



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ARYKÁSSIA FARIAS PINHEIRO

**DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO DO
CANTO (AREIA-PB) COM USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

ARARUNA

2018

ARYKÁSSIA FARIAS PINHEIRO

**DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO DO
CANTO (AREIA-PB) COM USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Me. Igor Souza Ogata.

ARARUNA

2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

P654d Pinheiro, Arykássia Farias.

Delimitação da área de preservação permanente no rio do canto (Areia-PB) com uso de sistema de informação geográfica [manuscrito] / Arykássia Farias Pinheiro. -2018.

83 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2020.

"Orientação : Prof. Me. Igor Souza Ogata , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Estudo de impacto ambiental. 2. Preservação. 3. Meio ambiente. I. Título

21. ed. CDD 333.14

ARYKÁSSIA FARIAS PINHEIRO

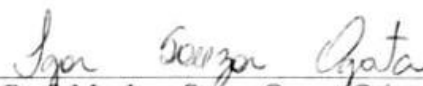
**DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO DO
CANTO (AREIA-PB) COM USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

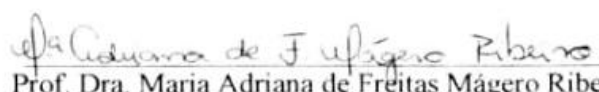
Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovado em: 13/06/2018.

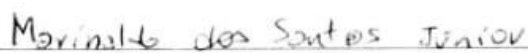
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Igor Souza Ogata (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Marinaldo dos Santos Júnior
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, por todo amor, dedicação,
companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder sabedoria, paciência, dedicação, perseverança e força durante toda a etapa da graduação. Sem Ti nada seria.

Aos meus pais, infinitamente, Arimar Pinheiro Lima e Rita de Cássia Farias Pinheiro. Obrigada pelo dom da vida. Agradeço por todo sofrimento, angústia, preocupação, paciência, cada lágrima, orações, noites em claro, mas, acima de tudo, serei eternamente grata por vocês terem abdicado de cada momento de suas vidas para plantar a felicidade em minha vida. Essa conquista é nossa.

A toda minha família, que em silêncio oraram e torceram para que não houvesse empecilhos na minha trajetória. Homenageio meus avós e tios que, lá do céu, comemoram essa vitória.

A Idalina Kelly Brandão, que não só teve uma enorme contribuição nesse trabalho, mas também se fez presente ao meu lado sempre que precisei. Aos que mantiveram o laço de amizade, mesmo com a distância, e com a minha ausência nos momentos mais importantes.

A Thiago Venceslau, meu anjo da guarda, que Deus enviou para que cuidasse de mim e fosse aquela mão que me ajudasse a levantar quando estava longe da família. Aos meus amigos “ararunenses”, que trabalharam como estrelas e faziam cada dia de guerra se tornar um dia de glória.

A direção, coordenação, docentes, técnicos e colaboradores, em nome de Igor Souza Ogata, meu orientador, que direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação, através de todo conhecimento e aprendizagem necessária para minha graduação.

RESUMO

O aumento da urbanização desencadeou sérios problemas na qualidade dos recursos hídricos, na estabilidade geológica e na biodiversidade. Desastres ambientais estão cada vez mais frequentes e refletem as ações humanas. O planejamento e um adequado uso e ocupação do solo são fundamentais para um meio ambiente ecologicamente equilibrado, evitando a suscetibilidade a inundações nos entornos de cursos d'água, denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP). Problemas como desmatamento, queimadas, assoreamento de rios, erosão do solo e inundações estão intimamente relacionados com o escoamento superficial, precipitação e infiltração do solo. Este trabalho aborda a importância dos estudos hidrológicos para a compreensão dos processos ocorridos em seu interior, a fim de delimitar a área de preservação permanente no Rio do Canto localizado no município de Areia-PB, prevenir prováveis impactos ambientais e apresentar sanções exigidas no Código Florestal. A caracterização da bacia hidrográfica é um procedimento de suma importância, porém a disponibilidade de dados é escassa e o monitoramento, quase inexistente. A pesquisa foi desenvolvida por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com base em imagens de satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Foi realizada a delimitação e classificação morfométrica da bacia, levantamento de uso e ocupação do solo, análise de série histórica e obtenção da vazão máxima contribuinte para o ponto no exutório. Mediante a cota máxima de cheia, foi limitada as áreas de preservação permanente com 50 metros de largura, a partir das alturas de lâmina de água máximas ao longo do rio principal. Nas APPs delimitadas, verificou-se que não há as conservações exigidas no Código Florestal. Diante dos resultados obtidos, ressalta-se a importância da delimitação de áreas de preservação permanente, enfatizando a atenção que elas necessitam por parte dos poderes públicos, visando a sua proteção, manutenção e recuperação.

Palavras-Chave: Estudo Hidrológico. Urbanização. Área de Preservação Permanente (APP). Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

ABSTRACT

The increase in urbanization leads to serious problems in maintaining water resources, geological stability and biodiversity. Environmental disasters are increasingly frequent and reflect human actions. Planning, proper land use and occupation are fundamental to an ecologically balanced environment, avoiding the susceptibility to flooding in watercourse environments, called Permanent Preservation Areas (APP). Problems such as deforestation, burning, silting of rivers, soil erosion and flooding are closely related to runoff, precipitation and soil infiltration. This paper discusses the importance of hydrological studies and understanding the processes that occur within it, to delimit the permanent preservation area in Rio do Canto located in the city of Areia-PB, to prevent probable environmental impacts and to present sanctions required by the Forest Code. The characterization of the river basin is an extremely important procedure, but data availability is scarce and monitoring is almost non-existent. The research was developed using Geographic Information Systems (GIS) based on Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) satellite images. It was performed the delimitation and morphometric classification of the basin, survey of the use and occupation of the soil, history series analysis and obtaining the maximum contributor flow to the point in the exudory. As seen in the maximum contributor flood quota, the permanent preservation areas, 50 meters wide, were limited from the maximum water depths along the main river. In the delimited APPs, it was verified that there are no conservations required in the Forest Code. In view of the obtained results, the importance of the delimitation of permanent preservation areas is emphasized, particularly the attention they need from the public authorities, aiming at their protection, maintenance and recovery.

Keywords: Hydrological Study. Urbanization. Permanent Preservation Area (APP). Geographic Information Systems (GIS).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bacia hidrográfica.....	18
Figura 2 - Localização do município de Areia	27
Figura 3 - Localização do Rio do Canto e da macroárea de sua sub-bacia	29
Figura 4 - Exutório da sub-bacia do Rio do Canto	30
Figura 5 – Tipos de rede de drenagem	33
Figura 6 - Representação de um hidrograma triangular e seus parâmetros.....	45
Figura 7 - Levantamento topográfico gerado da macroárea inicial.....	49
Figura 8 - Levantamento topográfico da macroárea inicial em 3D.....	49
Figura 9 - Representação da localização da bacia hidrográfica do Rio do Canto	50
Figura 10 - Localização da bacia hidrográfica	51
Figura 11 - Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do Rio do Canto	52
Figura 12 - Perfil longitudinal do curso de água principal da sub-bacia do Rio do Canto.....	52
Figura 13 - Classificação de uso de ocupação de solo através do QGIS.....	54
Figura 14 - Classificação de uso e ocupação do solo, através do Google Earth	54
Figura 15 - Áreas de influência dos pluviômetros.....	56
Figura 16 - Hidrograma unitário da sub-bacia do Rio do Canto	60
Figura 17 - Hidrograma de projeto da sub-bacia do Rio do Canto.....	61
Figura 18 - Localização das seções definidas ao longo do Rio do Canto	62
Figura 19 - Imagem dos cortes transversais das seções	63
Figura 20 - Delimitação da área de preservação permanente	64
Figura 21 - Representação da invasão dos limites de preservação.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características morfométricas	53
Tabela 2 - Área de classificação do uso e ocupação do solo.....	55
Tabela 3 - Ponderação do valor do CN.....	55
Tabela 4 - Identificação dos pluviômetros próximos a área da sub-bacia.....	56
Tabela 5 - Precipitações máximas anuais para um período de 30 anos.....	57
Tabela 6 - Distribuição log-normal	57
Tabela 7 - Distribuição de Gumbel	58
Tabela 8 - Teste qui-quadrado para a distribuição log-normal.....	58
Tabela 9 - Teste qui-quadrado para a distribuição de Gumbel.....	58
Tabela 10 - Precipitação máxima pelo método da isozonas	59
Tabela 11 - Intensidade de chuva para diferentes tempos de retorno.....	59
Tabela 12 - Precipitações efetivas da sub-bacia do Rio do Canto.....	61
Tabela 13 - Parâmetros equação de Manning.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CN	Curve Number
CONTAG	Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
HU	Hidrograma Unitário
HUT	Hidrograma Unitário Triangular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISA	Instituto Socioambiental
ONG	Organização Não-Governamental
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
RGB	Red, Green e Blue
RIMA	Relatórios de Impactos Ambientais
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USDA	Unites States Department of Agriculture
UTM	Universal Transversal de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Bacia hidrográfica	17
3.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica	17
3.1.2 Características fisiográficas	18
3.2 Precipitação	19
3.2.1 Classificação da precipitação	19
3.3 Infiltração	19
3.3.1 Fatores intervenientes	20
3.4 Escoamento superficial	20
3.5 Assoreamento dos rios	21
3.5.1 Desmatamento	22
3.5.2 Erosão	22
3.5.3 Lixiviação	23
3.6 Código Florestal	23
3.7 Áreas de preservação permanente em torno de cursos d'água	24
3.8 Uso de sistemas de informações geográficas na gestão ambiental	25
4 METODOLOGIA	27
4.1 Município de Areia	27
4.1.1 Dados demográficos e socioeconômicos	27
4.1.2 Aspectos Fisiográficos	28
4.2 Localização da área de estudo	29
4.3 Levantamento topográfico	29

4.4 Delimitação da bacia hidrográfica	30
<i>4.4.1 Seleção do exutório</i>	<i>30</i>
<i>4.4.2 Delimitação automática</i>	<i>31</i>
<i>4.4.3 Delimitação manual</i>	<i>31</i>
4.5 Características morfométricas da bacia	31
<i>4.5.1 Características geométricas</i>	<i>31</i>
<i>4.5.2 Características de relevo</i>	<i>33</i>
<i>4.5.3 Características da rede de drenagem</i>	<i>33</i>
4.6 Levantamento do uso e ocupação do solo	35
<i>4.6.1 Metodologia A</i>	<i>35</i>
<i>4.6.2 Metodologia B</i>	<i>35</i>
4.7 Cálculo da intensidade máxima provável	36
<i>4.7.1 Método de ponderação regional</i>	<i>36</i>
<i>4.7.2 Distribuição log-normal</i>	<i>37</i>
<i>4.7.3 Distribuição de Gumbel</i>	<i>39</i>
<i>4.7.4 Teste do qui-quadrado</i>	<i>40</i>
<i>4.7.5 Método das isozonas</i>	<i>41</i>
4.8 Estimativa do coeficiente de escoamento com base em características das superfícies	42
4.9 Tempo de concentração	43
4.10 Determinação da precipitação efetiva e vazão	43
<i>4.10.1 Hidrograma unitário</i>	<i>45</i>
<i>4.10.2 Hidrograma de projeto</i>	<i>47</i>
4.11 Altura da lâmina d'água	48
4.12 Delimitação das áreas de preservação permanente	48
5 RESULTADOS	49
5.1 Levantamento topográfico	49

5.2 Delimitação da bacia hidrográfica	50
5.2.1 Caracterização altimétrica	51
5.2.2 Caracterização morfométrica	53
5.3 Uso e ocupação do solo	53
5.4 Determinação da intensidade máxima provável	55
5.5 Cálculo da precipitação efetiva e vazão de projeto	60
5.6 Determinação da altura de lâmina de água	62
5.7 Delimitação da área de preservação permanente	64
6 DISCUSSÃO	65
7 CONCLUSÃO	69
8 REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A – Método das isozonas	76
APÊNDICE B – Cálculo do número de ordenadas do hidrograma de projeto e montagem das matrizes	77
ANEXO A – Função de distribuição acumulada de probabilidade	79
ANEXO B – Método das isozonas	80
ANEXO C – Curva número para o método SCS por categorias	81
ANEXO D – Valores do coeficiente de Manning	84

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, o desenvolvimento humano sempre se deu às margens de rios, mares e lagos, uma vez que a água é responsável por suprir suas necessidades fundamentais como alimentação, transporte, higiene, recreação, atividades agropecuárias, abastecimento industrial, entre outros. Com o passar dos séculos, o entorno desses cursos d'água foram agredidos de tal forma a influenciar negativamente na preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade, assim como o bem-estar da própria humanidade.

Embora, o consenso da população estivesse sempre presente, a degradação ambiental se tornou significativa, a ponto de comprometer gravemente as futuras gerações. Então, o poder público interveio com a Lei nº 4.771 de 1965 que institui o Código Florestal Brasileiro, estabelecendo a criação das Áreas de Preservação Permanente (APP). Esta se refere a toda área natural que possui limites rígidos de exploração, a fim de manter o meio ambiente ecologicamente equilibrado. Porquanto, o objetivo da lei é disciplinar e limitar as atividades antrópicas que venham a lesar ambientes florestais.

Recentemente, em 25 de maio de 2012, o Código Florestal foi reformulado e suas principais mudanças foram: a ampliação das Áreas de Preservação Permanente, as alterações no âmbito da Reserva Legal e a concessão de Anistia – ou seja, todas as infrações cometidas foram absolvidas perante o Poder Legislativo. Entretanto, mesmo que as leis sejam bastante restritas, ainda há brechas para o seu descumprimento, uma vez que não há delimitação oficial das áreas de preservação permanente, para vetar o licenciamento ambiental indevido, além da dificuldade que o Estado tem em fiscalizar ambientalmente um país de grande dimensão.

Nas últimas décadas, o meio ambiente obteve uma atenção especial, mas mesmo assim o nível de degradação alcançou resultados devastadores. Em dezembro de 2016, o Governo Federal publicou que a taxa de desmatamento nacional atingiu 7.989 km², representando um aumento de 29% em relação ao ano anterior (Safadi, 2016). Já em 2015, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou que a área remanescente de Mata Atlântica da Paraíba era de 483 km² e, com isso, 90,1% da área total já havia sido desmatada em 2012. Foi lançada uma nota técnica pelo Instituto de Pesquisa da Amazônia (IPAM, 2014), em colaboração com o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON, 2014) e o Instituto Socioambiental (ISA, 2014), alertando que, se a situação não se reverter, o aumento de 28% na taxa de desmatamento em 2013 poderia causar um descontrole crescente na devastação ambiental.

Um dos aspectos que mais dificulta o cumprimento do Código Florestal Brasileiro é a falta de uma base consistente, pois durante muito tempo a obtenção de dados como declividade, comprimento da hidrografia, trajeto de escoamento superficial, área de contribuição etc., em uma região, demandava uma mão-de-obra intensiva, custo elevado para grandes áreas, além de apresentar dificuldade quando se trata do armazenamento e do compartilhamento desse material. Contudo, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se utilizam de dados produzidos por imagens via satélite que oferecem funcionalidade e eficácia capazes de alcançar resultados objetivos, rápidos e com elevados níveis de exatidão. Essas plataformas viabilizam a limitação, o diagnóstico, o monitoramento e a fiscalização da área de preservação em questão.

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo hidrológico no Rio do Canto no município de Areia-PB, analisando, primordialmente, o processo de escoamento superficial da bacia e delimitação da área de preservação permanente, através do uso de SIG, a fim de adotar as devidas sanções exigidas no Código Florestal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Delimitar a área de preservação permanente no Rio do Canto, localizado no município de Areia – PB, a fim de apresentar as sanções exigidas no Código Florestal.

2.2 Objetivos Específicos

- Delimitar a bacia do Rio do Canto e classificar a bacia quanto aos aspectos morfométricos.
- Representar hipsograficamente a bacia hidrográfica, com o traçado do perfil longitudinal do Rio do Canto.
- Caracterizar os aspectos fisiográficos da região.
- Identificar os solos e seus revestimentos.
- Estimar o tempo de concentração da bacia.
- Analisar séries históricas da região e calcular as intensidades prováveis.
- Estimar o coeficiente de escoamento.
- Determinar a vazão máxima.
- Estipular a altura de lâminas d'água nas margens do rio.
- Delimitar a área de preservação permanente, através do uso de SIG.
- Identificar as localidades que estejam em desacordo com a Lei 12.651/2012.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é definida como uma região de drenagem, no qual as águas incidentes da chuva são escoadas em direção a uma única seção fluvial, exercendo a função de exutório (PINTO, 2003). Paz (2004) considera um sistema aberto, já que o volume de precipitação não é composto apenas pela parcela escoada ou armazenada, mas também inclui as perdas, representadas pela infiltração, evaporação, transpiração e interceptação. Em vista disso, esse termo se torna bem mais abrangente, pois além de englobar todos os processos do ciclo hidrológico, ainda envolve o relevo, topografia, cobertura vegetal, tipo de solo e geologia característicos de toda a zona urbana e rural, bem como das características de produção industrial, agrícola e da preservação do meio ambiente.

A área de uma bacia pode variar consideravelmente, podendo dispor de 0,5 ou 600.000 km² como é o caso da bacia do Rio São Francisco, que apresenta uma importância relevante no Brasil – localizada nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do país. Por integrar aspectos físicos, sociais, econômicos e políticos distintos, e sobrepor limites municipais, estaduais e nacionais, a falta de gerenciamento desses recursos hídricos termina por gerar diversos conflitos das comunidades beneficiadas.

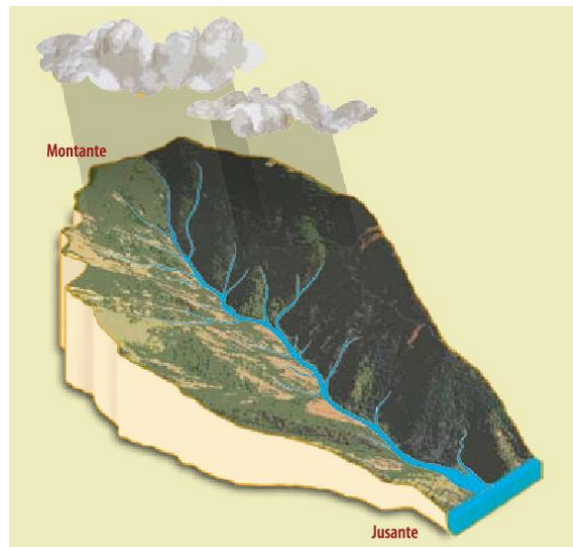
3.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica

Uma bacia hidrográfica determina todas as áreas contribuintes para um ponto, ou seja, todos os impactos, ações, intervenções e projetos que venham a acontecer em um lugar da bacia, poderão afetar toda a área a jusante (PAZ, 2004). Uma ação, como o desmatamento em determinada área, causará um maior escoamento superficial nos trechos conseguintes. Portanto, os problemas relacionados à água estão diretamente ligados à área de delimitação da bacia hidrográfica.

Para definir a área de contribuição, faz-se necessária a análise da topografia do terreno, através do relevo, de acordo com as curvas de nível – que indicam as cotas do terreno em relação a um referencial. Com isso, são identificadas as áreas de maior cota, que representam os divisores topográficos. O escoamento se dá pela ação da gravidade, portanto, é simples detectar as áreas contribuintes, visto que, as regiões mais elevadas estabelecem a

divisão entre o terreno cujo escoamento segue para o rio da bacia em estudo e o que segue para outra bacia.

