



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

CESAR RICARDO BUITRÓN VINUEZA

ÁREAS DE RISCO À INUNDAÇÕES NA CIDADE DE CARACARAÍ-RR

**Boa Vista, RR
2018**

CESAR RICARDO BUITRÓN VINUEZA

ÁREAS DE RISCO À INUNDAÇÕES NA CIDADE DE CARACARAÍ-RR

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPG-GEO da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de Pesquisa: Dinâmica da paisagem Amazônica.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Luiza Câmara Beserra Neta.

Boa Vista/RR

2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

B958a Buitrón Vinueza, Cesar Ricardo.

Áreas de risco à inundações na cidade de Caracaraí-RR/ Cesar
Ricardo Buitrón Vinueza. – Boa Vista, 2018.

156 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

Co-orientadora: Profa. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.

1 – Risco 2 – Inundação 3 – Sensoriamento remoto 4 –

Ficha Catalográfica elaborada pela: Bibliotecária/Documentalista:

Marcilene Feio Lima - CRB-11/507-AM


CESAR RICARDO BUITRÓN VINUEZA

ÁREAS DE RISCO À INUNDAÇÕES NA CIDADE DE CARACARAÍ-RR

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPG-GEO da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de Pesquisa: Dinâmica da paisagem Amazônica. Defendida em 14 de dezembro de 2018 e avaliada pela seguinte banca:



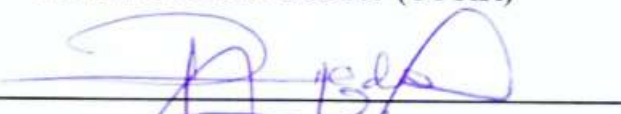
Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior – Orientador (UFRR)



Prof. Dr. Antônio Tolrino de Rezende Veras (UFRR)



Prof. Dr. Carlos Sander (UFRR)



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho (UFRR)

DEDICATORIA

A minha mãe *María*, minhas irmãs
Silvana & Sandra e meu sobrinho *Patrizio*.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas bênçãos concedidas.

Ao Programa de Bolsas da Organização de Estados Americanos OEA e o Programa de Pós-Graduação de Geografia da Universidade Federal de Roraima pela oportunidade de realizar o mestrado em Geografia no Brasil.

A meus professores Dr. Stélio Soares Tavares Júnior, Dra. Luiza Câmara Beserra Neta, Dr. Pedro Alves da Silva Filho, Dr. Carlos Sander e Dr. Antônio Tolrino de Resende Veras; pelos ensinamentos e sabedoria, os quais permitiram o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa. O meu muito obrigado.

Aos colegas e amigos do Departamento de Geografia e universidade: Rubenita, Talita, Javier, Oscar, Emely e Luís, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

A minha Mãe María, meu Pai César (*In memorian*), minhas irmãs Silvana & Sandra e toda minha família, que me trouxe forças para continuar com meus estudos de mestrado.

Muito obrigado.

FORTIS FORTUNA ADIUVAT

“Soy el resultado de lo que una gran mujer quiso hacer de mi”

- *Thomas A. Edison*

RESUMO

A cidade de Caracaraí faz parte da Amazônia setentrional e teve sua criação no ano de 1955 na margem esquerda do Rio Branco, o qual faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Negro. Na atualidade, o município de Caracaraí apresenta uma população estimada de 20.537 habitantes localizada principalmente na cidade, passando por grandes transformações urbanas pelo aumento da população, resultando na ocupação de áreas na margem do rio Branco susceptíveis às cheias e inundações produto decorrente dos processos naturais dos sistemas fluviais. Através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento procurou-se analisar as áreas de risco a inundações na cidade de Caracaraí – RR. Foram utilizadas imagens de satélite Rapideye do ano 2015 e imagens do DRONE/VANT Phantom 4 do ano 2017 para o análise da cobertura de solo, além de imagens SRTM no calculo das áreas de inundação com auxilio dos softwares Arcgis 10.5.1 e ENVI 5.2. Para a identificação do risco à inundação na cidade de Caracaraí foram gerados Modelos Numéricos de Terreno (MNTs) dos critérios físicos e socioeconômicos classificados em: (i) declividade, (ii) áreas de inundação, (iii) direção da vertente, (iv) cobertura de solo, (v) infraestrutura na margem do Rio Branco e (vi) distância em relação ao drenagem principal para uso do Analytic Hierarchy Process (AHP), metodologia de Saaty (1980) que propõe a ponderação dos critérios utilizados no análise segundo sua importância nos fenômenos espaciais. Foi observado 2,31% da área total da cidade de Caracaraí está sob muito alto risco, 29,17% encontra-se em alto risco, 29% com médio risco, 28,55% considerado como baixo risco e finalmente, 10,94% da área total considerada como muito baixo risco. Aspectos físicos e aspectos socioeconômicos como as áreas de inundação e cobertura de solo foram fatores preponderantes para a gênese do risco a inundação, criando uma ferramenta de ajuda no planejamento e na gestão do espaço de Caracaraí.

Palavras-chave: Risco. Inundação. Sensoriamento Remoto. Geotecnologías.

ABSTRACT

Caracaraí is part of the northern Amazon and was created in 1955 on the left bank of the Rio Branco, which is part of the Rio Negro River Basin. At present, the municipality of Caracaraí has an estimated population of 20537 inhabitants located mainly in the city, undergoing major urban transformations due to the population increase, resulting in the occupation of areas in the margin of the White River susceptible to floods and product flooding due to the natural processes of the river systems. Through Remote Sensing and Geoprocessing techniques, we tried to analyze the flood risk areas in the city of Caracaraí - RR. Rapideye satellite images from the year 2015 and DRONE / VANT Phantom 4 images from the year 2017 were used for soil cover analysis, as well as SRTM images in the calculation of the flood areas with the help of the software Arcgis 10.5.1 and ENVI 5.2. For the identification of flood risk in the city of Caracaraí, Numerical Terrain Models (NTMs) were generated from physical and socioeconomic criteria classified as: (i) slope, (ii) flood areas, (iii) direction of the slope, (iv) (v) infrastructure in the Rio Branco margin and (vi) distance from the main drainage for use of the Analytical Hierarchy Process (AHP), Saaty's methodology (1980), which proposes the weighting of the criteria used in the analysis according to its importance in space phenomena. It was observed that 2.31% of the total area of the city of Caracaraí is under very high risk, 29.17% is at high risk, 29% with medium risk, 28.55% considered low risk and, finally, 10.94 % of total area considered as very low risk. Physical aspects and socioeconomic aspects such as flood areas and soil cover were preponderant factors for the genesis of flood risk, creating an aid tool in the planning and management of the Caracaraí space.

Keywords: Risk. Waterflood. Remote Sensing. Geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Visão parcial da cheia do ano 2011 (máxima histórica registrada) no Rio Branco na cidade de Caracaráí.....	18
Figura 2 -	Desastres naturais ocorridos no mundo e seus respectivos prejuízos.....	26
Figura 3 -	Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.....	27
Figura 4 -	O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, e o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes e na atmosfera.....	29
Figura 5 -	Características das alterações de uma área rural para urbana.....	30
Figura 6 -	Evolução da urbanização no Brasil e no mundo.....	32
Figura 7 -	Fotografia das áreas em risco da cidade de Caracaráí.....	39
Figura 8 -	Estrutura de um SIG.....	43
Figura 9 -	Elementos dos sistemas de teledeteção.....	44
Figura 10 -	Processo de Sensoriamento Remoto.....	45
Figura 11.-	Imagem Rapideye Orto retificada.....	46
Figura 12 -	Drone Phantom 4 Pro.....	47
Figura 13 -	Localização da cidade de Caracaráí.....	54
Figura 14 -	Classificação climática de Köppen.....	55
Figura 15 -	Relevo da cidade de Caracaráí.....	57
Figura 16 -	Visão parcial da cobertura vegetal.....	58
Figura 17 -	Rede de drenagem no município de Caracaráí.....	59
Figura 18 -	Fluxograma de integração de dados para elaboração de um mapa de risco.....	61
Figura 19 -	Exemplo do voo controlado pelo usuário.....	62
Figura 20 -	Distância de amostragem do solo (GSD - <i>Ground sampling distance</i>).....	63
Figura 21 -	Regulamentação da zona inundável.....	69
Figura 22 -	Estrutura da apresentação da informação hidrológica e zoneamento as áreas vulneráveis a inundações.....	70
Figura 23 -	Sistema de classificação do uso da terra e cobertura terrestre, classificação do sistema CIAF.....	72
Figura 24 -	Processamento de classificação supervisionada e não supervisionada no ENVI.....	74
Figura 25 -	Desenvolvimento do processo AHP.....	75
Figura 26 -	Cotas máximas anuais.....	82
Figura 27 -	Tempos de Recorrência (eventos / anos).....	83

Figura 28 - Áreas de inundação - Cotas Maiores.....	86
Figura 29 - Cotas maiores - Zoneamento Alto.....	87
Figura 30 - Cotas maiores - Zoneamento Médio.....	88
Figura 31 - Cotas maiores - Zoneamento Baixo.....	88
Figura 32 - Hidrógrama com as médias mensais das vazões do rio Branco, na estação Caracaráí, no período 1967-2012.....	89
Figura 33 - Áreas de inundação - Cotas Médias.....	92
Figura 34 - Cotas medias - Zoneamento Alto.....	93
Figura 35 - Cotas medias - Zoneamento Médio.....	94
Figura 36 - Cotas medias - Zoneamento Baixo.....	94
Figura 37 - Áreas de inundação - Cotas Menores.....	97
Figura 38 - Cotas menores - Zoneamento Alto.....	98
Figura 39 - Cotas menores - Zoneamento Médio.....	99
Figura 40 - Cotas menores - Zoneamento Baixo.....	99
Figura 41 - Áreas de Inundação - Cotas Máximas Anuais.....	101
Figura 42 - Área Média - Cotas Máximas Anuais.....	103
Figura 43 - Perfis hipsométricos.....	106
Figura 44 - Perfis hipsométricos na cidade de Caracaráí.....	104
Figura 45 - Perfis A, B, C na margem do Rio Branco em Caracaráí.....	104
Figura 46 - Perfis D, E, F, G, H na margem do rio Branco em Caracaráí na margem do Rio Branco em Caracaráí.....	105
Figura 47 - Pontos de referência dos níveis das águas nas cheias passadas percebidas pela população.....	105
Figura 48 - Declividade na Cidade de Caracaráí - RR.....	108
Figura 49 - Direção da vertente em Caracaráí - RR.....	110
Figura 50 - Cobertura do solo em Caracaráí.....	112
Figura 51 - Barcos usados como moradias na margem do Rio Branco.....	113
Figura 52 - Distância da drenagem principal (Rio Branco) - RR.....	114
Figura 53 - Construções na margem do Rio Branco- Caracaráí - RR.....	115
Figura 54 - Infraestrutura na margem do Rio Branco – Caracaráí – RR.....	116
Figura 55 - Porcentagens dos criterios físicos em Caracaráí.....	119
Figura 56 - Mapa de suscetibilidade a inundações (Criterios Físicos).....	120

Figura 57 - Porcentagens dos critérios socioeconômicos em Caracaraí.....	121
Figura 58 - Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconomicos).....	123
Figura 59 - Limite das áreas de risco a enchentes, inundações ou movimentos de massa.....	125
Figura 60 - Porcentagens das Áreas em Risco a Inundações em Caracaraí.....	126
Figura 61 - Barcos e construções usadas como moradias na margem do rio Branco.....	127
Figura 62 - Mapa de áreas de risco a inundações – Caracaraí.....	128
Figura 63 - Fotografias dos tempos de Chuvas no Caracaraí (2017 – 2018).....	129
Figura 64 - Sede Municipal de Caracaraí – RR inundada em 2011.....	130
Figura 65 - Quadras de baixo risco a inundações em Caracaraí – RR.....	133

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 -	Classificação dos sistemas fluviais.....	22
Quadro 2 -	Tipos e causas de inundações nos rios.,.....	31
Quadro 3 -	Tipos de medidas estruturais e não estruturais.....	35
Quadro 4 -	Fatores de vulnerabilidade.....	37
Quadro 5 -	Quantitativo mundial de numero mortes por evento natural.....	40
Quadro 6 -	Utilidade dos Sensores Remotos.....	45
Quadro 7 -	Escala de comparação de critérios, segundo Saaty (1980).....	50
Quadro 8 -	Índice de aleatoriedade (RI) para n = 15.....	51
Quadro 9 -	População nas localidades principais.....	53
Quadro 10 -	Pontos de Controle das Imagens Drone.....	64
Quadro 11 -	Situação atmosférica Imagen Rapideye.....	66
Quadro 12 -	Situação atmosférica para diferentes valores de pixel escuro.....	66
Quadro 13 -	Valores do IEA para o sensor Rapideye.....	67
Quadro 14 -	Ponderação do critério declividade.....	73
Quadro 15 -	Ponderação do critério áreas inundáveis.....	74
Quadro 16 -	Ponderação do critério vertente.....	74
Quadro 17 -	Ponderação do critério Distanciamento à margem da drenagem.....	74
Quadro 18 -	Ponderação do critério Cobertura do solo.....	75
Quadro 19 -	Valor de Importancia dos critérios físicos.....	77
Quadro 20 -	Matriz de comparação dos critérios físicos.....	77
Quadro 21 -	Ranking de critérios Físicos.....	77
Quadro 22 -	Valor de importância dos critérios socioeconômicos.....	78
Quadro 23 -	Matriz de comparação dos critérios socioeconomicos.....	78
Quadro 24 -	Ranking de critérios socioeconômicos.....	78
Quadro 25 -	Dados Hidrológicos das maiores cotas anuais desde 1967 até 2017.....	81
Quadro 26 -	Recorrência em Cotas Máximas Anuais.....	82
Quadro 27 -	Cotas Maiores da Estação Caracaráí 14710000.....	84
Quadro 28 -	Cálculo das Cotas Maiores da Estação Caracaráí 14710000.....	85
Quadro 29 -	Cotas Meias da Estação Caracaráí 14710000.....	90
Quadro 30 -	Calculo das cotas Meias da Estação Caracaráí 14710000.....	93
Quadro 31 -	Cotas Menores da Estação Caracaráí 14710000.....	95

Quadro 32 - Cálculo das cotas menores da Estação Caracaraí 14710000.....	96
Quadro 33 - Cálculo das cotas Máximas anuais da Estação Caracaraí 14710000.....	101
Quadro 34 - Declividade na Cidade de Caracaraí.....	109
Quadro 35 - Direção das vertentes na cidade de Caracaraí.....	109
Quadro 36 - Cobertura do Solo.....	111
Quadro 37 - Áreas de vulnerabilidade física à inundações em Caracaraí.....	118
Quadro 38 - Áreas de vulnerabilidade socioeconômica à inundações em Caracaraí.....	121
Quadro 39 - Áreas de risco à inundações em Caracaraí.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytical Hierarchy Process
ANA	Agencia Nacional de Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m/km	Metro por Quilômetro
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
SIG	Sistemas de Informação Geografica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UFRR	Universidade Federal de Roraima
VANT	Veiculo Aéreo não Tripulado

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1. SISTEMAS FLUVIAIS	22
2.1.1. Geomorfologia Fluvial em Roraima (Rio Branco)	23
2.1.2. Dinâmicas fluviais nos Sistemas Tropicais	25
2.2. DESASTRES NATURAIS	26
2.3. INUNDAÇÕES.....	27
2.3.1. Ciclo Hidrológico e as Inundações	29
2.3.2. Gestão de Inundações em Áreas Urbanas	35
2.4. VULNERABILIDADE.....	36
2.5. RISCOS NATURAIS.....	38
2.6. PLANEJAMENTO TERRITORIAL E ÁREAS DE RISCO.....	41
2.6.1. Planejamento Territorial no Brasil	41
2.6.2. As Áreas de Risco a Inundações no Planejamento Urbano	42
2.7. GEOTECNOLOGIAS NO CAMPO GEOGRÁFICO: SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	43
2.7.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	44
2.7.2. Sensoriamento Remoto	45
2.7.3. Análise Espacial	48
3. OBJETIVOS	53
3.1. OBJETIVO GERAL	53
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
4. MATERIAL E METODOS	54
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	54
4.1.1. Localização e Acesso	54
4.1.2. Aspectos Fisiográficos	56
4.2. MATERIAIS UTILIZADOS	60
4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	62
4.3.1. Etapa de campo	63
4.3.2. Etapa de laboratório	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1. ÁREAS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE CARACARAÍ.....	81
5.1.1. B - Cotas Maiores	85
5.1.2. C - Cotas Médias	91
5.1.3. D - Cotas Menores	96

5.1.4.	A - Cotas Máximas Anuais	101
5.2.	O RISCO NA CIDADE DE CARACARAÍ – RR	108
5.2.1.	Critérios Físicos	108
5.2.2.	Critérios Socioeconômicos	112
5.2.3.	Processamento AHP (Analytical Hierarchy Process)	118
5.2.4.	Resultados: Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Físicos)	119
5.2.5.	Resultados: Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconomicos) ..	122
5.2.6.	Resultados: Mapa de Riscos à Inundações na Cidade de Caracarái	125
5.3.	ESTRATÉGIA PARA A DIMINUIÇÃO DE PERDIDAS HUMANAS	130
	NO CASO DE INUNDAÇÕES EM CARACARAÍ.....	130
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICES.....	147

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras têm sofrido constantes inundações decorrentes dos altos índices pluviométricos. Esses fatores podem ser acelerados por intervenção de tipo antrópica como a falta de planejamento no uso e ocupação do solo nas cidades, permitindo a construção de obras de drenagem inadequadas que obstruem rios, canais e condutos, agravando assim os efeitos das inundações. Dessa forma os estudos sobre inundações das cidades construídas nas margens dos rios são de grande interesse no planejamento urbano e rural (TUCCI, 1999).

O estado de Roraima e seus municípios em continuo desenvolvimento carecem de trabalhos técnicos (hidrológicos, geológicos, geomorfológicos) atuais que ajudem nos processos de planejamento urbano, os quais tendem a redução de risco e vulnerabilidade no caso de eventos naturais extremos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Caracaráí, cidade localizada na margem esquerda do Rio Branco, torna-se vulnerável em casos de cheias extremas, como por exemplo junho de 2011, onde o nível do rio Branco atingiu 10,21 metros. Segundo os dados obtidos na estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) na cheia anterior, de 1976, o volume subiu 9.8 metros segundo informações do governo estadual (Figura 1).

Os resultados dessas inundações têm as seguintes consequências como: danos materiais, dificuldade de escoamento da produção, desabastecimento da energia em localidades isoladas do interior, desabastecimento de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), desabastecimento de gasolina, perda da safra agrícola, agravamento do quadro de doenças de vinculação hídrica, desabastecimento de gêneros alimentícios, sobretudo hortifrutigranjeiros e perecíveis, comprometimento dos estoques de medicamentos, dentre outros(GOVERNO DE RORAIMA, 2011).

Figura 1 - Vistas parciais da cheia do ano 2011 (máxima histórica registrada) no rio Branco na cidade de Caracará. (A) Av. Bem-Querer localizada no centro da cidade de Caracará considerada um dos pontos mais altos em relação à cidade. (B) Locais as margens do rio Branco onde ocorreram as inundações.



Fonte: Olivera (2014).

A política de controle é fator determinante para a redução do risco e vulnerabilidade urbana que deve ser de responsabilidade do município, através do controle de loteamento e de seus projetos de esgoto pluviais. As medidas estruturais e não estruturais implementadas conjunto ao planejamento da cidade permitem um gerenciamento ótimo da cidade (TUCCI, 2004).

Com o desenvolvimento das geotecnologias para diferentes processos espaciais, dentro destas a possibilidade de uso dos SIGs (Sistemas de Informação Geográfica), têm permitido incluir uma visão geral dos fenômenos sociais/naturais, obtendo resultados que logram uma maior compressão dos acontecimentos espaciais. Deste modo, o técnico geógrafo tem a possibilidade de efetuar pesquisas fazendo uso de seus conhecimentos do espaço, bem como ferramenta na investigação (SIGs) e publicar seus resultados. Os mesmos podem ser considerados para a tomada de decisões pelos órgãos competentes (NOVO, 2010).

O seguinte trabalho procura gerar uma ferramenta de auxílio aos órgãos municipais, estaduais e nacionais competentes na elaboração dos programas de mitigação, planejamento do uso do solo nas áreas de risco à inundações, dentre outros.

Os resultados desta pesquisa estão divididos em três capítulos, os quais são de importância na caracterização do risco à inundações destacando: delimitação das áreas inundáveis, caracterizar as áreas de risco à inundações e estratégia para a diminuição de perdas humanas no caso de inundações em Caracará.

O trabalho se deu por meio de métodos tais como: normativa GEADE-003 MP/ SPU de 4 de junho de 2001, que considera para o cálculo da média das enchentes ordinárias, a identificação da cobertura terrestre proposto pelo Centro de Investigação y Desenvolvimento (CIAF) do Instituto Nacional Geográfico Agustín Codazzi Colômbia e o método AHP- *Analytical Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico (SAATY, 1980) na avaliação das variáveis na mensuração do risco sendo usada como técnica de geoprocessamento. Assim também, fazendo uso de imagens geradas por sensores remotos como Rapideye, SRTM, Drone Phantom 4 e uso dos softwares SIG como: ArcGis 10.5.1 e ENVI 5.3.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O homem é um organismo dotado com capacidade de razão permitindo compreender novos conhecimentos a partir da curiosidade de conhecer como acontecem os fenômenos naturais onde ele habita. Nesse primeiro momento, o homem descobriu a geografia de maneira abstrata através da necessidade de entender o meio em que vive desenvolvendo suas atividades diárias como: caça, pesca, colheita, entre outros. A Geografia como ciência fez parte da filosofia na antiga Grécia (CAVALCANTI, 2010).

A Grécia antiga é considerada como precursora do embasamento cultural da civilização ocidental, com significativas influências em filosofia, política, linguagem, educação, arte, tecnologia, arquitetura e ciências, pelas formas de conhecimento, métodos de reflexão ou teoria da realidade (CAVALCANTI, 2010).

A Geografia é uma ciência que pode ser considerada multidisciplinária porque necessita os conhecimentos de outras ciências para explicar os diferentes tipos de fenômenos geográficos. Em seu estudo, ensinamentos relacionados a outras ciências geralmente estão envolvidos, tais como: biologia, geologia, antropologia, entre outras (HAESBAERT, 2014).

A geografia teve inúmeras conceitualizações ao longo da sua história. Segundo Claval (2006), explica a geografia geral (1890-1950) como:

Ciência natural das paisagens e das sociedades ocupa um lugar importante no estudo dos fenômenos físicos e mostra-se mais à vontade no tratamento das sociedades tradicionais do que no mundo urbano e industrializado cuja difusão se acelera.

A partir da década de 90 do século XIX a geografia concebe 3 concepções de disciplina: 1) Geografia Tradicional (Física): estudo da diferenciação regional, 2) Geografia humana: as relações dos grupos humanos e do ambiente e 3) Proposta de definição unitária: A geografia como estudo das paisagens.

Neste sentido, a geografia tem 3 objetivos de estudo centrados no espaço físico, humano ou na inter-relação das anteriores mencionadas e as pesquisas no meio geográfico ficam direcionadas neste contexto.

Nesta pesquisa está focalizada no estudo dos aspectos físico e humanos, pois o tema de risco intervém os dois aspectos da geografia. No aspecto físico, a geografia analisa os fenômenos naturais representadas pelas inundações. No aspecto humano, estuda a população e como ela interage com os fenômenos físicos produto de sua localização geográfica.

Os principais fatores físicos que podem interferir no estudo de um fenômeno natural são: topografia, morfologia, declividade, litologia, tipo de cobertura vegetal, usos de solo, taxa de impermeabilização, processos e condicionantes de drenagem natural e características de rede hidrográfica.

Além dos fatores físicos que influenciam um fenômeno natural, existem fatores antrópicos que pode intevir principalmente em áreas urbanas como: manutenção da rede, limpeza e conservação, dimensionamento dos boleiros e condutas, Existência de estrangulamentos na rede, entre outros (SOUSA, 2006).

As inundações podem ser condicionadas pela conjugação de um conjunto de fatores permanentes geográficos que geram condições para sua ocorrência num determinado local chamado também de probabilidade espacial de ocorrência. Os fatores desencadeantes influenciam o despoletar do fenômeno num momento específico, também chamado como probabilidade temporal de ocorrência (SOUSA, 2006).

2.1. SISTEMAS FLUVIAIS

Em qualquer momento, aproximadamente 1.250 km³ de água estão fluindo pelas hidrovias da terra produto dos processos relacionados à correntes são fluviais, sendo o trabalho do geógrafo analisar os padrões de correntes e os processos fluviais que os criaram (CHRISTOPHERSON, 2012).

O reconhecimento dos sistemas fluviais tem muita importância para conhecer como foi estruturado o processo atual do rio, as variações e características que sua presença transforma a paisagem, sendo assim um fator determinante no caso de eventos naturais.

Os sistemas fluviais têm processos caraterísticos que intervem na produção de acidentes geográficos reconhecíveis, de forma aleatória. A percepção coletiva mais reconhecível de um sistema fluvial é o rio entendido como um tronco, corrente principal ou sistema fluvial inteiro (CHRISTOPHERSON, 2012).

Os sistemas fluviais no longo da história têm sido classificados por suas características em 5 tipos como: (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação dos sistemas fluviais.

Tipo de Classificação	Classificação	
Regime	- Perene - Efêmeros	- Intermitente
Relação a sua sub superfície	- Efluentes	- Influentes
Rede de Drenagem	- Dendrítico - Treliça - Anelar	- Paralelo - Radial
Substrato	- Consequentes - Obsequentes - Superimpostos	- Insequentes - Antecedentes
Morfologia do Canal	- Parametros Morfometricos - Entrelaçado - Retilíneo	- Anastomosado - Meandrante

Fonte: Chistofoletti (1981); Cunha (1995); Riccomini et al. (2001), apud Sander (2015).

2.1.1. Geomorfologia Fluvial em Roraima (Rio Branco)

No Brasil, os principais estudos da temática de dinâmica morfogênica em grandes sistemas fluviais ficam encaminhados aos rios Paraná, Araguaia, Paraguai, assim como os sistemas fluviais amazônicos dos rios Negro e Amazonas (SANDER, 2015).

Os trabalhos dos sistemas fluviais são muito recentes com antecedentes da década de 1990 (PHILLIP et al., 1989 apud SANDER, 2015) os quais permitem um avanço nos estudos de geomorfologia fluvial.

Segundo Sander (2015), os canais são classificados em:

- a) Rochoso (Bedrock channels). - Fluem em rochas do embasamento trecho o qual está comumente ligado as nascentes dos rios. Possuem uma lenta dinâmica de processos geomorfológicos

b) Canais aluviais (Alluvial channels). – Possui um leito arenoso com barras e bancos arenosos formados por material sedimentar transportado pelo sistema fluvial. Muita variedade de formas (channels patterns) pela resposta as variáveis hidrológicas, climáticas, geológicas e sedimentares.

Este tipo é mais comum nos grandes rios por apresentar uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensos.

c) Canais semi-controlados (semi controlled channels). – Apresentam em certos trechos, leitos rochosos ou aluviões resistentes.

As características geomorfológicas fluviais do rio Branco são destacadas por Sander (2015): Profundidade média de 4,9 metros, baixa sinuosidade e declividade média de linha d' água de 10,6 cm/Km. Sua largura/ profundidade é de aproximadamente 130 vezes em trechos não sinuosos, reduzindo a valores próximos a 100 vezes em trechos sinuosos. O sistema do rio Branco possui uma planície aluvial estreita, com uma largura que varia de pouco mais de 2,5 km a praticamente 4 km no baixo curso, a planície aluvial supera os 10 km de largura.

A bacia do rio Branco está quase totalmente inserida em Roraima, espalha-se por uma pequena área de Guiana, ao longo dos rios Tacutu e Maú ou Ireng, que servem de fronteira internacional (SANDER, 2015).

A rede de drenagem organizada pelo rio Branco segundo Franco et al (2008), se forma na confluência dos rios Uraricoera e Tacutu e desagua no rio Negro, constituído seu maior tributário. Seus afluentes principais pela margem direita são os rios Cauamé, Mucajaí, Ajarani, Água Boa do Univini e Catrimani. Pela margem esquerda são os rios Quitauaú, Cachorro, Anauá e Inapará.

A bacia hidrográfica do rio Branco tem uma área de 191.271 km², é a maior bacia de captação do rio Negro correspondendo ao 26,4% da superfície total (724.511,36 km²); corresponde a uma bacia de nível três. Conta com um total de 73 micro- bacias (ANA, 2017).

2.1.2. Dinâmicas fluviais nos Sistemas Tropicais

Segundo Sander (2012), os sistemas tropicais são responsáveis pela drenagem e transporte da maior parte de água e sedimentos produzidos pelo planeta, e abrigam a maior parte dos fenômenos físicos / ambientais da crosta terrestre, as quais mudam em relação ao transcurso do tempo. As estruturas que sofrem maior mudança pelo passo do tempo são os sistemas fluviais.

O tempo que transcorre em um sistema fluvial vai modificar variáveis como: Geologia (Litologia, Estrutura), Paleoclima, Paleohidrologias, Relevo ou volume do sistema acima do nível de base, Dimensão do vale (largura, declividade e profundidade), Clima (precipitação, temperatura e sazonalidade), Vegetação (tipo de densidade, Hidrologia (descarga média de água e sedimentos), Morfologia do canal, e Hidráulica de fluxo (para toda a seção).

Os principais sistemas fluviais nas áreas tropicais segundo Sander (2015), são compostos pelos Sistemas Fluviais Africanos de Áreas Úmidas, Grandes Rios de Terras Áridas, Sistemas Fluviais da Ásia e finalmente, pelos Sistemas Fluviais Sul americanos da Porção Equatorial.

- a) Sistemas Fluviais Africanos de Áreas Úmidas. – Os principais rios deste sistema fluvial são Rio Congo e o Rio Zambeze, os quais sua precipitação é determinada pela posição do ZCIT, com uma pluviosidade média de 1.600 mm e 1200 mm respectivamente.
- b) Grandes Rios de Terras Áridas. – São regiões caracterizados pelos baixos valores de vazão de pico por unidade de área drenada. Estão relacionados ou posicionados junto ao raio de ação de áreas tropicais dos rios Nilo e Indus.
- c) Sistemas Fluviais da Ásia. – Este tipo de rios geralmente drenam as águas de sul-sudeste do maciço do Himalaia, ao quais tem climas sazonalmente bar trópicos influenciados pela ZCIT, e pelos sistemas consecutivos organizados. (WOHL, 2007). Os principais rios característicos deste sistema são: Rio Canga, Rio Brahmaputra e Rio Mekong.
- d) Sistemas Fluviais Sul americanos da Porção Equatorial. – Os sistemas hidrológicos na América de Sul são os mais dotados hidrológicamente. As maiores bacias hidrográficas do planeta e grandes afluentes são a principal característica deste tipo de sistemas. Nesta área localiza-se a bacia maior do planeta que é a Bacia do Rio Amazonas, o qual é a maior em produção de sedimentos em suspensão do planeta com volumes de até 1.300 milhões de ton/ano (LATRUBESSE et. al., 2005). Os principais rios desta região são: Rio Amazonas e Rio Orinoco, com seus afluentes respectivamente.

2.2. DESASTRES NATURAIS

Ao longo da história a humanidade tem enfrentado diversos fenômenos naturais que em muitos casos há gerado danos materiais e humanos convertendo-se assim, em desastres naturais.

Os desastres naturais são determinados a partir da relação entre o homem e a natureza. Em outras palavras, desastres naturais resultam das tentativas humanas em dominar a natureza que, em sua maioria, acabam derrotadas (KOBİYAMA,2006).

Nos últimos 50 anos os desastres naturais têm crescido dramaticamente, com respeito tanto à quantidade de acontecimentos como à extensão das perdas ocorridas. (Figura 2). Aparentemente, as calamidades intensificarem-se exponencialmente nos países em desenvolvimento, sendo a Ásia o continente onde as maiorias das catástrofes naturais acontecem, aproximadamente um 50% dos desastres naturais no nível mundial (KRAUS, 2014).

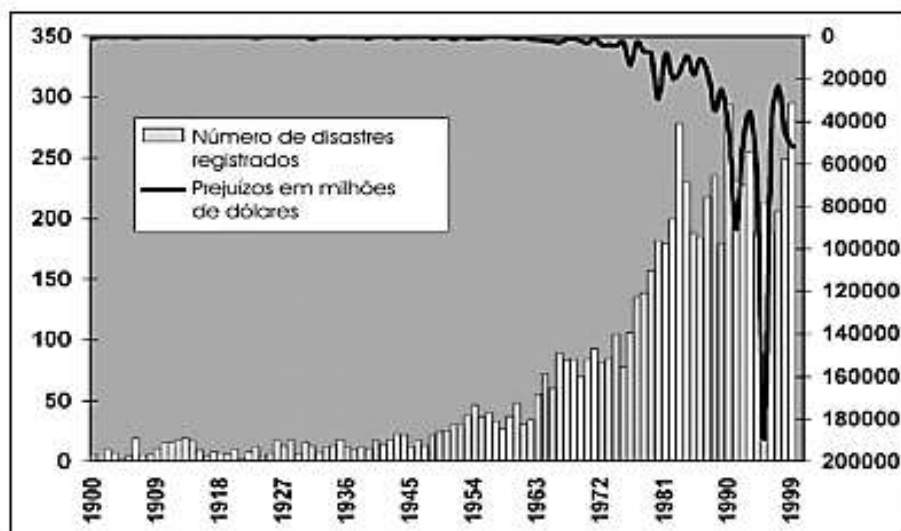
Isto se deve, principalmente, ao aumento da população, a ocupação desordenada e ao intenso processo de urbanização e industrialização. Dentre os principais fatores que contribuem para desencadear estes desastres nas áreas urbanas, destacam-se a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar. Enquanto que nas áreas rurais, destaca-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas (KOBİYAMA,2006).

Segundo Alcántara-Ayala (2002), a ocorrência dos desastres naturais não está ligada somente à suscetibilidade das características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto, isto é, o sistema econômico-social-político-cultural.

Finalmente, os desastres naturais se constituiriam em eventos danosos para os grupos humanos, mas cujas superações são possíveis, enquanto que as catástrofes naturais atraem consequências irreversíveis para os sistemas atingidos (NUNES, 2015).

BBC BRASIL, (2003) coloca em suas investigações que Brasil é o país do continente americano com maior número de pessoas afetadas por desastres naturais.

Figura 2 - Desastres naturais ocorridos no mundo e seus respectivos prejuízos.



Fonte: Alcántara-ayala (2002).

2.3. INUNDAÇÕES

De todos os perigos os quais os seres humanos são expostos, as inundações são provavelmente o mais responsável pela maioria de danos e número de vidas perdidas. Nas inundações também inclui impactos especiais em suas vítimas, instalando o medo das consequências que usualmente excede os impactos atuais. Também em sérios impactos secundários na economia das regiões afetadas, podem ter influência no manejo da agricultura em áreas sem risco por algum tempo (ALEXANDER, 1993).

Inundações, escorregamentos, secas, furacões e outros são fenômenos naturais severos fortemente influenciados pelas características regionais, tais como: rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômico) são considerados como “desastres naturais” (KOBİYAMA,2006).

Os geógrafos ficam estudando a complexidade dos perigos de inundações por muitos anos fazendo significativas contribuições em seu entendimento, principalmente na hidrologia das inundações, avaliando o impacto dos regimes de inundações em seres humanos (HOLLIS ,1988) por meio da avaliação espacial das inundações (NEWSON, 1989) ou entendendo a geomorfologia dos processos de planos de inundações (ANDERSON *et al.*1996).

Um dos casos mais importantes documentados sobre os efeitos das inundações em áreas urbanas foi a catástrofe na Carolina do Norte em 1999. Entre setembro e outubro do referido ano, furações Dennis, Floyd e Irene levaram vários metros de precipitação ao estado, sendo que cada tempestade caiu sobre o solo já saturado. Cerca de 50.000 pessoas ficaram desabrigadas e pelo menos 50 morreram, enquanto mais de 4.000 residências foram perdidas e a mesma quantidade sofreu sérios danos (CHRISTOPHERSON, 2012).

Estes fenômenos naturais são parte dos sistemas fluviais que correspondem a resposta destes a um determinado volume de água que ultrapassa o limite normal do curso do rio, mas é importante conhecer a diferença entre cheia e inundação.

Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios. (CHRISTOPHERSON, 2012) Todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas as cheias (Figura 3).

Figura 3 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: Brasil (2014).

Definir e discernir os conceitos de cheia/inundações é importante para entender como os fenômenos atuam no espaço. Segundo Chow (1956, p.15), define a cheia e inundações como:

Enchente ou Cheia: Refere-se a um fenômeno hidrológico extremo, de frequência variável natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia).

Inundações: Refere-se aos fenômenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consiste na submersão de uma área usualmente emersa.

Sander et al, (2012, p. 42) concorda com os conceitos acima e os define como:

Enchente ou Cheia: representa-se um período natural de aumento do fluxo que pode ou não extravasar o limite do canal (Nível de Margens Plenas).

Inundação: equivale ao processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo de calha principal do rio.

Tucci (2003a), define a inundação como o fenômeno que ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros.

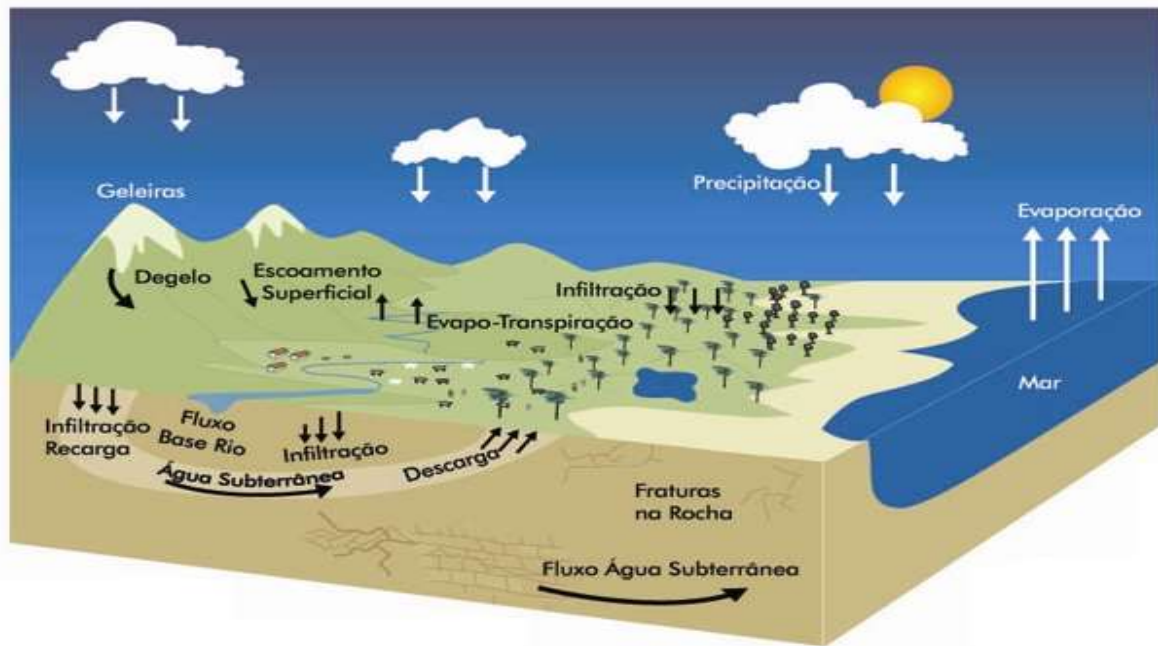
Se pode finalmente definir que as cheias são fenômenos naturais hidrológicos extremos que consiste no transbordo, o aumento de fluxo de água do limite ou curso normal do rio ou como fenômenos naturais hidrológicos extremos onde o extravasamento de água produz uma submersão de uma área emersa geralmente à margem do rio.

2.3.1. Ciclo Hidrológico e as Inundações

O ciclo hidrológico fica na baixa atmosfera a vários quilômetros da superfície terrestre envolvendo a circulação e transformação da água, a travez da atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera da terra (Figura 4) (CHRISTOPHERSON, 2012).

Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos (translação da água pela atmosfera), a força da gravidade (Precipitação, infiltração e deslocamento das massas de água). Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem (TUNDISI, 2003).

Figura 4 - O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera.

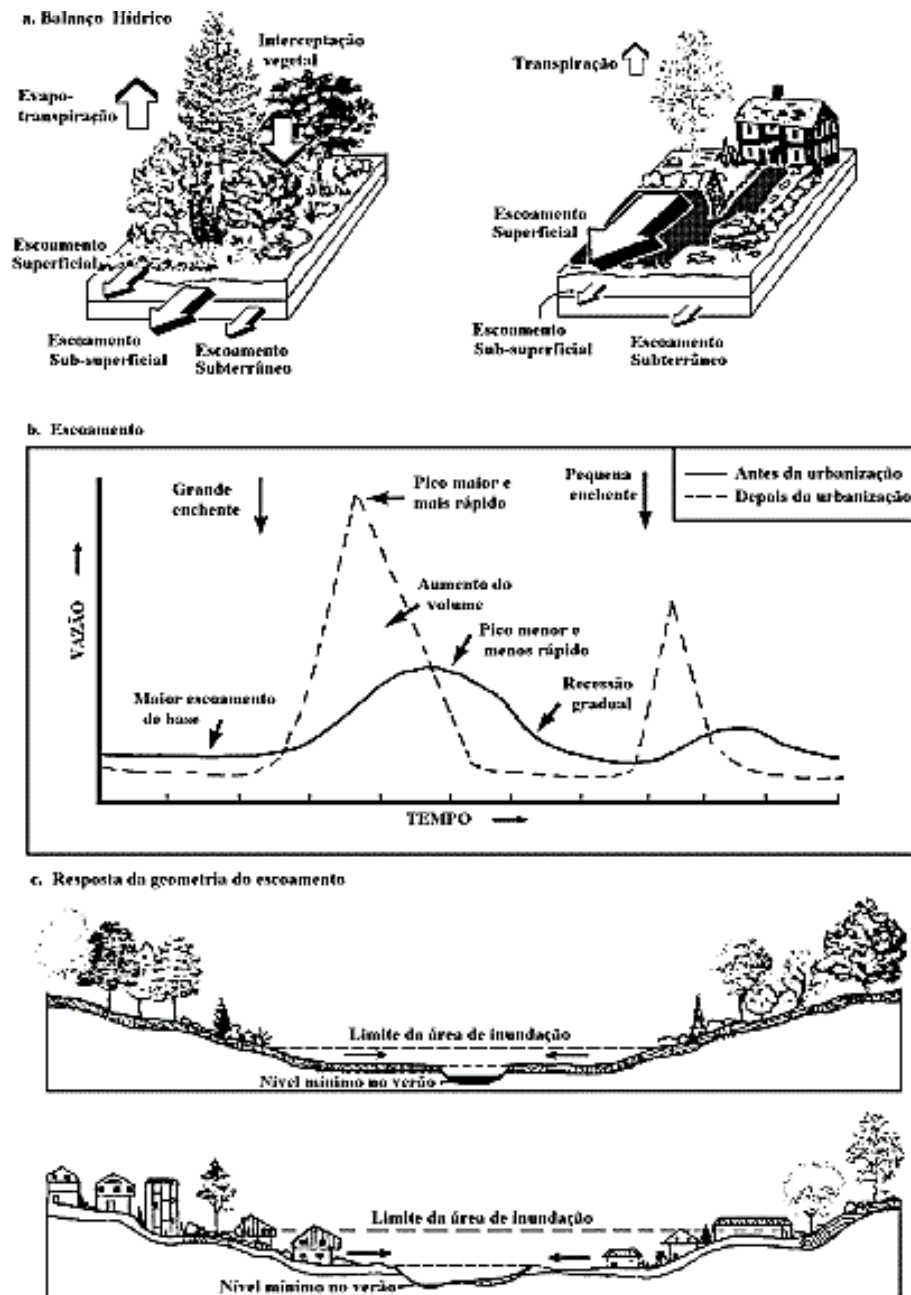


Fonte: Tundisi (2003).

O ciclo hidrológico pode sofrer mudanças em seu desenvolvimento normal produto de modificações principalmente de tipo antrópica, intensificando os efeitos dos fenômenos naturais associados, como inundações. O desenvolvimento urbano é considerado um fator que gera alterações no ciclo hidrológico, transformando a cobertura vegetal e impermeabilizando o solo, causando as seguintes consequências (TUCCI, 2003):

- a) Redução da infiltração no solo
- b) Produto desta diminuição na infiltração, aumenta o escoamento superficial
- c) Dependendo o sistema de escoamento superficial da cidade, ocorre redução do tempo de deslocamento, provocando assim aumento nas vazões máximas.
- d) Diminuição do nível do lençol freático pela falta de alimentação, reduzindo o escoamento subterrâneo.
- e) As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado.
- f) A impermeabilização do solo e perda da cobertura vegetal produz uma redução da evapotranspiração (Figura 5).

Figura 5 - Características das alterações de uma área rural para urbana.



Fonte: Schueler (1987).

As inundações fluviais têm período de retorno que geralmente é 2.3 anos. (NEWSON, 1989). Alguns rios extravasam sobre as margens quase todos os anos por diferentes fatores como ao derretimento da neve ou por causa da precipitação em intervalos irregulares. Algumas inundações podem considerar se como extremas quando trazem níveis da água muito altos, que inundam a planície de inundação durante vários dias. Este tipo de inundações é menos frequente ocorrendo comumente cada 10 a 30 anos. No outro extremo, estão as inundações pouco frequentes ocorrendo cada 2 a 3 anos (GROTZINGER, 2013).

As inundações extremas têm o tempo mais longo de ocorrência ou retorno e geralmente dependem de 3 fatores: o clima da região, a largura da planície de inundação e o tamanho do canal (RAMOS, 2009). Podem ser classificadas dependendo a causalidade do evento como por exemplo: (Quadro 2)

Quadro 2 - Tipos e causas de inundações nos rios.

Tipo	Causa
Cheia (Inundação fluvial)	<ul style="list-style-type: none"> - Chuvas abundantes e/ou intensas - Fusão da neve ou do gelo - Efeito combinado chuva + efeito dos mares e/ou + storm surge - Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos
Inundação de depressões topográficas	<ul style="list-style-type: none"> - Subida da toalha freática (natural ou artificial) - Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida - Cheias
Inundação urbana	<ul style="list-style-type: none"> - Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais - Subida do nível freático (natural ou artificial) - Cheias

Fonte: Ramos (2009).

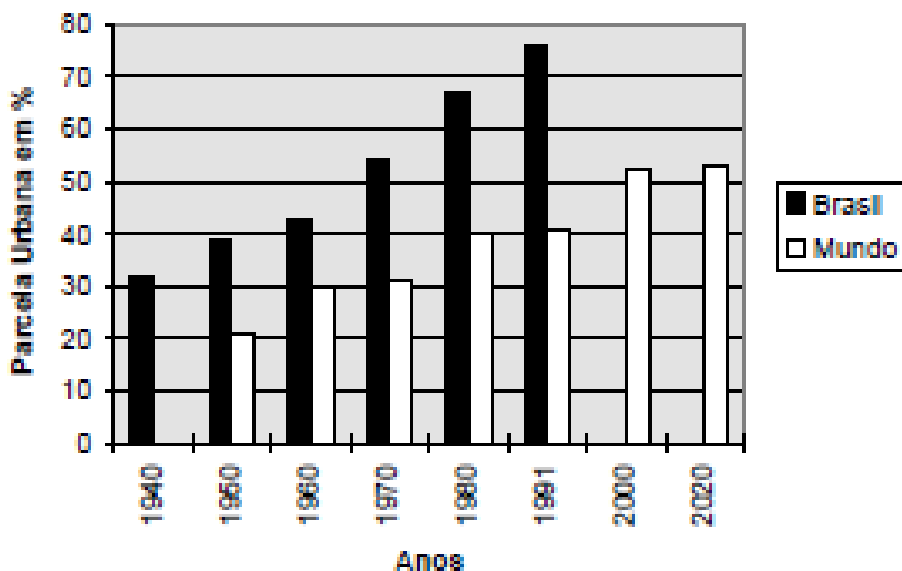
As inundações podem ser classificadas segundo Tucci (2003b) em Urbanas e Ribeirinhas. Por tanto, enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido a impermeabilização, ocupação do solo e a construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

No Brasil, a taxa de crescimento da população brasileira é de 76%, acelerando o desenvolvimento das cidades principais do país. Uma parte do incremento populacional tem relação com a população que migra para as cidades (geralmente de baixa renda) ocupando as áreas de risco de inundações ou de deslizamento. Às áreas invadidas geralmente pertencem ao ente governante (TUCCI, 1999; TUCCI, 2004) (Figura 6).

O Desenvolvimento urbano das cidades com altos índices de crescimento populacional tornou-se insustentável com a deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente, produzindo efeitos na estrutura e morfologia das cidades. O planejamento é realizado apenas

para a parte da cidade ocupada pela população de média e alta renda, enquanto que para as áreas de baixa renda e de periferia o processo se dá de forma irregular ou clandestina (TUCCI, 2004).

Figura 6 - Evolução da urbanização no Brasil e no Mundo.



Fonte: Brasil (2014).

A estrutura urbana da cidade no caso das cheias e inundações pode diminuir ou aumentar o impacto destes fenômenos naturais na cidade. Como regra geral, à medida que a cidade se urbaniza, ocorrem os seguintes impactos (TUCCI, 1996):

Na questão de infraestrutura urbana que podem aumentar o impacto das inundações, Tucci (1996) destaca: pontes e taludes que obstruem o escoamento, redução de seção do escoamento aterros, deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos e projetos e obras de drenagem inadequadas.

A impermeabilização do solo é produto do processo de urbanização tendo assim consequências diretas com o meio ambiente o aumento das vazões máximas até 7 vezes. O aumento pode acontecer pela diminuição da capacidade de escoamento através de condutos, canais e impermeabilização das superfícies (LEOPOLD, 1968).

Os depósitos sólidos urbanos podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação. No desenvolvimento urbano podem ser

observados estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana (TUCCI, 1996):

- a) No estágio Inicial. -Modificação da cobertura da bacia, pela retirada de sua proteção natural, ficando desprotegida a superfície e aumentando a produção de sedimentos.
- b) No estágio intermediário. -Movimentação das terras pela população por novas construções. No processo tem presença de lixo e soma ao processo de produção de sedimentos.
- c) No estágio final. - Áreas urbanas consolidadas e caracteriza pela produção de lixo urbano.

Os esgotos pluviais transportam grandes quantidades de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos. Sendo assim, os despejos podem contaminar os rios, que possuem capacidade limitada de diluição, pela falta de tratamento dos esgotos cloacais. A Ocupação do solo urbano sem controle e sem planejamento cria maior impacto sobre o sistema hídrico e habitando áreas vulneráveis a eventos associados (TUCCI, 1996).

Quando a precipitação é intensa e o solo não tem a capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoava para o sistema de drenagem superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando. As inundações ribeirinhas sucedem pelo processo natural do rio que escoava pelo seu leito maior. A enchente é decorrência de processo natural do ciclo hidrológico. Quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, a intensidade dos impactos aumenta (TUCCI, 1996).

As principais condições de ocorrência do risco por causa das inundações de tipo ribeirinhas segundo Tucci (1996), são:

- a) Os Planos Direto Urbanos das cidades em geral, não tem nenhuma restrição quanto ao loteamento em áreas de risco de inundação, a sequência de anos sem enchentes é razão suficientes para que empresários loteiem áreas inadequadas.
- b) Invasões de áreas ribeirinhas pela população de baixa renda
- c) Ocupação de áreas de médio risco

2.3.2. Gestão de Inundações em Áreas Urbanas

As medidas para a gestão e controle da inundação podem ser do tipo estrutural que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes e não estrutural aquelas que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes (TUCCI, 2004).

As medidas estruturais são divididas por TUCCI (2004) em extensivas ou intensivas. a) Medidas extensivas - São aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão. Exemplo: alteração da cobertura vegetal do solo. b) Medidas intensivas – São as que agem no rio e podem ser de três tipos: aceleram o escoamento, a exemplo da construção de diques e polders; retardam o escoamento, a exemplo dos reservatórios e bacias de amortizamento e por fim o desvio de canais de escoamento.

As medidas não estruturais são aquelas que podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundada por medidas estruturais geralmente é superior ao de medidas não estruturais. Os tipos de medidas não são viáveis fisicamente e economicamente, mas podem diminuir significativamente os prejuízos com uma inversão menor (TUCCI, 2004) (Quadro 3).

Quadro 3 - Tipos de medidas estruturais e não estruturais segundo Tucci (2004).

Medidas	Tipologia	Vantagem	Aplicabilidade
Estruturais	Controle de cobertura vegetal	Amortecimento do escoamento/ redução do pico de cheia	Pequenas bacias
	Controle de erosão	reduz assoreamento	Pequenas bacias
	Reservorios	controle da vazão jusante	Grandes e medias bacias
Não estrutural	Zoneamento em áreas de inundação	Regulamentação do uso da terra ou zoneamento das áreas inundáveis	Bacias nas cidades
	Construções a provas de enchentes	Reduz as perdas de prédios localizados nas vazias de inundação	Margens dos rios
	Seguro de enchentes	Proteção econômica para as perdas decorrentes dos eventos de inundações	Nível de cidades
	Precisão e alerta de inundação	Transmissão da informação para um centro de análise prévio	Nível de cidades
	Plano diretor de drenagem Urbana	Planejamento na distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana; controle da ocupação em áreas de risco à inundações; Convivência com as enchentes em áreas de baixo risco	Nível de cidades

Fonte: Tucci (2004).

2.4. VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade coloca em jogo aspectos físicos, ambientais, técnicos, dados econômicos, psicológicos, sociais, políticos. Ela não pode ser definida com simples indiciem científicos ou técnicos. No caso das inundações, o limite máximo atingido pelas águas, supondo que ele seja cientificamente aceitável, não é suficiente para distinguir a vulnerabilidade desigual dos lugares (VEYRET, 2007).

Segundo Pelling (2003) e Hill e Cutter (2001) a vulnerabilidade denota a exposição ao risco e a incapacidade de evitar ou absorver danos em potencial, sendo dividida em três tipos: física que esta relacionada às construções, social que esta relacionada ao sistema social, econômico e político e por fim, humana que diz respeito a união entre a física e a social.

A vulnerabilidade individual por Pelling (2003) e Hill e Cutter (2001) é como a suscetibilidade de uma pessoa ou uma estrutura a sofrer um dano potencial, a vulnerabilidade social baseia-se nas características dos grupos sociais as quais os fazem mais ou menos vulneráveis e vulnerabilidade biofísica que pode ser considerada como sinônimo de exposição física, por tanto, o grau de susceptibilidade de um local ou área à ocorrência de um perigo natural.

Os indicadores de vulnerabilidade podem refletir quantitativamente um fenômeno e pode ser utilizado para entender a capacidade de um determinado grupo social (cidade, comunidade, etc.) para absorver, enfrentar ou recuperar-se de um desastre natural e antrópico. (PINE, 2008).

Os fatores que permitem estimar a vulnerabilidade são numerosos. Eles devem ser classificados segundo sua importância, em uma escala escolhida com cuidado segundo os sítios analisados e a precisão dos dados disponíveis. Em seguida, eles podem ser ponderados a fim de que seja obtido um valor de vulnerabilidade por unidade de superfície definida (CHARDON, 1994). O quadro 4 apresenta os fatores de vulnerabilidade.

Quadro 4: Fatores de vulnerabilidade.

Fatores físicos ou ambientais de avaliação da vulnerabilidade	Fatores socioeconômicos de avaliação da vulnerabilidade.
Conhecimento de crises e catástrofes passadas.	Grau de aceitação do risco em função do nível de conhecimento, do nível econômico e da educação... Ausência ou existência de uma educação para o risco e de preparação para a crise.
Intensidade do último acontecimento mais importante registrado	Tecido social do bairro.
As zonas de impacto das áreas.	Presença de hospitais, postos de corpo de bombeiros.
As zonas onde os trabalhos de organização do território (aterros viários, contenção de encostas) foram feitos.	Existência de escolas, universidades, casas de repouso e, mais globalmente, equipamentos sociais de acolhimento ao público.
Natureza dos processos naturais, antrópicos, industriais em causa.	Densidade da população. Estrutura etária, situação sanitária.
	Rede de água, eletricidade e gás.
	Acessibilidade: redes de comunicação, telefone e de informação disponíveis.
	Meios e terminais de transporte. Estado de malha rodoviária.

Fonte: Chardon (1994).

Segundo o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (REBERO, 2003), classifica a vulnerabilidade em seis fatores: socioeconômico, saúde, educação, físico ambiental, infraestrutura urbana e ocupação e por fim, percepção de risco.

- a) Socioeconômico - corresponde ao gênero, idade e renda das pessoas residentes das áreas de risco investigadas.
- b) Saúde - corresponde à existência de pessoas com doenças crônicas e pessoas com deficiência nas áreas de risco.
- c) Educação – refere-se à alfabetização e nível de escolarização das pessoas residentes nas áreas de risco investigadas.
- d) Físico-Ambiental - abrangem aspectos relativos ao padrão construtivo da casa, presença de materiais no solo, evidências de movimentação e outras patologias estruturais.
- e) Infraestrutura urbana e ocupação do solo - refere às condições de urbanização do setor de risco, próximo (no logradouro) às moradias investigadas.
- f) Percepção de Risco - objetiva identificar se os moradores conhecem os riscos a que estão expostos, se acreditam que estão preparados para enfrentá-los.

2.5. RISCOS NATURAIS

Em dezembro de 1989 na Suíça, foi realizada a quadragésima quarta sessão da *Decade for Natural Disaster reduction- IDNDR*, na qual foi discutido políticas visando reduzir os danos sociais e materiais provocados por “Calamidades naturais”, propiciando atividades pré-impacto como: Planejamento, prevenção e previsão. (MATTEDI; BUTZKE, 2001) (Quadro 5).

Quadro 5 - Quantitativo mundial de número de mortes por evento natural.

Tipos de eventos	Mortes		
	1960-1969	1970-1979	1980-1989
Enchentes	28.700	46.800	38.598
Ciclones	107.500	343.600	14.482
Terremotos	52.500	389.700	53.740
Furacões			1.263
Outros eventos			1.011.77
Total	188.700	780.100	1.119.860

Fonte: UNDP (1991).

A ideia de risco tem acompanhado desde sempre o homem. No princípio, os riscos eram exclusivamente naturais; pouco a pouco, além desses apareceram outros como consequência das suas próprias atividades, tendo ou não componente natural. Hoje, os riscos são já de toda ordem: naturais, socioeconômicos e tecnológicos (FAUGERES, 1991).

O risco é uma construção social. A percepção que os atores têm de algo que representa um perigo para eles próprios, outros e seus bens; contribui para construir o risco que não depende unicamente de fatos ou processos objetivos (VEYRET, 2007).

A noção de risco é complexa. Discute-se a origem do termo “Risco”, presente em todas as línguas europeias (Ingles: *risk*, Italiano: *rischio*, espanhol: *riza*). Ela pode ser oriunda tanto dos termos latinos como *rixare*, significando “Brigar”, ou *resecare*, “Exirpar, suprimir”, quanto do grego *rhizikon* ou, ainda e, em seguida, um perigo possível do qual o armador pode ser vítima. De fato, a palavra designa, ao mesmo tempo, tanto um perigo potencial quanto sua percepção e indica uma situação percebida como perigosa na qual se está ou cujos efeitos podem ser sentidos (VEYRET, 2007) (Figura 7).

O risco também pode definir-se como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural que é potencialmente prejudicial e produz perdas econômicas, sociais ou ambientais, como resultado da interação entre perigos naturais e os sistemas humanos (UNDP, 2004). Para sua quantificação tem a função:

$$R=f(H,V)$$

Onde:

R: Risco

H: Perigo

V: Vulnerabilidade

Figura 7 – Vista parcial das áreas de risco da cidade de Caracaraí - RR.



Fonte: Costa (2017).

Os riscos de inundação relacionam-se com os riscos climáticos, mas implicam vários elementos naturais (declives, permeabilidade ou impermeabilidade do substrato rochoso, dimensão e forma da bacia hidrográfica, características da cobertura vegetal, etc.) e humanos (barragens, diques, modo de ocupação de solo, etc). Igualmente, os riscos de inundação relacionam-se com os riscos de erosão fluvial ou marinha e com riscos de sedimentação (REBELO, 2003).

As cheias e inundações nas margens dos rios são fenômenos naturais das dinâmicas da terra. O risco se produz quando se fazem construções cerca dos rios sem o conhecimento dos eventos extremos naturais, colocando a população na área de vulnerabilidade (UNDP, 2004).

2.6. PLANEJAMENTO TERRITORIAL E ÁREAS DE RISCO

2.6.1. Planejamento Territorial no Brasil

No início do século XIX, as cidades sofreram um incremento de seus limites urbanos, como consequência da revolução industrial e incremento demográfico, produto deste crescimento sem controle e sem planejamento. A partir do início do século XX, as principais cidades mostram os primeiros problemas urbanos sem solução aparente com necessidade de entender e resolver os novos desafios até a data (VILLALÓN, 2006).

Entendendo que as cidades precisam de um ordenamento que permita um crescimento ótimo e sustentável nasceu o *Ordenamento e Planejamento Territorial* tendo dois pontos principais: o primeiro que considera: a responsabilidade de enfrentar a escala supralocal e a resolução de problemas urbanos com potencial afetação aos territórios ou sociedades que ficam neles; o segundo, sendo o instrumento de ação do ordenamento territorial por meio de a proposta de soluções que beneficiem do interesse coletivo, com objetivos em curto prazo (GÓMEZ, 2001).

O planejamento territorial permite um desenvolvimento ótimo das cidades por meio da integração e estudo das características físicas e sociais endêmicas, aplicadas às normativas públicas de controle, como no caso dos *Planos Diretores Urbanos*.

No Brasil, os Planos Diretores Urbanos são ferramentas de política pública os quais permitem o direcionamento das novas condutas dos profissionais que atuam no planejamento na cidade, dependendo os lineamentos de investigação pode gerar políticas que ajudem ao desenvolvimento da cidade, mas no caso que não seja assim, pode gerar problemas que afetam aos habitantes da cidade (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Brasil é um país com uma taxa de crescimento das áreas urbanas maiores da América Latina, tendo uma população com altos índices de saturação. A partir da década de 60, o processo da urbanização das cidades incremento, gerando problemas urbanos como: Faltam de infraestrutura, redução dos recursos naturais, contaminação, inundações, etc.

Atualmente, as cidades continuam seu processo de crescimento urbano e em muitas cidades o planejamento territorial ainda tem ineficácia em seu controle e suas políticas públicas, acontecendo às consequências já conhecidas motivo pelo qual é necessário melhorar a eficácia destas ferramentas de controle com o objetivo de planejar a ocupação do espaço urbano com a

infraestrutura e as condições que minimizem os problemas sociais e econômicos (TUCCI, 2007).

2.6.2. As Áreas de Risco a Inundações no Planejamento Urbano

Segundo Tucci (2007), no passado as cidades localizavam-se próximas aos rios principalmente pelo uso do transporte fluvial. As áreas mais próximas do leito maior foram ocupadas pela população que não tinha conhecimento da frequência com que as enchentes ocorriam. Quando a sequência de anos sem inundação era grande, a população pressionava pela ocupação dessas áreas vulneráveis por meio político ou de maneira ilegal pela força.

As áreas vulneráveis são ocupadas pela população transformando-se em áreas de risco a inundações extremas. A cidade de Blumenau é um exemplo deste tipo de ocupação; por 71 anos (1912-1982) a cota máxima foi até 13 metros, tempo no qual foi feita a ocupação das áreas vulneráveis foi realizado com referência de 13 metros, mas em 1983 e 1984 aconteceram cotas de 15,34 m e 15,50 metros os quais afetaram à cidade com danos que representaram o 16% do PIB da época de Santa Catarina (TUCCI, 2007).

A mesma situação aconteceria na cidade de Porto Alegre, qual a partir da cota dos 1941 e 1967 que atingiu a cidade foi construído um sistema de Diques, mesmo que é questionado pela população devido que as enchentes mais próximas não atingem estas áreas. A característica da dinâmica social nas áreas de inundações em relação à frequência de inundações e as áreas de ocupação é que são tomadas pela população de baixa renda.

A realidade do planejamento territorial integrados aos estudos de risco e vulnerabilidade a eventos naturais, como no caso das enchentes, não é muito encorajador. Os planos diretores em geral não contemplam os aspectos de proibição na ocupação do solo nos espaços de risco. A falta de conhecimento das enchentes e inundações pelos órgãos de controle faz difícil o controle produzindo perdas sociais e econômicas. Outros fatores limitantes no controle são: desorganização sobre controle de enchentes, pouca informação técnica, desgaste político para o administrador público e a falta de educação da população sobre controle de enchentes.

Segundo Tucci (2007), no planejamento territorial as propostas para reduzir os impactos das enchentes são em base as medidas estruturais e não estruturais, embora, a principal proposta é a regulação do uso e ocupação de solo. O zoneamento das áreas de inundação é a base no Plano Diretor Urbano, regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras.

O zoneamento deve ser baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da limitação da cheia de 100 anos ou maior registrada, definir as áreas de risco e finalmente regulamentar dependendo as características de físicas da cidade (escoamento, geomorfologia, uso e ocupação do solo, etc.). Embora, a realidade das cidades próximas aos rios é que as áreas com vulnerabilidade à inundações já estão ocupadas pela população sendo expostas a enchentes e inundações (TUCCI, 2007).

O planejamento territorial nestas áreas tem que ser procurando soluções do tipo estruturais e não estruturais contemplando um programa de transferência da população ou convivência com os eventos mais frequentes. Além disso, os sistemas de alerta de resposta antecipada gerara uma redução aos prejuízos produto dos eventos naturais. Embora, a solução ideal deve ser em relação à função do rio, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto; mas o controle tem que começar pela regulação do uso e ocupação do solo pelo Plano Diretor Urbano (medida não- estrutural).

No Brasil, não existe nenhum programa sistemático de controle de enchentes. Os casos de controle à enchentes é produto dos esforços das municipalidades principalmente aquelas onde são um problema recorrente (frequência alta de inundações) e regulamentado pelos Planos Diretores Urbanos Municipais. O caso mais importante é da Estela implementando *zonas de uso especial* sendo área de não ocupação pela presença de cotas de inundações recorrentes (TUCCI, 2007).

2.7. GEOTECNOLOGIAS NO CAMPO GEOGRÁFICO: SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Dentro dos estudos geográficos, podemos destacar diversas técnicas e aplicações das geotecnologias. Atualmente, o avanço tecnológico permite gerar estudos geográficos de maneira mais precisa rápida e econômica. As geotecnologias são compostas por soluções em Hardware, Software e *peopleware* que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentro as geotecnologias podem destacar: Geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global e a topografia.

2.7.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Na atualidade, a definição de SIG tem mudado isso acontece em parte aos avanços tecnológicos cada vez mais próximos. Ainda não se tem com certeza uma concepção de SIG no campo geográfico (CLARKE, 1995).

O termo Sistemas de Informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, não apenas com base em suas características alfanuméricas, também através de sua localização espacial. A ferramenta oferece ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance com base à localização geográfica (DAVIS, 2001).

Ao SIG agregam-se ainda os aspectos institucionais, recursos humanos (peopleware) e, principalmente, aplicação específica (MAGUIRE et al., 1993). SIG é um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas. Permite por meio de técnicas, integrar dados, pessoas e instituições; estruturando a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta de informação georreferenciada produzida por meio de aplicações disponíveis. A informação pode ser utilizada no monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativa ao espaço geográfico (CLARKE, 1995).

A Estrutura de um SIG numa visão abrangente segundo Davis (2001), pode-se indicar os seguintes componentes: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos) (Figura 8).

Figura 8 - Estrutura de um SIG.



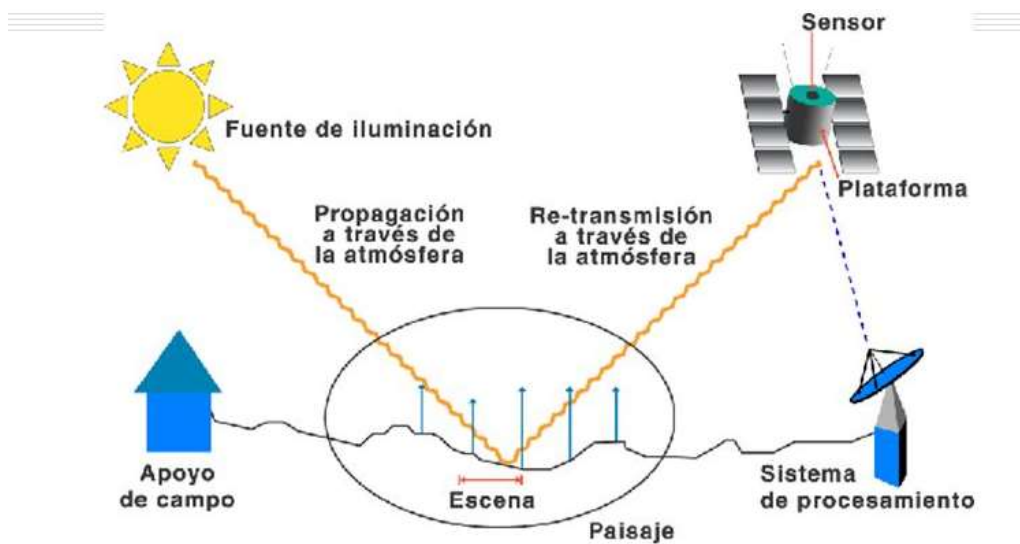
Fonte: Chuvieco (2002).

2.7.2. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a ciência e arte de obter informação (espectral, espacial, temporal) sobre um objeto, área, ou fenômeno através de análises de dados por um aparato que não está em contato físico com o objeto, área, o fenômeno da investigação (LILLESAND et al., 2004) (Figura 9).

Chuvieco (2002), define sensoriamento remoto como aquela técnica que os permite obter informação à distância dos objetos que ficam sobre a superfície terrestre. Para que a interação seja possível, é preciso que entre os objetos e o sensor exista algum tipo de interação.

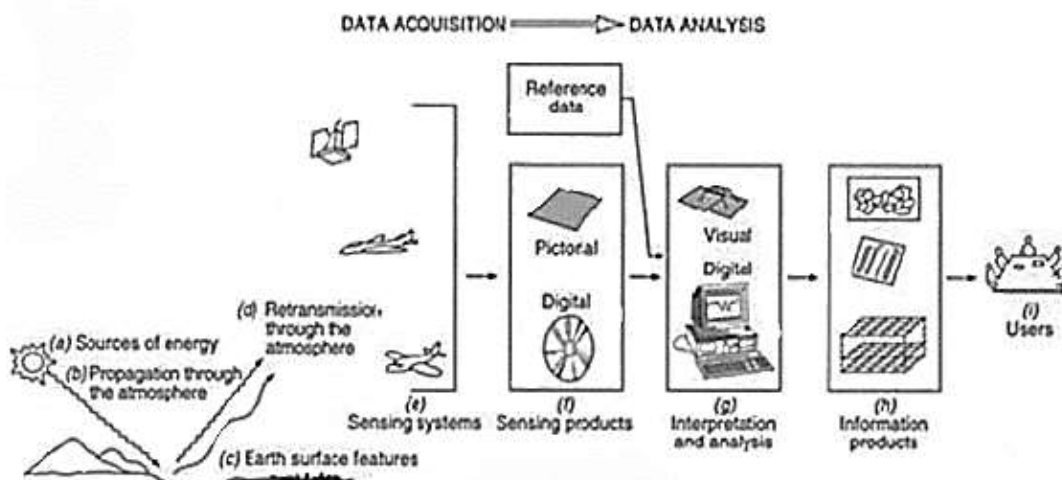
Figura 9 - Elementos dos sistemas de sensoriamento remoto.



Fonte: Chuvieco (2002).

Elachi et al. (1987), define Sensoriamento Remoto como “a aquisição de informação sobre um objeto sem que entre em contato físico com ele”, mas esta definição é muito ampla. Implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (Figura 10).

Figura 10 - Processo de Sensoriamento Remoto.



Fonte: Lilliesand et al. (2004).

O sensoriamento remoto corresponde à captura de imagens de uma área específica mediante a utilização de um sensor ótico que fica na plataforma aérea. Os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis atualmente fornecem dados repetitivos e consistentes da superfície da terra, os quais são de grande utilidade para diversas aplicações dentre as quais se destacam: (Quadro 6)

Quadro 6 - Utilidade dos Sensores Remotos.

Atividade	Tipo
Urbanas	Inferência demográfica, cadastro, planejamento urbano, suporte ao setor imobiliário.
Agrícolas	Condição das culturas, previsão de safras, erosão de solos
Geológicas	Minerais, petróleo, gás natural.
Ecológicas	Regiões alagadas, solos, florestas, oceanos, águas continentais.
Florestais	Produção de madeira, controle de desflorestamento, estimativa de biomassa.
Cartográficas	Mapeamento topográfico, mapeamento, temático, atualização de terra.
Oceanográficas	Produtividade primária, monitoramento de óleo, estudos costeiros, circulação oceânica, etc.
Hidrológicas	Mapeamento de áreas afetadas por inundações, avaliação de consumo de água por irrigação, modelagem hidrológica.
Limnológicas	Caraterização da vegetação aquática, identificação de tipos de água; avaliação do impacto de uso da terra em sistemas aquáticos.
Militares	Informações variam.

Fonte: Novo (2010).

Nas últimas décadas, o avanço da tecnologia no campo espacial, tem gerado um avanço no desenvolvimento do sensoriamento remoto, sim embargo, ainda tem componentes caraterísticos das tecnologias passadas. Os três elementos mais importantes da orbita espacial são: altitude, inclinação e o período de orbita.

Os satélites mais comuns ajustam se as duas orbitas, denominadas geossíncronas e heliosincrônas. A determinação da orbita que ocupa uma plataforma vem determinada pelas caraterísticas da missão do satélite. Entre algumas as principais missões mais destacadas no sensoriamento remoto são: Landsat, Rapideye, CBERS, SPOT, Geoeyes, entre outros.

O sensor Rapideye do tipo Multiespectral pode levar informação da superfície da Terra em várias bandas do espectro eletromagnético, de média e alta resolução. Ele tem a capacidade de capturar imagens de alta resolução em grandes áreas geográficas que podem atingir até 5 milhões de quilômetros quadrados por dia. Sua estrutura física consiste em: (SATELLITE IMAGING, 2018) (Figura 11)

- a) 5 satélites localizados a 630 km da superfície da Terra, formando uma órbita síncrona de hélio;
- b) possui sensor do tipo Push Broom Multispectral;
- c) tamanho do pixel no campo ou também chamado de Nadir tem capacidade para atingir até 6,5m;
- d) o tamanho do pixel orto corrigido pode atingir até 5 m;
- e) tem uma largura de 77 km e
- f) o alcance dinâmico da câmera é de 12 bits.

Figura 11 - Imagem Rapideye Orto retificada.



Fonte : Cheng ; Sustera (2009).

Na atualidade, a tecnologia de “Drones” está em crescimento onde a possibilidade de obter uma imagem com alta resolução é sua principal motivação para o uso. (Figura 12) O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT/DRONE) são utilizados para imageamento de pequenas áreas com alta taxa de revisita e altíssima resolução espacial. (EISENBEISS, 2004).

Figura 12 - Drone Phantom 4 Pro.



Fonte: DJI, (2017).

O veículo aéreo fica na companhia “dji” dos Estados Unidos, com sede em Shenzhen. Atualmente, tem mais de 6000 pessoas na construção e distribuição de drones. Conta com escritórios nos estados unidos, Alemanha, Holanda, Japão, Pekim e Hong Kong. Phantom 4 é um DRONE com um peso de 1380g com uma velocidade máxima de ascensão de 6 m/s é dissenso de 4 m/s. Conta com um GPS com configuração de GPS e GLONASS.

2.7.3. Análise Espacial

A análise espacial pode ser considerada como um conjunto de procedimentos encadeados com o propósito de gerar um modelo inferencial que apresente o relacionamento espacial de um fenômeno em específico (CÂMARA et al., 2002). Assim, é considerado como um núcleo de SIG por médio dos métodos para transformar e modificar os dados em informação útil por meio de padrões, tendências e anomalias, ajudando na toma de decisões.

O termino *Álgebra de Mapas* na geografia é apropriado no uso e manipulação de arquivos espaciais raster, pois o geografo faz uso de expressões algébricas de como se precisa o tratamento da informação.

Segundo Strol et al. (2017), o processamento desta informação pode ser feito em 4 tipos de funções sendo: locais, Focais, zonais e globais, as quiais são definidas abaixo.

- a) funções locais - são aquelas que trabalham em cada pixel no raster, os quais são processados sem referência dos pixels circundantes. Este tipo de processamento permite operações de tipo aritméticas, trigonométricas, exponenciais, lógicas ou algorítmicas.
- b) funções focais - são aquelas que fazem uso dos pixels vizinhos para preencher valores de pixels perdidos ou para filtrar informação errada. O mínimo de pixels que são vizinhos a só um, e de 8, mas neste tipo de estudos pode-se tomar mais pixels próximos. Este tipo de conjunto de pixels vizinhos chama-se de *Kernel*. As principais funções focais são: Suma Focal, Media Focal, Número Médio Focal, Máximo Focal, Mínimo Focal, Rango e Variância Focal.
- c) funções zonais - são conjunto de pixels que tem o mesmo valor, sem importar a vizinhança topológica. Para seu uso precisa de 2 grades: a primeira define tamanho, forma e localização e a segunda os valores que vai ser processados. As principais funções são: Numero meio zonal, o máximo e mínimo e a suma zonal.
- d) funções globais - descrevem a relação entre os pixels de processamento e todos os outros pixels. Sua aplicação é nos cálculos das distancias globais. O valor dos pixels de saída é uma função da grila toda. Sua funcionalidade é em medições da distância, direções de fluxo ou medições de ponderação.

A avaliação multicritério é um conjunto de técnicas que resultam importantes para realizar a análise e a tomada de decisões dos problemas que admitem um número preciso de opções (MARTÍNEZ; ESCUDEY, 1997), considerando uma diversidade de variáveis que podem intervir nos problemas.

As análises multicritérios e os modelos de decisões multiobjetivos permitem a oportunidade de obter uma análise equilibrado de todas as facetas dos problemas de planejamento, por exemplo, os sociais e as repercussões ambientais fazendo uma análise das variáveis. (NIJKAMP E VAN DELFT, 1977).

O objetivo central destas análises multicritérios é obter um resultado que ajude na tomada de decisões pelos órgãos de controle como o estado, município ou outra entidade de controle.

Para Colson e Bruin (1989), a tomada de decisões deve ser entendida como o mundo de conceitos, aproximações, modelos e métodos, para ajudar aos instituições e descrever, avaliar, ordenar, hierarquizar, selecionar ou descordar dos objetos, com base numa avaliação de acordo a vários critérios.

Sua importância dentro dos processos de análise geográfica é variada como no caso da questão do risco, pois nele está implícita a forma de avaliação de variáveis ou aspectos de planejamento. Este pode gerar cenários que mudam dependendo das variáveis utilizadas para sua análise, gerando resultados otimistas ou pessimistas, permitindo assim ajudar na contextualização da decisão.

Segundo Silva et al. (2004), identifica as estruturas da avaliação multicritério, começando pela *decisão* é a capacidade de escolher entre várias alternativas. O *critério*, considerado como uma condição quantitativa ou qualitativa para medir ou avaliar. A *exclusão* é um critério limitador das alternativas analisadas. O *fator* é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma alternativa aplicada a uma variável e finalmente, a *regra de decisão* que é um procedimento de combinação dos critérios para obter um resultado que ajuda na tomada de decisões.

