



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 09

**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URAIM,
PARAGOMINAS-PA**

DENISON LIMA CORREA

Orientador: MILTON ANTÔNIO DA SILVA MATTA

BELÉM

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URAIM,
PARAGOMINAS-PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

DENISON LIMA CORREA

Como requisito à obtenção do Grau de Mestre em Recursos Hídricos

Data de Aprovação: ____/____/____

Milton Antônio da Silva Matta – Orientador

Doutor em Hidrogeologia– UFPA

Joaquim Carlos Barbosa Queiroz - Membro

Doutor em Geociências e Meio Ambiente – UFPA

Bruno Wendell de Freitas Pereira - Membro

Doutor em Ciências Agrárias – UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial à minha família e dedico a minha Mãe Sandra Helena, pelo apoio durante toda a minha vida e minha graduação e pós-graduação.

A o meu orientador professor Milton Antônio da Silva Matta, pela oportunidade e aprendizado.

Ao Professor Paulo Pontes pela oportunidade e aprendizado.

Aos meus amigos da SINGEO, Jacqueline Soares da costa, Lucimar Costa Pereira, Suane Bastos dos Santos e Maykon Viana Balbino pela contribuição no desenvolvimento pessoal e profissional ao longo desses anos de trabalho, compreensão e quanto aos momentos de ausência.

A minha Princesa Jorleide Rodrigues por ter acreditado em mim e me proporcionar os melhores anos de minha vida e todos que virão.

A Universidade Federal do Pará em especial ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos pela oportunidade de fazer parte deste projeto.

A Carla Tayanna Silva Secretária do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos pelo apoio essencial na minha volta ao programa.

A Deus por ter me abençoado em todos os momentos de minha vida.

Faça o seu melhor sempre.

CORREA, D.L. Análise Da Susceptibilidade A Inundações Na Bacia Hidrográfica Do Rio Uraim, Paragominas-PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Pós Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Pará, Belém-PA,2017.

RESUMO

O fenômeno da inundação é um evento natural, dado pelo extravasamento da água para o leito maior do rio, fato propiciado por precipitações intensas fazendo com que a quantidade de água que chega simultaneamente para um ponto do rio seja maior do que sua capacidade de escoamento. O objetivo principal dessa dissertação foi realizar a análise da susceptibilidade a inundações da bacia hidrográfica do Rio Uraim no município de Paragominas estado do Pará com base nas características físicas e morfométricas da bacia e avaliar as áreas mais propícias a alagamentos dentro da zona urbana. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para extrair a bacia por imagens SRTM e utilizar de classificação digital de imagens para obter o uso do solo na bacia e extração de elevação e declividade para compor o processo de álgebra de mapas pelo método AHP a fim de gerar o mapa de susceptibilidade da bacia e realizar uma discussão com a zona urbana do município de Paragominas. A bacia do Rio Uraim possui uma rede de drenagem com área e perímetro de 4,981 km² e 202 km, respectivamente. A bacia possui altitude máxima de 255 metros e mínima de 1 metro no exutório, sendo a altitude média de 136 metros. A declividade do curso d'água principal calculada com base nos extremos (S1) apresentou um valor de 0,08 m/m expressou um valor que superestima a declividade média do curso da água, e conseqüentemente, o pico de cheia. Para a variável uso e ocupação do solo apresentarem variáveis onde pode se analisar que a bacia do rio Uraim está em processo de alteração de sua cobertura vegetal evidenciando um alto índice nas classes pastagens e agricultura, além do desmatamento em áreas de Preservação Permanente, as áreas urbanas evidenciam a alta impermeabilidade nas áreas de preservação. Constatase que os bairros mais suscetíveis a inundações se encontram em regiões próximas aos igarapés vertentes da bacia são eles Promissão, Uraim, Cidelândia, Angelim e Cidade Nova. A técnica AHP utilizada para determinação de pesos das classes contribuintes para susceptibilidade a inundações se mostrou eficaz pois reduz e simplifica o problema proposto, o que minimiza os erros de julgamento durante o processo.

Palavras Chaves: SRTM, Mapeamento, Recursos Hídricos, Alagamentos.

CORREA, D.L. **Analysis Of Susceptibility To Floods In The Uraim River Basin, Paragominas-PA.** Master's Dissertation, Institute of Geosciences, Post-Graduation in Water Resources, Federal University of Pará, Belém-PA, 2017.

ABSTRACT

The phenomenon of flooding is a natural event, given by the extravasation of water to the greater river bed, a fact caused by intense precipitation causing the amount of water that arrives simultaneously to a point of the river is greater than its capacity of flow. The main objective of this dissertation was to analyze the susceptibility to floods in the Uraim River basin in the municipality of Paragominas state of Pará, based on the physical and morphometric characteristics of the basin and to evaluate the areas most prone to flooding within the urban zone. Geoprocessing techniques were used to extract the basin by SRTM images and to use digital image classification to obtain soil use in the basin and extraction of elevation and slope to compose the map algebra process by the AHP method in order to generate the map susceptibility of the basin and conduct a discussion with the urban area of the municipality of Paragominas. The Uraim River basin It has a drainage network with area and perimeter of 4,981 km² and 202 km, respectively. The basin has a maximum altitude of 255 meters and a minimum of 1 meter in the exudation, the average altitude being 136 meters. The slope of the main watercourse calculated on the basis of the extremes (S1) showed a value of 0.08 m/m expressed a value that overestimates the mean slope of the water course, and hence the peak flood. For the variable use and occupation of the soil present variables where it can be analyzed that the Uraim river basin is in the process of altering its vegetation cover, evidencing a high index in the pasture and agriculture classes, besides the deforestation in Permanent Preservation areas, the areas evidence of high impermeability in the preservation areas. It can be seen that the neighborhoods most susceptible to flooding are in regions near the river basins of the basin: Promissão, Uraim, Cidelândia, Angelim and Cidade Nova. The AHP technique used to determine the weights of classes contributing to flood susceptibility was effective because it reduces and simplifies the proposed problem, which minimizes the errors of judgment during the process.

Keywords: SRTM, Mapping, Water Resources, Floodplains

SUMÁRIO

1. JUSTIFICATIVA	12
2. INTRODUÇÃO	12
3. OBJETIVOS	14
3.1. Objetivo geral	14
3.2. Objetivos específicos	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1. Bacias hidrográficas	15
4.2. Sub-bacias e Microbacias	16
4.3. Microbacia do Rio Uraim	16
4.4. Uso do solo na bacia do rio Uraim	17
4.5. Geoprocessamento nos Recurso Hídricos	19
4.6. Inundações urbanas	21
4.7. Mapeamento de áreas suscetíveis	23
4.8. Satélites Utilizados nesse trabalho	24
4.8.1. <i>Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)</i>	24
4.9. Extração da Rede de Drenagem	29
4.10. Classificação Digital de Imagens	31
5. MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1. Área de Estudo	33
5.2. Pré-Processamento	35
5.2.1. <i>Base de dados cartográficos e geolocalizados</i>	35
5.2.2. <i>Imagens LandSat 8 OLI</i>	35
5.2.3. <i>Imagem SRTM</i>	35
5.2.4. <i>Extração de Rede de Drenagem</i>	35
5.2.5. <i>Lineamentos morfológicos</i>	36
5.2.6. <i>Topografia</i>	36
5.2.7. <i>Uso do solo</i>	36
5.3. Processamento	36

5.3.1.	<i>Análise morfométrica.</i>	36
5.3.2.	<i>Mapa de susceptibilidade a inundações método AHP</i>	37
5.3.3.	<i>Definição dos critérios e justificativas</i>	38
5.3.4.	<i>Modelo de elevação</i>	38
5.3.5.	<i>Uso e ocupação do solo</i>	38
5.3.4.	<i>Declividade</i>	39
5.3.5.	<i>Mapeamento e análise das variáveis</i>	39
5.3.6.	<i>Aplicação do método de decisão multicriterial.</i>	40
5.3.7.	<i>Fase teórica</i>	40
5.3.8.	<i>Fase operacional</i>	41
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1.	Análise dos fatores morfométricos	42
6.2.	Características do relevo.	43
6.3.	Uso e Ocupação do Solo	44
6.4.	Mapeamento das áreas suscetíveis	47
7.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	50
8.	REFERÊNCIAS	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantificação de áreas definidas pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra no na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim no ano de 2015.....	17
Tabela 2. Satélites que compõem o programa Landsat 8.	28
Tabela 3. Características espectrais, espaciais e temporais do Landsat-8 sensor OLI. .	29
Tabela 4. Características morfométricas da bacia.	37
Tabela 5. Pesos do mapa de uso e ocupação.	38
Tabela 6. Classes de declividade.	39
Tabela 7. Pesos	39
Tabela 8. Matriz de comparação pareada.	41
Tabela 9. Pesos para elaboração do mapa de susceptibilidade.	41
Tabela 10. Reordenação das classes de susceptibilidade.....	42
Tabela 11. Quantificação de áreas definidas pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de enchentes e inundações.....	22
Figura 2. Geometria de aquisição dos dados SRTM.	25
Figura 3. Relação geométrica entre duas antenas (posições P1 e P2) que utilizaram interferometria para extração de informação topográfica.....	26
Figura 4. Configuração esquemática do sistema SRTM.	26
Figura 5. Indicação das 8 direções de fluxo possíveis para um determinado pixel, com o código usado.	30
Figura 6. Distribuição média de chuva e de evapotranspiração de referência (ETP). Paragominas PA. Período 1973-2004.....	33
Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.	34
Figura 8. Fluxograma da metodologia aplicada.	37
Figura 9. Estrutura do problema hierarquizada.	40
Figura 10. Mapa da rede de drenagem da Bacia do Rio Uraim.	43
Figura 11. Mapa de Relevo da Bacia do rio Uraim.	44
Figura 12. Carta Imagem da Bacia do Rio Uraim.	46
Figura 13. Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do rio Uraim em 2017.	46
Figura 14. Mapa de susceptibilidade a inundações.	47
Figura 15. Vista da PA 125 Lago verde Paragominas.....	49
Figura 16. Vista da rotatória entre os Bairros Cidade Nova e Flanboyant.	49

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

AHP- Analytic Hierarchy Process

APP – Área de Preservação Permanente

DEM - Digital Elevation Model

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IHS - Intensity, Hue, Saturation

INSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar

NASA - National Aeronautics and Space Administration

OLI - Operational Land Imager

RGB - Red, Green, Blue

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SAR - Synthetic Aperture Radar

SANEPAR – Agência de Saneamento de Paragominas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TIN - Triangular Irregular Network

USGS - United States Geological Survey

1. JUSTIFICATIVA

Não é de hoje que o município de Paragominas Nordeste do estado do Pará sofre com casos de alagamento, além disso, a falta de planejamento urbano juntamente com o rápido crescimento populacional forçou muitas famílias à instalarem-se em locais próximos à córregos, e o crescimento urbano não planejado afetou diretamente a qualidade de vida de alguns moradores. Algumas áreas foram terraplanadas sufocando o curso dos rios, um exemplo é o conhecido lago verde no centro da cidade que em épocas de grande índice de chuvas geralmente os meses de dezembro a março, faz com que a cidade sofra com alagamentos. Assim surge a necessidade de trabalhos que mostrem onde estão essas áreas e os pontos mais susceptíveis a alagamentos para que os resultados possam ser usados como parâmetros para a gestão municipal e o planejamento de obras que possam diminuir alagamentos e dar uma qualidade melhor de vida as famílias localizadas em pontos considerados críticos. Os trabalhos de geoprocessamento são importantes ferramentas nas tomadas de decisão onde por meio de imagens de satélites pode-se verificar a gestão do uso solo e verificar o crescimento urbano do município além do uso de imagens de radar sensores que detêm a capacidade de trabalhar com modelos topográficos e assim verificar o comportamento natural dos recursos hídricos e analisar suas microbacias. Trabalhos de susceptibilidade a inundação são importantes para que o se avalie o uso do solo e as áreas onde ocorrem determinados alagamentos por meio de parâmetros como topografia, hidrografia e vegetação que permitam a geração de índices de avaliação para elaboração de mapas e gestão de informações de suma importância a cidade.

2. INTRODUÇÃO

O fenômeno da inundação é um evento natural, dado pelo extravasamento da água para o leito maior do rio, fato propiciado por precipitações intensas fazendo com que a quantidade de água que chega simultaneamente para um ponto do rio seja maior do que sua capacidade de escoamento (DEFESA CIVIL, 1996). Porém, as planícies de inundações dos rios, áreas geralmente planas e férteis favorecem o assentamento humano (ENOMOTO, 2004), transformando este evento natural em um risco para a população que ali reside. Tucci (2005) cita que a planície de inundação de um rio pode ter diferentes níveis de risco, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor do rio é superior a dois anos, existe a tendência da população em ocupar a área.

O estabelecimento de pequenas cidades, vilas e casas em áreas de várzeas gera, por ocasião das cheias, danos custosos aos ocupantes, e, também, às populações a montante, que são afetadas pelas elevações de níveis decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada por ocupações.

Uma grande porção da malha urbana de Paragominas é cortada pelo Rio Uraim, assim a população tem uma relação de maior proximidade e necessidade de uso desse recurso para os mais variados fins. Neste caso, é de extrema importância a realização de um monitoramento, com a finalidade de evitar a deposição de resíduos domésticos e/ou o lançamento de efluentes industriais sem tratamento às suas margens (SANEPAR, 2014).

