (as medidas tomadas não podem reduzir o impacto de uma área em detrimento a outra);
- b) Analisar as medidas de controle no conjunto da bacia;
- c) As formas de implantar o controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, as Legislações Municipal, Estadual e Federal, e o Manual de Drenagem O horizonte de expansão;
- d) O critério fundamental de não ampliar a cheia natural;
- e) O controle permanente (violação a legislação);
- f) A educação (conscientização e modificação);
- g) A administração da manutenção e controle;
- h) As normas.

No Brasil os municípios podem utilizar o Programa de Indução a Gestão da Água no Meio Urbano e Controle de Inundações, da Agência Nacional das Águas – ANA, que tem como objetivo induzir o município a ter uma visão integrada da drenagem urbana, do controle de inundações e a implementação de medidas não estruturais, visando também as obras de engenharia como pontes e barragens, a partir do planejamento. Como medidas de prevenção pode-se citar o reflorestamento de áreas onde há risco de arrastamento de sedimentos, manter os leitos dos rios limpos, desobstruídos e fazer o desassoreamento, implementação de sistemas de vigilância que permitam avisar antecipadamente as populações para diminuir danos físicos.

No município de Portland, Estados Unidos foi criado um programa chamado *greenstreets* (prefeitura de Portland, 2007), onde visava a diminuição do escoamento superficial, a garantia da qualidade das águas, diminuir a temperatura no verão entre outros fatores. Entre as medidas tomadas estão à criação de jardins de chuva ao longo da cidade, também conhecidos como sistema de biorretenção, em que as plantas contribuem para a infiltração da água da chuva, ajudando a aliviar o sistema de drenagem do município. A construção de pavimentos permeáveis também contribuiu

para a diminuição da problemática da inundação urbana. Com os pavimentos permeáveis é possível reduzir a velocidade da água da chuva no escoamento superficial, retendo pequenos volumes na própria superfície do pavimento.

Após várias ocorrências de grandes enchentes a cidade de Chicago (Agência De Águas Metropolitana dos Distritos da Grande Chicago) no lago Michigan já estava saturado e não suportava o volume d'água das chuvas, além de estar recebendo esgoto, No final da década de 1970 foi criado um projeto que visava a redução das inundações urbanas. Esse plano ficou conhecido popularmente de *deep tunnels*. Foi criada uma rede de túneis e reservatórios subterrâneos ao longo do município.

No Jornal Oficial da União Europeia de outubro de 2007 foram publicada as normativas sobre inundações. Dividida em três fases, a primeira exige que os Estados-Membros identifiquem e avaliem se os cursos d'água e as costas correm riscos de inundação, esta primeira etapa foi concluída em 2011; na segunda fase os Estados-Membros tinham um prazo quem vencia no ano de 2013 para construir cartas de risco de inundação, onde seria possível identificar os níveis de risco das mesmas, dividido em três categorias: fraca, média ou elevada. Com as cartas de risco já produzidas a última fase consistia na elaboração de um plano de gestão dos riscos de inundação, onde o prazo de encerramento é no final de 2015. Esses planos asseguram que os Estados-Membros estejam preparados para quando acontecer as inundações.

### 3.1.1 Medidas de controle de inundação

No município de Portland, Estados Unidos foi criado um programa chamado *greenstreets* (prefeitura de Portland, 2007), onde visava a diminuição do escoamento superficial, a qualidade das águas, diminuir a temperatura no verão entre outros fatores. Entre as medidas tomadas estão à criação de jardins de chuva ao longo da cidade, também conhecidos como sistema de biorretenção, onde as plantas contribuem para a infiltração da água da chuva, ajudando a aliviar o sistema de drenagem do município. A construção de pavimentos permeáveis também contribuiu para a diminuição da problemática da inundação urbana. Com os pavimentos permeáveis é possível reduzir a velocidade da água da chuva no escoamento superficial, retendo pequenos volumes na própria superfície do pavimento.

Após várias ocorrências de grandes enchentes a cidade de Chicago (Agência De Águas Metropolitana dos Distritos da Grande Chicago) no lago Michigan já estava saturado e não suportava o volume d'água das chuvas, além de estar recebendo esgoto, foi solicitado um plano que visava ter a redução das inundações urbanas. Depois de criado o plano foi conhecido popularmente de *deep tunnels*. Foi criada uma rede de túneis e reservatórios subterrâneos ao longo do município.

No Jornal Oficial da União Europeia de outubro de 2007 foi publicada as normativas sobre inundações. Dividida em três fases, a primeira exige que os Estados-Membros tiveram que avaliar e identificar se os cursos d'água e as costas correm riscos de inundação, esta primeira etapa foi concluída em 2011; na segunda fase os Estados-Membros tiveram até 2013 para construir cartas de risco de inundação, que identificassem os níveis de risco da inundação: fraca, média ou elevada. Com as cartas de risco já produzidas a última fase consiste na elaboração de um plano de gestão dos riscos de inundação, onde o prazo de encerramento é no final de 2015. Esses planos asseguram que os Estados-Membros estão preparados para quando acontecer as inundações.

### 3.2 Modelo Hidrodinâmico

A modelagem Hidrodinâmica tem por objetivo o estudo do movimento dos fluidos. Os modelos são ferramentas utilizadas para representar processos e elaborar prognósticos. Os modelos permitem analisar cenários, alternativas, prever fenômenos, entre outros. Segundo Chow (1959) os modelos são divididos em hidrológicos e em hidrodinâmico. Os modelos hidrodinâmicos ou hidráulicos como os que permitem a utilização da equação de Saint-Venant, em sua forma completa ou simplificada. Os modelos hidrodinâmicos completos são definidos como aqueles em que não são permitidas simplificações das equações de Saint-Venant devido às características do canal fluvial e do evento de cheia. Os modelos hidrodinâmicos servem para determinar o padrão de correntes em corpos de água na superfície livre, como águas costeiras, baías, rios, lagoas, entre outros.

Na drenagem urbana a modelagem hidrodinâmica pode ser realizado considerando duas formas: o escoamento permanente ou o escoamento não permanente.

Segundo Graciosa (2010) os modelos que representam o escoamento permanente tem sua fundamentação nos princípios da conservação de energia, que está presente na equação de Bernoulli, na de conservação de massa, representada pela equação da continuidade. Para Porto (2006) é chamado de escoamento não permanente quando houver variação do tempo, seja da profundidade da água ou outros parâmetros hidráulicos. Para Tucci (1998) é um sistema de equações que são formadas para representar o escoamento em rios e canais que não podem ser resolvidos pelos métodos analíticos, sendo necessária a utilização de métodos numéricos que permitem a discretização do rio em seções.

As equações de energia, massa e quantidade de movimento estão diretamente relacionadas aos escoamentos em rios e canais são deduzidas a partir dos princípios básicos da aplicação de três grandezas fundamentais da Mecânica dos fluidos que foram propostas por Saint Venant (CHAUDHRY, 2008).

Através das leis de conservação de massa e quantidade de movimento, são consideradas as seguintes hipóteses:

- O escoamento será considerado unidimensional;
- A distribuição de pressões em uma vertical é hidrostática;
- A declividade do fundo do canal é baixa;
- Efeitos de atrito e turbulência são considerados através de leis de resistência como de Manning ou Chezy;
- O escoamento é subcrítico.

Equação da Continuidade (conservação da massa):

Equação continuidade:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

Onde:

A= área molhada;

Q= vazão;

t= tempo;

q= vazão de contribuição lateral. No HEC-RAS o q tem o valor igual a zero.

x é o deslocamento no sentido do escoamento.

Equação da Quantidade de Movimento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0 \quad (2)$$

Onde;

A = área molhada;

Q = vazão;

t = tempo;

x = deslocamento no sentido do escoamento;

$\beta$  = coeficiente de quantidade de movimento

g = aceleração gravitacional; e

S<sub>f</sub> = é a declividade da linha de energia.

### 3.2.1 O Modelo HEC-RAS

O modelo hidrodinâmico *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System* – *HEC-RAS* é um programa criado pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, o HEC-RAS substituiu o programa HEC-2 como parte de uma série de programas chamado “*Hydrologic Engineering Center’s Next Generation*” (*NexGen*), ocorrida em 1993. O projeto *NexGen* criou programas com análises em aspectos variados, como simulação de sistemas de reservatórios (HEC-ResSim); análise chuva/escoamento superficial (HEC-HMS); análise de prejuízos causados por inundações (HEC-FDA e HEC-FIA); previsão fluvial em tempo real para operações em reservatórios (CWMS); e de hidráulica fluvial (HEC-RAS). A primeira versão (1.0) do HEC-RAS surgiu em 1995 e sua atual versão - 4.1.0 foi lançada em 2010. O HEC-RAS é um software gratuito, seu modelo unidimensional resolve as equações de Saint-Venant completas, por aplicação do método de diferenças finitas, permitindo simular o escoamento em superfície livre seja em regime permanente ou em não permanente.

Em Anaconda et. al. (2015) o modelo HEC-RAS foi utilizado para uma modelagem de inundação glacial decorrente da irrupção de um lago – *glacial lake outburst floods* (GLOF). O GLOF reconstruído no artigo atingiu uma vila na Patagônia chilena em 1977. O modelo 2-D criado representou a profundidade da inundação, detalhada graças ao MDT de alta resolução.

Os resultados mostraram do rio Engaño que aumentando o a temperatura será necessária uma migração de curta distância para a população local se proteger.

Para recuperar o habitat natural dos salmões DeVries e Aldrich (2015) fizeram um projeto de restauração de rio com leito de cascalho. Para serem complementares ao HEC-RAS os autores utilizaram um programa de GIS e um modelo de transporte de sedimentos. Seu resultado se mostrou viável para ser utilizado em recuperações de leitos.

Mulongo (2012) utilizou os modelos HEC-HMS e HEC-RAS para analisar as inundações da bacia hidrográfica do Campus da UFSC utilizando os modelos HEC-HMS e HEC-RAS. Houve uma enchente em 1995 na bacia hidrográfica do campos da UFSC trazendo grandes prejuízos para a população, onde casas fora inundadas e atividades universitárias e hospitalares foram interrompidas, trazendo grandes prejuízos para Florianópolis. Com isso houve uma necessidade de acompanhar as mudanças que ocorreram nos últimos anos, além de estar preparado para outros eventos. O HEC-HMS foi utilizado para determinar a vazão a partir de dados pluviométricos para vários períodos de retorno. O HEC-RAS para determinar o nível d'água. Uma das metas era poder definir um sistema de suporte a decisão que possa ser usado juntamente com a defesa civil. No final o sistema construído se mostrou simples para o uso em ações preventivas. Foi demonstrado que o modelo HEC-RAS foi eficiente na construção dos mapas de inundação.

Heimhuber, Hannemann e Rieger (2015) utilizaram o HEC-RAS para simulação em Onaville, uma cidade do interior do Haiti que foi construída inicialmente por refugiados da capital Porto Príncipe. Um local afastado de grandes centros e com uma população pobre. A simulação foi realizada para conhecer uma possível área de abrangência da inundação. O resultado desse trabalho foi utilizado por uma Organização Não Governamental (ONG) para a realização de treinamentos com a população e de planos de riscos para a cidade.

### 3.3 Sistemas De Informações Geográficas no Estudo de Inundações Urbanas

Os Sistemas de Informação Geográficos da forma como conhecemos originou-se no Canadá, a partir do desenvolvimento do *Canadian Geographic Information System* (CGIS) no início da década de 1960, onde as primeiras aplicações realizadas foram na área do reflorestamento.

Em seguida, na década de 1970, a indústria dos SIG's começou a amadurecer, ajudando, de certa forma, na aceitação das primeiras versões comerciais dos sistemas no início da década de 1980. Nesse período o *United States Geological Survey* (USGS) passou a disponibilizar ao público bases de dados digitais, tais como as dos Modelos Digitais e Elevação (MDE)

As técnicas em geoprocessamento ligadas a informação geográfica são chamadas de geotecnologias. De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001) geoprocessamento é a área do conhecimento que por meio do SIG utiliza conhecimentos de matemática e computacionais para tratar o conjunto de dados espaciais.

Silva (2010) afirma que SIG é um banco de dados, georreferenciado, que deve estar estabelecido espacialmente, e opera um conjunto de ferramentas sobre entidades espaciais.

Para Burrough (2000) o SIG esta presente em planos cadastrais, mapas topográficos, no processamento de imagens para análises de sensoriamento remoto.

O *Federal Interagency Coordinating Committe* (1988) define SIG como um sistema computacional que permite ao usuário coletar e analisar grandes volumes de atributos espacialmente referenciados e a dados associados.

Eckardt, Saldanha e Rocha (2008) fizeram uma simulação de inundação no módulo virtual GIS do programa ERDAS Imagine, utilizando imagem do satélite QuickBird e o Modelo Digital de Elevação gerado a partir de dados de *Differential Global Positioning System* – DGPS.

O geoprocessamento, juntamente com os bancos de dados geográficos, o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aqui constituem uma primeira etapa na integração com modelagens e recursos hídricos,

Em uma simulação hidráulica é necessário ter certo detalhamento no terreno, pois uma alteração de centímetros pode influenciar no escoamento superficial de um canal, assim um banco de dados geográficos com alta resolução espacial é de suma importância.

É possível fazer a integração de modelos hidrodinâmicos e hidrológicos no ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), onde as manipulações dos dados espaciais ocorrem.

Maindment (1992) afirma que existem três funções fundamentais onde o SIG se tornam ferramentas importantes no processo da modelagem hidrológica:

1. O pré-processamento de dados, os SIG's são utilizados na derivação dos dados de entrada e geram os formatos apropriados para análises;
2. Apoio direto na modelagem;
3. No pós-processamento, os resultados gerados serão visualizados em seu contexto espacial.

A união da análise temporal dos modelos matemáticos com as informações espacializadas dos SIG's possibilita a criação de ferramentas para a tomada de decisões. Com a integração dos modelos hidrodinâmicos com os SIG's é possível aliar informações topográficas, podendo utilizar os MDT's, solo e uso do solo, subdivisão da bacia hidrográfica.

Wen et. al. (2013) utilizaram um MDT gerado a partir de LIDAR com resolução de 1m em um modelo hidrodinâmico 1D /2D chamado Mike Flood onde realizou uma correlação entre o nível da água e a área inundada de uma área pantanosa em *Macquarie Marshes* na Austrália. Com o relacionamento entre o rio e os pântanos onde foi extraída uma série temporal das simulações hidrodinâmicas. O modelo foi utilizado para simulação de comportamentos diários de escoamento superficial/ não superficial volume e a área inundada e a área pantanosa sobre condições naturais e recentes práticas de gerenciamentos da água, entre os períodos de 1 de julho de 1991 a 30 de junho de 2009. Os resultados mostraram que o recente manejo das águas tem induzido grandes alterações na hidrologia do pântano.

Em SARHADI, SOLTANI, e REZA (2012) o modelo hidrodinâmico HEC-RAS em conjunto com o geoprocessamento foi aplicado para gerar simulação de inundação nos rios Shour, Halil e Malanti no Irã. Uma imagem do sensor Cartosat -1 foi utilizada após a realização de uma estereoscopia, através do coeficiente polinomial racional extraiu o MDT de alta resolução. O software ArcMap foi utilizado no pré e pós processamento da simulação. Após a extração das áreas vulneráveis os dados foram cruzados com o mapa de uso do solo do sensor IRS-P6. As simulações foram feitas para períodos de retorno de até 1000 anos.

Al-Sabhan, Mulligan e Blackburn (2003) utilizaram um SIG para suas análises hidrológicas aplicando sua base de dados em formato web, os dados podem ser acessados e atualizados em tempo real. O estudo coloca em foco o crescimento de ferramentas webmasters direcionadas para o uso de SIG, instituições e usuários (da área ou não) tem acesso às ferramentas oferecidas. Os autores mostram expectativas no trabalho, pois vêem um potencial na área ambiental e em outras áreas, como a informação em tempo real do modelo pode beneficiar pesquisa e educação em médio prazo.

### 3.4 Modelo *Height Above the Nearest Drainage* – HAND

O *HAND* (*Height Above the Nearest Drainage*) que em português significa Altura Acima da Drenagem mais Próxima é um aplicativo criado sob a liderança do pesquisador Carlos Donato Nobre, por um grupo de pesquisadores do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) e do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Na bacia do Igarapé Asu, em Manaus, foram realizados trabalhos, onde descobriu e estruturou o conceito com base em dados topográficos e hidrológicos. (NOBRE et. al. 2011)

Rennó et. al. (2008) define o programa como o desnível ou a distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima foi extraído a partir do algoritmo HAND.

O aplicativo HAND tem a proposta é ser um método barato e simples para a identificação de áreas de desastres como áreas de riscos de enchentes, onde não é necessária a ida dos pesquisadores a área de interesse para a extração das informações e o mapeamento da mesma. Seus criadores a definem como uma maquete digital de terreno, onde os dados inseridos são imagens de satélites, radar, lasers aerotransportas ou de satélites, desses produtos serão gerados os MDT's das áreas de interesse. O HAND utiliza informações topográficas dos MDT's para extrair as informações hidrológicas das áreas. O sistema do software calcula propriedades de alagamento e de outros desastres naturais. Ele compreende que desníveis relativos de até 5 m são áreas de maior probabilidade de inundação. Áreas com desníveis relativos entre 5 e 15 m são compreendidos como de risco médio.

Sua aplicação é extensa, já foi utilizado na delimitação de zonas de riscos de enchentes e deslizamentos para a zona metropolitana de São Paulo (NOBRE ET. AL., 2011); o modelo foi empregado nos estudos do novo Código Florestal em áreas ripárias no Brasil (SILVA ET. AL., 2011); Pires e Borma (2013) utilizaram o modelo HAND para o mapeamento de uma bacia em ambiente de Cerrado no estado do Tocantins.

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho é a bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, situada na área urbana do município de Goiânia, estado de Goiás, como mostra a Figura 2.

Segundo Borsato e Marconi (2004) bacia hidrográfica é definida como uma área onde um divisor de águas demarca seu limite que a separa das bacias limítrofes e que serve de captação da água de precipitação através de superfícies vertentes. É possível através de este tipo de estudo realizar uma análise sistemática dos aspectos físicos de uma bacia e sua dinâmica de funcionamento, de forma que pode ser considerada uma ferramenta de fundamenta importância em estudos de vulnerabilidade ambiental.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns possui área de 230 km<sup>2</sup> e está localizada a centro oeste do território do município de Goiânia. Suas nascentes se encontram nas regiões limítrofes municipal de Goiânia, Trindade, Aparecida de Goiânia, Anicuns e Abadia de Goiás.