A avaliação multicritério pode ser considerada como atributo de pesos para os critérios, dependendo do grau de importância que pode ser gerado pelo profissional ou pesquisador que gera sua pesquisa. Silva (2004) menciona métodos de como aplicar as condições de pesos nas variáveis sendo considerados os seguintes métodos: ordenamento dos critérios, escala de pontos, distribuição de pontos e comparação de critérios par a par. Estes métodos serão apresentados abaixo:

- a) ordenamento de critérios - consiste no ordenamento dos critérios de acordo com a ordem de importância atribuída pelo decisor. Descrevendo como valores de maior a menor dependendo sua importância e aplicar procedimentos como: *Rank sum*, que gera valores em ranking, e *rank recíprocal*, que utiliza em ordem inversa.
- b) escala de pontos - atribuir pesos a critérios quando uma avaliação direta é possível. Composta por 7 níveis; a atribuição de pesos a cada variável é feita pela identificação de uma escala de um a sete ladeada por suas expressões opostas (insignificante, importante). As variáveis se normalizam e seu resultado é um conjunto de pesos.
- c) distribuição de pontos - O método tem como base ao decisor quem deve distribuir nas diferentes variáveis um conjunto de pontos (n), quanto mais pontos tenha um critério, maior é sua importância relativa.
- d) comparação de critérios par a par (Analytic Hierarchy Process) - A técnica é baseada numa matriz $n \times n$, de comparação entre as n variáveis, onde as linhas e as colunas correspondem no mesmo sentido das variáveis.

A matriz gerada deste processo é de tipo Identidade (Equação), isto representa que se a variável da linha $i=2$ é três vezes mais importante que a variável da coluna $j=5$, então $a_{2,3}=3$ e $a_{5,2}=1/3$

Saaty (1980) propõe a definição de uma escala de comparação de variáveis traduzida em 9 níveis numéricos destinada a normalizar as comparações efetuadas. (Quadro 7)

Quadro 7 - Escala de comparação de critérios, segundo Saaty (1980).

VALOR	DEFINIÇÃO E EXPLICAÇÃO							
1	Igual Importância. - As duas variáveis contribuem de forma idêntica para o objeto.							
3	Pouco Mais importante. – A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro.							
5	Muito Mais Importante. – A análise e a experiência mostram que uma das variáveis é claramente mais importante que o outro.							
7	Bastante Mais Importante. - A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o outro.							
9	Extremadamente Mais Importante. – Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objeto.							
2,4,6,8	Valores Intermediários. – Que também podem ser usados. Sem um critério i possui um dos valores anteriores que comparado com o critério j, então o critério j possui o valor recíproco quando comparado com o critério i.							
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremadamente
MENOS IMPORTANTES					MAIS IMPORTANTES			

Fonte: Silva (2004).

O processo desenvolve-se em sete etapas:

Etapa1. – Construção da matriz de comparação par a par.

Nesta etapa gera-se a matriz $A = [a_{i,j}]$ com as variáveis.

Etapa 2. – Cálculo do *eigenvector* principal

Pode-se calcular o vetor W_i pela resolução da equação

$$Aw = \lambda_{max}W$$

Onde:

A: matriz de comparação par a par;

λ_{max} : Máximo *eigenvalue* da matriz A;

W: vetor de pesos pretendido.

O resultado é a prioridade dos fatores e preserva a preferência ordinal entre as alternativas.

Os valores do vetor W podem ser obtidos pela equação:

Etapa 3. – Cálculo do máximo *eigenvalue*

Etapa 4. - Cálculo do Índice de Consistência

Valor de CI

Etapa 5. – Cálculo do Índice de Aleatoriedade

Saaty (1980), propôs valores par RI através do cálculo do valor médio de CI. (Quadro 8)

Quadro 8 - Índice de aleatoriedade (RI) para n = 15.

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	13	1,48
3	0,58	8	1,41	12	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Fonte: Silva (2004).

Etapa 6. - Cálculo do Grau de Consistência

O grau de Consistência é dado pela relação CI/RI, para matrizes da mesma dimensão.

Etapa 7. – Eventual reavaliação da matriz de comparação, se CR for superior a 0,1.

O valor que pode gerar do processamento deve ser menor de 0,1 para o CR.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Identificar e analisar as áreas de risco à inundações na cidade de Caracaraí - RR.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar as áreas de inundações.
- Caracterizar as áreas de risco à inundações.
- Estabelecer estratégias para a redução de danos no caso de inundações em Caracaraí.

4. MATERIAL E METODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização e Acesso

O município de Caracaráí fica situado na região centro-sul do Estado de Roraima e tem uma área de 47.408,90 Km² com uma população estimada de 20 537 habitantes até 2016 (IBGE, 2017).

O Município de Caracaráí surgiu de um local de descanso de condutores de gado, do antigo município de Moura, cujas terras deram origem ao território de Roraima. O nome é uma alusão a um pequeno gavião que habita a região (CNM, 2017).

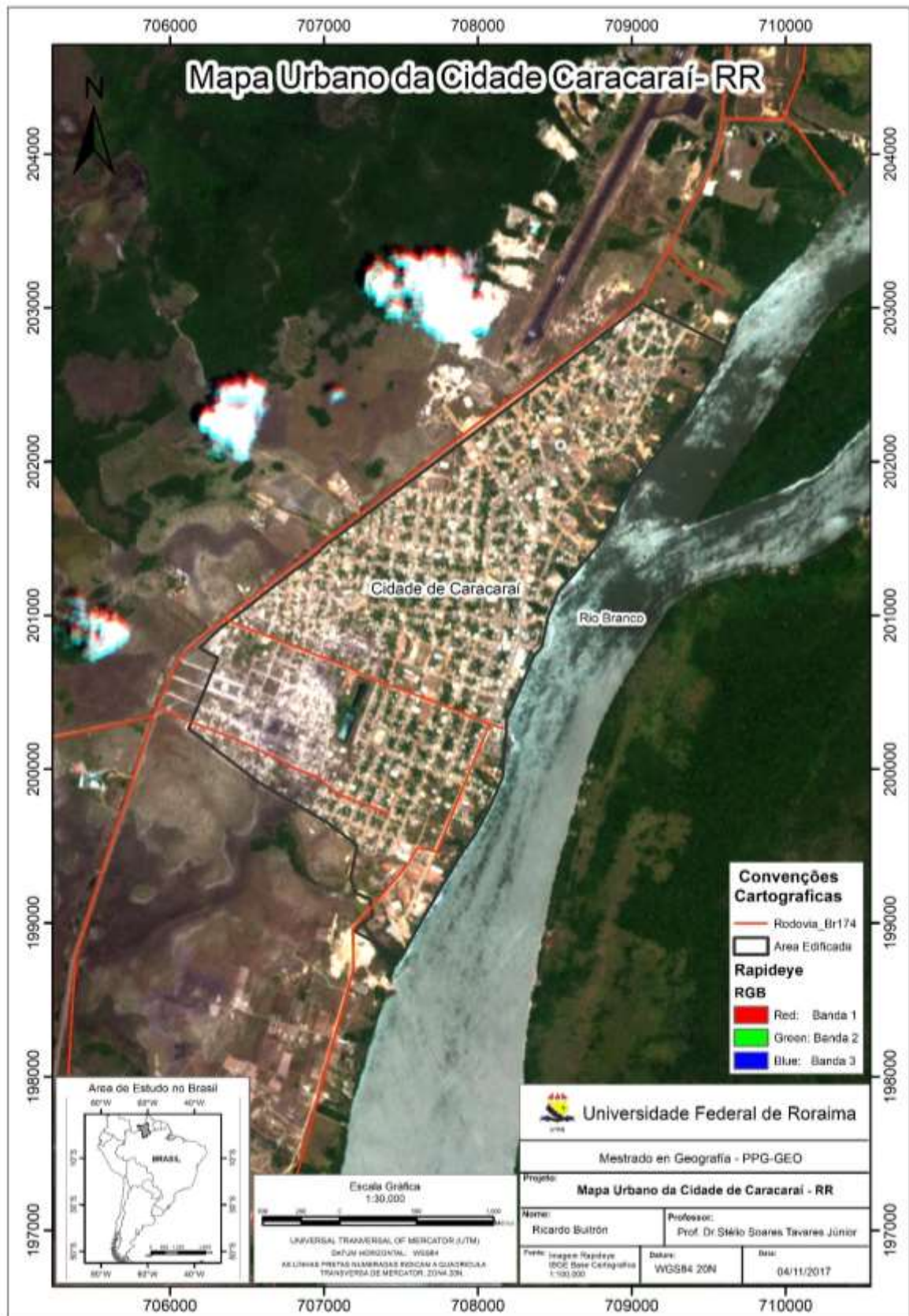
A cidade de Caracaráí está localizada entre as coordenadas geográficas 1°50'29.7" N 61°09'00.3" W e 1°47'34.6" N 61°07'09.7" W (Figura 13). Caracaráí é formada por 6 bairros, conhecidos por: Centro, São Francisco, Santa Luiza, São Pedro (Bairro da Cer), N. sra de Livramento (Livramento) e São Jose Operário (Bairro do Sapo). A distribuição da população das vilas que fazem parte do município é apresentada no quadro 9.

Quadro 9 - População nas Localidades Principais.

Cidade/Vila	Nro. Habitantes
Caracaráí	1091
Villa Novo Paraiso	617
Vila Petrolina do Norte	180
Distrito de Vista Alegre	574

Fonte: IBGE (2017).

Figura 13 - Localização da cidade de Caracará: Imagem do satélite rapidezye na composição de bandas 3 2 1, destacando o contexto da localização e acesso à cidade de Caracará.



Elaboração: Ricardo Buitrón (2018).

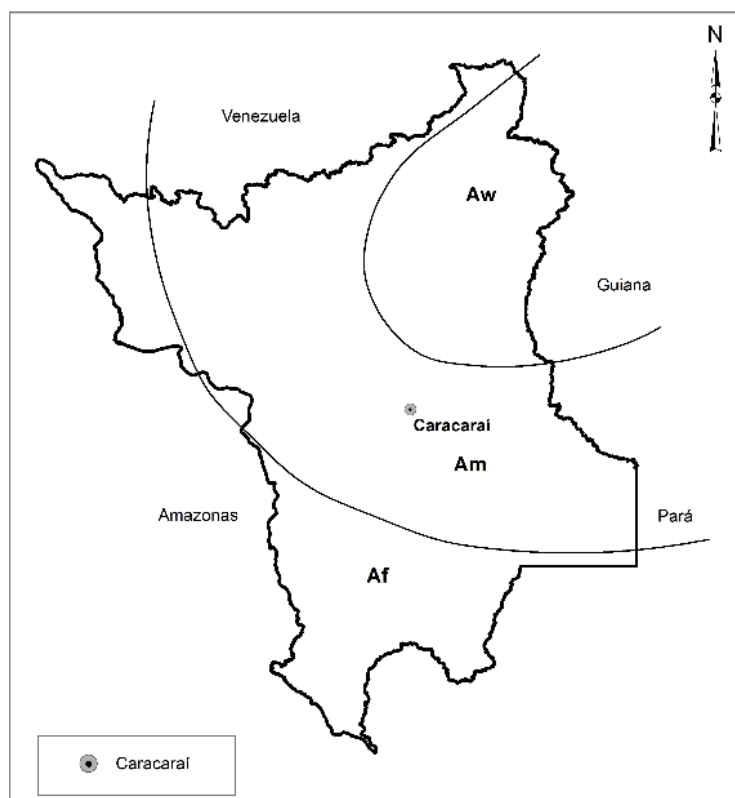
4.1.2. Aspectos Fisiográficos

Destaca-se abaixo os aspectos fisiográficos que contextualiza a paisagem do município Caracaráí.

a) Clima

O tipo de clima para a cidade de Caracaráí é de tipo “Am” segundo a classificação climática de Köppen (quente e úmido), qual representa uma faixa de transição das áreas mais úmidas do estado, mesmo apresentando volumes próximos a 2000 mm anuais sendo os meses mais chuvosos abril, maio e junho e os períodos mais secos janeiro, fevereiro e março (SANDER, 2015) (Figura 14). A série histórica de 30 anos determina a temperatura média anual de 36°C com umidade relativa de 86% (ALARCÓN, 2007).

Figura 14 - Classificação climática de Köppen com destaque na cidade de Caracaráí.



Fonte: Modificado de Barbosa (1997).

A classificação relaciona as classes climáticas com a cobertura vegetal natural. Segundo Barbosa (1997), determina que as chuvas em Roraima são fator intrínseco na relação do tipo de vegetação com o relevo da região.

b) Relevo

As unidades de relevo da área de estudo fazem parte Planalto Residual de Roraima, Planalto Dissecado Norte da Amazônia e o Pediplano Rio Branco- Rio Negro. estas seram descritas segundo Beserra Neta; Tavares Junior (2008).

Planalto Residual de Roraima - constitui um relevo residual caracterizado por cristas e pontões que alcançam aproximadamente 800 metros, contornados por encostas ravinadas que se limita a leste e sul pela superfície aplainada do Pediplano Rio Branco- Rio Negro e a oeste com as colinas do Planalto Dissecado Norte da Amazônia.

Planalto Dissecado Norte da Amazônia - representadas por colinas dissecadas com altitudes em torno a 300 metros, com vales encaixados no leste e sul da área. O relevo é aplainado do Pediplano Rio Branco – Rio Negro.

Pediplano Rio Branco- Rio Negro - constituem uma extensa área aplainada, tendo na parte mais meridional áreas de acumulação recentes e inundáveis. Destacam - se também os depósitos provenientes da atividade eólica, constituindo os campos de dunas e zonas arenosas que ocorrem de forma restrita esta área sul de Roraima.

Caracaraí apresenta uma diversidade de feições morfológicas de relevo formado por extensas planícies aluvionares, morfológicamente formada por paleocanais, planícies ativas meandriformes. O relevo possui cotas entre 40 a 150 metros em 90% da sua área, com decaimento para o sistema fluvial do rio Negro; norte do município de Caracaraí apresenta um relevo com forte controle estrutural formando a Serra da Mocidade, complexo serrano com estruturas isoladas entre 250 a 1980 metros, sendo assim um município formado principalmente por uma extensa superfície de aplainamento, consequência do alto estágio de erosão de rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino (CARVALHO, 2012) (Figura 15).

Figura 15 - Relevo da cidade de Caracaraí: Caracterizado por uma área plana e declividade baixa à margem do rio, a qual no tempo de chuvas proporciona pouco escoamento.



Fotografia: Kalefi (2017).

c) Vegetação

Segundo Barbosa (1997), a cobertura vegetal é caracterizada por 3 sistemas fitofisionômicos: as savanas ou cerrados, as campinas ou campinaranas e as florestas.

Morais e Carvalho (2013), destacam que Caracaraí, apresenta um extensa área de cobertura vegetal, predominada pela mata de terra firme, de tipo ombrófila densa e formações de campinaranas áreas abertas em contato com sistema florestal, periodicamente encharcada, sobre solo arenoso, entre meio a terraços aluvionares, com vegetações arbustivas e herbáceas (Figura 16), onde estão inseridos grandes campos de dunas inativas, do tipo parabólicas, os mais significativos do Estado de Roraima.

O índice de fragmentação da vegetação em Caracaraí é isolado ou fragmentado sendo o elemento dominante floresta fragmentado pelas campinaranas formando manchas desagrupada. A estrutura da passagem mesurada em graus de conectividade, o qual a floresta em Caracaraí possui entre 60 a 100% sendo assim o maior grau de conectividade. A passagem é típica dos outros municípios de Roraima caracterizado pela predominância de grandes áreas de florestas amazônicas, formam um extenso tapete verde entrecortado por polígonos de desmatamento, ademais da presença de áreas abertas permanentemente alagadas, denominadas campinaranas, resultados dos processos naturais. (MORAIS; CARVALHO, 2013)

Figura 16 - Visão parcial da cobertura vegetal, composta principalmente por vegetação arbustiva, herbácea e árvores frutíferas nas residências.



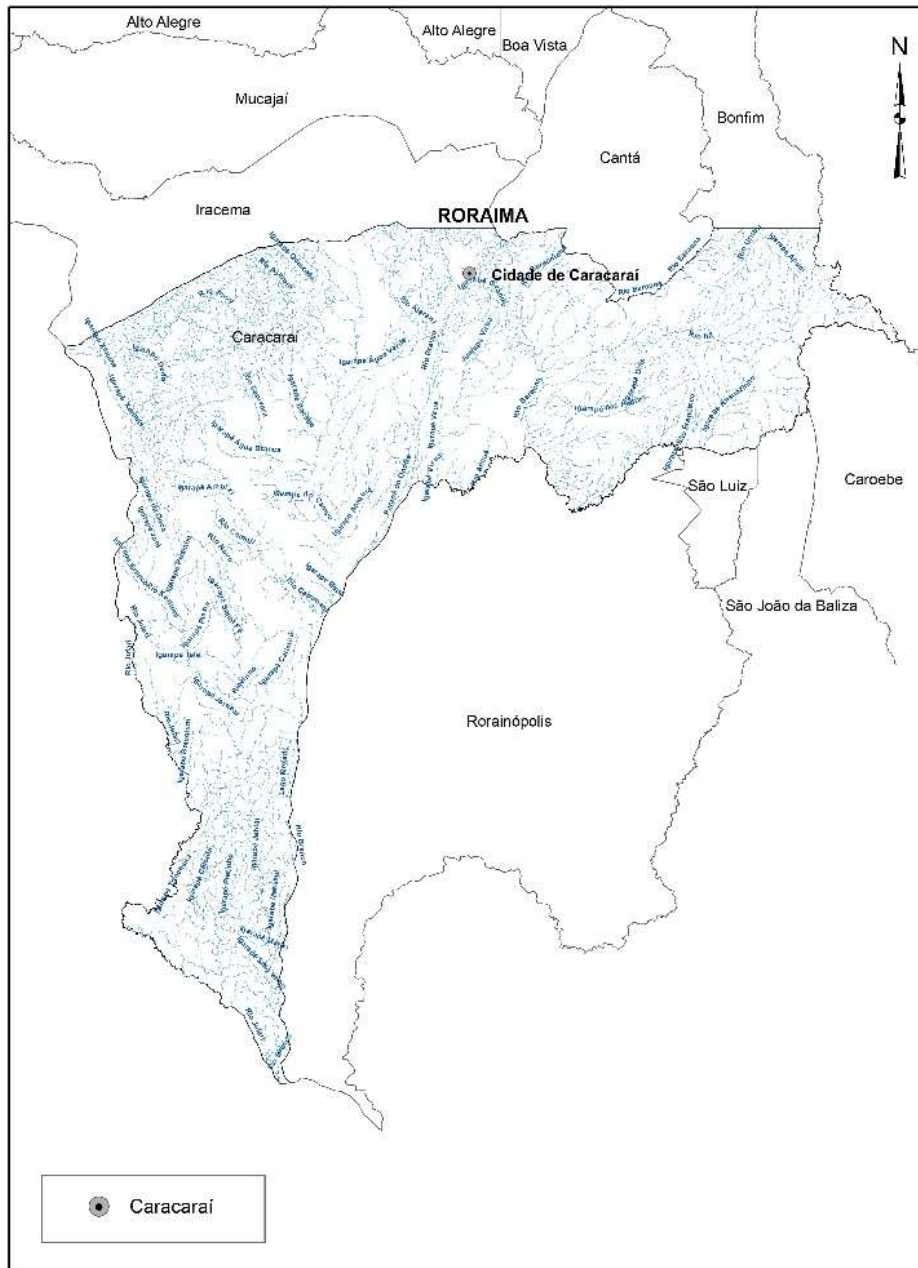
Fotografia: Kalefi (2017).

d) Hidrografia

A bacia do rio Branco fica localizada na região setentrional da bacia amazônica, seu afluente principal (rio Branco) drena uma área de 204.640 km² representado a maior parte do estado de Roraima segundo Sander, (2012).

O sistema hidrográfico no município de Caracaraí é composto de sistemas meandriformes, sistemas arreicos formando campos encharcados oriundos de paleocanais, leques aluvionares isolados, cujo sistema de drenagem é formado pelos rios Catrimani, Água Boa do Univini; ambos afluentes do rio Branco; e os rios Xerui e Jufari, com amplos terraços, meandriformes, drenando para o rio Negro (MORAIS; CARVALHO, 2013) (Figura 17).

Figura 17 - Rede de drenagem no município de Caracarái – RR.



Elaboração: Ricardo Buitrón (2018).

4.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Para entender o contexto fisiográfico e dinâmico de produção do espaço na área de estudo, recorreu-se à literatura produzida sobre riscos, com ênfase em pesquisas a respeito de impactos sobre a ocupação humana e das obras de infraestrutura urbana. Também foram realizados levantamento documental-cartográfico sobre a área de estudo. Para a elaboração dos produtos cartográficos foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros obtidos gratuitamente no site da United States Geological Survey (USGS) para a elaboração dos mapas de declividade, vertente e áreas inundáveis.
- b) Imagem Rapideye com resolução de 5 metros obtida do Ministério do Meio Ambiente e Secretaria do Planejamento de Roraima adquirida em 16 de novembro de 2014 com número de ordem 254595, produto tipo 3.
- c) As imagens obtidas pelo sensor RGB com resolução espacial de 38,75 cm da plataforma DRONE/PHANTOM 4 pro recoletadas em 12 de outubro de 2017 para a elaboração dos mapas de localização, cobertura de solo, áreas vulneráveis a inundações, áreas suscetíveis (Fatores Físicos e Socioeconomicos). Imagens com georreferenciamento do software Google Earth utilizadas no processo de georreferenciamento das imagens da plataforma DRONE/PHANTOM 4 pro.
- d) GPS (Global Positioning System) modelo Garmin (map 62sc) para a coleta de pontos de controle no processo de georreferenciamento das imagens da plataforma DRONE/PHANTOM 4 pro.
- e) Os softwares utilizados foram: (i) **ENVI 5.3**, foi usado para fundir as bandas espectrais de Rapideye 321 de cores naturais e as imagens da plataforma DRONE/VANT em formato RGB, usados nos processos de cobertura de solo; (ii) **AHP Online System – BPMSG**, usado para a alocação de pesos segundo a metodologia AHP (*Analytical Hierarchy Process*) nos critérios determinados na avaliação da suscetibilidade física e socioeconômica, aplicadas na construção das áreas de risco às inundações; (iii) **ArcGis 10.5.1**, foi usado no processo de correção atmosférica e radiométrica das imagens da plataforma Rapideye, fazendo uso da ferramenta *raste calculator*. Além disso, foi usado no processo de georreferenciamento das imagens do sensor DRONE/VANT. Finalmente, permitiu dar o acabamento dos produtos finais e geração dos mapas. Os procedimentos foram realizados no laboratório de informática do programa de pós-graduação de Geografia da Universidade Federal de Roraima.

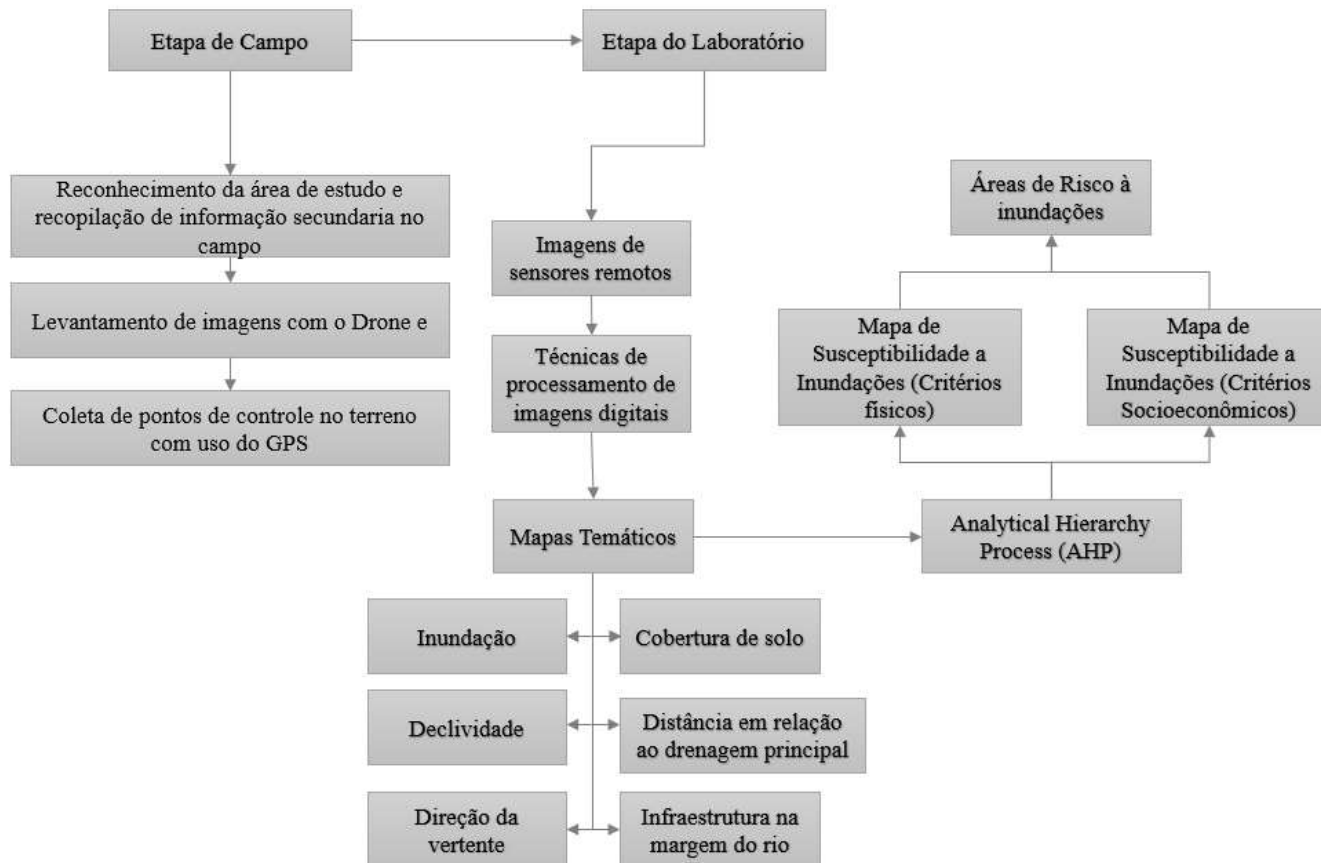
4.3.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos seguem a ordem lógica de levantamento bibliográfico sobre a temática risco à inundação e como o uso e cobertura do solo influencia tal dinâmica, informação hidrológica sobre as cotas pertencentes ao rio Branco, a dinâmica da população na cidade de Caracará-RR e os estudos de risco com uso de geotecnologias no Brasil e no mundo.

O fluxograma abaixo (Figura 18) mostra de forma sintética os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.

Para tanto, foram consultados livros, artigos, teses e dissertações que abordam o tema em questão, obtendo assim, uma maior base e solidez para a execução da pesquisa. Os procedimentos e aplicações metodológicas na aquisição e processamento da geo informação gerou-se a partir de duas etapas: etapa de campo e etapa de laboratório.

Figura 18 - Fluxograma de integração de dados para elaboração de um mapa de risco.



Elaboração: Ricardo Buitrón (2018).

4.3.1. Etapa de campo

A etapa de campo foi realizada em três momentos: (a) reconhecimento da área de estudo e recopilação de informação secundária no campo; (b) levantamento de imagens com o Drone e (c) coleta de pontos de controle no terreno com uso do GPS.

a) Reconhecimento da área de estudo e recopilação de informação secundária

O reconhecimento da área é um processo inicial para identificar e obter dados no campo sobre os processos de cheias e inundações por parte dos organismos de controle e a população em geral.

b) Levantamento de Imagens Drone/Phantom

A tecnologia Drone Phantom 4 possibilitou a coleta de informação espacial tipo raster das áreas na margem do rio Branco na cidade de Caracará com alta resolução espacial. A aquisição de informação foi realizada em 3 pontos considerados como base para a subida e aterragem do DRONE (Figura 19).

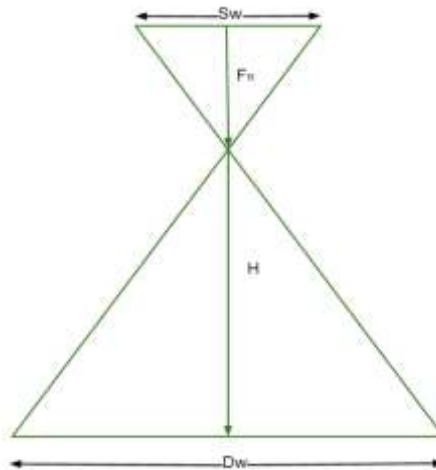
Figura 19 - Ruta do sobrevoo com o drone controlado pelo usuário na cidade de Caracaráí.



Fonte: LANDSAT 8, (2017). Modificada pelo autor.

As imagens do drone foram adquiridas a 500 metros de altitude em relação ao solo as quais possibilitaram uma visualização com GSD de 38,75 cm por pixel na seguinte equação. (Figura 20)

Figura 20 - Distância de amostragem do solo (GSD - *Ground sampling distance*).



Fonte: Pix4d (2018).

$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$$

Onde:

Sw. A largura do sensor da câmera (milímetros)

FR. Distância focal da câmera (milímetros)

H. A altura do voo (metros)

imW. A largura da imagem (pixels)

imH. A altura da imagem (pixels)

DW. Largura da pegada de imagem única no solo (metros)

DH. Altura da pegada de imagem única no solo (metros)

O Drone Phantom 4 conseguiu cobrir uma área de 1500 x 872 m. A velocidade de alcance foi de 50 km/h, com subida e descida de 6 m/s, e altura de 500 m, percorrendo uma distância total de 1 km por voo. A câmera acoplada tem uma resolução de 12.5 megapixels, a qual pode rotacionar, tendo assim a vantagem de se mover em todas as direções.

c) Pontos de controle GPS

Com ajuda do GPS (Global Positioning System) modelo Garmin (map 62sc); se procedeu ao levantamento dos pontos de controle para o processo de georreferenciamento.

Neste processo obteve-se 14 pontos de controle no sistema de referência WGS84 Zona 20 N, com as seguintes coordenadas: (Quadro 10)

Quadro 10 - Pontos de Controle das Imagens Drone.

Pontos	X	Y
1	708600.893	201909.689
2	708921.786	201696.063
3	708221.028	200588.994
4	708059.301	200679.944
5	707761.484	199422.16
6	707572.571	199498.889
7	707902.232	200273.643
8	707524.681	198915.644
9	707379.953	199135.513
10	709659.937	202938.295
11	709490.101	202918.081
12	708702.077	201906.113
13	708903.995	201681.507
14	709472.347	202505.204

Elaboração: Ricardo Buitrón (2017).

4.3.2. Etapa de laboratório

A etapa do laboratório foi realizada em 4 momentos: a) Processamento das Imagens do satélite e Drone, b) Critérios Físicos: Áreas de Inundação, Declividade e Direção da Vertente, c) Critérios Socioeconômicos: Cobertura de Solo, Infraestrutura e distanciamento à margem do rio Branco, d) Processamento AHP para áreas de risco a inundações.

Para o processamento, interpretação, geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), vetorização e geração de mapas temáticos utilizou-se os seguintes aplicativos computacionais: ArcGis 10.4.1 e Envi 5.3; esta etapa foi realizada no laboratório de informática no programa de post-graduação de geografia da Universidade Federal de Roraima.

a) Processamento das Imagens de Sensoriamento Remoto

O processamento das imagens digitais foi feito dependendo o tipo de sensor e plataforma utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

A imagem do sensor SRTM de 30 metros, obteve-se um DEM de 1 metro. O processo foi feito inicialmente obtendo a imagem SRTM em coordenadas geográficas GCS_WGS_1984, em um recorte da área de estudo correspondente ao município de Caracaraí. Em seguida foi realizada a reprojeção de coordenadas projetadas de WGS84, Zona 20 N.

Nessa imagem SRTM foram feitas curvas de nível de 1 metro de intervalo, para obtenção do TIN e finalmente, o DEM com 1 metro de resolução espacial, por meio do método Linear. (Apêndice 1)

As imagens adquiridas por sensores remotos têm erros geométricos e radiométricos inerentes ao processo de aquisição. Os erros geométricos originam-se de falhas instrumentais e limitações próprias do processo de imageamento. Os erros geométricos são causados por diferentes fatores: posicionamento do satélite, movimentos da terra, curvatura da terra, largura da faixa imageada, entre outros (NOVO, 2010).

Os processos para realizar as correções atmosféricas e radiométrica na imagem Rapideye foram feitos no programa Spring 5.4. por meio da obtenção dos histogramas das bandas 1 até 3; as quais correspondem aos comprimentos de onda do Vermelho, azul e verde. As bandas 1,2 e 3 do sensor Rapideye permitem a geração da imagem RGB em cores verdadeiros. Os valores dos histogramas de cada banda serão processados pela planilha Excel desenvolvida por Gürtler (2004), para o cálculo das correções atmosféricas. Além dos dados do histograma, foram usados dados do sensor como: data da imagem, ângulo de elevação solar e ganho para cada banda fornecidos pela imagem na metadata. A correção é baseada no método de subtração de objeto escuro, desenvolvido por Chavez (1988). Para as bandas obtidas pelo sensor Rapideye tem os seguintes valores demonstrados no Quadro 11:

Quadro 11 - Situação atmosférica para diferentes valores de pixel obscuro – Imagem Rapideye.

Tipo de Banda	Situação atmosférica para diferentes valores de pixel obscuro
Banda 1	1.94
Banda 2	9.94
Banda 3	13.94

Fonte: Chaves (1988).

Os valores resultantes da análise dos histogramas para as bandas 1, 2 e 3; mostram dados das condições atmosféricas na data e hora da coleta da informação espacial de tipo raster. Concluindo que a imagem é muito limpa segundo os dados fornecidos por Luiz et al. (2003) (Quadro 12) pelo qual não precisa nenhum processo de correção atmosférica.

Quadro 12 - Situação atmosférica para diferentes valores de pixel obscuro.

Pixel obscuro	Atmosfera	modelo de espalhamento
< 56	Muito limpa	$\lambda-4$
de 56 – 75	Limpa	$\lambda-2$
de 76 – 95	Moderada	$\lambda-1$
de 96 – 115	Hazy	$\lambda-0,7$
> 115	Muito hazy	$\lambda-0,5$

Fonte: Luiz (2003).

A reflectância é geralmente a proporção da radiância refletida dividida pela radiância incidente. Para obter a reflectância é preciso relacionar os valores da radiancia com a radiância do objeto iluminado, omitindo a influência da atmosfera calculando no topo da atmosfera (TOA).

A equação para calcular a reflectância TOA sem a consideração a influência da atmosfera é:

$$REF = RAD \frac{\pi * SunDist^2}{EAI * \cos(SolarZenith)}$$

Onde:

REF: Reflectância

RAD: Radiancia

SunDist: a distância da terra ao sol no dia da aquisição das imagens em unidades astronômicas.

EIA: Irradiancia Exoatmosférica são dados fornecidos pela agencia Rapideye para o sensor apresentados na Quadro 13.

Solar Zenith: Ângulo zenital solar em graus

O calculo da radiancia que foi aplicada para a obtenção da reflectancia foi feita por meio da equação:

$$RAD = DN * radiometricfactor$$

Onde:

RAD: Radiancia

DN: Valor digital por pixel

Radiometricfactor: o valor para as imagens Rapideye é de (0.01)

Onde o resultado é representado em watts por estereorradián por metro quadrado (W/m² sr μm¹).

Quadro 13 - Valores do IEA para o sensor Rapideyes.

Valores do IEA para o Rapideyes			
Bandas		λ (nm)	IEA (w/m ² μm)
RE1	Azul	440-510	1997.8
RE2	Verde	520-590	1863.5
RE3	Vermelho	630-690	1560.4
RE4	Borda do vermelho	690-730	1395
RE5	NIR	760-880	1124.4

Fonte: Chavez (1988).

Os procedimentos para geração da imagem de reflectância foram feitos no software Arcgis 10.5.1 com a ferramenta *Raster Calculator*, com o objetivo de gerar uma imagem de reflectancia.

As imagens de Drone geradas a 500 metros da superfície com uma resolução espacial de 38,75, foram aplicadas as técnicas de georreferenciamento espacial.

O processo de georreferenciamento espacial permitiu espacializar (coordenadas X, Y) um raster produto de um levantamento de informação sobre a área de estudo por meio de pontos de controle, os quais utilizam se para gerar uma transformação polinomial que deslocara o dataset raster desde sua localização existente até sua localização espacial correta (ESRI, 2017).

Para o processo de georreferenciamento foram adquiridos 14 pontos em campo com uso do GPS navegador Garmim 64s o qual possui uma precisão mínima de até 5 metros. Porém,

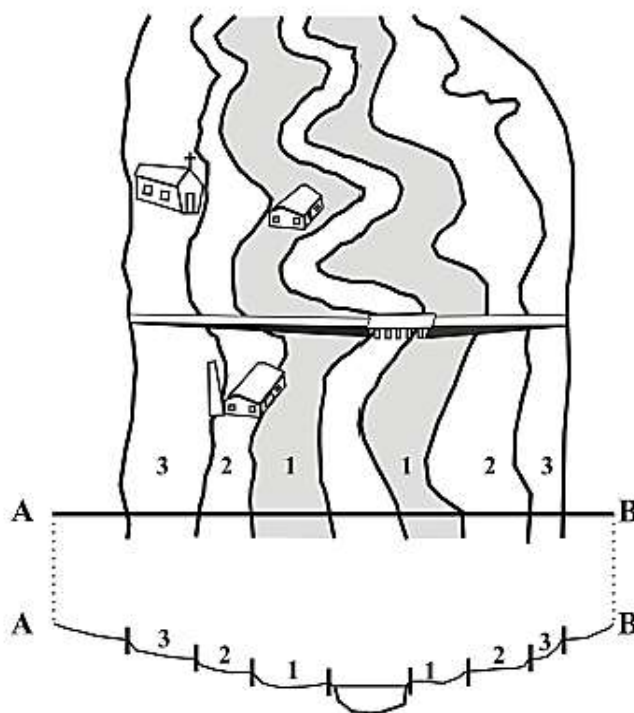
também foram gerados 30 pontos de controle em base a imagens de Google Earth com o sistema de projeção geográfico WGS 84 Zona 20 N, gerando assim um processo de georreferenciação de segunda ordem polinomial com erro meio de 2,56413 metros. O processo foi realizado no software ArcGis 10.5.1. (Apêndice 2). O processo de criação do mosaico foi desenvolvido no software Envi 5.2. fazendo uso da ferramenta *Seamless Mosaic* gerando 3 mosaicos.

b) Processamento dos dados das cotas fluviométricas da estação Caracaraí (Áreas de Inundação)

Para os cálculos das áreas inundáveis na cidade, foi necessário dos dados da imagem DEM que foi trabalhado no processo anterior. A partir dos dados DEM foram geradas as áreas de inundação. Também foi utilizado os dados das cotas máximas de 10 a 50 anos dos registros históricos da estação Caracaraí 14710000 do rio Branco, responsável pela agência nacional de águas, pertencente à bacia do Rio Amazonas com localização geográfica, latitude 1°49'17''; longitude -61°07'25'' com área de drenagem de 126000 km², obtidos pelo Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), o qual conta com dados a partir do ano 1967.

Para o cálculo das cotas foram adquiridos os registros históricos pela estação Caracaraí 14710000 do rio Branco aplicando a metodologia conforme a orientação normativa GEADE-003 MP/ SPU de 4 de junho de 2001, consideram-se apenas, para o cálculo da média das enchentes ordinários, as cotas máximas anuais referentes as enchentes com período de recorrência igual a 3 anos, excluindo-se aquelas cujo período de recorrência seja igual ou superior a 20 anos, gerando 3 zoneamentos (alto, médio e baixo). A regulamentação da zona inundável, representada em planta e em perfil (SANDER, 2012) (Figura 21).

Figura 21 - Regulamentação da zona inundável, representada em planta e em perfil.



Fonte: Sander (2012).

Segundo a metodologia planejada pela normativa GEADE-003 MP/ SPU, considera um intervalo entre cotas de três a 20 anos de recorrência para obter as cotas máximas. Sendo assim, 50 cotas máximas anuais dividido pelas três delimitações é igual a 16,6 cotas, classificadas em alto, medio e baixo. A delimitação das 50 cotas máximas anuais fora empregada na construção do mapamento da suscetibilidade a inundações de tipo físico.