O Rio Uraim é essencial para o desenvolvimento dos serviços de saneamento realizados no município, uma vez que viabiliza a captação da água para o abastecimento público, assim como o lançamento dos efluentes domésticos tratados nas estações. Desse modo, as ações preventivas e os cuidados com este corpo hídrico representam, além de uma atitude sustentável e consciente com o meio ambiente, um ato fundamental para o desenvolvimento da sociedade de Paragominas, com qualidade de vida e bem-estar (SANEPAR, 2014)

Entretanto, em um passado próximo, os constantes desmatamentos, provocados pelo avanço da agropecuária na região, reduziram, drasticamente, grandes áreas de cobertura vegetal no entorno deste rio, somado a este processo, o despejo de esgoto sanitário, outro agravante para a manutenção da qualidade da água para a população. Desta forma, ações direcionadas para a recuperação da qualidade da água, recobrimento florístico, qualidade do solo entre outros fatores ambientais, tornam-se necessários. Os estudos que resultam na tomada de decisão para as ações ambientais tornam-se mais eficientes quando utilizam a bacia hidrográfica como unidade experimental. Neste contexto, bacia hidrográfica pode ser entendida como a porção geográfica delimitada por divisores de água, englobando toda a área de drenagem de um curso d'água (SANTANA, 2003).

Por isto uma bacia hidrográfica é adotada como célula de planejamento por ser um sistema natural, perfeitamente demarcado cujas relações físicas, bióticas e socioeconômicas são integradas, sendo mais facilmente interpretadas (SILVA, 2009).

Assim, considerando o crescimento econômico que conseqüentemente demanda a exploração intensa dos recursos naturais e causa a degradação do meio ambiente, principalmente pelo uso e ocupação inadequado de terras por atividade agropecuárias, industriais e urbanas; os impactos gerados por estas atividades como um todo, são de natureza difusas. A utilização da bacia hidrográfica como unidade básica de estudo, permite a pontualização destes passivos ambientais (ARAÚJO, 2006).

Diante do exposto, existe a necessidade do mapeamento das áreas que possuem maiores susceptibilidade as inundações, de modo a prevenir prejuízos e evitar as adversidades. De acordo com Mendes e Cirilo (2001), é essencial a existência de informações sistematizadas para subsidiar, por exemplo, a previsão e o controle de processos naturais ou induzidos pelo homem nas bacias. De modo a caracterizar as áreas vulneráveis à inundações, principalmente na área urbana, o presente trabalho visa a caracterização morfométrica para avaliar sua susceptibilidade geológica a sofrer inundações e o mapeamento destas áreas, utilizando metodologia baseada no processo de decisão hierárquica (AHP) para identificar os níveis de susceptibilidade à inundações a que está sujeita a bacia hidrográfica, levando em conta características físiográficas e a impermeabilização do solo, que influenciam diretamente nestas ocorrências.

O ferramental metodológico escolhido vem sendo utilizado em diversos estudos de análise de mapas de inundação, como por Grassi et al. (2013) no mapeamento da vulnerabilidade a inundações no Estado do Paraná, por Magalhães et al. (2011) no mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí e por Andrade et al (2014) na elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG e no trabalho de (PROCHMANN, 2014) na análise espacial da susceptibilidade à inundações na Bacia hidrográfica do córrego grande, Florianópolis – SC.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho foi realizar a análise da susceptibilidade a inundações da bacia hidrográfica do Rio Uraim no município de Paragominas estado do Pará com base nas características físicas e morfometrias da bacia e avaliar as áreas mais propicias a alagamentos dentro da zona urbana.

3.2. Objetivos específicos

- Aplicar técnicas de geoprocessamento para obter e avaliar as características morfométricas quanto a propensão a inundações da bacia do Rio Uraim.
- Classificar gradualmente e mapear as áreas suscetíveis a inundações na zona urbana de Paragominas.
- Avaliar o uso do solo da bacia por meio de classificação digital de imagem e comparar com as áreas de suscetíveis a inundações.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica de acordo com a lei nº 9.433:1997 é “a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

De acordo com Tucci (1997), a bacia hidrográfica consiste em uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

A unidade territorial citada anteriormente pode ser caracterizada ainda como uma porção geográfica delimitada por divisores de água, que engloba a área inteira de drenagem de um curso d'água. Em razão disso, a mesma é adotada como célula de planejamento por caracterizar-se como um sistema natural, perfeitamente demarcado, cujas relações físicas, bióticas e socioeconômicas são integradas, o que torna mais fácil uma interpretação (SILVA, 2009).

Uma outra caracterização para a bacia hidrográfica, diz que está consiste em um sistema geomorfológico aberto, e como tal se encontra, mesmo quando não sofre perturbações, em contínua flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Isto é, a adição e perda de energia do próprio ecossistema encontram-se sempre em delicado balanço (LIMA, 1986).

Para cada seção de um rio existirá uma bacia hidrográfica. Considerando esta seção, a bacia é toda a área que contribui por gravidade para os rios até chegar a seção que define a mesma. Esta é definida através da topografia da superfície, entretanto, as

características geológicas do sub-solo podem fazer com que parte do escoamento que infiltra no solo sofra escoamento externo à área delimitada superficialmente. As características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade do rio e a declividade da bacia (TUCCI; MENDES, 2006).

A forma e o relevo de uma bacia atuam sobre a taxa ou sobre o regime da produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas das características físicas da bacia hidrográfica são, em grande parte, controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica (TONELLO, et al., 2006).

O escoamento superficial em uma bacia hidrográfica é considerado um dos principais componentes usados como indicadores da adequabilidade do sistema de manejo daquela bacia. Ele ocorre a partir do momento em que a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo. O escoamento superficial está ligado de forma direta com as precipitações que ocorrem em uma bacia hidrográfica, com as características físicas da mesma e com a cobertura vegetal do terreno (SALGADO et al., 2009).

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica de grande importância na superfície terrestre, pois suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. De tal forma, pode ser considerada como uma unidade de trabalho quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, pois as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e qualidade da água (TORRES et al., 2011).

4.2.Sub-bacias e Microbacias

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal e possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km². Já uma microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia. Uma sub-bacia é formada por várias microbacias. Estas últimas, possuem uma área inferior a 100 km² (FAUSTINO, 1996).

4.3.Microbacia do Rio Uraim

Com uma área de aproximadamente 4.9 Km² a microbacia hidrográfica do Rio Uraim ocupa 21,75% da área total do município de Paragominas e possui vinte e sete

rios que desaguam em seu leito e contribuem para formação da vazão média anual de 268.423,35 m³/h (SANEPAR, 2014). A microbacia hidrográfica do rio Uraim, está distribuída em dois municípios: Paragominas e Nova Esperança do Piriá, entretanto, o seu talvegue principal que é o rio Uraim possui leito apenas nos limites do município de Paragominas.

De acordo com estudo realizado por Lemos e Bispo (2015), a maioria da área da microbacia do rio Uraim é ocupada por pasto, o que indica grande degradação ambiental, uma vez que a vegetação que garantia serviços ecossistêmicos foi retirada. Boa parte da área ainda possui vegetação, mesmo assim, ainda existem grandes áreas ocupadas por solo exposto e agricultura. O desenvolvimento de geotecnologias capazes de processar dados provenientes de imagens obtidas por sensores orbitais integrados com dados cartográficos tornou possível o estudo detalhado de microbacias hidrográficas (SALGADO et al., 2009).

4.4. Uso do solo na bacia do rio Uraim

O trabalho de Ribeiro et al., 2017 apresenta resultados do uso do solo realizados na bacia do rio Uraim onde a área ocupada por Floresta Ombrófila Densa foi de 197.042,11ha, cerca de 40% de toda paisagem (Tabela 1), está presente predominantemente ao longo dos cursos d'água, caracterizando-se como Áreas de APP.

Tabela 1. Quantificação de áreas definidas pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra no na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim no ano de 2015.

Uso da Terra	Área na Bacia Uraim (há)	%
Água	1.857,41	0,38
Agricultura/Reflorestamento	63.105,14	12,86
Floresta Ombrófila Densa	197.042,11	40,14
Sucessão Secundária	82.578,59	16,82
Pastagem	130.895,23	26,67
Solo Exposto	15.388,06	3,13
Área Total	490.866,54	100

Fonte. Ribeiro et al., 2017

A classe de Sucessão Secundária está presente em 17% da área da bacia. A expressiva presença das formações secundárias na área está associada às áreas de ocupação antrópica, normalmente relacionadas à baixa sustentabilidade do sistema de agricultura tradicional praticado na região, que depende principalmente de períodos de

pousios suficientemente longos para restabelecer os estoques de nutrientes e matéria orgânica utilizados e/ou perdidos no período agrícola (KATO et al., 2004). Os dados levantados apontam que, dentre as classes de uso do solo, a pastagem predomina a paisagem, com cerca de 27% da área da bacia, o que evidencia a presença forte da atividade pecuária. Fearnside (2001) estima que pelo menos 80% das áreas desflorestadas na Amazônia estão ocupadas com pastagens cultivadas ou constituem vegetação secundária oriunda de áreas de pastagens degradadas e/ou abandonadas, principalmente sob tutela de grandes proprietários de terra, onde o processo de desflorestamento se dá de forma muito mais intensa sob condições de ocupação territorial. A classe Agricultura/Reflorestamento mostrou-se bastante expressiva, ocupando cerca de 13% da área. Vale ressaltar que, o município de Paragominas, onde a bacia está inserida, se diferencia muito dos demais da região no que se refere à forma de se fazer agricultura e no aparelhamento das propriedades, visto que é normal encontrar produtores utilizando alto nível tecnológico. Contudo, semelhante às áreas cultivadas com grãos na Amazônia, neste município se pratica o sistema de cultivo convencional ou tradicional. Este caracteriza-se pela utilização intensiva da mecanização e do monocultivo, deixando, na maioria das vezes, o solo exposto, tendo como consequências a perda de matéria orgânica e a erosão (ALVES, 2014). A classe de solo exposto representa apenas 3% da área total da bacia, representando as áreas com exposição significativa do solo, associada às áreas urbanas, as áreas desmatadas, bem como as que se encontram associadas ao sistema produtivo. Estas áreas normalmente estão associadas às culturas anuais que no momento da tomada das imagens, se encontram na fase de implantação, colheita ou pós-colheita, havendo assim pequena resposta espectral de cobertura vegetal em relação ao solo, caracterizando-o assim, como solo exposto.

Deste modo, estudos de uso e ocupação do solo associado aos estudos morfométricos são de notável importância para a preservação dos recursos hídricos, pois uma considerável parte dos empreendimentos agropecuários está instalada em áreas que deveriam ser preservadas permanentemente segundo o Código Florestal instituído pela Lei Federal nº 4771/65, que trata das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) nos artigos 2º e 3º (PINTO, 2003). A erosão hídrica e, por conseguinte o assoreamento dos corpos de água é um fenômeno diretamente associado ao uso e ocupação indiscriminado dessas áreas (ARAÚJO, 2006).

A avaliação de interações das características físicas de uma bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo quando realizadas através de ferramenta de Geoprocessamento permitem a elaboração de mapas temáticos referentes à declividade, malha de drenagem, uso e ocupação de solos e APPs, através dos quais torna-se possível quantificar as áreas de empreendimentos, bem como sua área de influência, quantificar áreas que devam ser recuperadas, oferecendo subsídio técnico para a tomada de decisões, fundamentadas na visão espacial e inferências in loco, otimizando o processo de seleção dos melhores procedimentos a serem seguidos para restabelecer os melhores procedimentos a serem seguidos para restabelecer o equilíbrio ambiental nas áreas estudadas (LINDNER, 2004).

4.5. Geoprocessamento nos Recursos Hídricos

A lei das águas (Brasil, 1997) trouxe uma abordagem inovadora para gestão dos recursos hídricos incorporando princípios de integração, descentralização e participação, assim como instrumentos que visam o planejamento e o ordenamento dos usos múltiplos. Um dos maiores desafios da gestão dos recursos hídricos é garantir a participação efetiva e democrática na primeira instância de deliberação, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs). Portanto, é indispensável que os CBHs disponham de informações adequadas para o processo decisório, que é em si, conflitante. A gestão dos recursos hídricos tem nas bacias hidrográficas uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos. Esta abordagem baseia-se na constatação de que muitos dos problemas de qualidade e quantidade de água são evitados ou resolvidos de maneira eficaz por meio de ações que focalizem a bacia hidrográfica como um todo - as atividades desenvolvidas em sua área de abrangência e os atores envolvidos. Portanto, discutir a gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica significa, sobretudo, abordar as variáveis socioeconômicas desta localidade. Em princípio, de acordo com Leal (2000) não se deve ficar preso aos limites naturais da bacia (seus divisores d'água), tendo em vista que várias bacias se encontram interligadas por sistemas hidráulicos de reversão de águas, por redes de drenagem urbana, por movimentos de terra de origem antrópica etc. Desta forma, a delimitação territorial de uma bacia hidrográfica envolve, entre outros, estudos cartográficos e de uso e ocupação do solo.

Os limites naturais tornam-se dinâmicos e flexíveis e a bacia passa a constituir um espaço de vivência, de conflitos e de organização de novas relações sociais. Essa

conceituação aponta para a imperiosa necessidade de se reconceituar a bacia hidrográfica, ampliando seu conceito aplicado nos estudos geomorfológicos, hidrológicos e de engenharia. Trata-se de compreendê-la como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento de forma abrangente. Para tanto se faz importante afirmar que o uso de SIGs constitui-se em ferramenta ampla e complexa de análise, que permite que várias possibilidades, tanto dos aspectos de planejamento da organização socioespacial da bacia hidrográfica do Rio Macaé quanto dos aspectos de recursos hídricos no âmbito da Política Estadual, sejam sobrepostas e sintetizadas de forma integrada, atualizadas constantemente de maneira dinâmica, não limitando o número de variáveis neste processo, ou seja, é um sistema aberto e multifinalitário, embora esteja com a sua abrangência temática voltada para a gestão dos recursos hídricos. Ademais, proporciona a integração dos dados espaciais da bacia e um modelo para o gerenciamento dos recursos hídricos (SILVA, 2006).

Os referidos sistemas constituem o ambiente de inteligência que dá suporte de forma lógica e estruturante à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, além de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados. Esta tecnologia tem sido alvo de crescente utilização no planejamento ambiental com forte adesão na gestão dos recursos hídricos. Os SIGs são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos (MOTA, 1999).