A caracterização morfométrica é um dos primeiros e mais frequentes processos de análise hidrológica e ambiental. Ela consiste na descrição de parâmetros fisiográficos, que são indicadores físicos da bacia. É importante instrumento para a prevenção de eventos como as inundações, erodibilidade entre outros, na Tabela 1 contém as formulações para caracterização morfométrica. De acordo com Tonello et. al. (2006), as características físicas e bióticas de uma bacia tem grande importância nos processos do ciclo hidrológico influenciando, entre eles a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e sub-superficial. Para Christofolletti (1999) a análise morfométrica de bacias hidrográficas é o estudo quantitativo do ajustamento dos elementos do modelo superficial, o conjunto das vertentes e canais que formam o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos.

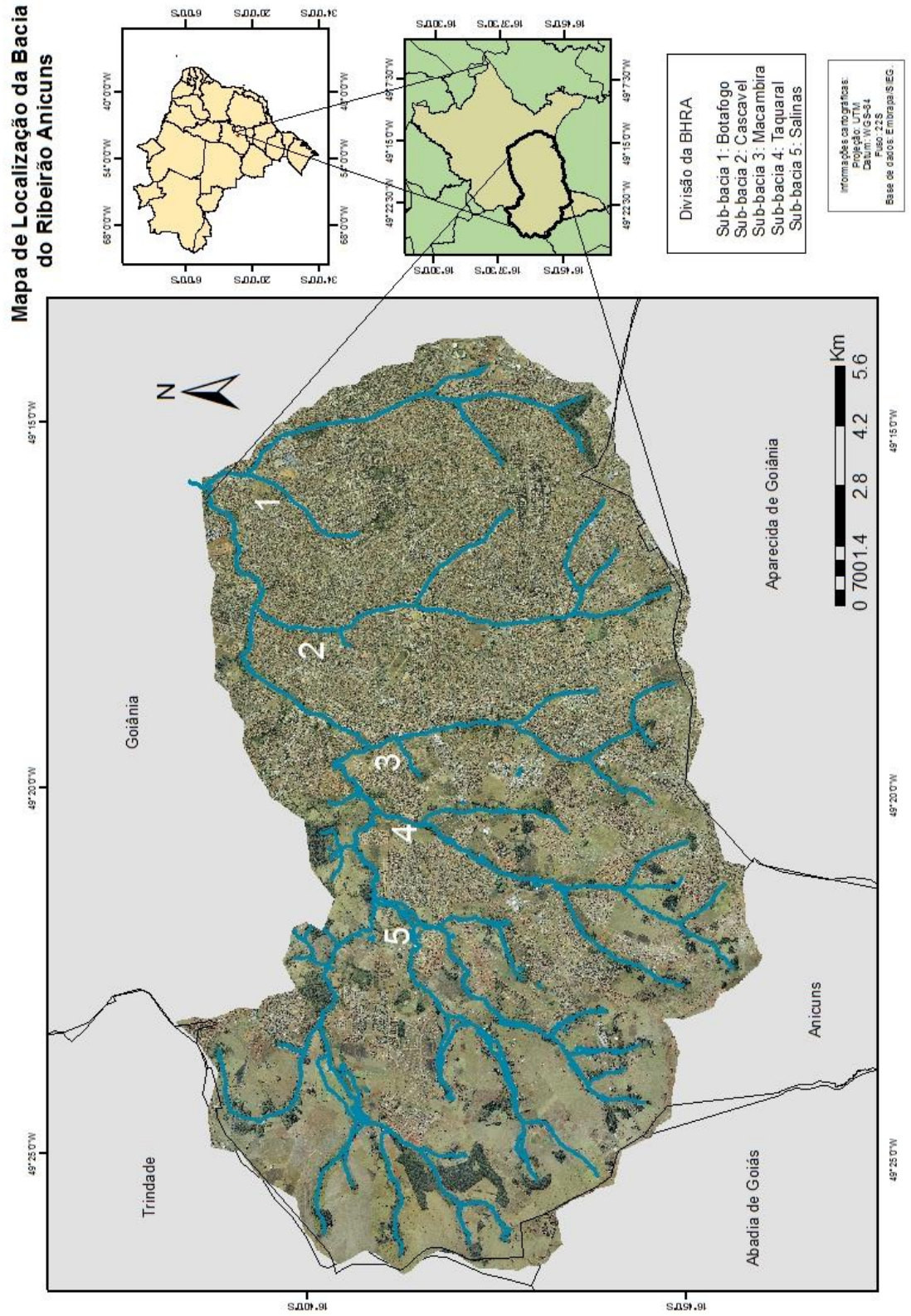


Figura 2: Área de estudo da BHRA.

O mapa hipsométrico foi gerado utilizando uma estrutura de grade triangular, mais conhecida como TIN “*Triangular Irregular Network*”, que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco possibilitando representar uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. O mapa hipsométrico permite uma melhor avaliação do comportamento do relevo, observar os limites e a ocorrência das principais serras encontradas no interior da bacia.

A declividade pode ser definida como a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal que pode ser apresentada em forma percentual ou em graus. Ela é calculada pela variação da altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa.

**Tabela 1: formulações da caracterização morfométrica.**

Parâmetro	Descrição	Equação
Coefficiente de Compacidade	Está associado à suscetibilidade de enchentes na bacia, e foi obtida com base na equação.	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ <p>Kc: coeficiente de compacidade; P: perímetro (m); A: área de drenagem (m<sup>2</sup>)</p>
Índice de Circularidade	Refere-se à relação entre a área da bacia e a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.	$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2}$ <p>I<sub>c</sub>: índice de circularidade; P: perímetro (m); A: área de drenagem (m<sup>2</sup>).</p>
Fator de Forma	Este índice deve ser utilizado na comparação de bacias de áreas semelhantes. É também um indicativo da possibilidade de enchentes.	$K_f = \frac{A}{L^2}$ <p>K<sub>f</sub>: fator de forma; P: perímetro (m); L: comprimento do curso principal da bacia (m).</p>
Densidade de drenagem	Este índice constitui um indicativo muito importante do escoamento superficial da água,	$D_d = \frac{L_t}{A}$ <p>D<sub>d</sub>: Densidade de drenagem (m/m<sup>2</sup>); L: o comprimento total dos cursos da bacia</p>

---

	que reflete uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais.	(m); A: área de drenagem (m <sup>2</sup> ).
Tempo de Concentração	Obtido a partir do emprego de dois métodos o direto, calculando explicitamente todos os tempos do escoamento em todos os percursos da bacia, e o método empírico proposto por Tsuchiya em 1978.	Método de Kirpich modificado $T_c = 85,2 \cdot (L^3/S)^{0,385}$ $t_c$ : tempo de concentração (min); S: declividade do talvegue (m/m); L: comprimento do talvegue (km).

---

## 4.2 Materiais

O trabalho foi sendo desenvolvido com o uso de SIG e com modelagem hidrodinâmica. Trena Leica DISTO D5. A Trena Leica foi utilizada para a medição em campo dos bueiros e pontes presentes nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns;

### 4.2.1 Programas utilizados

Os seguintes programas foram utilizados na elaboração deste trabalho: ArcGis 10.0, HEC-RAS e Office 2010.

No *software* ArcGis 10.0 desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), foram extraídas e tratamentos dos dados geográficos. Dentro do ArcGis está a extensão *Hydraulic Engineering Center – Geoprocessing River Analysis System* (HEC-GeoHAS) (USACE, 2011). Com o *software* HEC-RAS 4.1 (USACE, 2010) foi gerado o modelo hidrodinâmico.

### 4.2.2 Base de Dados de Geoinformação.

Base de dados contidos no Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG), versão 23, disponibilizados na Companhia de Processamentos de Dados do Município de Goiânia (COMDATA);

Foi utilizado nesse trabalho a ortofoto de Goiânia, com resolução espacial de 10 cm e com a escala de 1/1000, a partir de um levantamento aéreo realizado em 2010 pela empresa TOPOCART. A ortofoto é uma fotografia ou uma imagem, que representa as feições projetadas ortogonalmente com uma escala constante corrigida do deslocamento devido ao relevo e da inclinação da câmara, sendo geometricamente equivalente à uma carta. Assim, podem ser realizadas medidas semelhantes as medidas que são realizadas sobre um mapa.

A ortofoto digital possui grande importância conceitual e material, como mapa possui distorção mínima de escala; como imagem, além de não requerer alguns níveis de detalhes para retratar as feições planimétricas do terreno, possui a mesma qualidade geométrica dos mapas. Com a ortofoto digital se ganha tempo comparada ao processo convencional de restituição.

Para a realização dessa pesquisa também foi utilizado um MDT feito a partir de LIDAR (*Lights Detection And Ranging*) aerotransportado, também foi utilizado no trabalho. Sua resolução espacial é de 1 metro e sua escala 1/1000. A escolha desse MDT se deve a sua alta resolução, onde é possível obter resultados precisos e acurados das áreas de estudo trabalhadas.

O MDT foi criado a partir de uma nuvem de pontos (*cloud point*) gerada pelo sensor LIDAR durante a varredura aérea e posteriormente com processos de filtragem supervisionada foram separados os pontos pertencentes ao terreno (MDT) e a superfície (MDS). O MDT é um dos dados de entrada fundamentais para a modelagem hidráulica. O MDT é utilizado na extração das margens do canal, indica o fluxo preferencial, seção transversal e canal principal.

#### 4.3 Metodologia

Para trabalhar com os dados hidrodinâmicos foi escolhido o software HEC-RAS, ele permite fazer análise do regime de escoamento permanente e não permanente, nesse

trabalho são utilizados os dois regimes: executar primeiro no regime permanente, e em seguida no regime não permanente.

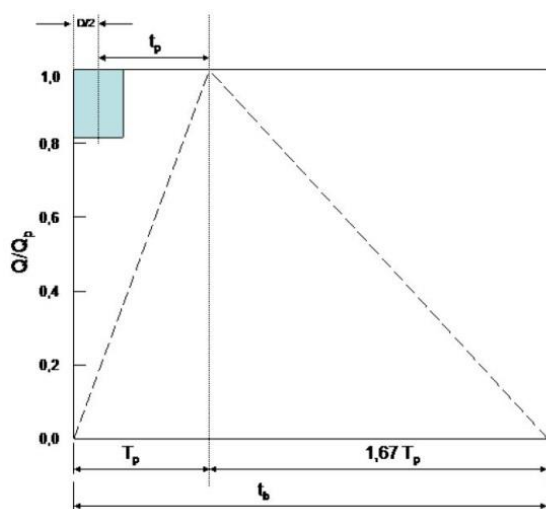
Nos dados trabalhados inicialmente é feito um pré-processamento em um ambiente SIG, na segunda etapa se trabalha a hidrodinâmica no HEC-RAS e por último ocorre um pós processamento nos dados, onde eles voltam ao ambiente SIG. Onde eu pego os resultados gerados no HEC-RAS e finalizo, trabalhando com a visualização dos resultados.

#### 4.3.1 Hidrograma Unitário

O hidrograma unitário (HU) é o resultante de um escoamento superficial de volume unitário é decorrente da chuva unitária, a qual corresponde à altura pluviométrica e duração unitária.

Os HU construídos pelo método direto utilizam dados históricos com base em eventos que foram geradas vazões e precipitações. O método indireto é quando não é possível obter estes dados históricos se baseia no relevo da área de estudo, esta forma de montar um hidrograma é chamada de hidrograma unitário Sintético.

O hidrograma unitário sintético triangular do *Soil Conservation Service* (SCS) é o que mais se aproxima de um triângulo, Figura 3. Para a construção do HU triangular é fundamental ter conhecimento sobre o uso e ocupação do solo, pois esse fator é necessário para encontrar o *curve number* (CN).



**Figura 3: Hidrograma SCS**  
Fonte: Collischonn

O método *Curve Number* (CN) depende de três fatores: o uso e ocupação do solo, a umidade e o tipo de solo. De acordo com as características do solo é feita uma classificação segundo o grupo hidrológico do solo.

O equacionamento se dá na seguinte forma:

TR = tempo de recorrência

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Onde:

S = potencial máximo de retenção após começar o runoff (mm)

CN = Curve number, é o número de deflúvio determinado pelo complexo solo-vegetação.

TC = Tempo de concentração (Kirpich - modificado).

$$T_c = 85,2 \cdot (L^3/S)^{0,385} \quad (4)$$

onde:

TC = é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na seção de saída.

L = comprimento (km)

S = desnível (m)

Tempo unitário -  $\Delta t$  (h) de duração da chuva.

$$\Delta t (h) = \frac{TC}{6} \quad (5)$$

Onde:

TC = é o tempo de concentração.

Tempo de pico -  $t_p(h)$ .

$$t_p = 0,6 \cdot t_c + \frac{t_c}{12} \quad (6)$$

onde:

$t_p$ : é o tempo em que decorre uma máxima de cheia da bacia. É expresso em horas;

$t_c$  = tempo de concentração

Tempo de base

$$T_b (h) = 5 \cdot T_p \quad (7)$$

$T_b$  = é o tempo medido entre o início e o fim da precipitação, durante o tempo que a bacia volta para sua descarga normal.

$t_p$ : é o tempo em que decorre uma máxima de cheia da bacia. É expresso em horas;

$$T_r (h) = 1,67 \cdot T_p \quad (8)$$

$$\mu(\pi)(m^3/s/cm) = 2,08 \cdot \frac{\text{área de contrib.}}{\text{Tempo de pico}} \quad (9)$$

Onde:

$\mu$  = vazão de pico.

O cálculo dos hidrogramas unitários foi realizado empregando uma planilha Excel para determinação do hidrograma a partir do método SCS.

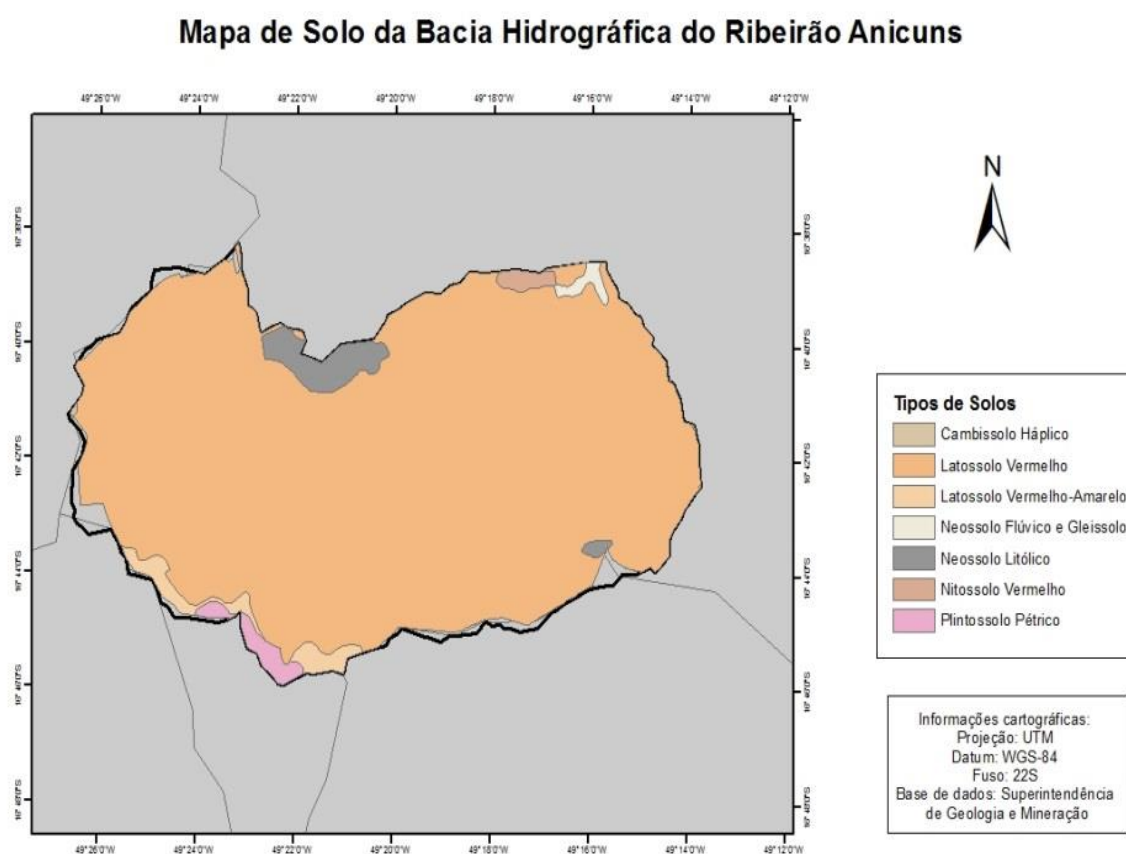
O hidrograma utilizado foi o HU triangular, o qual é aproximado por um triângulo definido pela vazão de pico, tempo de pico e tempo de base.

No Hidrograma Unitário Triangular é considerado o escoamento unitário em função da precipitação que antecedeu impermeabilização do solo, cobertura vegetal e uso da terra e manejo do solo. Esses fatores são agrupados, onde a precipitação total transformada em precipitação efetiva em função do CN.

O CN caracteriza o uso e ocupação do solo da bacia estudada, assim como relacionam com suas características físicas.

O valor de CN é de zero e 100, onde zero representa uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 corresponde a uma bacia totalmente impermeável. Nunes (2012) fez o cálculo do CN da bacia do Ribeirão Anicuns utilizando dados a partir de uma série histórica temporal de chuvas máximas diárias da bacia. A Figura 3 mostra o mapa de solos das bacia em estudo. Os solos encontrados são cambissoloháplico, latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo, neossoloflúvico, neossolo vermelho e plintossolopétrico, estes solos são classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006).

A partir de estudos de Sartori (2005) e com o auxílio da Carta de Risco do Município de Goiânia (Prefeitura de Goiânia, 2008) ficou compreendido que o grupo hidrológico “A” como sendo o grupo no qual se enquadram os solos da BHRA para o cálculo do *CN*.