A pesquisa também gerou uma aplicação da metodologia nas 50 cotas máximas anuais de maneira individual divididos em: Cotas Máximas Anuais Maiores, Cotas Máximas Anuais Medias e Cotas Máximas Anuais Menores. Classificadas em 3 tipos de zoneamento: alta, media e baixa. Sendo assim, 16,66 cotas máximas anuais classificadas em maiores, médias e menores dividido pelas três delimitações é igual a 5,53 cotas, classificadas em alto, medio e baixo. (Figura 22)

O objetivo de sua divisão foi analisar as informações de elevação em maior detalhe, alcançando uma melhor compreensão dos dados hidrológicos da estação. Além como também os tempos de recorrência no seguinte jeito dos dados hidrológicos das cotas da estação Caracaraí obtidas pela seguinte equação:

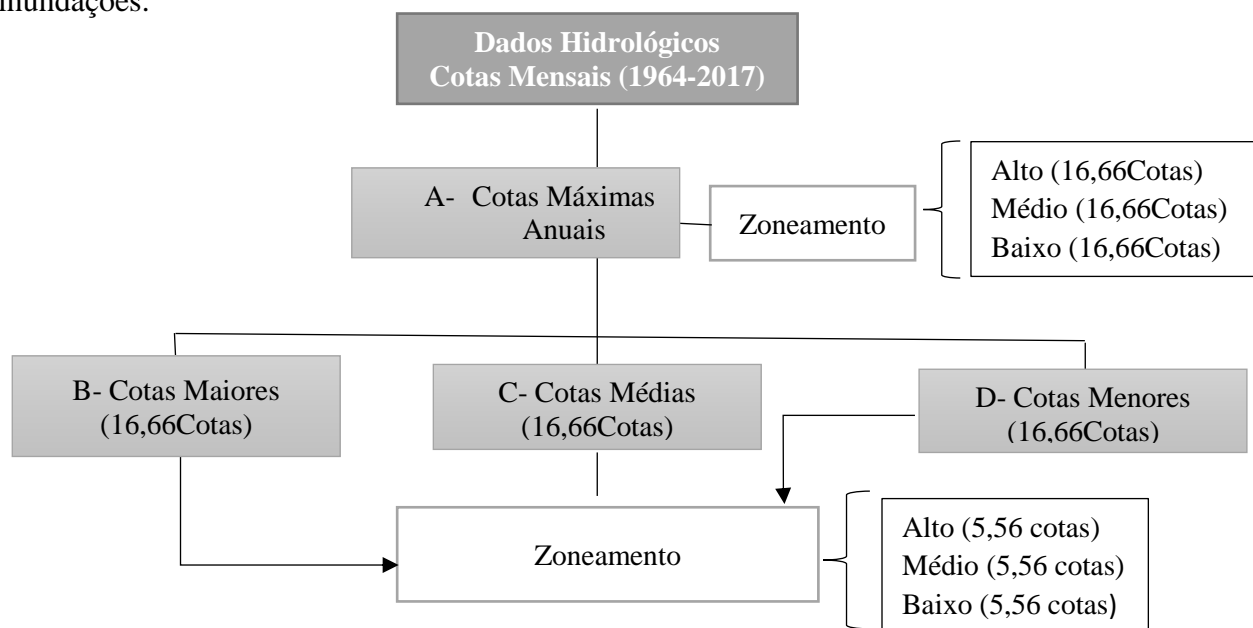
$$\frac{(n - 1)}{m}$$

Onde:

n: Numero de Dados

m: Numero de eventos

Figura 22 - Estrutura da apresentação da informação hidrológica e Zoneamento as áreas de inundações.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

c) Elaboração dos mapas temáticos

Após as etapas de correção atmosférica, georreferenciamento, escolha das bandas espectrais, realce e recorte da área de estudo e classificação de dados hidrológicos, as imagens foram exportadas em formato TIFF para armazenamento e posterior edição.

Para a criação dos mapas de declividade, direção da vertente e delimitação das áreas inundáveis foram utilizados dados da imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros, obtidos gratuitamente do site United States Geological Survey (USGS).

Para a geração do modelo de declividade utilizou-se da ferramenta *Slope* no software Arcgis 10.5.1. Posteriormente, redefiniu-se as faixas de declividade segundo EMBRAPA (1979): plano (0 - 3%); suave-ondulado (3 - 8%); ondulado (8 - 20%); forte-ondulado (20 - 45%); montanhoso (45 - 75%) e forte-montanhoso (> 75%).

O modelo de *Direção da vertente* foi gerado a partir da ferramenta *Aspect* do software Arcgis 10.5.1 obtendo assim o modelo das direções das vertentes da área de estudo, que com a adição do modelo de declividade obteve-se polígonos ou padrões de relevo semelhantes, foi gerado um mapa com as seguintes classes: Plano, Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

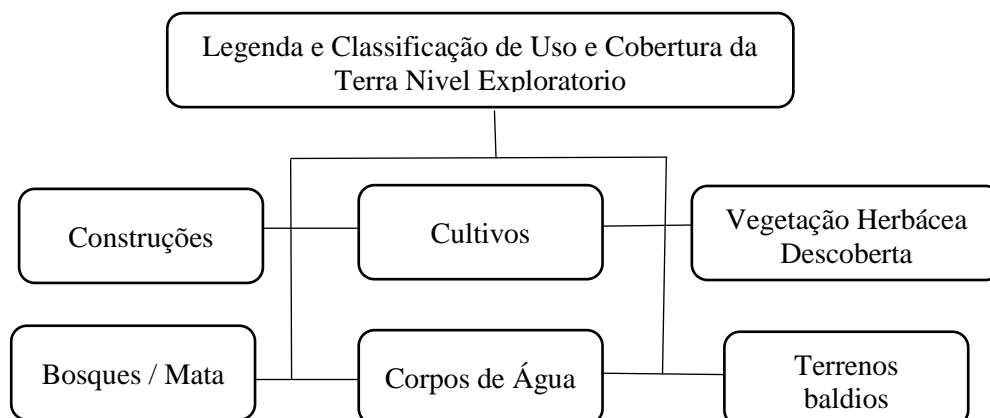
As imagens de Drone tem a capacidade de obter informação de alta resolução, 38,75cm x pixel, permitindo visualizar os objetos geográficos como o caso das infraestruturas. Tendo em consideração as imagens, realizou-se a digitalização das infraestruturas na margem do rio no programa arcgis 10.5.1. pela criação do Shapefile com projeção WGS84 Zona 20N.

Outro dos fatores na medida do risco é o distanciamento à margem principal, motivo pelo qual fazendo uso da ferramenta de geoprocessamento *Multi Buffer* do software ArcGis 1.5.1. Gerou-se 4 zonas de distanciamento à margem do rio Branco sendo 100, 200, 300 e 400 metros de distanciamento.

d) Classificação da cobertura de solo

As imagens RapidEye e Drone/PHANTOM foram aplicadas a metodologia de classificação supervisionada do ENVI 5.3 proposto pelo Centro de Investigação e Desenvolvimento (CIAF) do Instituto Nacional Geográfico Agustín Codazzi Colômbia (Figura 23); o propósito é identificar a cobertura de solo na cidade de Caracará e melhorar a discriminação de cobertura na margem do rio Branco com imagens obtidas pelo DRONE/VANT e Rapideye (CENAD, 2014).

Figura 23 - Sistema de classificação do uso da terra e cobertura terrestre, classificação do sistema CIAF.



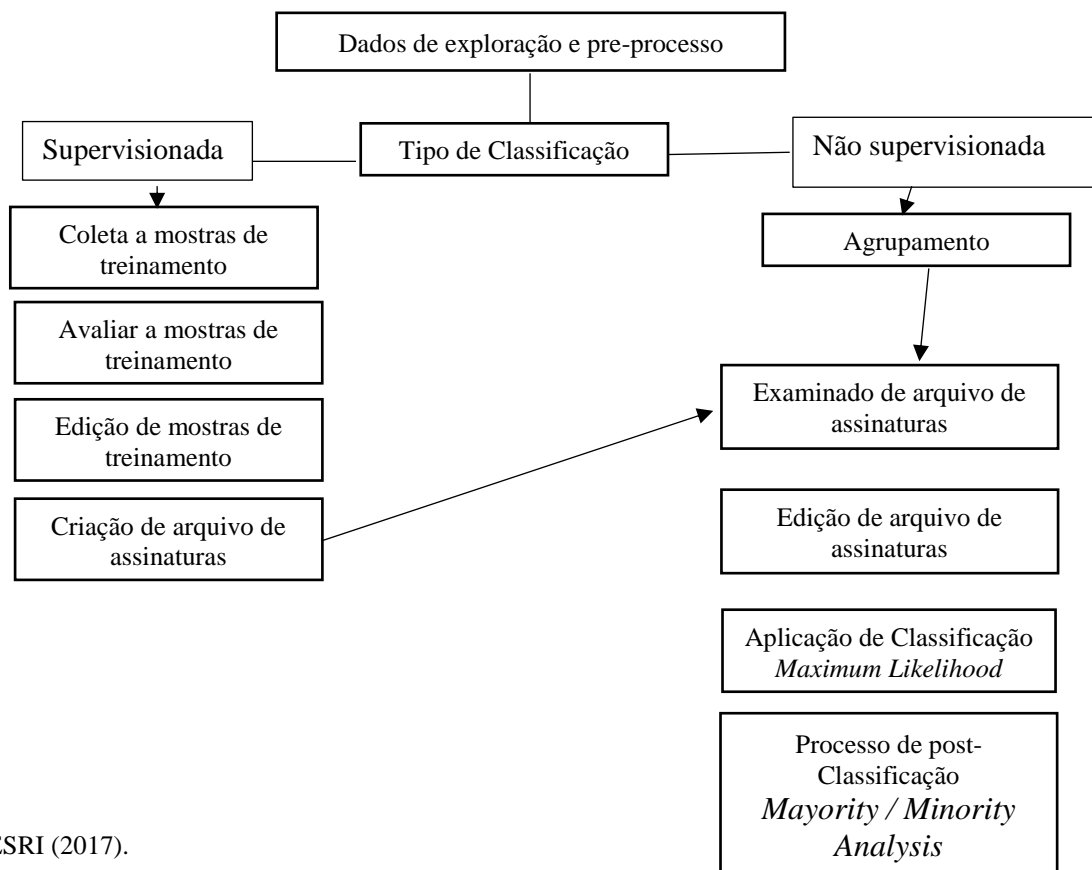
Fonte: Vargas, 1992.

O processo de classificação supervisionada foi realizado pela criação do arquivo de assinaturas espectrais dos objetos na imagem, escolhendo áreas que possam ser representativas de determinadas feições conhecidas. O arquivo de assinatura espectral foi avaliado pelo software gerando um raster com as categorias identificadas (ESRI, 2017), sendo assim o resultado da classificação fora a cobertura do solo na cidade de Caracará. No caso desta pesquisa foi classificado em 4 tipos: Construções, Bosque/Mata, Vegetação herbácea e Terrenos Baldios. (Figura 24) (Apêndice 3)

O processo de classificação supervisionada executado na pesquisa, fez o uso do método de *Maximum Likelihood*. O método permite melhorar os dados de classificação fazendo uso da direção de dispersão multi variável no espaço das assinaturas espectrais, obtendo um 95% de confiança de classificação gerando poucos dados nulos.

O processo de post classificação emprego o uso da ferramenta *Majority / Minority Analysis*. O método fez uso do Kernel 3x3 o qual é um tipo de filtro que permite eliminar as áreas isoladas na classificação.

Figura 24 - Processamento de classificação supervisionada e não supervisionada no ENVI 5.3.



Fonte: ESRI (2017).

Finalizando a classificação este produto foi exportado em formato TIFF para a elaboração do mapa temático referente à cobertura do solo, além de seu uso na criação do mapa de suscetibilidade a inundações (Critérios Socioeconômicos).

e) Processo de Hierarquia Analítica (*Analytic Hierarchy Process*)

A validação multiespacial permitiu por meio de ponderações de variáveis, gerar resultados espaciais produto de cruzamento dos critérios avaliados, mediante uso de técnicas de geoprocessamento e análises espacial (MARTINEZ; ESCUDEY, 1997).

Para a elaboração do mapa de risco a inundações foram utilizados 6 critérios: declividade, áreas inundáveis, direção da vertente, distância em relação à drenagem principal, cobertura de solo e infraestrutura. Os critérios foram estabelecidos segundo a suscetibilidade física e socioeconômica a inundações e trabalhadas no software Arcgis 10.5.1 em forma de Modelo Numérico de Terreno (MNT) com objetivo de criar ponderações representando o grau de importância de cada critério em relação ao risco à inundações.

As ponderações dos critérios físicos foram elaboradas com valores de 1 até 4 onde: 1 representa a menor importância e 4 a maior importância. A declividade de Caracará apresenta dados de 0% até 45%, ponderadas de 4 até 1 respectivamente, considerando que as áreas planas são mais suscetíveis à inundações (Quadro 14). As áreas inundáveis são classificadas em quatro tipos, onde as áreas de maior susceptibilidade a inundações são as áreas com vulnerabilidade alta ponderadas com 4 e as áreas sem inundações ponderadas com 1 (Quadro 15). A ponderação do critério vertente foi realizada considerando a dificuldade da vertente na suscetibilidade à inundações (Quadro 16).

Quadro 14 - Ponderação do critério declividade.

Ponderação - Declividade	
Tipo	Ponderação
Plano (0 - 3%);	4
Suave-ondulado (3 - 8%);	3
Ondulado (8 - 20%);	2
Forte-ondulado (20 - 45%);	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 15 - Ponderação do critério áreas inundáveis.

Ponderação - Áreas inundáveis	
Tipo	Ponderação
Alto	4
Medio	3
Baixo	2
Não inundáveis	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 16 - Ponderação do critério vertente.

Ponderação - Vertente	
Tipo	Ponderação
Plano	4
Norte	1
Nordeste	1
Leste	2
Sudeste	2
Sul	4
Sudoeste	4
Oeste	3
Noroeste	3

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

As ponderações dos critérios socioeconômicos foram elaboradas com valores de 1 até 4 onde: 1 representa a menor importância e 4 a maior importância. O distanciamento em relação à drenagem é um fator determinante na suscetibilidade socioeconômica à inundações onde as áreas mais próximas tem uma ponderação de 4 e as áreas mais distantes tem ponderação de 1 (Quadro 17). A infraestrutura na margem do rio foi estabelecida como 4 na ponderação pela alta vulnerabilidade das construções localizadas na margem do rio no caso de inundações. A cobertura do solo estabelece uma classificação de 4 tipos: Construções, montes/bosques, terrenos baldios e vegetação herbácea descoberta ponderadas segundo o grau de afetação no caso de inundações (Quadro 18).

Quadro 17 - Ponderação do critério Distanciamento à margem da drenagem

Ponderação - Distanciamento em relação à drenagem	
Tipo	Ponderação
100	4
200	3
300	2
> 400	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

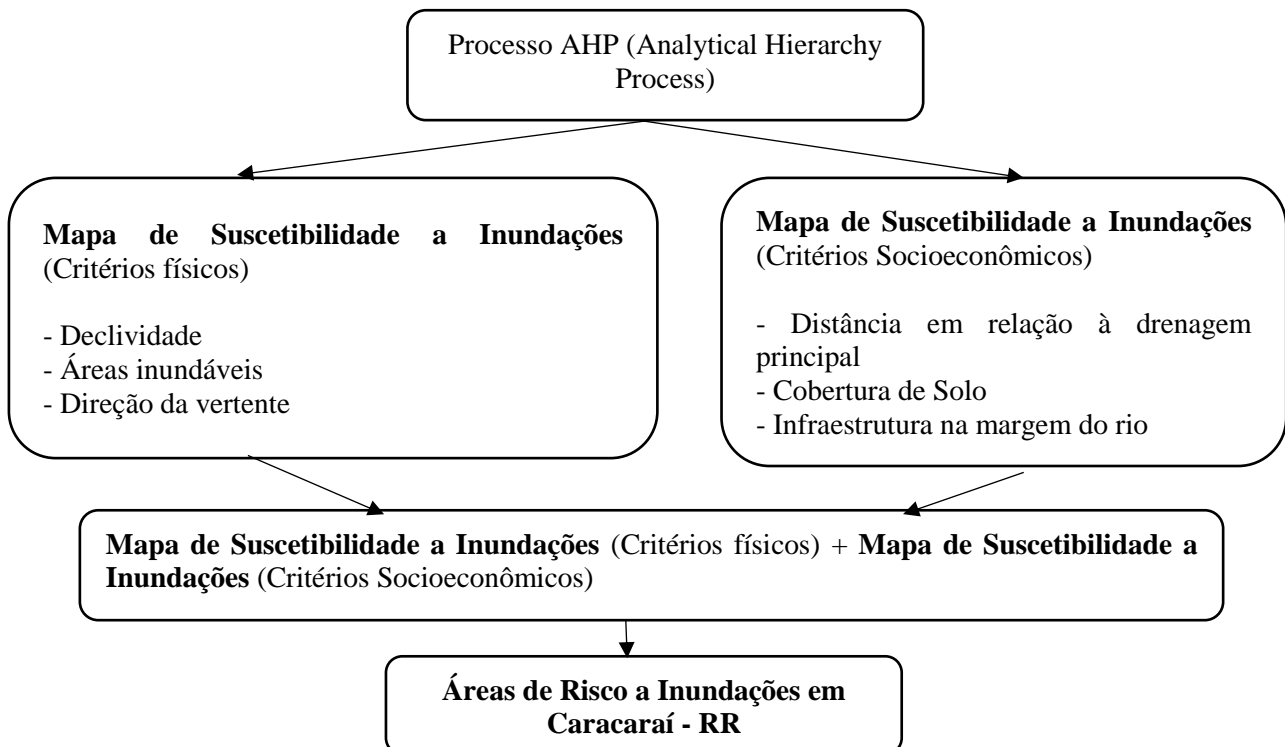
Quadro 18 - Ponderação do critério Cobertura do solo

Ponderação - Cobertura do solo	
Tipo	Ponderação
Construções	4
Montes/Bosques	2
Vegetação herbacea descoberta	2
Terras baldias	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

As ferramentas de avaliação multicritério no ArcGis 10.5.1, permitiu a obtenção de nova informação geográfica em base aos critérios processados. Porém, o software Arcgis 10.5.1 não tem extensão para o processamento AHP como ferramenta de geoprocessamento, pelo qual os cálculos dos pesos fossem realizados no site Online AHP Online System – BPMSG construído em PHP usando PHPGraphLib pelo autor Klaus D. Goepel e Elliott Brueggeman em setembro do 2017. O procedimento pode ser explicado na Figura 25.

Figura 25 - Desenvolvimento do processo AHP.



Elaboração: Ricardo Buitrón (2018).

Para o processo de cruzamento dos critérios antes mencionadas, a metodologia aplicada foi a proposta por Saaty (1980), da comparação dos pares **Analytical Hierarchy Process (AHP)**, utilizada nos trabalhos de: Mena et al. (2006), Yalcin et al. (2011) e Achinelli; Moira (2011).

O trabalho utilizou o método da soma linear ponderado, o qual calcula para cada polígono da paisagem, a soma dos valores correspondentes aos “n” critérios C_{ij} ponderados pôr os pesos P_j de acordo à seguinte equação.

$$r_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} p_j$$

O método permite comparar os critérios seguem a importância relativa do analista. O método exige uma comparação de critérios por médio de uma matriz que podem responder ao modelo de 9 valores:

1. Igual
2. Um pouco melhor
3. Algo melhor
4. Moderadamente melhor
5. Melhor
6. Bem melhor
7. Muito melhor
8. Criticamente melhor
9. Absolutamente melhor

Os valores de importância foram designados para cada critério nas duas matrizes que representam os critérios físicos e socioeconômicos. A obtenção dos pesos procedeu da execução da ferramenta *Raster Calculator* do programa Arcgis 10.5.1 da seguinte equação para os critérios físicos:

Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios físicos) = Declividade*Peso 1 + Cota Fluviométrica* Peso 2 + Direção da vertente * Peso 3.

O processo AHP determina o grau de importância dos critérios, os quais tem que ter valores de consistência entre os critérios. (*Os valores considerados como inconsistentes são aqueles que superam 10%). A Quadro 19 mostra os valores de importância determinados pelo autor para os critérios físicos. No caso dos critérios físicos o grau de consistência tem um valor de 6,8% sendo considerado como um valor consistente. O Quadro 20 mostra a matriz de comparação com seus pesos segundo o grau de importância determinados no quadro 21 por ranking

Quadro 19 - Valor de Importancia dos critérios físicos.

A - Importância - B			Valor de Importância
1	Declividade	Cota Fluviométrica	5
2	Declividade	Direção da vertente	3
3	Cota Fluviométrica	Direção da vertente	7

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 20 - Matriz de comparação dos critérios físicos.

	Declividade	Cota Fluviométrica	Direção da vertente
Declividade	1	0.2	3
Cota Fluviométrica	5	1	7
Direção da vertente	0.333333	0.142857	1
Pesos para cada variável	0.188408	0.730634	0.080958
Principal eigen value	3.064926	Radio de Consistência CR	0.067744

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 21 - Ranking de critérios físicos.

Prioridades				Matrix de Decisão			
Categoria		Prioridade	Ranking		1	2	3
Peso 1	Declividade	18.80%	2	1	1	0.2	3
Peso 2	Cota Fluviométrica	73.10%	1	2	5	1	7
Peso 3	Direção da vertente	8.10%	3	3	0.33	0.14	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

A análise dos critérios socioeconômicos processados na ferramenta de Arcgis 10.5.1 tem que ter a seguinte equação:

Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconômicos) = Distância em relação à drenagem principal *Peso 4 + Uso de Solo *Peso 5 + Infraestrutura na margem do rio *Peso 6.

O quadro 22 mostra os valores de importância determinados pelo autor para os critérios socioeconômicos. No caso dos critérios socioeconômicos o grau de consistência tem um valor de 1,9% sendo considerado como um valor consistente. A Quadro 23 mostra a matriz de comparação com seus pesos segundo o grau de importância determinados no quadro 24 por ranking

Quadro 22 - Valor de importância dos critérios socioeconômicos.

A - Importância - B			Valor de Importância
1	Cobertura de solo	Distância em relação à drenagem principal	5
2	Cobertura de solo	Infraestrutura na margem do rio	1
3	Distância em relação à drenagem principal	Infraestrutura na margem do rio	3

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 23 - Matriz de comparação dos critérios socioeconômicos.

	Cobertura de solo	Distância em relação à drenagem principal	Infraestrutura na margem do rio
Cobertura de solo	1	5	1
Distância em relação à drenagem principal	0.2	1	0.333333
Infraestrutura na margem do rio	1	3	1
Pesos para cada variável	0.480644	0.113972	0.405384
Principal eigen value	3.029061	Consistency Ratio CR	0.030323

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Quadro 24 - Ranking de critérios socioeconômicos.

Prioridades				Matrix de Decisão			
Categoria	Prioridade	Ranking		1	2	3	
Peso 4	Cobertura de solo	48.1%	1	1	1	5.00	1.00
Peso 5	Distância em relação à drenagem principal	11.4%	3	2	0.20	1	0.33
Peso 6	Infraestrutura na margem do rio	40.5%	2	3	1.00	3.00	1

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

O AHP é um método estadístico que faz uma análise multicritério pelo qual gera pesos em relação às ponderações e valores de importância. Finalmente, através da somatória dos critérios pela ferramenta *Raster Calculator* de Arcgis 10.5.1 obtive-se as áreas de risco a inundações subsidiando posteriores usos para planejar e melhorar o espaço urbano na cidade de Caracaráí, classificadas em: risco muito baixo; risco baixo; risco médio; risco alto e risco muito alto.

f) Medidas de redução do Risco a Inundações

Após as etapas de zoneamento das áreas susceptíveis a inundações e áreas de risco na cidade de Caracaráí, é necessário gerar possíveis soluções que diminuam os efeitos produzidos pelas cheias e inundações, sendo os processos de edição, uma ferramenta poderosa a fim de destacar os aspectos inerentes ao alcance dos objetivos deste trabalho de pesquisa.

Com motivo de destacar as áreas seguras, criou-se procedimentos de vetorização identificando os prédios localizados em áreas sem risco a inundações, os quais podem ser considerados como pontos de abrigo em tempos de inundações através das imagens dos sensores remotos. O mapeamento das áreas seguras é uma ferramenta importante no planejamento de desastres dos órgãos de socorro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se alcançar os objetivos traçados e discussões foram divididos em três momentos, nos quais foram tratados respectivamente: aspectos relacionados com as cotas do rio Branco coletadas pela estação de Caracaraí, análise do risco na cidade e as possíveis recomendações para a diminuição do risco.

5.1. ÁREAS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE CARACARAÍ

A cidade de Caracaraí motivo da sua localização na margem do rio Branco é afetada por os processos naturais decorrentes dos sistemas fluviais, os quais inundam as áreas nas margens dos rios geralmente no tempo chuvoso. Como parte essencial desta pesquisa, foi realizado a análise do comportamento do rio Branco na região de Caracaraí em função das cotas nos últimos 50 anos a partir de 1967 até 2017 obtidas da estação Caracaraí (Quadro 25).

A análise dos dados diários da estação estabelecidos por cotas máximas anuais apresentaram que o valor da maior cota registrada com 11,14 m e a menor cota registrada de 452 cm com uma média histórica de 7,94 m, onde os meses de junho, julho e agosto correspondem à temporada de chuvas, motivo pelo qual as cotas alcançam os maiores valores produto do aumento de volume do rio.

Outros fatores externos aos processos naturais dos sistemas fluviais locais que pode intervir no aumento do volumen de água no rio. Segundo Sander et al. (2014), os fenômenos de El Niño e La Niña podem afetar a hidrología dos sistemas fluviais de modo geral, motivo pelo qual a análise dos dados das cotas podem ter pouca coerência em cálculos anuais, exemplo: na cidade de Boa Vista durante os períodos de La Niña os picos de cheias são mais elevados e durante os períodos de El Niño apresentam dados mais baixos, pela redução das chuvas nas áreas de captação.

Quadro 25 - Dados hidrológicos das cotas máximas anuais desde 1967 até 2017 a partir de dados ANA (2017).

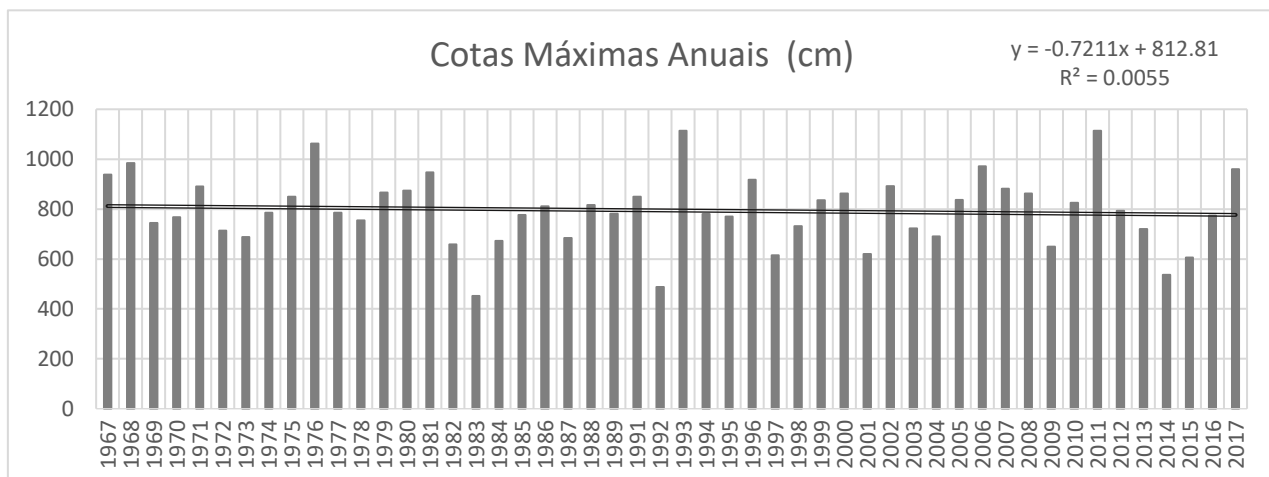
ID	Registro	Data	Maxima Cm	Ano
1	586	4/1/1993	1114	1993
2	1232	6/1/2011	1114	2011
3	115	7/1/1976	1062	1976
4	19	7/1/1968	984	1968
5	1049	6/1/2006	972	2006
6	S/D	7/1/2017	960	2017
7	268	7/1/1981	947	1981
8	6	6/1/1967	938	1967
9	696	7/1/1996	918	1996
10	912	7/1/2002	892	2002
11	55	7/1/1971	890	1971
12	1084	6/1/2007	882	2007
13	230	6/1/1980	874	1980
14	193	6/1/1979	866	1979
15	838	6/1/2000	863	2000
16	1122	7/1/2008	862	2008
17	104	8/1/1975	850	1975
18	522	7/1/1991	849	1991
19	1014	7/1/2005	837	2005
20	808	8/1/1999	835	1999
21	1196	6/1/2010	825	2010
22	486	8/1/1988	816	1988
23	448	7/1/1986	811	1986
24	1271	7/1/2012	793	2012
25	92	8/1/1974	785	1974

ID	Registro	Data	Maxima Cm	Ano
26	127	7/1/1977	785	1977
27	502	6/1/1989	782	1989
28	625	7/1/1994	780	1994
29	414	8/1/1985	776	1985
30	661	7/1/1995	770	1995
31	44	8/1/1970	768	1970
32	165	9/1/1978	755	1978
33	S/D	7/1/2016	774	2016
34	30	6/1/1969	744	1969
35	769	7/1/1998	732	1998
36	945	8/1/2003	722	2003
37	1305	6/1/2013	720	2013
38	67	7/1/1972	714	1972
39	981	8/1/2004	690	2004
40	81	9/1/1973	688	1973
41	473	7/1/1987	684	1987
42	372	6/1/1984	672	1984
43	301	6/1/1982	659	1982
44	1140	1/1/2009	650	2009
45	879	8/1/2001	620	2001
46	733	7/1/1997	615	1997
47	S/D	7/1/2015	606	2015
48	1343	7/1/2014	536	2014
49	561	8/1/1992	488	1992
50	333	5/1/1983	452	1983

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os valores hidrológicos das cotas máximas anuais geram a equação $y = -0.7211x + 812.81$ com pendente negativa -0.7211 , o que significa que os valores das cotas ficam diminuindo em sua intensidade. Porém, os fenômenos naturais, principalmente as inundações tendem a superar os eventos maiores (Figura 26).

Figura 26 - Cotas Máximas Anuais a partir de dados ANA (2017).



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os fenômenos naturais não sempre acontecem do mesmo jeito para cada ano. Existem vários fatores que podem modificar o grau ou intensidade de um fenômeno natural sendo classificados como: normal aqueles que sua recorrência tem um intervalo de tempo curto e extremos aqueles que seu intervalo de recorrência é longo. No caso das cheias e inundações são fenômenos que acontecem anualmente produto do incremento de volume de água no rio, decorrentes da época de chuvas. Porém, os fenômenos podem ter um padrão de acontecimentos produto dos dados históricos que permitem gerar os possíveis tempos de recorrência dos fenômenos naturais.

Para o análise dos tempos de recorrência das cotas máximas anuais, foram classificados por intervalo de 1 metro apresentados no quadro 26. Os dados hidrológicos das cotas máximas anuais da estação Caracará têm cronologia desde 1967 até 2017.

Quadro 26 - Recorrência em Cotas Máximas Anuais a partir de dados ANA (Serie 1967 - 2017)

Recorrência em Cotas Máximas Anuais		
Metros	Número de Eventos	Recorrência em Anos
$10 \leq x$	3	16
$9 \leq x$	6	8
$8 \leq x$	14	3.4
$7 \leq x$	15	3.2
$6 \leq x$	9	5.3
$5 \leq x$	1	48
$4 \leq x$	2	24

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

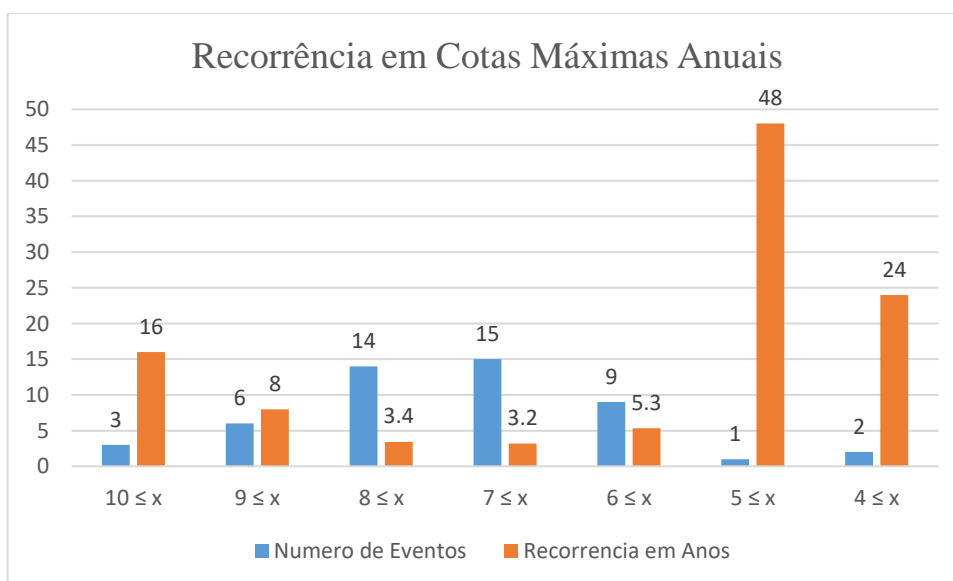
Os dados apresentam o tempo de recorrência para as cotas maiores a 10 metros de 16 anos, considerado como fenômenos naturais extremos. As cotas com menor tempo de recorrência de 3 a 4 anos aproximadamente, ficam entre 7 a 8 metros consideradas como fenômenos naturais normais.

Um dado interessante estabeleceu se com os resultados das cotas entre 4 e 5 metros. Os intervalos de tempos de recorrência para as cotas têm valores resultantes entre 48 a 24 anos; os dados devem ser interpretados considerando os dados utilizados para a pesquisa, os quais correspondem às cotas máximas anuais, sendo dados de cotas mais altas por ano de registro. Os valores de dados com cotas entre 4 a 5 metros tem maior dificuldade de ocorrência como cotas máximas em um ano, sendo geralmente superadas (Figura 27).

A última cheia registrada na cidade de Caracará com um intervalo maior de 10 metros foi no ano 2011. Segundo os cálculos de tempo de recorrência, estima se uma cheia da mesma intensidade para o ano 2027. Como regra geral, quando o tempo de ocorrência é muito longo, o nível de perigosidade do fenômeno natural aumenta.

Tucci (2004), explica que devido às ocorrências de fenômenos naturais extremos em longos lapsos de tempo, a população invade as áreas de vulnerabilidade à inundações desse tipo, sendo transformadas em áreas de risco de alto impacto.

Figura 27 - Tempos de recorrência (eventos / anos) a partir de dados ANA (2017).



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Para entender as dinâmicas do rio Branco em relação a suas cotas máximas anuais, foi realizado quatro modelos de representação de zoneamento das áreas de inundações. Os resultados dos modelos foram classificados por: Cotas Maiores, Cotas Medias, Cotas Menores e finalmente, Cotas Máximas Anuais o qual modelo foi usado na construção do mapa de suscetibilidade à inundações (Critérios Físicos).

As cotas maiores representam os 16,6 valores mais altos das 50 cotas máximas anuais registradas, as cotas medias os seguintes 16,6 valores pertencientes às cotas medias do total de registro e finalmente, as cotas menores sendo as últimas 16,6 cotas do total de registro. As cotas máximas anuais foram analisadas com os 50 registros.

5.1.1. B - Cotas Maiores

As cotas maiores são as 16 primeiras cotas máximas anuais da lista pelo grau elevação do nível da água do rio Branco na base à estação de Caracará (44.98 metros), zoneada de acordo com as áreas de inundação determinadas pelas cotas, classificadas em.: alto, medio, baixo e não alagado. O quadro 27 apresenta as 16 primeiras cotas com intervalo de 1,114 m até 8,62 m acontecidas nos meses de junho, julho e interessantemente abril de 1993, com media de 9,4612 m. Segundo os dados das cotas máximas na cidade de Boa Vista por Sander (2012), no ano 1993 não excedeu os 600 cm pelo qual não concorda com os dados da estação Caracará.

Quadro 27 - Cotas máximas anuais – Cotas maiores da estação Caracará 14.710.000

RegistroID	ID	Data	Cotas Máximas Anuais (cm)	Ano	Zoneamento
1	586	4/1/1993	1114	1993	Alto
2	1232	6/1/2011	1114	2011	
3	115	7/1/1976	1062	1976	
4	19	7/1/1968	984	1968	
5	1049	6/1/2006	972	2006	
6	S/D	7/1/2017	960	2017	Médio
7	268	7/1/1981	947	1981	
8	6	6/1/1967	938	1967	
9	696	7/1/1996	918	1996	
10	912	7/1/2002	892	2002	
11	55	7/1/1971	890	1971	Baixo
12	1084	6/1/2007	882	2007	
13	230	6/1/1980	874	1980	
14	193	6/1/1979	866	1979	
15	838	6/1/2000	863	2000	
16	1122	7/1/2008	862	2008	
Total Media Maiores			946,125		

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os dados hidrológicos foram classificados em 3 tipos dependendo da média das cotas, classificando em três áreas de inundação a partir da altura da estação Caracaraí de 44,98 metros (Quadro 28).

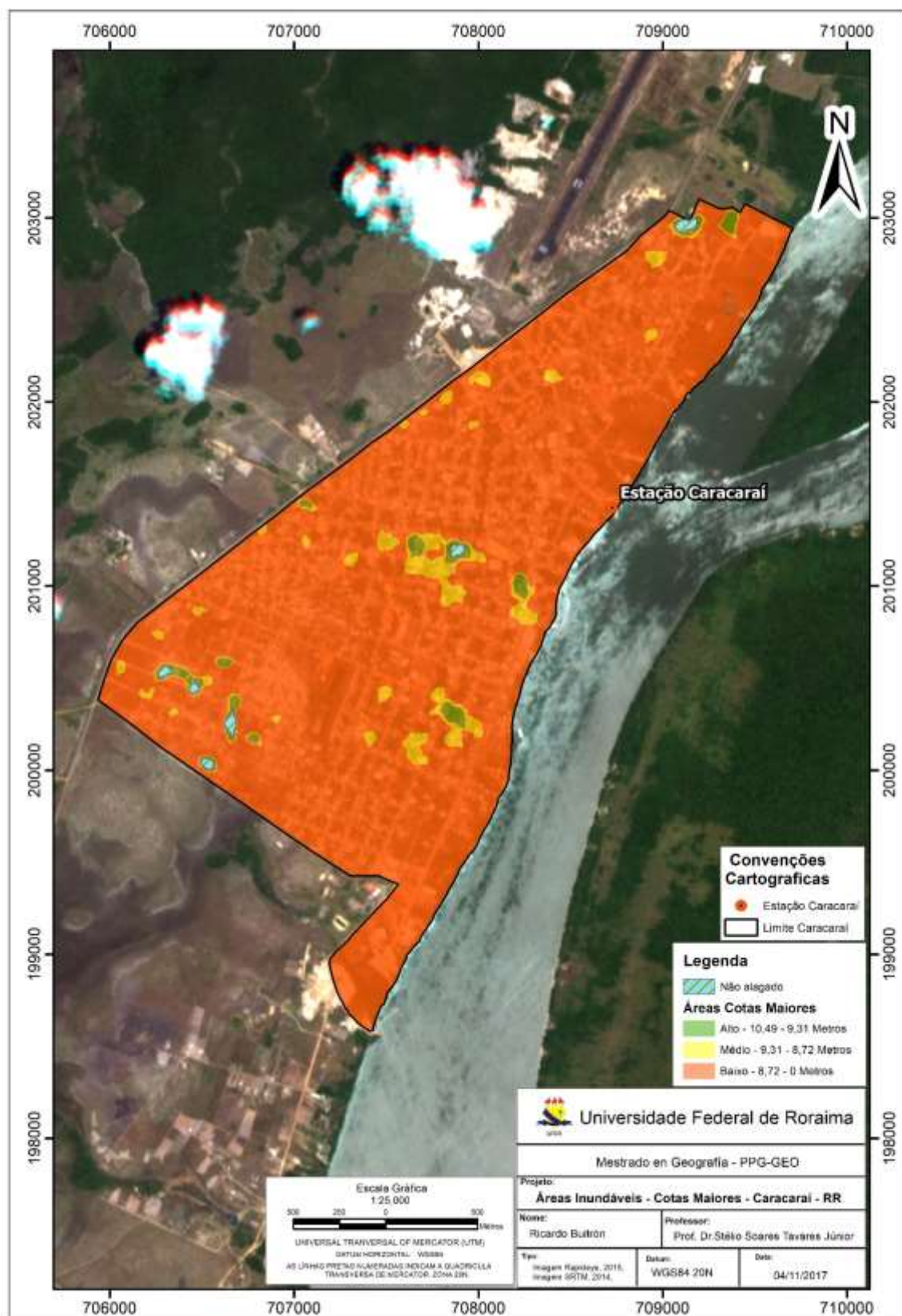
Quadro 28 - Calculo das dotas maiores da estação Caracaraí- RR 14710000 a partir de dados ANA (2017)

Total/5	Normalidade por seção (Cm)	Metros	Altura Estação	Área (m ²)	Altura Real SRTM Estação (m)	Zoneamento
5.246	1.049,2	10,492	44,98	86.186	55,472	Alto
4.655	931	9,31		221.018	54,29	Médio
5.237	872,83	8,72		5.591.930	53,7	Baixo
Área Não alagada				16.904	Áreas > 55,47	Não alagado
Total Cotas Máximas				5.916.040	54,44	

Elaboração: Buitrón (2017).