Esta tecnologia permite integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, como as apresentadas neste capítulo, entre outras, em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a 4248 interdisciplinaridade permitida. Faz-se importante destacar a facilidade de integração dos dados das mais diversas áreas, como geologia, geomorfologia, pedologia, demografia, movimentos sociais, urbanismo, saneamento, ecologia entre outras, possibilitando uma abordagem ampla e completa. Portanto, a utilização destes recursos tecnológicos é proposta como instrumento articulador do processo de integração entre o planejamento ambiental e a gestão dos recursos hídricos. Para o estudo em questão, a

maioria das informações necessárias para apoio à gestão são georreferenciadas, ou seja, são visualizadas por meio de mapas Pinheiro et al., (2009).

As informações sobre geologia, geomorfologia, uso do solo, tipo do solo, hidrografia, delimitações de sub-bacias, zoneamentos existentes, sistema viário, áreas verdes, declividades etc., se relacionam às localizações geográficas. A superposição destes mapas, que irá gerar os resultados desejados, é facilitada por meio do uso do SIG, pois este permite a compilação e organização de dados, e a elaboração de um mapa síntese que integra todos esses temas, compreendendo as diversas características da área. Deve-se considerar, ainda, que os mapas utilizados para a gestão dos recursos hídricos e a organização sócio espacial são dinâmicos, devendo estar em constante atualização, quando utilizado como um instrumento de tomada de decisão. A avaliação final dos resultados depende da qualidade e quantidade dos dados espaciais inseridos no sistema; quanto mais completas e de maior qualidade forem as informações, mais preciso será o resultado Pinheiro et al., (2009).

4.6. Inundações urbanas

A ocorrência de inundações em centros urbanos é tão antiga quanto às cidades ou qualquer aglomerado urbano. A inundação 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 ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria, entre outros (TUCCI, 2007).

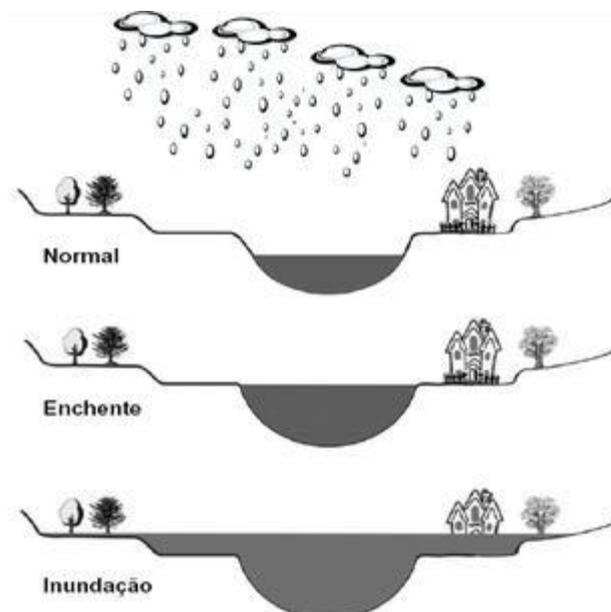
Estes eventos podem ser ocasionados devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização, tais como a impermeabilização das superfícies e canalização de córregos (TUCCI, 2007).

É comum empregarem-se palavras como enchente e inundação relacionadas ao nível de água atingido num período chuvoso ou por ocasião de uma chuva intensa isolada. Porém, cabe ressaltar que existe uma diferença entre os fenômenos inundação e enchente (DEFESA CIVIL NACIONAL, 1996). A inundação é o transbordamento da água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas, enquanto que a enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal. Enchente, no caso, corresponde a uma elevação acentuada do nível d'água que, entretanto, mantém-se dentro do próprio leito normal do curso d'água natural. Por inundação entende-se uma

elevação não usual de modo a provocar transbordamento e, em geral, prejuízos materiais e riscos de vida (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

Tucci (2005) cita que isto ocorre quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando a capacidade do leito menor. Este é um processo natural do ciclo hidrológico devido à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo. Estes eventos chuvosos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais. As inundações podem ocorrer de forma brusca ou gradual, e existe certa dificuldade na distinção dos tipos de inundação, isto se deve a complicada identificação do fenômeno em campo e à ambiguidade das definições existentes, já que algumas características são similares para ambas às inundações (KOBİYAMA et al., 2006). A figura abaixo apresenta essas características.

Figura 1. Esquema de enchentes e inundações.



Fonte. Goerl e Kobiyama, 2005.

Assim, inundação é o termo que define o extravasamento das águas do canal de drenagem principal de rios e córregos para as áreas adjacentes, tais como várzeas e planície de inundação ou leito maior (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

As inundações bruscas são provocadas por chuvas de alta intensidade e concentradas em locais de relevo acidentado ou em áreas urbanas, caracterizada pela elevação do nível de água de forma rápida. Este fenômeno é geralmente o resultado da associação de diversos processos atmosféricos e terrestres, como: precipitações intensas,

umidade do solo, forma das encostas, relevos íngremes, superfícies impermeáveis e repentina descarga de água, e em alguns casos todos os pressupostos podem estar presentes, o que eleva ao máximo o poder de destruição (HERRMANN, 2014).

Conforme Montz e Grunfest (2002), as inundações bruscas ocorrem de forma inesperada, sendo geralmente violentas e movendo-se de forma rápida quando associadas a um curso d'água, apresentando uma área de impacto relativamente pequena. Goerl e Kobiyama (2005) citam que as inundações bruscas costumam surpreender por ocorrer em um período curto, provocando danos materiais e humanos mais intensos do que nas inundações graduais.

As inundações graduais são caracterizadas pela elevação das águas de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo, para após, escoarem gradualmente (CEPED UFSC, 2011). A elevação do fluxo de água é lenta, e normalmente também o rebaixamento, o que permite a adoção de algumas medidas preventivas e emergenciais.

Tucci et al. (2003) citam que a inundação gradual está fortemente associada ao processo de urbanização em função da impermeabilização do solo. Esta impermeabilização aumenta o escoamento fazendo com que grande volume de água chegue ao sistema de drenagem gerando inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície apresentava condições naturais.

Os episódios de inundação gradual são recorrentes em áreas urbanas, principalmente quando estas áreas apresentam ocupação desordenada em planícies de inundação, ou seja, o leitor maior do rio. As moradias e seus habitantes passar a estarem sujeitos aos desastres relacionados com o aumento do nível dos rios (CEPED UFSC, 2011).

4.7. Mapeamento de áreas suscetíveis

Susceptibilidade significa algo ou alguém passível de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades, ou seja, a predisposição natural à ocorrência de um acaso. Assim, a susceptibilidade a inundações de uma área está diretamente relacionada à probabilidade dela em ser atingida por enchentes, cheias e alagamentos, desta forma, o mapa de susceptibilidade fornece informações para definir potenciais de ocorrência de inundações para o local (PROCHMANN, 2014).

O estudo direcionado ao mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos é de fundamental importância, principalmente na realização de

planejamentos urbanos, pois fornecem subsídios na execução de Planos Diretores, Planos de Ações Preventivos a Desastres, bem como na tomada de decisão para amenizar, reduzir ou até mesmo eliminar as situações de riscos (CRISTO, 2002).

Ahmad e McCalpin (1999) citam que o mapa de susceptibilidade é fundamental para os planejadores, pois permite elaborar medidas de prevenção e amenização de danos e direcionar as políticas públicas para a regulamentação das formas de uso e ocupação da terra.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é um recurso muito importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações, e auxilia na tomada de decisões para amenização desses problemas. Atualmente, em virtude da capacidade de armazenamento e análise de informações, o geoprocessamento surge como uma ferramenta dinâmica capaz de conferir mais precisão aos mapeamentos e à análise espacial (OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011).

Os SIGS possuem em seus sistemas um conjunto de ferramentas que geram informações necessárias à tomada de decisão, dentre elas a análise multicritério (SILVA et al., 2009).

4.8. Satélites Utilizados nesse trabalho

4.8.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

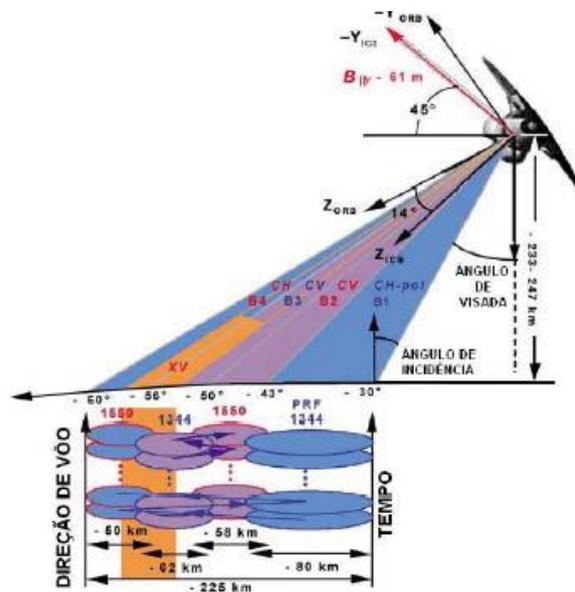
O SRTM foi um projeto coordenado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) em articulação com as 48 agências espaciais da Alemanha e da Itália. O objetivo foi produzir dados topográficos digitais para 80% da área terrestre do planeta, entre as latitudes 60°N e 56°S Valeriano (2004).

O sobrevoo do ônibus espacial *Endeavour*, veículo espacial utilizado para a missão, ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, numa órbita de 233 km de altitude e com inclinação de 57°, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas, das quais 159 foram usadas para traçado operacional. Essa duração limitada da missão (159 órbitas de aquisição) conduziu a uma separação de traçados ascendentes no equador de aproximadamente 210 km, o que levou o projeto a ter uma faixa imageada de 225 km (Rabus et al., 2003). Quatro sub faixas foram imageadas periodicamente, quase que simultaneamente, com ângulo de incidência variando de 17° a 65° e diferentes polarizações (HH e VV).

O SRTM realizou de uma a quatro passagens, com resolução de 30m (a rigor, em coordenadas geográficas, como 1 arco segundo, ou 1'', ou ainda 0,000277°) para os Estados Unidos e planejados com 90 m (a rigor, 3'' ou 0,000833°) para o resto do 49 mundo. O Datum e o elipsoide de referência são WGS84, com dados de z em metros inteiros (Rabus et al. 2003, NASA, 2006).

O SRTM coletou dados através de um SAR Interferométrico (InSAR). A Interferometria combina imagens SAR registradas por duas antenas colocadas em posições diferentes, procedimento conhecido como *single-pass*, ou uma mesma antena registrando a cena em tempos distintos, conhecido como *repeat-pass* a figura 2 abaixo apresenta essa informação.

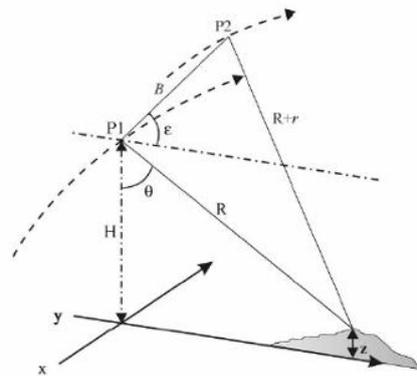
Figura 2. Geometria de aquisição dos dados SRTM.



Fonte. Oliveira (2005).

A técnica consiste em utilizar a informação de diferença de fase entre medidas de *range* (distância) para pontos comuns em um par de imagens SAR. A diferença de fases identifica a contribuição da fase causada pela morfologia do terreno ou por variações deste. Em contrapartida, a diferença de fase entre *pixels* correspondente de duas imagens SAR co-registradas resulta (figura 3), devido a mudanças nas medidas de range (distância), num padrão de franja conhecido como interferograma. O interferograma 50 contem informação sobre a topografia e eventualmente suas variações temporais (Catani et al., 2004)

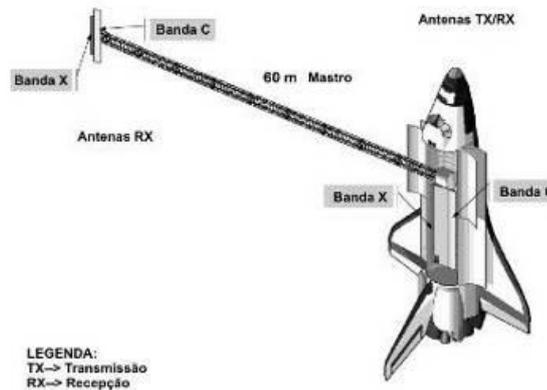
Figura 3. Relação geométrica entre duas antenas (posições P1 e P2) que utilizaram interferometria para extração de informação topográfica.



Fonte. Adaptada de Kervyn (2001).

No SRTM, o sinal refletido por determinado ponto da superfície do terreno chega em tempos diferentes em duas antenas para bandas C e X, uma colocada na bainha de carga do ônibus espacial e a outra na extremidade de um braço mecânico de 60 metros de comprimento (Figura 4). Os dados da banda C, com comprimento de onda (λ) de 6 cm, foram processados no JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) e os dados da banda X, com comprimento de onda de 3,1 cm, no Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR) (NASA, 2006)

Figura 4. Configuração esquemática do sistema SRTM.



Fonte. Rabus et al. (2003).

Os movimentos dos sensores causados pela oscilação do mastro influenciaram consideravelmente as observações do radar. Através do sistema AODA (*Attitude and Orbit Determination Avionics*), que fez parte da carga útil da missão, desenvolvido pelo JPL, a posição dos sensores para cada uma das imagens foi conhecida precisamente por

meio de medidas da linha de base, mas foi necessário um ano para melhorar o conjunto de dados de atitude e corrigir alguns erros (Werner, 2001).

O sistema AODA foi desenvolvido para garantir que as medidas da linha de base interferométrica, atitude e posição atingissem os níveis desejados de precisão (2 mm, 9 arco-segundos e 1 m respectivamente), para a obtenção de medidas precisas da elevação do terreno (Duren et al., 1998).

