

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA AMBIENTAL**

KAMILA FELIPETTO FERREIRA

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CASCAVEL – UMA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO
PARA UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2018

KAMILA FELIPETTO FERREIRA

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CASCAVEL – UMA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO
PARA UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Costa de Araújo Schutz.

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL – UMA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO PARA UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Por

KAMILA FELIPETTO FERREIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 08:30h do dia 27 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Fabiana Costa de Araújo Schutz
(Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Márcia A. Bartolomeu Agustini
(Convidada)

Prof^a. Dr^a. Giovana Poggere
(Convidada)

RESUMO

A má ocupação de áreas próximas a bacias hidrográficas acarreta impactos negativos tanto para o ser humano quanto para o meio ambiente. Um dos métodos de estudo para se ter maior conhecimento sobre o comportamento de uma bacia hidrográfica (tais como períodos de cheia, suscetibilidade a enchentes e inundação e, grau de declividade) é a análise morfométrica. Através dela, pode-se ter informações necessárias para a devida ocupação de áreas e manejo dos recursos presentes na mesma. Este estudo teve o objetivo de realizar a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel no município de Cascavel – PR, com o auxílio de técnicas e programas de geoprocessamento, bem como determinar a vazão máxima de projeto para uma possível estação de tratamento de água. Com os resultados obtidos nos parâmetros fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade, inferiu-se que a bacia em estudo não possui tendência a enchentes. Considerou-se alta a vazão máxima de projeto obtida, no valor de 374,5 m³/s, sendo este o valor de segurança suportado para uma obra de estação de tratamento de água.

Palavras-chave: Caracterização hidrológica. Vazão máxima de projeto. SIG. Morfometria.

ABSTRACT

Poor occupancy of areas near river basins has negative impacts on both humans and the environment.

One of the methods of study to have greater knowledge about the behavior of a watershed (such as flood periods, flood susceptibility and degree of slope) is the morphometric analysis. Through it, one can have information necessary for the proper occupation of areas and management of the resources present in it. This study aimed to perform the morphometric analysis of the Cascavel Watershed in the county of Cascavel – PR, with the help of techniques and geoprocessing programs, as well as to determine the maximum design flow for a possible water treatment plant. With the results obtained in the parameters form factor, circularity index and compactness coefficient, it was inferred that the basin under study has no tendency to flood. The maximum project flow obtained was considered high, in the amount of 374.5 m³/s, being this the safety value supported for a work of water treatment plant.

Keywords: Hydrological characterization. Maximum design flow rate. SIG. Morphometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia das bacias hidrográficas conforme Horton (A) e Strahler (B)..	14
Figura 2 - Relevo do Município de Cascavel – PR	21
Figura 3 - Bacias Hidrográficas no município de Cascavel – PR	22
Figura 4 – Delimitação da área de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Cascavel – PR.....	23
Figura 5 – Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Cascavel – PR	32
Figura 6 – Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel	33
Figura 7 – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características morfométricas de bacias hidrográficas	15
Quadro 2 - Afluentes do rio Cascavel, Cascavel – PR	23
Quadro 3 - Parâmetros morfométricos	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Riscos a serem assumidos em função da vida útil e do porte de Sistemas de Captação e tratamento de água	28
Tabela 2 - Valores de C de acordo com diferentes superfícies de revestimento.....	30
Tabela 3 - Relação de Bifurcação	34
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 Objetivo Geral.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	11
2.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA	12
2.3 VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO	16
2.4 FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO	17
3 METODOLOGIA	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1.1 O Município.....	20
3.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel.....	22
3.2 DADOS	24
3.2.1 Análise Morfométrica	24
3.2.2 Elaboração dos Mapas Temáticos.....	26
3.2.3 Cálculo da Vazão de Projeto.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL	32
4.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a má gestão dos recursos hídricos, ocupação indevida de áreas próximas à rios e nascentes e atividades antrópicas em bacias hidrográficas vêm causando danos ao solo (como a falta de nutrientes, erosão, assoreamento), e à água (poluição, eutrofização, morte de animais aquáticos), e estes refletem diretamente nos ecossistemas e na vida do ser humano.

No Brasil, a Lei Federal Nº 9.433, estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, e instituiu a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Porém, a ocupação da bacia pela população gera duas preocupações distintas: a) o impacto do meio sobre a população através das enchentes; e b) o impacto do homem sobre a bacia, no que tange a preservação do meio ambiente (TUCCI, 1997).

Segundo Villela e Mattos (1975), enchentes são a ocorrência de vazões consideradas grandes, e que, normalmente fazem com que as águas extravasem o canal natural do rio, caracterizando então a inundação. Além de perdas materiais, as inundações causam perdas dos nutrientes do solo, de habitats de animais e aumentam os gastos públicos.