Os resultados da Figura 28, mostram um modelo da realidade no caso das enchentes e inundações na Cidade de Caracaraí, tendo como base de cartografia as 16 cotas maiores enchentes registradas pela estação 14.710.000 das cotas máximas anuais. Onde, a cidade pode ser atingida até **94,52%** no caso de uma enchente com cotas maiores com uma média de 9,46 metros, ainda que as cotas máximas e mínimas são 11,14 m e 8,62 m respectivamente, o qual significa que as áreas podem mudar no caso que uma cota supere à maior registrada. Da área total só 0,28% corresponde a uma área não atingida ou segura com extensão de 16.904 m².

Figura 28 - Áreas inundáveis serie cotas 11,14 - 8,62 metros Caracarái -RR (Dados ANA 2017)

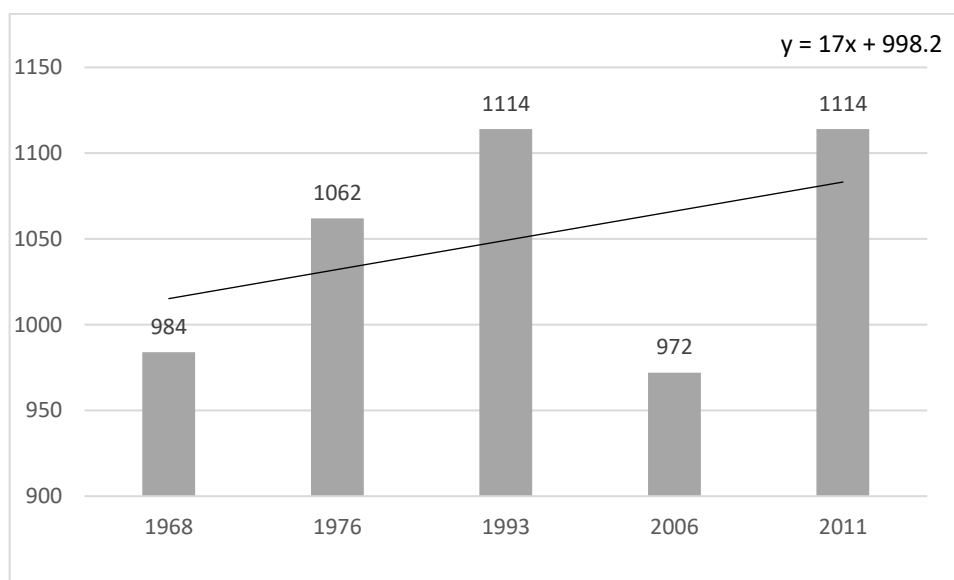


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

a) B1 - Áreas inundáveis – Zoneamento Alto

As áreas de inundação classificadas como “Alto”, tem uma extensão de 86.186 m² correspondendo a 1,45% da área urbana total. Através do cálculo da média das 5 primeiras cotas maiores com resultado de 10,49 metros a partir do ponto de medida da estação Caracaraí. A medida total é de 55,47 metros segundo a imagem SRTM. O intervalo das cotas máxima e mínima tem valores de 11,14 metros até 9,72 metros respectivamente (Figura 29). O tempo de recorrência para este tipo de fenômenos naturais considerados extremos são de 8 a 16 anos, sendo pouco comuns e perigosos.

Figura 29 - Cotas maiores – Zoneamento Alto a partir de dados ANA (2017)

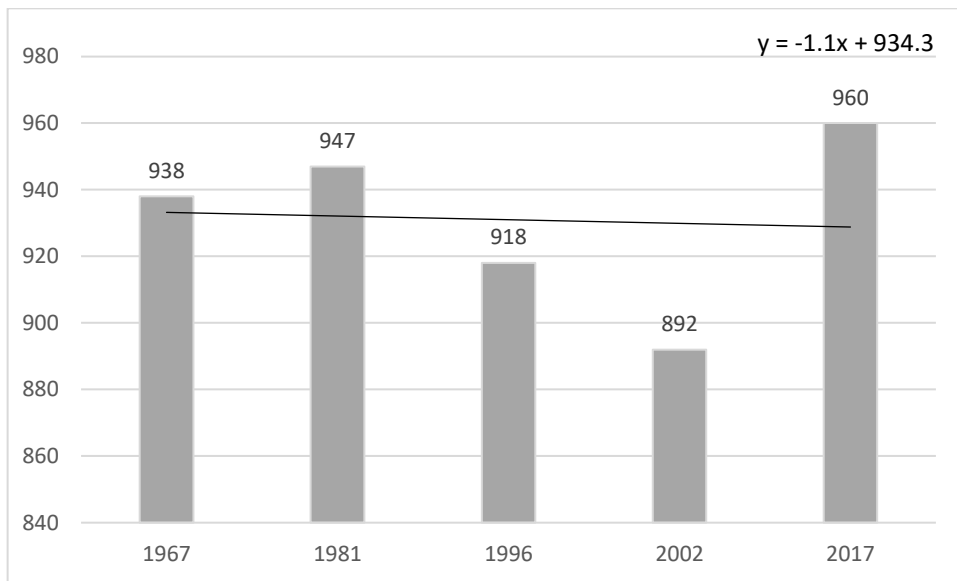


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

b) B2 - Áreas inundáveis – Zoneamento Médio

As áreas de inundação classificadas como “médio” a inundação apresenta a extensão de 221.018 m² representando 3,73% da área urbana total da cidade. O intervalo das 5 seguintes é de 9,60 até 8,92 metros com média de 9,31 metros a partir do ponto de mensura da estação Caracaraí; sendo o ponto médio de 54,29 metros segundo a imagem SRTM (Figura 30). O tempo de recorrência para as cotas é de 8 anos. Este tipo de zoneamento fica localizado heterogeneamente gerando grupos no centro da área de estudo consideradas zonas com maior altura.

Figura 30 - Cotas maiores- Zoneamento Médio a partir de dados ANA (2017)

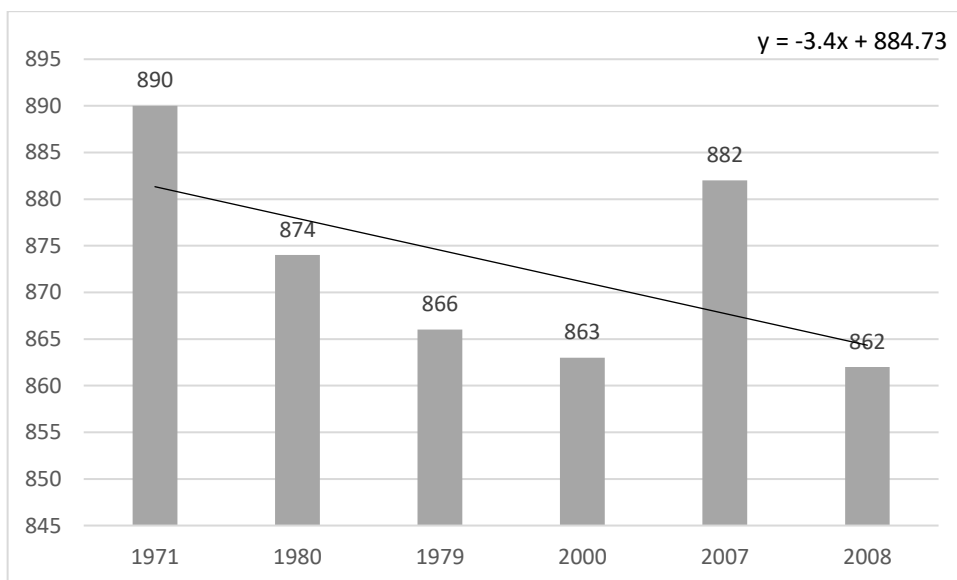


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

c) B3 - Áreas inundáveis – Cotas Baixas

As áreas inundáveis classificada como “Baixa” representa 5.591.930 m² correspondendo 94,52% da área total da cidade. As 6 seguintes cotas têm intervalo de 8,90 até 8,62 metros com uma média de 8,72 metros a partir do ponto de mensura da estação Caracaraí; sendo o ponto médio de 53,70 metros segundo a imagem SRTM. O tempo de recurrence para as cotas é de 3,4 anos (Figura 31).

Figura 31 - Cotas maiores – Zoneamento Baixo a partir de dados ANA (2017)

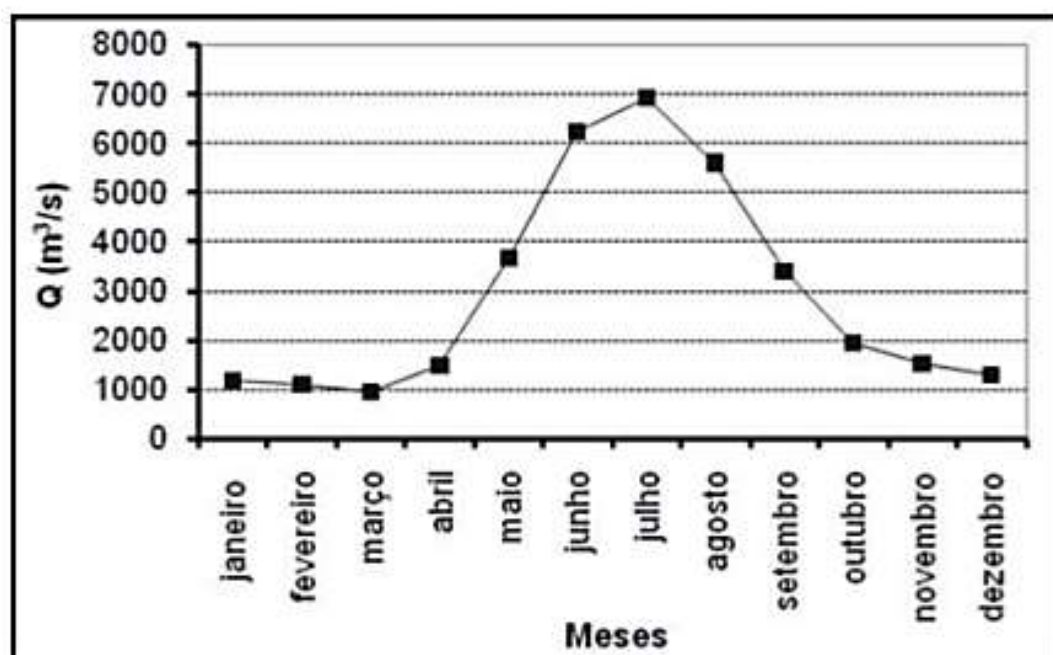


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os dados obtidos das maiores cotas desde 1967 até 2017 pertencem aos meses de junho e julho principalmente. Os dados coincidem com os dados obtidos por Sander (2015), onde gera o histograma, mas médias mensais das vazões do rio Branco, na estação Caracaraí (Figura 32).

O histograma revela um incremento nas vazões desde seu início no mês de abril até o mês de outubro, sendo os meses de junho, julho e agosto de maior intensidade chegando até uma meia de 7.000 m³/s no mês de junho. Embora, um dado não pertença aos meses de maior intensidade, como é o caso de uma das cheias mais altas registradas em 1 de abril de 1993 na estação Caracaraí.

Figura 32. - Hidrógrama com as médias mensais das vazões do rio Branco, na estação Caracaraí, no período 1967-2012 (ANA, 2014).



Fonte: Sander (2015).

5.1.2. C - Cotas Médias

As Cotas Máximas Anuais – Médias são estabelecidas pelas 16 seguintes cotas máximas da lista anual segundo o grau elevação do nível da água do rio Branco na base à estação de Caracarái (Quadro 29). O intervalo de cotas tem o tempo de recorrencia de 3,5 anos e 3,2 anos consideradas de maior frequência e baixa intensidade.

Quadro 29 - Cotas Máximas Anuais – Cotas médias da estação Caracarái 14.710.000

RegistroID	Data	Media cm	Ano	Zoneamento
17	8/1/1975	850	1975	Alto
18	7/1/1991	849	1991	
19	7/1/2005	837	2005	
20	8/1/1999	835	1999	
21	6/1/2010	825	2010	
22	8/1/1988	816	1988	Médio
23	7/1/1986	811	1986	
24	7/1/2012	793	2012	
25	8/1/1974	785	1974	
26	7/1/1977	785	1977	
27	6/1/1989	782	1989	Baixo
28	7/1/1994	780	1994	
29	8/1/1985	776	1985	
33	7/1/2016	774	2016	
30	7/1/1995	770	1995	
31	8/1/1970	768	1970	
Total Médias		802,25		

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os dados hidrológicos foram classificados em 3 zoneamentos de inundação, classificados por: alto, médio e baixo. O intervalo é de 850 cm até 768 cm apresentando a média de 802,25 cm. (Quadro 30)

Quadro 30 – Cálculo das cotas máximas anuais - Cotas médias da Estação Caracarái 14710000.

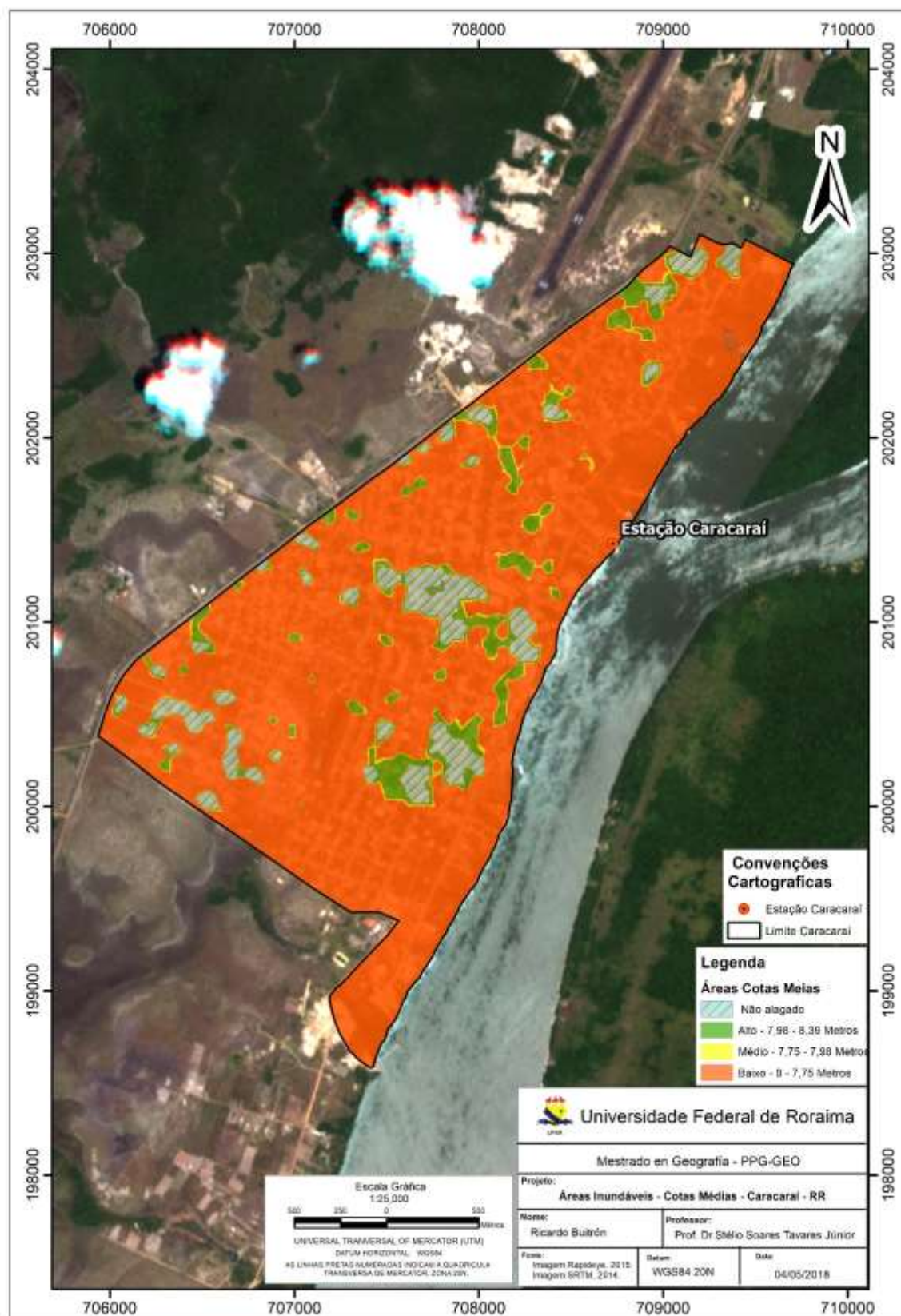
Total/5	Media por seção (Cm)	Metros	Altura Estação	Área (m ²)	Altura Real SRTM Estação (m)	Zoneamento
4.196	839,2	8,39	44,98	141.558	53,37	Alto
3.990	798	7,98		40.537	52,96	Médio
4.650	775	7,75		49.440.854	52,73	Baixo
Área Não Vulnerável				425.022	Áreas > 53,37	Não atingida
Total Cotas Médias				5.916.038	54,43	

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os resultados da Figura 33 mostra um modelo da realidade no caso das enchentes e inundações na Cidade de Caracará, tendo como base de cartografia 16 cotas seguintes das cotas máximas anuais registradas pela estação 14.710.000 chamadas como Cotas Médias. Os resultados no caso das cotas máximas aplicadas neste modelo, a área total da cidade pode ser atingida 83,57% no caso de uma enchente com cotas com uma média de 8,02 metros; onde as cotas máximas e mínimas são 8,50 m e 7,68 m respectivamente. Da área total só 7,18% corresponde às áreas não atingidas ou não alagado com extensão de 425.022 m².

O modelo não faz uso das 16 primeiras cotas maximais anuais registradas, pelo qual as áreas de zoneamento mudam principalmente incrementando as áreas “altas”; “médias” e diminuindo as áreas “baixas”. Os dados registrados têm maior frequência nos meses de junho, julho e agosto (Tabela 20). O aumento ao longo de meses é pela consideração de valores com menor intensidade, além dos valores de cotas maiores. O tempo de retorno de 3,2 anos até 3,4 nos. O zoneamento é classificado:

Figura 33 - Áreas inundáveis serie cotas 8,50 -7,68 metros Caracarái - RR (Dados ANA 2017)

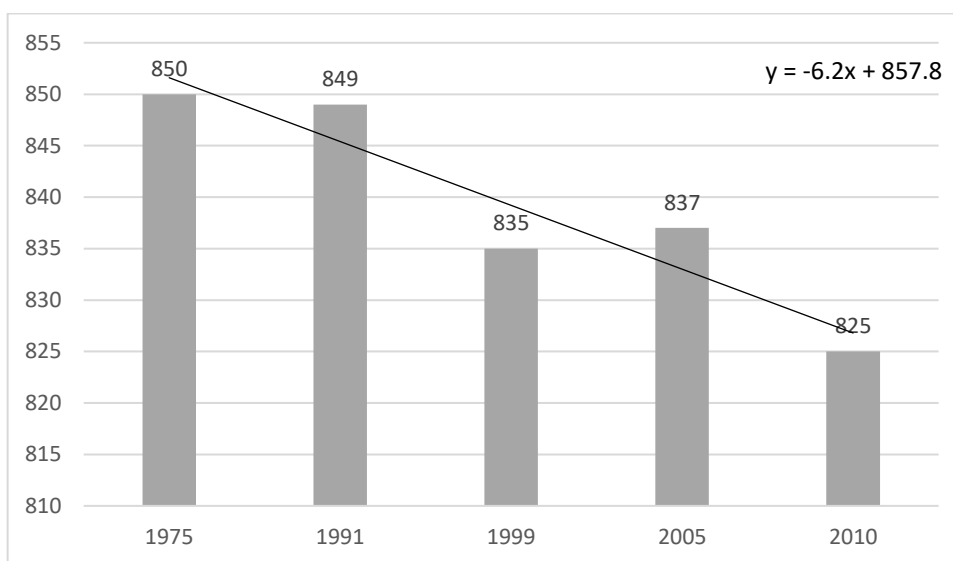


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

a) C1 - Áreas inundáveis – Zoneamento Alto

As áreas de inundação classificadas como “Alto”, tem uma extensão 141.558 m² correspondendo 6,85% da área total. A média das 5 primeiras cotas médias é 8,39 metros do ponto de mensura da estação Caracaraí; 53,37 metros segundo a medida da imagem SRTM. O intervalo é de 8,50 até 8,25 metros. O tempo de recorrência é 3,4 anos (Figura 34).

Figura 34 - Cotas médias - Zoneamento Alto

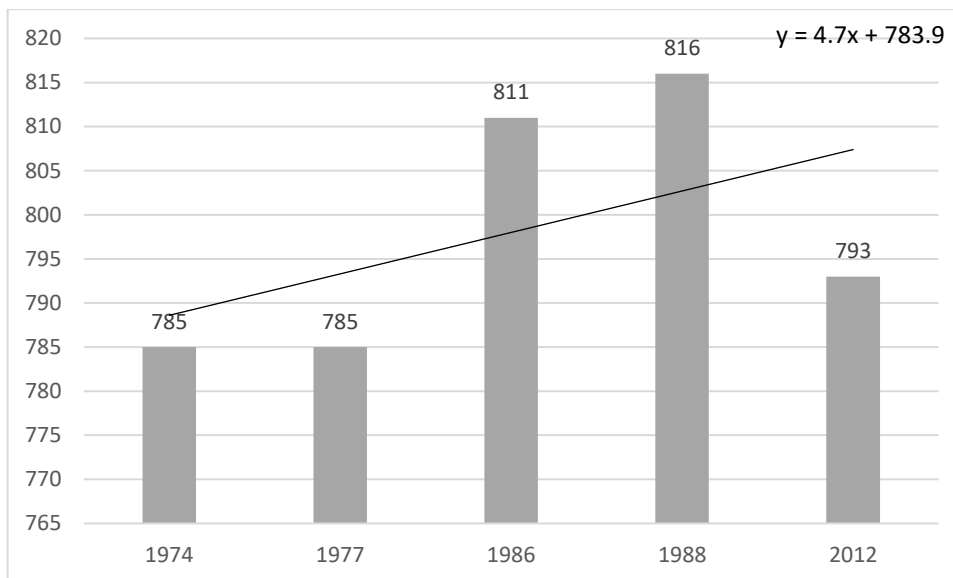


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

b) C2 - Áreas inundáveis – Zoneamento Médio

As áreas de inundação classificada como “Médio” tem uma extensão de 40.537 m² representando 2,39% da área total da cidade. A média das 5 cotas seguintes é de 7,58 metros a partir do ponto de medida da estação Caracaraí; 52,96 metros segundo a mensuram da imagem SRTM. O intervalo de cotas é de 8,16 até 7,85 metros. O tempo de ocorrência é de 3,4 anos (Figura 35).

Figura 35 - Cotas médias - Zoneamento Médio

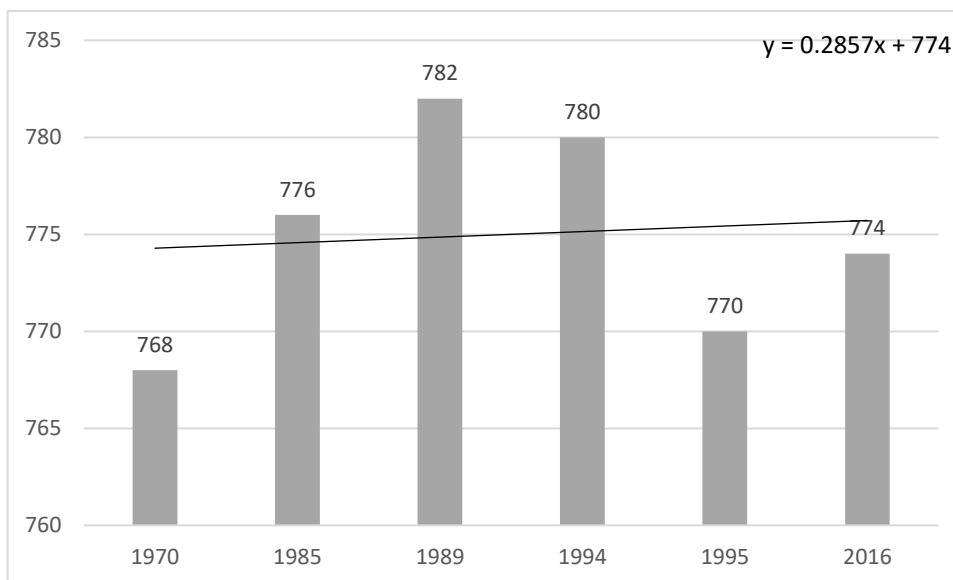


Fonte: Autor (2018).

c) C3 - Áreas inundáveis – Zoneamento Baixo

As áreas de inundação classificada como “Baixo” tem uma extensão de 49.440.854 m², representando 83.57% da área total da cidade. A média das 5 cotas seguintes é de 7.75 metros a partir do ponto de mensura da estação Caracaraí; 52,73 metros segundo a mensura da imagem SRTM. O intervalo das cotas é de 7,82 até 7,68 metros. O tempo de recorrência é de 3,2 anos (Figura 36).

Figura 36 - Cotas médias - Zoneamento Baixo



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.1.3. D - Cotas Menores

As Cotas Máximas – Menores são os 18 últimos dados de cotas máximas anuais da lista pela elevação do nível da água do rio Branco na base à estação de Caracaraí (44,98 metros, zoneada de acordo com as áreas de inundação determinadas pelas cotas, classificadas em: alto, médio, baixo e não alagado. A quadro 31 apresenta as 16 ultimas cotas máximas anuais com intervalo de 7,55 m até 4,52 m acontecidas nos meses de janeiro, maio, junho, julho, agosto e setembro; sendo interessante o valor do mês de janeiro onde o nível do rio atingiu 6,50 m e foi considerado como a cota mais alta nesse ano, considerado período seco. O tempo de recorrência é maior de 5 anos segundo o quadro 10, mas o valor deve ser entendido como as cotas máximas em 1 ano; os valores de 7,55 até 4,52 m são mais comunes de acontecer em 1 ano.

Quadro 31 - Cotas máximas anuais – Cotas menores da estação Caracaraí 14.710.000.

Registro ID	Data	Mínima cm	Ano	Zoneamento
32	9/1/1978	755	1978	Alto
34	6/1/1969	744	1969	
35	7/1/1998	732	1998	
36	8/1/2003	722	2003	
37	6/1/2013	720	2013	
38	7/1/1972	714	1972	
39	8/1/2004	690	2004	Médio
40	9/1/1973	688	1973	
41	7/1/1987	684	1987	
42	6/1/1984	672	1984	
43	6/1/1982	659	1982	
44	1/1/2009	650	2009	
45	8/1/2001	620	2001	Baixo
46	7/1/1997	615	1997	
47	7/1/2015	606	2015	
48	7/1/2014	536	2014	
49	8/1/1992	488	1992	
50	5/1/1983	452	1983	
Média Total	652.611111			

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os dados hidrológicos são classificados em 3 tipos dependendo da altura das cotas máximas-mínimas, o qual ficam no intervalo apresentado anteriormente e normalizados, obtendo assim os seguintes dados. (Quadro 32)

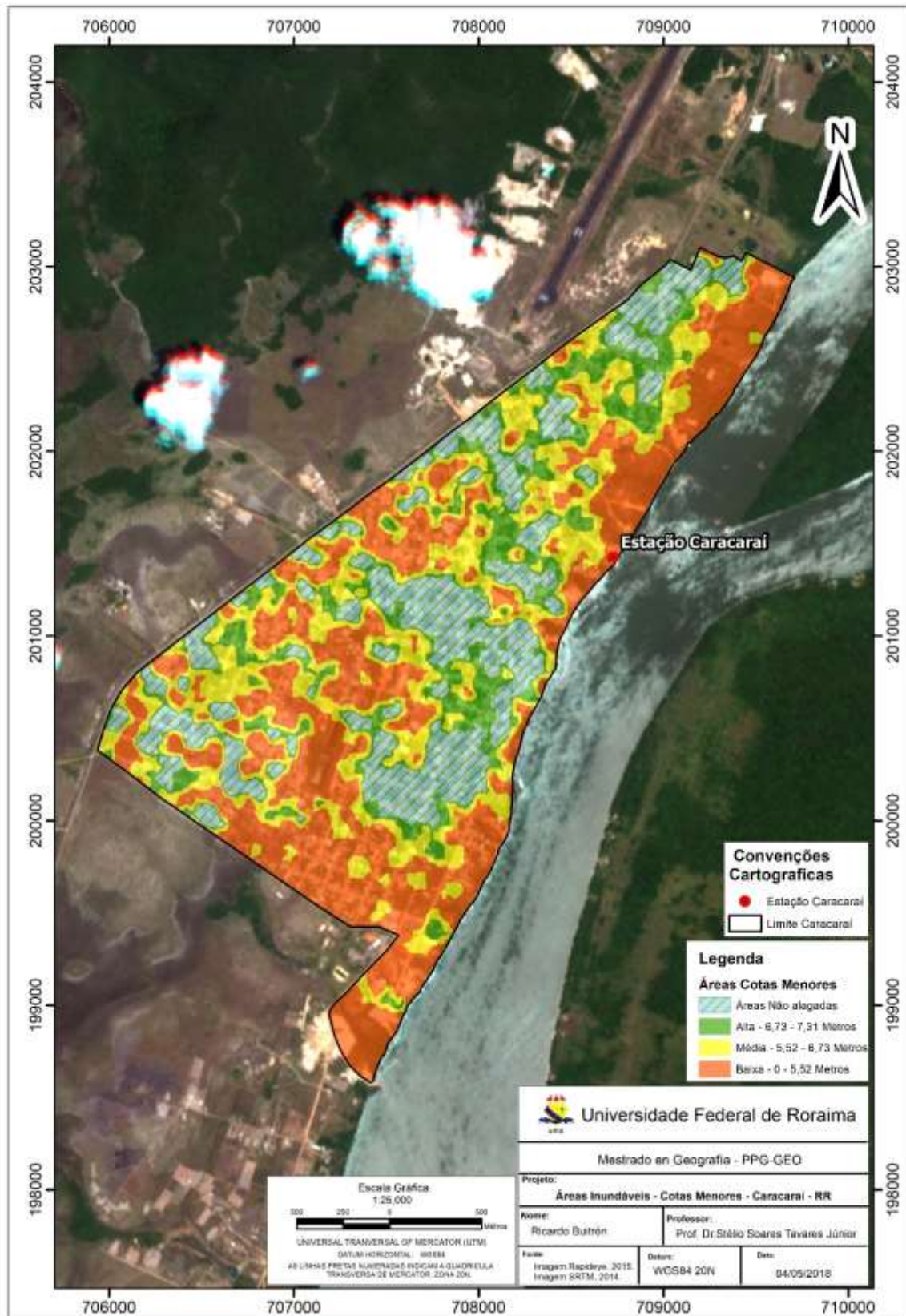
Quadro 32 - Cotas menores da estação Caracarái 14710000, Áreas de Vulnerabilidade.

Total/6	Media por seção (Cm)	Metros	Altura Estação	Área (m ²)	Altura Real SRTM Estação (m)	Zoneamento
4.387	731,16	7,31	44,98	909.981	52,29	Alta
4.043	673,83	6,73	44,98	1.422.664	51,71	Media
3.317	552,83	5,52	44,98	2.308.290	50,5	Baixa
Área Não alagada				1.275.103	Áreas > 52,29	Não alagada
Total Cotas Menores				5.916.040		

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os resultados da Figura 37 mostram modelo da realidade no caso das enchentes e inundações comunes na Cidade de Caracarái, tendo como base de cartografia 18 cotas mínimas das cotas máximas anuais registadas pela estação 14.710.000. Onde, de 15,38% até 39,01% da área urbana total da cidade pode ser atingida no caso de uma enchente com cotas com uma média de 6,52 metros; O intervalo de cotas é de 7,55 m e 4,52 m. A área não alagada ou área segura corresponde 1.275.103 m², representando 21,55% da área urbana total da cidade.

Figura 37 - - Áreas inundáveis serie cotas 7,55 -4,52 metros Caracarái - RR (Dados ANA 2017)

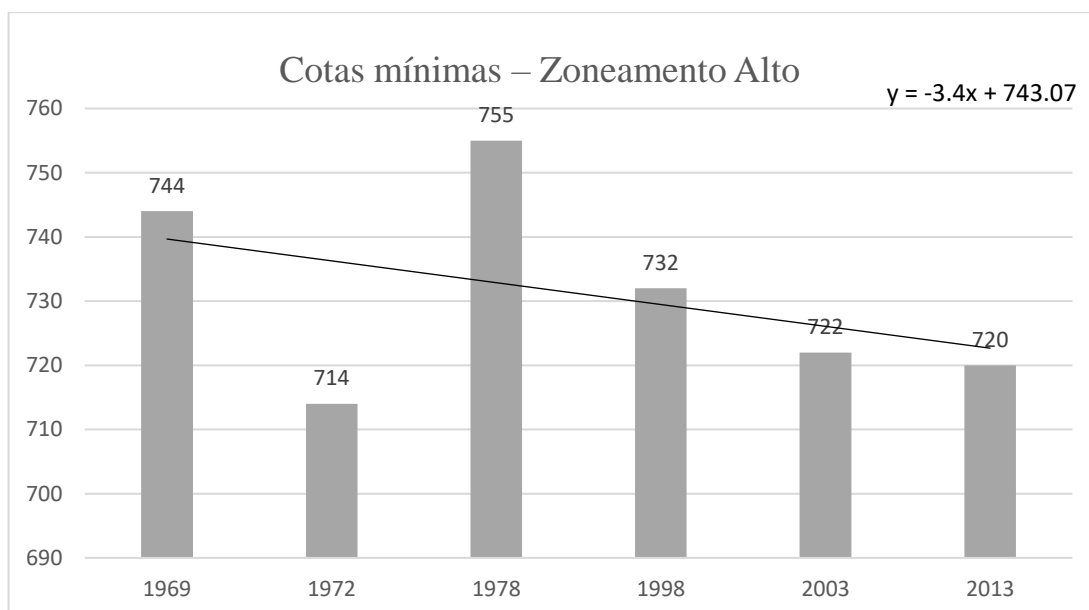


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

a) D1 - Áreas inundáveis – Zoneamento Alto

As áreas de inundação classificadas como “Alto”, tem uma extensão 909.981 m² correspondendo 15,38% da área total. A média das 6 primeiras cotas médias é 7.31 metros do ponto de mensura da estação Caracaraí; 52,29 metros segundo a medida da imagem SRTM. O intervalo é de 7,55 até 7,14 metros. O tempo de recorrência é menor a 3 anos (Figura 38).

Figura 38 - Cotas menores – Zoneamento Alto

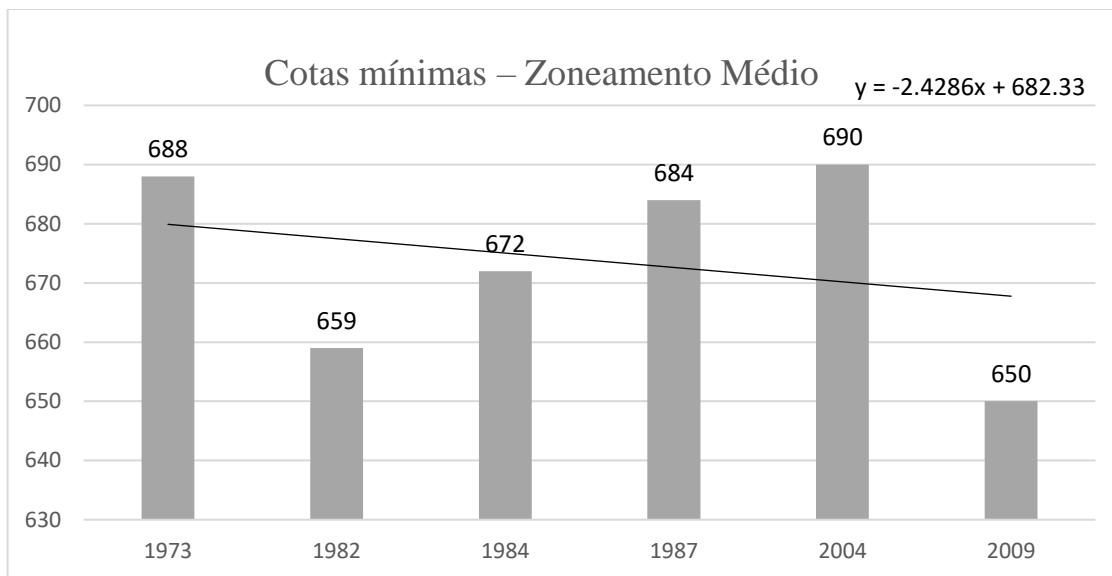


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

b) D2 - Áreas inundáveis – Zoneamento Médio

As áreas de inundação classificada como “Médio” tem uma extensão de 1.422.664 m² representando 24,04% da área total da cidade. A média das 6 cotas seguintes é de 6,73 metros a partir do ponto de medida da estação Caracaraí; 51,71 metros segundo a mensuram da imagem SRTM. O intervalo de cotas é de 6,90 até 6,50 metros. O tempo de ocorrência é menor de 3 anos (Figura 39).

Figura 39 - Cotas menores – Zoneamento Médio

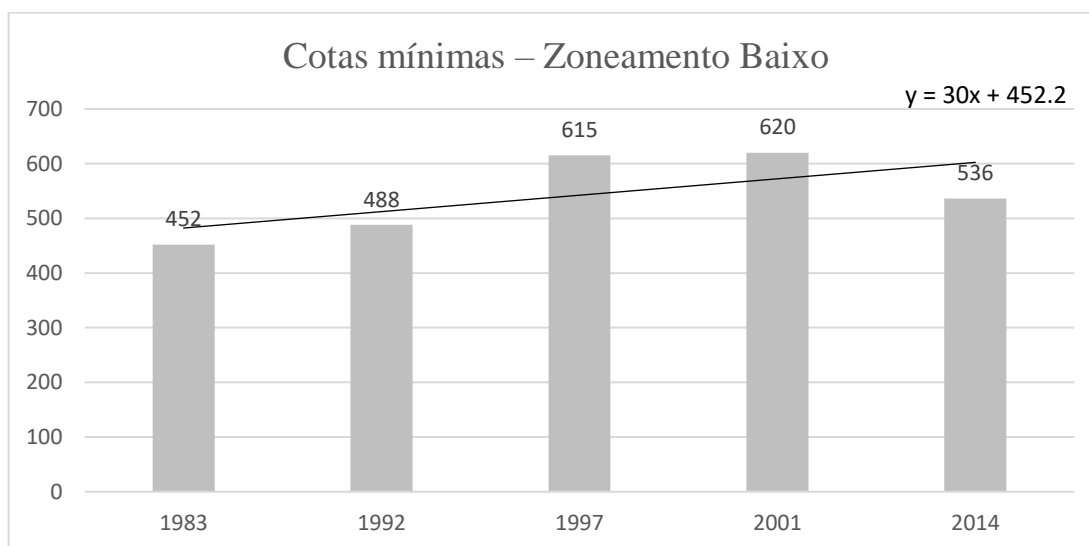


Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

c) D3 - Áreas inundáveis – Zoneamento Baixo

As áreas de inundação classificadas como “Baixo” têm uma extensão de 2.308.290 m², representando 39,01% da área total da cidade. A média das 5 cotas seguintes é de 5,52 metros a partir do ponto de mensura da estação Caracaraí; 50,50 metros segundo a mensura da imagem SRTM. O intervalo das cotas é de 6,20 até 4,52 metros. O tempo de recorrência é menor de 3 anos (Figura 40).