**Figura 4: Mapa e solos da bacia.**

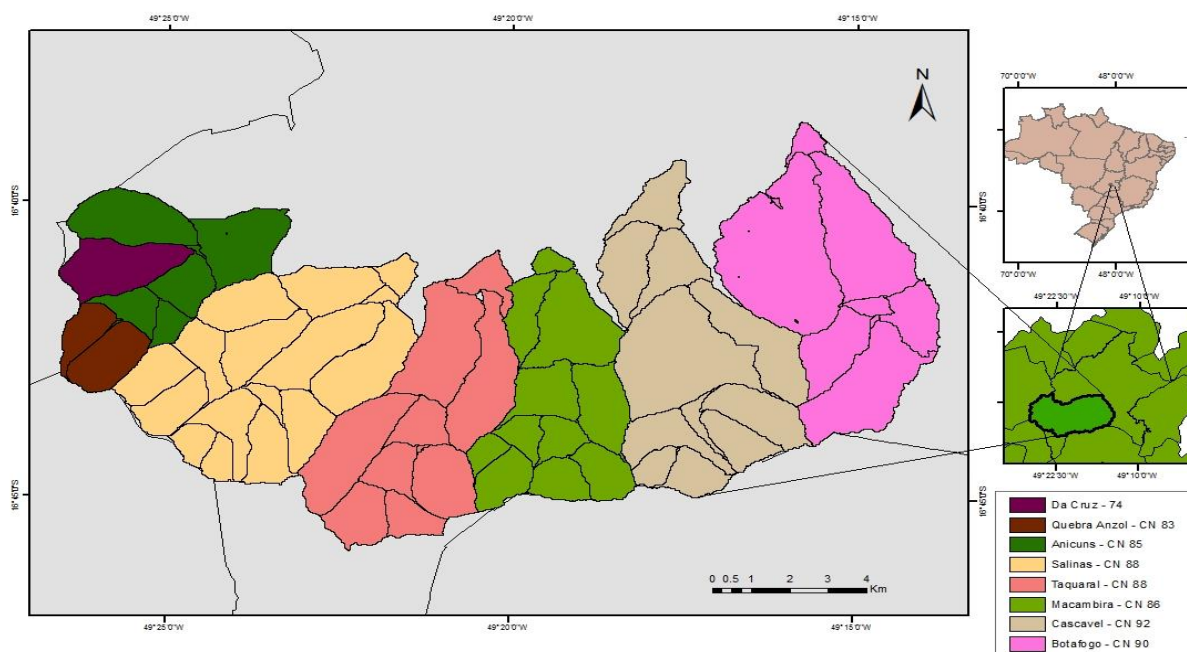
Foram traçadas as seis sub-bacias hidrográficas, onde se encontram os maiores afluentes do Ribeirão Anicuns, a BHRA foi discretizada em sub-bacias, para a utilização do modelo SCS, que é utilizado em bacias urbanas devido ao pequeno porte

das mesmas. Na Figura 4 é possível verificar a divisão feita nas bacias a partir dos CN's usados.

Estas se encontram, em sua maioria, concentradas em zonas urbanas, com destaque para as bacias dos Córregos Botafogo e Cascavel que estão localizadas nas zonas onde se encontram os maiores índices de urbanização do município. Na Tabela 2 estão as informações destas sub-bacias utilizadas para a análise.

**Tabela 2: Dados das bacias hidrográficas**

SUB-BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	COMPRIMENTO DE TALVEGUE (km)	DESNÍVEL (m)
Botafogo	32.3	9,38	147
Cascavel	33.2	10.00	125
Macambira	22.6	7,59	119
Taquaral	28.4	8,47	141
Salinas	35.4	8,33	131
Quebra-anzol	17.7	4,3	68



**Figura 5: valores dos CN para as bacias.**

#### 4.3.2 Modelagem Hidráulica – HEC-RAS.

Os dados de entrada utilizados no HEC-RAS foram previamente construídos na extensão HEC-geoRAS, os dados georreferenciados; hidrogramas SCS previamente ao modelo hidráulico, informações de bueiros e pontes do município foram catalogados previamente. Utilizando o modelo hidrodinâmico HEC-RAS versão 4.1.0 (USACE) e o programa ArcMap 10.0 (ESRI).

Os dados de entrada do HEC-RAS foram à geometria dos canais, incluindo as seções transversais dos canais. DRAMATIZAR

O pré-processamento consistiu em digitalizar a linha central, margens e a geração das seções transversais no software ArcGis. Em cada sub-bacia do Ribeirão Anicuns foram extraídas todas as informações geométricas dos Córregos e de seus contribuintes, e em seguida foram exportadas para o hec-ras.

Depois de exportadas, foi verificado um erro nas geometrias dos canais, onde as junções dos Córregos não estavam ativadas, de forma que todos os Córregos contribuintes não tiveram suas vazões calculadas.

Alguns contribuintes ao longo da BHRA foram desprezados na realização da modelagem hidrodinâmica, pois seus valores seriam insignificantes em comparação com o escoamento a montante da área.

Foram definidos os intervalos 15, 25, 50 e 100 anos como período de retorno. Para a simulação em regime transiente foram adotadas as vazões geradas pelo hidrogramas SCS.

Os parâmetros de calibração e validação das vazões foram obtidos a partir dos resultados observados e calibrados Oliveira (2012) e Souza (2015), onde foi possível verificar que os resultados gerados ficaram na faixa da literatura (PORTO, 2006).

O coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ) foi baseado nas características das calhas dos cursos d'água e das margens tipos de revestimento (Figura 5), seguindo valores recomendados na literatura que podem ser encontrados na Tabela 3 e visualizados na Figura 6. Para os valores adotados para canais revestidos em gabião foi aplicado o valor encontrado por Oliveira (2012) em seu trabalho em Goiânia. As Figuras 5 mostram os tipos de canais encontrados na BHRA.

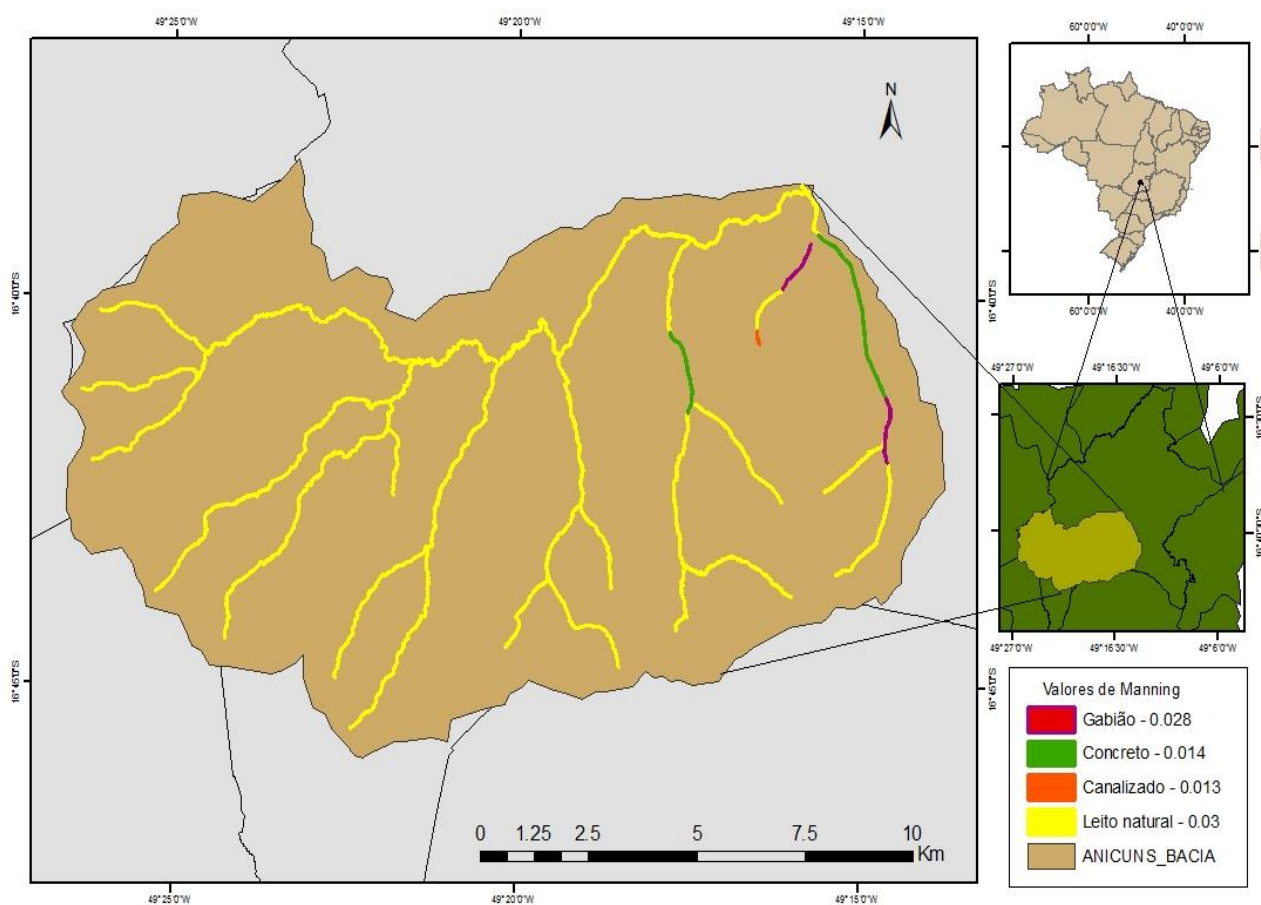


Figura 6: Tipos de canais.

Tabela 3: Valores de n dos canais

			Margem Esquerda	Canal	Margem Direita
Botafogo	I	(leito natural)	0.03	0.03	0.03
Botafogo II		(gabião*)	0.028	0.028	0.028
Botafogo III		(concreto)	0.014	0.014	0.014
Capim	Puba	I	0.013	0.013	0.013
		(canalizado)			
Capim	Puba	II	0.03	0.03	0.03
		(leito natural)			
Capim	Puba	III	0.028	0.028	0.028
		(gabião*)			
Cascavel I			0.03	0.03	0.03
Cascavel	III	(leito natural)	0.014	0.014	0.014
Vaca Brava			0.03	0.03	0.03
Serrinha			0.03	0.03	0.03
D'água			0.03	0.03	0.03
Macambira			0.03	0.03	0.03
Buriti			0.03	0.03	0.03
Pindaíba			0.03	0.03	0.03
Taquaral			0.03	0.03	0.03
Santa Rita			0.03	0.03	0.03

<b>Capão Comprido</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Salinas</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Cavalo Morto</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>São José</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Quebra Anzol</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Forquilha</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Da cruz</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>
<b>Anicuns</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>



**Figura 7: Valor de Manning para os canais.**

Quando os dados são importados para o HEC-RAS a geometria da bacia hidrográfica trabalhada. O passo seguinte foi a inserção dos parâmetros do coeficiente de Manning para cada seção transversal. No HEC-RAS é possível variar os valores do

coeficiente de Manning de seção em seção, assim como modificar os valores das vazões. Na Figura 7 mostra o perfil de uma seção transversal da bacia.

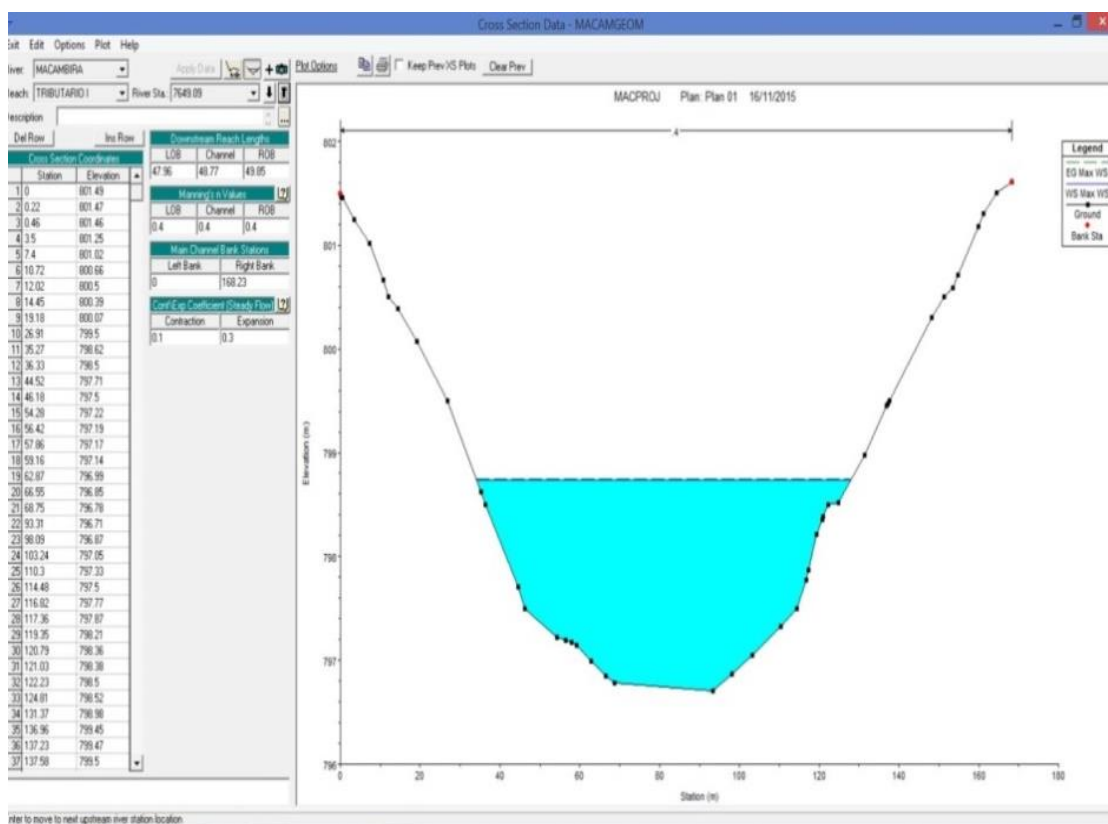


Figura 8: Seção transversal no HEC-RAS.

No início do processo para gerar os modelos hidrodinâmicos foi utilizado o *Steady flow Data*, que é o modo do escoamento em regime permanente. No escoamento permanente a velocidade e a pressão em determinado ponto, não variam com o tempo. A velocidade e a pressão podem variar do ponto A para o ponto B, mas são constantes em cada ponto fixo do espaço, a qualquer tempo. É usado o regime permanente em um primeiro momento para a verificação do modelo. Caso apareçam erros nessa etapa é necessário corrigi-los até que o programa rode sem problemas nesse regime. Caso esteja seguindo corretamente sem erros, a próxima etapa é executar pelo regime não permanente, ou transiente, na ferramenta *Unsteady flow data*. Para o regime não permanente o modelo usa a equação completa de Saint-Venant através da linearização desenvolvida **pro Preissmann**.

#### 4.3.3 Modelo *Height Above the Nearest Drainage* – HAND

Os terrenos são classificados como mais ou menos suscetíveis a enchentes, para isso é feita a classificação dos terrenos através dos desníveis relativos. Por exemplo, se um ponto está a 5 m HAND acima do rio mais próximo, este ponto terá mais chances de ocorrer uma enchente do que outro ponto cujo desnível seja de 15 m HAND para o mesmo rio.

Nobre et. al. (2011) e Rennó (2008) em seus artigos detalham os procedimentos do HAND, em sua primeira etapa define o fluxo. A topologia hidrológica se encontra desconexa, em seguida uma rede onde fluxo hidrológico seja coerente é definida a partir das direções de fluxo (*Local Drain Directions* - LDD), e traça os canais da drenagem, é gerada uma grade de área acumulada até que se defina a rede de drenagem. (Figura 9.)

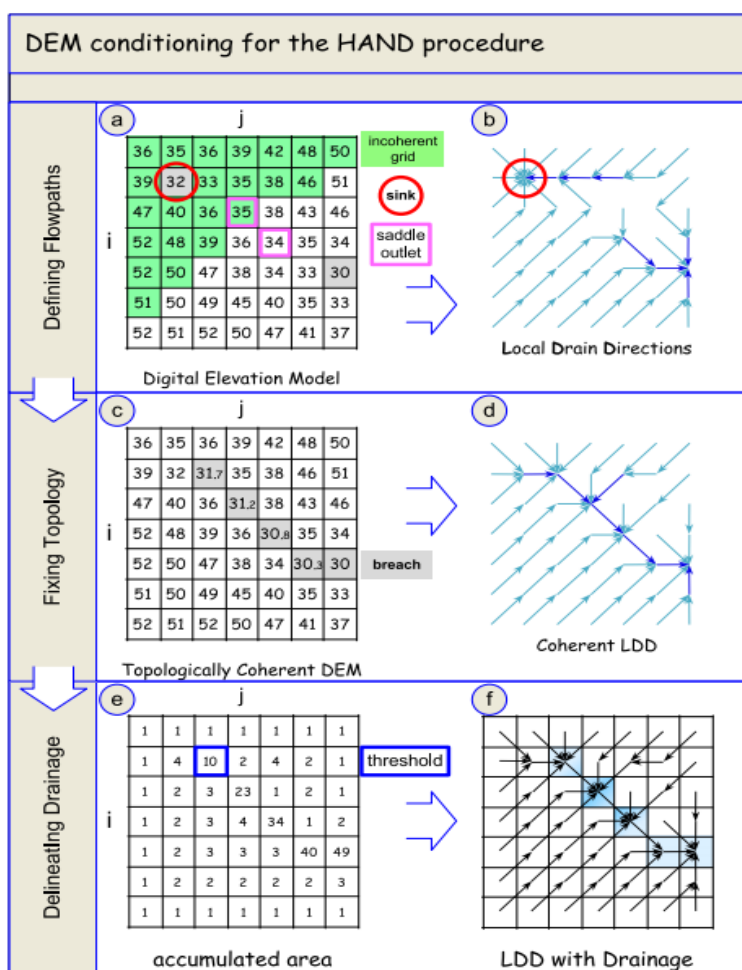


Figura 9: Procedimento do HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011)

A seguinte etapa ocorre o cálculo do grid do HAND, nele o LDD é utilizado na geração de um mapa de drenagem. O MDT original será processado pelo HAND e dele sai o mapa de drenagem, onde sua referência é a topografia da região trabalhada e não o

nível médio dos mares. (Figura 101). Na terceira etapa esta as classes do HAND. Nele serão geradas as classes de alturas do terreno definidas e o mapa do ambiente HAND gerado Figura 11.

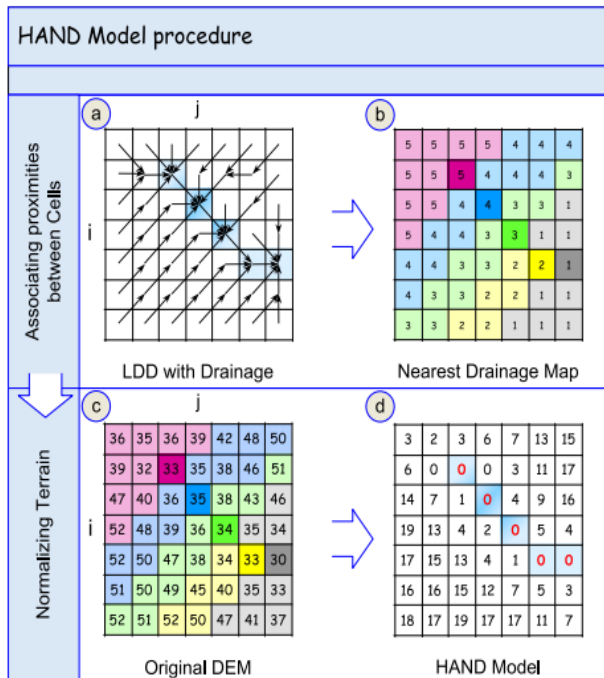


Figura 10: Procedimentos do modelo HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011)

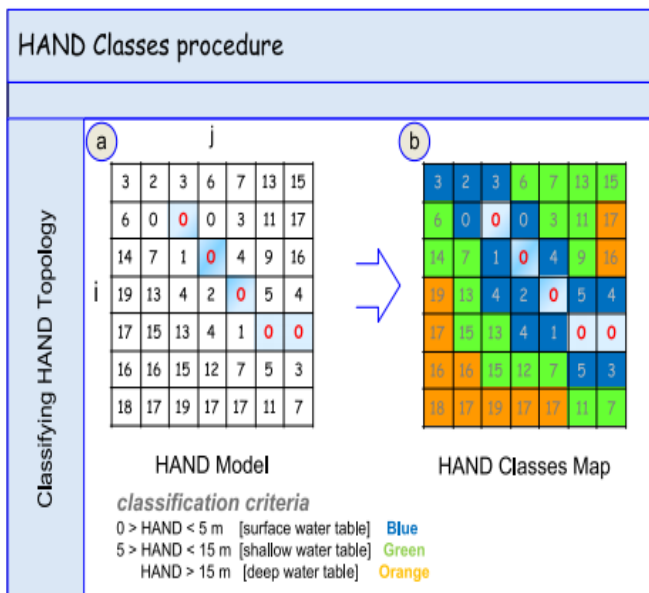


Figura 11: Procedimento da classificação no HAND. Fonte: Nobre et. al. (2011)

No início do projeto o programa se limitava a uma extensão dentro de outros *softwares*, como no TerraView, e o ENVI. Depois de testes construindo o modelo, foi criado um executável, no qual foi utilizada a versão 0.5.2 Alpha do mesmo. A área de trabalho do HAND é fácil de visualizar e com comandos simples.