Figura 1 - Bacia hidrográfica



Fonte: Fabião (2018).

3.1.2 Características fisiográficas

As características fisiográficas dizem respeito à forma física de uma bacia hidrográfica, ou seja, abrangem todos os aspectos relacionados ao relevo e a forma da bacia, formato e área da rede de drenagem (TUCCI, 1993). Além disso, são fundamentais para a delimitação de uma bacia hidrográfica. Com o advento dos softwares de geoprocessamento, a aquisição desses dados ficou facilitada, utilizando mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e levantamentos topográficos necessários, tornando instrumentos, como o curvímetro e o planímetro obsoletos.

Dentre as características fisiográficas mais relevantes para o estudo está a área da bacia, que corresponde à área de drenagem, ou seja, é determinada através da superfície que compreende todos os divisores topográficos definidos verticalmente; a forma da bacia que define o comportamento hidrológico, sendo representada pelos indicadores de fator de forma e coeficiente de compacidade; rede de drenagem, que inclui a análise da ordem dos cursos d'água, a densidade de drenagem, a extensão média do escoamento superficial e a sinuosidade do curso d'água; relevo da bacia, que está intrinsecamente ligado à velocidade do escoamento, altitude, temperatura, precipitação e evaporação, tornando-se indispensável a determinação da declividade da bacia, declividade do curso d'água principal e curva hipsométrica.

Uma bacia hidrográfica é definida através de diversos processos naturais que influenciam na retenção da água para possível formação de córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios, conforme as suas características fisiográficas. Portanto, para o aprofundamento do estudo em questão, foi primordial analisar o processo da precipitação.

3.2 Precipitação

A precipitação refere-se a toda água proveniente do meio atmosférico, seja em forma de granizo, saraiva, neve, garoa, chuva, orvalho e geada (TUCCI, 1993). Esse fenômeno dá origem ao escoamento e a sua intensidade irá controlar a inundação, a erosão do solo, além disso, permitirá mensurar a carência de irrigação de culturas e o abastecimento de água para uso doméstico e industrial.

3.2.1 Classificação da precipitação

A precipitação está ligada à ascensão do ar úmido, que dá sequência à condensação e o crescimento das gotículas (TUCCI, 1995). Contudo, há mecanismos distintos que promovem essa ascensão, classificando assim as precipitações em convectivas, sendo característica de climas tropicais, onde a ascensão do ar úmido e quente decorre de uma elevação brusca de temperatura; orográficas, que são derivadas de obstáculos orográficos, como montanhas e serras, ocasionando precipitações de pequena intensidade, longa duração, cobrindo pequenas áreas, e, frontais ou ciclônicas, que descrevem o “choque” entre as massas de ar frias e quentes, resultando em uma precipitação de longa duração, intensidade média, alcançando grandes áreas.

3.3 Infiltração

A infiltração é um fenômeno que representa a penetração da água desde a superfície até as camadas mais profundas do solo, percolando através dos vazios sob a ação da gravidade (MARTINS, 1976). Nesse sentido, os solos são divididos em duas zonas: aerada e saturada. A zona de aeração do solo se refere à camada em contato com a superfície e é onde a água fica sujeita à evaporação, à absorção pelas raízes das plantas e futura evapotranspiração. Além disso, é onde a água sofre o efeito de capilaridade, até o momento em que as forças que sustentam esse fenômeno são rompidas e a água começa a se deslocar para baixo. Por sua vez,

a zona de saturação corresponde à faixa de solo em que a presença de água já está ocupando todos os vazios e conseqüentemente estando na capacidade máxima de armazenamento do solo, ou seja, representando os lençóis subterrâneos, cujo movimento cumpre as leis do escoamento subterrâneo.

3.3.1 Fatores intervenientes

A taxa de infiltração e percolação, que atravessam o perfil do solo, depende das condições de fluxo, ou seja, das propriedades do meio, podendo dificultar ou facilitar a passagem (VILLELA e MATTOS, 1975). O tipo de solo, que abrange aspectos como porosidade, tamanho e arranjo das partículas, é extremamente importante, pois quanto maior for o tamanho das partículas do solo, maior será a área de vazios. A cobertura vegetal é um dos fatores mais importantes, visto que, ela protege a superfície do solo do impacto das gotas da chuva, aumentando indiretamente a macroporosidade, favorecendo a infiltração.

O clima interfere por meio da disponibilidade de chuvas e da forma com que elas ocorrem, de modo que, quanto maior a intensidade da precipitação, mais rápido se atinge a condição de saturação. Neste caso, parte da água é levada pelo escoamento superficial. Além do mais, o vento pode favorecer a percolação, sob a influência da evapotranspiração. E, por fim, a ação do homem, por intermédio de desmatamento e escavações, causam falhas na superfície do solo, aumentando consideravelmente a sua capacidade de infiltração.

Portanto, quando o solo atinge a sua capacidade de infiltração, acontece o acúmulo de partículas sobre a superfície terrestre, gerando uma lâmina de escoamento.

3.4 Escoamento superficial

O escoamento superficial é o processo do ciclo hidrológico que se dedica ao deslocamento da água sobre a superfície terrestre, através da ação da gravidade (MARTINS, 1976). Ou seja, esse fenômeno é consequência da redução da capacidade de infiltração do solo, acarretando no acúmulo de partículas na superfície, formando uma lâmina de água, podendo compor córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios.

A determinação da vazão máxima de escoamentos superficiais é imprescindível em estudos de bacias hidrográficas, e especialmente em estudos que precedem o dimensionamento de drenos, barragens e obras de proteção contra cheias e controle de erosão

e inundação. Devido à complexidade do fenômeno, é comum o uso de métodos empíricos para estipular a parcela de precipitação que se converte em escoamento superficial.

Os fatores que influenciam diretamente o escoamento superficial podem ser classificados em duas categorias, uma relacionada à natureza climática e outra fisiográfica (ALENCAR, 2006). Os fatores climáticos são referentes ao fenômeno de precipitação, especificamente quanto a sua intensidade e duração. Por outro lado, os de natureza fisiográfica são referentes às propriedades da bacia hidrográfica, como por exemplo, sua área, forma, permeabilidade do solo, capacidade de infiltração e topografia.

Diante disso, uma série de grandezas pode ser utilizada para determinar o escoamento superficial, dentre elas, destaca-se a vazão, que corresponde ao volume de água que percorre a seção transversal por unidade de tempo; o coeficiente de escoamento superficial que relaciona o volume escoado sobre a superfície do terreno e o volume precipitado; o tempo de concentração que representa o tempo no qual a água que cai no ponto mais distante da bacia leva para atingir toda a seção; o tempo de retorno, sendo o intervalo de tempo que um evento leva para ser igualado ou superado, e, o nível de água, que é referente à elevação normal do curso d'água e inundação, podendo promover o transbordamento e possíveis prejuízos.

3.5 Assoreamento dos rios

O assoreamento é definido pela deposição acelerada de sedimentos no leito dos rios, interferindo na sua topografia (MORAIS, 2014). A ocorrência deste fenômeno vem sendo constante e suas causas podem ser naturais, devido à fragmentação de rochas, ou provindas de ações antrópicas, como o desmatamento, facilitando o movimento de massa, devido à remoção da proteção natural.

No ambiente urbano, há um agravante da situação, em razão do acréscimo significativo de dejetos arrastados para os vales, declividades acentuadas e a existência de vias cortando suas curvas de nível, que quando somados ao impacto da chuva e à baixa permeabilidade da região, acabam gerando enchentes.

O transporte de materiais pode ser feito pela forma de solução, no qual os sais dissolvidos são transportados pelo rio, por suspensão, em que as partículas sólidas são depositadas no fundo do rio e pelo movimento de carga no leito, referente aos sedimentos maiores que são transportados através do rio, até que por fim, sejam depositados.

Normalmente, o assoreamento pode acontecer por ações antrópicas como o desmatamento ou por ações naturais, provenientes da erosão e lixiviação.

3.5.1 Desmatamento

Desmatamento ou desflorestamento é a retirada total ou parcial da cobertura vegetal de uma área. Essa prática vem se intensificando em função do desenvolvimento humano, das atividades agrícolas, pecuárias e industriais (SILVA, 2007). Com isso, segundo o Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite, 47,84% de 204 milhões de hectares, dos biomas brasileiros, já haviam sido perdidos até 2008. E a área desmatada representava 890.636 km² até 2002, junto a ele foi acrescido o valor de 85.074 km², referente ao período de 2002 a 2008.

Segundo Lins (1994), as consequências provenientes desse processo são: o aumento da vulnerabilidade de incêndio em florestas virgens; alteração dos padrões climáticos, pois com a retirada da vegetação, não haverá a liberação do vapor de água para a atmosfera, diminuindo, assim, as condensações e conseqüentemente a precipitação; alteração da qualidade da água, já que sem proteção, o solo perde grande parte do seu poder de infiltração; erosão, a retirada de plantas desencadeia os deslizamentos de terras; perda de fertilidade do solo e o desequilíbrio das espécies.

3.5.2 Erosão

A erosão se dá pela desagregação e movimento das partículas do solo, através da combinação da ação da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos. Esse processo pode acontecer de duas formas, através da erosão natural ou geológica, acontecendo mais lentamente, por meio dos cursos d'água, ou erosão causada pela ação antrópica, se sucedendo mais rapidamente, acarretando sérios problemas para o meio ambiente que não tem tempo de se regenerar.

Dentre as principais causas da erosão são características as chuvas de alta intensidade e duração. A vulnerabilidade a esse fenômeno é vinculado às propriedades para resistir ao carreamento de partículas, a quantidade de solo protegido pela vegetação e a prática de gestão na região. Ademais, a seca e a desertificação têm uma contribuição considerável, e além de estimular esse fator, ainda afeta 2,6 bilhões de pessoas que dependem diretamente da agricultura (MMA, 2007).

3.5.3 Lixiviação

Lixiviação é a retirada dos sais minerais do solo, pela ação da precipitação, tornando-o mais ácido e carente de matéria orgânica e nutriente (RODRIGUES, 2007). Este fato conduz resultados negativos, visto que o solo representa um pilar significativo para o ciclo hidrológico e biogeoquímico, que são indispensáveis para a manutenção da qualidade da água e do funcionamento dos ecossistemas. O solo é responsável por filtrar os materiais orgânicos e elementos que podem ter acesso aos sistemas aquáticos e ao perder suas propriedades, termina por acelerar os processos erosivos, estimulando o assoreamento, a poluição e a eutrofização dos rios.

Diante da constante desagregação do meio ambiente, surgiu a necessidade da preservação do meio ambiente, através da ação conjunta das questões técnicas e hidrológicas, a fim de uma melhor gestão dos recursos naturais.

3.6 Código Florestal

O primeiro Código Florestal, que instituiu a primeira legislação nacional a implementar política de gestão dos recursos florestais, foi publicado em 1933 e transformado em lei em 1934. Esta já descrevia a necessidade de limitar o desmatamento, empregando penalidades por crimes e contravenções. Complementarmente, o Decreto nº 23.793/34 restringiu ações que pudessem causar danos em propriedades públicas ou privadas, constituídas de paisagem natural, reforçando o cuidado com as reservas florestais já existentes. Além disso, nas áreas rurais, só era concebido o direito de desmatar três quartos das árvores, sendo obrigatória a conservação de pelo menos 25% da reserva natural.

Devido às complicações encontradas na efetividade da lei, em 1965, esta foi complementada com a criação das Áreas de Preservação Permanente (APP). Ademais, foram determinadas as áreas de reserva legal, definidas as normas para o uso racional das florestas e seu reflorestamento, além de propor incentivos fiscais e financeiros. Contudo, somente com a instituição da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), Lei ° 6.938, de agosto de 1981, a flora passou a ser um assunto jurídico, fortalecendo a aplicabilidade do Código Florestal.

Frente ao avanço tecnológico, surgiu a necessidade de um Novo Código Florestal, aprovado em abril de 2012. Dentre as alterações destaca-se o aumento da margem de áreas de preservação, passando de cinco para 30 metros de afastamento dos leitos dos corpos de água.

Além disso, devido às características peculiares de cada região, acarretando em diversas discussões jurídicas, essa questão passou a ser tratada individualmente.

Este ajuste submete a uma segunda modificação expressiva que representa a anistia aos agricultores que praticaram desmatamento até 22 de julho de 2008, que se tornariam irregulares segundo o Novo Código, e, todavia, foram perdoados pelos seus atos. Contudo, a Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG) se posicionou contra o novo texto do Código, visto que a anistia foi aplicada apenas para os grandes produtores. Além do que, segundo Araújo (2018), essa classe preserva a vegetação, priorizando assim a sua produção.

Outra mudança relevante foi nas regiões de reserva legal - todas as áreas desmatadas irregularmente deverão ser compensadas por outra região ou o mesmo pode ser recuperado com a utilização de espécies exóticas em até 50% da área afetada, no prazo de 20 anos.

A proposta de reforma, que indicava uma mudança radical no Código Florestal de 1965, causou revolta da sociedade civil, gerando pressões no entorno do Palácio do Planalto, contando com a presença de grupos rurais, ambientalistas e ONG's (ALVES, 2013). Entretanto, não se pode ignorar o fato de que o meio ambiente está intimamente relacionado com o crescimento econômico, a saúde e a qualidade de vida.

3.7 Áreas de preservação permanente em torno de cursos d'água

De acordo com o Código Florestal, uma Área de Preservação Permanente (APP) se refere a toda região composta, ou não, de vegetação característica, que pratique função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, a fauna, a flora e garanta o bem estar da população (ARAÚJO, 2018). Ou seja, são regiões restritas de ações que venham a danificar a integridade do ecossistema local.

As APP's, segundo Gleriani (2004), desempenham um papel fundamental nas zonas rurais, resguardando áreas de encostas e matas ciliares, beneficiando os aspectos físicos do agroecossistema, através de serviços ecológicos e associações voltadas para a harmonia dos componentes bióticos e abióticos. Isto é, promovendo a estabilidade do solo, evitando o escoamento superficial excessivo e com isso impedindo a ação da erosão e do assoreamento.

As áreas de preservação, em zonas rurais ou urbanas devem estar localizadas, conforme a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, nos seguintes locais:

I – as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
 - b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
 - c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
 - d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
 - e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- II – as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
 - b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
- III – as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento, observado o disposto nos parágrafos 1º e 2º;
- IV – as áreas de entorno das nascentes e dos olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Medida Provisória nº 571, de 2012);
- V – as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
- VI – as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- VII – os manguezais, em toda a sua extensão;
- VIII – as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) em projeções horizontais;
- IX – no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;
- X – as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;
- XI – em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado. (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012)

Contudo, as áreas de preservação permanentes são fundamentais para a conservação dos recursos e sistemas naturais, sendo a elas atribuído o papel de manter o mínimo do sistema natural, diante das modificações provocadas pelo homem.

3.8 Uso de sistemas de informações geográficas na gestão ambiental

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas trabalhando conjuntamente para aquisição, armazenamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manuseio,

modelagem, atualização, análise e disposição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados (DIAS, 2012).

Através de um SIG, é possível obter dados que retratam objetos do mundo real, quanto às suas coordenadas geográficas e suas relações topológicas. Seus principais atributos são: incorporar informações espaciais oriundos de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; adaptar as informações, através de algoritmos, para gerenciar mapas derivados e consultar, restabelecer, idealizar e projetar conteúdos da base de dados geocodificados.

É vasta a área onde os SIG's podem atuar. Além de vir exercendo um papel importante para os órgãos públicos nos níveis federais, estaduais e municipais, atuando em institutos de pesquisa, empresas de prestação de serviço de utilidade pública, segurança militar e empresas privadas, também se destacam no auxílio nas tomadas de decisão abrangendo planejamento territorial e sua aplicação na geologia, compreendendo as características físicas do terreno, resultantes de processos geológicos, apresentando dados espaciais (NASCIMENTO et al, 2005).

Na gestão ambiental, a participação do SIG é fundamental, visto que auxiliam na elaboração de projetos voltados a ocupação humana, no planejamento e gerenciamento urbano, nas redes de infraestrutura e etc. Mais especificamente na Gestão de Bacias Hidrográficas, no Controle e Monitoramento Ambiental, na elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIA), Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA), Diagnósticos e Prognósticos Ambientais, Mapeamento Temático, Geomorfológico, Pedalógico, Geológico, Vegetacional, Hidrológico, etc., proporcionando o armazenamento de imagens e informações, permitindo uma visão ampla e precisa do local em estudo.

Nos Estudos de Impactos Ambientais (EIA), como Áreas de Preservação Permanente (APP), os SIG's servem como base para análise da situação ambiental, traçando limites de ação ou tomando decisões para prevenir, controlar e corrigir os problemas ambientais, priorizando a elaboração e implantação de plano de manejo em Unidades de Conservação.

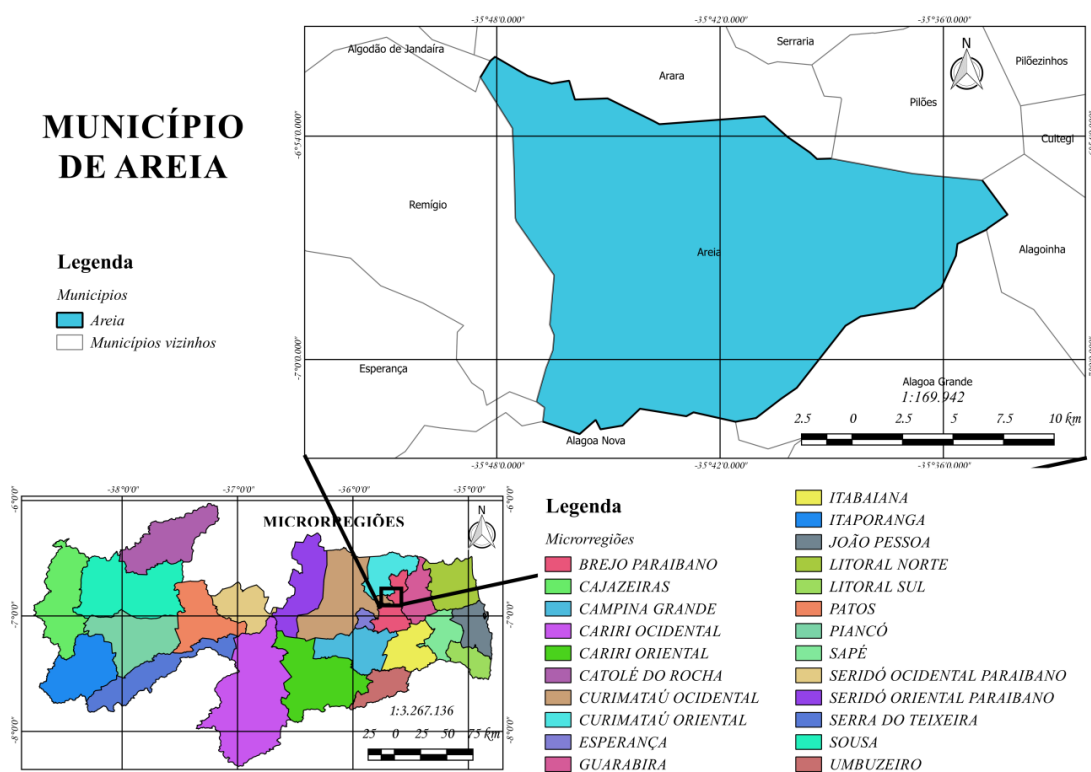
As informações geográficas agregam eficiência no desenvolvimento de um projeto, dispensando a visita em campo. Entretanto, quando se trata de áreas consideravelmente pequenas, como o estudo de uma microbacia, os mapas acabam fornecendo dados imprecisos para o usuário. Portanto, é importante ter o discernimento sobre as propriedades da região estudada, a fim de se adotar uma metodologia eficaz.