Nesse contexto, com o intuito de minimizar as perdas causadas, o conhecimento das características morfométricas de uma bacia hidrográfica torna-se de suma importância para o planejamento adequado do uso e ocupação das terras. A partir da análise morfométrica é possível determinar as cheias e áreas suscetíveis à inundação.

Para a realização de tal análise, pode-se fazer uso de algumas técnicas, dentre elas, ferramentas de geoprocessamento vêm sendo muito utilizadas para realizar a análise morfométrica das bacias hidrográficas, pois são confiáveis e tornam o processo de aquisição e verificação de dados mais rápido. Com tais dados, diversos estudos tornam-se possíveis, entre eles, a determinação da vazão de projeto para a construção de algumas obras, como: barragens, pontes, diques, canais, bueiros, condutos forçados, sistemas de drenagem, redes pluviais, estações de recalque, estações de tratamento de águas e esgotos, usinas hidroelétricas e uma grande variedade de estruturas com elas relacionadas.

Diante disto, o presente trabalho realizou o estudo na bacia hidrográfica do Rio Cascavel, que junto com seus afluentes é responsável pelo abastecimento de água potável do município de Cascavel – PR, verificando a sua disponibilidade hídrica através da sua vazão de projeto simulada para uma estação de tratamento de água, seguindo as normas especificadas pela SANEPAR.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Calcular a vazão de projeto para uma estação de tratamento de água no município de Cascavel – PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Delimitar a bacia hidrográfica do rio Cascavel através do *software* QGIS;
- Obter as características morfométricas da bacia em estudo utilizando técnicas de geoprocessamento;
- Determinar:
 - a) Período de retorno (T);
 - b) Tempo de concentração (t_c);
 - c) Intensidade média de precipitação intensa (i) para o município de Cascavel – PR;
 - d) Coeficiente de escoamento (C);
- Calcular a vazão de projeto para uma estação de tratamento de água para o município em estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da chuva, é basicamente composta por um conjunto de superfícies vertentes e de cursos de água que formam uma rede de drenagem e convergem em forma de um leito único para o ponto de saída, seu exutório. Pode ser considerada um sistema físico, onde o volume de água precipitado é a entrada, e o volume de água escoado pelo exutório, a saída. Os volumes evaporados, transpirados e os infiltrados profundamente seriam as perdas intermediárias (TUCCI, 1997).

Também chamadas de bacias de drenagem, oferecem importância prática e conduzem muitos estudos de recursos hídricos devido à simplicidade oferecida se tratando da aplicação do balanço de água (VILLELA; MATTOS, 1975).

Barrella (2001), define bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano (TEODORO et al., 2007).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, tais como: forma, área, geologia, solo, cobertura vegetal, entre outros (LIMA, 2008).

Segundo Tonello et al. (2006), as características físicas e bióticas de uma bacia possuem influência na quantidade de água produzida como deflúvio, infiltração, evapotranspiração e nos escoamentos superficial e sub-superficial.

Christofolletti (1980) classifica as bacias de drenagem de acordo com o escoamento global, em: Exorreicas: quando o escoamento das águas é contínuo até o nível marinho; Endorreicas: quando as drenagens são internas, desembocando em lagos, dissipando-se nas areias do deserto ou perdendo-se nas depressões cársticas; Arreicas: quando não há nenhuma estruturação em bacias hidrográficas; Criptorreicas: quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársticas. A drenagem subterrânea surge em fontes ou integra-se em rios subaéreos.

No que tange o estudo de bacias hidrográficas, é importante também ter conhecimento sobre qual curso d'água drena a região. A classificação divide-se em três tipos (VILLELA; MATTOS, 1975): Perenes: cursos d'água que contém água durante todo o tempo. Mesmo nas secas mais severas, o lençol subterrâneo mantém uma alimentação contínua que não desce nunca abaixo do leito do curso d'água; Intermitentes: em geral, estes cursos d'água escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem; Efêmeros: cursos d'água existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial.

As bacias hidrográficas têm sido amplamente utilizadas nos estudos geográficos, como recorte espacial. Vários autores apontam esse recorte como uma unidade ambiental que possibilita tratar dos componentes e da dinâmica das inter-relações necessárias ao planejamento e à gestão ambiental (OLIVEIRA et al., 2009).