Bourgine e Baghdadi (2005) avaliaram a precisão do DEM SRTM através da comparação com dados de elevação a laser adquiridos por levantamento aéreo em áreas, com densa e ausente de cobertura vegetal na Guiana Francesa. Eles calcularam um erro médio em torno de 2,3 m em regiões com altitudes inferiores a 40 m, correspondendo principalmente a áreas descobertas, e 8,3 m para áreas com altitudes superiores a 40 m, aumentam quase linearmente com a inclinação do terreno, sendo que as inclinações tendem a ser atenuadas, especialmente as em maiores altitudes.

Para Oliveira (2005), que avaliou DEMs gerados a partir de sensores orbitais distintos na região da Serra do Carajás, o mosaico de DEMSRTM foi aprovado no teste de precisão para o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) classe A, para altimetria de escala 1:100.000. Já as curvas-de-nível com equidistância de 50 metros assim geradas estão próximas das formas das curvas obtidas a partir do DEM das cartas topográficas e com a mesma variação de cota mínima e máxima.

Catani et al. (2004) comentam que a acurácia do DEM derivado da técnica interferométrica depende da configuração interferométrica e do nível de ruído do interferograma. A acurácia do conjunto de dados SRTM é afetado principalmente pelo *speckle*. O *speckle* é um ruído multiplicativo proporcional à intensidade do sinal recebido que altera os valores de elevação do dado (Hanssen, 2001). Os dados da SRTM com 30 metros de resolução espacial apresentam acurácia planimétrica de 20 metros (para erro circular com 90% de confiança) e acurácia altimétrica de 16 metros (para erro linear com 90% de confiança) (NASA, 2006).

4.8.2. *Landsat-8 sensor OLI*

O programa Landsat foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e fornece dados para o Brasil desde 1973. É bastante utilizado em estudos relacionados ao ambiente atmosférico em diversas áreas de pesquisa, consolidando-se como um produto amplamente utilizado, demonstrando eficiência no

mapeamento e monitoramento da superfície terrestre em grande escala. Essa série é composta por oito satélites orbitais (USGS, 2013).

Novo (2010) afirma que a missão do Landsat é permitir a comparação do estado da superfície terrestre ao longo do tempo por meio da aquisição repetitiva de dados multiespectrais calibrados, tornando-se um programa com produtos mais completos pois permitem longos registros aliados a uma boa resolução espacial. A Tabela 2 apresenta os satélites presentes neste programa e suas respectivas características.

Tabela 2. Satélites que compõem o programa Landsat 8.

Sistema	Operação	Sensores	Resolução Espacial (m)	Revisita (dias)
Landsat-1	23/07/1972	RBV	80	18
	01/06/1978	MSS		
Landsat-2	22/01/1975	RBV	80	18
	25/02/1982	MSS		
Landsat-3	05/05/1978	RBV	30	18
	31/03/1983	MSS	80	
Landsat-4	16/07/1982	TM	30	16
	08/1993	MSS	80	
Landsat-5*	01/03/1984	TM	30	16
	05/06/2011	MSS	80	
Landsat-6	10/05/1993	ETM+	15 (pan)	16
	10/05/1993		30 (ms)	
Landsat-7	04/04/1999 a 2007	ETM+	15 (pan)	16
			30 (ms)	
Landsat-8	11/02/2013	OLI	15 (pan)	16
		TIRS	30 (ms)	

Fonte. Adaptado de Novo (2010).

*Transmissão de dados TM apenas por telemetria.

O satélite Landsat-8 foi lançado na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosíncrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7. A sua passagem na linha do equador ocorre às 10:00 horas, com diferença de 15 minutos para mais ou para menos com resolução temporal de 16 dias (USGS, 2013).

Roy *et al.* (2014) afirmam que a plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, o primeiro denominado *Operational Land Imager* (OLI) e o segundo, *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) que fornecem uma cobertura global a cada 16 dias). Os dados são processados em uma imagem de 185 km x 180 km com aproximadamente 950 MB em formato GeoTiff. Todas as bandas espectrais dos sensores são armazenadas em arquivo de número digital de 16-bits.

O sensor OLI dispõe de nove bandas multiespectrais (Banda 1 a 7 e 9) e a banda pancromática (Banda 8). Contempla estudos costeiros e aerossol com a adição da banda ultra-azul (Banda 1), a qual trabalha na faixa espectral de 0,43 μm – 1,38 μm . A Banda 9 é útil para a detecção de nuvens. O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170 km ao norte-sul por 183 km a Leste-Oeste (USGS, 2013). A Tabela 3 refere-se as características espectrais do sensor OLI.

Tabela 3. Características espectrais, espaciais e temporais do Landsat-8 sensor OLI.

Banda	Faixa Espectral (μm)	Resposta Espectral	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)
B1	0,43 – 0,45	Ultra-azul	30	16
B2	0,45 – 0,51	Azul		
B3	0,53 – 0,59	Verde		
B4	0,64 – 0,67	Vermelho		
B5	0,85 – 0,88	IVP		
B6	1,57 – 1,65	IVM 1		
B7	2,11 – 2,29	IVM 2		
B8	0,50 – 0,68	Pan	15	
B9	1,36 – 1,38	Cirrus	30	

Fonte. Adaptado de USGS (2013).

4.9. Extração da Rede de Drenagem

Diversos métodos podem ser empregados para extração automática da rede de drenagem a partir de um modelo de elevação digital (DEM). Deffontaines e Chorowicz (1991) definiram rede de drenagem como composta por superfícies contíguas com inclinações ascendentes em todas as direções exceto no sentido do fluxo hidrológico podendo ser cobertas com água temporária ou permanente. Estes autores propuseram a procurar por singularidades, tais como vertentes ou talvegue, as quais serviriam para estabelecer um algoritmo a fim de definir o fluxo a partir das inclinações do trajeto e dos grandes gradientes.

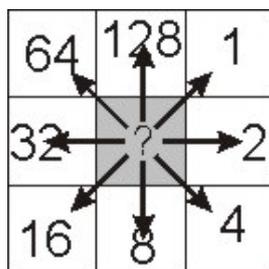
Martz e Garbrecht (1992) desenvolveram o modelo TOPAZ, que identifica uma rede de drenagem totalmente conectada, convergente e unidirecional mesmo para pequenas inclinações.

Meisels et al. (1995) utilizou um método conhecido como algoritmo de esqueletização em vários níveis. Esse algoritmo extrai a rede de drenagem por um processo de busca contínua em caminhos de mesma elevação, produzindo uma série de esqueletos que formarão os fluxos da rede. Jordan et al. (2005) utilizaram o modelo TOPAZ e aplicaram o algoritmo de esqueletização para corrigir canais paralelos errôneos e a ausência de comunicação entre canais.

Douglas (1986) fez uma excelente descrição de técnicas para definição de canais, vertentes e outras feições hidrológicas a partir de um DEM. Estas técnicas são baseadas na operação de vizinhos mais próximos, onde os cálculos e decisões para um *pixel* levam em consideração os oitos *pixels* espacialmente adjacente.

A (figura 5) demonstra a situação mais simples, onde todos os *pixels* vizinhos têm cota inferior ao do *pixel* estudado, e existe somente um *pixel* vizinho que apresenta a maior declividade. Inúmeras regras são utilizadas para diferentes situações como preenchimento de depressões simples, ou quando mais de um *pixel* vizinho apresenta declividades iguais, ou quando um grupo de *pixels* apresentam cotas inferiores às dos *pixels* do entorno, não apresentando saída imediata (regiões planas) Jenson & Domingue, (1988).

Figura 5. Indicação das 8 direções de fluxo possíveis para um determinado pixel, com o código usado.



Fonte. Adaptada de Jenson e Domingue (1988).

Atualmente, com a utilização de Modelos Numéricos de Terreno (MNT) é possível delimitar essas áreas com maior precisão, o que auxilia no manejo adequado das mesmas para a preservação dos corpos hídricos em especial aqueles destinados aos sistemas de abastecimento (TALON & KUNTSCHIK, 2011)

Falorni et al., (2005) realizaram a comparação quantitativa, através do cálculo da área da bacia, máximo e total comprimento dos canais, a densidade de drenagem e distância média de separação dos canais, da extração automática da drenagem de DEMs derivados do SRTM e do disponível no USGS. Os resultados indicaram que em terrenos com relevo baixo a médio, os erros foram menores que em superfícies com relevo alto e montanhoso. Esses autores destacam que em regiões de baixa declividade, as maiores diferenças entre as duas redes de drenagem extraídas ocorrem em áreas de várzea dos rios, onde a distância média de separação dos canais atingem até 65 m.

Jenson e Domingue (1988) compararam quantitativamente e qualitativamente a extração da rede de drenagem automaticamente como a extração manual oriundas de DEMs com escala de 1:250.000 e 1:24.000. Os resultados indicam que para 97% da

drenagem extraída manualmente coincide com a extraída automaticamente para escala de 1:250.000, e 98% de coincidência para escala de 1:24.000.

4.10. Classificação Digital de Imagens

As imagens de satélites, em meio digital, contêm informações sobre alvos na superfície que podem ser extraídas através do processo de classificação. Esse processo se baseia na distinção e identificação de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua classificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel da imagem a um determinado rótulo, obtendo-se como resultado um determinado tema. Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não-supervisionada (CROSTA, 1992).

Na primeira, classificação supervisionada, através de algoritmos pré-estabelecidos, o usuário procura identificar pontos na imagem pertencentes a classes desejadas, deixando ao programa de classificação a identificação de todos os demais pixels pertencentes àquelas classes. Já o processo de classificação não supervisionada consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a um grupo de classe. Essa atribuição é feita com base em observações do pixel, em si e na sua vizinhança, bem como numa série de regras (PEREIRA, 1992). A função primordial do processamento digital é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (CROSTA, 1992). A coleta dos dados de referência, ou seja, aqueles que representam a situação real de campo à época da obtenção da imagem, é uma parte essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. Esses dados são usados para verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de refinamento da classificação (CONGALTON, 1992).

As técnicas de classificação de imagens deve compreender um conjunto de métodos que podem ser classificados ou agrupados em duas técnicas:

- **Classificação Supervisionada**

classificações supervisionadas são métodos que são realizados pelo interprete, onde a partir de um programa de treinamento são inseridos amostras que são classificadas automaticamente por meio de pixel a pixel gerando resultados e índices de acordo com o estabelecido, podendo ser reclassificado ou ajustado de acordo com os algoritmos escolhidos.

• **Classificação Não Supervisionada**

Classificações não supervisionadas são relacionadas com o valor relativo da cor, tom ou aglomerado, para identificar entidades. Neste caso, o analista deve validar o resultado da classificação uma vez que este foi realizado.

No caso acima, o operador pode influenciar grandemente o processo de classificação enquanto isso está em desenvolvimento, e controlar. Nesta segunda técnica de classificação, a influência que pode exercer o operador é praticamente nula, além de selecionar o algoritmo de classificação a ser usado.

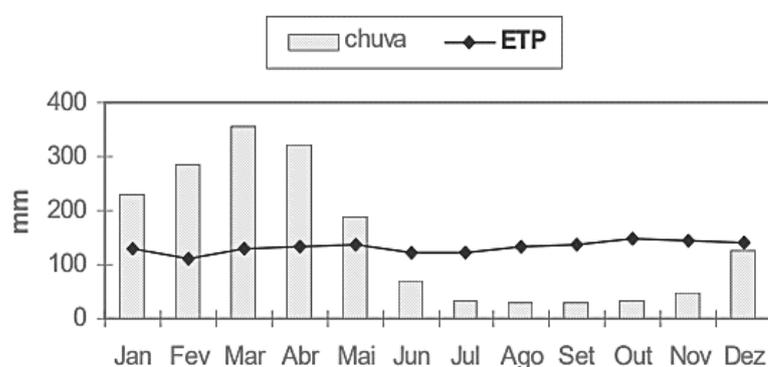
4.11. Balanço Hídrico de Paragominas

A deficiência hídrica no solo afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e os níveis de produção obtidos. Antes da colheita, o excesso de água associado à temperaturas altas é prejudicial porque a maturação não ocorre satisfatoriamente, a secagem do produto é prejudicada e há ainda o favorecimento para as pragas e doenças. Nessas condições há também os efeitos de lixiviação de fertilizantes e agrotóxicos para as águas subterrâneas, verificando-se prejuízos para os produtos e danos ao meio ambiente (Pinto et al, 1999).

De acordo com dados obtidos pela pesquisa de Bastos et al 2006, os valores de temperatura, umidade do ar e chuva, caracterizaram o município como clima quente e úmido, do tipo Aw da classificação de Köppen (Clima tropical chuvoso, com expressivo período de estiagem) e B1wA'a', da classificação de Thornthwaite (Clima tropical úmido, com expressivo déficit hídrico). Durante o período 1980-88, as condições térmicas e hídricas de Paragominas, se apresentaram com: temperatura máxima anual de 32,7° C variando durante os meses entre 30,0° C (fevereiro) e 34,2° C (outubro e novembro), mínima anual de 21,9° C variando entre 20,8° C (julho) e 23,0° C (abril) e média anual de 26,3° C variando entre 25,6° C (fevereiro e julho) e 27,0° C (outubro e novembro). Média anual de umidade relativa de 81%, oscilando durante os meses de outubro a fevereiro, respectivamente, entre 76% e 85%. Durante 1973-2004, a média anual de chuva foi 1700 mm, e oscilou entre os meses de 28 mm (agosto e setembro) a 357 mm (março). A distribuição mensal das chuvas, comparada a evapotranspiração de referência e a distribuição dos excedentes e déficits hídricos (Figura 6), permitiu definir a ocorrência de quatro períodos de chuva assim caracterizados: 1- período chuvoso, estendendo-se de fevereiro até maio. O total mensal de chuva foi sempre maior que a evapotranspiração de referência. Neste período as

chuvas são decorrentes da Zona de Convergência Intertropical- ZCI; dos sistemas frontais, originados do sul do continente e formadores de convecção local; e das linhas de instabilidade (Molion,1987; Cohen, 1989). 2- Período de estiagem: ocorrendo em junho. O total pluviométrico assinalou montante abaixo da evapotranspiração de referência, sem evidenciar déficit hídrico considerável (maior que 30 mm). 3- Período seco: estendendo-se de julho a novembro. Nesse período os totais pluviométricos mensais estiveram muito abaixo da evapotranspiração de referência, assinalando déficits hídricos consideráveis. 4- Período de transição: ocorreu a partir de dezembro e prolongando-se até meados de janeiro, quando o total mensal de chuva atinge valores acima da evapotranspiração de referência, proporcionando reposição de água no solo sem contudo ocasionar excedente hídrico.