4 METODOLOGIA

4.1 Município de Areia

O município de Areia está localizado na Microrregião do Brejo Paraibano, no estado da Paraíba. Limitando-se a norte com os municípios de Arara, Serraria e Pilões, a sul com Alagoa Grande, Alagoa Nova, a oeste com Remígio e a leste com Alagoinha. A sede municipal tem como coordenadas geográficas centroides: Latitude: 06°57'46" Sul e Longitude: 35°41'31" Oeste, distanciando-se 136,4 km de João Pessoa, capital da Paraíba.

Figura 2 - Localização do município de Areia



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1 Dados demográficos e socioeconômicos

Segundo o IBGE (2010), o município de Areia possui uma área territorial de 266,569 km² e uma densidade demográfica de 88,42 hab/km². A população urbana era de 14.598 habitantes (61,26%), enquanto que a população rural era de 9.231 habitantes (38,74%), resultando em uma população 158.829 habitantes. Os principais indicadores sociais como índice de desenvolvimento humano municipal, longevidade, mortalidade, índice de Gini e

proporção de pobres, entre os anos de 1991 e 2010, apresentaram uma variação positiva para o município.

A economia do município sofre forte influência sob a ocupação agrícola, por meio de culturas de subsistência como algodão, café e agave. No século XIX, surgiram os engenhos que produziam cana-de-açúcar, aguardente e rapadura, que desde então, representam uma fonte de renda relevante do município.

4.1.2 Aspectos Fisiográficos

O estado de conservação dos brejos de altitude é crítico na região Nordeste, visto que a expansão agropecuária causou graves impactos em sua composição (LINS e MEDEIROS, 1994). O município de Areia está inserido no trecho geoambiental do Planalto da Borborema e apresenta uma formação com vários retalhos da mata que recobria grande parte do seu território, no passado. Na região Nordeste Oriental, os brejos de altitude são mais característicos, justificando sua posição quase perpendicular às escarpas de Borborema e à direção dos alísios de sudeste.

O clima, o relevo e o solo estão relacionados à sua vegetação, que é caracterizada pela forte presença de florestas. Apresentando, assim, uma paisagem bastante singular, quando comparada aos municípios vizinhos. A cidade é cortada por rios perenes de pequena vazão e baixo potencial de águas subterrâneas, sua vegetação é formada por *Florestas Subcaducifólicas* e *Caducifólicas*, pertencentes de regiões agrestes, e o clima é Tropical Chuvoso, com verão seco. Contudo, as chuvas costumam se iniciar no mês de janeiro ou fevereiro e terminar em setembro.

O relevo é constituído por maciços, outeiros altos, vales profundos e estreitos dissecados, possuindo uma altitude que varia entre 650 e 1.000 metros. Sua geomorfologia bastante diversificada é apropriada à sua localização no setor Oriental Úmido e Subúmido do Estado, sendo decorrente do intemperismo mecânico, salientando a ação do agente da erosão. Devido a declives bem evidentes, com angulações superiores a 25°, a drenagem é estabelecida através desses processos erosivos bem intensos. Deste modo, o escoamento superficial se forma na direção Leste do município, mais precisamente na borda do Planalto da Borborema e segue buscando maiores níveis de energia, em direção ao mar.

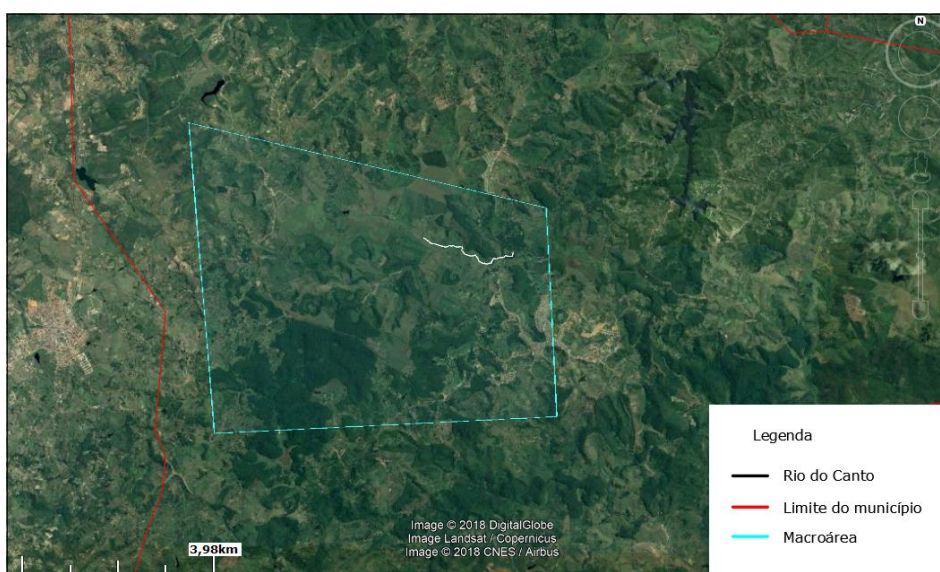
A Reserva Ecológica Mata do Pau-Ferro representa o fragmento de floresta serrana mais extensa do Estado da Paraíba, por isso, tem sido alvo de uma forte modificação antrópica. Portanto, o conhecimento da composição florística e da estrutura de regeneração

natural é indispensável para a definição de estratégias de manejo e conservação dos ecossistemas.

4.2 Localização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na sub-bacia do Rio do Canto, inserido na bacia hidrográfica do Rio Mamanguape que drena uma área aproximada a 3.522,69 km² (BARROS, 2005). Para fins de delimitação da área, foi definida, arbitrariamente, uma macroárea que possivelmente envolvesse toda a sub-bacia do Rio do Canto, esse procedimento foi realizado através do software Google Earth Pro, o qual utilizou o sistema de coordenada plana em Universal de Mercator (UTM) e Datum WGS84, a macroárea anteriormente mencionada está apresentada na Figura 2.

Figura 3 - Localização do Rio do Canto e da macroárea de sua sub-bacia



Fonte: Google Earth Pro (2018).

4.3 Levantamento topográfico

Para realizar o levantamento topográfico da sub-bacia do Rio do Canto foi utilizado uma imagem do tipo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) correspondente à localização da macroárea anteriormente definida, na precisão de 1 arc-segundo e uma resolução espacial de aproximadamente 30 metros. No Global Mapper 15 foi possível fazer a extração da imagem de satélite de interesse por meio da macroárea selecionada previamente.

Nesse sentido, foi empregado o software Global Mapper 15 para extração da imagem de satélite delimitada pela macroárea supracitada e através da ferramenta *Generate Contour* foram geradas as curvas de nível dessa área, em um intervalo de 10 metros.

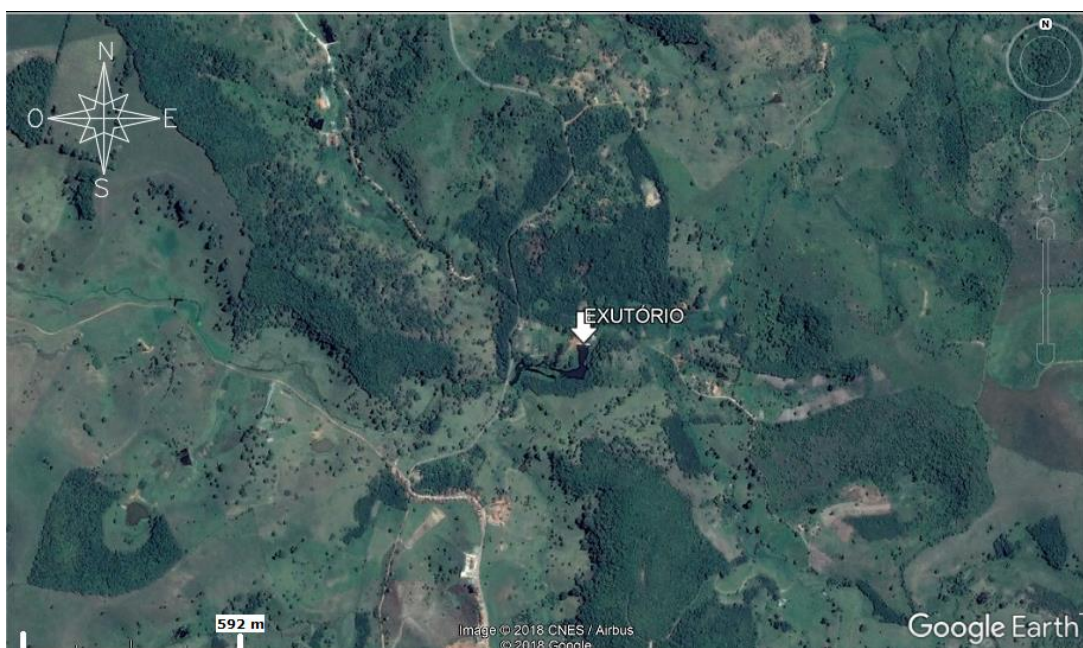
4.4 Delimitação da bacia hidrográfica

O processo de delimitação da sub-bacia hidrográfica do Rio do Canto foi baseada nos divisores topográficos, a fim de definir uma área composta por um sistema integrado de cursos d'água, de forma que toda sua vazão fosse descarregada por uma saída. Para tanto, três etapas foram realizadas, iniciando pela escolha do exutório, em seguida pela delimitação automática da sub-bacia com o uso de software de SIG e depois a representação gráfica da bacia com a delimitação manual da bacia.

4.4.1 Seleção do exutório

A seleção do exutório foi realizada com base nas curvas de nível definidas anteriormente, de maneira a selecionar a barragem do Rio do Canto, apresentada na Figura 3 retirada do software Google Earth Pro. O ponto selecionado foi definido nas coordenadas UTM 200.642,76 m L e 9.230.773,79 m S.

Figura 4 - Exutório da sub-bacia do Rio do Canto



Fonte: Google Earth Pro (2018).

4.4.2 Delimitação automática

Inicialmente foi feita a delimitação automática da bacia, através do software Global Mapper, utilizando a ferramenta *Generate Watershed*. Essa ferramenta realiza a delimitação da bacia com base em dados de elevação e parâmetros estipulados pelo usuário, como por exemplo, o ponto do exutório, gerando a delimitação da bacia, os cursos d'água e os divisores topográficos desta.

Essa delimitação é necessária para ajustar as microbacias com a projeção imaginária observada na visualização da imagem 3D e dos perfis de elevação. Contudo, as imagens geradas possuem baixa resolução e são representadas no plano, de maneira a necessitar de ajustes para melhor representação.

4.4.3 Delimitação manual

Para resolver a limitação apresentada na delimitação automática foi necessário realizar a delimitação manual em software de CAD, exportando as curvas de nível correspondentes, desenvolvidas na delimitação automática e a partir do ponto do exutório criar linhas perpendiculares e equidistantes às curvas de nível.

4.5 Características morfométricas da bacia

As características morfométricas estão associadas às características geométricas, de relevo e da rede de drenagem. Portanto, os dados referentes a essas características são apresentados nas seções a seguir, tendo sido calculados em planilha eletrônica, conforme as formulações de Paz (2004).

4.5.1 Características geométricas

As características geométricas foram resumidas nos indicadores denominados de coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade, apresentados nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente. Os valores necessários para o cálculo desses indicadores foram determinados através de software CAD, com base na sub-bacia delimitada.

$$Kc = 0,8 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde:

Kc = coeficiente de compacidade;

P = perímetro da bacia;

A = área da bacia.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde:

F = fator de forma;

A = largura média da bacia;

L = comprimento axial da bacia.

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde:

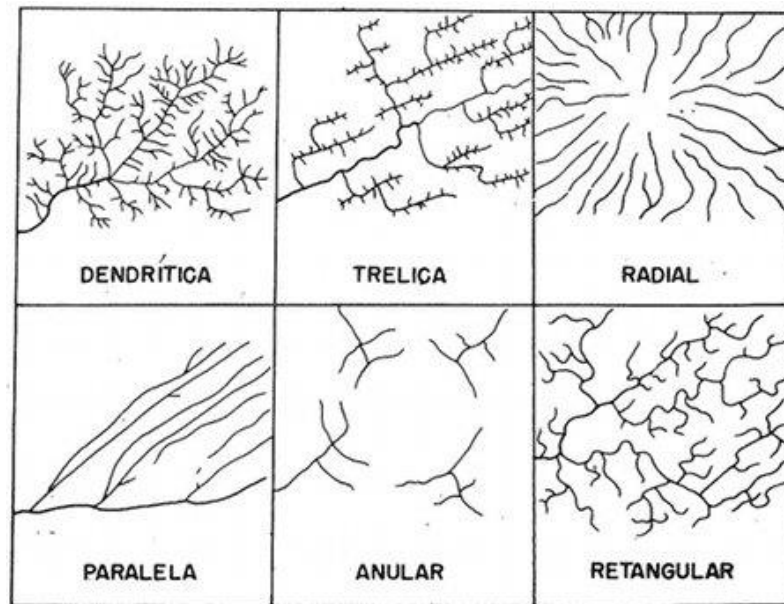
IC = índice de circularidade;

A = área da bacia;

P = perímetro da bacia.

Através dos indicadores das características geométricas é possível definir o padrão de drenagem da bacia, que é um importante elemento de diagnóstico. A classificação utilizada nesse trabalho foi definida por Parvis (1950), sendo apresentada na Figura 4.

Figura 5 – Tipos de rede de drenagem



Fonte: Parvis (1950).

4.5.2 Características de relevo

O estudo da variação de elevação do terreno da bacia com referência ao nível do mar foi realizado utilizando o perfil do curso principal da bacia (SARTORI, 2005), caracterizando sua altitude máxima, mínima e média. Esses valores são importantes, pois a velocidade de escoamento de um rio depende da declividade do seu canal fluvial.

Nesse sentido, para alcançar esses dados foi necessário inserir o perfil de elevação do curso de água principal, a cada metro, no software Global Mapper e através da ferramenta *Save/Distance/Elevation File* calcular as declividades. Em seguida, com auxílio de planilha eletrônica foi determinado o valor médio dessas declividades.

4.5.3 Características da rede de drenagem

Para definição das características da rede de drenagem foi definido o comprimento do curso de água principal, o comprimento total de todos os cursos de água e o comprimento do talvegue, todas as distâncias mensuradas em linha reta, através de software de CAD.

Sendo assim, foi calculado o índice de densidade de drenagem (Equação 4) que varia de 0,5 km/km² - para bacias com drenagem pobre - a 3,5 km/km² - para bacias bem drenadas.

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \quad (4)$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem;

Li = comprimento total de todos os cursos d'água;

A = área da bacia.

Os cursos de água foram classificados segundo sua ordem tendo sido utilizado o critério introduzido por Horton e modificado por Strahler, no qual todos os afluentes que não se ramificam são de primeira ordem, os cursos d'água que somente recebem afluentes de primeira ordem são de segunda ordem, aqueles formados pela reunião de dois ou mais cursos d'água de segunda ordem são de terceira ordem, e assim, sucessivamente.

Através da classificação dos cursos de água em sua ordem, foi definido o número de ocorrências, calculando para cada classe o logaritmo na base 10 da quantidade de ocorrências. Assim, foi definida a razão de bifurcação, que é a relação logarítmica da densidade de drenagem da bacia hidrográfica e é definida como o antilog B , o qual B é o coeficiente da reta em módulo. Sendo assim, após os cálculos dos logaritmos, estes foram plotados em um gráfico, o qual apresentou uma linha de tendência, seguindo a Equação 5.

$$Rb = 10^B \quad (5)$$

Onde:

Rb = razão de bifurcação;

B = coeficiente da reta de curso de bifurcação.

Outra característica importante é a extensão média do escoamento superficial que indica a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre o terreno da bacia – reta gerada do ponto onde ocorreu sua queda até o curso d'água mais próximo – obtendo assim uma ideia da distância média do escoamento superficial. Para calcular essa extensão, a bacia foi transformada em um retângulo de mesma área, no qual o lado maior é a soma dos comprimentos dos rios da bacia, segundo a Equação 6.

$$lm = \frac{A}{4(\sum Li)} \quad (6)$$

Onde:

lm = extensão média do escoamento superficial;

A = área da bacia;

Li = soma dos comprimentos dos rios das bacias.

Por fim, foi necessário calcular a sinuosidade do curso de água, para indicar a “quantidade” de curvas do rio, expressado segundo a Equação 7.

$$Sin = \frac{L}{Lt} \quad (7)$$

Onde:

Sin = sinuosidade do curso d’água;

L = comprimento do rio principal;

Lt = comprimento do talvegue.

4.6 Levantamento do uso e ocupação do solo

Para definir o uso e ocupação do solo da sub-bacia do Rio do Canto foram realizadas duas metodologias, denominadas de “A” e “B” e apresentadas nas seções 4.5.1 e 4.5.2.

4.6.1 Metodologia A

Na metodologia A foram utilizadas imagens Landsat 8 do ano de 2017, correspondentes à localização da sub-bacia. No software QGIS, essas imagens foram trabalhadas, gerando um mosaico a partir das imagens da banda 4, 5 e 6 para formar a composição *Red, Green e Blue* (RGB), através do comando *Raster – Miscelância – Mosaico*.

Após isso, foi necessária a aquisição do complemento *Semi Automatic Classification Plugin*, que tornou possível a visualização do uso e ocupação do solo, através das imagens RGB. O próprio software QGIS, realizou uma classificação automática de toda a área representada.

4.6.2 Metodologia B

Na metodologia B foi utilizado o software Google Earth. Por meio dele, foram criados polígonos referentes a cada tipo de uso e ocupação do solo que compreende a sub-

bacia. Após concluir toda a caracterização do terreno manualmente, o arquivo foi transportado para um software CAD, com o interesse de se adquirir cada área correspondente.

4.7 Cálculo da intensidade máxima provável

Para se estipular a magnitude das vazões de pico das cheias, utilizam-se modelos de probabilidade e estatística que relacionam a descarga máxima e as correspondentes frequências de ocorrência, mediante o estudo das séries observadas. Existem diversas funções matemáticas para esse estudo, porém, foram utilizadas apenas duas delas, de modo a optar por aquela que estipulasse a distribuição mais apropriada.

4.7.1 Método de ponderação regional

O Método de ponderação regional objetiva o preenchimento de falhas na estrutura de série histórica nos dados pluviométricos (RÚBIA, 2017). Deste modo, foi selecionado pelo menos 3 postos que possuíssem no mínimo 10 anos de dados e que se localizassem em uma região climática semelhante a área estudada, utilizando a Equação 8 para preencher as falhas.

$$y = \frac{1}{3} \left(\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right) y_m \quad (8)$$

Onde:

y = precipitação do posto a ser estimada;

x_1 , x_2 e x_3 = precipitações correspondentes ao ano que se deseja preencher;

x_{m1} , x_{m2} e x_{m3} = precipitações médias das 3 estações circunvizinhas;

y_m = precipitação média do posto y ;

As frequências relativas de ocorrência das precipitações (Equação 9) foram calculadas segundo o método de Kimbal (VILLELA E MATTOS, 1975), com base nisso foram determinados os tempos de retorno (Equação 10).

$$F = \frac{i}{n + 1} \quad (9)$$

Onde:

F = frequência;

i = posição na série crescente;
 n = número total de dados.

$$T = \frac{1}{F} \quad (10)$$

Onde:

T = tempo de retorno;

F = frequência.