Figura 40 - Cotas menores – Zoneamento Baixo



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.1.4. A - Cotas Máximas Anuais

O modelo das cotas máximas anuais foi escolhido para o mapeamento das áreas susceptíveis a inundações tomando em conta os critérios físicos. O uso do registro total das 50 cotas máximas da estação Caracaraí permitiu gerar áreas inundáveis mais próximas às inundações acontecidas os últimos 50 anos sem excluir nenhum registro. (Figura 41)

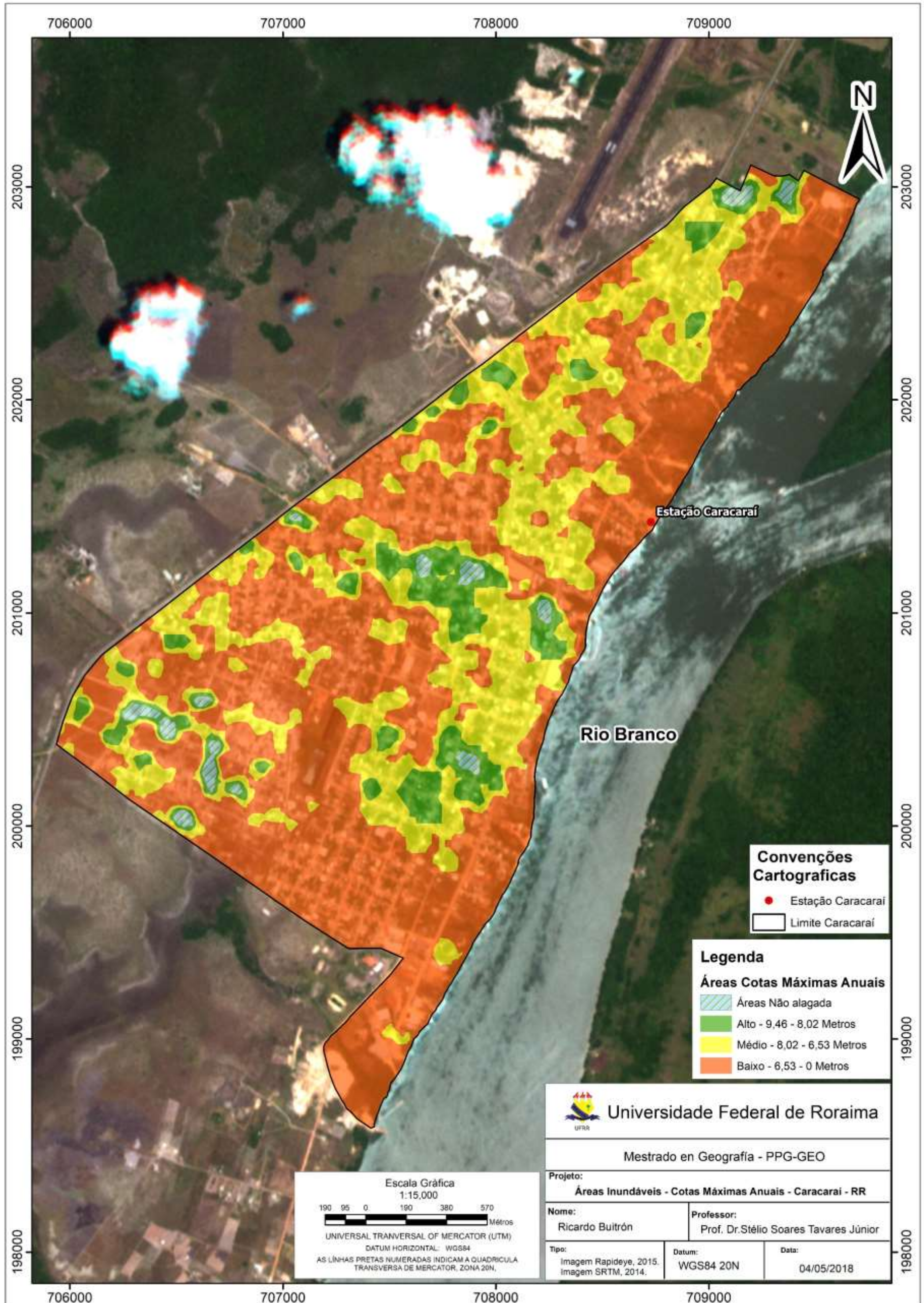
Os seguintes resultados mostram todos os registros das cotas máximas anuais classificados em 3 níveis de zoneamento divididas em 15,66 cotas por cada nível dos 50 registros que tem a ANA desde 1967 até 2017. O mapeamento das áreas foi realizado a normalização dos dados hidrológicos obtendo as médias das cotas máximas categorizado em: alta, média e baixa. (Quadro 33)

Quadro 33 – Cálculo das cotas máximas anuais da estação Caracaraí 14710000.

Total/16	Media por seção (Cm)	Metros	Altura Estação	Área (m ²)	Altura Real SRTM Estação (m)	Zoneamento
15.138	946,125	9,46	44.98	457.612	54,44	Baixa
12.836	802,250	8,02		1.821.397	53,00	Média
11.747	652,611	6,53		3.545.696	51,51	Alta
Área Não alagada				91332	Áreas > 54,44	Não alagada
Total Cotas Máximas				5916040	54,43	

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Figura 41 - Áreas de inundação - Cotas Máximas Anuais (1967-2017).



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Os resultados gerados a partir dos totais de 50 cotas máximas anuais mostram que as áreas com categoria “Alto” representam 7,73% da área da cidade; “Média” representa 30,78% da área da cidade e finalmente, “Baixo” representam o 59,93% da área total da cidade. A porcentagem de 1,55% da área da cidade representa as áreas não alagadas no caso de uma enchente ou inundação (Figura 41).

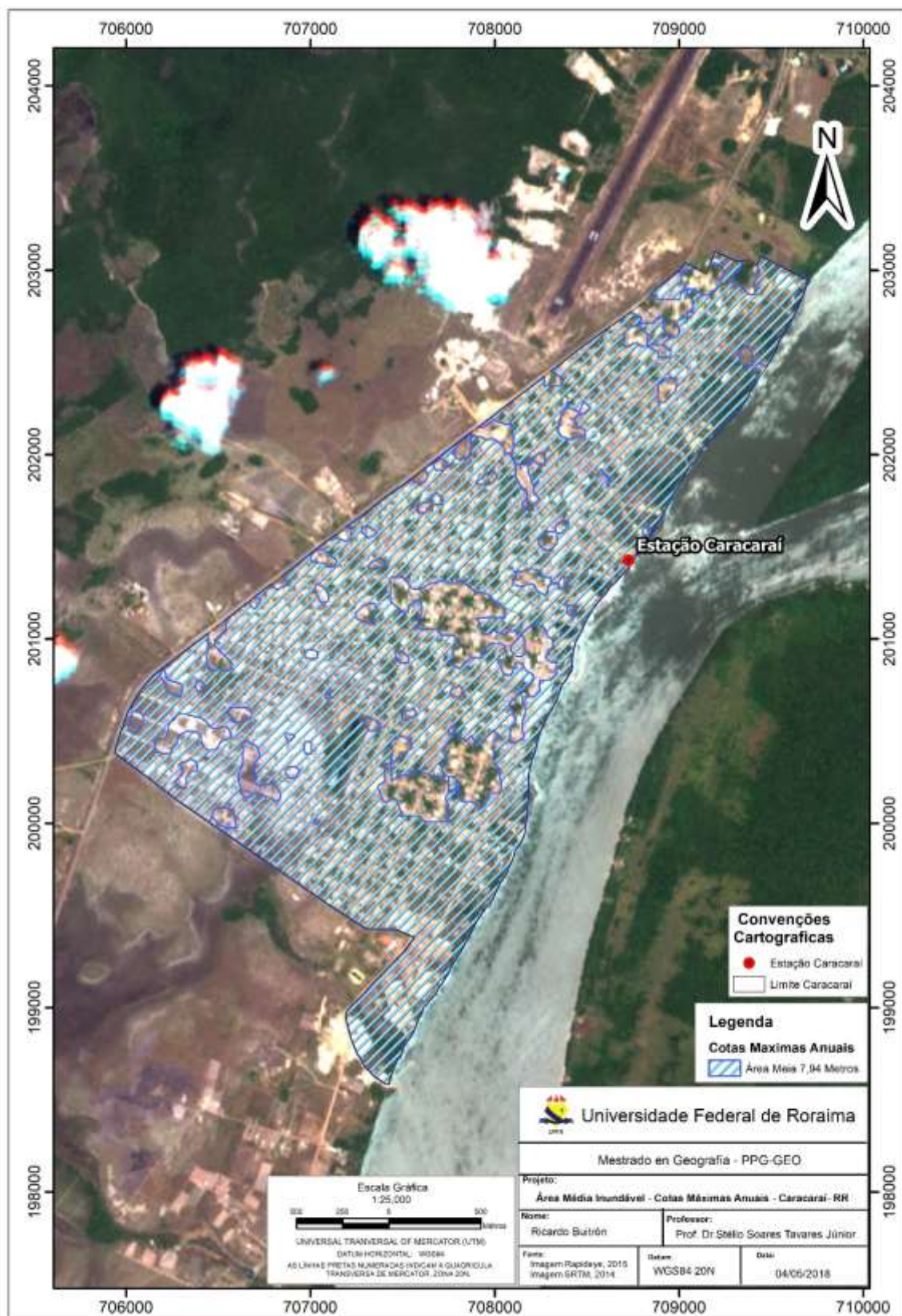
Nos processos de inundações dos últimos 50 anos, a média das cotas máximas anuais registrada pela estação Caracará é de 7,94 m com um tempo de recorrência de 3,2 anos. Os dados alarmantes das áreas atingidas no caso que o nível do rio atinga o ponto médio é preocupante, principalmente pela estrutura da cidade de Caracará. A figura 42 e 47, delimitam as áreas alagadas do ponto médio inundando, o resultado das áreas é de 5,05 km² dos 5,91 km² totais da cidade representando 85,46% da cidade. Mesmo que os valores sejam exorbitantes e pareceram pouco confiáveis, os dados dos perfis hipsométricos e declividade autenticam os resultados.

A geração de 9 linhas de perfis hipsométricos permitiu modelar o relevo da cidade de Caracará concordando com os dados de zoneamento das áreas de inundação. A Figura 44 determina os perfis em sentido W-E observando que a base do rio fica com uma altitude entre 47 a 45 metros e o ponto mais altos dos perfis com valores até os 56 metros de altitude medidos sobre o ponto de referencia do elipsoide WGS 84. O resultado médio da altitude e aproximadamente de 10 metros em relação à base do rio, justificando os resultados obtidos das áreas de inundações onde cotas maiores de 10 metros tem a capacidade de atingir a cidade toda.

Os perfis hipsômetros mostram na margem do rio Branco modificações na estrutura limite do rio, uma elevação de 6 metros (Perfis A, B, C, D) (Figura 45) no setor norte da cidade até 8 metros (Perfis E, F, G) (Figura 46) no centro da cidade, na margem do rio tem construções que foram abandonadas.

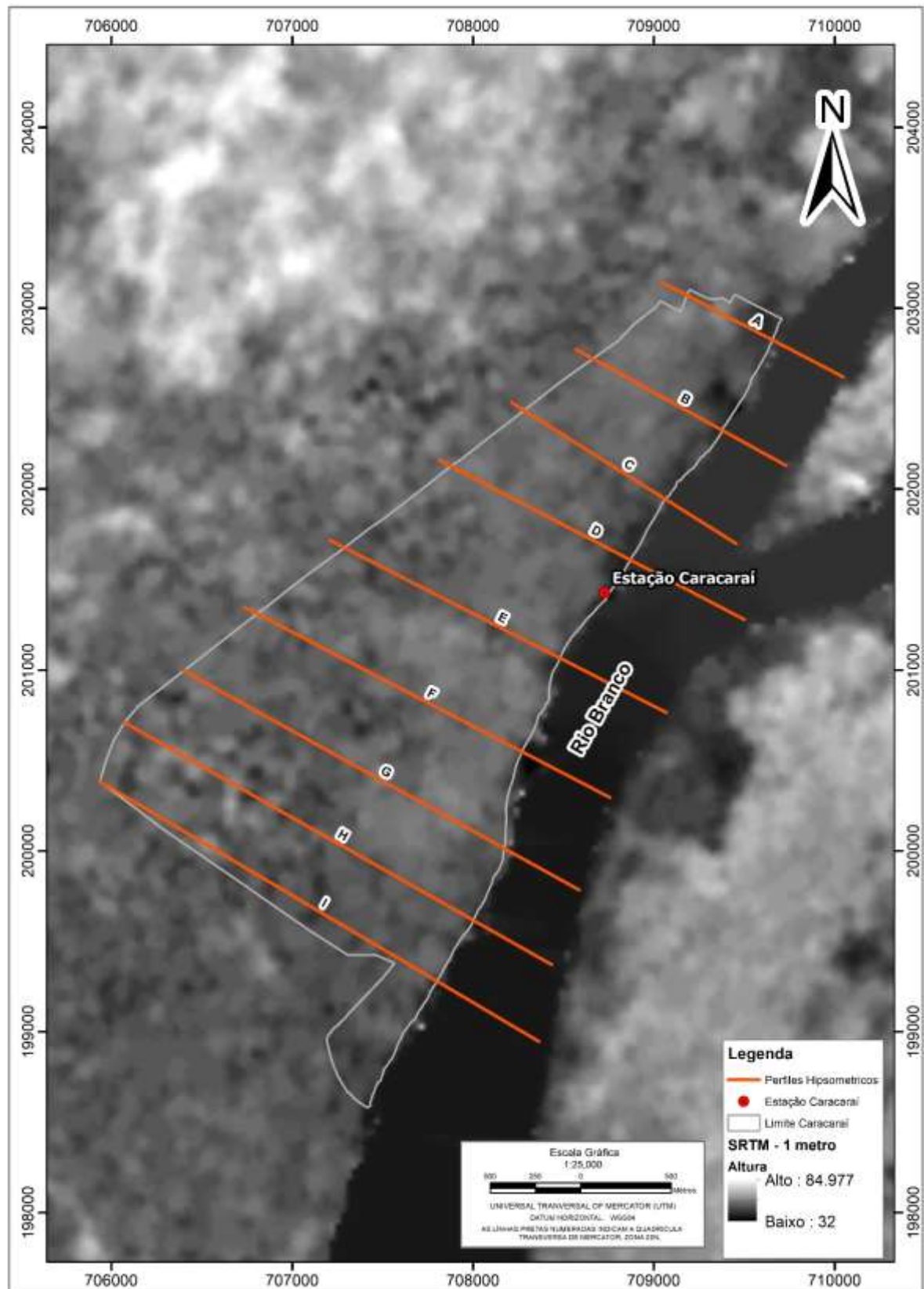
O interessante que a cidade apresentou presença de maior número de construções nesta área perto do rio, demonstrando que as áreas nesses pontos são menos vulneráveis, no caso de inundações com cotas menores a 5 metros, gerando na população um sentimento de segurança, voltando novamente a perfis onde o limite tem elevações de 6 Metros no setor sul da cidade, foram encontradas poucas construções. (Perfis H, I) (Figura 46)

Figura 42 - Área Média Inundável - Cotas Máximas Anuais. (1967-2017).



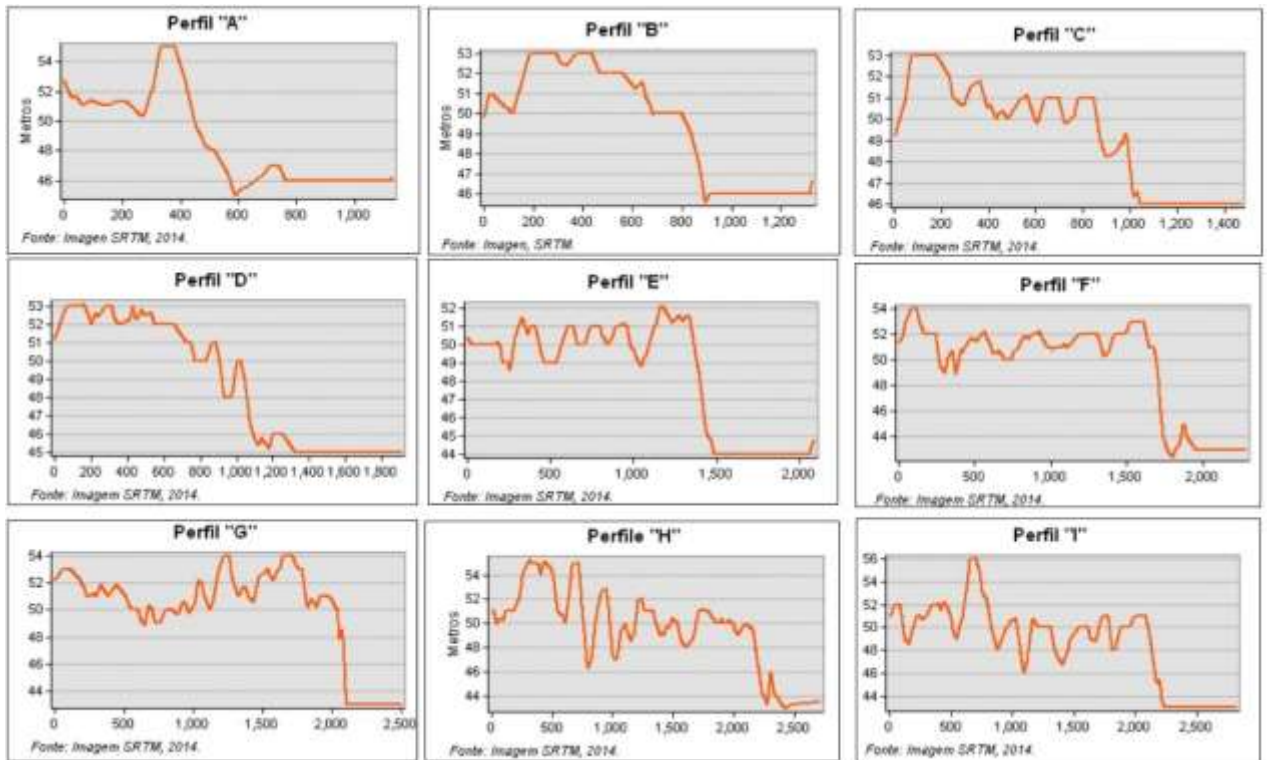
Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Figura 43 - Perfis Hipsômetros.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Figura 44 - Perfis hipsométricos na Cidade de Caracaráí.



Fonte: SRTM, 2014.

Figura 45 - Perfis A, B, C na margem direita do rio Branco em Caracaráí.



Fotografia: Kalefi (2017).

Figura 46 - . Perfis D, E, F, G, H na margem direita do rio Branco em Caracaraí.



Fotografia: Kalefi (2017).

No ano 2011, aconteceu a pior inunda o registrada dos últimos 50 anos segundo dados hidrológicos da esta o Caracaraí (ANA, 2017) atingindo 11,14 metros e gerando perdas econ micas e sociais. (GOVERNO FEDERAL DE RORAIMA, 2011). A cheias fica gravado na memória da popula o, principalmente aquelas que ficam mais tempo morando em Caracaraí lembrando o nível da água em rela o a sua casas além dos problemas causados na cidade (Figura 47).

Figura 47 - Pontos de Referencia dos níveis das águas na cheia de 2011.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018). Terça feira, Julho 13, 2017 11:35 am.

5.2. O RISCO NA CIDADE DE CARACARAÍ – RR

A culminação da pesquisa é a geração das áreas de risco na cidade de Caracaráí, sendo as inundações o fator físico e as infraestruturas o fator socioeconômico mais importantes na análise do risco. O risco pode ser entendido como uma construção social onde intervém a probabilidade da ocorrência de um fenômeno natural ou antrópico, que pode ser prejudicial para o homem (VEYRET, 2007).

Os fatores naturais e sociais foram determinantes (Áreas de inundações e Infraestruturas) no zoneamento, medida e análise das áreas, além do uso de outros fatores tais como declividade, uso e ocupação de solo e fatores que incluem na questão da mensuração do risco.

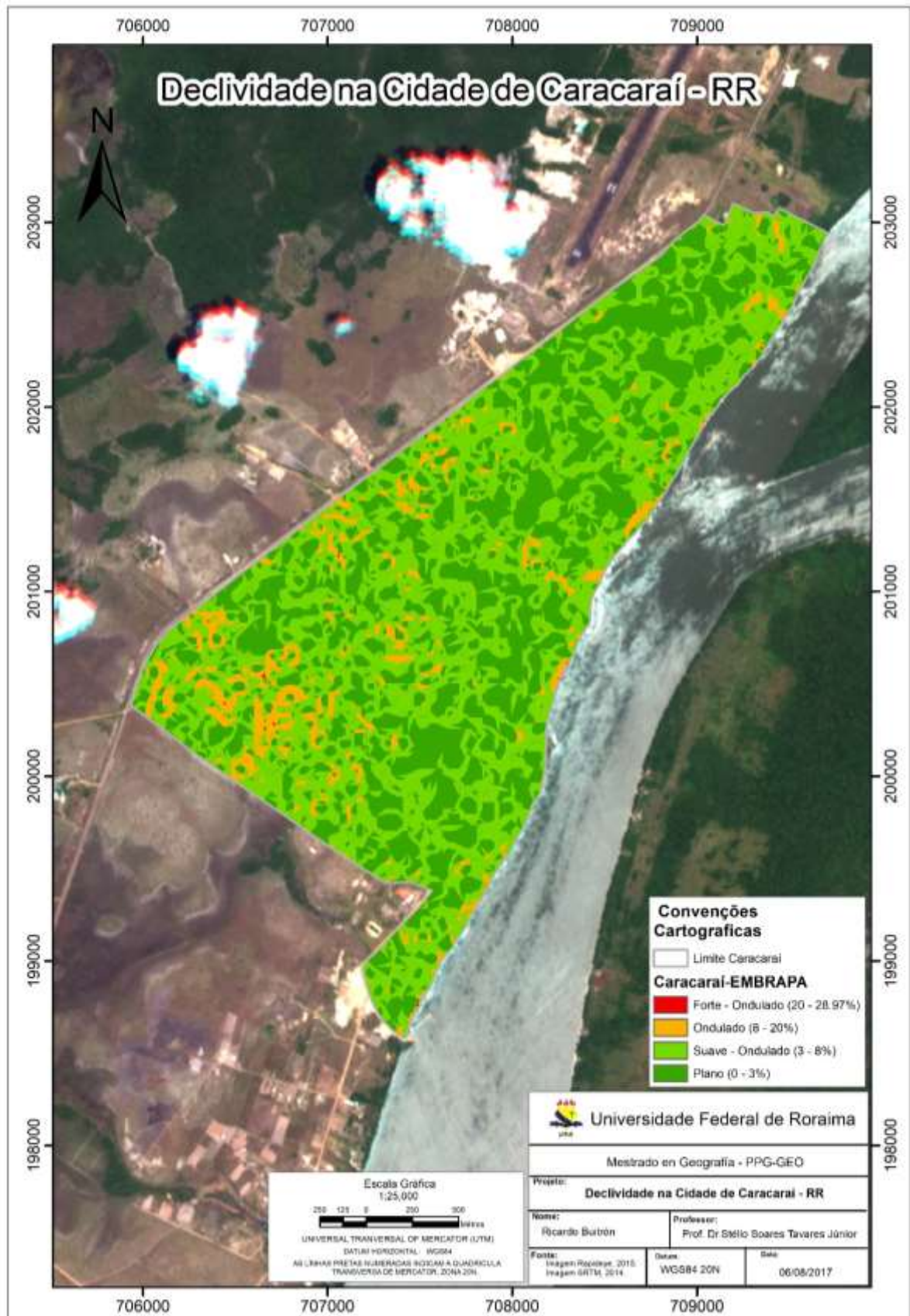
5.2.1. Critérios Físicos

Os critérios físicos são aqueles que correspondem àqueles associados à ameaça de inundações, principalmente determinados pela: declividade, áreas inundáveis (Figura 41) e direção da vertente. A combinação desses critérios físicos, estabeleceu como resultado as áreas susceptíveis a inundações em relação ao fenômeno natural, detalhados abaixo:

a) Declividade

Os resultados da declividade na cidade de Caracaráí produto da baixa altimetria, associada a fatores climáticos e hidrológicos faz que a declividade da área determine áreas com maior predominância de tipo “Plano e Suave/Ondulado”, correspondendo um valor de 92,5% da área total da cidade. As áreas onde a declividade tem maior presença de tipo “Forte” ficam localizadas no sul da cidade e as áreas na margem do rio no centro da cidade (Figura 48)

Figura 48 - Declividade na cidade de Caracarái - RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

A utilização dos dados topográficos SRTM permitiu que fosse possível a representação da declividade na figura. O resultado concorda com a dinâmica de inundação ribeirinha que experimenta a cidade onde os incrementos leves no nível de rio podem ocasionar inundações que afetam à cidade. A cidade de Caracará apresenta os seguintes dados de declividade: (Quadro 34)

Quadro 34 - Declividade na cidade de Caracará.

Declividade		
Area (m²)	Percentage (%)	Classe
2.483.443	41,978677	Plano
2.989.820	50,538179	Suave-ondulado
441.053	7,4553036	Ondulado
1.647	0,0278399	Forte-ondulado
5.915.963	100	Total

Fonte: SRTM, 2014.

b) Direção da Vertente

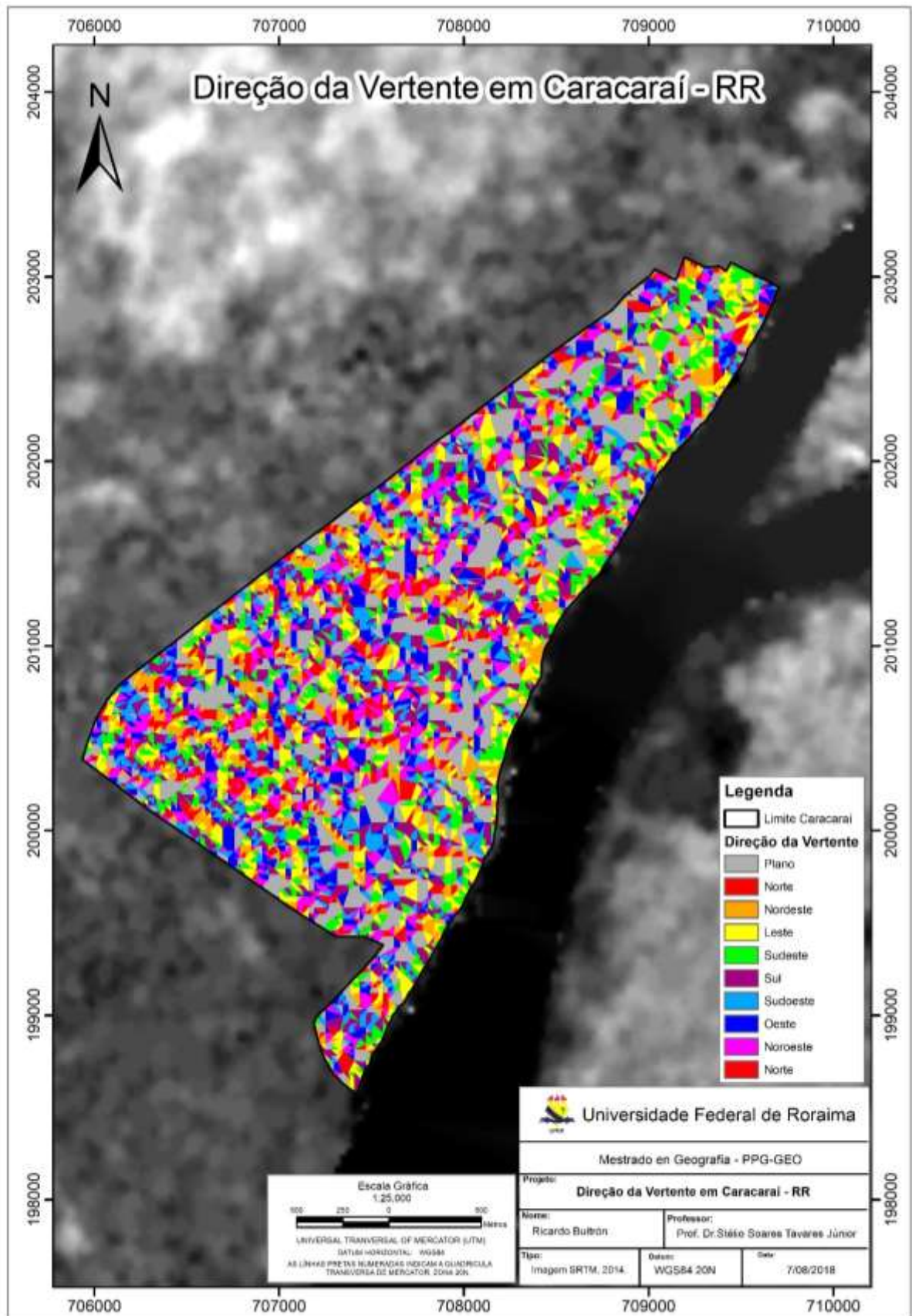
O direcionamento da vertente é outra variável considerada para a mensura do risco na questão física do meio. O direcionamento pode ser um fator determinante nas questões de inundações de áreas e a drenagem das mesmas também. Os resultados obtidos da imagem SRTM são os seguintes: (Quadro 35) (Figura 49)

Quadro 35 - Direção das vertentes na cidade de Caracará.

Direção das Vertentes		
Tipo	Área	Porcentagem
Plano	1.451.141,14	12,8090381
Norte	515.789,42	4,55280754
Nordeste	681.259,37	6,01338971
Leste	5.915.766,68	52,2177192
Sul este	607.626,75	5,36344395
Sul	639.934,68	5,64862194
Sul oeste	496.161,51	4,37955447
Oeste	555.012,6	4,89902555
Noroeste	466.348,58	4,11639954
Total	1.132.9040,7	100

Fonte: SRTM, 2014.

Figura 49 - Direção da vertente em Caracaraí.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.2.2. Critérios Socioeconômicos

Os critérios socioeconômicos são parte da equação para medir o risco determinado pelo fator humano na pesquisa. Os critérios determinados nessa pesquisa foram: cobertura do solo com distância até a drenagem (Rio Branco), e infraestrutura na margem do rio Branco. Os critérios socioeconômicos foram base do mapeamento das áreas susceptíveis à inundações com relação às pessoas, necessário para a geração do mapa de risco.

a) Cobertura do solo.

No caso da ocupação e uso de solo na cidade de Caracará, foi feita da imagem do satélite RapidEye e as imagens do Drone Phantom 4, as quais permitiram obter os seguintes resultados: (Quadro 36)

Quadro 36 - Cobertura do solo.

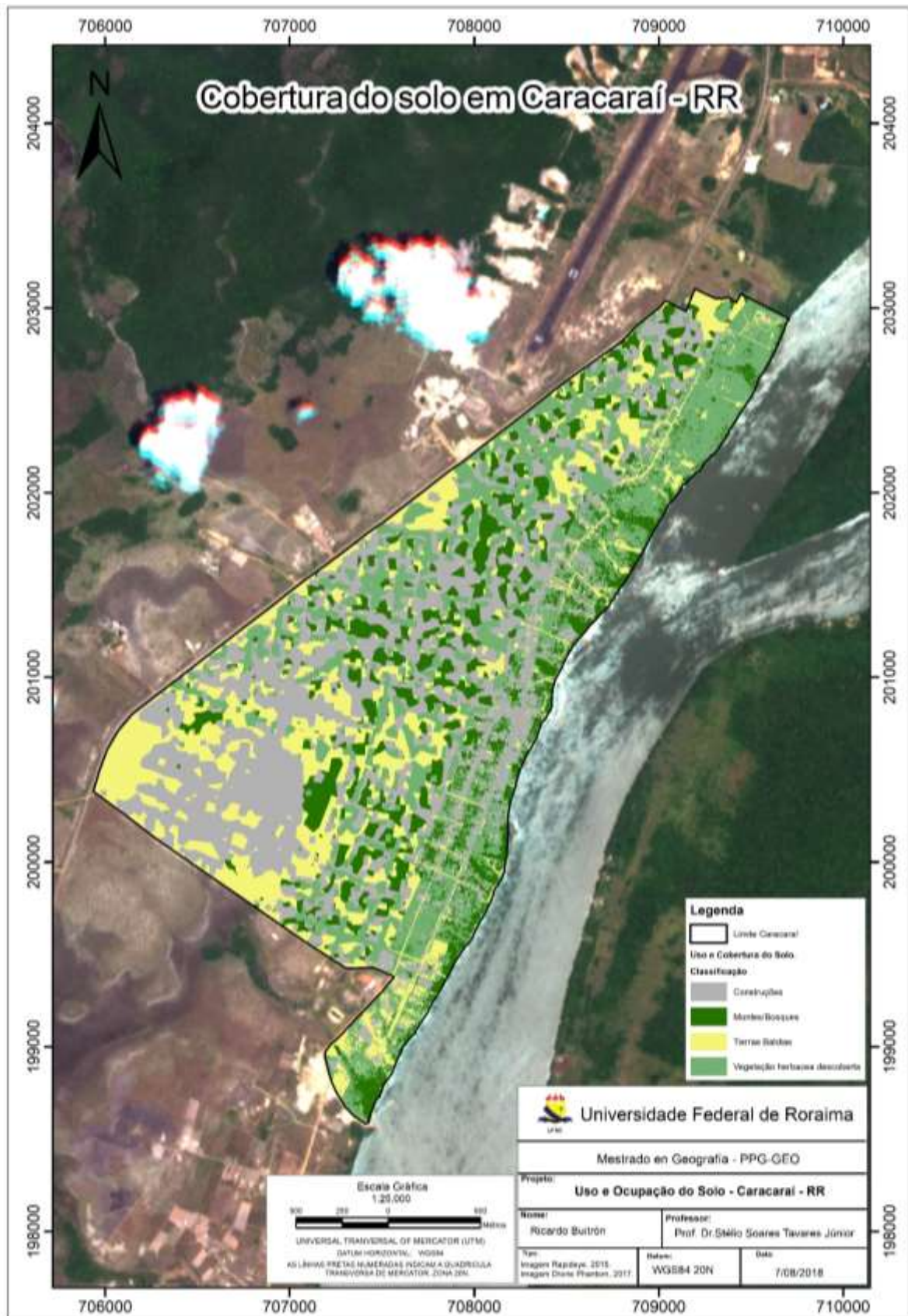
Cobertura do Solo		
Tipo	Área (m²)	Porcentagem (%)
Construções	2.343.100,94	31,0208767
Montes/Bosque	1.456.042,6	19,2768981
Terrenos Baldios	1.696.015,86	22,4539618
Vegetação herbácea descoberta	2.058.144	27,2482633
	7.553.303,4	100

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

A área de estudo pertence a uma cidade, motivo pelo qual a maioria do uso e ocupação do solo é de Infraestrutura com 31%. Os dados incluem construções de casas, ruas pavimentadas e infraestrutura industrial, variando com a mensura do risco. As assinaturas espectrais têm mudanças no caso das ruas, prédios abandonados e considerados como terras baldias pela classificação supervisionada feita no ENVI. Por esse motivo que os elementos mencionados não são compostos por material de construção, como o pavimento ou concreto, onde assinatura espectral foram reconhecidas pelo programa e classificadas como construções. (Figura 50)

Enquanto à vegetação, foi classificada por Monte/Bosques ou Vegetação herbácea, descoberta os seguintes dados respectivamente: 19,27% e 27,24%. Na cidade de Caracará a maioria dos prédios é composto por construções e vegetações. Os terrenos baldios são mais predominantes nas margens do rio Branco e nas áreas mais interiores da cidade, também aquelas reconhecidas como ruas supracitadas, porém não foi mudada sua classificação pelo fato de ser composta por concreto/pavimento.

Figura 50 - Cobertura do solo em Caracarái – RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

b) Distância em relação à drenagem principal

O distanciamento das construções à margem do rio Branco pode ser considerado como uma variável no análise socioeconômico. Em relação ao solo vai à função da proximidade até o rio, classificadas em bairros considerados com alto poder aquisitivo e as regiões marginais pobres. Este tipo de regiões marginais é caracterizado pela falta de ordenamento e controle pelas instituições, as quais pelos custos baixos do terreno são ocupadas sem conhecimento do risco a eventos naturais, neste caso as inundações. (TUCCI, 2003a)

Caracaraí é uma cidade construída na margem do rio Branco, com isso existem infraestruturas que são suscetíveis com risco a eventos extremos no caso de cheias e as inundações. Na cidade o custo baixo dos prédios perto à margem do rio é incentivo para pessoas com baixos recursos econômicos e conseqüentemente acessibilidade maior a esses locais (TUCCI, 2004).

Da mesma forma pessoas com rendas mais baixas escolhem morar em barcos produto de seu trabalho, a exemplos os pescadores que tem dificuldade de adquirir um prédio na cidade. (Figura 51)

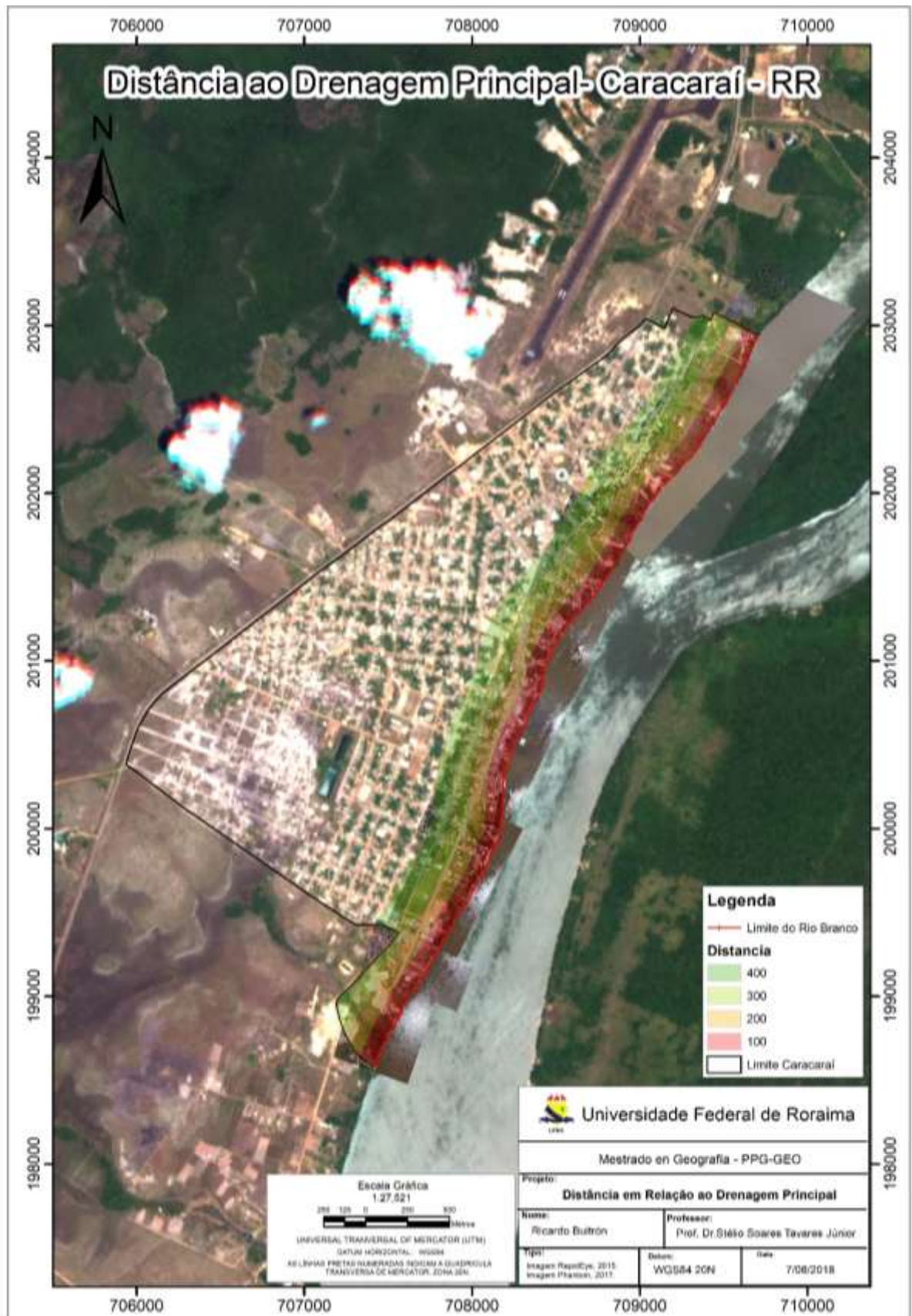
Figura 51 - Barcos usados como moradias na margem do rio Branco.