2.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Ao se tomar conhecimento sobre as características físicas de uma bacia hidrográfica, é possível fazer correlações entre elas e com dados hidrológicos conhecidos, e dessa forma, determinar indiretamente valores hidrológicos e informações de interesse em seções, regiões e locais nos quais faltem dados (VILLELA; MATTOS, 1975).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas configura-se em uma abordagem quantificada da rede de drenagem (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

Características morfométricas podem ser usadas na inferência sobre prováveis efeitos da interferência humana no sistema e nas estimativas das características dinâmicas de uma bacia numa área remota, necessárias ao

levantamento de recursos naturais, ou em partes não monitoradas de áreas já desenvolvidas. (NETO, 1994 apud COOKE & DOORNKAMP, 1978).

Conhecer os aspectos físicos e morfométricos de uma bacia possibilita o planejamento do uso e ocupação das terras pelo ser humano, sendo possível determinar áreas inapropriadas a determinados usos (BATISTA et al., 2017).

Segundo Christofolletti (1980) apud Horton (1945) e Strahler (1952), para o estudo analítico de bacias hidrográficas, os parâmetros e índices podem ser abordados em quatro itens: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

Hierarquia fluvial: estabelece a classificação de determinado curso d'água no conjunto total da bacia hidrográfica que ele se encontra;

Para Horton (1945), os canais que não possuem tributários são considerados de primeira ordem; os que recebem somente tributários de primeira ordem, são considerados de segunda ordem; os de terceira ordem são os que recebem um ou mais tributários de segunda ordem, e que ainda podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de ordens inferiores, e assim sucessivamente.

Já para Strahler (1952), são considerados canais de primeira ordem os que são menores e não possuem tributários. De segunda ordem, os que surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e recebem apenas afluentes de primeira ordem; os de terceira ordem surgem a partir da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de ordens inferiores; os de quarta ordem surgem a partir de dois canais de terceira ordem e podem receber tributários de ordens inferiores.

A Figura 1 demonstra a hierarquia fluvial das bacias hidrográficas segundo estes dois autores.

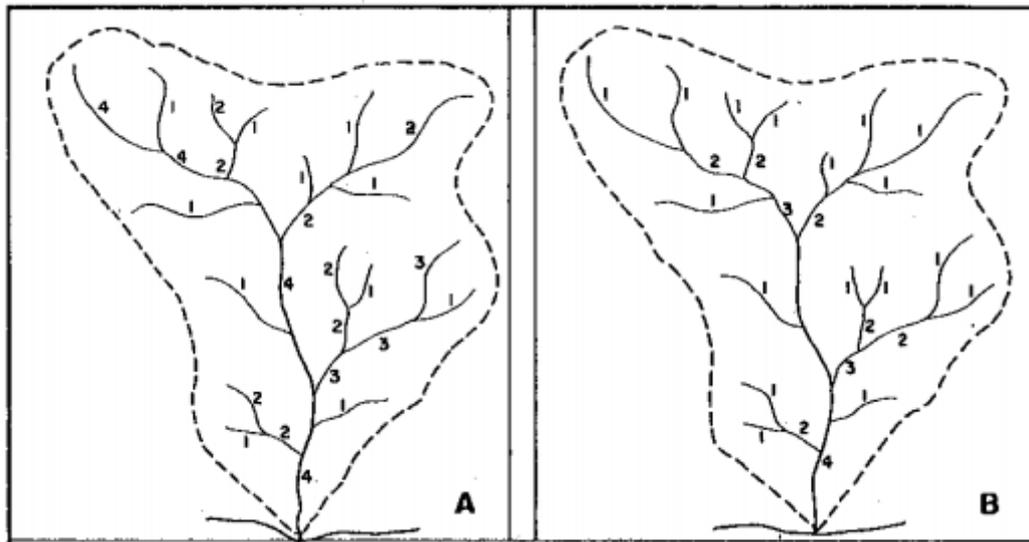


Figura 1 – Hierarquia das bacias hidrográficas conforme Horton (A) e Strahler (B)
Fonte: Christofolletti (1980).

Análise Linear: índices e relações cujas medições são realizadas ao longo das linhas de escoamento. São eles: relação de bifurcação, relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem, relação entre o índice médio dos canais e o índice de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, relação do equivalente vectorial, gradiente dos canais;

Análise Areal: vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além das lineares. São: área da bacia, comprimento da bacia, relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção;

Análise Hipsométrica: abrange curva hipsométrica, coeficiente de massividade e coeficiente orográfico, amplitude altimétrica máxima da bacia, índice de rugosidade.

Tonello et al. (2005) dividiram as características morfométricas segundo o Quadro 1:

Características Morfométricas	Tipo de Análises
Características geométricas	Área total; Perímetro total; Coeficiente de compactidade (Kc); Fator de forma (F); Índice de circularidade (Ic); Padrão de drenagem.
Características de relevo	Orientação; Declividade mínima; Declividade média; Declividade máxima; Altitude mínima; Altitude média; Altitude máxima; Declividade média do curso d'água principal.
Características da rede de drenagem	Comprimento do curso d'água principal; Comprimento total dos cursos d'água; Densidade de drenagem (Dd); Ordem dos cursos d'água.