Figura 6. Distribuição média de chuva e de evapotranspiração de referência (ETP). Paragominas PA. Período 1973-2004.



Fonte. Bastos et al 2006

Os dados obtidos por (ANDRADE, 2011) apresentam que o mês mais chuvoso é mês de abril com média de chuva mensal de 362, 45 mm e uma frequência de 16,04 mm/ dia e o mês mais seco é setembro com 16,35 mm de chuva média mensal e de 4,59 mm/dia de frequência.

Assim o balanço hídrico de Paragominas é bem evidenciado, sendo os meses de mais atenção entre Final de Dezembro e fim de maio.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de Estudo

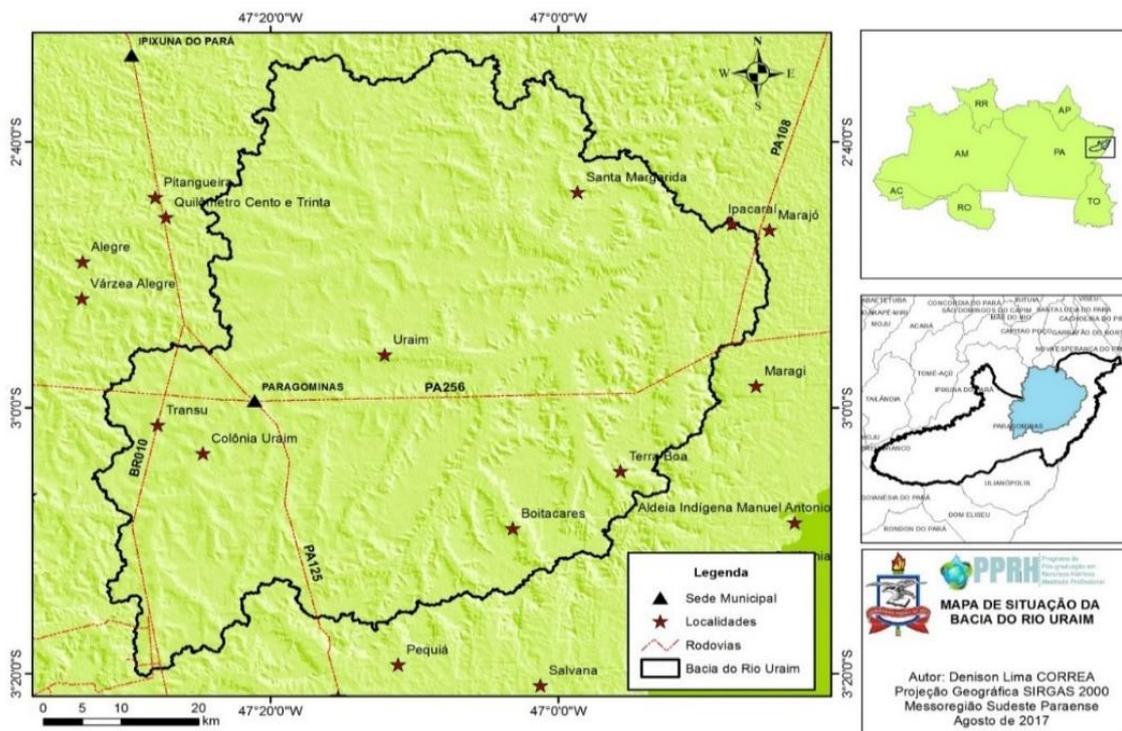
O município de Paragominas está localizado no sudeste paraense, possuindo aproximadamente 19.342,254 km² de área territorial, formada por extensas florestas, áreas de reflorestamentos, campos e plantios agrícolas. O clima é do tipo mesotérmico e

úmido. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25° C. A vegetação originária do município era representada pela Floresta Densa da sub-região dos Altos Platôs do Pará-Maranhão, pela Floresta Densa de Planície Aluvial e dos Ferrões Ribeiro et al., (2017)

Devido às atividades agropecuárias na região, grandes áreas cobertas pela floresta original, foram suprimidas cedendo lugar para pastos e extensos plantios, hoje, a vegetação resume-se em extensas áreas de Mata Secundária (Capoeira nos seus diversos estágios de desenvolvimento (IMAZOM, 2009).

Com uma área de 4,9 km² a bacia hidrográfica do Rio Uraim ocupa 21,75% da área total do município de Paragominas e possui vinte e sete rios que deságuam em seu leito e contribuem para formação da vazão média anual de 268.423,35 m³/h. (SANEPAR,2017) de sua nascente até a sua foz, ele possui 202 km de extensão pelo leito do rio e 131,5 km de extensão em linha reta. (SEMMA, 2005). A (figura 7) abaixo apresenta o mapa de localização da área de estudo.

Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte. Do Autor.

5.2. Pré-Processamento

5.2.1. Base de dados cartográficos e geolocalizados

Para este trabalho utilizou-se de dados vetoriais como limites municipal obtido em (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm) rodovias, massa d'água e localidades em (<http://siscom.ibama.gov.br/>).

Neste trabalho o *software* utilizado foi o ArcGis versão 10.1 (*ArcMap*) para todas as fases do processamento.

Para determinar os bairros com altos índices de alagamento foi feita uma análise histórica de notícias sobre inundações e posteriormente os bairros mais citados foram visitados e geolocalizados afim de sobrepor com o mapa de susceptibilidade e identificar os bairros mais afetados.

5.2.2. Imagens LandSat 8 OLI

Foi utilizado nesse trabalho a cena do satélite LandSat 8 sensor OLI orbita e ponto 222/062 de 31 de julho de 2017 obtida em (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) que corresponde a parte completa da bacia do rio Uraim, nessa cena foi realizado as seguintes rotinas de Processamento Digital de Imagens (1) Composição 6R5G4B (2) Retificação geométrica e (3) reprojeção para o sistema Geocêntrico das Américas SIRGAS 2000 (4) Recorte *clip* com o limite da bacia do rio Uraim.

5.2.3. Imagem SRTM

Para o mapeamento da drenagem e formação do MDE (Modelo Digital de Elevação), foi utilizado imagens do SRTM (*Space Shuttle Topographic Mission*) para extração automática de feições lineares baseada na elevação, retificados pela Embrapa com resolução espacial de 30 m disponíveis em: (<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/conteudo/relevo>). Correspondente as cartas 27/12.

5.2.4. Extração de Rede de Drenagem

A rede de drenagem foi obtida automaticamente do DEM SRTM pelo programa ArcGIS 10.1 (*ArcMap*). A extração foi feita através da ferramenta *Hidrology* do pacote de ferramentas *arctobox* posteriormente, foi realizado um processo para transferir a informação de linha do *raster* (imagem) para o formato vetorial (extração de feição). O conhecimento preciso da rede de drenagem é de suma importância na definição da área da bacia a ser estudadas na pesquisa da susceptibilidade a inundações. A extensão

“hidrology” permite determinar a direção do fluxo, calcular o acúmulo de fluxo, delinear bacias hidrográficas e criar redes de drenagem.

5.2.5. *Lineamentos morfológicos*

Neste estudo utilizou a mesma metodologia utilizada por (PROCHMANN, 2014) onde foram obtidos delineamentos a partir da extração das feições lineares em três níveis de observação: pequena escala (1:1.000.000 e 1:500.000), determinando as estruturas regionais mais marcantes, escala intermediária (1:250.000) e grande escala (1:100.000). Este último procedimento teve por objetivo determinar estruturas com expressão local. Posteriormente, estas feições foram inseridas no banco de dados georeferenciados como vetores, de forma a permitir tratamento estatístico e geração da rede de drenagem com resultados mais precisos.

5.2.6. *Topografia*

A topografia corresponde a curvas de nível com equidistância de 25 metros e pontos cotados que foram extraídos do modelo de elevação digital do SRTM. Esses dados foram utilizados no estudo de delineamentos, na extração da rede de drenagem e construção topográfica de estruturas em TIN “*triangular irregular network*”.

5.2.7. *Uso do solo*

Através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento utilizadas no software ArcGis 10.1 (ArcMap) para o processamento das imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8 da órbita 222/62 disponível no USGS, foram obtidas as classes de uso e ocupação do solo nas áreas da bacia do rio Uraim. As classes de uso e ocupação foram selecionadas de acordo com as características econômicas e espaciais da imagem como (Pastagens e agricultura) e através de interpretação visual com o intuito de treinamento do algoritmo *maxver* (Máxima Verossimilhança) para que este extrapole estaticamente a classificação do uso do solo feitas a partir das amostragens da área de estudo.

5.3. Processamento

5.3.1. *Análise morfométrica.*

Para os parâmetros já descritos no item 5.2.5 e apresentados na tabela 4, a análise foi realizada através de técnicas de geoprocessamento, utilizando-se o modelo digital do terreno como base para a execução das rotinas.

Tabela 4. Características morfométricas da bacia.

Características morfométricas	Parâmetro
Características geométricas	Área de drenagem (A)
	Perímetro (P)
	Coefficiente de compactidade (Kc)
	Índice de circularidade (Ic)
Características da rede de drenagem	Fator de forma (F)
	Ordem dos cursos da água
	Densidade de drenagem (Dd)
	Índice de Sinuosidade (S)
Características do relevo	Declividade média da bacia
	Altitude média da bacia
	Declividade do curso de água principal ($S1, S2$ e $S3$)

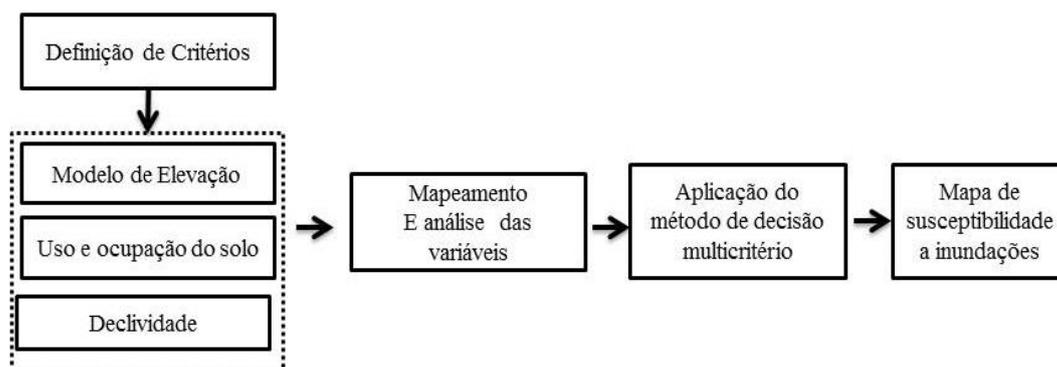
Fonte. Do Autor.

Quanto as características da rede de drenagem, a análise foi realizada tomando como base a hidrografia extraída de modo automático do modelo digital do terreno, com as devidas correções.

5.3.2. Mapa de susceptibilidade a inundações método AHP

Para a elaboração do diagnóstico das áreas mais suscetíveis a inundações, um fluxograma metodológico foi idealizado, contemplando 3 etapas (Figura 8). De modo a obter o grau de relevância e os pesos de cada critério analisado recorreu-se a metodologia proposta por Saaty (1990), de acordo com a estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada, priorização das alternativas e definição das classes de susceptibilidade.

Figura 8. Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte. Do Autor.

5.3.3. Definição dos critérios e justificativas

Santos (2010) cita que os fatores determinados como importantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente, independentemente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra.

5.3.4. Modelo de elevação

O modelo digital de elevação (MDE) são a representação da superfície do terreno com fidelidade, diferentemente dos modelos digitais de elevação, os quais representam a superfície foto detectada através de restituições fotogramétricas. Com a base cartográfica preparada em escala 1:2.000, foi criado o MDT em formato *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) a partir da ferramenta *Create TIN*, sendo utilizados tanto os pontos cotados como as curvas de nível. O TIN é uma maneira muito eficiente de representar superfícies contínuas através de uma série de triângulos conectados, sendo útil para representar as elevações e a modelagem do terreno, frequentemente muito utilizadas em aplicações de engenharia especialmente quando estas superfícies possuem altitudes com grande variação e quebras de superfície (ESRI, 2013).

5.3.5. Uso e ocupação do solo

O modo de uso e ocupação do solo altera as características de permeabilidade da bacia hidrográfica, sendo fator preponderante no fenômeno da infiltração da água, pois o seu fluxo para baixo depende primordialmente deste fator. Em bacias urbanas, onde a cobertura é alterada (a simples remoção da cobertura vegetal já torna a bacia mais impermeável) e a rede de drenagem é mais eficiente, a ocorrência do escoamento superficial é antecipada: tem-se, assim, um aumento do volume do escoamento superficial e da vazão de pico. As classes de uso e ocupação do solo foram agrupadas nas seguintes categorias temáticas: a) Espaços Urbanos; b) Floresta e Sucessões c) Agricultura d) Pastagens e) Corpos d'água f) área alterada, a tabela 5 apresenta os pesos atribuídos.

Tabela 5. Pesos do mapa de uso e ocupação.