Fotografia: Kalefi (2017).

As distancias estabelecidas são: 100, 200, 300 e 400 metros pertencentes à margem do rio e onde as imagens de Drone foram coletadas, as áreas mais próximas à margem vão de 0 a 100 Metros de alto perigo e baixo perigo as áreas maiores a 300 metros relacionada ao distanciamento. (Figura 52)

Figura 52 - Distância à drenagem principal (Rio Branco) - RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

c) Infraestrutura na margem do rio

A geotecnologia permite a produção de informações espaciais da superfície terrestre, desenvolvendo novas técnicas e conta com desenvolvimentos tecnológicos tais como (Satélites, GPS, dentre outros). Atualmente, os Drones o VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) são uma ferramenta nova, permitindo a aquisição de informação geográfica atualizada e rápida.

Fazendo uso da ferramenta supracitada, levando em consideração as vantagens sobre o estudo de risco e vulnerabilidade, foi elaborada a digitalização das infraestruturas na margem do rio Branco da cidade de Caracará. Dessa forma foram obtidos os seguintes resultados: 627 construções em uma área de 1.652.373 m² obtidos por meio das imagens do Drone Phantom 4 com câmera tipo RGB. (Figura 54)

O valor do Pixel no caso das construções tem prioridade no procedimento AHP devido fator de mensura de risco no caso das inundações pelo distanciamento à margem do rio. (Figura 53)

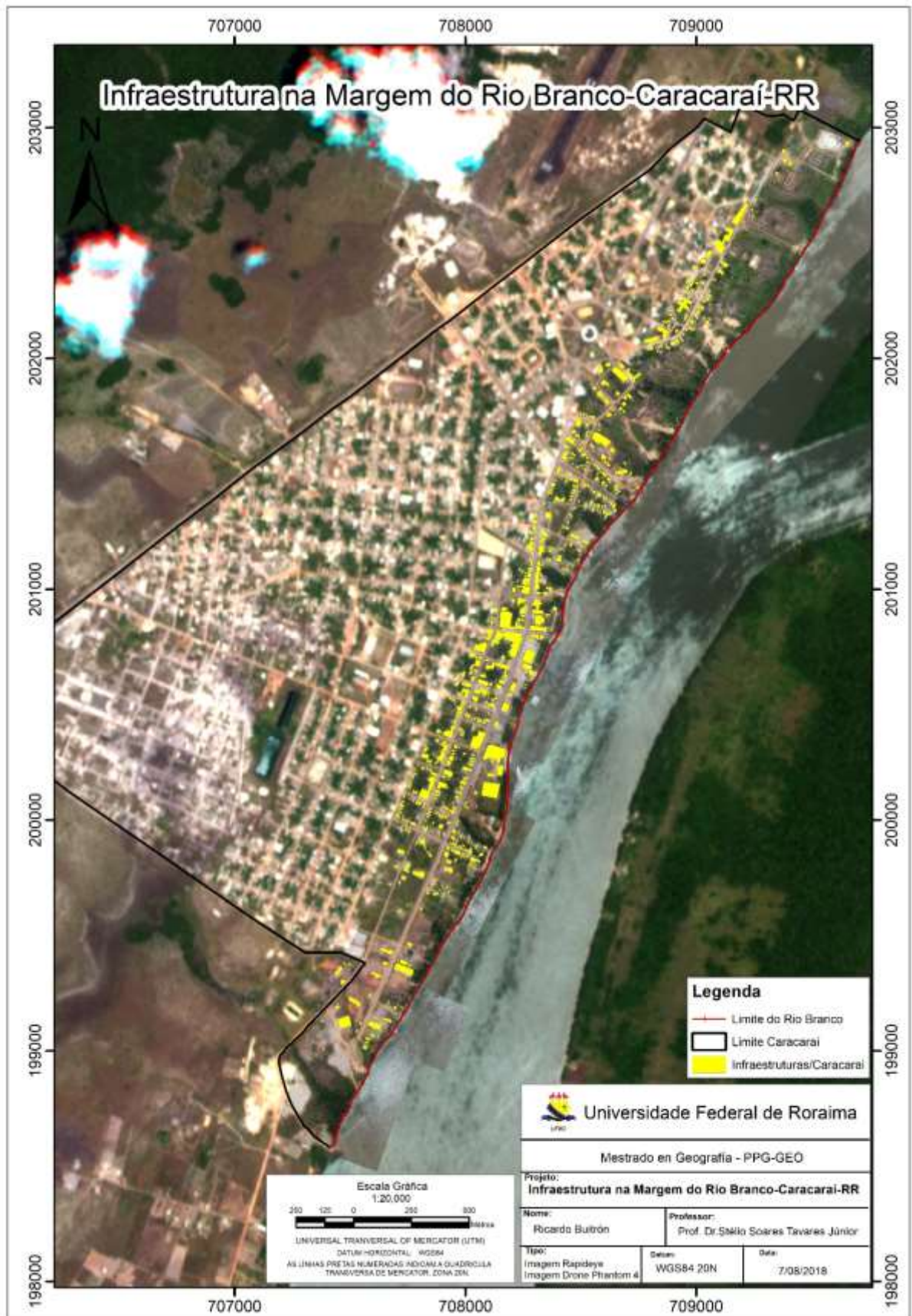
Figura 53 - Construções às margens do rio Branco- Caracará - RR.



Fotografia: Kalefi (2017).

O erro da digitalização foi detectado em relação ao tipo de georeferência da imagem, com uma média de 2.5 metros, obtido pelo software ArcGis 10.5.1. No caso dessa investigação de risco o fator precisão é importante, mas não é determinante.

Figura 54 - Infraestrutura na margem do Rio Branco – Caracarái – RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Produto da altimetria na cidade, a infraestrutura na margem do rio na cidade Caracaraí tem maior densidade no setor centro oeste, principalmente pela altitude maior a 8 metros nessa área em relação à base do rio Branco. No setor sul e norte da margem não tem construções perto do rio, isso se deve às baixas altitudes nessas áreas menores a 6 metros em relação à base do rio.

Resultado da altimetria, os moradores da cidade ficam localizados nas áreas com maior altitude, área densamente povoada, o que demonstra serem locais menos afetadas no tempo chuvoso, principalmente nos meses de maio até setembro onde as cotas máximas podem chegar no alcance de 6 até 8 metros, geralmente os dados com maior recorrência os últimos 50 anos.

5.2.3. Processamento AHP (Analytical Hierarchy Process)

O processo AHP (Analytical Hierarchy Process) foi realizado para os dois componentes que compõem o risco: Áreas suscetíveis à inundações (Critérios Físicos) e Áreas suscetíveis à inundações (Critérios Socioeconomicos).

a) Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios físicos) - AHP

O resultado do processo AHP para suscetibilidade a inundações (*Critérios físicos*) apresenta que a variável mais importante no cálculo é as cotas fluviométricas com 73,10% de importância, a declividade mostra um 18,80%, com relevância e finalmente a direção da vertente com 8,10%. Os cálculos e pesos obtidos foram calculados no Arcgis 10.5.1. Fazendo uso da ferramenta *Raster Calculator* com a seguinte equação: **Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Físicos)** = "Áreas Vulneráveis Inundáveis" * 0,7306 + "Declividade" * 0,1884 + "Direção da Vertente" * 0,0809.

O resultado do mapa gera áreas cobertas

b) Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconômicos) - AHP

O resultado do processo AHP para suscetibilidade a inundações (*Critérios Socioeconômicos*) apresenta a cobertura do solo com 48,06%, a infraestrutura na margem do rio tem a maior importância com 40,53%, e finalmente, o distanciamento em relação à drenagem principal tem 11,39% de relevância. Fazendo uso da ferramenta *Raster Calculator* com a seguinte equação: **Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconômicos)** = "Cobertura de Solo" * 0,4806 + "Infraestrutura na margem principal" * 0,4053 + "Distância em relação à drenagem principal" * 0,1139.

5.2.4. Resultados: Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Físicos)

Os resultados do produto da álgebra de mapas e a metodologia AHP, geram o zoneamento de áreas com susceptibilidade a inundações tomando em conta os fatores físicos da área de estudo (Declividade, Zonas de Inundabilidade e Direção da Vertente). (Quadro 37) A cidade de Caracarái apresenta 5 tipos de vulnerabilidade a inundações tendo em conta os critérios físicos classificados em (Figura 55 – Figura 56):

Quadro 37 - Áreas de vulnerabilidade física a inundações em Caracarái.

Tipo de Criterios	Área (km)
Muito Baixa	0,087209
Baixa	0,452576
Media	1,809422
Alta	1,802179
Muito alta	1,749503
Total	5,900889

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Muito Baixa - Tem uma representação de 0.087 km², sendo apenas o 1 % da área total da cidade de Caracarái localizados heterogeneamente principalmente ao Norte em duas pequenas porções e ao centro e Sul.

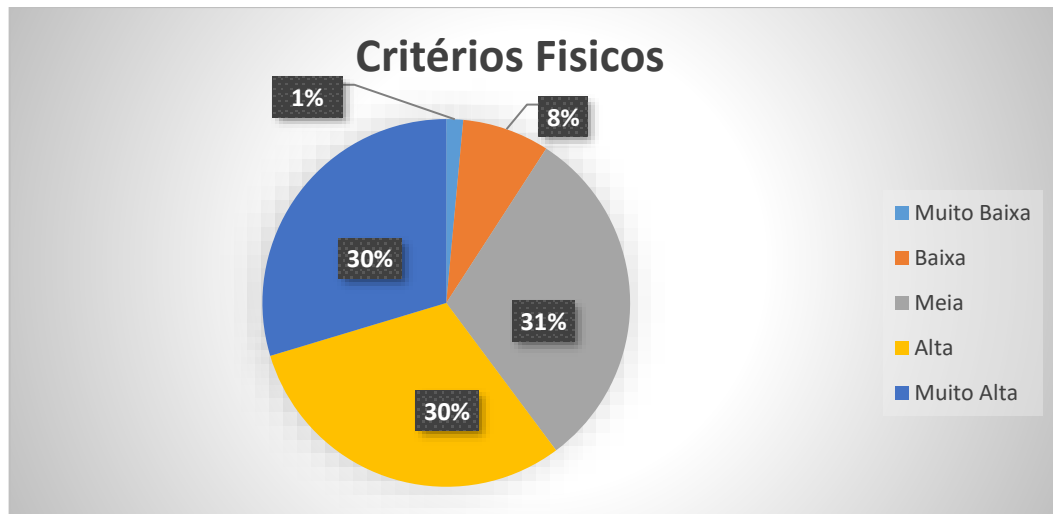
Baixa - Este tipo de vulnerabilidade tem presença na cidade de Caracarái de 8% correspondendo a 0.45 km². Está distribuído principalmente de forma heterogenea na área Norte com pouca presença e no Centro/Sul apresentando 4 áreas bem identificadas consideradas como pontos de evacuação no caso de cheias e inundações de alta magnitude.

Média - Este tipo de vulnerabilidade física a inundações em Caracarái é marcado por 31% da área total, sendo uma área de 1,81 km². Essas áreas apresentam do lado esquerdo da cidade recorrendo de Norte a Sul.

Alta - Este tipo de vulnerabilidade abrange área aproximada de 1.80 km², aproximadamente 30% da área de estudo. Está localizada heterogeneamente junto com as áreas de alta vulnerabilidade tendo maior presença ao Noroeste e Suldoeste da cidade.

Muito alto – Nesse grau de vulnerabilidade temos 30% do total da área em geral. Sua distribuição corresponde ao mesmo caso da vulnerabilidade de tipo *Alta*.

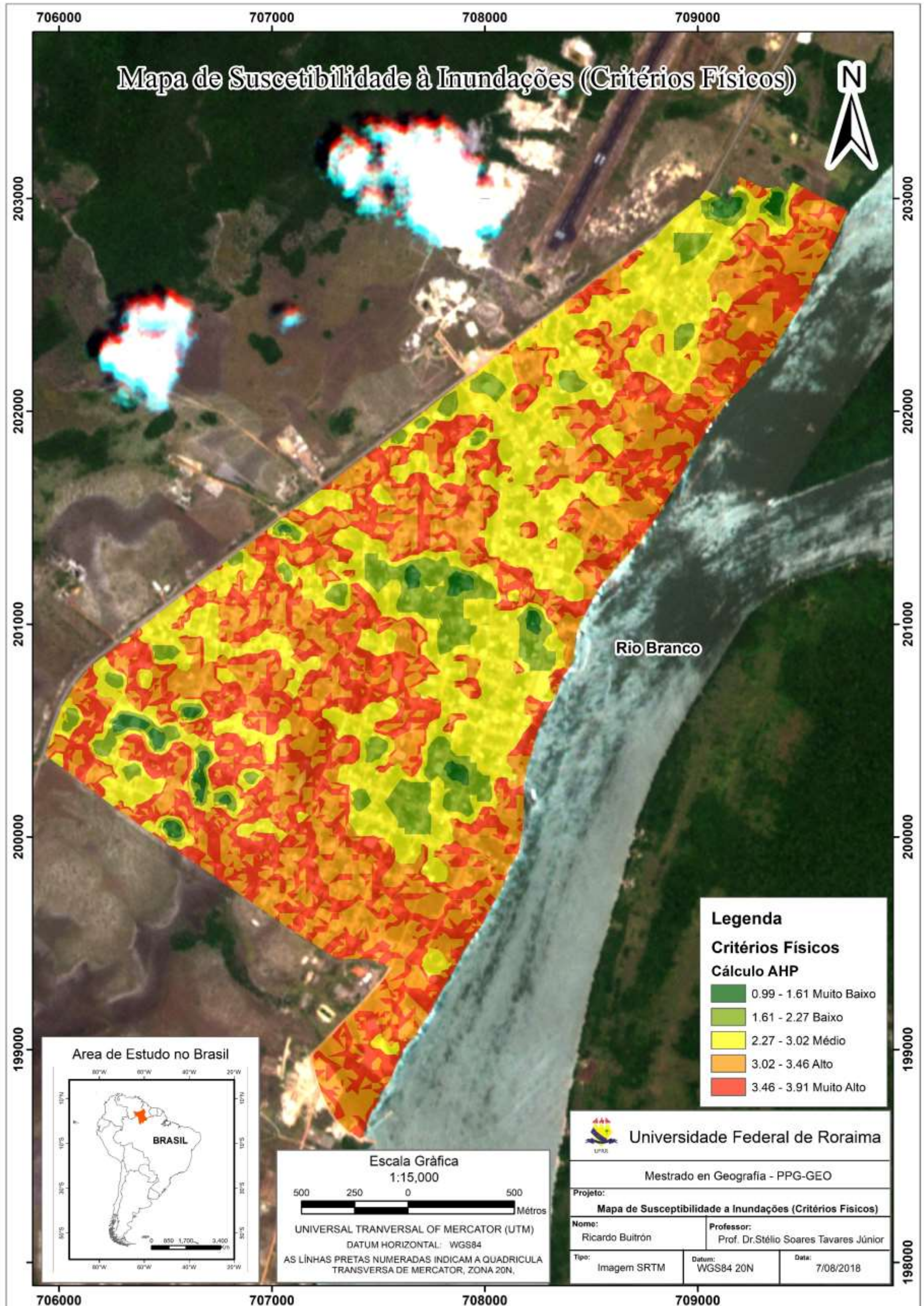
Figura 55 - Porcentagens dos criterios fisicos em Caracaraí.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

A comparação entre as áreas mais altas é aquela que pertencem ao tipo média, alta e muito alta fazendo um total de 90%, constituindo-se dado muito preocupante tendo em conta que um dos critérios gerados para elaboração das áreas susceptíveis e com maior peso pela metodologia AHP é as zonas inundáveis na margem do rio Branco.

Figura 56 - Mapa de suscetibilidade à inundações (Critérios Físicos) – Caracarái – RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.2.5. Resultados: Mapa de Suscetibilidade a Inundações (Critérios Socioeconômicos)

Os critérios socioeconômicos selecionados para criar o mapa de suscetibilidade a inundações foram: Cobertura do solo, Infraestrutura na margem principal e Distância em relação à drenagem principal obtendo os seguintes resultados. (Quadro 38) (Figura 58)

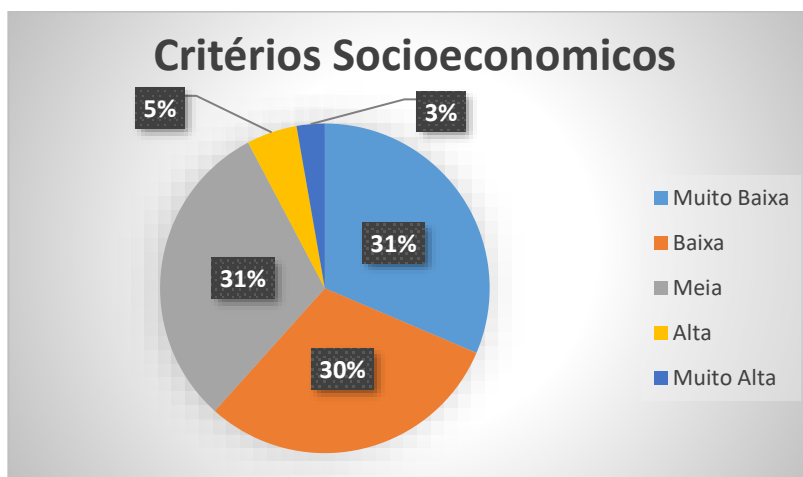
Quadro 38 - Áreas de vulnerabilidade socioeconômica a inundações em Caracaráí.

Tipo de Critérios	Area (km)	Porcentaje (%)
Muito Baixa	1,850896	31.4144919
Baixa	1,781291	30.2331151
Media	1,805058	30.6365025
Alta	0,292134	4.9582695
Muito Alta	0,162475	2.75762095
Total	5,891854	100

Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

A cidade de Caracaráí apresenta 5 tipos de vulnerabilidade socioeconômica com os seguintes valores: (Figura 57)

Figura 57 - Porcentagens dos critérios socioeconômicos em Caracaráí.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

Muito Baixa – este tipo de vulnerabilidade tem um 31% da área total da cidade, correspondendo ao 1.85 km², homogeneamente na cidade, além da margem do rio comtorna as ruas da cidade sem asfalto, nesse caso podemos afirmar que não representa uma vulnerabilidade muito alta em caso de inundações.

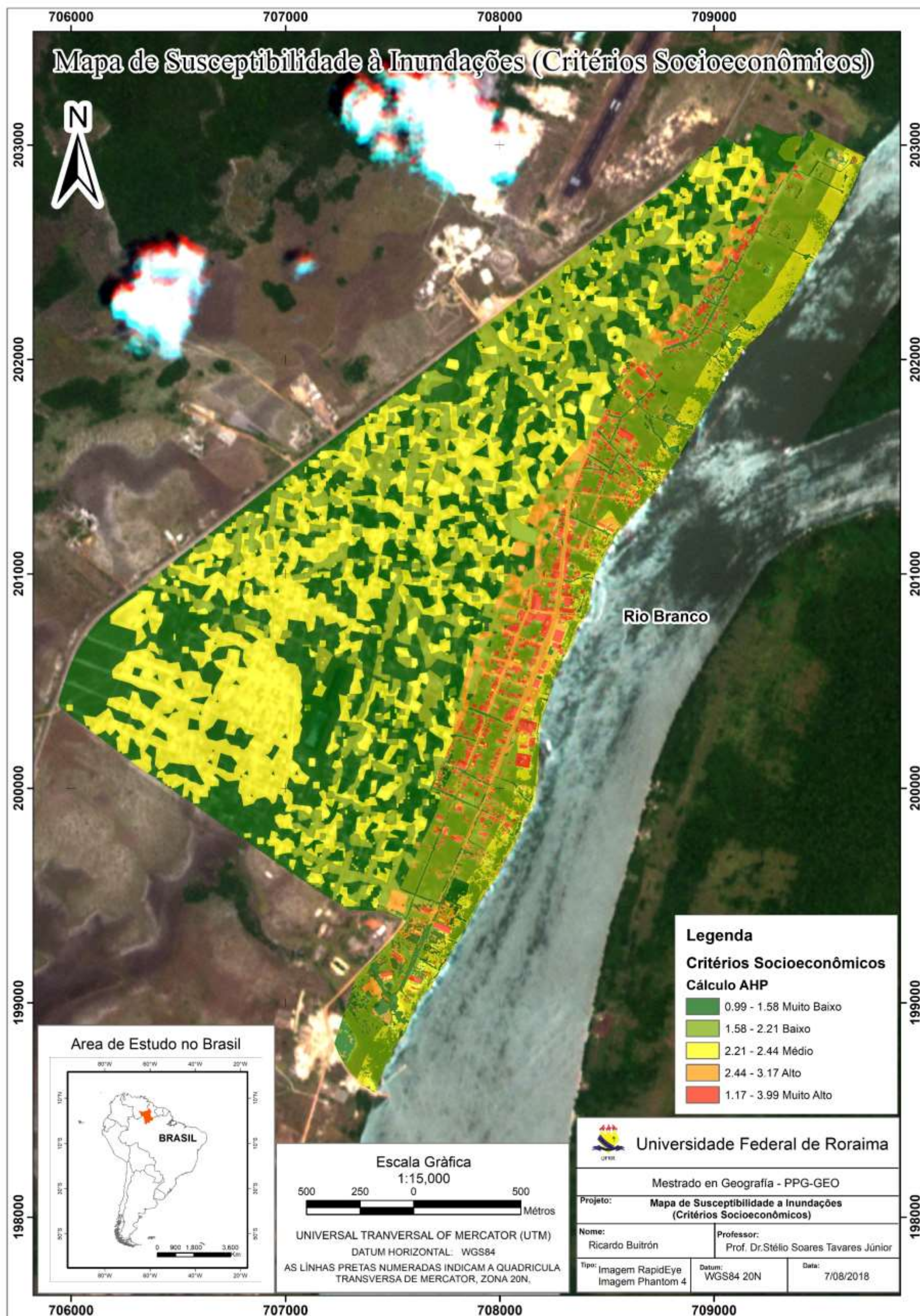
Baixa – a vulnerabilidade aqui apresenta 30% da área de estudo e do total correspondente a 30% da área total da cidade, localizados de forma homogênea como em supra destacado antes, mas possui maior presença na margem do rio Branco, principalmente às parcelas e loteamentos.

Média – possui aproximadamente 31% da área total de estudo representando a 1.80 km², distribuído homogeneamente na cidade, embora tenha áreas de maior concentração localizadas ao Sul e gerando uma franja que vai de Norte a Sul ao longo da margem.

Alta – a vulnerabilidade tem o 5% da extensão da área da cidade, representando o 0.29 km². Apresenta maior presença ao longo da margem do rio caracterizando principalmente as ruas e avenidas asfaltadas.

Muito alta – este tipo de vulnerabilidade corresponde 3% do total da área, sendo 0.16 km². É caracterizado principalmente pela infraestrutura próximo a margem do rio e onde ocorre maior impacto por inundações.

Figura 58 - Mapa de suscetibilidade a inundações (Critérios Socioeconomicos) – Caracarái – RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.2.6. Resultados: Mapa de Riscos à Inundações na Cidade de Caracaráí

O propósito da realização da pesquisa de dissertação é construir o zoneamento das áreas susceptíveis a inundações na cidade de Caracaráí fazendo uso de critérios geográficos físicos e socioeconômicos que permitam a medida do risco. (Figura 62)

Caracaráí é uma das cidades com poucas pesquisas sobre o risco da cidade aos fenômenos naturais produto dos sistemas fluviais (cheias e inundações). As investigações mais recente sobre a suscetibilidade as inundações na cidade de Caracaráí foram realizadas por Arouche et al. 2013 com nome "*UM OLHAR GEOGRÁFICO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NA CIDADE DE CARACARÁÍ-RR*" e pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2012) "*Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa*". Como consequência das poucas pesquisas e pouca informação da população sobre as inundações produzem-se alto grau de pessoas afetadas.

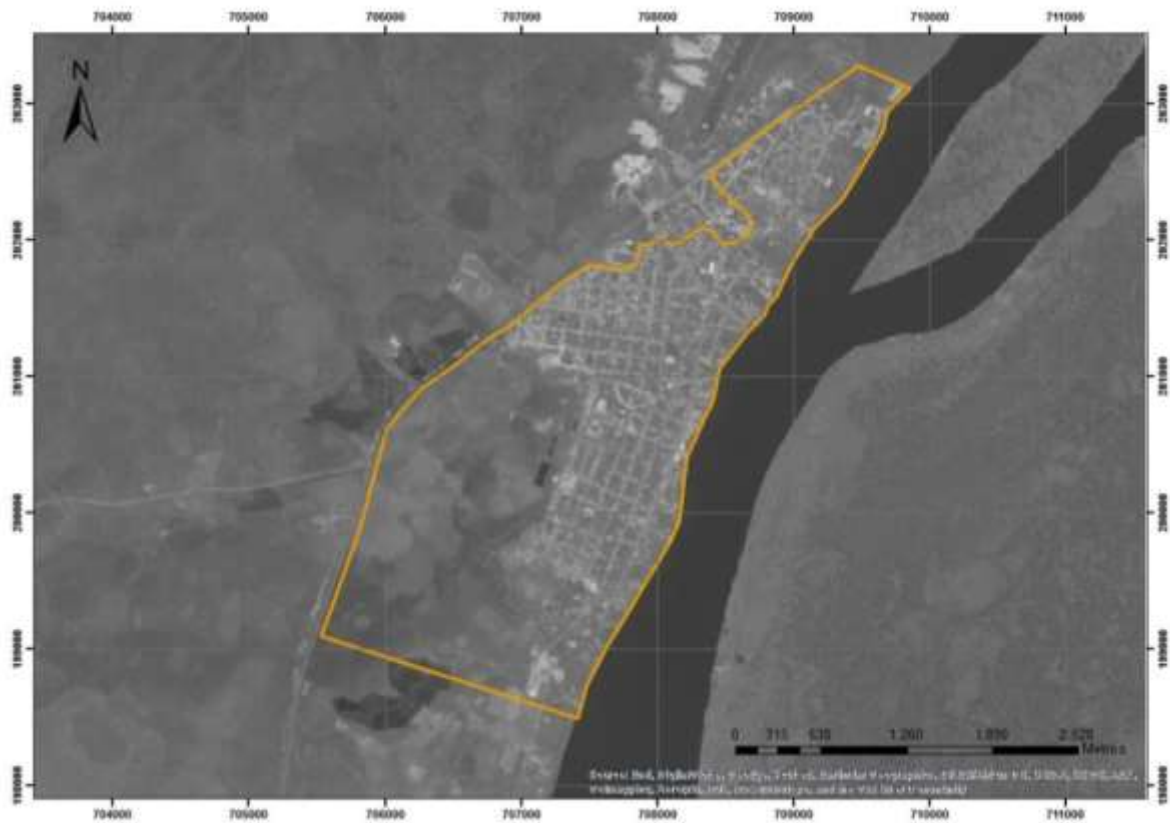
O primeiro estudo explica sobre a problemática de inundações urbanas na cidade de Caracaráí fazendo uso de material bibliográfico relacionado à estrutura física da cidade, relevo plano associado aos efeitos de urbanização (impermeabilização do solo por áreas construídas e pela pavimentação e compactação viária como principal limitação de infiltração).

Os resultados do artigo lamentavelmente são muito gerais e pouco comparáveis, apresentando a realidade das pesquisas na cidade e a pouca investigação neste tipo de tópicos, principalmente consideração que a cidade de Caracaráí mostra maior dificuldades com áreas inundáveis por causa do rio Branco (inundações Ribeirinhas) que por inundações na cidade (inundações urbanas).

O artigo pode ser considerado pouco objetivo em relação às variáveis e critérios que influem em inundação, fazendo uso só da impermeabilização do solo relacionadas com o escoamento superficial, deixando fora critérios considerados na atual pesquisa.

O segundo trabalho realizado pelo DEGET, considera o estudo do histórico de desastres naturais ou naqueles locais onde já foram identificadas situações de risco, sem registro de acidentes considerando condições das construções e seu entorno. O resultado desse trabalho foi à limitação das áreas com maior risco a enchentes, inundações ou movimentos de massa (Figura 59), sendo um produto muito importante pelo grau de comparabilidade com o atual trabalho.

Figura 59 - Limite das áreas de risco a enchentes, inundações ou movimentos de massa.



Fonte: Lago e Souza, 2015.

Como consequência da pouca informação em questões de inundações e do risco potencial que tem a cidade a elas, foi preciso gerar o zoneamento das áreas de risco a inundações baseadas na informação física da área e socioeconômica, fazendo uso de ferramentas usadas na engenharia geográfica mais atuais, a exemplo: DRONE/VANT para obter informação atualizada.

O risco a inundações na cidade de Caracará apresenta 5 tipos de categoria de risco: Muito baixa, baixa, média, alta e muito alta; as áreas de cobertura na cidade de Caracará têm os seguintes valores (Quadro 39):

Quadro 39 - Áreas de risco à inundações em Caracaraí.

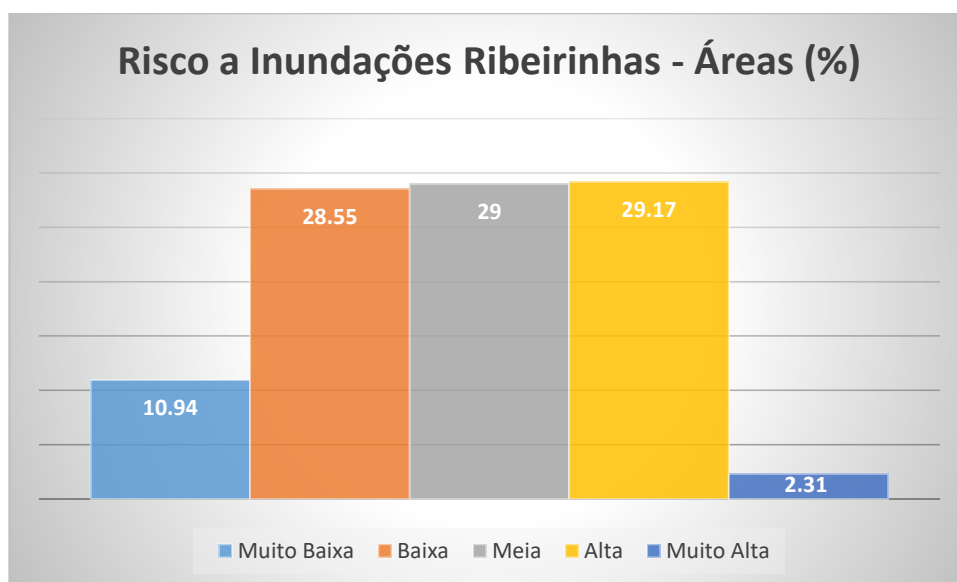
Tipo de Risco	Área (km)	Porcentaje (%)
Muito Baixa	0,643482	10,9497502
Baixa	1,678064	28,5546164
Media	1,704785	29,0093117
Alta	1,714283	29,1709335
Muito Alta	0,136068	2,31538817
Total	5,876682	100

Fonte: Autor (2018).

Em função a os critérios físicos e socioeconômicos usados para a medida do risco e seu zoneamento, os pontos mais críticos são aqueles que ficam perto à margem do rio representando principalmente as áreas de infraestrutura urbana do total de 2.31% da área total da cidade.

Caracaraí tem três tipos de risco divididas em: *alta*, *media* e *baixa*; os dados de cobertura apresentam similitudes, tendo uma media de 29% correspondendo a uma media de 1.7 km², onde sua distribuição é heterogeneamente na cidade (Figura 60). A maioria das áreas de tipo *alta* e *media* o que estão perto da margem do rio. Considerando que são áreas onde não tem infraestrutura (moradias ou infraestrutura comercial e industrial) como exemplo as áreas localizadas no Suldeste e Nordeste da área de estudo. No caso das áreas longe da margem do rio, são áreas que podem ter infraestrutura urbana, mas pela distancia até a margem, não representam risco muito alto como aquelas que ficam na proximidade da margem.

Figura 60 - Porcentagens das áreas em risco à inundações em Caracaraí.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

No caso das áreas de baixo risco, o zoneamento representa 10.94% do total da cidade correspondendo a 0.64 km², distribuídos heterogeneamente. Pertencem às áreas que não tem risco de danificar infraestruturas no caso das áreas que ficam na margem do rio ou nas áreas longe da margem, são aquelas que não são afetadas pelas inundações motivo do relevo.

O problema do risco na cidade de Caracaraí é complexo. A realidade atual da cidade apresenta dois circunstancias importantes: (1) A população mora nas margens do rio Branco e (2) a altitude da cidade apresenta um relevo maiormente plano em quase toda a cidade. A falta de informação sobre os fenômenos naturais relacionadas com inundações e ausência do planejamento territorial pelos órgãos competentes, gerou como resultado o modelo atual da cidade onde as áreas perto ao rio são ocupadas pela população através da construção de moradias ou morando em barcos nos portos construídos artesanalmente (Figura 61).

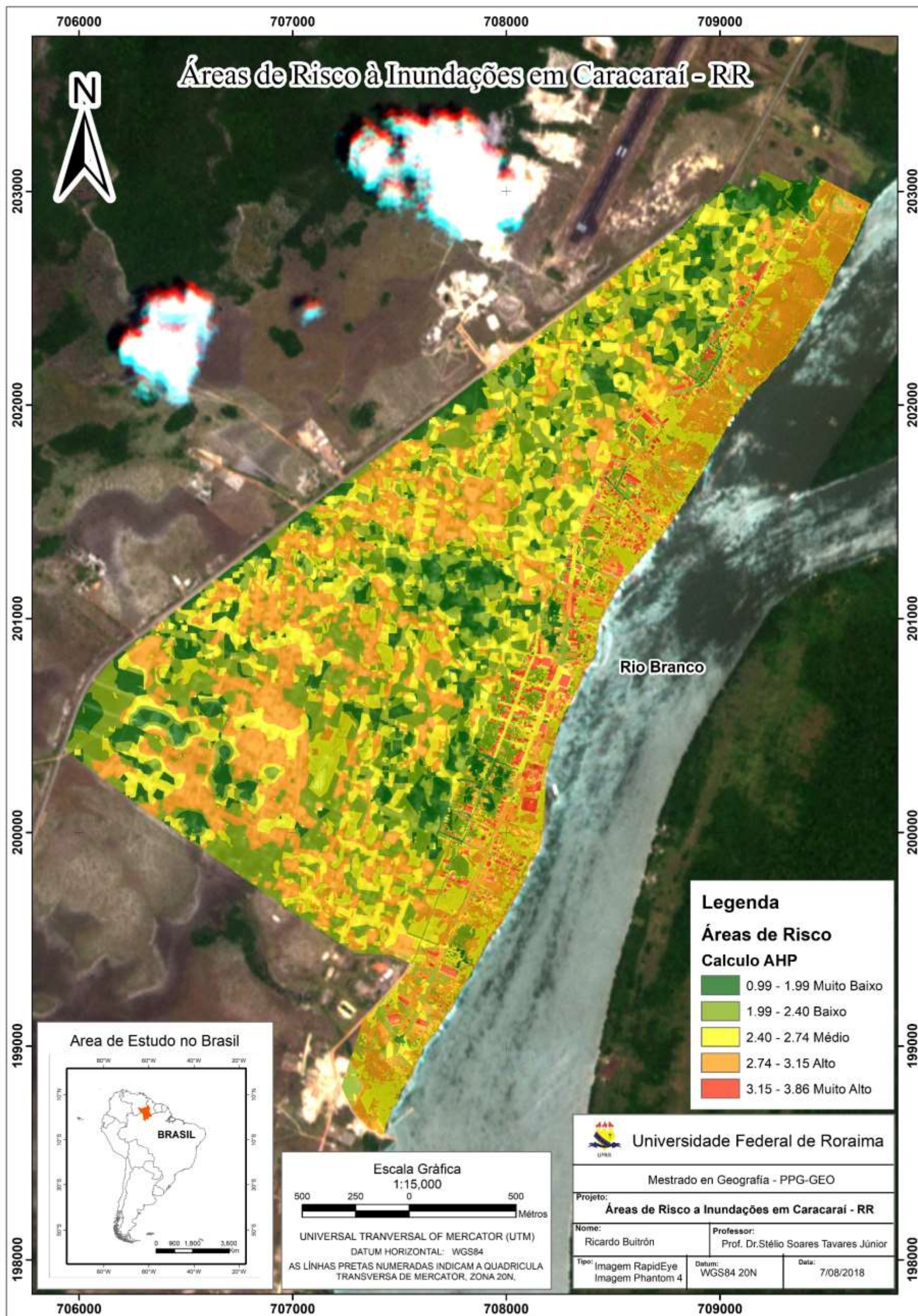
Figura 61 - Barcos e construções usadas como moradias na margem do rio Branco - Caracaraí



Fotografia: Kalefi (2017).

Segundo Tucci (2003), as áreas de maior risco são ocupadas pela população de baixa renda pela acessibilidade econômica, principalmente pela especulação do solo sem nenhum controle pelas autoridades ou com motivo da invasão das áreas por grupos organizados, que não conhecem os perigos de viver nessas áreas, seja por ignorância ou esquecimento das enchentes ocorridas em anos anteriores. A realidade é que os habitantes são seus executores, produto de sua própria ignorância.

Figura 62 - Mapa de áreas de risco à inundações – Caracaraí – RR.



Fonte: Ricardo Buitrón (2018).

5.3. ESTRATÉGIA PARA A DIMINUIÇÃO DE PERDIDAS HUMANAS NO CASO DE INUNDAÇÕES EM CARACARAÍ.

Os riscos produtos no caso de inundações para as cidades que estão perto das margens dos rios, praticamente são inevitáveis. Caracaraí, é um modelo do que acontece na maioria das cidades Brasileiras que ficam localizadas perto aos rios, dependendo sua importância hierárquica e econômica, contam com estudos sobre a questão de inundações urbanas e ribeirinhas.

No caso da cidade de Caracaraí, os estudos em questão de inundações e avaliação de risco são quase nulos, sendo encontrada só dois artigos em relação as inundações urbanas e áreas de risco muito alto e alto elaborados por Arouche et al. (2013) e pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET) dos autores Lago e Souza (2015). Entendendo assim a realidade da maioria das cidades pequenas onde os esforços por pesquisar as problemáticas só é limitada às ações do governo municipal, prefeitura e as pesquisas elaboradas nas universidades não conseguem gerar um aporte ao desenvolvimento das cidades pela ausência de publicação e ligações com as autoridades competentes.

Os resultados obtidos no capítulo anterior, apresentam a gravidade e a situação atual de Caracaraí, é umas das cidades com maior grau de problemas por inundações. Os 2 anos desde o início desta pesquisa (2017-2018), foi gerado um histórico fotográfico corroborando os resultados em questão ao risco na cidade (Figura 63).

Figura 63 - Fotografias dos tempos de chuvas no Caracaraí (2017 – 2018)



Fonte: Ricardo Buitrón. Quinta feira, 13 de julho de 2017.



Fonte: Talita Alves da Silva. Segunda feira, 9 de julho de 2018.

A falta da aplicação das leis sobre o uso e ocupação nas margens dos rios e não cumprimento das leis ambientais, tem como resultado os problemas que ocorrem ano por ano. As cotas na data de julho de 2017 chegaram até 9.59 metros afetando cerca de 100 famílias. Motivo que promoveu que levou a ser decretada como situação de emergência, e por consequência 27 famílias afetadas e desalojadas, 10 ruas e uma avenida principal foram inundadas pelas águas. (Costa, G1 - RR, 2017).