4.7.2 Distribuição log-normal

A distribuição log-normal é um método estatístico que tem por objetivo determinar a probabilidade em um dado instante, variando conforme o tempo de duração (FERNANDES, 2013). No entanto, na distribuição log-normal, ao invés de trabalhar diretamente com os dados de precipitação, são considerados os logaritmos dos seus valores, a fim de se aproximar relativamente da distribuição normal.

Adotando x à variável hidrológica, tem-se que:

$$y = \log x \quad (11)$$

Onde:

y = logaritmo da precipitação;

x = precipitação.

A partir dos logaritmos, foi possível calcular a média e o desvio padrão desses valores, conforme as Equações 12 e 13.

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (12)$$

Onde:

y = média;

y_i = logaritmo da precipitação;

n = quantidade de dados.

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

Onde:

S_Y = desvio padrão;

y_i = logaritmo da precipitação;

\bar{y} = média;

n = quantidade de dados.

Para tanto, é necessária a distribuição normal reduzida, pois os valores da função densidade de probabilidade e distribuição são dados através de tabelas em função dos valores reduzidos. Deste modo, consegue-se obter uma mudança de variável de modo que a nova variável tenha um valor médio igual a zero e desvio padrão igual à unidade. Ou seja, transformar a variável x com $N(\bar{y}, S_Y)$ numa variável z com $N(0,1)$. Onde z é a variável reduzida, conforme a Equação 14.

$$z = \frac{y - \bar{y}}{S_y} \quad (14)$$

Onde:

z = variável reduzida;

y = logaritmo da precipitação;

\bar{y} = média;

s_y = desvio padrão.

Pela distribuição log-normal, a previsão da enchente de período de retorno T_r , com base no modelo de Chow (1986), exige que a fórmula seja reescrita de acordo com a Equação 15.

$$y_{T_r} = \bar{y} + k S_y \quad (15)$$

Onde:

y_{T_r} = previsão da enchente;

\bar{y} = média;

k = fator de frequência de Chow (Anexo A);

S_y = desvio padrão.

Uma vez que $y = \log x$, a variável procurada, x_{T_r} se obtém da transformação:

$$x_{Tr} = 10^{y_{Tr}} \quad (16)$$

Onde:

x_{Tr} = precipitação extrapolada em um período de retorno;

y_{Tr} = previsão de enchente.

4.7.3 Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel é capaz de definir a precipitação máxima para um determinado tempo de retorno, sendo determinada segundo uma função de forma (Equação 17), a partir de uma função de forma reduzida (Equação 18), os parâmetros α e u (Equações 19 e 20, respectivamente).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-u}{\alpha}} e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)} \quad (17)$$

Onde:

$f(x)$ = variável de Gumbel reduzida;

e = número de Euler;

x = precipitação;

α = parâmetro de escala;

u = parâmetro de posição.

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (18)$$

Onde:

e = número de Euler;

x = precipitação;

α = parâmetro de escala;

u = parâmetro de posição.

$$\alpha = \sqrt{6} \frac{S_x}{\pi} \quad (19)$$

Onde:

α = parâmetro de escala;

S_x = desvio padrão;

$$u = \bar{x} - 0,5772\alpha \quad (20)$$

Onde:

α = parâmetro de escala;

u = parâmetro de posição.

\bar{x} = média.

Segundo Righeto (1998), a distribuição de Gumbel pode ser reescrita segundo a Equação 21.

$$\frac{P(1 \text{ dia}; T) - \alpha}{u} = -\ln \left(\ln \left(\frac{1}{F(P(\text{dia}; T))} \right) \right) \quad (21)$$

Onde:

$P(1 \text{ dia}; T)$ = precipitação de 1 dia para um tempo de retorno;

α = parâmetro de escala;

u = parâmetro de posição;

T = tempo de retorno.

Sendo,

$$F(P(\text{dia}; T)) = 1 - \frac{1}{T} \quad (22)$$

4.7.4 Teste do qui-quadrado

O teste do qui-quadrado é uma adequação do ajustamento, onde se pretende determinar uma distribuição teórica razoável, de acordo com os dados disponíveis, deste modo, testando as hipóteses verdadeira (H_0) e a falsa (H_1). Esse teste compara o número real de observações com o número esperado das respectivas classes, através da Equação 23.

$$\chi_c^2 = \sum \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (23)$$

Onde:

O_j = número de observações na classe j ;

E_j = número de observações esperadas.

Ademais, a distribuição de qui-quadrado deve ser realizada determinando os graus de liberdade, segundo a Equação 24. Em complemento, a decomposição da amostra em classes deve ser tal que o efetivo teórico por classe não seja inferior a 5. Estas classes devem ser selecionadas de maneira que cada intervalo de classe, corresponda a uma probabilidade igual, segundo a Equação 25.

$$x = m - p - 1 \quad (24)$$

Onde:

x = grau de liberdade;

m = número de classes;

p = número de parâmetros a estimar a partir da amostra.

$$E_j = \frac{n}{m} \quad (25)$$

Onde:

E_j = probabilidade;

n = número de amostras;

m = número de classes.

Nesse sentido, a hipótese H_0 é rejeitada sempre que χ_c^2 foi maior que o tabelado de $\chi_{1-\alpha;v}^2$, para determinado nível de significância e grau de liberdade.

4.7.5 Método das isozonas

Este método é embasado em observações feitas pelo Engenheiro José Jaime Torrico Taborga, que constatou que havia uma tendência de semirretas relacionando a altura da chuva e a duração, e ao serem prolongadas, são interceptadas em um mesmo ponto no eixo das abcissas (SOBRINHO, 2011). Com isso, todas as regiões que apresentavam essas características seriam classificadas como isozonas.

Mediante este método é possível aferir precipitações com durações inferiores a 24 horas, que variam conforme o tempo de retorno e o tipo da isozona. Visto que, as chuvas rápidas apresentam maior intensidade, tendendo a reproduzir hidrogramas com maiores picos do que chuvas de menor intensidade e maior duração.

O Brasil apresenta oito isozonas intituladas de A, B, C, D, E, F, G e H (Anexo B). Desta maneira, através da análise da série histórica de precipitações máximas e ajuste dos dados a uma curva de distribuição de probabilidades, foram obtidas as máximas chuvas diárias, para os tempos de retorno (ALVES, 2014).

Tendo em vista que a precipitação de 1 dia é o valor acumulado entre os intervalos de observação, foi necessário estipular a precipitação de 24 horas, referente ao total máximo durante um período contínuo de 24 horas. Esta proporção foi obtida a partir da análise de pluviômetros e observou-se que é praticamente constante e independe do período de retorno. Torrico (1974) obteve a correção de 1,095, para o Brasil, representado, portanto pela Equação 26.

$$P_{24h} = 1,095 \times P_{1dia} \quad (26)$$

Onde:

P_{24h} = precipitação de 24 horas;

P_{1dia} = precipitação de 1 dia.

Por conseguinte, foi identificada a isozona referente à área estudada e, através dos dados das isozonas (Anexo B), foram obtidos os valores das relações de chuvas entre 1 dia e 24 horas, para um dado período de retorno, e as chuvas entre 1 hora e 6 minutos. Com isso, as chuvas de 24 horas foram multiplicadas pelas correções dos respectivos tempos de duração.

Por intermédio desses resultados, plotaram-se gráficos correlacionando linearmente cada duração, em escala logarítmica, com suas respectivas chuvas intensas, em escala aritmética, e a partir da equação de correlação linear desses gráficos foi obtido as chuvas intensas de durações intermediárias relativas a cada tempo de retorno.

4.8 Estimativa do coeficiente de escoamento com base em características das superfícies

Para a determinação do escoamento superficial, foi adotado o método do número CN – SCS (Soil Conservation Service), desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA). Sendo assim, foi fundamental analisar as características predominantes do solo relacionadas à permeabilidade, capacidade de infiltração, retenção pelas depressões e cobertura vegetal. Os valores para o número de curva (CN) variam de 1 a 100 e estão associados a diversos fatores fisiográficos como classe de solo, cobertura vegetal e umidade do solo antecedente ao evento.

O valor de CN foi obtido considerando a ponderação dos coeficientes de diferentes superfícies de acordo com a caracterização do uso e ocupação do solo, especificado no Anexo C. O CN ponderado foi alcançado pela soma de todas as porcentagens de áreas multiplicadas pelos seus respectivos valores de CN.

4.9 Tempo de concentração

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é representado por equações empíricas, sendo selecionadas conforme a adequação da área de estudo. A formulação selecionada foi a da *Califórnia Culverts Practice* (Equação 27), pois possui fácil obtenção de dados e é aplicada para bacias rurais com áreas maiores que 1 km².

$$tc = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad (27)$$

Onde:

tc = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

4.10 Determinação da precipitação efetiva e vazão

O método SCS é o mais aplicado para a determinação da vazão de áreas que variam de 2 km² a 5.000 km² (TUCCI, 1993). Ele é embasado no conceito de hidrograma unitário que resulta de um escoamento superficial de 1 mm de chuva com uma determinada duração.

Para a obtenção do hidrograma unitário é necessária a análise de precipitações e vazões da bacia em estudo. Usualmente, esses dados não estão disponíveis, como é o caso da área em estudo deste trabalho, portanto são aplicadas fórmulas empíricas, para se determinar o hidrograma sintético.

A partir deste hidrograma, então, são extraídas a vazão de pico e a forma do hidrograma baseado em um triângulo com as características físicas da bacia.

O embasamento físico deste método é representado pela expressão da Equação 28. Contudo, devido às perdas associadas à infiltração inicial, retenção pelas depressões do terreno e cobertura vegetal, essa formulação pode ser expressa segundo a Equação 29.

$$\frac{\text{volume infiltrado}}{\text{capacidade máxima de absorção}} = \frac{\text{precipitação efetiva}}{\text{precipitação total}} \quad (28)$$

$$\frac{P - Q - Ia}{S - Ia} = \frac{Q}{P} \quad (29)$$

Onde:

P = a precipitação acumulada;

Q = o deflúvio ou precipitação efetiva;

Ia = abstrações iniciais;

S = capacidade máxima de absorção de água.

Vale ressaltar que, segundo Pinto (2003), as abstrações iniciais correspondem a 20% da capacidade máxima de absorção da água, podendo reescrever a Equação 29 como representada pela Equação 30.

$$Q = \frac{(P - 0,20 S)^2}{P + 0,80 S} \quad (30)$$

Onde:

Q = precipitação efetiva;

P = precipitação acumulada;

S = capacidade máxima de absorção

O método enfatiza que somente existirá escoamento quando a precipitação acumulada for superior às abstrações iniciais. A capacidade máxima de absorção de água é obtida na CN, na seção 4.7, de acordo com a Equação 31.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (31)$$

Onde:

S = capacidade máxima de absorção;

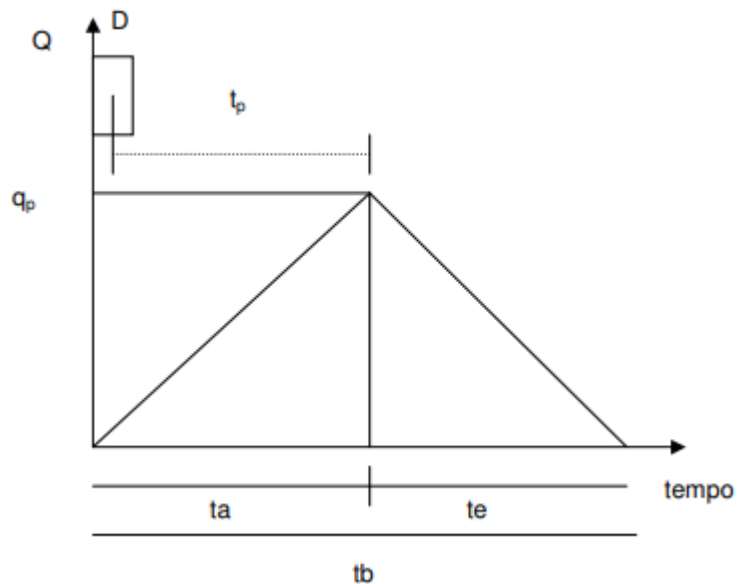
CN = número de curva.

4.10.1 Hidrograma unitário

Para reduzir as dificuldades na elaboração do hidrograma unitário de uma bacia hidrográfica, foi elaborado um modelo que simplifica o processo de estimativa de vazões e tempo de pico para hidrógrafa produzida por uma dada precipitação efetiva (RIGHETTO, 1998).

A ideia principal é considerar o hidrograma com formato triangular, facilitando o entendimento e o cálculo da vazão de pico. Mediante essa simplificação, ele ficou conhecido pela sigla HUT que significa Hidrograma Unitário Triangular, associando parâmetros de vazão e tempo de pico às características físicas da bacia.

Figura 6 - Representação de um hidrograma triangular e seus parâmetros



Fonte: Pinto (1973).

Por intermédio da área do triângulo (Figura 5), determina-se o volume de escoamento superficial V_e (Equação 5).

$$V_e = \frac{1}{2} Q_p (t_p + t_r) \quad (32)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico unitária;

t_p = tempo de pico;

tr = tempo de descida.

Através da determinação do tempo de concentração, foi possível definir o tempo de duração para uma precipitação unitária e o tempo transcorrido desde o centro de massa da precipitação até o hidrograma atingir o seu máximo (tempo de pico), através das Equações 33 e 34, respectivamente.

$$D = 0,133tc \quad (33)$$

Onde:

D = duração;

tc = tempo de concentração.

$$tp = \frac{2}{3}tc \quad (34)$$

Onde:

tp = tempo de pico;

tc = tempo de concentração.

Com isso, é possível determinar a duração do escoamento superficial (tempo de base) e o tempo necessário para se atingir a vazão de pico (tempo de ascensão) através das Equações 35 e 36, respectivamente.

$$tb = \frac{8}{3}tp \quad (35)$$

Onde:

tb = tempo de base;

tp = tempo de pico.

$$ta = tp + \frac{D}{2} \quad (36)$$

Onde:

ta = tempo de ascensão;

tp = tempo de pico;

D = duração.

Nesse sentido, é possível determinar a vazão de pico (Q_p), ou a vazão resultante de precipitação pela Equação 37.

$$Q_p = 2 \frac{A \cdot h_e}{t_b} \quad (37)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico;

A = área da bacia;

h_e = lâmina unitária escoada (1 mm);

t_b = tempo de base

4.10.2 Hidrograma de projeto

O hidrograma de projeto baseia-se nas premissas do HUT e da chuva de projeto. Sendo, esta última, trabalhada em intervalos menores que o tempo de concentração, portanto, o tempo de concentração é subdividido em vários intervalos cumulativos de tempo. Ademais, caso a chuva tenha duração superior ao tempo de concentração da bacia, o hidrograma tenderá a um patamar com flutuações da intensidade de precipitação.

Diante das chuvas intensas calculadas para cada intervalo de tempo, associado a um tempo de retorno, determina-se, pelo método CN-SCS, a precipitação efetiva acumulada e pela diferença entre os valores consecutivos encontra-se a precipitação efetiva – que deverá ser aplicada para determinação do hidrograma de projeto final.

O cálculo das coordenadas do hidrograma é feito pelo método da convolução (COSTA, 2011). Sendo definida como uma operação matemática de duas funções P e q , dando origem a uma terceira função Q , na forma matricial da Equação 38. Conquanto, para a obtenção dos valores das precipitações efetivas foram consideradas as perdas iniciais e a retenção pelas depressões do terreno e cobertura vegetal. E, as vazões foram obtidas mediante as equações das retas de ascensão e recessão do hidrograma unitário triangular (Figura 14)

$$[Q] = [q]x[P] \quad (38)$$

Onde:

Q = escoamento superficial espaçados no intervalo de tempo;

P = variações das precipitações efetivas;

q = vazões.

4.11 Altura da lâmina d'água

Para estimar a altura da lâmina d'água no rio é necessária a utilização do levantamento topográfico de nove seções transversais do rio. A equação de Manning (Equação 39) é aplicada para se determinar parâmetros de área e perímetro molhados correspondentes à vazão máxima de cada trecho, em função da altura de lâmina d'água.

$$\frac{Qn}{\sqrt{I}} = A Rh^{\frac{2}{3}} \quad (39)$$

Onde:

Q = vazão máxima;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

I = declividade;

A = área da seção molhada;

Rh = raio hidráulico.

4.12 Delimitação das áreas de preservação permanente

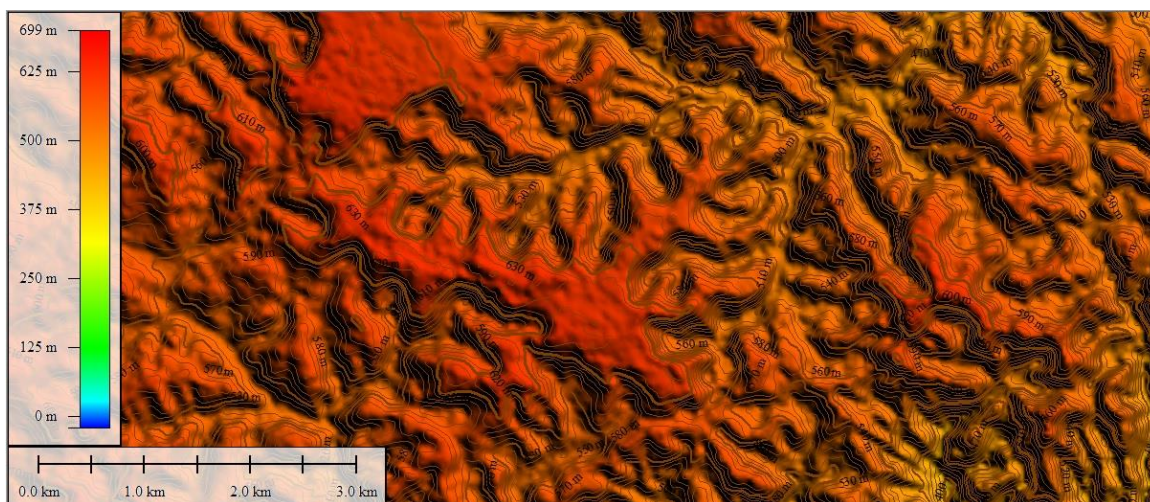
Para delimitar as áreas de preservação permanente foi utilizada uma plataforma CAD, a fim de representar as larguras das seções do Rio do Canto e suas respectivas margens de conservação seguindo os requisitos da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. As larguras das seções se mantiveram no intervalo entre 10 e 50 metros, portanto conforme a disposição em Lei, as faixas, desde a borda da calha do rio, correspondente à área de preservação foi de 50 metros.