Classe	Peso Atribuído
Corpos d'água	10
Área Urbana	9
Área alterada	8
Agricultura	7
Pastagens	6
Florestas e Sucessões	4

Fonte. Do Autor.

5.3.4. Declividade

A declividade além de influenciar na velocidade de escoamento da água, interfere na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo as áreas mais declivosas geralmente com menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas.

A declividade é a medida do grau de inclinação de um objeto em relação a um plano horizontal, podendo ser expresso em porcentagem ou em graus. O mapa consiste na representação das diferentes declividades encontradas na área de estudo e foi obtido através da extração das declividades a partir do *raster* gerado do MDT por meio da função *slope*, sendo assim possível discriminar as classes de declividades de acordo com EMBRAPA (1979), especificadas na Tabela 6.

Tabela 6. Classes de declividade.

Declividade (%)	Discriminação
0 a 8	Relevo suavemente ondulado
8 a 20	Relevo ondulado
20 a 75	Relevo fortemente ondulado

Fonte. Adaptado de Embrapa (1979).

Os pesos atribuídos para as diferentes classes de declividade estão representados na Tabela 7.

Tabela 7. Pesos

Classe	Peso atribuído
Relevo suavemente ondulado	3
Relevo ondulado	5
Relevo fortemente ondulado	8

Fonte. Do Autor.

5.3.5. Mapeamento e análise das variáveis

Essa seção apresenta a metodologia utilizada para o mapeamento das variáveis que contribuem para a ocorrência das inundações, assim como sua divisão em classes. Portanto, foram elaborados os mapas temáticos para as variáveis propostas tomando como base as metodologias descritas abaixo. Ainda, foram atribuídos pesos para cada classe das variáveis selecionadas em uma escala de 1 até 10, onde 10 é o valor com maior influência quanto às inundações e 1, o menor valor.

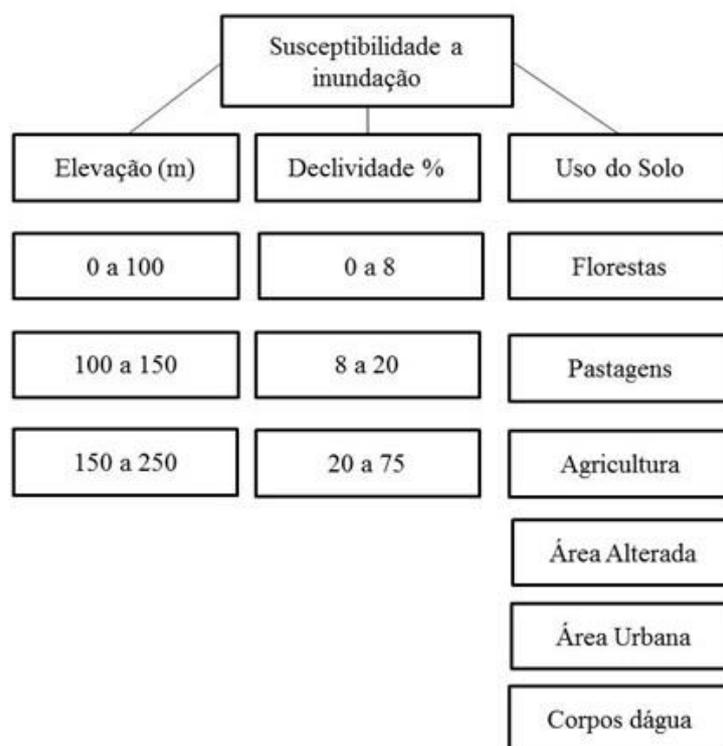
5.3.6. Aplicação do método de decisão multicriterial.

O mapa de susceptibilidade a inundações será o produto do cruzamento espacial das três variáveis representadas na metodologia acima e envolverá duas fases distintas de trabalho, a fase teórica, na qual serão definidos os critérios de cruzamento, e a fase operacional, onde será realizado o cruzamento dos mapas temáticos a partir da ferramenta de álgebra de mapas do ArcGIS.

5.3.7. Fase teórica

A primeira etapa consiste em estruturar o problema de forma hierárquica. Na parte superior está localizado o objetivo e resultado do estudo, no nível imediatamente inferior estão os critérios escolhidos para o estudo, e abaixo, os subcritérios que são a classificação de cada critério analisado. A estrutura hierárquica do problema é apresentada na Figura 9 abaixo.

Figura 9. Estrutura do problema hierarquizada.



Fonte. Do Autor.

Para definir a importância relativa dos critérios no que tange à susceptibilidade à inundações, realizou-se a comparação dos critérios utilizando a escala proposta já apresentada na Tabela 5, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre outro. Santos (2010) cita que a fase de atribuição dos

valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante processo de confecção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferiram diretamente no resultado obtido. Após o julgamento dos elementos, temos a matriz de comparação tabela 8.

Tabela 8. Matriz de comparação pareada.

Critério	Elevação	Declividade	Uso e Ocupação
Declividade	4	1	3
Uso e Ocupação	2	1/3	1
Elevação	1	1/4	1/2

Fonte. Do Autor.

A matriz é interpretada de forma em que se toma-se o exemplo a comparação da variável declividade com uso e ocupação do solo. A declividade de acordo com Tabela 6 mostra ter uma importância pequena sobre o uso e ocupação do solo. Essas comparações por pares fornecem pesos para cada alternativa, dentro de cada critério, após comparações recíprocas. Esses pesos são obtidos por meio do cálculo do auto vetor principal de cada matriz quadrada, e estão representados na Tabela 9. Quanto à ordem de importância das variáveis, obteve-se em primeiro lugar a declividade (56%), seguido por Elevação (26%), uso e ocupação do solo (18%).

Tabela 9. Pesos para elaboração do mapa de susceptibilidade.

Variáveis	Peso da Classe	Variável
Elevação	0,26	X1
Declividade	0,56	X2
Uso e Ocupação	0,18	X3

Fonte. Do Autor.

Com as escolhas dos pesos dos critérios para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundações o método AHP fornece uma razão de consistência, a qual deve ser inferior a 0,10 (PROCHMANN, 2014). A razão de consistência obtida foi de 0,07, atestando a coerência na hierarquização dos dados analisados.

5.3.8. Fase operacional

Após a definição dos pesos, procedeu-se a álgebra de mapas para a geração do mapa de susceptibilidade à inundações através do processo apresentado na Figura 14. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* do software ArcGIS.

A primeira etapa consiste na captura dos valores das células contida no arquivo *raster* referente as classes dos mapas temáticos. Na segunda etapa, esses valores são processados algebricamente tomando como base a equação abaixo, em que $x1$, $x2$ e $x3$ serão os pesos estatísticos obtidos previamente.

$$SI = x1 \text{ Uso e ocupação} + x2 \text{ Declividade} + x3 \text{ Elevação}$$

Onde: SI é a Susceptibilidade a inundações.

Por fim, na terceira etapa o valor é armazenado em um novo arquivo *raster*, o qual dará origem ao mapa de susceptibilidade a inundações. As novas células contêm valores que variam de 0 a 10, onde os valores mais próximos de 0 são referentes às áreas com menor susceptibilidade a inundações e os valores mais próximos de 10, com maior susceptibilidade à inundações. Ao final da execução dessa rotina, o mapa será reclassificado em cinco categorias hierárquicas, como área de alta elevação, baixa susceptibilidade, média susceptibilidade, alta susceptibilidade e sem susceptibilidade à inundações, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Reordenação das classes de susceptibilidade.

Valores	Classe
0 a 2	Muita baixa
2 a 4	Baixa
4 a 6	Média
6 a 8	Alta
8 a 10	Muito alta

Fonte. Do Autor.

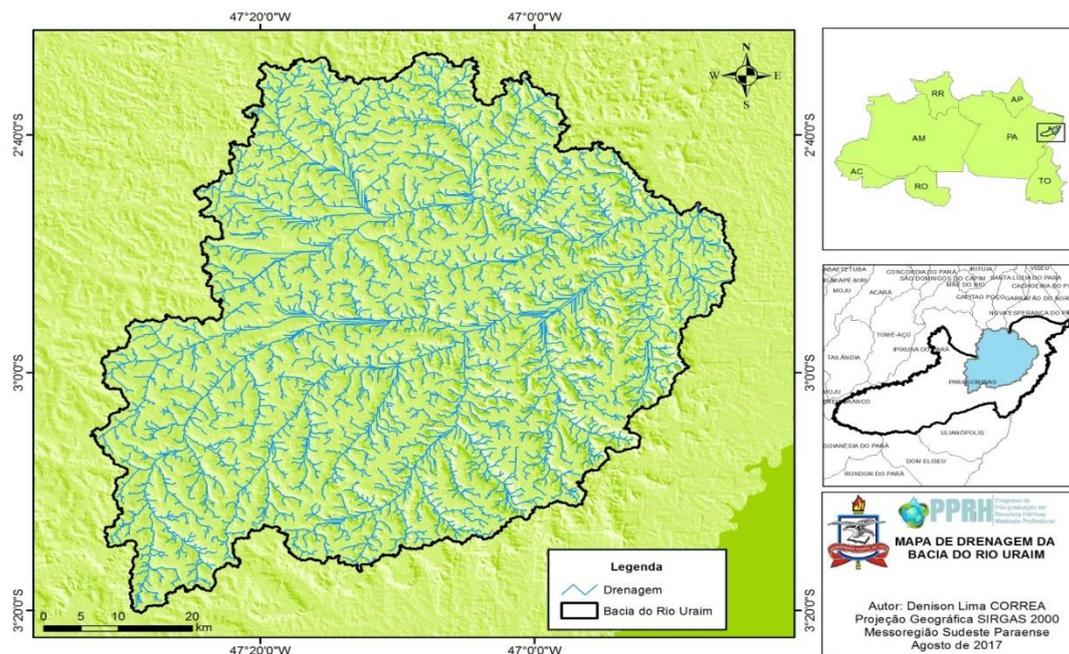
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Análise dos fatores morfométricos

A bacia do Rio Uraim Possui uma rede de drenagem de área e perímetro de 4,981 km² e 202 km, respectivamente. Tonello et al. (2006) citam que tamanho reduzido da bacia infere boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que ali interferem. O processo de extração automática da rede de drenagem, possui um maior número de canais, com essa informação posteriormente, facilitou na classificação dos padrões da rede hidrográfica. Nos dados extraídos automaticamente, verificou-se canais retos e paralelos associados principalmente a depressões. Essas depressões podem existir devido a dados errados, como as ocasionadas por *pixel nulos* e outras que podem ser características naturais ou escavações. Os valores de coeficiente de compacidade que é a

é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia atingiu o valor de (1,83) e fator de forma (0,33) representam que a Bacia Hidrográfica do rio Uraim possui um formato mais alongado e relativamente estreito, tendo menor concentração na descarga dos tributários, pois estes se dão distribuídos ao longo de vários pontos do rio principal, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular na qual a concentração de todo deflúvio é dada em um único ponto. A (figura 10) abaixo apresenta a extração da rede de drenagem da bacia.

Figura 10. Mapa da rede de drenagem da Bacia do Rio Uraim.



Fonte. Do Autor.

O índice de circularidade (0,46) reafirma que o formato da Bacia Hidrográfica não se assemelha ao de uma circunferência, já que valores afastados da unidade sugerem um formato mais alongado, simultaneamente ao coeficiente de compacidade. Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (BORSATO, 2005).

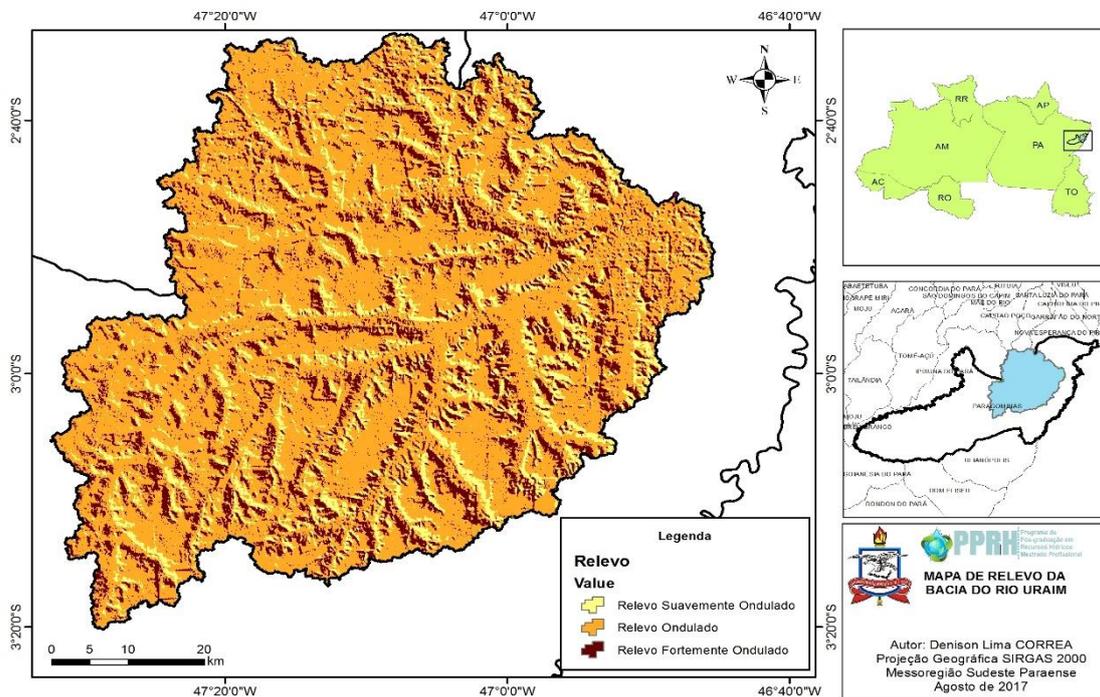
6.2. Características do relevo.

A bacia possui altitude máxima de 255 metros e mínima de 1 metro no exutório, sendo a altitude média de 136 metros.