Quadro 1 - Características morfométricas de bacias hidrográficas

Fonte: Tonello et al. (2005).

A caracterização morfométrica de bacias é de grande importância para estudos ambientais, especialmente quando o ambiente estudado está sofrendo alterações em parte de seu curso d'água, pois eles desempenham papéis importantes dentro do ecossistema (JUNIOR; ROSSETE, 2005).

Além de conceituar a BH e definir suas aplicabilidades, é necessária uma caracterização dos seus principais aspectos fisiográficos, com o intuito de facilitar os estudos que a tenham como recorte espacial. Portanto, a caracterização morfométrica é um dos mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, tendo como objetivo elucidar as várias questões relacionadas no entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

A bacia hidrográfica é de grande importância no estudo da evolução do modelado terrestre, principalmente quando se trata da investigação das formas de relevo. Daí a necessidade da utilização de métodos quantitativos as pesquisas que

se investigam as interações entre os processos físicos sob a ótica quantitativa por meio do método de análise morfométrica (STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010).

As diferentes formas de relevo presentes na superfície terrestre são oriundas da interação entre processos tectônicos, pedogênicos e intempéricos, que atuam de forma diversificada nos diferentes materiais rochosos. As bacias hidrográficas, como um sistema individualizado, podem ser consideradas como fontes de dados relevantes para a obtenção de informações sobre a evolução do modelado da superfície da Terra. No intuito de se obterem dados quantitativos para diferenciar áreas homogêneas dentro de uma bacia hidrográfica, utiliza-se o método da análise morfométrica, que consiste na caracterização de parâmetros morfológicos, tais como: densidade hidrográfica, densidade de drenagem, gradiente de canais, índice de sinuosidade, entre outros. Tais parâmetros explicitam os indicadores físicos da bacia, caracterizando suas homogeneidades (LANA; ALVES; CASTRO, 2001).

2.3 VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO

A determinação da vazão máxima instantânea de projeto, com um determinado risco, é dificultada pela falta de registros históricos. Em função da pouca disponibilidade de dados instantâneos, a prática comum é a determinação de vazões máximas diárias. No Brasil, na maioria dos postos fluviométricos são realizadas duas leituras diárias. O valor máximo da vazão diária adotado é a média dos dois valores, o que não representa o máximo instantâneo ocorrido (FRAGOSO JÚNIOR; TUCCI, 1997). O planejamento, projeto e operação de qualquer obra relacionada com o aproveitamento, controle e proteção dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica baseiam-se na avaliação da demanda frente à disponibilidade de água na bacia. Essa disponibilidade é avaliada através da aplicação de um balanço hídrico, para o que é imprescindível o conhecimento das principais variáveis hidrológicas, notadamente da precipitação e da vazão. Conhecer a precipitação é a forma de quantificar a entrada de água na bacia hidrográfica, enquanto o conhecimento das vazões permite, entre outras aplicações, projetar obras hidráulicas e auxiliar nos processos de outorga do direito de uso da água. A vazão máxima, que também é caracterizada pela frequência da sua ocorrência, está particularmente associada aos riscos de inundação em uma bacia e à definição das vazões de projeto de obras hidráulicas de controle de enchentes (BARBOSA et al., 2004).

Segundo Tucci et al. (2005) apud Silva (2017), a vazão máxima é utilizada para previsão de acontecimentos extremos, por isso é compreendida como sendo um valor relacionado a um risco de ser igualado ou ultrapassado.

Para Ibiapina et al. (2007), para o planejamento dos recursos hídricos, gerenciamento de bacias hidrográficas e previsão de enchentes, as estimativas de vazões máximas são indispensáveis.

A determinação de vazões máximas e a construção de hidrogramas são necessárias para o controle e atenuação das cheias numa determinada área, dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, perímetro de irrigação, diques e extravasores de barragens. As estimativas desses valores têm importância decisiva nos custos e na segurança de projetos de engenharia e podem ser realizadas com base em (TUCCI, 1997): No ajuste de uma distribuição estatística; na regionalização de vazões; e na precipitação (método racional).

Tucci (1997) cita que a distribuição estatística pode ser ajustada se existirem dados históricos de vazão no local de interesse e as condições da bacia hidrográfica não se modificarem, e pode ser utilizada para a estimativa da vazão máxima para um risco escolhido. Já no caso de não existirem dados ou ter uma série de dados pequena, a estimativa de vazão máxima pode se dar pela regionalização de vazões máximas ou pelas precipitações. A precipitação máxima é determinada com base no risco ou tempo de retorno escolhido para o projeto.