5 RESULTADOS

5.1 Levantamento topográfico

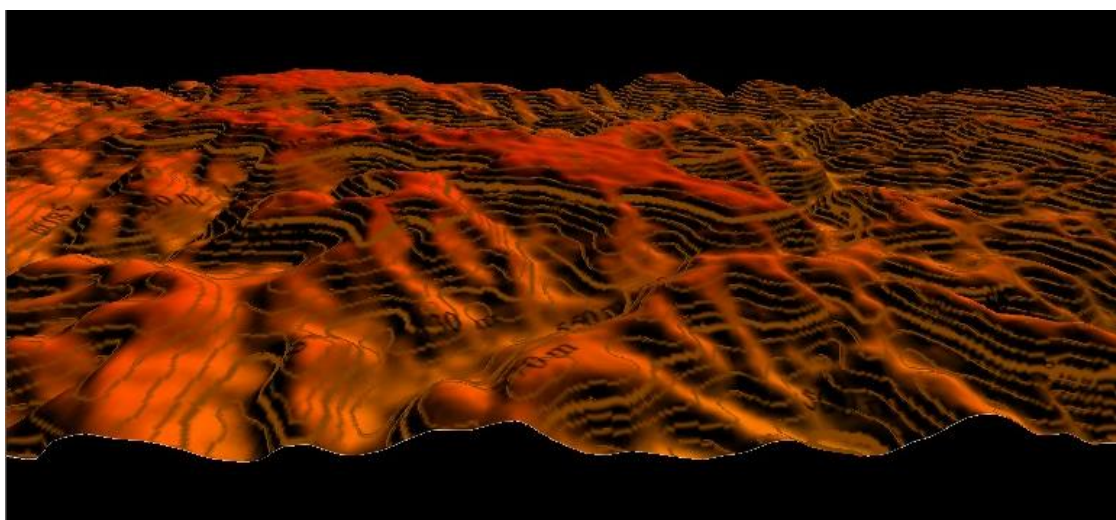
A definição das curvas de nível na macroárea inicialmente selecionada geraram imagens que representam os níveis de elevação a cada 10 metros (Figura 6), para melhor representação o perfil topográfico foi representado em três dimensões (3D) segundo a Figura 7.

Figura 7 - Levantamento topográfico gerado da macroárea inicial



Fonte: Global Mapper (2015)

Figura 8 - Levantamento topográfico da macroárea inicial em 3D



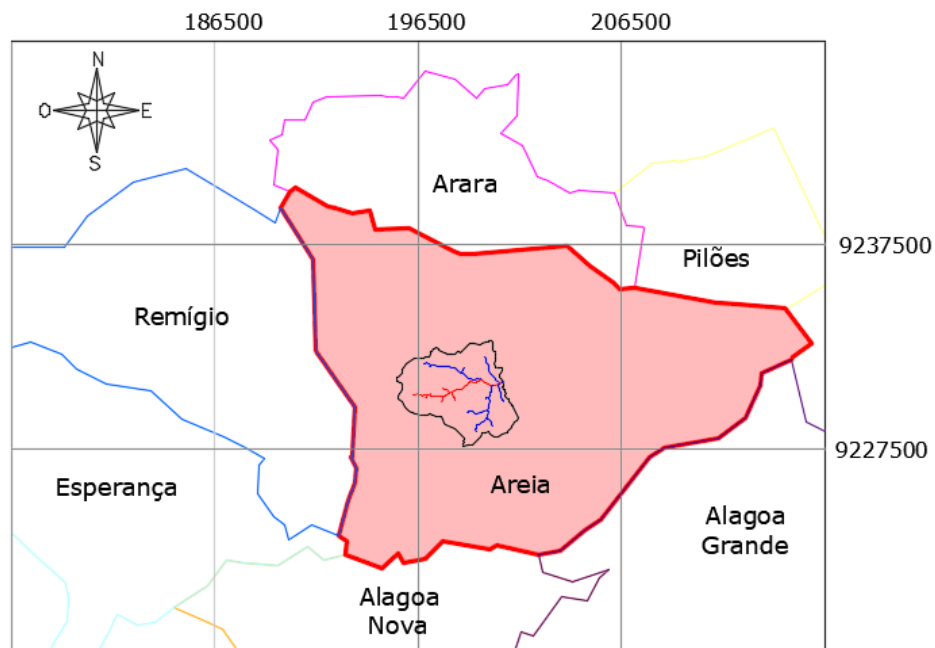
Fonte: Global Mapper (2015).

5.2 Delimitação da bacia hidrográfica

Através da delimitação automática da área da sub-bacia do Rio do Canto, foi verificado que a sub-bacia possui uma área de 18,778 km² e um perímetro de 27,272 km. Contudo, devido a distorção que o software Global Mapper possui, essa delimitação serviu apenas para definição dos divisores de água. Assim, a delimitação manual da sub-bacia corrigiu as distorções e alcançou o resultado de que a sub-bacia do Rio do Canto possui realmente uma área de 18,827 km² e perímetro de 19,659 km.

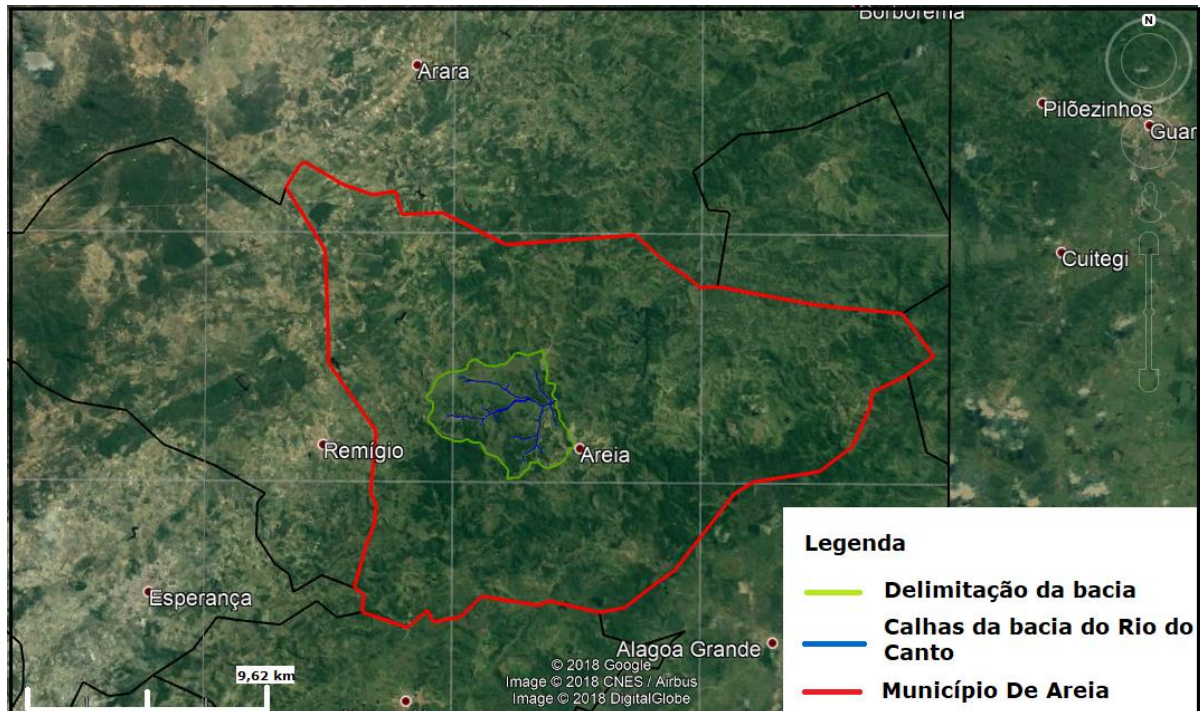
As imagens com a delimitação e localização da sub-bacia do Rio do Canto estão apresentadas nas Figuras 8 e 9, que representa a sub-bacia em coordenada plana – UTM – e em imagem de satélite fornecida pelo software Google Earth Pro.

Figura 9 - Representação da localização da bacia hidrográfica do Rio do Canto



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 10 - Localização da bacia hidrográfica

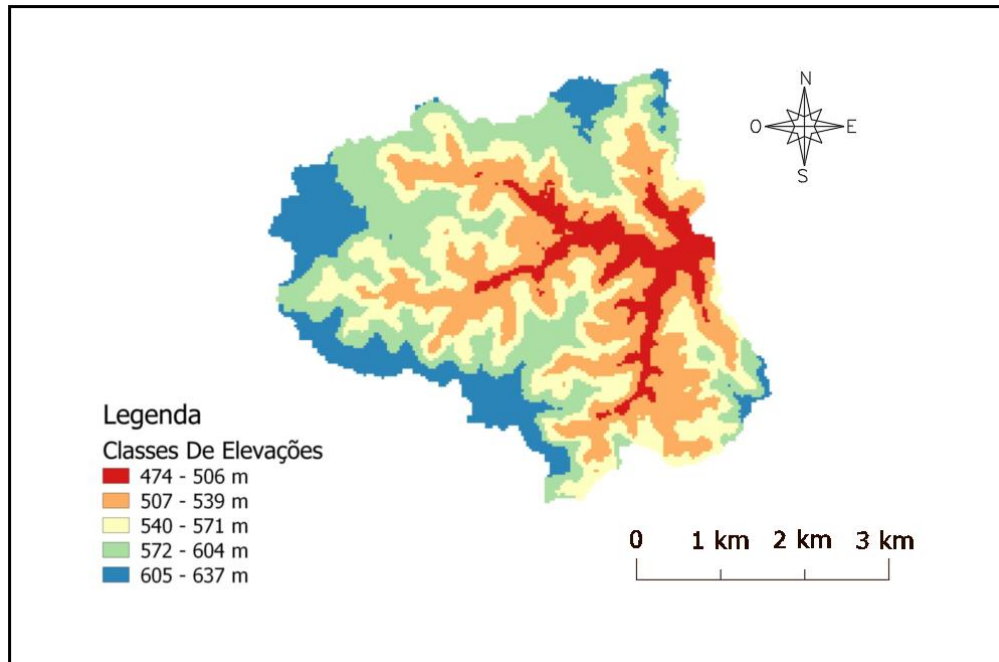


Fonte: Google Earth Pro (2018).

5.2.1 Caracterização altimétrica

Com base nos dados anteriormente definidos é possível construir um mapa hipsométrico, que pode representar as elevações da sub-bacia e também o perfil longitudinal do curso de água principal com a relação da elevação em função do comprimento. Nesse sentido, o mapa hipsométrico está representado na Figura 10 e o perfil de elevação do curso de água principal na Figura 11. Vale ressaltar que o ponto mais alto do curso de água principal é de 558 m, o menor é 477 m e o comprimento de 4,88 km.

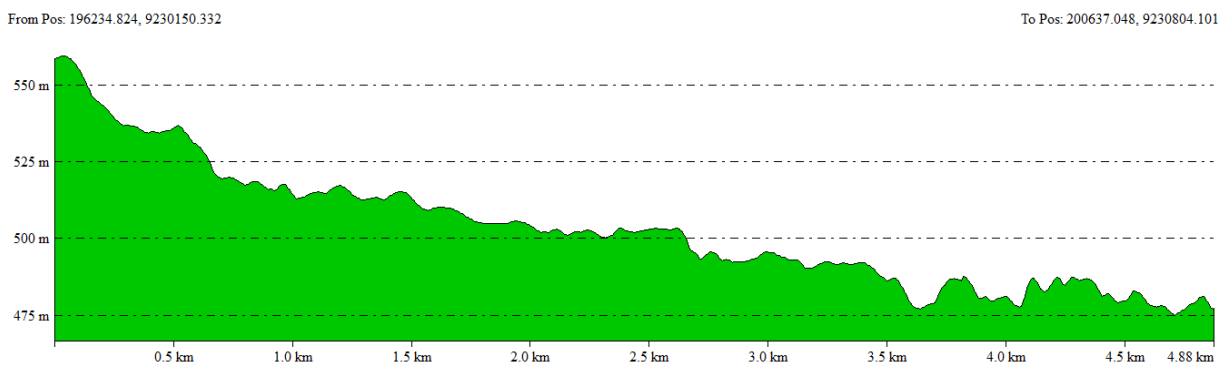
Figura 11 - Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do Rio do Canto



Fonte: Elaborado pela autora.

Através do estudo de altitudes da área da bacia, foi possível observar que as cotas altimétricas variam entre 474 e 637 metros, sendo classificadas em cinco classes, com intervalo de 32 metros. As áreas entre 605 e 637 metros, de cor azul, encontram-se as maiores altitudes, ocupando a menor porcentagem da área. A classe com cotas altimétricas entre 572 e 604, de cor verde, compreende a representação que mais abrange a área da bacia. E, as cores vermelha, laranja e amarelo – com variação entre 474 e 571 – exprimem as altitudes que melhor definem os cursos de água da sub-bacia, indicando devidamente o sentido do escoamento.

Figura 12 - Perfil longitudinal do curso de água principal da sub-bacia do Rio do Canto



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.2 Caracterização morfométrica

Quanto a caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio do Canto, os dados e indicadores referentes as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características morfométricas

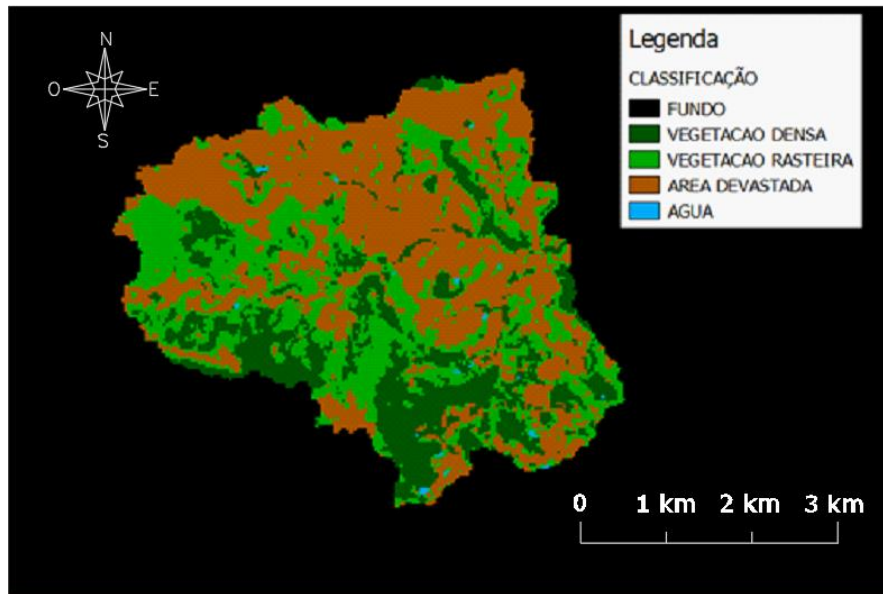
Características Geométricas		
Área total (A)	18,827	km ²
Perímetro total (P)	19,659	km ²
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,2679	-
Fator de forma (F)	0,6879	-
Índice de circularidade (IC)	0,6129	-
Padrão de drenagem	Dendrítica	-
Características de Relevo		
Altitude máxima	558	m
Altitude mínima	477	m
Altitude média	516	m
Amplitude de altitude	84	m
Declividade do curso d'água principal	0,0485	m/m
Características da rede de drenagem		
Comprimento do curso d'água principal	5,27	km
Comprimento total dos cursos d'água	17,26	km
Comprimento do talvegue	4,811	km
Densidade de drenagem	0,916	km/km ²
Ordem dos cursos d'água	3	-
Razão de bifurcação	1,936	-
Extensão média do escoamento superficial	0,273	km
Sinuosidade do curso d'água	1,095	-

Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 Uso e ocupação do solo

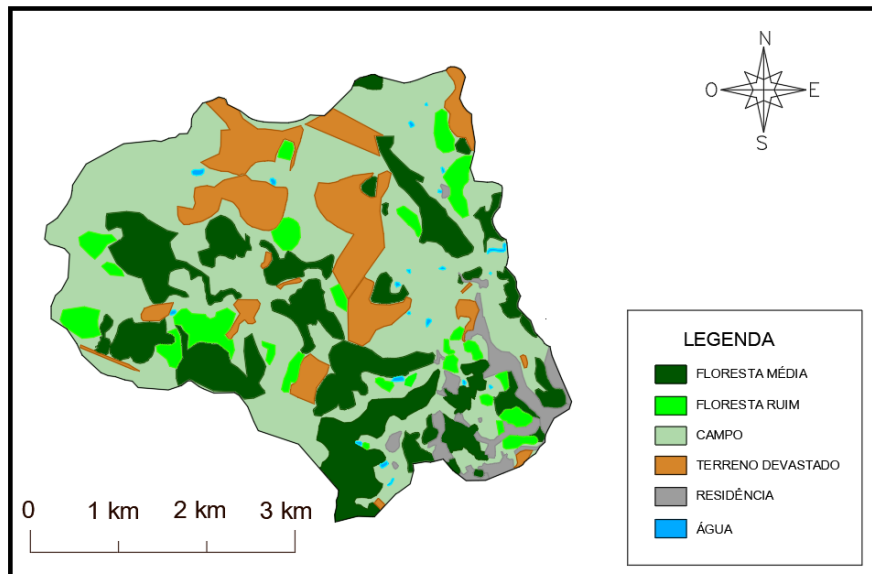
A definição do uso e ocupação do solo está apresentada nas Figuras 12 e 13, as quais exibem o mosaico determinado pelo software QGIS – Metodologia A – e Google Earth Pro – Metodologia B -, respectivamente. Vale ressaltar que foram realizadas duas metodologias para fins de comparação, tendo sido adotada a Metodologia B, pois embora, o QGIS executasse o procedimento automaticamente, as imagens Landsat 8 não forneciam os dados suficientes para se adquirir as informações necessárias, ou seja, a visualização dificultou o reconhecimento de algumas características indispensáveis para o estudo.

Figura 13 - Classificação de uso de ocupação de solo através do QGIS



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - Classificação de uso e ocupação do solo, através do Google Earth



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a caracterização de uso e ocupação do solo, a área foi subdividida em vegetação média, vegetação ruim, campo, terreno devastado, água e residências de acordo com a Figura 13. Por meio dessa identificação, foi possível calcular as áreas de cada uma dessas classes, bem como as respectivas porcentagens em relação à área total da bacia, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Área de classificação do uso e ocupação do solo

Tipo de área	Área (km²)	Porcentagem (%)
Floresta média	4,6	24,34
Floresta ruim	1,2	6,35
Campo	9,6	50,79
Terreno devastado	2,5	13,23
Água	0,1	0,53
Residência	0,9	4,76
Total	18,9	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Através do método CN-SCS foi determinado o CN da área em estudo, utilizando os dados do Anexo C, referente ao grupo hidrológico D e condição de umidade II. Foi possível identificar um CN de 81,17 e os cálculos dessa ponderação se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 - Ponderação do valor do CN

Divisões	Áreas (m²)	Áreas (%)	Classificação	CN	Área x CN
Floresta média	4594,27	24,38	Condições médias	79	362946,94
Floresta ruim	1192,55	6,33	Condições ruins	83	98981,63
Campo	9557,87	50,71	Condições boas	78	745513,93
Terreno devastado	2533,67	13,44	Plantio em linha reta	94	238164,68
Residencial	914,48	4,85	-	87	79559,88
Água	54,17	0,29	-	100	5416,61
Total	18847,00	100	-		1530583,67
CN ponderado			81,17		

Fonte: Elaborado pela autora.

É importante ressaltar que a área referente ao espelho de água possui CN igual a 100, pois nessa área a precipitação não possui contato com o solo, ou seja, não tem infiltração, portanto a precipitação contribui em sua totalidade com o volume da lâmina de água.