A altitude influencia no escoamento superficial através da quantidade radiação que a mesma recebe, e conseqüentemente, influencia a evapotranspiração, temperatura e precipitação (PROCHMANN, 2014).

Conforme pode ser observado na Figura 11, com os dados analisados obteve-se uma declividade média de 0,14 m/m ou 19%, mostrando que a bacia possui em média uma declividade regular, diminuindo a susceptibilidade para erosão dos solos e facilitando a oportunidade de infiltração em áreas agrícolas.

Figura 11. Mapa de Relevo da Bacia do rio Uraim.



Fonte. Do Autor.

A declividade do curso d'água principal calculada com base nos extremos ($S1$) apresentou um valor de 0,08 m/m expressou um valor que superestima a declividade média do curso da água, e conseqüentemente, o pico de cheia. Foram obtidos para a declividade ponderada ($S2$) e declividade equivalente constante ($S3$) os valores de 0,020 m/m e 0,018 m/m respectivamente, sendo estes mais representativos da declividade média. O valor de $S3$ apresenta a ideia do tempo de percurso da água ao longo do perfil longitudinal, e juntamente ao índice de sinuosidade, infere-se que a velocidade do fluxo de água no canal principal é relativamente regular.

6.3. Uso e Ocupação do Solo

Para a variável uso e ocupação do solo apresentarem variáveis onde pode se analisar que a bacia do rio Uraim está em processo de alteração de sua cobertura vegetal evidenciando um alto índice nas classes pastagens e agricultura, além do desmatamento em áreas de Preservação Permanente, as áreas urbanas evidenciam a alta impermeabilidade nas áreas de preservação fazendo com que em períodos chuvoso os

alagamentos sejam bem extensos em áreas de alta suscetíveis o trabalho de Ribeiro et al 2017 relata que Dentre as principais formas de uso da terra na bacia do rio Uraim, destaca se a presença de pastagens, ocupando cerca de 27% da paisagem. A presença significativa de pastagens, denota que o município é marcado pela atividade da pecuária, o reflete de maneira geral a ocupação da Amazônia Oriental, na bacia do rio Uraim, 29% das áreas destinada legalmente para Preservação Permanente, estão ocupadas de forma inadequada. As unidades de uso pastagem e solo exposto foram as que mais ocuparam espaço nas áreas das APP's, e conseqüentemente, as que mais contribuíram para o processo de desflorestamento da vegetação. A tabela 11 apresenta os resultados do processamento feito pelo algoritmo de máxima verossemelhança.

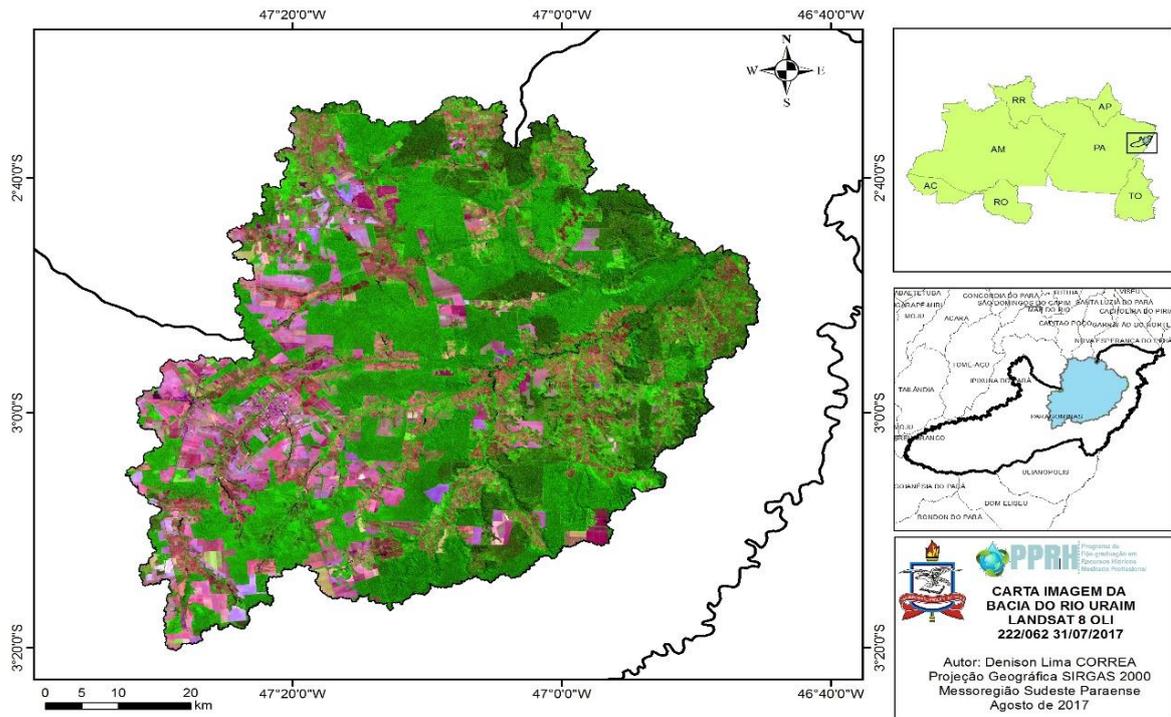
Tabela 11. Quantificação de áreas definidas pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra.

Uso da terra	Área na bacia Uraim (ha)	%
Área urbana	6.356,00	1,31
Agricultura	63.308,00	12,7
Floresta e Sucessão	268.386,00	53,88
Pastagem	90.895,00	18,24
Área alterada	69.245,00	13,9
Área Total	498.190,00	100

Fonte. Do Autor.

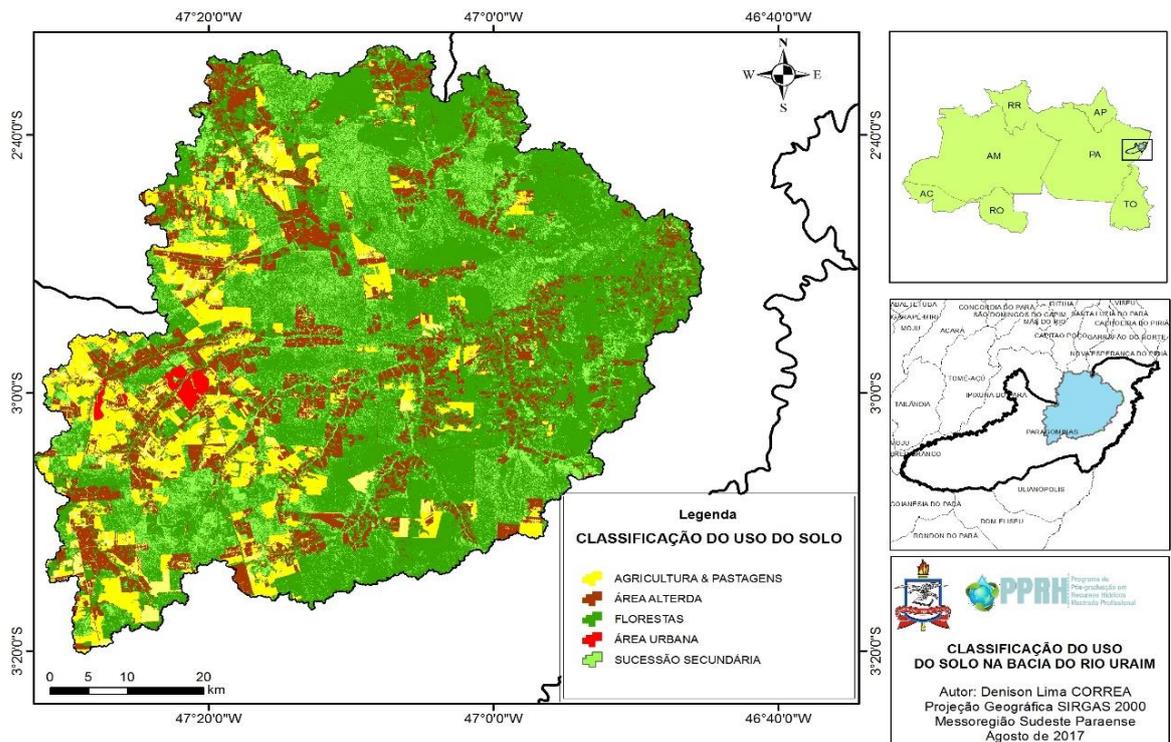
A figura 12 apresenta o recorte da imagem Landsat 8 processada da área de estudo. Para a variável uso e ocupação do solo, e conforme é apresentado na Figura 13 abaixo, a classe com maior representatividade é a de florestas com cerca de 35% de área total da bacia hidrográfica. A classe pastagens e agricultura detêm 31 % e está localizada em sua grande maioria na parte alta da bacia hidrográfica. Embora a bacia possua uma urbanização de apenas 1,31% essa área está em bastante conflito em parte da bacia o que impermeabiliza parte dos cursos d'água, existe uma área expressiva de sucessão florestal 18,34%, o que se deve ao fato de que grande parte da bacia hidrográfica encontra-se em área de grandes fazendas produtoras de grãos. As áreas alteradas são locais de pastagem degradados e solos expostos sem finalidades agrícolas 13,90%.

Figura 12. Carta Imagem da Bacia do Rio Uraim.



Fonte. Do Autor.

Figura 13. Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do rio Uraim em 2017.

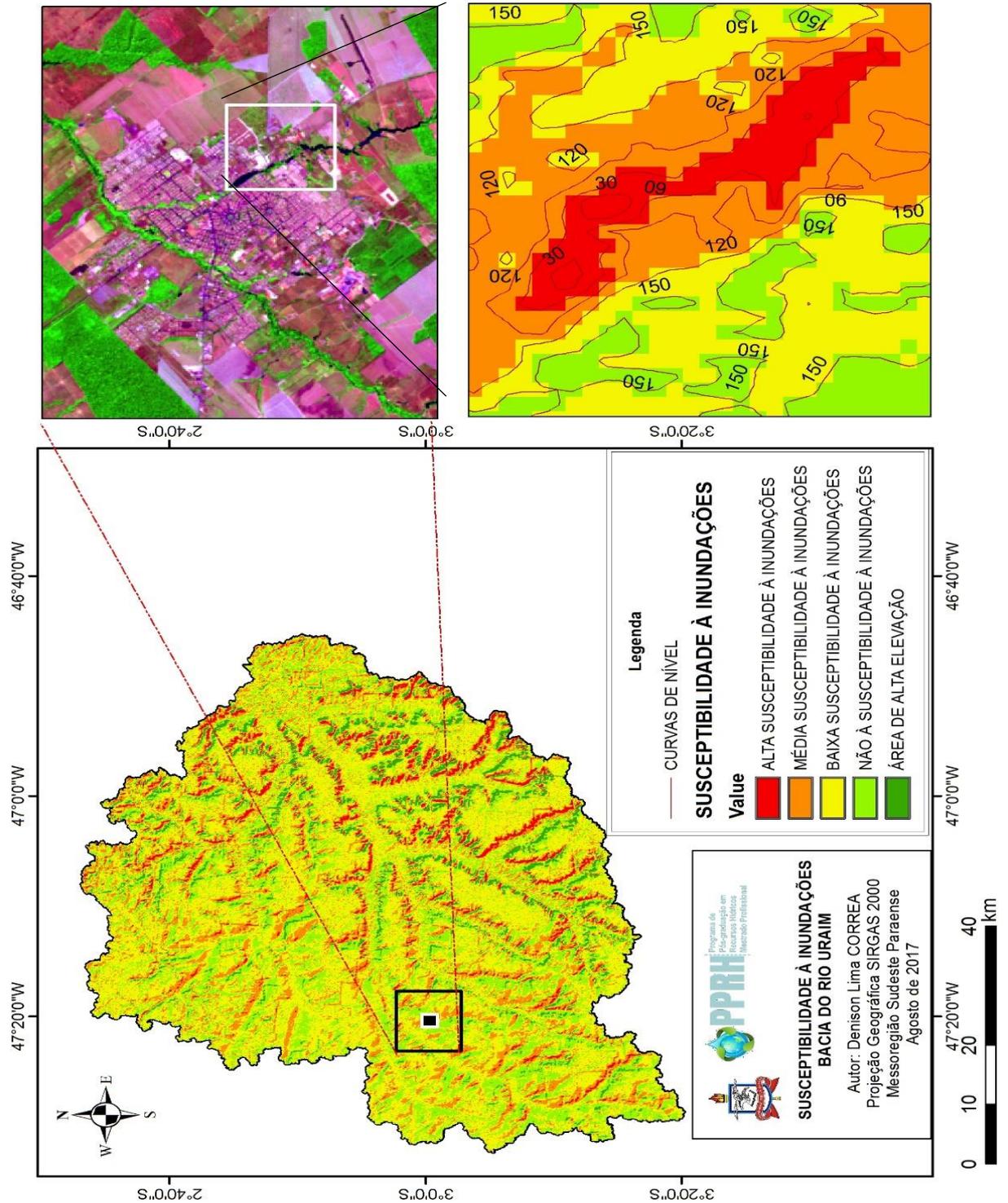


Fonte. Do Autor.

6.4. Mapeamento das áreas suscetíveis

O mapa de áreas suscetíveis a inundações foi dividido em cinco classes. A Figura 14 apresenta o mapa da bacia hidrográfica.

Figura 14. Mapa de susceptibilidade a inundações.



Fonte. Do Autor.

Analisando-se os dados obtidos, a área de estudo apresenta em sua maior parte (82%) entre baixa a nenhuma susceptibilidade a inundações. Áreas com susceptibilidade média a inundações abrangem 10% da área, enquanto as áreas com susceptibilidade alta e corresponde a 8%.

De acordo com o mapa de susceptibilidade a inundações, as áreas com maior susceptibilidade são mais amplas nas áreas com desníveis acentuados. A classe de susceptibilidade muito alta tem predomínio de altitude variando de 0 a 50 metros (99%), sendo que as áreas com densidade populacional em altitudes baixas e com solos impermeabilizados por estradas, calçadas e alteração da vegetação ciliar tem mais susceptibilidade a inundações.