## 5 RESULTADOS

Este estudo teve como proposta analisar diferentes cenários de tempos de retorno para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. As informações para a construção das chuvas de projeto foram estimadas pela equação SCS triangular, além dos dados de geoprocessamento utilizados.

### 5.1 Área de Estudo

Segundo Borsato e Marconi (2004) bacia hidrográfica é definida como uma área onde um divisor de águas demarca seu limite que a separa das bacias limítrofes e que serve de captação da água de precipitação através de superfícies vertentes. É possível através de este tipo de estudo realizar uma análise sistemática dos aspectos físicos de uma bacia e sua dinâmica de funcionamento, de forma que pode ser considerada uma ferramenta de fundamenta importância em estudos de vulnerabilidade ambiental. Na Tabela 4 estão os resultados da caracterização morfométrica da BHRA.

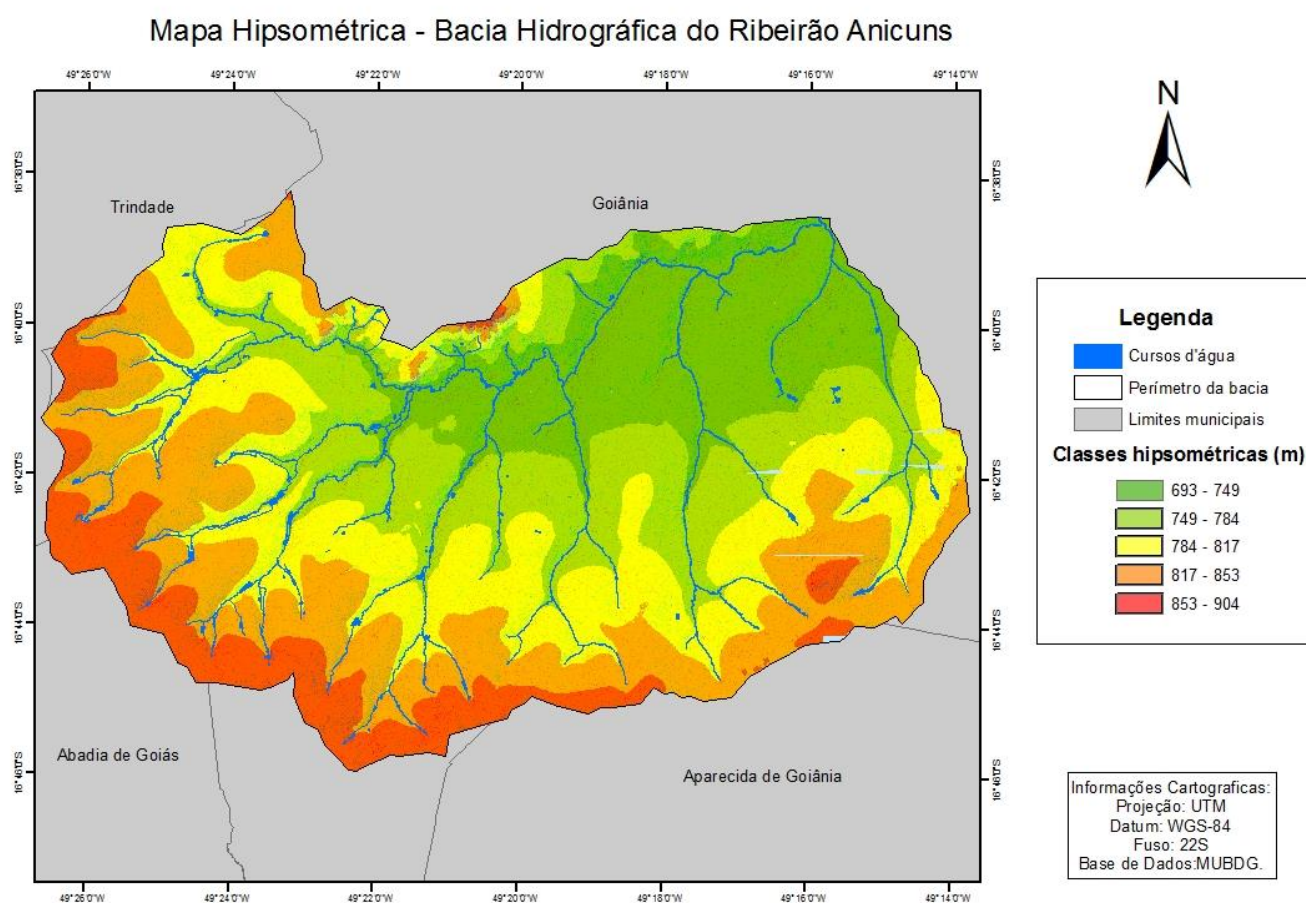
**Tabela 4: Caracterização morfométrica da BHRA.**

Parâmetros da Bacia	Resultados
Área (km <sup>2</sup> )	236,27
Perímetro	63,,87
Comprimento da Bacia (km)	26,05
Índice de Conformação/Fator de Forma	0,348
Índice de Compacidade	1,163
Comprimento Total de Todos os Canais (km)	83,75
Densidade da Drenagem km/km <sup>2</sup>	0,681
Tempo de Concentração tc –	3,87
Índice de Circularidade	0,73

Para caracterização da área de estudo foi construído um mapa hipsométrico. As altitudes variaram de 693 a 904 metros com o predomínio de elevações entre 693 e 749 metros e 817 a 853 metros sendo as maiores situadas nas regiões sudeste, sudoeste e

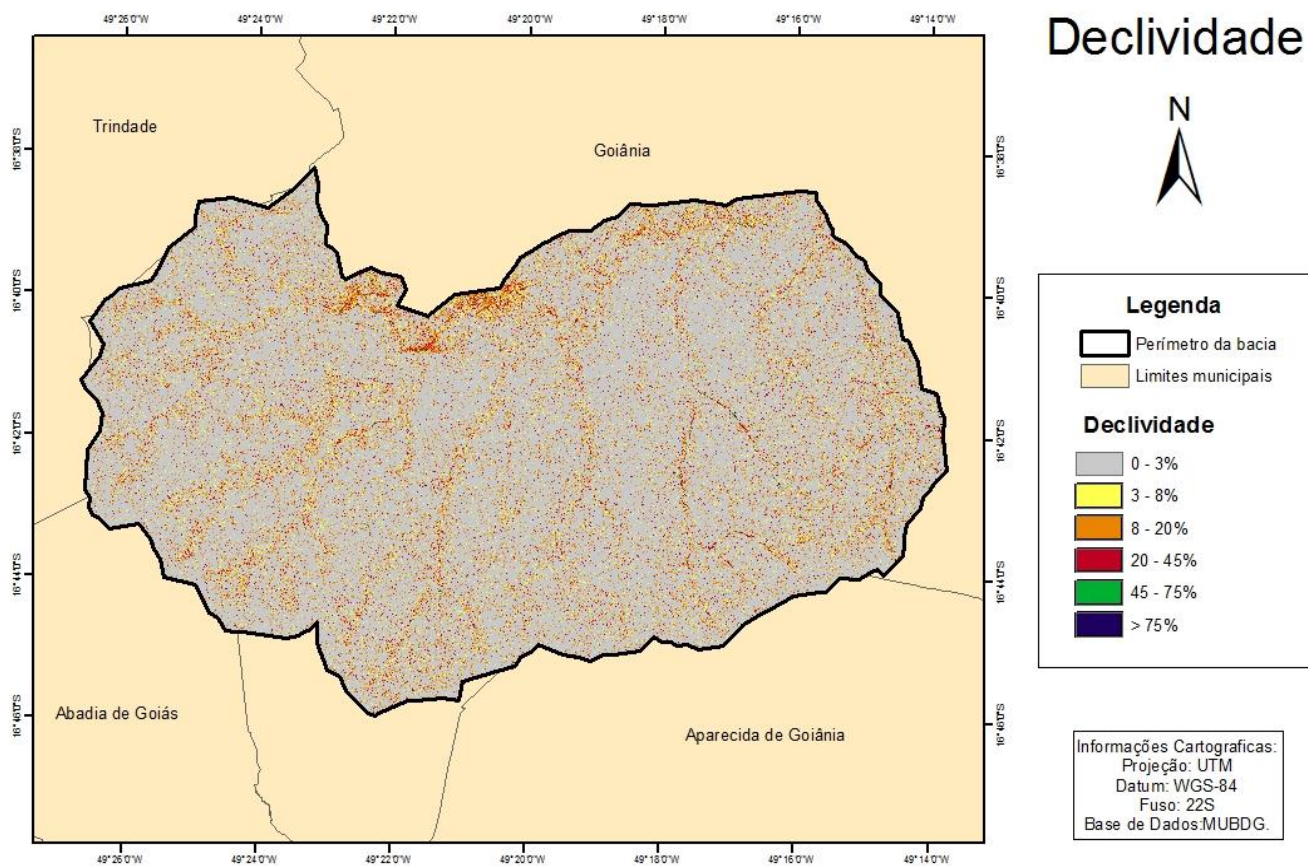
noroeste do município de Goiânia, além de um pico acentuado na região noroeste com altitude aproximada de 904 m que pode ser visualizado Figura 12.

Através do fatiamento da imagem, feita em cinco divisões das cotas, com a finalidade de gerar uma imagem que represente a altimetria da região. Explicar melhor



**Figura 12: Mapa hipsométrico.**

Na Figura 13 podemos observar a imagem, que foi fatiada com base na proposta da Embrapa (2006) que varia entre seis classes de declividade: plano (0 a 2,9%); Suave Ondulado (3 a 7,9%); Ondulado (8 a 19,9%); Forte Ondulado (20 a 44,9%); Montanhoso (45 a 74,9%); e escarpado (> que 75%). **COMENTAR SOBRE A DECLIVIDADE.**



**Figura 13: Mapa de declividade.**

## 5.2 Hidrogramas

Para os hidrogramas foi estabelecida uma precipitação sintética com períodos de retorno de 15, 25, 50 e 100 anos. Foi inserido um CN médio (Tabelas 5) para cada divisão da bacia hidrográfica. Foram consideradas as áreas ocupadas por cada classe temática do CN, é possível visualizar quais são as áreas e suas divisões pela Figura 14:

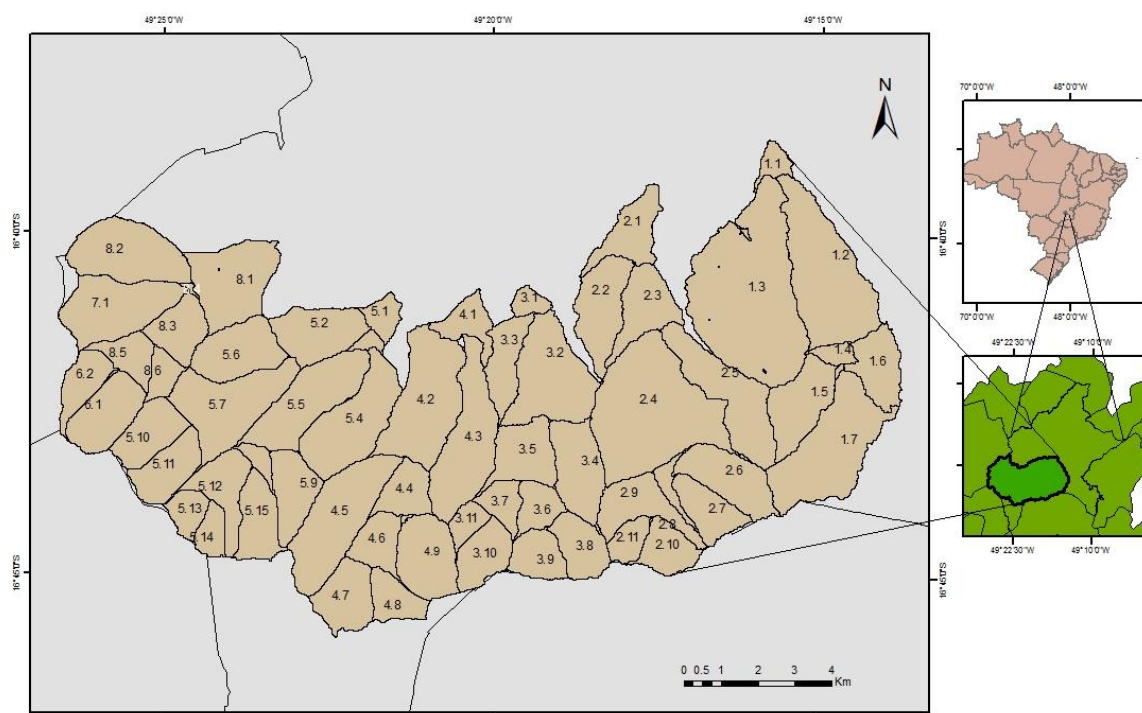


Figura 14: Numeração das bacias.

Tabela 5: Valores de CN, área e vazão máxima para diferentes tempos de retorno.

Botafogo	CN	Área (KM <sup>2</sup> )	Q - TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
1.1	90	0.67				
1.2	90	7.38	76.55	84.36	96.02	109.06
1.3	90	11.99	135.43	149.42	170.28	193.52
1.4	90	0.55	17.36	19.33	22.27	25.57
1.5	90	3.17	58.43	64.65	73.93	84.29
1.6	90	2.25	50.29	55.78	63.98	73.14
1.7	90	6.30	84.48	93.24	106.30	120.86
Cascavel	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q - TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q-TR100
2.1	92	2.23	37.27	40.90	46.30	52.30
2.2	92	3.16	90.96	100.73	115.31	131.58
2.3	92	2.51	38.81	42.59	48.23	54.51
2.4	92	9.60	114.65	125.86	142.56	161.10

Continuação

**Tabela 6: Valores de CN, área e vazão máxima para diferentes tempos de retorno.**

2.5	92	4.51	72.37	79.50	90.11	101.90
2.6	92	3.16	66.04	72.65	82.50	93.43
2.7	92	2.03	51.73	57.11	65.13	74.05
2.8	92	0.63	17.18	18.91	21.50	24.37
2.9	92	2.56	60.23	66.39	75.36	85.78
2.10	92	1.71	41.13	45.39	51.76	58.84
2.11	92	0.95	32.21	35.57	41.80	48.30
Macambira	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q - TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
3.1	86	12.22	12.22	13.73	16.02	18.61
3.2	86	5.00	87.57	99.18	116.80	136.75
3.3	86	2.08	23.16	25.76	30.57	34.03
3.4	86	3.18	50.59	56.64	65.73	75.95
3.5	86	2.67	41.07	45.90	55.04	61.33
3.6	86	1.37	22.79	25.49	29.54	34.08
3.7	86	1.17	20.61	23.12	26.92	31.19
3.8	86	1.98	37.25	41.92	49.01	57.04
3.9	86	1.67	36.85	41.97	49.77	58.63
3.10	86	2.00	37.86	43.14	48.49	60.31
3.11	86	0.86	21.93	25.29	28.52	36.43
Taquaral	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q - TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
4.1	88	1.42	27.21	30.25	34.81	39.90
4.2	88	5.79	66.06	73.00	83.87	95.79
4.3	88	5.13	64.85	71.90	82.44	4.22
4.4	88	1.74	32.64	36.29	41.77	47.90
4.5	88	5.37	70.72	78.45	90.01	102.92
4.6	88	1.67	28.95	33.00	37.98	43.55
4.7	88	2.44	50.64	56.52	65.36	75.27
4.8	88	1.53	32.29	36.11	41.86	48.32
4.9	88	3.21	57.83	64.45	74.38	85.51

Continuação

**Tabela 7: Valores de CN, área e vazão máxima para diferentes tempos de retorno.**

Salinas	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q -TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
5.1	88	0.88	15.80	17.54	20.14	23.05
5.2	88	2.96	43.38	48.14	55.26	63.22
5.3	88	0.33	8.70	9.72	11.23	12.94
5.4	88	4.75	78.66	87.48	100.70	115.49
5.5	88	4.40	51.03	56.55	64.80	74.01
5.6	88	3.05	55.31	61.64	71.13	81.76
5.7	88	4.93	61.20	67.85	77.80	88.91
5.8	88	0.56	11.32	12.61	14.55	16.72
5.9	88	2.32	45.20	50.45	58.33	67.17
5.10	88	2.34	49.44	55.33	64.19	74.14
5.11	88	2.30	41.92	46.70	53.87	61.90
5.12	88	2.32	45.36	50.53	58.29	66.97
5.13	88	1.08	31.33	35.35	41.43	48.29
5.14	88	0.94	26.18	29.35	34.15	39.56
5.15	88	2.19	41.28	46.07	53.26	61.33
Quebra Anzol	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q -TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
6.1	83	2.89	43.11	49.80	50.35	60.25
6.2	83	1.72	36.19	41.75	63.68	72.09
Da Cruz	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q -TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
7.1	74	4.36	41.27	48.52	59.85	73.15
Anicuns	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Q -TR15	Q - TR25	Q - TR50	Q - TR100
8.1	85	4.21	48.23	53.91	62.46	72.06
8.2	85	4.39	57.40	64.25	74.58	86.18
8.3	85	1.99	18.85	21.00	24.23	27.84
8.4	85	0.07	2.63	3.03	3.65	4.36
8.5	85	1.46	23.89	26.80	31.17	35.92
8.6	85	0.93	15.28	17.16	19.99	23.08

### 5.3 Modelo HEC-RAS

Para a simulação hidrodinâmica no modelo HEC-RAS foi necessário fornecer os dados de entrada. O hidrograma inserido foi o *Soil Conservation Service* (SCS). O modelo gerado foi executado em oito partes, sendo que sete partes são as sub-bacias divididas (Botafogo, Cascavel, Macambira, Taquaral, Salinas, Quebra Anzol e Da Cruz) e a última parte é o Ribeirão Anicuns.