Os métodos mais comuns e usuais para calcular vazões máximas a partir da transformação de chuva em vazão são o método racional e os baseados no hidrograma unitário (SANTOS, 2010).

Segundo Pfafstetter (1957), o método racional modificado pode ser utilizado para bacias hidrográficas que possuem área até 200 km².

2.4 FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO

A *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foram as instituições responsáveis pela missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) que tinha como propósito a produção de um

banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais (EMBRAPA, 2013).

As técnicas cartográficas tradicionais, baseadas na utilização de mapas impressos, foram substituídas pela tecnologia da computação gráfica, com a facilidade do acesso ao computador. É demandado que a cartografia forneça dados que auxiliem cada vez mais na tomada de decisões e no gerenciamento de operações correlatas (BARRIONVEVO, 1995 apud JUNIOR; ROSSETE, 2005).

Na década de 1980, o desenvolvimento do sensoriamento remoto do relevo por radares interferométricos e a criação e implementação de ferramentas computacionais com interface mais amigável aos usuários, possibilitou o uso de técnicas de mensuração “à distância”. Tais técnicas contribuíram para o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o tratamento da informação geográfica, os chamados SIG. Isso, conseqüentemente, foi consolidado por estudos de caráter científico realizados pela Geologia, Geografia, Geomorfologia, Economia, Ciências Atuariais, Estatística, Epidemiologia, dentre outras, em pesquisas desenvolvidas nos setores público e privado para planejamento e gestão territorial de suas atividades (CHEREM, 2008).

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) mais utilizados atualmente são os que foram gerados pela missão SRTM. Possuem resolução espacial de 30 metros para o território dos Estados Unidos e 90 metros para o restante do globo terrestre. Com esses dados, em ambiente computacional e com a aplicação das devidas técnicas, é possível realizar a manipulação e geração de informações relativas aos atributos morfométricos de uma bacia de drenagem (LEITE; ALMEIDA; SILVA, 2012).

A crescente utilização SIG em diferentes estudos, como a morfometria, tem mostrado a necessidade de análise comparativa entre produtos cartográficos gerados pela técnica dos SIGs e aqueles produzidos por métodos convencionais, em função dos recursos e da eficiência oferecida pela informática (CASTRO, 1995 apud JUNIOR; ROSSETE, 2005).

No contexto dos estudos ambientais, nos quais a interação entre muitas variáveis tem que ser analisada, o Sistema de Informações Geográficas apresenta-se como instrumento de grande potencialidade na caracterização de elementos e de valores, na síntese de dados e na composição de perfis sobre os objetos analisados sobre a superfície terrestre. A adoção da cartografia assistida pelo computador, através do Geoprocessamento, por sua vez, permite enfrentar um grande desafio nos estudos espaciais de hoje: maior agilidade na produção de diagnósticos e mais fácil atualização

dos dados. O Geoprocessamento permite a construção de análises mais complexas sob diferentes pontos de vista, buscando o caráter dinâmico inerente à análise geomorfológica (FONSECA, 2010).

Johnson (2009), afirma que o SIG é uma potente ferramenta para executar análises com dados espaciais, que na maioria das vezes são de difícil e demorada mensuração manual. Com o avanço dos SIGs e o aparecimento de formas digitais consistentes de representação do relevo, como o MDE, as técnicas de delimitação de bacias hidrográficas e suas caracterizações físicas têm se tornado cada vez mais precisas (FILHO et al., 2017).

Utilizando as ferramentas presentes nas geotecnologias, é possível realizar o estudo das características físicas e morfométricas de uma bacia hidrográfica. É visível, a partir de trabalhos recentes, que os métodos convencionais estão sendo substituídos por técnicas que são realizadas em ambiente digital, via SIG (LEITE; ALMEIDA; SILVA, 2012).

Segundo Oliveira et al. (2008) apud Silva (2017), o emprego de geotecnologias utilizadas em projetos relacionados a bacias hidrográficas é cada vez mais necessário e usual, uma vez que com base em dados cartográficos e imagens satelitárias torna-se possível adquirir informações relativas a características físicas de uma bacia hidrográfica, podendo assim analisar áreas mais suscetíveis a riscos ambientais e então propor a gestão mais adequada.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 O Município

O município de Cascavel localiza-se na região Oeste do estado do Paraná, entre a latitude sul 24°57'21" e longitude oeste 53°27'19". Segundo o IBGE, 2017, conta com uma população de 319.608 habitantes.