A mesma situação aconteceu em julho de 2018, onde a cota máxima chegou até 9.28 metros onde foi decretada emergência pela afetação de 130 pessoas aproximadamente. Como resultado da inundação, foram prejudicadas áreas de produção da agricultura, pesca e de educação devido que as escolas se encontrarem inundadas pelo rio, com isso os alunos foram obrigados adiantar aulas e encerrar o bimestre antes do tempo estabelecido. (Chaves, G1 - RR, 2018)

No ano 2011, a segunda maior cheia chegou a uma cota máxima de 11 metros agravando a situação de vulnerabilidade da cidade e colocando em risco os moradores. (Figura 6)

Figura 64 - Sede Municipal de Caracaraí – RR inundada em 2011.



Fonte: Lago e Souza (2015).

A pergunta principal na questão do risco a inundações de tipo ribeirinhas é *¿O que se pode fazer?*

Atualmente, as medidas não estruturais e de caráter preventivo resultado do trabalho desenvolvido pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET), está em funcionamento o Sistema de Alerta Hidrológico como possível ajuda na convivência da população com os fenômenos naturais, através da geração de boletins e relatórios com meses, dias ou horas de antecedência em relação aos eventos críticos.

O Sistema de Alerta Hidrológico permitiu que as agências governamentais, institucionais públicas e privadas, defesa civil e cidadãos possam tomar decisões sobre políticas e ações para mitigar os riscos de inundação e secas. (Lago e Souza, 2015)

Embora, além de um Sistema de Alerta, tem que ser desenvolvido um plano a longo prazo enfocado na regulação do uso e ocupação de solo já apresentada por Tucci (2007), medida que pode ser considerada como ponto inicial na diminuição do risco a inundações.

O risco das áreas é uma amostra clara do que está acontecendo em Caracará. Cada ano, os problemas pelo crescimento normal do rio, a consequência do ciclo hidrológico que inunda a cidade, representa perdas econômicas nessas áreas com alto risco a inundações. Produto do entorno à margem do rio como base do problema, e pelo uso da infraestrutura como moradias.

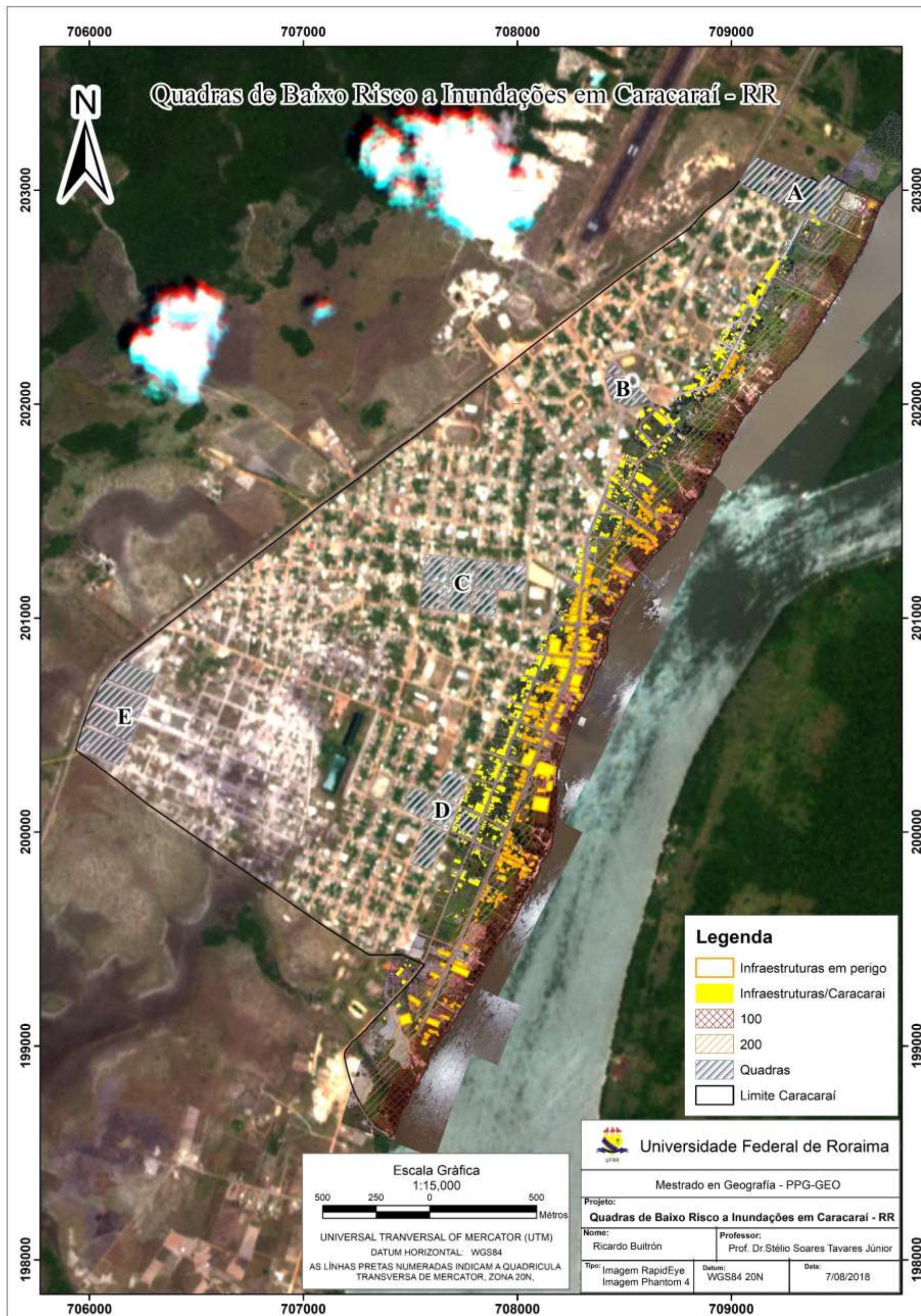
A criação do *Plano Diretor Urbano e Plano Diretor de Drenagem* de Caracará deveriam ser a base principal das ações de redução e mitigação do risco à inundações, abordando questões como: regulação e controle de uso do solo, aplicação das leis como de terrenos marginais e ambiental supracitadas, que atualmente não são aplicadas e criação de abrigos em áreas não alagadas. Além das medidas não estruturais, também deveriam ser consideradas medidas estruturais como: controle da cobertura vegetal na margem do rio e controle da erosão.

Pórem, a elaboração do Plano Diretor Urbano e Plano de Drenagem ainda têm dificuldades de tipo político, econômico e burocrático. A pesquisa propõe como opção na redução do impacto causado pelas inundações, geração o mapeamento e modelo de áreas seguras que pode ser usada pelos organismos de socorro no desabamento com pessoas, localizadas em áreas de risco durante os fenômenos naturais.

Tambem foi mapeada as áreas de cumprimento das leis segundo a Lei nº 12.727/12 sobre "A edificação urbana à margem de rios e de outros reservatórios de água em face do código florestal" enfatizando como areas não edificáveis de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura, Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934 no Código de Águas determina o distanciamento que vão até a distância de 15 metros para a parte da terra e Decreto-lei n.º 9.760, de 05 de setembro de 1946 vão até a distância de 15 metros para a parte da terra.

O mapeamento das áreas de 200 metros de leito do rio Branco, apresenta que 315 moradias e infraestruturas não cumprem com a lei de edificação urbana à margem dos rios. Também se gerou 19 quadras seguras com baixo risco a inundações as quais podem ser usadas como abrigos para a população que moram em áreas de risco em tempo de inundações divididas em 5 zonas: A, B, C, D com uma extensão de 179896.9 m². 7 quadras podem ser consideradas como terrenos baldios e 12 quadras que tem construções onde pode efetuar-se compras ou expropriação para construir áreas de uso comunal que possam ser usadas em tempo de enchentes e inundações. (Figura 63)

Figura 65 – Quadras de Baixo Risco a Inundações - Caracarái – RR.



Fonte: Ricardo Buitron (2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O histórico das cotas fluviométricas da estação Caracará do rio Branco localizado na cidade de Caracará no estado de Roraima entre os anos de 1967 e 2017 (50 anos) demonstrou claramente área de inundações intensas característico dos sistemas fluviais, as quais associadas com fatores socioeconômicos, estabeleceram áreas de risco na cidade.

A análise dos componentes de risco em relação aos fenômenos naturais possibilita a geração de modelos que possam ajudar na explicação do que acontece e porque acontece. Um bom entendimento das dinâmicas naturais associadas aos processos sociais pode ser a melhor ferramenta para os organismos de controle no desenvolvimento social.

O uso das geotecnologias foi fundamental na análise e a espacialização da informação, sendo utilizadas técnicas de sensoriamento remoto na coleta de informação, fazendo uso das imagens de tipo radar do sensor SRTM para geração dos modelos de elevação do terreno fundamentais no zonamento de áreas inundáveis junto à informação secundária das cotas fluviométricas, concluindo que a cidade de Caracará tem uma média de cotas inundáveis anuais com zoneamento baixo de 0 a 6.53 metros correspondendo 59% da área total da cidade, zoneamento médio de 6.53 a 8.02 metros correspondendo 30.78% e zoneamento alto de 8.02 a 9.46 metros correspondendo 7.73% da área total.

A vulnerabilidade na cidade é preocupante considerando historicamente como as cotas mais altas chegaram até 11.14 metros, ultrapassando o modelo apresentado nas cotas mais altas com 1.68 metros. Certamente, o fenômeno natural aconteceu duas vezes em 50 anos (1993 – 2011) motivo evidente que a população insiste em morar em áreas de risco, principalmente porque não sabem sobre a seriedade da situação. Se algo é bem conhecido sobre as estatísticas aplicadas aos fenômenos naturais, os valores são repetidos e com a mesma intensidade ou superando um evento máximo anterior.

As imagens do sensor Rapideye e imagens usando as novas técnicas em geotecnologias como foi a utilização dos VANT/DRONE, permitindo gerar de informação atualizada, de alta qualidade e baixo custo sendo usadas para o reconhecimento de uso e ocupação do solo, concluindo que 31% da área total de Caracará correspondem a infraestrutura.

Caracará é considerada uma cidade construída recentemente em relação de outras cidades do Brasil, por esse motivo apresenta dados de cobertura urbana baixos em relação de outras cidades no Brasil. Seu baixo desenvolvimento urbano pode permitir o controle do uso e ocupação do solo com base do Plano Diretor Urbano para Caracará, ferramenta que atualmente não existe. O uso dos Sistemas de Informação Geográfica se mostra eficaz para analisar e entender como os critérios físicos e socioeconômicos interagem em questão do risco. Os critérios físicos escolhidos para a análise foram (i) Áreas de inundabilidade (ii) Declividade e (iii) Direção da Vertente. Os critérios socioeconômicos analisados foram (iv) Cobertura do Solo (v) Distância até a Drenagem e (vi) Infraestrutura na Margem do Rio Branco.

Para cada critério foi estabelecido um peso dependendo sua importância fazendo uso da metodologia *AHP* (Analytical Hierarchy Process) identificando o risco à inundação.

Após a álgebra de mapas fazendo uso da sumatório dos critérios concluiu que 10.94 da área total da cidade de Caracará está sobre muito baixo risco, 28.55% encontra-se em baixo risco, 29.01% está em risco médio, 29.17% está sobre alto risco e finalmente, 2.31% da área total da cidade está em muito alto risco.

Os valores de alto risco apresentados pela cidade de Caracará, é o claro sinal da ausência de controle do uso e ocupação do solo, em conjunto com o desenvolvimento da cidade levando em conta fatores ambientais fundamentais como a dinâmica fluvial do rio Branco. A falta de um plano diretor urbano para a cidade, no qual diretrizes diretas possam ser criadas a curto, médio e longo prazo, é um dos principais problemas no controle de áreas de risco, além da falta de estabelecer leis referentes ao controle de terras as margens dos rios.

A análise realizada nesta pesquisa, além dos resultados gerados na mesma, convida a comunidade de pesquisa e as entidades governamentais a realizar estudos em conjunto para melhorar a qualidade de vida das pessoas que vivem nesta cidade. Além disso, a importância de convidar à população ao conhecimento dos resultados é fator importante na pesquisa sendo o conhecimento base no desenvolvimento de projetos estruturais e não estruturais que cuidam do componente mais importante de uma cidade, que é o ser humano.

REFERÊNCIAS

ACHINELLI, MOIRA L., RUTH A. PERUCCA, AND HÉCTOR D. LIGIER. **Evaluación multicriterio para la zonificación del servicio ecosistémico en el macrosistema Iberá: amortiguación hídrica**. Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA: Buenos Aires, 2011. 485-509p.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Inventario de estaciones fluviométricas**, 2da edição - Brasília: ANA; SGH, p. 196, 2009.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). HIDROWEB/Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <[http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem= 4000](http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4000) > Acesso em: 8 de Agosto de 2017.

ALCÁNTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries**. Geomorphology. v. 47, 2002. 107-124 p.

ALARCÓN, J; PEIXOTO, A.. **Florística e fitossociologia de um trecho de um hectare de floresta de terra firme, em Caracaraí, Roraima, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais, 2(2), (2007). 33-60p.

ALEXANDER, D. **Natural disasters**. London. 1ra Edição. Springer Science & Business Media. 1993. 663p.

ANDERSON, M.G; WALLING, D.E. AND BATES, P.D. **Floodplain Process**. Reino Unido. Chichester: John Wiley & Sons. An important collection of research material on the geomorphology of floods and floodplains.1996. 501p.

AROUCHE, J. L. S., PINHEIRO, K. K. S; CARVALHO, T. M. **Um olhar geográfico das áreas suscetíveis a alagamentos na cidade de caracaraí-RR**, 2013. 14p.

BARBOSA, E.I. **Distribuição das Chuvas em Roraima**. In: BARBOSA, R.I; FERREIRA, E.J.G; CASTELLON, E.G. (Org), Homen, Ambiente e Ecologia no estado de Roraima. Manaus: Impa, 1997.

BBC BRASIL. **Brasil é o país das Américas mais afetado por desastres**. 2003. Disponível em: http://www.bbc.com/portuguese/noticias/story/2003/07/030717_cruzver, Acesso em: 23 de jun. de 2017.

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JUNIOR, S. S. **Geomorfologia do estado de roraima por imagens de sensores remotos**. In: SILVA, P. R. D. F.; OLIVEIRA, R. D. S. Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado. Boa Vista: UFRR, 2008. p. 168-192.

BRASIL. Ministerio das Cidades. ALLIANCE, CITIES. CEPED-UFSC. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco**. Brasília. 2014, 122p. Disponível em: < <http://goo.gl/Ugmt69>>, Acesso em 20 de abril de 2017.

CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M., FUCKS, S. D; CARVALHO, M. S. **Análise espacial e geoprocessamento**. Análise espacial de dados geográficos, 2. 2002.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. A. **Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies**. Thiago Morato. Quaternary Science Journal, v. 61. 2012, 146-155p.

CAVALCANTI, A. P. B; VIADANA, A. G. **Fundamentos Históricos da Geografia: Contribuições do Pensamento Filosófico na Grécia Antiga**. In: GODOY, P. R. T de. (Org.) História do Pensamento Geográfico e Epistemologia em Geografia. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2010, 11-34 p.

CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Desastres Anuário Brasileiro de Desastres Naturais. Ministério da Integração Nacional & Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília, BR. 2014.

CHARDON A.C., 1994 : **Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels**. Revue de géographie alpine, 1994. 97-111p.

CHAVES, A. **Nível do Rio Branco chega a quase 9 metros em Caracará, Sul de RR, e deixa famílias desalojadas e escolas alagadas**, Caracará, 01 de julho de 2018. Disponível em : <https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/nivel-do-rio-branco-chega-a-quase-9-metros-em-caracarai-sul-de-rr-e-deixa-familias-desalojadas-e-escolas-alagadas.ghtml>.

CHAVEZ, P.S.,. **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.** Remote sensing of Environment, 24, 1988. 459-479p.

CHENG, P ; SUSTERA, J. **Automated High-Speed High-Accuracy.** Geoinformatic. 2009. 36 – 40p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOPHERSON,R.W. **Geossistemas: Uma introdução à geografia física.** 7ª Edição. Porto Alegre. Bookman. 2012. 465p.

CHOW V.T. - **Hydrologic Studies of Floods in the United States.** Inter. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. n° 42, 1956. 170p.

CHUVIECO. E. **Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio.** Barcelona. Ariel Ciencia. 2002. 584 p.

CLARKE, K.**Analytical and Computer Cartography.** Prentice-Hall, Enlewood Cliffs, NJ. 1995. 334p.

CLAVAL, P. **História da geografia.** Edições 70. Coleção Biblioteca 70. Lisboa (Portugal).2006. n.25

CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia fluvial.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995. 472 p.

CNM. Consejo Nacional de Municipios. **Assuntos Gerais.** Disponível em: www.cnm.org.br. Acesso em: 21 de Junho de 2017.

COLSON. G; BRUIN.D . **An integrated multiobjective portfolio management system. Mathematical and Computer Modelling.** 1989. 10-11p.

COSTA, E. **Caracará, RR, decreta situação de emergência e cheia já afeta 100 famílias na cidade,** Globo, Caracará, 27 de julho de 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/rr/roaima/noticia/caracarai-rr-decreta-situacao-de-emergencia-e-cheia-ja-afeta-100-familias-na-cidade.ghtml>

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Anchieta, Espírito Santo. CPRM, 2012.

DAVIS, CLODOVEU, E GILBERTO CÂMARA. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica**. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE. 2001.

DJI. **General information**. Disponível em: <https://www.dji.com/phantom-4/info>. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

EISENBEISS, H. **A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition**. International Workshop on Processing and visualization using highresolution imagery. 2004.18-20p.

ELACHI, CHARLES, e JAKOB J. Van Zyl. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. Vol. 28. John Wiley & Sons, 2006.520p.

EMBRAPA. **Ageitec**. 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_58_210200792814.html>. Acesso em: 13 out. 2016.

ESRI, **Princípios básicos de georreferenciacion de dataset ráster**. 2017. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-for-georeferencing-a-raster-dataset.htm#GUID-B7FEC41F-BEDC-4B8A-8C5B-BAD6C39619A0>. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

FAUGÈRES, L. **La géo-cindynique, géoscience du risque**. Bulletin de l'Association de Géographes Français, Paris, n. 3, 1991. p. 179-193.

FLORENZANO , T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p. 105-128.

FRANCO, A. L. A.; ETCHEBEHERE, M. L. de C.; STEVAUX, J. C. **Hipótese sobre os condicionantes neotectônicos do barramento natural da foz do rio Ivaí (PR/MS)** com base em levantamento ecobatimétrico. Revista UnG – Geociências, v.7, n.1, p. 78-86, 2008.

GROTZINGER, J. JORDAN, T. **Para entender a terra**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 524p.

GÓMEZ OREA, D. **Planejamento Territorial**. Coedición Mundi-Prensa e Editorial Agrícola Española. Madrid. 2001.

GOVERNO DE RORAIMA. **Roraima: Diagnostico Echentes/Inundações- 2011**. 34 slides. Color. Disponível em: <https://www.slideshare.net/operacaocidadania/diagnostico-enchentes-2011> Acesso em: 15 de maio de 2017.

HAESBAERT, R. **Viver no Limite: Territorio e multi/transterritorialidade em tempos de in-segurança e contenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. 350p.

HILL, A. A.; CUTTER, S. L. **Methods for Determining Disaster Proneness**. In: CUTTER, S. L. (ed). *American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2001. 13-36 p

HOLLIS, G.E. **Rain, roads, roofs and runoff: Hydrology in the cities**. *Geography*: Vol 73. 1988. 9-18p.

IBGE (Intituto Braisilero de Geografia e Estadística). **Informação Geral do Município de Caracaraí**. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/2VZ7J> Acesso em: 04 de junho de 2017.

KRAUS, A. **Desastres Naturais: Impacto económico e período de reconstrução**. Porto. Vida Econômica Editorial, 2014. 155p.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais – conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 106p.

LAGO, L. ; SOUZA, A. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Caracaraí, RR** (Technical Report). CPRM. 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18301>

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; ANSSINE, M. **Grandes Sistemas Fluviais: Geologia, Geomorfologia, Paleohidrologia**. In: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA. (Org.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, v. 1, p. 276-297. 2005.

LEOPOLD, L.B. 1968. **Hydrology for urban planning: a guide book on the hydrologic effects on urban land use.** Circular. United States Department of the Interior. Geological Survey, Reston, n.554, 1-18 p.

LILLESAND T. M, KIEFER R.W, CHIPMAN J. W. **Remote sensing and image interpretation.** New York: John Wiley and Sons Publications; 2004.

LUIZ, A.J.B.; GÜRTLER, S; GLERIANI, J.M; EPIPHANIO, J.C.N; CAMPOS, R; C; **Reflectancia a partir do numero digital de imagens ETM+.** Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 11. 2003.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. **Geographical Information Systems.** Longman Scientific & Technical, Vol. 1 e 2, New York. 1993.

MARTÍNEZ, E.; M. ESCUDEY. **Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias.** Editores. Santiago, USACH, UNESCO. 1997.

MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A relação entre o natural e o social nas abordagens de hazards e de desastres. *Ambiente & Sociedade*, n.9, 2001. p. 93-114.

MENA .F, VALENZUELA. J, AND ORMAZÁBAL .R. **Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial.** *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá* 14.1. 2006. 81-89p.

MINISTERIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTAO, Secretaria do Patrimônio da União, **Orientação normativa que disciplina a demarcação de terrenos marginais e seus acrescidos.** 9º do Decreto-lei n.º 9.760, de 5 de setembro de 1946. 4 de junho de 2001.

MORAIS, ROSEANE. P, e CARVALHO. T. **Cobertura da terra e parâmetros da paisagem no município de Caracaraí-Roraima.** *Revista Geográfica Acadêmica* 7.1 .2013. 46-59p.

MOTA, Suetônio. **Planejamento urbano e preservação ambiental.** Edições UFC. Fortaleza, 1981. 242p.

NEWSON, M.D. **Floods effectiveness in river basins: progress in Britain in a decade of drought.** In Beven, K. and Carling, P. (eds) *Floods: Hydrological, sedimentological and geomorphological implications*. Chichester: John Wiley & Sons. 1989. 151-69p.

NIJKAMP, PETER, AND AD VAN DELFT. **Multi-criteria analysis and regional decision-making.** Vol. 8. Springer Science & Business Media, 1977.

NOVO, E. M. L. D. M. *Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações*. 4. ed. São Paulo Blucher, 2010.

NUNES, L. **Urbanização e desastres naturais.** São Paulo. Oficina de Textos. 2015. 59p.

OLIVERA. D; MARTINELLI. A; MARMOS. J. Recursos Hídricos Superficiais. In: HOLANDA, J. L. R., MARMOS, J. L., & MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado de Roraima.** Manaus. 2014.

PELLING, M. **The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience.** London: Earthscan, 2003. 256 p.

PINE, J. C. **Natural Hazard Analysis: Reducing the impact of disasters.** Florida: Taylor & Francis Group, 2008. 314p.

PIX4D. **TOOLS - GSD calculator.** 2018. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-calculator>. Acesso: 10 de julho de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, DEP – DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA. **Manual de Drenagem Urbana.** Volume VI. Porto Alegre. Setembro, 2005.

RAMOS, C. **Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território.** Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, DILIF-5, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. 2009. 93p.

REBELO, F. **Riscos naturais e acção antrópica: estudos e reflexões.** Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2003. 199p.

RICCOMINI, C; GIANNINI, P. C. F; MANCINI, F. **Rios e Processos Aluviais**. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org). Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2001. 191 – 214p.

SAATY, T. L., AND VARGAS L. G. **Hierarchical analysis of behavior in competition: Prediction in chess**. Systems Research and Behavioral Science 25.3, p. 180-191, 1980.

SANDER, C., WANKLER, F. L., DE OLIVEIRA EVANGELISTA, R. A., MORAGA, C. H., & DOS SANTOS TEIXEIRA, J. F. **Cheias do rio Branco e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima**. Acta geográfica, 6(12). 2012. 41-57p.

SANDER, C., GASPARETTO, N. V. L., DOS SANTOS, M. L., & DE CARVALHO, T. M. **Características do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Branco, estado de Roraima**. Acta Geográfica, 2014. 71-85 p.

SANDER, C. **Geomorfologia da Planície Aluvial do Alto Rio Branco em Roraima: Dinâmica e Processos Evolutivos**, 2015. 27p. Tese (Doutorado em Geografia, Área de Concentração: Análise Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2015.

SATELLITE IMAGEM. **Rapideye Satellite Sensor**. Disponível em <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/rapideye/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs**. Water Resources Publications, 1987. 1-20p.

SILVA, A. N. R. DA, RAMOS, R. A. R., SOUZA, L. C. L., RODRIGUES, D. S., & MENDES, J. F. G. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos, SP: Ed. Autores. 2004. 73-100p.

STROL J, et al .UNIGIS Latinoamerica; Modulo: **Introduccion al SIG**. Leccion 2: Que son los SIG?. 2013. 40p.

STROL J, et al .UNIGIS Latinoamerica; Modulo: **Analisis Espacial**. Leccion 2: Algebra de Mapas. 2017.

SOUSA .P.A ; PEREIRA, A.P.A. **Diagnóstico dos factores condicionantes da suscetibilidade face ao risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos.** *Territorium*, 13, 2006. 35-51p.

TUCCI, C. E. M. **Estudos hidrológicos-hidrodinâmicos do rio Iguaçu na RMC.** Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral do Paraná. 2v. 1996.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** Revista brasileira de recursos hídricos Vol.2.2 ,1997. 5-12p.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano.** Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação 2. p. 475-508. 1999.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. (Org). **Inundações Urbanas na América do SUL.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003a.145-181p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações e Drenagem Urbana.** In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org). Inundações urbanas na América do SUL. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003b.145-181p.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.** Revista de Gestão del Agua de América Latina 1.1, p. 59-73, 2004.

TUCCI, C. E. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 11. 2007.

TUNDISI, J. G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado.** Ciência e Cultura, 55(4), 2003. 31-33p.

UNDP – United Nations Development Program. **Reducing disaster risk: a challenge for development.** New York: UNDP, 2004. 130p.

UNITED NATIONS DISASTERS RELIEF CO-ORDINATOR. **Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options.** A manual for policy and planner. New York: United Nations, 1991.

VARGAS, E. **Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes de satélite.** Bogotá: IGAC-CIAF, (1992).8-45p.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 2007.

VILLALÓN, J. "**Prologo**", em **A ordenação do território na Espanha; evolução do conceito e sua prática no século XX.** Coleção Kora n. 16. Universidade de Sevilha e o Ministério de Obras Públicas e Transporte da Junta de Andalucía. Sevilha. 2006.

WOHL, E. E. **Hydrology and Discharge** In: GUPTA, A. (Ed.). Large rivers: geomorphology and management. United Kingdom: John Wiley e Sonsp., p. 29-44. 2007.

YALCIN, A., ET al. **A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey.** Catena 85.3. 2011. 274-287p.

APÊNDICES

Apêndice 1

DADOS BASE DA IMAGEN SRTM E IMAGEM DEM

Informação da Imagem SRTM Base

<input type="checkbox"/>	Raster Information	
	Columns and Rows	3601, 3601
	Number of Bands	1
	Cell Size (X, Y)	0.000277777778, 0.000277777778
	Uncompressed Size	24.73 MB
	Format	TIFF
	Source Type	Generic
	Pixel Type	signed integer
	Pixel Depth	16 Bit
	NoData Value	-32767
	Colormap	absent
	Pyramids	level: 4, resampling: Nearest Neighbor
	Compression	None
	Mensuration Capabilities	Basic
	Status	Permanent
<input type="checkbox"/>	Extent	
	Top	2.00013888889
	Left	-62.0001388889
	Right	-60.9998611111
	Bottom	0.999861111111
<input type="checkbox"/>	Spatial Reference	
	XY Coordinate System	GCS_WGS_1984
	Linear Unit	
	Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)
	Datum	D_WGS_1984
	Vertical Coordinate System	
<input type="checkbox"/>	Statistics	
<input type="checkbox"/>	Band_1	Statistics have not been calculated.
	Build Parameters	
	Min	
	Max	
	Mean	
	Std dev.	
	Classes	

Informação da Imagem DEM usado na pesquisa.

<input type="checkbox"/> Raster Information	
Columns and Rows	10578, 10271
Number of Bands	1
Cell Size (X, Y)	1, 1
Uncompressed Size	414.45 MB
Format	FGDBR
Source Type	Generic
Pixel Type	floating point
Pixel Depth	32 Bit
NoData Value	
Colormap	absent
Pyramids	level: 5, resampling: Nearest Neighbor
Compression	LZ77
Mensuration Capabilities	Basic
Status	Permanent
<input type="checkbox"/> Extent	
Top	206130.014256
Left	702702.043173
Right	713280.043173
Bottom	195859.014256
<input type="checkbox"/> Spatial Reference	
XY Coordinate System	WGS_1984_Complex_UTM_Zone_20N
Linear Unit	Meter (1.000000)
Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)
False_Easting	500000
False_Northing	0
Central_Meridian	-63
Scale_Factor	0.9996
Latitude_Of_Origin	0
Datum	D_WGS_1984
Vertical Coordinate System	
<input type="checkbox"/> Statistics	
<input type="checkbox"/> Band_1	
Build Parameters	
Min	32
Max	84.97698974609375
Max	84.97698974609375
Mean	54.08889590502862
Std dev.	5.438964961146449
Classes	0

Apêndice 2

DADOS DE GEORREFERENCIAÇÃO DAS IMAGENS DO DRONE

Mosaico 1

Link								
Total RMS Error: Forward:2.89752								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	443.310207	-2575.327421	708600.893241	201909.688958	0.200617	1.41429	1.42845
<input checked="" type="checkbox"/>	2	752.183271	-915.563442	708921.785841	201696.062624	0.474714	-0.638545	0.795672
<input checked="" type="checkbox"/>	3	2719.650648	-1417.773241	708615.519437	201334.892423	0.421571	2.97449	3.00421
<input checked="" type="checkbox"/>	4	5279.395732	-1543.253384	708338.345245	200825.960510	-2.8236	-2.45945	3.74454
<input checked="" type="checkbox"/>	5	6526.268342	-1560.379359	708221.027547	200588.993690	0.292923	2.54796	2.56475
<input checked="" type="checkbox"/>	6	7712.816163	-1593.575688	708104.835544	200358.792501	-0.482988	-3.4526	3.48622
<input checked="" type="checkbox"/>	7	9212.245742	-804.119995	708119.810550	200003.586901	2.36779	0.636134	2.45175
<input checked="" type="checkbox"/>	8	10104.431605	-676.308579	708057.818110	199824.327145	-2.49034	-0.873768	2.63918
<input checked="" type="checkbox"/>	9	12608.289475	-1123.993391	707761.484184	199422.159674	1.25226	0.884566	1.53317
<input checked="" type="checkbox"/>	10	12740.125286	-2136.167149	707572.571306	199498.888994	-2.74136	-2.84283	3.94927
<input checked="" type="checkbox"/>	11	11251.438220	-2004.862835	707721.796604	199753.947838	0.857366	3.07711	3.19432
<input checked="" type="checkbox"/>	12	10793.972277	-2164.354931	707731.321623	199848.139693	-0.19359	-0.592373	0.623204
<input checked="" type="checkbox"/>	13	9627.210973	-2331.315460	707802.653874	200079.178511	1.6726	2.28317	2.83028
<input checked="" type="checkbox"/>	14	8814.186866	-2148.554265	707906.022379	200209.316289	1.83518	0.215435	1.84778
<input checked="" type="checkbox"/>	15	7221.209502	-2371.759891	708007.005661	200528.430444	3.40395	-1.74365	3.82456
<input checked="" type="checkbox"/>	16	6458.370531	-2422.185299	708059.300661	200679.944393	-3.1929	-1.10192	3.3777
<input checked="" type="checkbox"/>	17	5306.167884	-2473.026508	708156.046963	200914.331520	-1.51484	4.56741	4.81207
<input checked="" type="checkbox"/>	18	3622.306110	-2408.134156	708327.317055	201236.582209	0.240811	-1.84964	1.86525
<input checked="" type="checkbox"/>	19	2348.274254	-2463.866779	708437.956105	201499.295244	0.419823	-3.0458	3.0746

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial
 Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Mosaico 2

Link								
Total RMS Error: Forward:2.65634								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1239.217508	-851.825954	708120.274233	200016.801983	0.561892	-1.4881	1.59065
<input checked="" type="checkbox"/>	2	2142.463550	-796.445880	708063.529814	199822.266699	1.47114	2.6323	3.0155
<input checked="" type="checkbox"/>	3	4233.522366	-1498.006324	707761.484184	199422.159674	-1.33089	-4.13256	4.34158
<input checked="" type="checkbox"/>	4	5665.050892	-1410.624699	707677.424788	199129.414167	-2.46237	-1.84937	3.07951
<input checked="" type="checkbox"/>	5	6925.179425	-1780.825141	707524.680524	198915.643635	2.08216	3.35708	3.95037
<input checked="" type="checkbox"/>	6	6159.357778	-2787.175379	707379.953152	199135.512825	0.246577	-2.19695	2.21075
<input checked="" type="checkbox"/>	7	5169.654430	-2821.383859	707436.177222	199331.834051	-0.453996	-0.161001	0.481699
<input checked="" type="checkbox"/>	8	4893.264859	-2612.923674	707494.154161	199372.844550	-1.32745	1.47845	1.98695
<input checked="" type="checkbox"/>	9	4320.186310	-2104.388762	707635.982136	199448.581680	1.13867	-1.58072	1.94814
<input checked="" type="checkbox"/>	10	2878.042454	-2171.083605	707721.796604	199753.947838	0.268701	5.09436	5.10144
<input checked="" type="checkbox"/>	11	2078.163455	-2109.813964	707792.340174	199912.288050	1.34985	0.628034	1.4888
<input checked="" type="checkbox"/>	12	1227.740460	-2196.574758	707834.541300	200096.570711	0.421606	0.219006	0.475095
<input checked="" type="checkbox"/>	13	655.654879	-2058.135248	707906.022379	200209.316289	0.645832	-1.82084	1.93198
<input checked="" type="checkbox"/>	14	387.302614	-2161.623403	707902.231774	200273.643240	-0.818232	-0.901106	1.21717
<input checked="" type="checkbox"/>	15	268.678040	-1194.902121	708118.925958	200250.228671	-1.79349	0.721415	1.93315

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial
 Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Mosaico 3

Link								
Total RMS Error: Forward:2.13853								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	8474.223537	-2098.361199	708702.076508	201906.112663	-0.869131	0.360499	0.940929
<input checked="" type="checkbox"/>	2	3941.074439	-1084.970263	709472.347112	202505.204030	1.77933	1.02215	2.05203
<input checked="" type="checkbox"/>	3	1837.693454	-1628.282793	709659.937070	202938.294740	-1.60807	-1.13102	1.96598
<input checked="" type="checkbox"/>	4	2375.263918	-2158.839595	709490.100689	202918.080533	0.862229	0.327424	0.922304
<input checked="" type="checkbox"/>	5	2812.648470	-2505.352589	709374.702437	202890.193393	2.15074	1.07105	2.40267
<input checked="" type="checkbox"/>	6	4222.518237	-2226.576974	709226.813287	202614.453793	-3.9508	-0.230019	3.95749
<input checked="" type="checkbox"/>	7	5689.166851	-2263.008334	709034.646028	202374.724939	0.636293	-2.44314	2.52464
<input checked="" type="checkbox"/>	8	6325.256822	-2059.618234	708981.550220	202246.156585	-0.0609946	1.17098	1.17257
<input checked="" type="checkbox"/>	9	8559.556435	-675.602911	708903.995399	201681.506620	-1.17419	-0.495164	1.27433
<input checked="" type="checkbox"/>	10	8372.561052	-1583.098933	708788.697909	201847.351092	2.2346	0.347238	2.26142

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial
 Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Apêndice 3

SEPARABILIDADE ESPECTRAL DAS IMAGENS DRONE E RAPIDEYE

Imágenes Drone

Mosaico 1



Input File: Mosaico 1.tif

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Vegetacion Herbacea:

Bosques/Montes: (1.21065496 1.48786314)

Construcciones: (1.98433101 1.99999323)

Terras Baldias: (1.99999987 2.00000000)

Bosques/Montes:

Vegetacion Herbacea: (1.21065496 1.48786314)

Construcciones: (1.98995995 2.00000000)

Terras Baldias: (2.00000000 2.00000000)

Construcciones:

Vegetacion Herbacea: (1.98433101 1.99999323)

Bosques/Montes: (1.98995995 2.00000000)

Terras Baldias: (1.63745633 1.89680309)

Terras Baldias:

Vegetacion Herbacea: (1.99999987 2.00000000)

Bosques/Montes: (2.00000000 2.00000000)

Construcciones: (1.63745633 1.89680309)

Pair Separation (least to most);

Vegetacion Herbacea and Bosques/Montes - 1.21065496

Construcciones and Terras Baldias - 1.63745633

Vegetacion Herbacea and Construcciones - 1.98433101

Bosques/Montes and Construcciones - 1.98995995

Vegetacion Herbacea and Terras Baldias - 1.99999987

Bosques/Montes and Terras Baldias - 2.00000000

Mosaico 2



Input File: Mosaico 2.tif

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Bosques/Montes:

Terrenos Baldios: (1.99999996 2.00000000)

Construções: (1.99918568 1.99999999)

Vegetação Herbacea: (1.88166488 1.99937131)

Terrenos Baldios:

Bosques/Montes: (1.99999996 2.00000000)

Construções: (1.91830438 1.99563078)

Vegetação Herbacea: (1.97975905 1.98253483)

Construções:

Bosques/Montes: (1.99918568 1.99999999)

Terrenos Baldios: (1.91830438 1.99563078)

Vegetação Herbacea: (1.87929331 1.99659705)

Vegetação Herbacea:

Bosques/Montes: (1.88166488 1.99937131)

Terrenos Baldios: (1.97975905 1.98253483)

Construções: (1.87929331 1.99659705)

Pair Separation (least to most);

Construções and Vegetação Herbacea - 1.87929331

Bosques/Montes and Vegetação Herbacea - 1.88166488

Terrenos Baldios and Construções - 1.91830438

Terrenos Baldios and Vegetação Herbacea - 1.97975905

Bosques/Montes and Construções - 1.99918568

Bosques/Montes and Terrenos Baldios - 1.99999996

Mosaico 3



Input File: Mosaico 3.tif

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Terrenos Baldios:

Vegetação Herbacea: (1.99999997 2.00000000)

Bosque/mata: (1.99999933 2.00000000)

construções: (0.88545616 1.10498753)

Vegetação Herbacea:

Terrenos Baldios: (1.99999997 2.00000000)

Bosque/mata: (1.84178133 1.89416474)

construções: (2.00000000 2.00000000)

Bosque/mata:

Terrenos Baldios: (1.99999933 2.00000000)

Vegetação Herbacea: (1.84178133 1.89416474)

construções: (1.99999996 2.00000000)

construções:

Terrenos Baldios: (0.88545616 1.10498753)

Vegetação Herbacea: (2.00000000 2.00000000)

Bosque/mata: (1.99999996 2.00000000)

Pair Separation (least to most);

Terrenos Baldios and construções - 0.88545616

Vegetação Herbacea and Bosque/mata - 1.84178133

Terrenos Baldios and Bosque/mata - 1.99999933

Bosque/mata and construções - 1.99999996

Terrenos Baldios and Vegetação Herbacea - 1.99999997

Vegetação Herbacea and construções - 2.00000000

Imagem RapidEye



Input File: Bandas321.ovr

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Vegetação Herbacea:

Bosques/Mata: (1.39164138 1.67266638)

Construções: (1.99082959 2.00000000)

Terrenos Baldios: (1.99799260 1.99999930)

Bosques/Mata:

Vegetação Herbacea: (1.39164138 1.67266638)

Construções: (1.99748582 2.00000000)

Terrenos Baldios: (1.99946679 2.00000000)

Construções:

Vegetação Herbacea: (1.99082959 2.00000000)

Bosques/Mata: (1.99748582 2.00000000)

Terrenos Baldios: (1.41604283 1.99937833)

Terrenos Baldios:

Vegetação Herbacea: (1.99799260 1.99999930)

Bosques/Mata: (1.99946679 2.00000000)

Construções: (1.41604283 1.99937833)

Pair Separation (least to most);

Vegetação Herbacea and Bosques/Mata - 1.39164138

Construções and Terrenos Baldios - 1.41604283

Vegetação Herbacea and Construções - 1.99082959

Bosques/Mata and Construções - 1.99748582

Vegetação Herbacea and Terrenos Baldios - 1.99799260

Bosques/Mata and Terrenos Baldios - 1.99946679