As bacias de menor porte tiveram um aquecimento inicial de 24 horas, depois que executaram nesse período sem erros os hidrogramas foram inseridos no modelo. Já o trecho composto pelo Ribeirão Anicuns teve um aquecimento de 48 horas. O intervalo computacional ( $\Delta t$ ) adotado para se trabalhar foi de 10s. Na Tabela 6 mostra o tempo de processamento que cada bacia hidrográfica levou no regime não permanente.

**Tabela 8: Tempo de processamento do HEC-RAS em cada bacia.**

Bacia	TR15 (min:S)	–	TR25 - $\Delta t$ min	TR50 - $\Delta t$ min	TR100 - $\Delta t$ min
Botafogo	02:06		02:08	02:17	02:22
Cascavel	02:10		02:08	02:04	02:01
Macambira	01:26		01:16	01:18	01:22
Taquaral	01:16		01:14	01:17	01:18
Salinas	00:56		00:54	00:58	00:58
Quebra Anzol	02:55		02:57	02:58	02:58
Da Cruz	00:13		00:15	00:16	00:17
Anicuns	01:46		01:45	01:35	02:19

Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 estão os resultados do modelo hidrodinâmico.

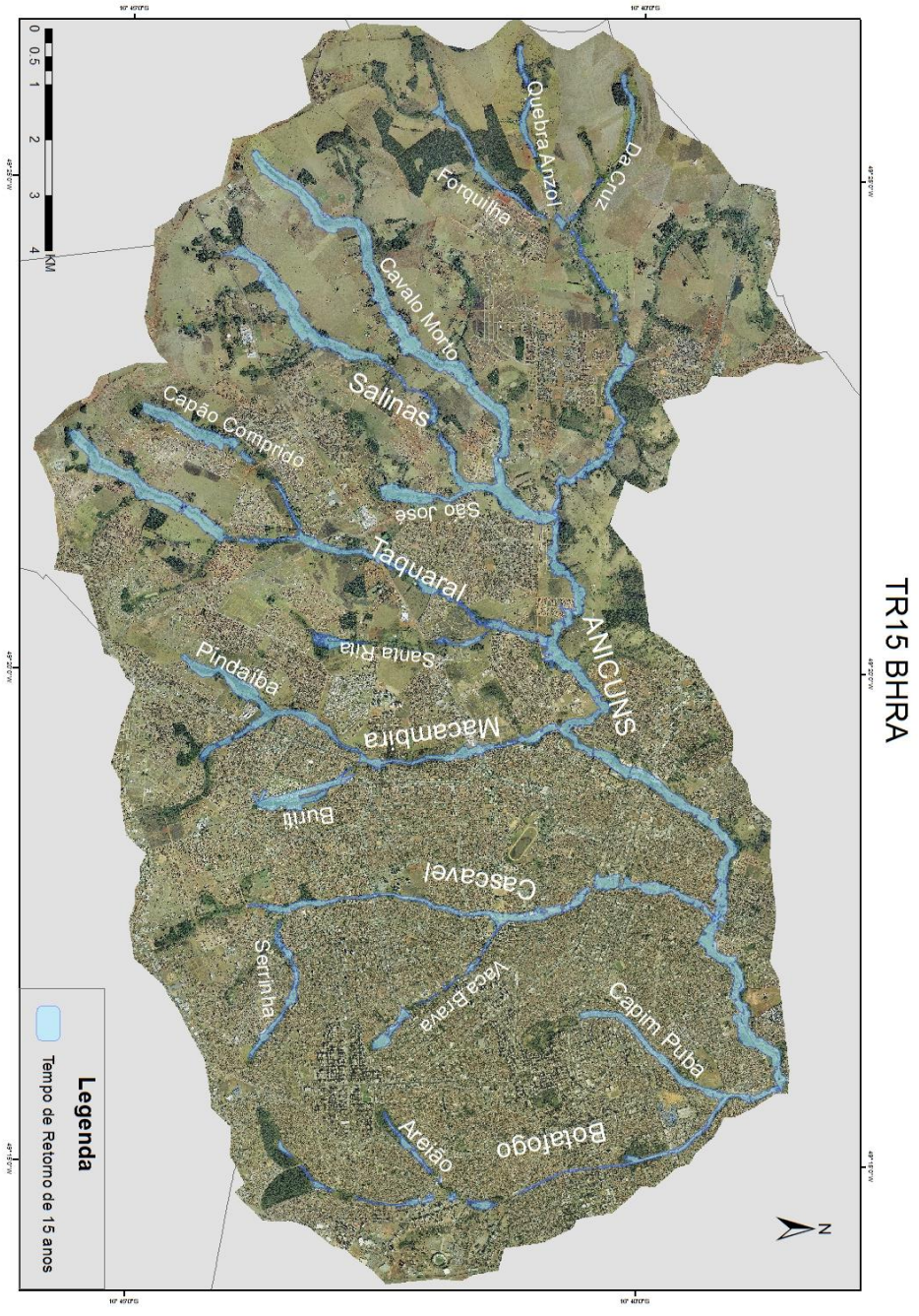


Figura 15: Mancha de inundação com TR15

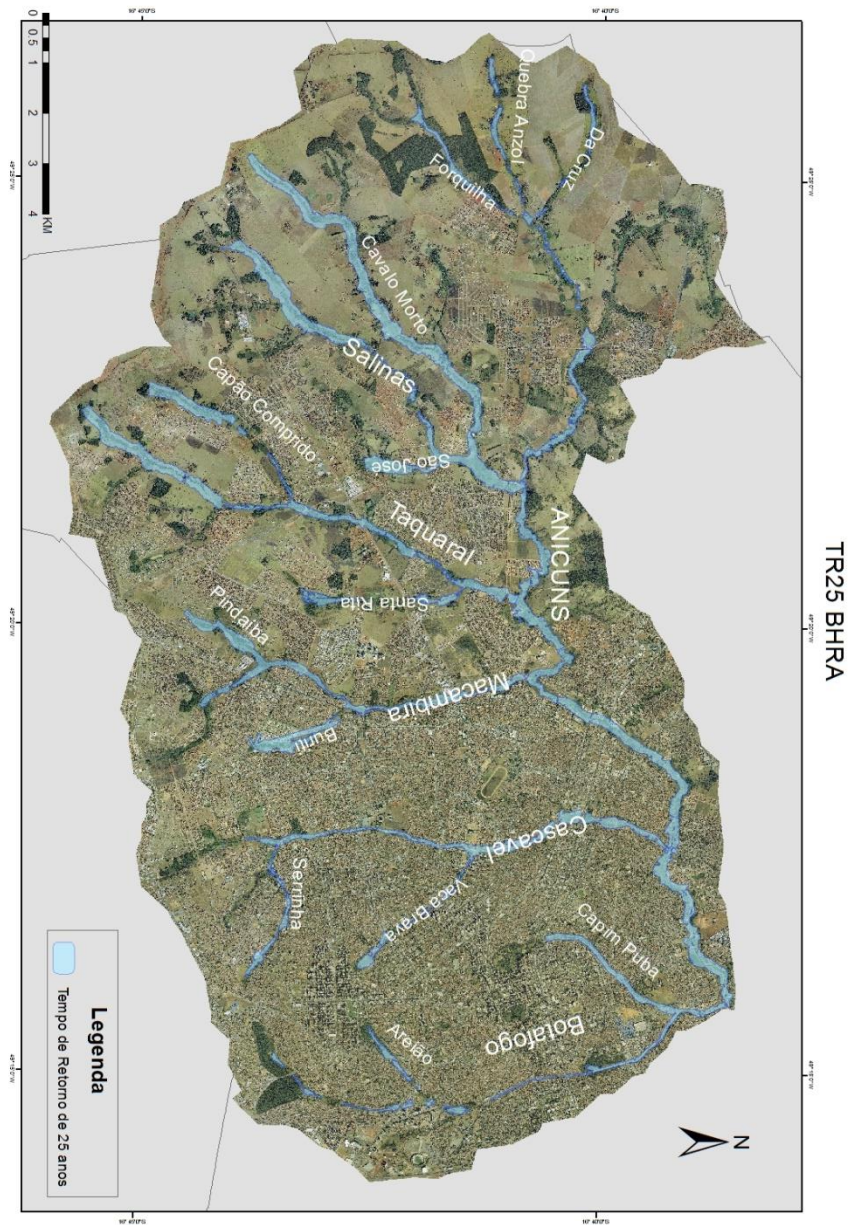


Figura 16: Mancha de inundação com TR25

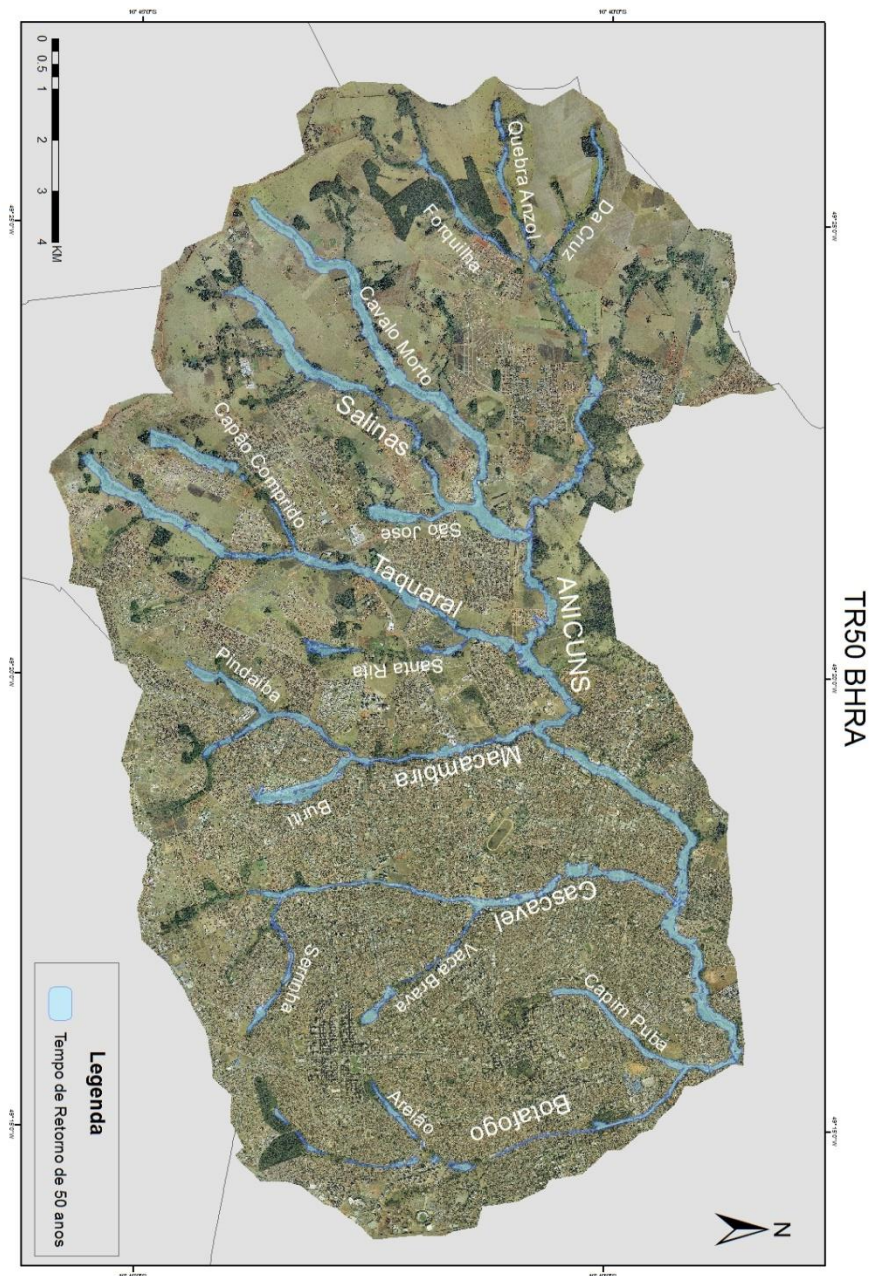


Figura 17: Mancha de inundação com TR50

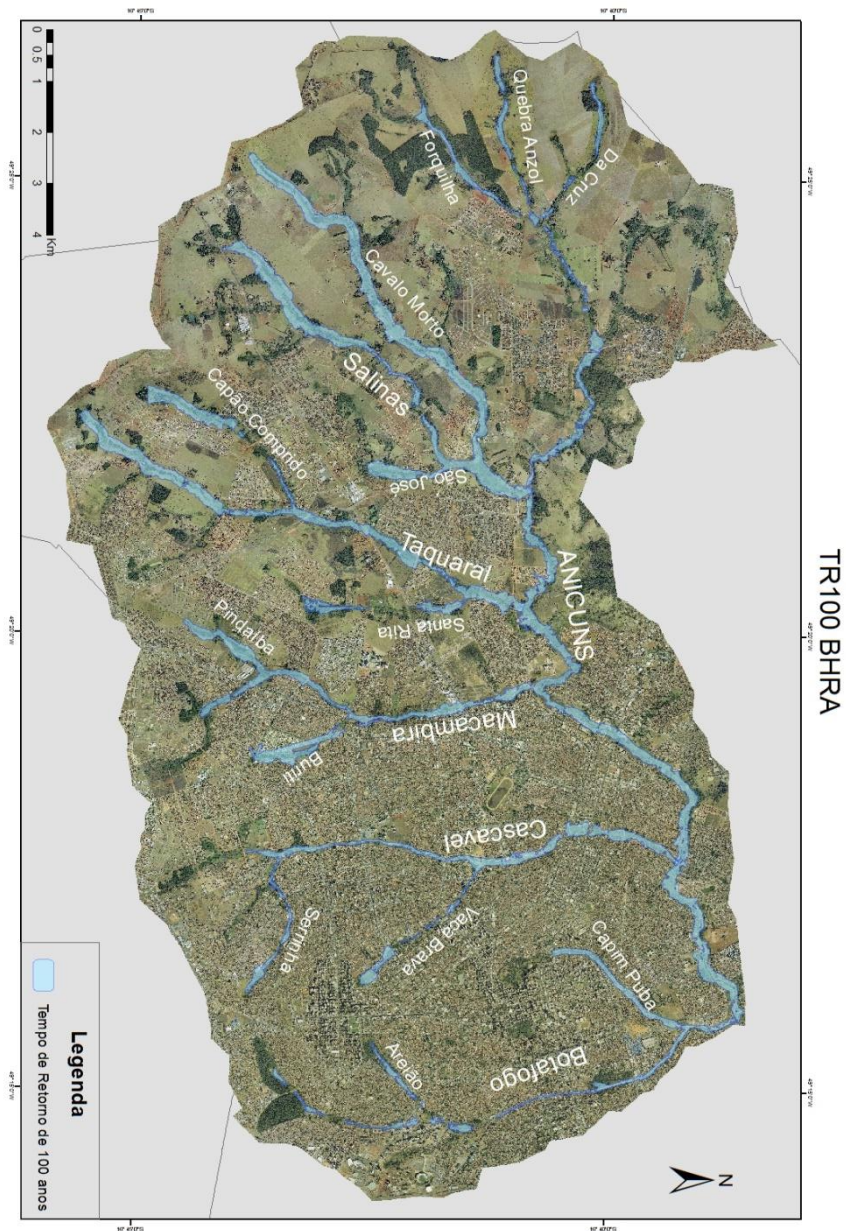
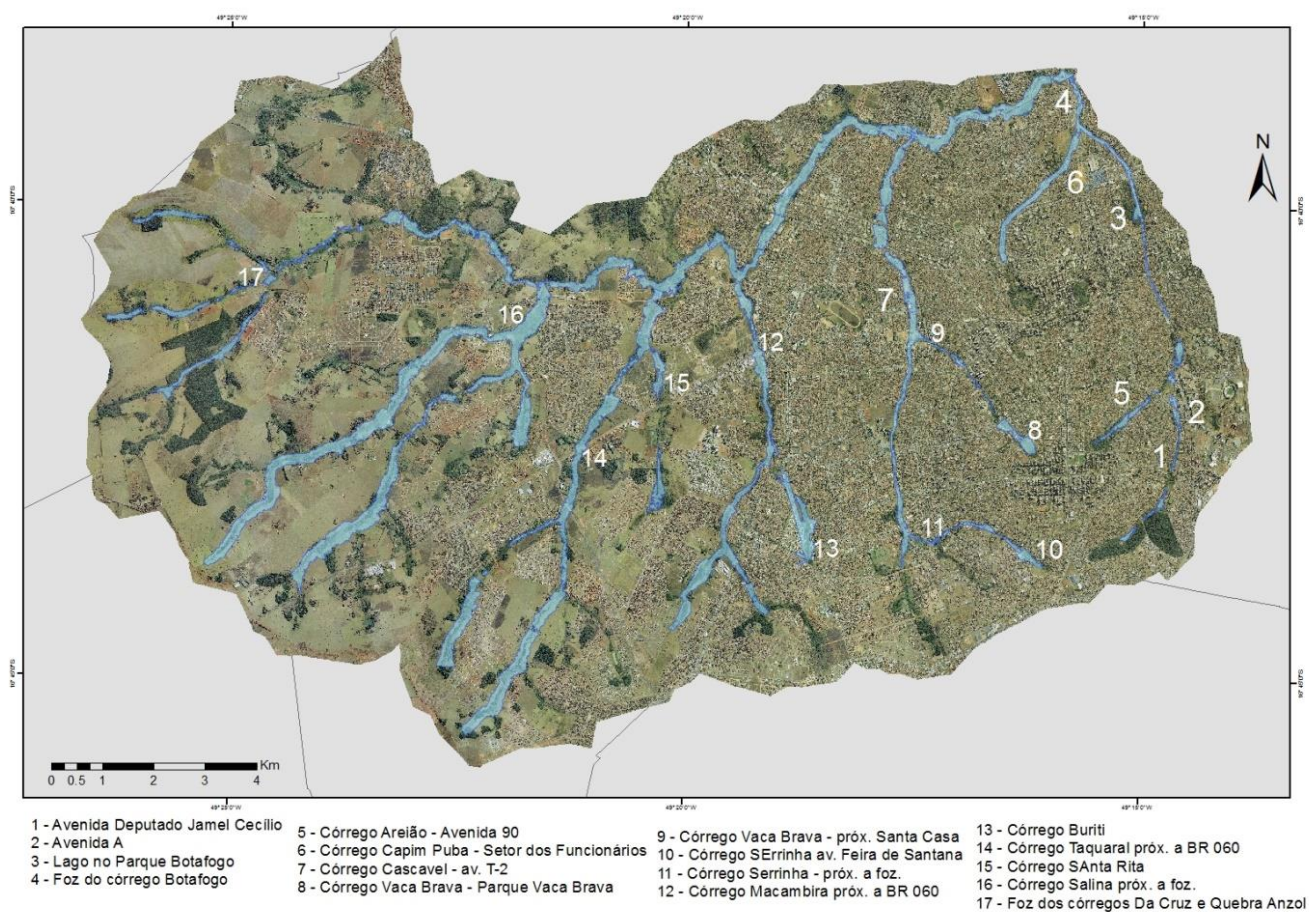


Figura 18: Mancha de inundação com TR100

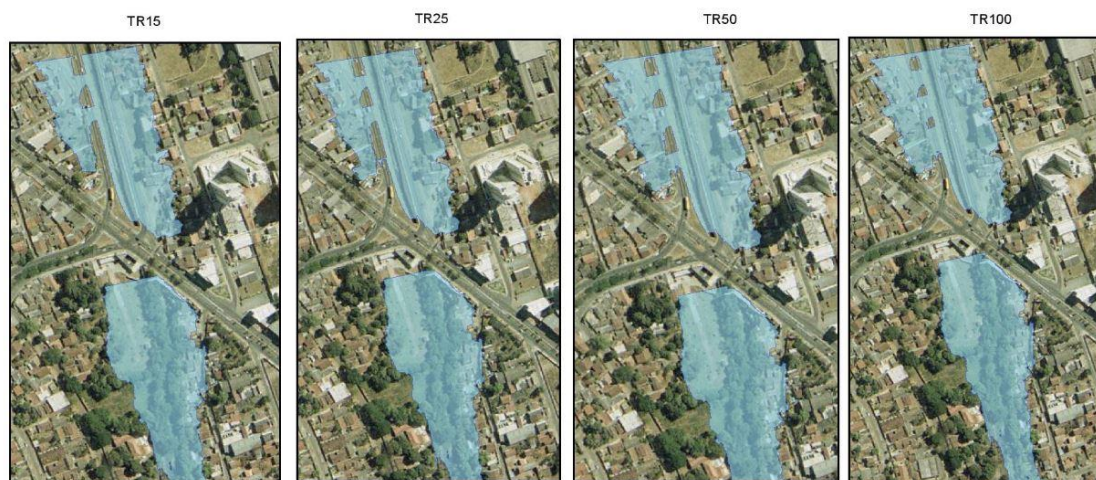
Na análise das manchas de inundação da simulação hidrodinâmica é possível verificar que algumas áreas se encontram em estados críticos. Na figura 19 estão os locais de inundação de alguns pontos da BHRA.