5.4 Determinação da intensidade máxima provável

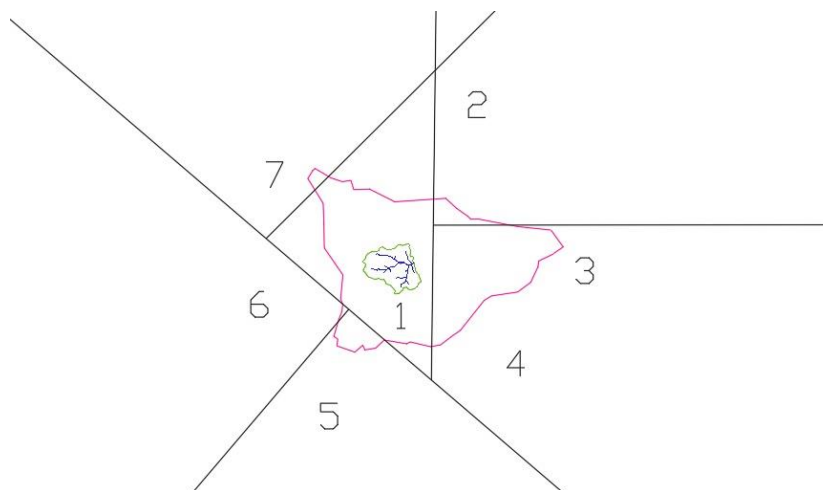
Para a determinação da intensidade máxima provável foi necessário um estudo pluviométrico da região, no qual, através de informações geográficas, foram encontrados diversos postos na localidade da bacia em estudo, entretanto nem todas estavam em uso. Foram, então, selecionados sete postos que possivelmente exerciam influência sobre a área da sub-bacia do Rio Canto, expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Identificação dos pluviômetros próximos a área da sub-bacia

Posto	Municípios	Código da estação	Latitude	Longitude
1	Areia	635030	6°58'0.12"	35°42'0.00"
2	Areia	635063	6°58'0.12"	35°40'60.00"
3	Areia	635064	6°58'60.00"	35°40'60.00"
4	Alagoa Grande	735033	7° 3'0.00"	35°37'60.00"
5	Alagoa Nova	735030	7° 4'0.12"	35°46'60.00"
6	Remígio	636031	6°53'0.00"	36° 1'60.00"
7	Solânea	635047	6°46'60.00"	35°52'60.00"

Fonte: Hidroweb (2016).

Por meio das coordenadas de cada pluviômetro foi determinada a área de influência de cada um deles ligando suas posições, traçando perpendiculares na mediana de cada reta ligante e unindo-as em suas intersecções. Realizando a determinação das áreas de influência dos pluviômetros (Figura 14), foi possível identificar que toda a área da sub-bacia do Rio do Canto estava inserida na área de influência do pluviômetro 1. Deste modo, foi aplicado o método de ponderação regional para preenchimento de falhas, a fim de apresentar as precipitações máximas anuais, para 30 anos, entre 1951 a 1980 (Tabela 5). A precipitação média calculada foi de 28,16 mm e o desvio padrão da série foi de 22,11 mm.

Figura 15 - Áreas de influência dos pluviômetros

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5 - Precipitações máximas anuais para um período de 30 anos

Ano	$P_{máx}$ (mm)	Ano	$P_{máx}$ (mm)	Ano	$P_{máx}$ (mm)
1951	77,0	1961	70,4	1971	59,9
1952	49,5	1962	40,2	1972	82,8
1953	58,3	1963	58,8	1973	57,2
1954	76,5	1964	105,7	1974	90,4
1955	56,5	1965	54,7	1975	69,4
1956	115,0	1966	55,3	1976	74,0
1957	81,9	1967	79,4	1977	37,5
1958	85,0	1968	48,2	1978	139,4
1959	64,4	1969	88,8	1979	48,9
1960	57,9	1970	87,8	1980	84,2

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir das precipitações máximas estabelecidas na Tabela 5, foi realizada uma classificação em ordem crescente destas e calculados seus logaritmos na base 10. Podendo então determinar a média aritmética, o desvio padrão e o valor z, a fim de viabilizar que esses dados sejam extrapolados para tempos de retorno genéricos. Os dados da distribuição da distribuição log-normal são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição log-normal

Período de retorno	2	5	10	15	20	25	50	100
F (1dia; T)	0,5	0,8	0,9	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99
k	0	1,2	1,28	1,5	1,65	1,75	2,05	2,33
x_{Tr}	1,84	1,99	2,00	2,03	2,05	2,07	2,11	2,14
y_{Tr}	68,71	98,66	101,06	107,99	112,99	116,45	127,47	138,69
Média	1,84							
Desvio Padrão	0,13							

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: k = fator de frequência de Chow; x_{Tr} = precipitação extrapolada em um período de retorno; y_{Tr} = previsão de enchente.

As precipitações também foram distribuídas pelo Método de distribuição de Gumbel e estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuição de Gumbel

Período de retorno	2	5	10	15	20	25	50	100
α	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54
u	61,72	61,72	61,72	61,72	61,72	61,72	61,72	61,72
F (1dia; T)	0,50	0,80	0,90	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99
P (1dia; T) (mm)	68,14	88,02	101,18	108,60	113,80	117,80	130,14	142,38
Média	71,83							
Desvio Padrão	22,48							

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: α = parâmetro de escala; β = parâmetro de posição; F (1dia; T) = função de forma; P (1dia; T) = precipitação.

A fim de observar qual das distribuições apresentou melhor adequação aos dados utilizados, foi feito o teste qui-quadrado (Tabelas 8 e 9). Tendo sido verificado que a distribuição de Gumbel foi a melhor, apresentando um menor valor para χ^2 total.

Tabela 8 - Teste qui-quadrado para a distribuição log-normal

Esperado	5,36	8,44	7,46	4,67	2,33	1,03	0,44
Observado	5	9	7	6	1	1	1
χ^2	0,02	0,04	0,03	0,38	0,76	0,00	0,73
χ^2 total	1,96						

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: χ^2 = parâmetro de ajustamento; χ^2 total = soma dos parâmetros.

Tabela 9 - Teste qui-quadrado para a distribuição de Gumbel

Esperado	5,29	8,79	7,49	4,41	2,19	1,01	0,45
Observado	5	9	7	6	1	1	1
χ^2	0,02	0,00	0,03	0,57	0,65	0,00	0,66
χ^2 total	1,94						

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: χ^2 = parâmetro de ajustamento; χ^2 total = soma dos parâmetros.

De posse dos dados da Tabela 7, as precipitações máximas de um dia, foram, então, corrigidas para chuvas de 24 horas e, em seguida, foram plotados os gráficos das isozonas (Apêndice A), conforme os coeficientes de desagregação do Anexo B. Então, mediante a obtenção das equações (Apêndice A), das linhas de tendência referentes à cada tempo de retorno, pôde-se estipular as precipitações máximas e as intensidades, para tempos inferiores a 24 horas, apresentadas nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10 - Precipitação máxima pelo método das isozonas

TR	P 1dia	P 24h	P 12h	P 10h	P 8h	P 6h	P 1h	P 30min	P 25min	P 20min	P 15min	P 10min	P 5min
5	98,66	108,03	74,27	68,65	63,02	57,39	43,32	25,14	22,10	19,07	16,04	13,01	9,98
10	101,06	110,67	75,88	70,07	64,27	58,46	43,94	25,55	22,49	19,42	16,36	13,30	10,23
15	107,99	118,25	80,90	74,68	68,46	62,25	46,71	27,20	23,95	20,69	17,44	14,19	10,94
20	112,99	123,72	84,53	78,00	71,47	64,94	48,62	28,35	24,97	21,59	18,21	14,83	11,45
25	116,45	127,51	87,08	80,33	73,59	66,85	49,99	29,16	25,69	22,21	18,74	15,27	11,8
50	127,47	139,58	95,01	87,58	80,15	72,73	54,16	31,67	27,92	24,17	20,43	16,68	12,93
100	138,69	151,87	103,07	94,93	86,80	78,66	58,32	33,34	29,18	25,02	20,86	16,69	12,53

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: P = precipitação para diferentes tempos de retorno.

Tabela 11 - Intensidade de chuva para diferentes tempos de retorno

TR	I 1dia	I 24h	I 12h	I 10h	I 8h	I 6h	I 1h	I 30min	I 25min	I 20min	I 15min	I 10min	I 5min
5	0,069	0,075	0,103	0,114	0,131	0,159	0,722	0,838	0,884	0,954	1,070	1,301	1,996
10	0,070	0,077	0,105	0,117	0,134	0,162	0,732	0,852	0,900	0,971	1,091	1,330	2,047
15	0,075	0,082	0,112	0,124	0,143	0,173	0,778	0,907	0,958	1,035	1,163	1,419	2,188
20	0,078	0,086	0,117	0,130	0,149	0,180	0,810	0,945	0,999	1,079	1,214	1,483	2,290
25	0,081	0,089	0,121	0,134	0,153	0,186	0,833	0,972	1,027	1,111	1,250	1,527	2,360
50	0,089	0,097	0,132	0,146	0,167	0,202	0,903	1,056	1,117	1,209	1,362	1,668	2,586
100	0,096	0,105	0,143	0,158	0,181	0,218	0,972	1,111	1,167	1,251	1,390	1,669	2,506

Fonte: Elaborado pela autora.

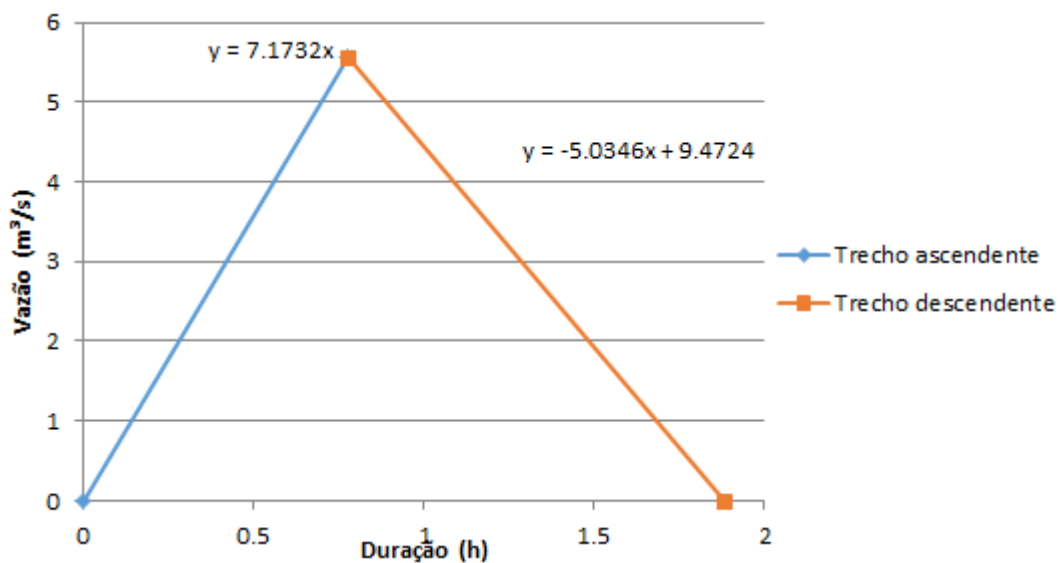
Nota: I = intensidade de chuva para diferentes tempos de retorno.

5.5 Cálculo da precipitação efetiva e vazão de projeto

Para obtenção do tempo de retorno, foram utilizados os dados de comprimento do talvegue da sub-bacia do Rio do Canto de 4,81 km e a cota do exutório de 84,11 m obtidos através de plataforma CAD, resultando em um tempo de concentração de 63,50 minutos (Equação 27).

Com base nas formulações das Equações 33, 34, 35, 36 e 37 (apresentadas nas seções 4.8 e 4.9.1), foi verificado que o tempo de pico foi de 0,71 h, o tempo de duração da precipitação unitária de 0,14 h, o tempo de base de 1,88 h, o tempo de ascensão 0,78 h e a vazão de pico de 5,57 m³/s. A partir desses dados foi possível plotar o hidrograma unitário (Figura 15) para a situação da sub-bacia do Rio do Canto.

Figura 16 - Hidrograma unitário da sub-bacia do Rio do Canto



Fonte: Elaborado pela autora.

Para estabelecer o hidrograma de projeto, o tempo de concentração foi subdividido em 10 intervalos iguais de 6,3 minutos. Com isso, foram determinadas as intensidades para cada tempo de duração, com um tempo de retorno de 50 anos. E, pelo método SCS, as precipitações efetivas foram estipuladas, conforme a tabela 12.

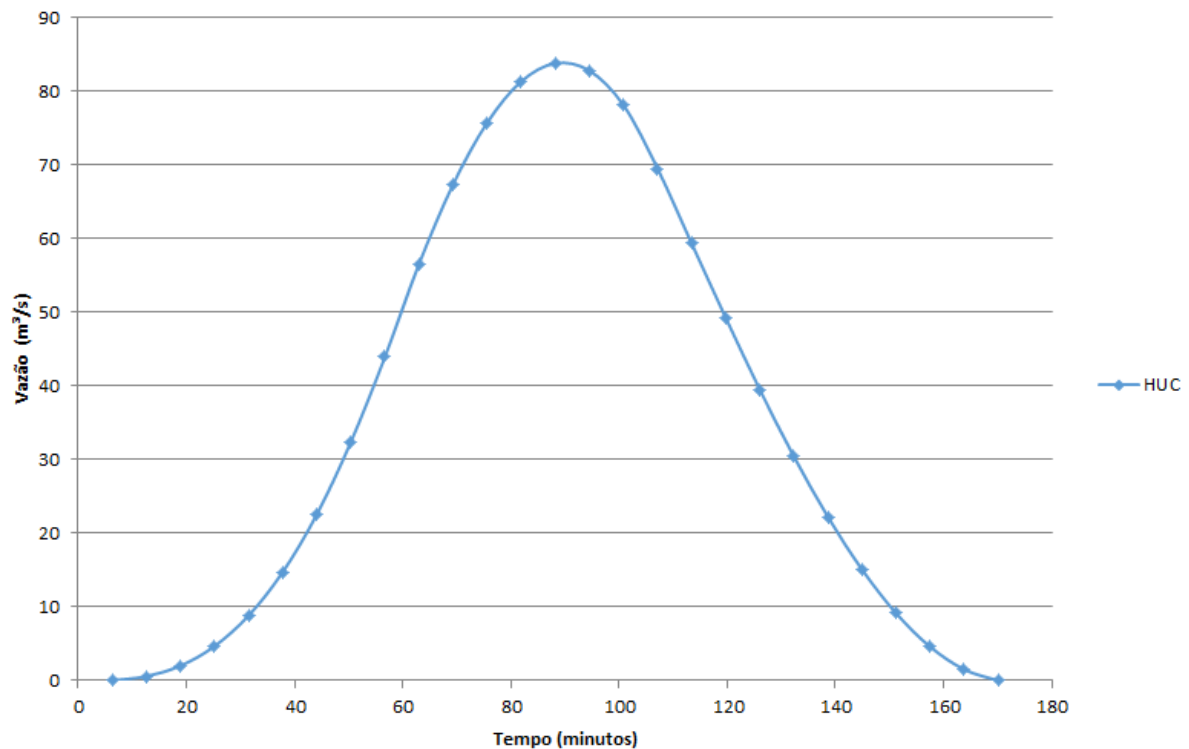
Tabela 12 - Precipitações efetivas da sub-bacia do Rio do Canto

Tempo (min)	I (mm/min)	P_{total}	CN	S	P_e	ΔP
6,3	132,42	13,90	81,17	58,92	0,07	0,07
12,6	88,70	18,63	81,17	58,92	0,71	0,64
18,9	74,12	23,35	81,17	58,92	1,90	1,19
25,2	66,84	28,07	81,17	58,92	3,53	1,63
31,5	62,46	32,79	81,17	58,92	5,52	2,00
37,8	59,55	37,52	81,17	58,92	7,82	2,30
44,1	57,47	42,24	81,17	58,92	10,38	2,56
50,4	55,91	46,96	81,17	58,92	13,15	2,77
56,7	54,69	51,68	81,17	58,92	16,11	2,96
63,0	53,72	56,41	81,17	58,92	19,23	3,12

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: I = intensidade; P_{total} = precipitação acumulada; CN = número da curva; S = capacidade máxima de absorção; P_e = precipitação efetiva; ΔP = precipitação efetiva acumulada.

Com as variações das precipitações efetivas foram obtidas as ordenadas do hidrograma final, por meio do método da convolução (Apêndice B). Deste modo, foi possível plotar o hidrograma de projeto, obtendo uma vazão máxima de 83,82 m³/s, conforme a Figura 16.

Figura 17 - Hidrograma de projeto da sub-bacia do Rio do Canto

Fonte: Elaborado pela autora.

5.6 Determinação da altura de lâmina de água

Para estimar a altura de lâmina d'água foram traçados nove seções ao longo do Rio do Canto (Figura 17). Em seguida, foi utilizada a equação de Manning (Equação 39), que é subdividida em parâmetros de escoamento (vazão, coeficiente de rugosidade e declividade do fundo) e geométricos (área e perímetro molhados da seção). Com base na sua formulação foi utilizada a vazão máxima determinada no hidrograma de projeto e o coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,035 para condutos naturais de rios típicos (Anexo D).

Figura 18 - Localização das seções definidas ao longo do Rio do Canto



Fonte: Google Earth (2018).

As seções possuem formas irregulares e os parâmetros geométricos variam em função da altura de lâmina d'água. Portanto, foram determinadas áreas e perímetros molhados, referentes a cada seção, em função de diferentes alturas de lâmina d'água, variando de 0 a 3 metros, em intervalos de 0,2. Em função desses dados, em planilha eletrônica, foram ajustadas equações quadráticas para o emprego da equação de Manning.

A vazão máxima de projeto foi estipulada no exutório, ou seja, toda a bacia contribui para esse ponto. Destarte, foi estabelecida a vazão unitária, com o objetivo de se definir o valor correspondente ao comprimento contribuinte para cada seção. Por fim, foi definida a

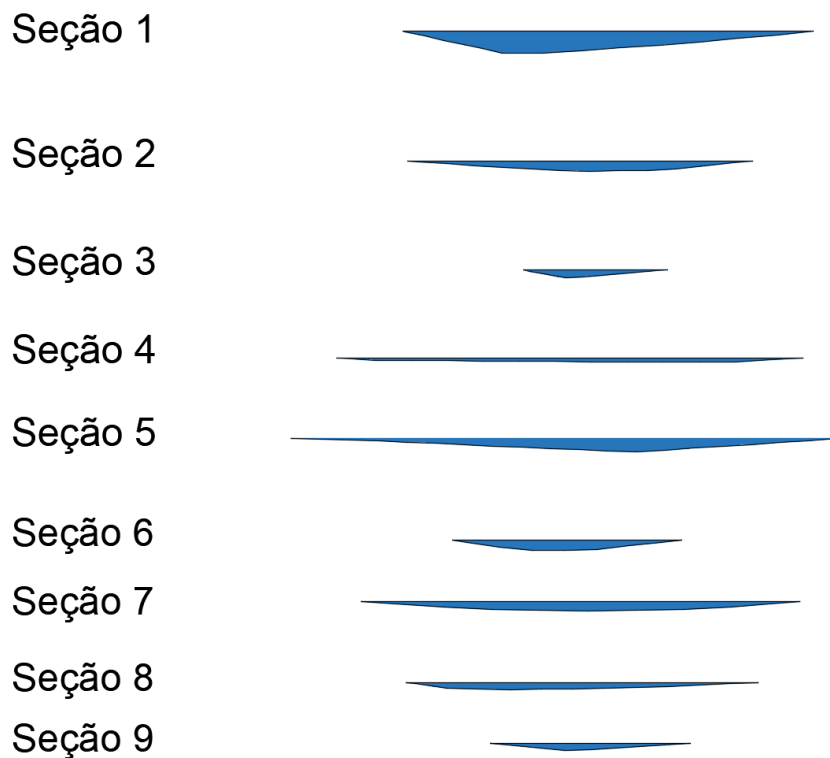
altura da lâmina d'água correspondente a cada escoamento segundo a Tabela 13. Uma representação gráfica das alturas de lâminas de água nas seções é apresentada na Figura 18.