Possui altitude máxima de 780 metros acima do nível do mar e altitude média de 750 metros acima do nível do mar. A área total do município é de 2.112,85 km², sendo que o perímetro urbano é de 80.87 km² conforme Lei Municipal nº 3.826 de 20/05/2004 (base cartográfica, 2004 apud Prefeitura Municipal de Cascavel – PR, 2018).

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2018) e apresenta solos profundos, com boa capacidade de retenção de água, aeração e permeabilidade.

O relevo da cidade é considerado ondulado ao norte, constituído por colinas amplas e baixas declividades, ao sul média e alta declividades e onde o relevo apresenta-se acidentado, conforme Figura 2 (MINEROPAR, 2004 apud Prefeitura Municipal de Cascavel – PR, 2018).

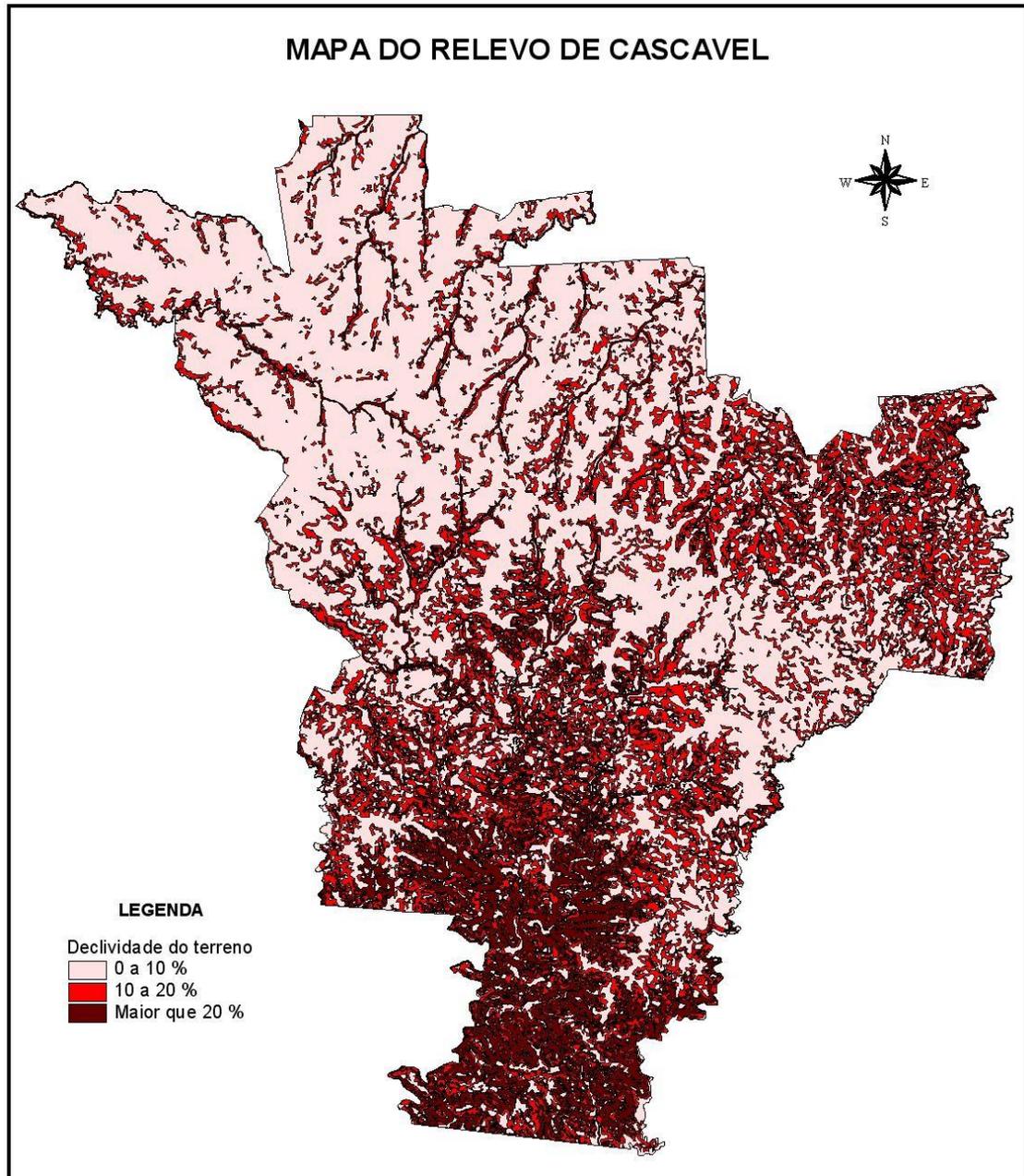


Figura 2 - Relevo do Município de Cascavel – PR

Fonte: Secretaria de Planejamento - Prefeitura Municipal de Cascavel – PR (2018).