**Figura 19: Localização dos pontos em destaque na inundação.**

Na bacia hidrográfica do Córrego Botafogo verificou-se que na área próxima ao Jardim Botânico não houve uma diferença significativa entre os 4 cenários escolhidos. Na Avenida Jamel Cecílio (Figura 20) o crescimento da mancha foi mais significativo nos TR50 e TR100.

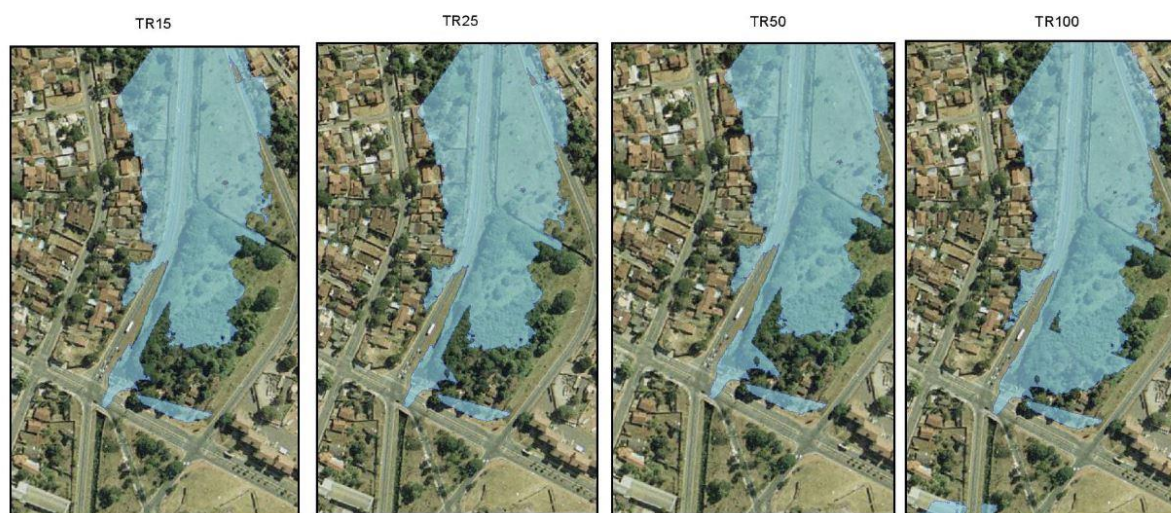
## AVENIDA DEPUTADO JAMEL CECÍLIO



**Figura 20: Avenida Jamel Cecílio**

Na Avenida A (Figura 21) no TR100 a inundação extravasa mais pelo lado direito deixando à mancha próxima ao outro lado da marginal.

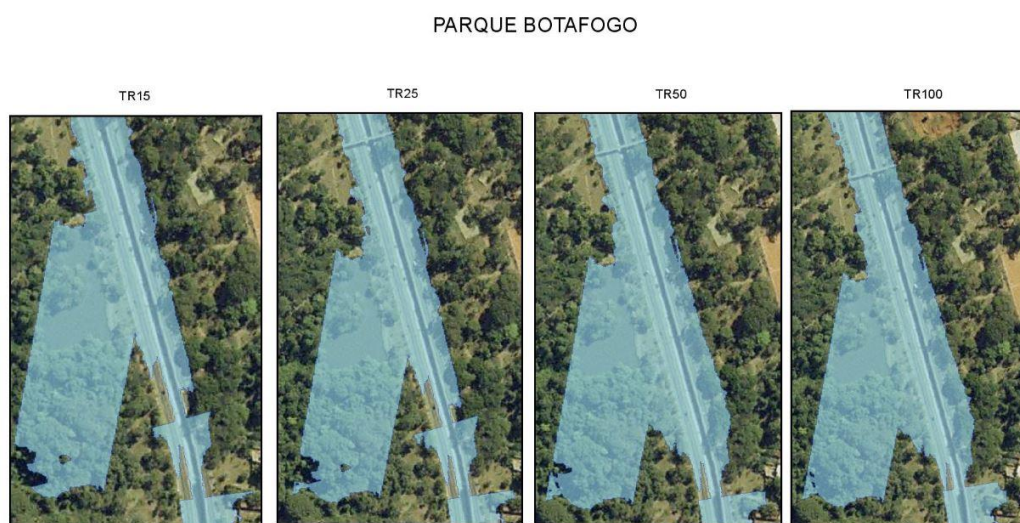
## AVENIDA A



**Figura 21: Avenida A.**

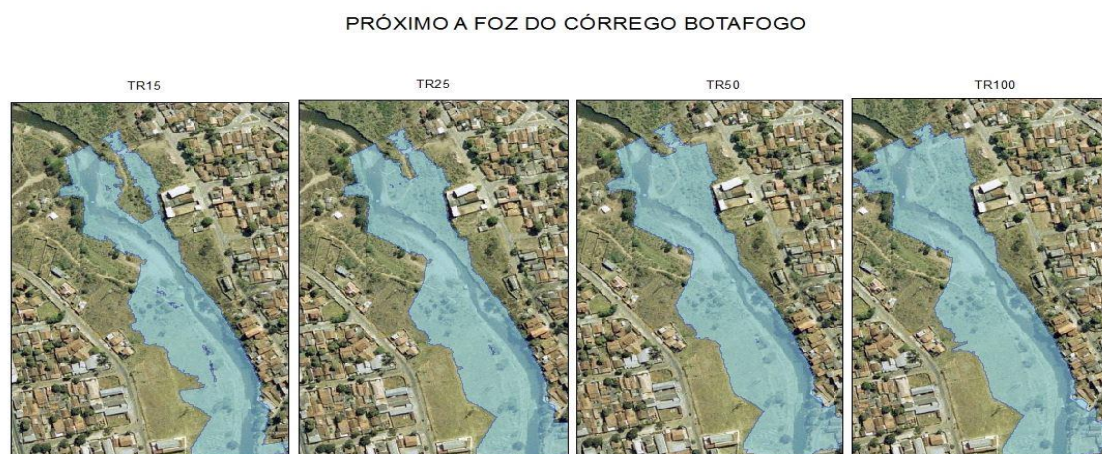
Ao longo da Marginal Botafogo o Córrego está canalizado e a inundação é presente em sua extensão, pode destacar um lago (Figura 22) presente dentro do Parque

Botafogo, onde sua água escoar para a marginal e encontra a com a água escoada pelo Córrego. Deste ponto em diante a água atinge toda a marginal, variando apenas a sua extensão de acordo com os TR's.



**Figura 22: Parque Botafogo**

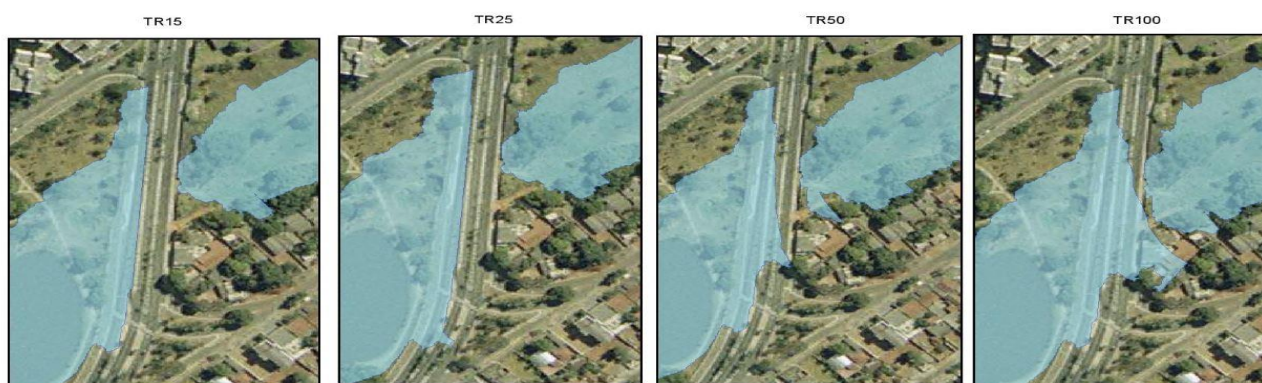
Após a marginal o Córrego segue em leito natural, aqui a mancha de inundação tende para o lado esquerdo. Próximo a foz do Córrego (Figura 23) a mancha vai crescendo gradualmente. No TR15 a mancha não é tão larga e existem vazios próximos a foz. Nos próximos cenários esses buracos são preenchidos.



**Figura 23: Foz córrego Botafogo**

No Córrego Areião (Figura 24) a água invade o perímetro do parque com o mesmo nome e nos TR50 e TR100 a água ultrapassa a Rua 90.

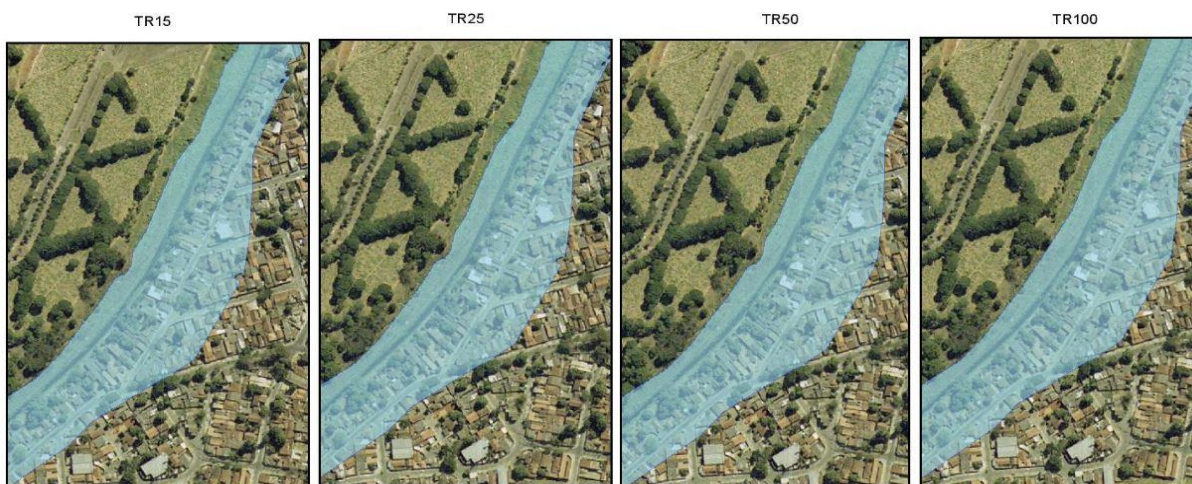
## AVENIDA 90- AO LADO DO PARQUE AREIÃO



**Figura 24: Avenida 90**

No capim puba (Figura 25) a água sobrepõe o Córrego durante todo o percurso, com destaque para o setor ferroviário que uma parcela significativa de casas foram atingidas.

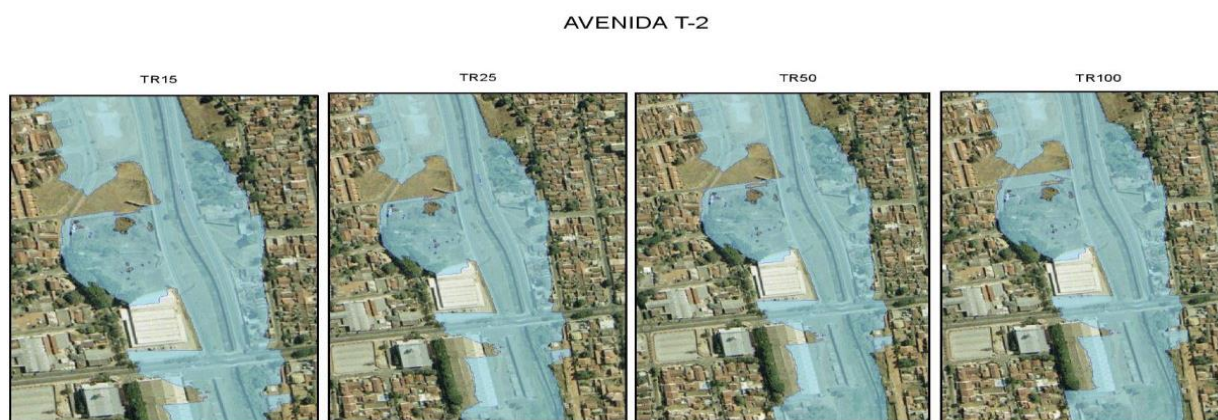
## CÓRREGO CAPIM PUBA - SETOR FERROVIÁRIO



**Figura 25: Setor ferroviário**

A mancha de inundação da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel aumenta a partir do encontro do Córrego Vaca Brava. Da Avenida C-12 até a Avenida Castelo Branco o Córrego está canalizado, depois desse trecho o Córrego volta com leito natural. Nesse Córrego as manchas mantiveram esse perfil mudando apenas sua largura

nos três primeiros cenários. No TR100 a mancha de inundação na Avenida T-2 (Figura 26) aumentou significativamente, principalmente na margem esquerda do Córrego e segue assim até a Avenida Castelo Branco.



**Figura 26: Avenida T-2**

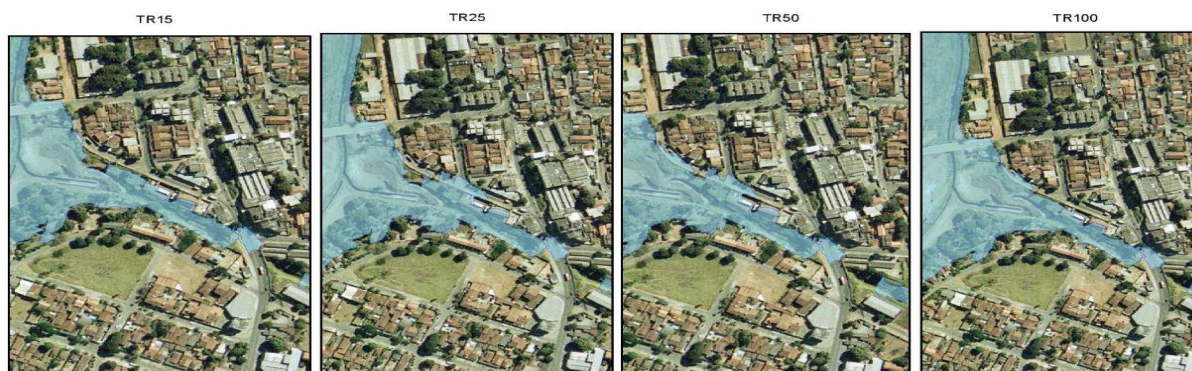
A inundação do Córrego Vaca Brava (Figura 27) fica em quase toda a extensão do parque Vaca Brava, atravessa a Avenida T-10 e invade o estacionamento do shopping ao lado, segue a inundação até a Avenida T-9. No TR50 a área da mancha de inundação é maior no parque Vaca Brava e no espaço do shopping e vai aumentando gradualmente nos pontos seguintes. No TR100 se mantém a mancha próxima a nascente, apenas depois da Avenida T-9 há um aumento na mancha.



**Figura 27: Parque Vaca Brava**

Próximo a Santa Casa (Figura 28) é grande a mancha de inundação e segue até sua foz no Córrego Cascavel do TR15 ao TR25 não houve mudanças desse trecho, no TR100 a largura da mancha da inundação é maior que nos três cenários anteriores.

CÓRREGO VACA BRAVA - PROX. A SANTA CASA DE MISERICÓRDIA



**Figura 28: Próximas da Santa Casa de Misericórdia**

No Córrego Serrinha houve uma mancha maior no TR25 no trecho da Avenida Feira de Santana (Figura 29).