Tabela 13 - Parâmetros equação de Manning

Seção	Comprimento (m)	Vazão (m³/s)	Declividade (m/m)	Altura da lâmina d'água (m)
1	12667,68	61,67	0,00489187	1,92
2	12503,83	60,87	0,03208052	0,90
3	4271,71	20,80	0,09295685	0,71
4	4146,13	20,18	0,02501134	0,38
5	3842,94	18,71	0,00921311	1,20
6	8058,21	39,23	0,02316686	0,97
7	7871,94	38,32	0,00698456	0,88
8	3519,49	17,13	0,00502980	0,65
9	2840,54	13,83	0,02018002	0,64

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19 - Imagem dos cortes transversais das seções

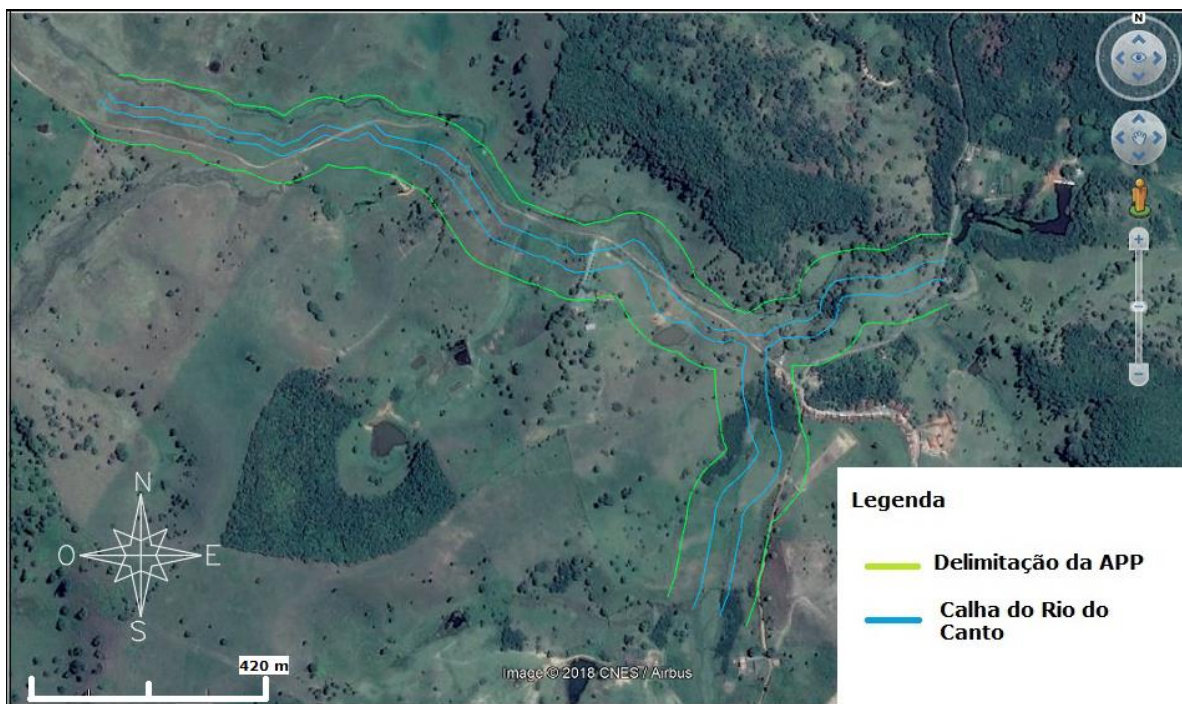


Fonte: Elaborada pela autora.

5.7 Delimitação da área de preservação permanente

Conforme as alturas de lâmina de água em cada seção, foi possível determinar as suas respectivas larguras, que apresentaram uma variação entre 12,77 e 49,03 metros. Contudo, a margem referente à APP manteve um valor constante de 50 metros no entorno da calha do rio. Mediante a Figura 18, observou-se nitidamente que não há conservação da área, conforme os requisitos do Código Florestal.

Figura 20 - Delimitação da área de preservação permanente



Fonte: Google Earth (2018).

6 DISCUSSÃO

A metodologia utilizada para efetuar o levantamento topográfico proporcionou a agilidade na aquisição das informações, permitindo assim, a extração automatizada de características locais, em formato digital, facilitando a manipulação dos dados, a conversão do formato dos arquivos e a interação entre softwares.

Além disso, aderiu eficiência à execução, visto que não foi necessária a utilização de mapas ou pesquisas em campo. Destarte, os resultados obtidos se enquadraram perfeitamente nas necessidades, diante da pouca disponibilidade de dados topográficos da área, que fossem atualizados e de boa precisão.

A princípio, foi feita uma análise topográfica da área, com o intuito de delimitar a bacia hidrográfica. Entretanto, a delimitação automática da bacia gerou uma imagem no plano, não reproduzindo a topografia do terreno. Portanto, optou-se pela delimitação manual da bacia, a fim de uma melhor representação. Através da rede de drenagem apresentada nas Figuras 8 e 9, é possível observar que o escoamento segue para o ponto de barragem, conforme a escolha do exutório.

Na Tabela 1, foram expostas as características geométricas e, pela área, trata-se de uma microbacia, pois compreende uma área entre 1 e 10.000 km² (PAZ, 2004). Aspectos como o fator de forma, o coeficiente de compacidade e o índice de circularidade indicam uma forma mais aproximada de um círculo, inferindo que a bacia possui uma tendência mediana a gerar enchentes (PINTO, 2003).

O posicionamento dos cursos de água (Figuras 8 e 9) e a forma circular da bacia indicam um padrão de drenagem determinado como dendrítico, que é um padrão de forma arborescente, ou que se associa às nervuras de uma folha vegetal. Típico de áreas cobertas por rochas horizontais, não fraturadas e isotrópicas em relação à erosão pluvial e fluvial.

Acerca das características de relevo (Tabela 1), pode-se inferir que a bacia é inclinada, com uma declividade média do curso d'água principal de 4,85%, associada à grande velocidade de escoamento observada durante os períodos chuvosos, decorrente da presença de degradação das estruturas presentes na área. A amplitude de altitude de 84 metros é pouco distanciada horizontalmente, justificando a elevada inclinação.

As características de drenagem (Tabela 1) concernem à drenagem natural do terreno e os parâmetros encontrados denotam uma bacia bem drenada, ou seja, com um menor tempo de concentração e alta velocidade de escoamento. Embora a área da bacia não apresente

degradações significativas, a topografia do terreno retrata alguns picos de elevação, explicando os resultados atingidos.

A obtenção e interpretação desses dados preconiza o estudo topográfico otimizado associado à caracterização do solo, a fim de uma melhor interpretação dos dados pluviométricos. Entretanto, as características morfométricas não concederam as informações suficientes para o desenvolvimento desse estudo.

Com o interesse de aprofundar o estudo de altitudes da área da bacia, foi constituído a sua classificação hipsométrica (Figura 10) e o perfil longitudinal do rio principal da bacia do Rio do Canto (Figura 11). A declividade apresenta-se bem íngreme no decorrer de todo o rio, simbolizando uma heterogeneidade em sua seção. Entretanto, pela interpretação desses dados de elevação, pode-se identificar a localização dos trechos críticos, onde o escoamento se dá com maior velocidade.

O uso e ocupação do solo foram caracterizados em função da análise das imagens fornecidas pelo software Google Earth Pro, sendo classificadas as áreas que melhor representassem a região e que pudessem interferir no processo de infiltração, baseada nas categorias já existentes (Anexo C). Portanto, através da Figura 13, é importante destacar o percentual de 50,79% de campo, ou seja, vegetação rasteira. Com base nas referências das imagens geradas no Google Earth, foi feita uma análise dos meses antecedentes, e, embora esta área tenha sido classificada como campo, em boa parte do ano ela se apresenta como terreno devastado, decorrente da expressiva ocupação agrícola (modalidade econômica da região) e do desmatamento somado ao efeito das secas.

A classificação referente às florestas médias, de 24,38%, reflete uma considerável preservação ambiental na sub-bacia. A sua localização em regiões de alta declividade é vantajosa, visto que a presença de vegetação favorece a infiltração e retarda o escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio do Canto. Ademais, 17,99% referente à soma das categorias de terreno devastado e residências são consideráveis, tendo em vista o surgimento de loteamentos e o avanço de áreas de plantio na região.

Mediante, os valores obtidos na Tabela 2, calculou-se o número da curva. Segundo a EMBRAPA (Anexo C), o solo predominante no município de Areia é classificado como Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (PE). Conforme a FUNCEME, essa classe compreende solos não hidromórficos e com argila de atividade baixa, com textura arenosa ou média, frequentemente cascalhenta. Além disso, são moderadamente ou bem drenados. Conquanto, seguindo a metodologia (Anexo C), o solo foi enquadrado no grupo D, solos argilosos (30% a 40% de argila total) com muito baixa capacidade de infiltração,

gerando a maior proporção de escoamento superficial. Quando às condições de umidade antecedente ao evento foi adotada a condição II (Anexo C): Situação média na época das cheias – chuvas nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm. Com isso, foi determinado o valor de CN ponderado de 81,17, indicando um maior potencial de geração escoamento.

Diante das imagens de satélite foi observado que não há nascentes fixas que contribuam para a drenagem do Rio do Canto, desta maneira seu escoamento é intermitente, ou seja, possui fluxo somente em períodos de chuvas e cheias. Em vista disso, suas margens não são bem definidas e não há disponibilidade de informações do controle de vazão. Desse modo, a fim de se determinar a altura de lâmina d'água se fez necessário um estudo pluviométrico da região. E, diante da indisponibilidade de dados e da análise das áreas de influência dos pluviômetros, foi possível observar que houve a possibilidade da utilização de apenas um pluviômetro. Sendo assim, não se pôde trabalhar com o Método de Thiessen, nem com o método das isoetas. Entretanto, o método de ponderação regional, através do preenchimento de falhas, forneceu uma série histórica completa com base em dados de outros pluviômetros próximos à região. Ademais, a precipitação média na bacia foi considerada como uniforme e igual a da região do posto, sendo calculada pelo Método Aritmético, ou seja, através da média dos valores de máxima precipitação diária registrada em cada mês.

O estudo remete a uma microbacia, portanto, foram coletados os dados pluviométricos de 30 anos, entre 1951 e 1980. Com o intuito de distribuir e extrapolar os dados obtidos da série histórica viu-se a necessidade de aplicar métodos estatísticos. A distribuição log-normal foi aplicada em virtude da simplicidade apresentada em sua metodologia. Entretanto, o método de Gumbel é o mais utilizado em estudos de vazões máximas de projeto, devido a sua precisão, e, conforme o teste qui-quadrado, este apresentou uma menor dispersão.

O Método das Isozonas foi executado a fim de desagregar as chuvas máximas de um dia, associada a cada tempo de retorno, em durações menores. Com a extensão da série histórica selecionada, este método permitiu um maior detalhamento, visto que foi possível determinar as equações das precipitações máximas específicas da região da sub-bacia do Rio do Canto – apresentando uma grande vantagem sobre os métodos que fornecem uma correção padrão para todas as regiões do país.

O Método do SCS contribuiu para a transformação da precipitação em vazão. Através disso, a fim de estabelecer a altura de lâmina d'água, foi definida uma área de interesse de modo a delimitar as áreas de preservação permanente. Nesse sentido, devido ao fato do Rio do Canto não possuir as margens bem definidas, conceituando a heterogeneidade

descrita no perfil longitudinal, o trecho foi subdividido em nove seções, obtendo assim, uma melhor representação.

Por fim, por meio da caracterização de uso e ocupação do solo, foi possível observar que 17,99% da área, referente a terrenos devastados e residência, apresentou relevância sobre os limites das áreas de preservação permanente (Figura 20). Esta invasão é decorrente da ausência de um zoneamento da área e de um plano de desenvolvimento do município, além da carência de conscientização, em forma de campanhas e palestras, da população. Contudo, diante da Lei nº 12.651, deve ser feita uma avaliação da área invadida, de modo a aplicar as devidas sanções previstas.

Figura 21 - Representação da invasão dos limites de preservação



Fonte: Google Earth (2018).

7 CONCLUSÃO

Tendo em vista a metodologia adotada e a análise dos resultados adquiridos, pode-se concluir que, o emprego de sistemas de informação geográfico foi imprescindível no desenvolvimento deste trabalho. Visto que, as ferramentas do Global Mapper mostraram facilidade no seu manuseio, disponibilizando assim, mapas topográficos, automatização na delimitação de bacias hidrográficas, além do fornecimento de perfis longitudinais e transversais dos cursos de água da área de estudo. Ademais, como forma de complementar as informações necessárias, o software QGIS, mesmo que com uma plataforma mais complexa, forneceu mecanismos automatizados para se obter dados hipsométricos e análise de uso e ocupação do solo.

A bacia adquirida pelo método de delimitação manual foi escolhida como representativa, portanto, toda a sua caracterização morfométrica, compondo a geometria, o relevo e a rede de drenagem, pôde ser realizada. Apresentando padrões de uma microbacia de formato circular, dendrítica, inclinada, de relevo consideravelmente ondulado, com curso principal de água indicando alta declividade, além de ser bem drenada e com uma velocidade de escoamento representativa.

Foi elaborado um estudo de precipitações máximas, a fim de transformar estes dados em vazão. E, com isso, pode-se observar que, as chuvas rápidas apresentam maior intensidade, tendendo a reproduzir hidrogramas com maiores picos do que chuvas de menor intensidade e maior duração. Além do mais, caso a chuva tenha duração superior ao tempo de concentração da bacia, o hidrograma tenderá a um patamar com flutuações da intensidade de precipitação. Entretanto, justifica-se a aplicação do Método das Isozonas, para desagregação das precipitações máximas diárias em menores durações, e, o tempo de concentração ser adotado como tempo de base para a realização do hidrograma unitário triangular.

Para a delimitação das áreas de preservação permanente foram obtidas as alturas de lâmina de água de cada seção analisada. Contudo, pelo desfecho dos resultados, notou-se que a área de preservação permanente foi ocupada, contrariando as conformidades descritas no Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diante disso, cabe aos órgãos públicos e ambientais competentes avaliarem a área invadida, a fim de aplicar as sanções adequadas, podendo ser multas, reposição da área preservada e possíveis demolições.

Os conflitos entre a urbanização e as APP's refletem a história e o desenvolvimento socioeconômico da região. Portanto, devem ser implantados projetos que abranjam os contornos e conflitos entre as políticas públicas urbanas e as legislações ambientais, além de

regularizar o uso-ocupação do solo, urbanização, gestão e proteção de áreas ambientais, priorizando o planejamento sócio-ambiental.

8 REFERÊNCIAS

ALENCAR, D. B.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. **INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM UMA MICROBACIA DO DISTRITO FEDERAL**. Artigo – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Distrito Federal – DF, 2006.

ALVES, F. M. **DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO DE EQUAÇÕES IDF EM REGIÕES DESPROVIDAS DE PLUVIÓGRAFOS UTILIZANDO O MÉTODO DAS ISOZONAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte – CE, 2014.

ALVES, I. **O NOVO CÓDIGO FLORESTAL**. Juazeiro do Norte – CE, 2013. Disponível em: <<http://isabellealves.jusbrasil.com.br/artigos/111697485/o-novo-codigo-florestal>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

ARAÚJO, S. M. V. G. **AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A QUESTÃO URBANA**. Disponível em: <<http://bd.camara.leg.br>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

BARROS, M. J. **ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE AREIA-PB: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO AMBIENTAL**. Dissertação (Pós Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 2005.

BRANDÃO, I. K. **ESTUDO HIDROLÓGICO: DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UMA BACIA URBANA SITUADA NOS BAIRROS ANTÔNIO VIEIRA E JARDIM GONZAGA, MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE/CE**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal Ceará, Juazeiro do Norte – CE, 2017.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HIDROWEB: SISTEMAS DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS: SÉRIES HISTÓRICAS**. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br/Hidroweb.asp?Tocltem=1080%TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>. Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL. Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Decreto. **APROVAÇÃO DO CÓDIGO FLORESTAL**. Disponível em: <www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-23793-23-janeiro-1934-498279-norma-pe.html>. Acesso em: 30 maio 2018.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em 30 maio 2018.

BRASIL. Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965. **CÓDIGO FLORESTAL**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=311>. Acesso em: 30 maio 2018.

BRASIL. Lei nº 6938, de fevereiro de 1982. **POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 30 maio 2018.

CARNEIRO, P. H., MARTINZ, D. D. G., STUDART, T. M. C., CAMPOS, J. N. C. **EMPREGO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NA DETERMINAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS: UM INSTRUMENTO ADICIONAL PARA O ENSINO DE HIDROLOGIA**. Porto Alegre: ABRH, 2002.

COSTA, T.; LANÇA, R. **HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE**. Universidade de Algarve, Portugal, 2011.

CHOW, V. T. **OPEN CHANNEL HYDRAULICS**. New York, 1986.

DIAS, O. **SIG E GPS NA GESTÃO AMBIENTAL**. 2007. Minas Gerais, 2012. Artigo (Graduação) – Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, Minas Gerais, 2012.

EMBRAPA – **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/>>. Acesso em 02 jun 2018.

FABIÃO, A. **OS ECOSISTEMAS RIBERINHOS**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Esquema-de-uma-bacia-hidrografica-JT_fig2_259575661>. Acesso em: 07 de jul de 2018.

FERNANDES, F. S. **TESTES DE AJUSTE A DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS E MÉTODOS PARA ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS EM ANÁLISE DE FIABILIDADE**. Dissertação – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 2013.

FUNCEME – **FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/575-podz%C3%B3licos-vermelho-amarelo-eutr%C3%B3fico>>. Acesso em 02 jun 2018.

GLERIANI, J. M.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S. **O DESAFIO DA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**. Artigo (Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – MG, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010.
Disponível em: <cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/areia/panorama>. Acesso em 01 jun 2016.

ISA – Instituto Socioambiental, IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **O AUMENTO NO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA EM 2013.** Disponível em: <[/www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/aumento_no_desmatamento_na_amazonia_em_2013_vs_final.pdf](http://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/aumento_no_desmatamento_na_amazonia_em_2013_vs_final.pdf)>. Acesso em: 20 fev 2018.

LINS, J. R. P. E.; MEDEIROS, A. N. **MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL NATIVA LENHOSA DO ESTADO DA PARAÍBA.** João Pessoa, 1994.

MCCUEN, R. H. **HYDROLOGIC ANALYSIS AND DESIGN.** Austrália: Editora Prentice Hall, 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – **PLANO DE AÇÃO PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO E DAS QUEIMADAS: CERRADO.** Brasília: MMA, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA: DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE AREIA.** Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15851>>. Acesso em 02 fev 2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2007. **ATLAS DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO DO BRASIL.** Brasília.

MORAIS, F. **ESTUDOS DOS FATORES PEDOGEOMORFOLÓGICOS INTERVENIENTES NA INFILTRAÇÃO EM ZONAS DE RECARGA NO COMPLEXO METAMÓRFICO BAÇÃO, MINAS GERAIS.** Tese (Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2007.