A declividade foi fator determinante para a separação das classes de susceptibilidade alta e média, onde predominam tipos de relevo diferente e as demais classes permanecem regulares.

A média susceptibilidade foi encontrada predominante em áreas de agricultura e pastagens onde o uso do solo influencia no escoamento superficial e podem alterar a topografia a partir da mecanização dos solos, mais em locais com desníveis mais acentuados a susceptibilidade é maior

A baixa susceptibilidade foi encontrada em áreas predominantemente de florestas e sucessões onde o solo é estruturado e o dorsel florestal protege os solos evitando a erosão e diminuindo o impacto das gotas de chuva diretas no solo.

A partir da análise geolocalizada e informações históricas da cidade de Paragominas foi verificado que os Bairros mais suscetíveis a inundações são os bairros da Promissão, Uraim, Cidelândia, Angelim e Cidade Nova, nesses bairros estão em níveis mais baixos o que com alta pluviosidade o fluxo hídrico e muito intenso e aliados a impermeabilização dos solos podem gerar alagamentos e transtornos aos moradores. A figura 15 e 16 mostram a area do lago verde depois de 25 minutos de chuva em fevereiro de 2017. Essas áreas são originárias da bacia do rio uraim, mais com o desenvolvimento urbano e obras recentes aliados a elevação da bacia propiciam alagamentos nessas áreas.

Figura 15. Vista da PA 125 Lago verde Paragominas



Fonte. Do Autor.

Figura 16. Vista da rotatória entre os Bairros Cidade Nova e Flanboyant.



Fonte. Do Autor.

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados obtidos nesta dissertação foi possível indicar um quadro inicial da bacia hidrográfica do rio Uraim, de modo a caracterizar a susceptibilidade a inundações da mesma.

Essencialmente, as características morfométricas expressaram que a bacia é suscetível à ocorrência dos eventos de inundação, uma vez que apresentaram a maneira como se dá o escoamento e infiltração das águas das chuvas, em especial as intensas e concentradas. Em paralelo a isso, o mapa de susceptibilidade a inundações elaborado com base na metodologia do Processo Analítico Hierárquico aponta as áreas mais críticas quanto à susceptibilidade em áreas urbanas com desníveis acentuados.

Constata-se que os bairros mais suscetíveis a inundações encontram-se em regiões próximas aos igarapés vertentes da bacia são eles Promissão, Uraim, Cidelândia, Angelim e Cidade Nova.

A bacia em sua maioria apresenta relevo ondulado e baixa amplitude altimétrica, fatores que favorecem a ocorrência de inundações em áreas urbanas. Em contrapartida, as áreas com baixa susceptibilidade a inundações abrangem 82% da área total da bacia hidrográfica, em locais onde predominam florestas e demais usos do solo onde o relevo é ondulado.

A técnica AHP utilizada para determinação de pesos das classes contribuintes para susceptibilidade à inundações se mostrou eficaz pois reduz e simplifica o problema proposto, o que minimiza os erros de julgamento durante o processo.

A metodologia aplicada nesta pesquisa é usualmente utilizada em mapeamentos com menor nível de detalhamento, sendo assim, a pesquisa realizada demonstra a necessidade do aprimoramento de técnicas e propostas metodológicas para elaboração dos mapas de susceptibilidade à inundações a partir da inclusão de variáveis aqui não utilizadas como pluviosidade, vazão dos rios e classes dos solos, que podem trazer uma melhora nas estimativas das áreas de susceptibilidade à inundações.

O uso do solo na bacia é bastante diversificado, mostrando que Paragominas continua sendo um grande produtor de grãos e carne, pode-se perceber que com o avanço das fiscalizações as áreas de Preservação Permanentes em áreas rurais estão se recompondo ou estão vistas. A área urbana necessita de recomposição das APPs e

educação ambiental para que a os corpos hídricos não sejam comprometidos evitando assim futuras inundações.

Para futuros trabalhos, recomenda-se também o levantamento de dados primários como sistemas de drenagem, esgotos e a pluviometria da região das áreas inundadas em ocorrências de modo a correlacionar com as áreas mais suscetíveis à inundações levantadas no mapeamento.

8. REFERÊNCIAS

ALVES, LUIS WAGNER RODRIGUES. Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA / Luís Wagner Rodrigues Alves, Eduardo Jorge Maklouf Carvalho, Luiz Guilherme Teixeira Silva. – Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 26 p.

ANDRADE, S. L de; FERREIRA, V. O; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 24, n. 41, p.1-16, jun. 2014.

ANDRADE, F.S. Variabilidade da precipitação pluviométrica de um município do estado do Pará. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal , v. 8, n. 4p. 138-145 out /dez. 2011

AMARAL, R; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (orgs.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

ARAÚJO, Elienê Pontes de Araújo. Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Especiais, São José dos Campos - SP, 2006;

AHMAD, R.; MCCALPIN, J. Landslide susceptibility maps for the Kingston Metropolitan area, Jamaica with notes on their use. UDS Publication, n. 5, 1999, 25 p.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. Elementos de hidrologia aplicada. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2014. 241 p.

BASTOS, T. X.; SILVA, G. de F. G. da; PACHECO, N. A.; FIGUEIREDO, R. de O. informações agroclimáticas do município de Paragominas para o planejamento agrícola. n: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., Florianópolis. SBMET, 2006.

BOURGINE, B.; BAGHDADI, N. Assessment of C-band SRTM DEM in a dense equatorial forest zone. Computers Rendus Geoscience, v. 337, n. 14, p. 1225-1234, Oct./Nov. 2005.

BORSATO, F. H. Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR. 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 12 de Março de 1990, que modificou a Lei nº7.990 de 28 de dezembro de 1989. Brasília. DOU 09.01.1997.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CEPED UFSC. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: Volume Santa Catarina, 2011. 90 p. Disponível em: <[http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas Santa Catarina.pdf](http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas_Santa_Catarina.pdf)>. Acesso em: 18 agosto. 2017.

CATANI, F.; FARINA, P.; MORETTI, S.; NICO, G.; STROZZI, T. On the application of SAR interferometry to geomorphological studies: Estimation of landform attributes and mass movements. *Geomorphology*, v. 66, n. 1-4, p. 119-131, Mar 2005.

CRISTO, S. S. V. Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82704>>. Acesso em: 21 agosto. 2017.

CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP. 1992. 170p.

COHEN, J.P.C. Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia. São José dos Campos: INPE, 1989. 153 p. (Dissertação de Mestrado)

DUREN, R.; WONG, E.; BRECKENRIDGE, B.; SHAFFER, S.; DUNCAN, C.; TUBBS, E.; SALOMON, P. Metrology, attitude, and orbit determination for spaceborne interferometric synthetic aperture radar. In: SPIE AeroSense Conference on Acquisition, Tracking and Pointing, 12., 1998, Orlando. Proceedings... Orlando: SPIE, 1998. Disponível em: < http://www2.jpl.nasa.gov.srtm/spie_1998.pdf > Acesso em: 20 agosto. 2017.

DOUGLAS, D. H. Experiments to locate ridges and channel to create a new type of digital elevation model. *Cartographica*, v. 23, n. 4, p. 29-61, Dec. 1986.

DEFESA CIVIL NACIONAL. Manual de Desastres. Brasília: Ministério do planejamento e orçamento, 1996.

DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics*, v. 194, n. 3, p. 237-263, Aug. 1991

ESRI. Fundamentals of surfaces: TIN. 2013. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00q80000005z000000>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

ENOMOTO, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. Dissertação (Mestre em Engenharia de recursos hídricos e ambiental) – Setor de tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

FEARNSIDE, P.M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: the case of southern Pará. *World Development*, v. 29, n. 8, p. 1361-1372, 2001.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90 p.

GRASSI, J. et al. Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. In: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 2501-2508. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/> >. Acesso em: 24 agosto de 2017.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Consideração sobre as inundações no Brasil. In: simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2005. João Pessoa. Anais. João Pessoa, 2005.

HERRMANN, M. L. P (Org.). Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010. 2.ed. Florianópolis: IHGSC; GNC/UFSC, 2014. 217 p.

HANSSEN, R. F. Radar Interferometry: Data interpretation and analysis, New York: Springer, 2001. 308p.

IMAZON. Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório Técnico. Belém - PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 65 p. 2009

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, Nov. 1988.

KATO, O.R.; KATO, M.S., SÁ, T.D.A.; FIGUEIREDO, R.O. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*, v. 29, p. 99-111, 2004.

KOBIYAMA, M. et al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

KERVYN, F. Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less favourable environment. *Computers & Geosciences*, v. 27, n. 4, p. 1039-1050, Nov 2001.

LEMOS, S. S.; BISPO, C. J. C. Geoprocessamento na caracterização física, uso e ocupação do solo da microbacia do rio Uraim, Paragominas-PA. In: simpósio brasileiro de recursos hídricos, 21., 2015, Brasília. Anais. Brasília: Abrh, 2015. p. 1 - 8.

LIMA, W.P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242 p.

LEAL, A. C.; GUIMARÃES, E. M. A. Gestão das águas e educação ambiental em bacias hidrográficas. Presidente Prudente: 2000. CD-ROM.

MAGALHÃES et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de Inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos. *Cadernos de Geociências*, Espírito Santo, v. 8, n. 2, nov. 2011.

MONTZ, B. E.; GRUNTFEST, E. Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Environmental Hazards*, v. 4, n. 1. p. 15-22, 2002.

MENDES, C. A. B.; Cirilo, J.A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. 536 p.

MOTA, S. Preservação e conservação de recursos hídricos. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MEISELS, A.; RAIZMAN, S.; KARNIELI, A. Skeletonizing a DEM into drainage network. *Computers & Geosciences*, v. 21, n. 1, p. 187-196, Feb. 1995.

MARTZ, L.W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage networks and subcatchment areas from digital elevation models. *Computers & Geosciences*, v. 18, n. 6, p. 747– 761, Jul. 1992.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismo de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v.2, n1, p. 107-117, 1987.

NOVO, E.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 4.ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388p.

NASA. Jet Propulsion Laboratory. SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. California, 2006. Disponível em : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> Acesso em 22 agosto de 2017.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Relação entre a Susceptibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Conduitos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 5-15, mar. 2011.

OLIVEIRA, C. G. Avaliação de modelos digitais de elevação gerados a partir de sensores remotos orbitais óptico (ASTER) e radar (RADARSAT-1, SRTM): um estudo para a região da Serra do Carajás (PA). 2005. 184 p. (INPE-13168- TDI/1027) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

PROCHMANN, J.R. análise espacial da susceptibilidade à inundações na Bacia hidrográfica do córrego grande, Florianópolis – SC. Trabalho de conclusão de curso, 2014.

PINHEIRO M.R.C. et al., Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009.

PINTO, Lilian Vilela Andrade et al. Caracterização Física Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e Uso Conflitante da Terra em Suas Áreas de Preservação Permanente. Cerne, Lavras, v. 11, n. 1 p. 49-60, 2005;

PINTO, Lilian Vilela Andrade. Caracterização Física da Microbacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e Propostas de Recuperação de Suas Nascentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), 2003.

PINTO, H.S; BRUNIN, O; ZULIO, J.R; ASSAD, E.D. Zoneamento de riscos climáticos para a agricultura do E.S Paulo. Internacional Wokshop sobre seguros para o agronegocio. 1999.

PEREIRA, R. S. Interpretação automática de imagens aplicada ao planejamento rural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7, 1992, Nova Prata, RS. Anais... 2 v. p. 1191-1210.

ROY, D. P. *et al.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote Sensing of Environment, New York, v.145, p. 154-172, 2014.

SANEPAR- Agência de Saneamento de Paragominas. Bacia do Rio Uraim. 2014. Disponível em: <http://saneparagominas.com.br/agua/bacia_uraim/>. Acesso em: 23 ago. 2017.

SANTOS, A. R. ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais. 2. ed. Alegre: Caufes, 2010. 184 p.

SILVA, L. C. N. et al. Uso do Solo no Manejo de Bacias Hidrográficas: O caso da Microbacia Córrego Prata, Três Lagoas - MS. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, Vol. 2 n.01, jan/abr. 2009.

SALGADO, Moisés Pereira Galvão et al. Caracterização de uma microbacia por meio de geotecnologias. In: CARACTERIZAÇÃO DE UMA MICROBACIA POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS, 14., 2009, Natal. Anais.Natal: Inpe, 2009. p. 23 - 30.

SILVA, C. H. C. et al. Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5443-5449. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2009/> >. Acesso em: 22 agosto de 2017.

SILVA, J. A. Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espacial do Pontal do Paranapanema-SP. (Tese de Doutorado). Presidente Prudente: Unesp, 2006.

SANTANA, Derli Prudente. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. ISSN 1518-4277 Doc. 30 p 65. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sete Lagoas (MG), 2003;

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.** European Journal Of Operational Research. North-holland, p. 9-26. set. 1990.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 57, n. 4, p. 241-262, Feb. 2003

TORRES, Jose Luiz Rodrigues et al. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego barreiro, afluente do rio Uberaba. Revista Árvore, Viçosa-mg, v. 35, n. 4, p.931-939, maio 2011.

TALON.G.C; KUNTSCHIK G. Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.2 – jul/dez, 2007.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, guanhões - MG. Árvore, Viçosa-mg, v. 30, n. 5, p.849-857, abr. 2006.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica / Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006. .

TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Porto Alegre: Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005. 269 p.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed, 2003.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Missions. 2013. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php>. Acessado em: 23 ago. 2017.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponível para América do Sul. São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756).

WERNER, O. M. Status of the SRTM data processing: when will the world-wide 30m DTM data be available? In: Fritsch, D.; Spiller, R. (eds.) Photogrammetric week 01, Heidelberg: Wichmann Verlag, 2001. p. 159-165.