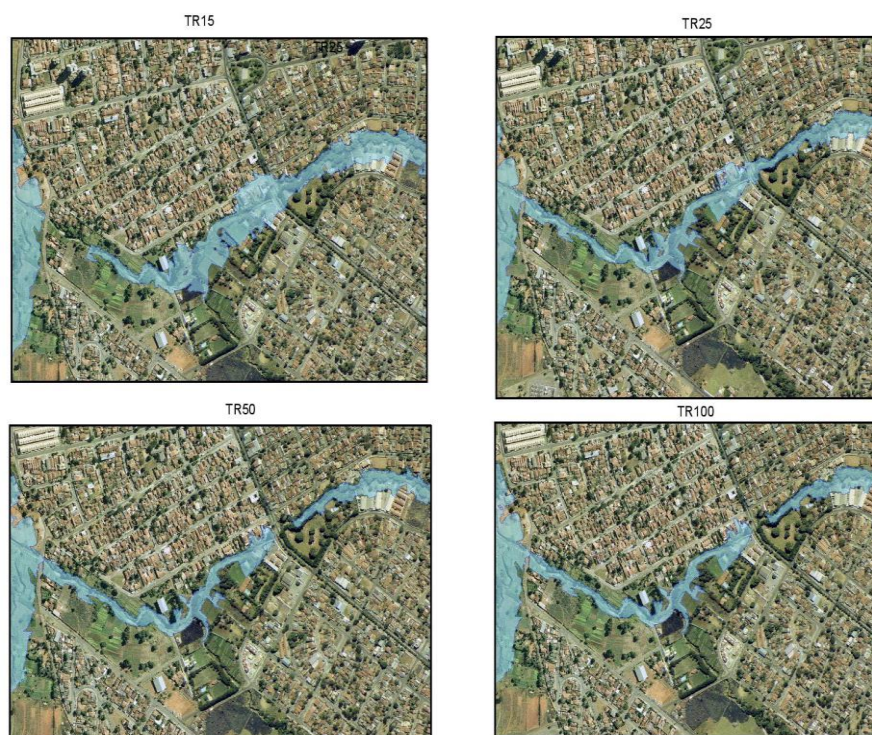
CÓRREGO SERRINHA - AVENIDA FEIRA DE SANTANA



**Figura 29: Avenida Feira de Santana**

A mancha também aumentou no trecho próximo ao Córrego Cascavel, onde tem algumas chácaras no perímetro do Córrego Serrinha (Figura 30).

## CÓRREGO SERRINHA - PRÓX. AO CÓRREGO CASCAVEL



**Figura 30: Foz do córrego Serrinha.**

Na bacia hidrográfica do Córrego Macambira as nascentes dos Córregos Macambira e Pindaíba estão localizadas fora do perímetro urbano.

Diferente dos Córregos Botafogo e Cascavel o Córrego Macambira não tem trechos canalizados. A inundação chega a BR-060 (Figura 31), depois desse trecho a água recua e expande novamente próximo ao Ribeirão Anicuns. Seguindo assim nos TR15 e TR25 aumentando apenas a largura da mancha.

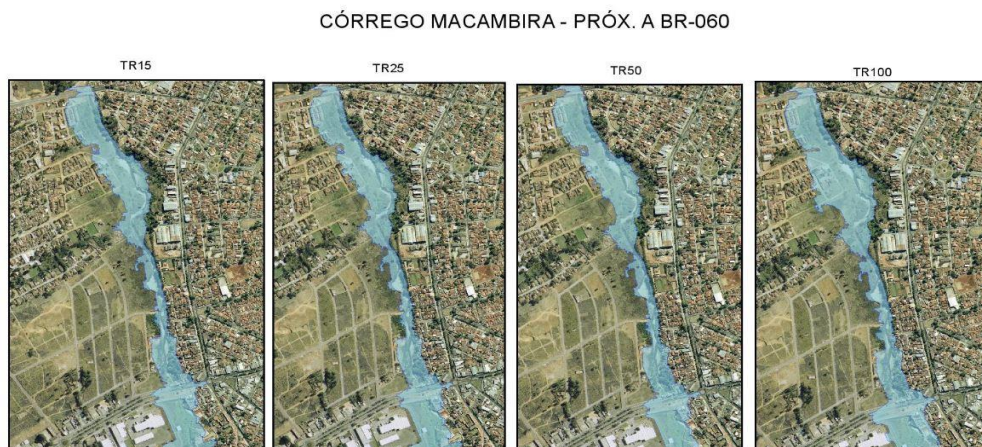


Figura 31: Córrego Macambira próximo a BR-060

No Córrego Buriti (Figura 32) sua nascente se encontra dentro de um condomínio fechado, e sua inundação pode chegar a algumas casas mais próximas do Córrego. No TR100 a inundação do Córrego Buriti continua larga, porém diferente das anteriores não se encontra com a inundação do Córrego Macambira.

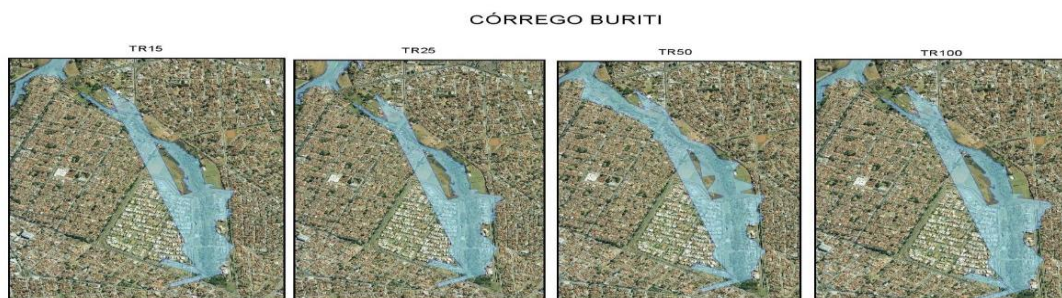


Figura 32: Córrego Buriti.

A bacia hidrográfica do Córrego Taquaral está presente em áreas que estão localizada em áreas periféricas ou rurais do município. No bairro Goiânia Viva em um trecho próximo a BR-060 e a Av. Gabriel Henrique de Araújo (Figura 33) tem uma mancha de inundação com aumento significativo.

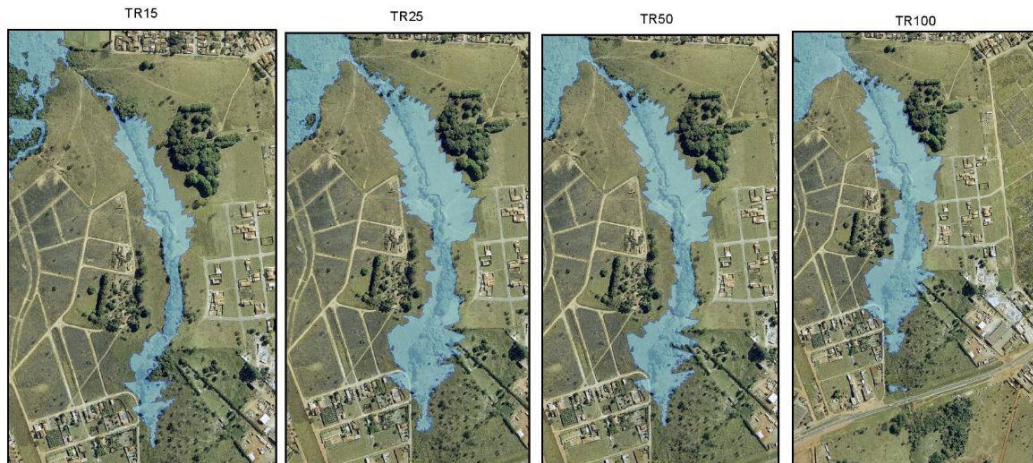
## CÓRREGO TAQUARAL - TRECHO PRÓX. A BR-060



**Figura 33:** Córrego Taquaral - próx. a BR-060

No Córrego Santa Rita (Figura 34) a mancha vai se tornando maior e mais larga gradualmente.

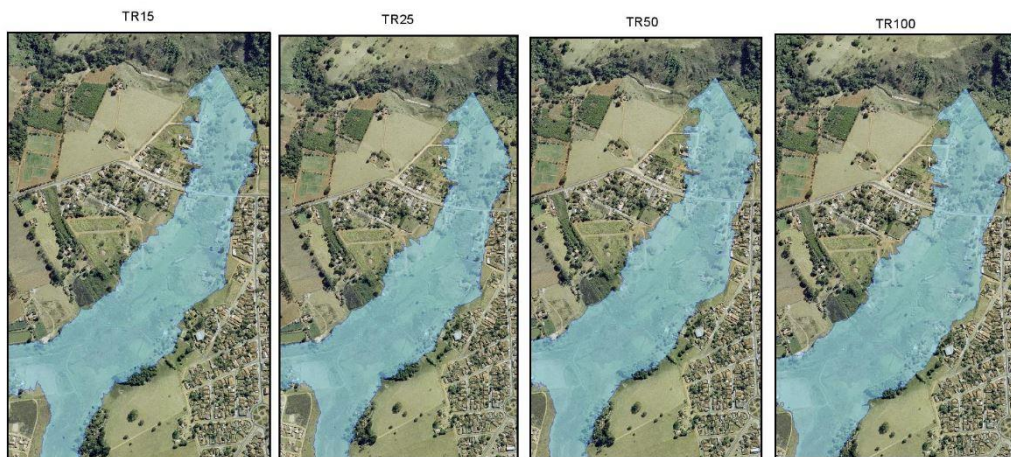
## CÓRREGO SANTA RITA



**Figura 34:** Córrego Santa Rita

A bacia hidrográfica do Salinas se encontra acima da GO-060 e sua parte urbanizada está localizada próxima a sua foz (Figura 35), nessa área se encontra a mancha com maiores diferenças.

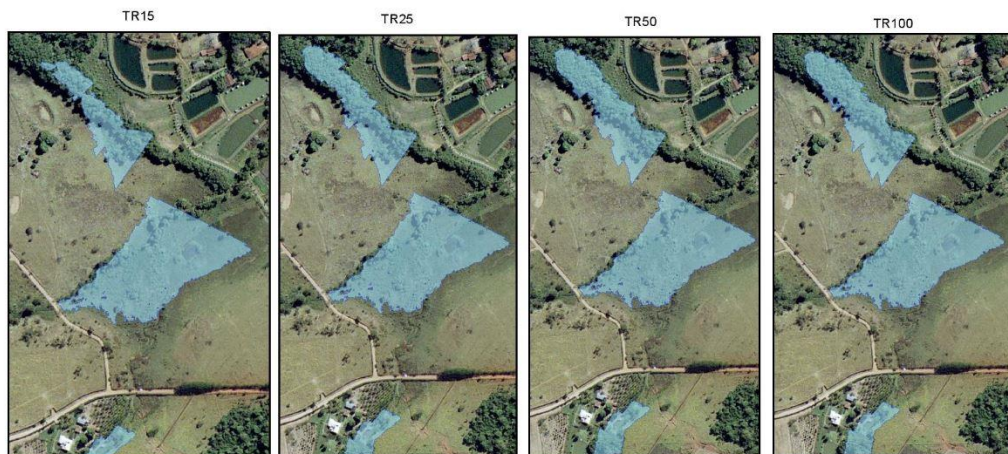
## CÓRREGO SALINAS - PRÓX. AO RIBEIRÃO ANICUNS



**Figura 35: Foz do córrego Salinas.**

No Córrego São José apesar de extensa a mancha de inundação não teve muita alteração nos diferentes TR's. Nos Córregos Quebra anzol e Da Cruz a inundação é maior quando os Córregos se encontram o Ribeirão Anicuns (Figura 36).

## FOZ DOS CÓRREGOS QUEBRA-ANZOL E DA CRUZ



**Figura 36: Foz dos córregos Quebra Anzol e Da Cruz**

#### 5.4 Modelo Height Above the Nearest Drainage - HAND

Para a simulação do modelo simplificado HAND foram utilizadas duas imagens com diferentes resoluções espaciais.

A primeira imagem obtida pela análise no modelo HAND é de um MDT SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial média, de 30 metros.

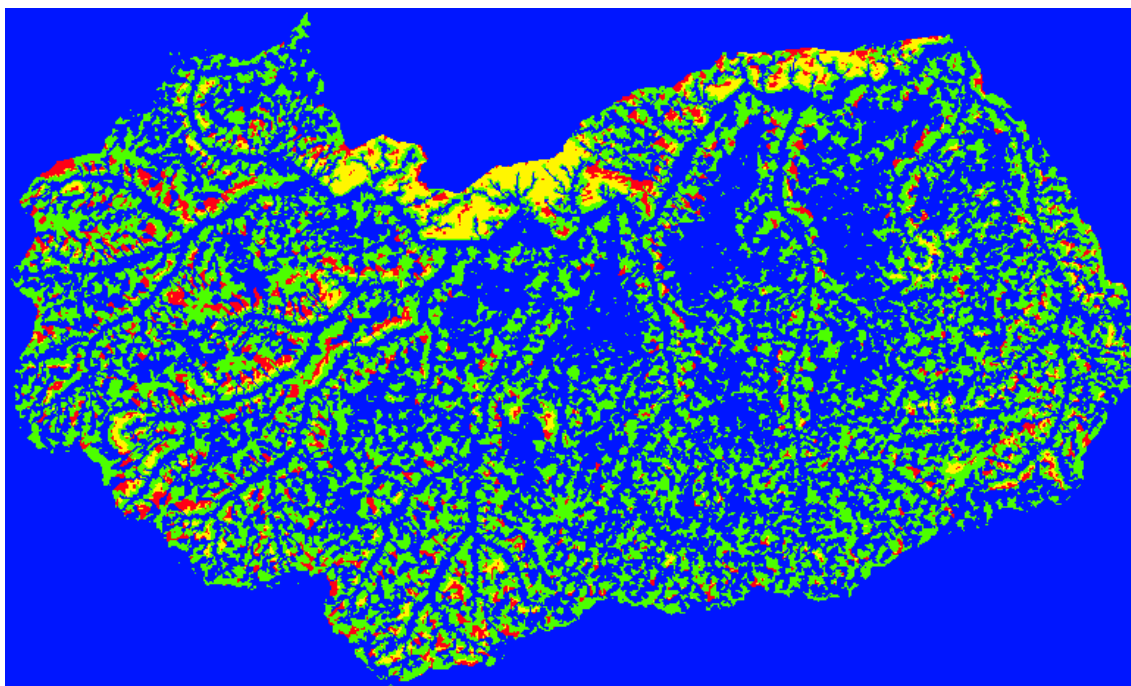


Figura 37: Classificação do HAND com imagem SRTM

	Classe 1 - Azul HAND <5.3m
	Classe 2 - Verde 5.3m >= HAND <= 15m
	Classe 3 - Amarelo HAND > 15m e declividade >= 7.6%
	Classe 4 - Vermelho HAND > 15m e declividade < 7.6%

Na Figura 37 com o limiar de 30 pixels mostra em destaque a área em azul dentro do perímetro da bacia, de acordo com a legenda essa área tem um desnível relativo de até 5.3 metros, ou seja, essa área tem uma maior probabilidade de inundação. A área verde são aquelas em que o risco de inundação é médio, nele o desnível relativo é entre 5.3m a 15m. Em amarelo e vermelho estão as áreas com risco baixo de inundação, ambas as áreas tem um desnível acima de 15 metros, o que difere as duas

áreas é a declividade, onde na área maior ela é menor ou igual a 7.6% e na área vermelha é menor que 7.6%.

A Figura 38 gerada a partir de curvas de nível, com uma imagem de resolução alta resolução, de 5 metros. Nesta imagem é perceptível a diferença entre as imagens gerada onde, é visível a mudança dos classificadores gerados. A área em vermelho, que está em destaque o seu desnível relativo se encontra acima de 15 m, onde o risco de inundação é baixo. Apenas no perímetro dos Córregos e suas proximidades que o desnível menor que 5.3 m se encontramos, nessas áreas o risco de inundação são altos. Esse desnível vem em seguida sendo envolto pelo desnível relativo que varia entre 5.3 a 15m, significando um risco médio de inundação.

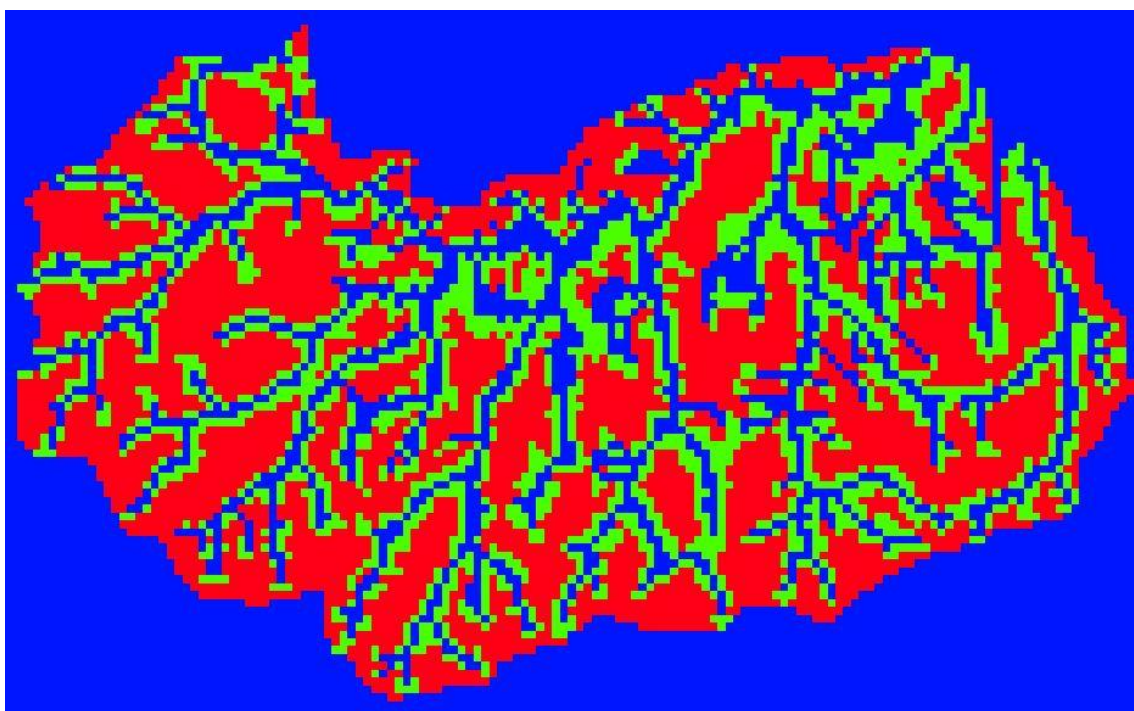


Figura 38: Classificação do HAND com curva de nível.

	Classe 1 - Azul HAND <5.3m
	Classe 2 - Verde 5.3m ≥ HAND ≤ 15m
	Classe 3 - Amarelo HAND > 15m e declividade ≥ 7.6%
	Classe 4 - Vermelho HAND > 15m e declividade <

É importante ressaltar que o HAND gera essas cores de acordo com a classificação dos desníveis e não de acordo com o grau de risco de inundação da área estudada.

## CONCLUSÃO

Para a modelagem hidrodinâmica foram utilizados dados obtidos pelo MDT através de tecnologia *LiDAR* e a ortofoto do município, esses primordiais para a extração dos dados com alta precisão para o modelo hidrodinâmico HEC-RAS. A extensão HEC-geoRAS se mostrou uma ferramenta eficaz para a obtenção das geometrias dos canais.

O HEC-RAS é uma ferramenta importante e com alta capacidade para estudos de áreas grandes e com maiores complexidade. Uma das dificuldades encontradas no HEC-RAS reduzir com as instabilidades numéricas. A quantidade de variáveis inseridas no processo gera interferência, para cada ajuste e minimização de erros se torna um processo lento.