MORAIS, J. Z. **O ASSOREAMENTO DOS LAGOS IGAPÓ I E II NA CIDADE DE LONDRINA – PR.** Londrina, 2014. Dissertação (Bacharel em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina – PR, 2014.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. R.; SILVA, E. **USO DO GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE CONFLITO DE USO DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ESPÍRITO SANTO**. Artigo – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – MG, 2005.

PARVIS, M. **DRAINAGE PATTERN SIGNIFICANCE IN AIRPHOTO IDENTIFICATION OF SOILS AND BEDROCKS**. Washington: Photogrammetric Engineering, 1950.

PAZ, A. R. **HIDROLOGIA APLICADA**. Caxias do Sul, 2004.

PINTO, N.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **HIDROLOGIA BÁSICA**. Paraná: Blucher, 2003.

RIGHETTO, A. M. **HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS**. Escola de Engenharia de São Paulo, São Paulo – SP, 1998.

RODRIGUES, A. B. J. **ELEMENTOS DE HIDROLOGIA APLICADA A ESTUDO DE GRADUAÇÃO**. 2007. Disponível em:
<www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/pdf>. Acesso em 17 maio 2018.

RÚBIA, Y. M.; KOLHS, W.; MARIA NOVAIS DE OLIVEIRA, T. **USO DE DIFERENTES MÉTODOS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS EM ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**. Artigo (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2017.

SAFADI, M. **RETROSPECTIVA DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2016**. Disponível em: <<http://www.goiasmais20.com.br/retrospectiva-da-conservacao-ambiental-2016/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; MAIA GENOVEZ, A. **CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DE SOLOS BRASILEIROS PARA A ESTIMATIVA DA CHUVA EXCEDENTE COM O MÉTODO DO SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DOS ESTADOS UNIDOS PARTE 1: CLASSIFICAÇÃO**. Artigo (Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2005.

SILVA, M. **DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA RESERVA ECOLÓGICA DA MATA DO PAU FERRO – AREIA/PB**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2007.

SOBRINHO, V. F. APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS ISOZONAS NA OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF DE CHUVAS INTENSAS DOS MUNICÍPIOS DE JUAZEIRO DO NORTE, BARBALHA E CRATO – CE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte – CE, 2011.

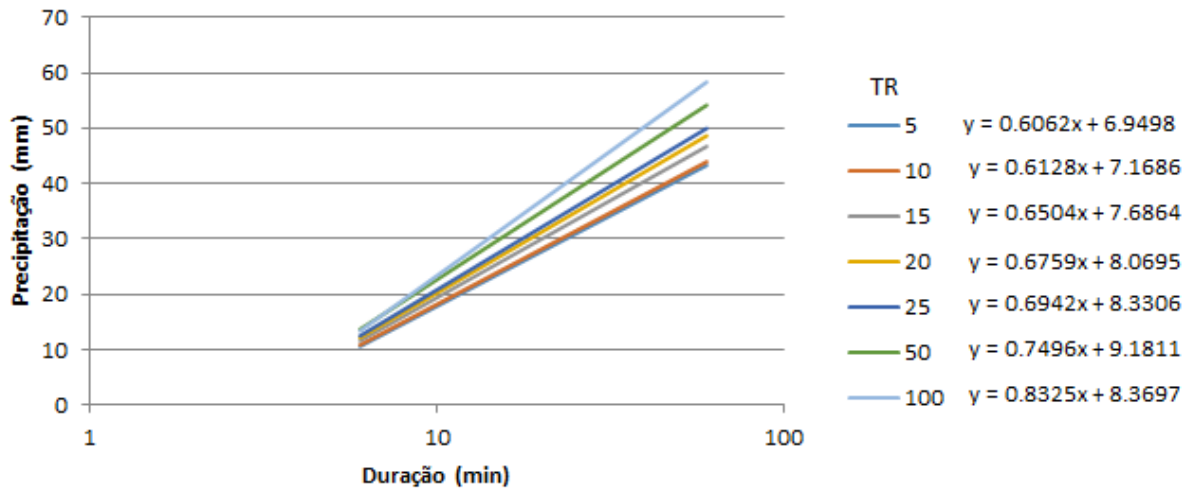
TORRICO, J. J. T. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS. Rio de Janeiro: Transcon, 1974.

TUCCI, C. HIDROLOGIA – CIÊNCIA E APLICAÇÃO. Porto Alegre: ABRH, 1993.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. HIDROLOGIA APLICADA. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, 1975.

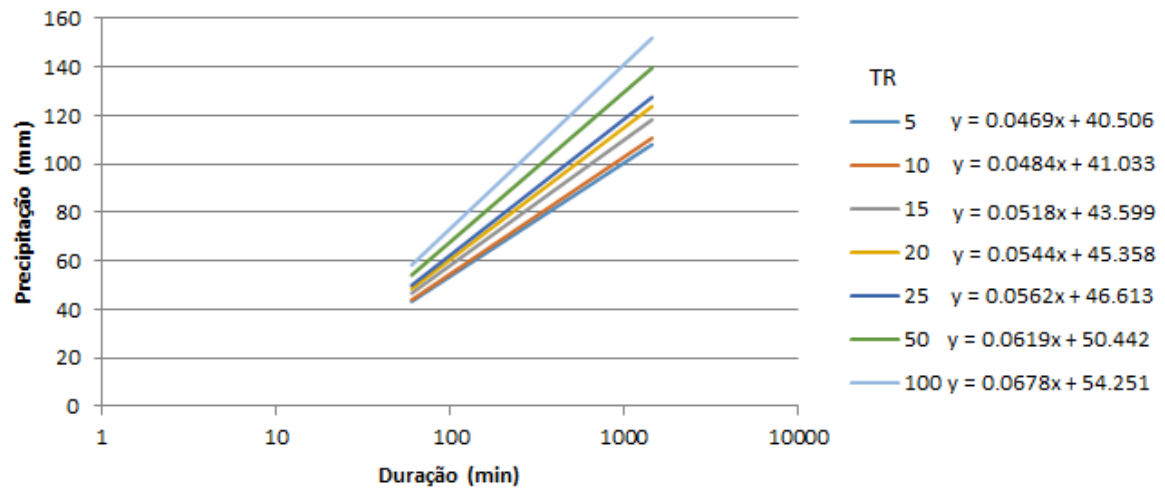
APÊNDICE A – Método das isozonas

Relação das precipitações máximas aos intervalos de duração entre 6 min e 1 hora.



Fonte: Elaborada pelo autora.

Relação das precipitações máximas aos intervalos de duração entre 1 hora e 24 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B – Cálculo do número de ordenadas do hidrograma de projeto e montagem das matrizes

0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.18542	0.63814	0.0735499	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.62961	1.18542	0.6381407	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.99507	1.62961	1.1854223	0.638141	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.29937	1.99507	1.6296112	1.185422	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.55543	2.29937	1.9950708	1.629611	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.77294	2.55543	2.2993687	1.995071	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.95927	2.77294	2.5554315	2.299369	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1201	2.95927	2.772942	2.555431	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3.1201	2.9592697	2.772942	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3.1201031	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0	0
0	0	0	3.120103	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0	0
0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355	0
0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814	0.07355
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542	0.63814
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961	1.18542
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507	1.62961
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937	1.99507
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543	2.29937
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294	2.55543
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927	2.77294
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201	2.95927
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1201

Fonte: Elaborada pelo autor

**APÊNDICE B – Cálculo do número de ordenadas do hidrograma final e
montagem das matrizes**

qp	Q
0.75319	0.0554
1.50637	0.59143
2.25956	2.02031
3.01274	4.67659
3.76593	8.83553
4.51912	14.7263
5.2723	22.5418
5.24334	32.3883
4.7147	43.9279
4.18607	56.5714
3.65744	67.348
3.1288	75.7498
2.60017	81.3564
2.07154	83.8153
1.54291	82.8285
1.01427	78.1415
0.48564	69.5354
0	59.3736
	49.2749
	39.537
	30.4449
	22.23
	15.0828
	9.16218
	4.60177
	1.51524
	0

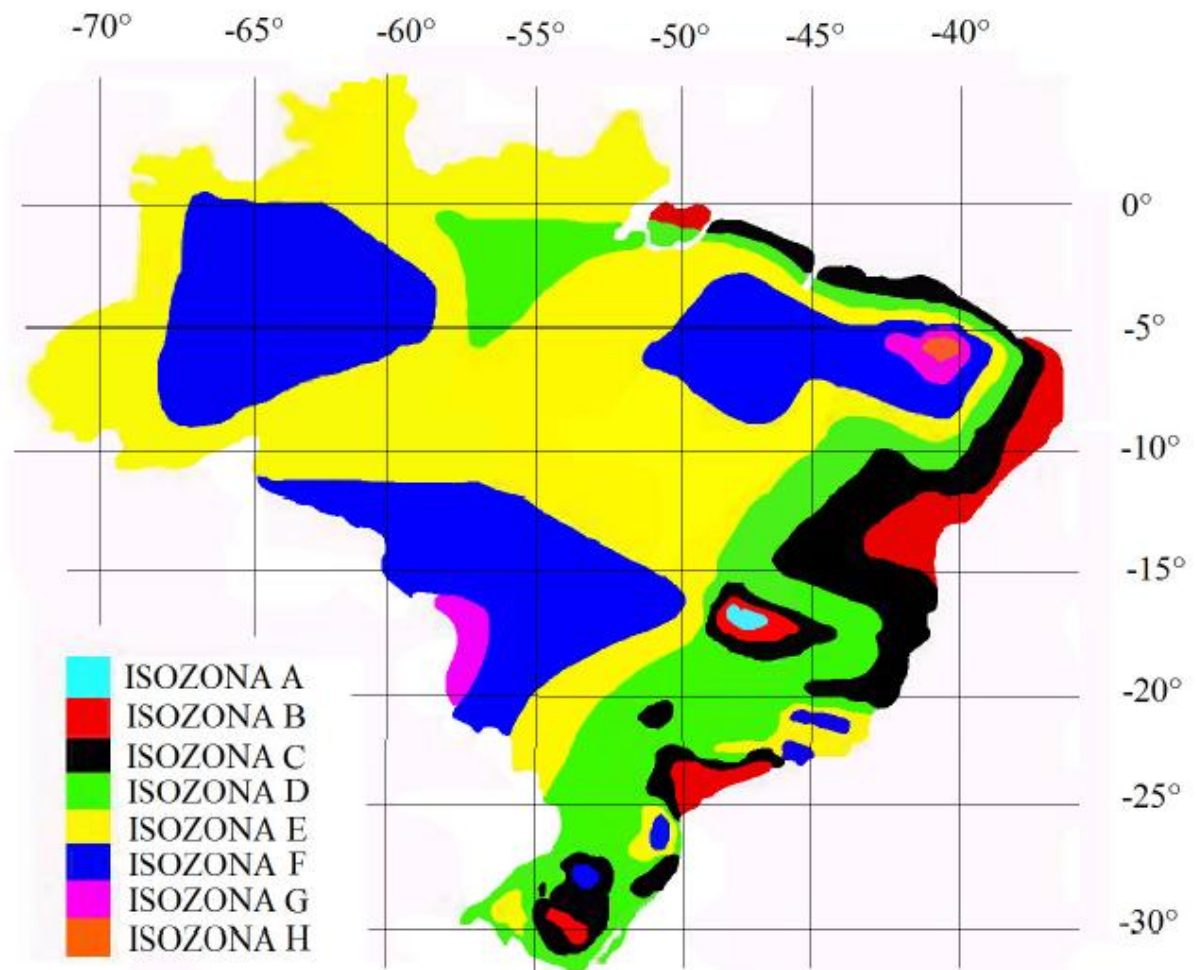
Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXO A – Função de distribuição acumulada de probabilidade

K=z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Fonte: Rodrigues (2007)

ANEXO B – Método das isozonas



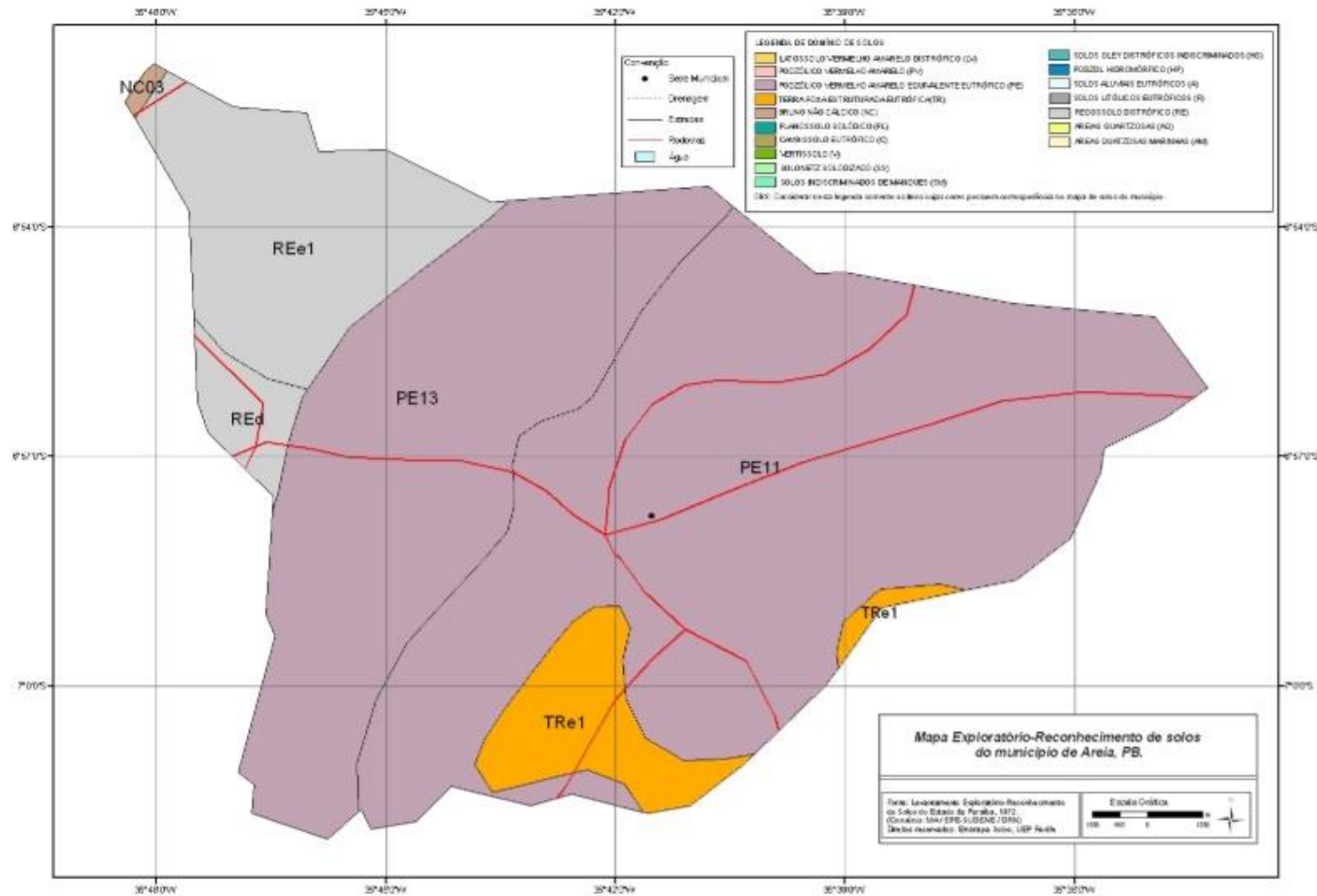
Fonte: Carneiro et. al. (2002).

Coefficientes de desagregação das chuvas intensas associados às isozonas

Isozona	1h/24h chuva										6min/24h	
	TR (anos)										TR(anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1.000	10.000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,4	37,2	36,0	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Torricco (1974).

ANEXO C – Curva número para o método SCS por categorias



Fonte: EMBRAPA (2001).

Tipos de solo

Grupo de solo	Características do solo
A	<p>solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo não atingindo 1%. (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).</p>
B	<p>solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2% e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).</p>
C	<p>solos barrentos com teor de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerva de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).</p>
D	<p>solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).</p>

Fonte: Porto (1995).

Condições de umidade

Condição do solo	Situação do solo
I	Solo seco
II	Condições médias do solo. É a condição normal das tabelas do número CN.
III	Solo úmido. Ocorreram precipitações nos últimos cinco dias. O solo está saturado.

Fonte: McCuen (1998).

Valores

Uso do solo/Tratamento/ Condições hidrológicas		Grupo hidrológico de solos			
		A	B	C	D
USO RESIDENCIAL					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
Até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
ESTACIONAMENTOS PAVIMENTADOS, TELHADOS		98	98	98	98
RUAS E ESTRADAS					
Pavimentadas, com guias e drenagens		98	98	98	98
Com cascalho		76	85	89	91
De terra		72	82	87	89
ÁREAS COMERCIAIS (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
DISTRITOS INDUSTRIAIS (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
ESPAÇOS ABERTOS, PARQUES E JARDINS					
Boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
TERRENO PREPARADO PARA PLANTIO, DESCOBERTO					
Plantio em linha reta		77	86	91	94
CULTURAS EM FILEIRA					
Linha reta	Condições ruins	72	81	88	91
	Condições boas	67	78	85	89
Curva de nível	Condições ruins	70	79	84	88
	Condições boas	65	75	82	86
CULTURA DE GRÃOS					
Linha reta	Condições ruins	65	76	84	88
	Condições boas	63	75	83	87
Curva de nível	Condições ruins	63	74	82	85
	Condições boas	61	73	81	84
PASTO					
Linha reta	Condições ruins	68	79	86	89
	Condições médias	49	69	79	84
	Condições boas	39	61	74	80
Curva de nível	Condições ruins	47	67	81	88
	Condições médias	25	59	75	83
	Condições boas	6	35	70	79
CAMPOS EM CONDIÇÕES BOAS		30	58	71	78
FLORESTAS	Condições ruins	45	66	77	83
	Condições médias	36	60	73	79
	Condições boas	25	55	70	77

Fonte: Porto (1995).

ANEXO D – Valores do coeficiente de Manning

Coeficientes de manning associados à cobertura do perímetro molhado

Perímetro molhado	n (s/m ^{1/3})	Perímetro molhado	n (s/m ^{1/3})
A) Condutos naturais		F) Condutos artificiais	
Limpo e reto	0,030	Vidro	0,010
Escoamento vagarosos e com poças	0,040	Latão	0,011
Rio típico	0,035	Aço liso	0,012
B) Planícies inundadas		Aço pintado	0,014
Pasto	0,035	Aço rebitado	0,015
Cerrado leve	0,050	Ferro fundido	0,013
Cerrado pesado	0,075	Concreto com acabamento	0,012
Floresta	0,150	Concreto sem acabamento	0,014
C) Condutos escavados na terra		Madeira aplainada	0,012
Limpo	0,022	Tijolo de barro	0,014
Cascalho	0,025	Alvenaria	0,015
Vegetação rasteira	0,030	Asfalto	0,016
D) Condutos em rocha		Metal corrugado	0,022
		Alvenaria grosseira	0,025
Rocha lisa e uniforme	0,035-0,040	Sarjeta de concreto, acabamento com colher	0,012-0,014
Rocha áspera e irregular	0,040-0,045	Sarjeta de concreto, acabamento com asfalto	0,013-0,015
E) Gabião de pedra com tela de arame	0,035	Pedra lançada	0,024-0,035

Fonte: Lencastre e Chow (1986).