O clima é classificado como temperado mesotérmico e úmido, com temperatura média anual em torno de 21°C. A umidade relativa do ar fica próxima de 75% e os ventos sopram na direção nordeste/sudoeste e leste/oeste com velocidade média entre 33km/h e 46 km/h (IAP, 2004 apud Prefeitura Municipal de Cascavel – PR, 2018).

No que tange a hidrografia, os cursos d'água que banham o município pertencem a três bacias: Bacia do rio Iguaçu, Bacia do rio Paraná e Bacia do Rio

Piquiri. A Figura 3 mostra a localização do município de Cascavel no encontro das três bacias:

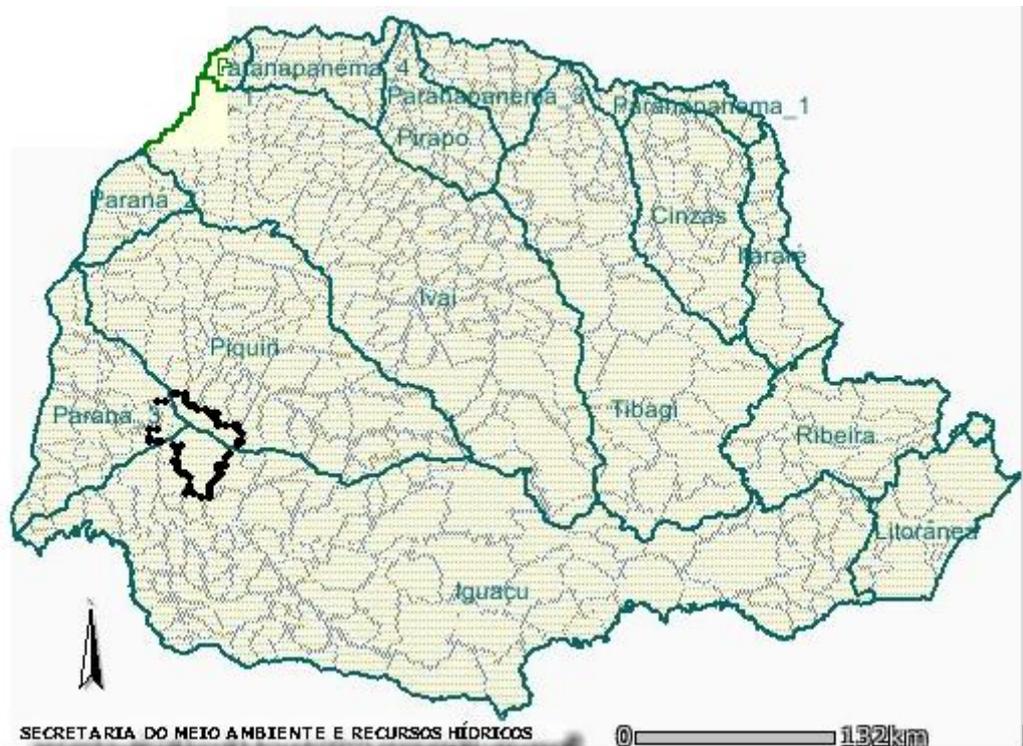


Figura 3 - Bacias Hidrográficas no município de Cascavel – PR

Fonte: Portal do Meio Ambiente – Prefeitura Municipal de Cascavel – PR (2018).

3.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel

O Rio Cascavel está situado entre os Paralelos 24° 32' e 25° 17' de Latitude Sul e os Meridianos 53° 05' e 53° 50' de longitude Oeste, e tem grande parte de suas nascentes dentro do perímetro urbano. O canal do rio principal apresenta em seu desenvolvimento uma extensão aproximada de 17,5 km, apresentando como cotas topográficas máximas e mínimas 767 e 580 metros, respectivamente. Juntamente com os rios Peroba e Saltinho, o rio Cascavel e seus afluentes são responsáveis pelo abastecimento do município de Cascavel – PR (Prefeitura Municipal de Cascavel – PR, 2018).

Seus afluentes estão demonstrados no Quadro 2:

Ribeirão da Paz ou Rio Peroba	Córrego Antônio
Córrego Jaboticabeira	Arroio Juvenal
Arroio Cascavel	Ribeirão Coati Chico
Córrego Milla	Arroio Capão do Tigre
Arroio Diogo	Arroio Farmácia
Arroio São Marcos	Córrego Gramadinho
Rio da Paz	Córrego Vilaka

Quadro 2 - Afluentes do rio Cascavel, Cascavel – PR

Fonte: Cartografia Municipal (2004) apud Prefeitura Municipal de Cascavel – PR (2018).