O programa cumpriu seu objetivo de gerar as manchas de inundação mostrando quais os locais inundados ao longo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Os tempos de concentração influenciaram seu comportamento, assim como as pontes e bueiros acrescentadas nos trechos existentes. Foi notado que os dados de entrada de determinados tributários influenciavam mais o tempo de iteração do modelo, precisando fazer maiores ajustes. Também foi observado que em alguns pontos onde existem pontes ou bueiros as manchas de inundações tendem a ser maiores, para esses trechos é sugerido a retirada de bueiros ou fazer melhorias.

Os mapas resultantes do modelo hidrodinâmico – HEC-RAS mostraram que as áreas mais urbanizadas da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns são as que mais sofreram com as manchas de inundação. O impacto nessas áreas mais impermeabilizadas

Os córregos localizados na zona periférica e rua de Goiânia precisarão de ajustes. Os CN's utilizados nessas áreas estão considerados que nesses córregos manterão o nível de urbanização do restante da bacia, assim os córregos estão dando como resultado uma grande inundação, como eles são córregos naturais não comportam esse nível de água, diferente dos outros córregos, onde quase todos estão canalizados, ao menos com gabião. Suas vazões irão aumentar muito e eles não estão preparados para isso, precisando assim de ajustes para se prepararem para o processo de urbanização que ocorrerá naquela parte da cidade.

Esse trabalho teve como uma de suas propostas analisar o comportamento do modelo simplificado HAND com imagens de diferentes resoluções espaciais e as manchas de inundação feitas pelo HEC-RAS.

Os resultados gerados com o modelo simplificado HAND mostram que de modo geral o HAND é uma boa ferramenta, apesar de que nos resultados pode verificar diferenças significativas entre a imagem com a resolução espacial de 30 m com a de 5 m é possível extrair informações distintas das mesmas. O resultado do HAND gerado com o MDT de 5 m, que tem melhor resolução espacial se mostrou compatível com os resultados encontrados com a simulação do HEC-RAS.

A imagem com a maior resolução (5m) revelou um detalhamento melhor da área de estudo. Como o programa HAND ainda não está integralmente disponível para o acesso público (como um programa a parte de outros) seria interessante realizar novas análises da área de estudos com imagens com diferentes resoluções espaciais quando o HAND for disponibilizado e distribuído pelo INPE.

O modelo HAND se mostrou uma ferramenta importante para a questão de riscos ambientais, por ser de fácil manuseio ele pode ser utilizado como prevenção a danos ambientais, além de ser uma ferramenta de baixo custo, já que é possível obter o resultado com apenas um MDT. Seria interessante em análises ambientais utiliza-lo como um complemento ao modelo hidrodinâmico HEC-RAS, em um primeiro momento se utiliza o HAND e depois com mais dados para se analisar construir o modelo hidrodinâmico HEC-RAS, ou em locais onde não se tem uma estrutura de dados para a modelagem hidrodinâmica.

Algumas recomendações para a BHRA:

- ✓ Criar um sistema de alerta em conjunto com a defesa civil;
- ✓ Criar uma rede de monitoramento por toda a BHRA e em outras bacias que fazem parte da área urbana do município de Goiânia;
- ✓ Realizar medidas preventivas para evitar prejuízos causados pelas inundações sejam risco de vida ou financeiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SABHAN, W.; MULLIGAN, Mark; BLACKBURN, G. Alan. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 1, p. 9-32, 2003.
- ANACONA, P.I.; MACKINTOSH, A.; NORTON, K. Reconstruction of a glacial lake outburst flood (GLOF) in the Engaño Valley, Chilean Patagonia: Lessons for GLOF risk management. **Science of The Total Environment**, v. 527, p. 1-11, 2015.
- BEILER, M.R. O.; TREAT, C. Integrating GIS and AHP to Prioritize Transportation Infrastructure Using Sustainability Metrics. **Journal of Infrastructure Systems**, p. 04014053, 2014.
- BORSATO, F.; MARTONI, A.M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná-DOI: 10.4025/actascihumansoc.v26i2.1391. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2008.
- BRANDÃO, J. L. B.; BARROS, M. T. L. Determinação de áreas de inundação para uma bacia urbana. **Anais do Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos países de língua oficial portuguesa. ABRH, São Paulo**, p. 1-13, 2007.
- BRASIL. (s.d.). Decreto Lei N.89.817 de 20 de junho de 1984.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Política Nacional de Defesa Civil**. Disponível em < [http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=6aa2e891-98f6-48a6-8f47-147552c57f94&groupId=10157](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=6aa2e891-98f6-48a6-8f47-147552c57f94&groupId=10157) > Acesso em junho de 2015.
- BURROUGH, P. A. Whither GIS (as systems and as science)?. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 24, n. 1, p. 1-3, 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, AMV. Introdução à Ciência da Geoinformação: Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. **INPE (INPE-8563-PRE/307. São Paulo/SP), São José dos Campos, 2001.**

CHAUDHRY, M. Hanif. **Open-channel flow**. Springer Science & Business Media, 2007.

CHOW, V. **Open Channel Hydraulics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959.

COMDATA – Cia. de processamento de dados do município de Goiânia. (2007).  
MUBDG – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia. CD-ROM Profissional Versão 20 – Parte do SIGGO V13. Prefeitura de Goiânia

COOK, A.; MERWADE, V. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1, p. 131-142, 2009.

CROKE, J., REINFELDS, I., THOMPSON, C., ROPER, E. Macrochannels and their significance for flood-risk minimisation: examples from southeast Queensland and New South Wales, Australia. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 1, p. 99-112, 2014.

DEVRIES, P.; ALDRICH, R. Assessment Approach for Identifying Compatibility of Restoration Projects with Geomorphic and Flooding Processes in Gravel Bed Rivers. **Environmental management**, p. 1-20, 2015.

ECKHARDT, R. R.; SALDANHA, D. L.; DA ROCHA, R., S. Modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas urbanas sujeitas às inundações na cidade de Lajeado/RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60/3, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Embrapa. Embrapa Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa. (2006).

FEDERAL INTERAGENCY CORR DINATING COMMITTEE. A process for evaluating geographic systems. Reston: **United States Geological Survey**.

FEDERAL, SENADO. Estatuto da Cidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2001.

GALVANIN, E. A. S.; DAL POZ, E.A. Extração automática de contornos de telhados usando dados de varredura a laser e campos randômicos de markov. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 2.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HEIMHUBER, V., HANNEMANN, J. C., & RIEGER, W. Flood risk management in remote and impoverished areas—a case study of onaville, haiti. **Water**, v. 7, n. 7, p. 3832-3860, 2015.

LAURIANO, A. W.; BRASIL, L.S.S.; MONTE-MOR, R.C.A.; PALMIER, L.R.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, N.; CANELLAS, A.V.B. Estudo de Ruptura da Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS. **Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG**, 2009.

MACHADO, Alvaro Muriel Lima; MITISHITA, Edson A. Detecção automática de contornos de edificações utilizando imagem gerada por câmara digital de pequeno formato e dados LIDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 2, 2006.

MAIDMENT, David R. et al. **Handbook of hydrology**. McGraw-Hill Inc., 1992.

MARCATO, Vanessa Jordão; DAL POZ, Aluir Porfírio. REFINAMENTO

GEOMÉTRICO DE CONTORNOS E CUMEEIRAS DE TELHADOS DE EDIFÍCIOS EXTRAÍDOS DE DADOS LASER COM USO DE IMAGEM AÉREA. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, v. 20, n. 3, p. 647-668, 2014.

METROPOLITAN WATER RECLAMATION DISTRICT OF GRATER CHICAGO. **Tunnel and Reservoir Plan**. Acesso em <  
<https://www.mwr.org/irj/portal/anonymous/tarp> > Acesso: agosto de 2015.

MULONGO, H. **Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC**. Florianópolis, Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

NASCIMENTO, M. C. D., SOARES, V. P., RIBEIRO, C. A. A. S., SILVA, E. DELIMITAÇÃO automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 16-21, 2005.

NOBRE, A.D. Brief History on the development of the HAND. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions** (Print), v.8, p. C2439-C2445, 2011.

NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D.; RODIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. **Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model**. **Journal of Hydrology**. 404, p.13-29, 2011

NOBRE, C. A., YOUNG, A. F., SALDIVA, P., MARENGO, J. A., NOBRE, A. D., ALVES JR, S., LOMBARDO, M. Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. **Embaixada Reino Unido, Rede Clima e Programa FAPESP em Mudanças Climáticas**, 2010.

NUNES, F. G. Modelagem hidrológica e técnicas de geoprocessamento na estimativa da impermeabilização do solo e escoamento superficial da bacia hidrográfica do ribeirão anicuns-goiania (go)-DOI 10.5216/ag. v6i2. 15251. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, 2012

OLIVEIRA, F.A. **Calibração de Modelo Hidrodinâmico Unidimensional em Bacias Urbanas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás.

OLIVEIRA, R. A. Avaliação Da Exatidão Altimétrica De Dados Obtidos Por Perfilamento Laser Aerotransportado Em Áreas De Mineração E Rodovias. 2010. **XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia** - Aracaju - SE - Brasil, 16 a 20 de maio de 2010.

PAVI, S.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R. O Uso do Laser Scanner Terrestre na Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto: uma Revisão Bibliográfica. In: **VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. 2014.

PIRES, É. G.; BORMA, S. L. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrografias em ambiente de Cerrado.

PORTO, R. ZAHED, K.F., MARCELLINI, S.S.(2006). *Hidrologia Aplicada*. São Carlos: EESC-USP.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, EESC-USP. 1999.

PREFEITURA DE OREGON. *Green Streets Program*. Disponível em <[https://www.portlandoregon.gov/?mode=search&search\\_action=SearchResults&top\\_category\\_tree\\_id=25777&filter\\_category\\_tree\\_id=25777&search\\_category\\_tree\\_id=25777&search\\_words=green+streets&submit=Search](https://www.portlandoregon.gov/?mode=search&search_action=SearchResults&top_category_tree_id=25777&filter_category_tree_id=25777&search_category_tree_id=25777&search_words=green+streets&submit=Search)> acesso em agosto de 2015.

RENNÓ, C. D., NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., SOARES, J. V., HODNETT, M. G., TOMASELLA, J. WATERLOO, M. J HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

SARHADI, A.; SOLTANI, S. M., REZA. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 458, p. 68-86, 2012.

SENA, F., T. N. S.; SANTIAGO NETO, B. J.; LEITE A.C.S. Uso Do geoprocessamento como subsídio à análise ambiental: imagem srmt na geração dos mapas hipsométrico e de declividade das bacias difusas da barragem boa esperança no estado do piauí - 2012. **Iv Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação.**

Silva, A. d. (2010). *Sistema de Informações Geo-Referenciadas*. Campinas, São Paulo, Brasil: Editora Unicamp.

SILVA, A. L. M. E. J. ; SILVA, M. V. Levantamento Tridimensional de Áreas de Risco. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV** Exposicarta, 2014, Gramado-RS. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014.

SILVA, J. A. A. D., NOBRE, A. D., MANZATTO, C. V., JOLY, C. A., RODRIGUES, R. R., SKORUPA, L. A., RECH FILHO, E. L O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. 2011.

SILVA, Tiago; MAIA, Rodrigo; PINTO, Pedro. Estudo de escoamentos variáveis em canais naturais. Aplicação ao caso de rutura de uma barragem. 2014.

SOUZA, T.R.P. **Modelagem e Monitoramento Hidrológico das Bacias Hidrográficas dos Córregos Botafogo e Cascavel, Goiânia – GO.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás

SOUZA, C. F.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrodinâmica via aquisição remota de dados. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007.

TANCREDI, N. S. H.; SILVA B., M. Aplicação de geoprocessamento na análise ambiental das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã–Juruti–Pará.

TONELLO, K. C., Dias, H. C. T., Souza, A. D., Ribeiro, C. A. A. S., & Leite, F. P. (2006). Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. *Revista Árvore*, 30(5), 849-857.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R., BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**, Editora da Universidade/UFRGS-ABRH, Porto Alegre, 1995, 428p.)

TUCCI, C.E.M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. ABRH. Vol. 2, nº 2, 1997.

TUCCI. C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 669 p.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana e Controle de Inundações. In: Campos, Heraldo & Chassot, Attico (ORG). *Ciências da Terra e meio ambiente*. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999.

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C., 2003, *Inundações Urbanas na América do Sul*, Porto Alegre: ABRH, 150 p.

UNIÃO EUROPEIA. *Jornal Oficial da União Europeia*. **Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho**. 23 de outubro de 2007.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2010). HEC-RAS: River Analysis System user's manual – version 4.1. HydrologicEngineering Center (HEC), Institute for WaterResouces, Davis – CA.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2011). HEC-geoRAS: user's manual – version 4.3.93 HydrologicEngineering Center (HEC), Institute for WaterResouces, Davis – CA.

VARGAS, C., OLIVEIRA, F. S. B. F., OLIVEIRA, A., & CHARNECA, N. Vulnerability analysis of an estuarine beach to inundation: application to Alfeite spit (Tagus estuary). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v8 n.1, 2008.

WEN, Li et. al.. From hydrodynamic to hydrological modelling: Investigating long-term hydrological regimes of key wetlands in the Macquarie Marshes, a semi-arid lowland floodplain in Australia. *Journal of Hydrology*, v. 500, p. 45-61, 2013.

.

.

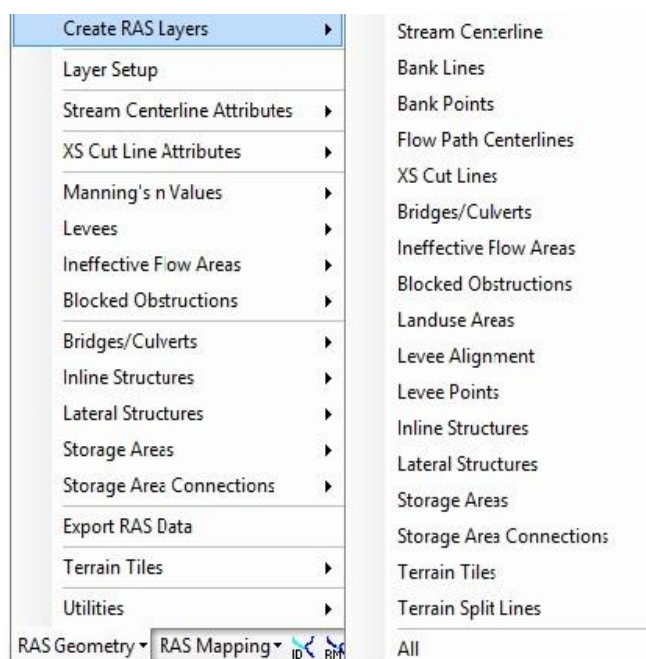
## Apêndice

### Pré-Processamento

Na primeira etapa do trabalho foi utilizado o MDT da bacia do Ribeirão Anicuns, em que a bacia foi fragmentada em sub-bacias para um melhor processamento, as sub-bacias foram: botafogo, cascavel, macambira taquaral e salinas

O arquivo MDT, com o qual foi trabalhado é de alta resolução com escala de 1:1000 permitindo assim ter um bom detalhamento do terreno.

Do MDT foi gerado um TIN. Depois de gerado, o TIN foi utilizado na extensão do HEC-RAS, chamada HEC-geoRAS. Ela foi integrada ao software ArcGis. Para auxiliar na construção dos dados hidráulicos o manual do HEC-GeoRAS criado pelo USACE (2010) foi utilizado. Dentro do software, foi habilitada a extensão em que os dados da geometria dos canais, seus leitos, atributos dos canais fluviais e possíveis dados hidráulicos existentes são trabalhados. A Figura 1 mostra a área de trabalho da extensão HEC-geoRAS.



**Figura 01: Área de trabalho do HEC-geoRAS.**

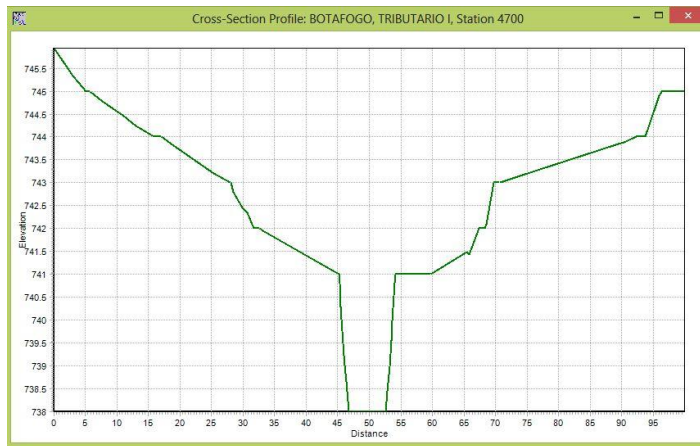
No HEC-geoRAS encontram-se inúmeras ferramentas e seu objetivo é a extração de dados para se trabalhar no HEC-RAS, porém neste trabalho foram utilizadas apenas as

ferramentas *stream Centerline*; *banklines*; *flow path Center line* e *crosso-sectional cut lines*.

- *Stream Center line*: consiste em criar um alinhamento que represente o centro geométrico dos canais. É traçada com o auxílio de fotografia aérea e do TIN da área de estudo;
- *Bank lines*: É uma *layer* importante, pois define o leito menor do canal. Para a vetorização foi utilizado TIN gerado a partir do MDT e visualização de fotografia aérea;
- *Flow path centerlines*: consiste em definir o sentido do fluxo que corre no leito maior e nas margens esquerda e direita da linha d'água;
- *Cross-sectional cut lines*: consiste na definição das linhas das seções transversais. São geradas em um ponto onde se considera que não seja alcançada em um evento de cheia. Cook e Merwade (2009) afirmam a importância das seções transversais para uma representação do terreno, onde quanto maior o número de seções no terreno, as áreas definidas pela inundação serão mais exatas.

A geração das seções transversais pode ocorrer manualmente ou semi-automatizadas, onde o usuário seleciona o comprimento e a distância entre cada seção transversal. Nesse trabalho foi selecionado o método semiautomático, escolhido pelo fato que o autor queria seções que variam na faixa de 50 em 50 metros de distância entre cada uma, além do fator que era muitas as seções para serem construídas. Em alguns casos depois de geradas, é necessário fazer alguns ajustes manualmente nas seções transversais construídas.

Nos perfis transversais encontrado na ferramenta *plot cross section* é possível verificar a morfologia de um determinado trecho. É importante verificar o valor de altitude dos trechos de cada seção, para que não tenham picos de altos valores no centro da seção, podendo aumentar ou diminuir o comprimento das seções transversais. Na Figura 2 mostra um exemplo de formato de seção transversal.



**Figura 02: perfil transversal.**

Fonte: o autor.

Após a extração dos dados geométricos, na etapa de pré-processamento eles são exportados em formato XML (*Extensible Mark-Up Language*).

### Hidrogramas