A Figura 4 mostra a delimitação da área de estudo referente a Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel na cidade de Cascavel – PR.



Figura 4 – Delimitação da área de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Cascavel – PR

Fonte: Google Satellite Hybrid (2018).

3.2 DADOS

3.2.1 Análise Morfométrica

Para a realização da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Cascavel foram necessários os seguintes dados e programas:

- Cartas topográficas: folhas (SG.22-V-C-II/1) e (SG.22-V-A-V-3) na escala 1:50.000 disponíveis pelo ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná);
- Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado a partir da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) de resolução espacial de 30m e escala 1:250.000, Imagens (24S54) e (25S54) disponíveis para *download* no mapa índice TOPODATA;
- *Software* QGIS versão 2.18.24 para procedimentos operacionais envolvendo base de informações geográficas e confecção de mapas.

As cartas topográficas foram utilizadas para determinar a localização do rio Cascavel, bem como seu padrão de drenagem e curvas de nível. Por meio do *software* QGIS, utilizou-se as imagens SRTM e, com o complemento TauDEM, delimitou-se a bacia hidrográfica do rio Cascavel. Primeiramente, fez-se necessário unir as duas imagens SRTM por meio da ferramenta mosaico, então, reprojetar a imagem para as coordenadas SIRGAS 2000 – UTM zone 22S. Com o complemento TauDEM realizou-se as seguintes etapas: remoção das depressões, poços ou buracos presentes (*Pit Remove*), mapeamento do escoamento da água (*D8 Flow Directions*), área de contribuição (*1º versão D8 Contributing Area*), rede de drenagem (*1º versão Stream Definition by Threshold*), criação de um novo *shapefile* de ponto, fixado no exutório da bacia hidrográfica, geração do limite da bacia a partir do ponto de exutório (*2º versão D8 Contributing Area*), geração da rede de drenagem para o limite da sub-bacia (*2º versão D8 Stream Definition by Threshold*), delimitação das microbacias e rede de drenagem (*Stream Network Analysis Tools – Stream Reach and WaterShed*), hierarquia fluvial para classificar os rios de acordo com suas ordens, vetorização das microbacias, modificação das coordenadas de referência da rede de drenagem para SIRGAS 2000 – UTM zone 22S, para que assim ela se posicionasse corretamente dentro da bacia delimitada, e por último,

ferramenta de geoprocessamento *Dissolve* para definir o limite da bacia hidrográfica com base nas microbacias.

Para os cálculos dos parâmetros morfométricos, foram utilizadas as fórmulas do Quadro 3:

Parâmetro e equação equivalente	Definição das variáveis
Relação de bifurcação (Rb): $Rb = \frac{Nw}{Nw + 1}$	Rb – relação de bifurcação; Nw – nº de segmentos de determinada ordem; Nw + 1 – nº de segmentos da ordem imediatamente superior.
Índice de sinuosidade (Sin): $Sin = \frac{L}{Lt}$	Sin – índice de sinuosidade; L – comprimento do rio principal (m); Lt – comprimento do eixo da bacia (m).
Comprimento médio dos canais (Lm): $Lm = \frac{Lu}{Nu}$	Lm – comprimento médio dos canais (m); Lu – extensão total dos rios (m); Nu – nº total dos rios.
Coeficiente de compacidade (Kc): $Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Kc – coeficiente de compacidade; P – perímetro (m); A – área da bacia (m ²).
Fator de forma (Kf): $Kf = \frac{A}{L^2}$	Kf – fator de forma; A – área da bacia (m ²); L – comprimento do eixo da bacia (m).
Índice de circularidade (Ic): $Ic = 12,57 \frac{A}{P^2}$	Ic – índice de circularidade; A – área da bacia (m ²); P – perímetro da bacia (m).
Densidade de rios (Dr): $Dr = \frac{N}{A}$	Dr – densidade de rios (canais/km ²); N – nº de canais; A – área da bacia (km ²).
Densidade de drenagem (Dd): $Dd = \frac{Lt}{A}$	Dd – densidade de drenagem (km/km ²); Lt – comprimento total dos canais (km); A – área da bacia (km ²).
Coeficiente de manutenção (Cm): $Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$	Cm – coeficiente de manutenção (m ²); Dd – densidade de drenagem (km/km ²).
Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm):	Hm – amplitude altimétrica máxima da bacia (m);

Parâmetro e equação equivalente	Definição das variáveis
$Hm = H - Ho$	H – altitude do ponto mais alto do divisor topográfico (m); Ho – altitude da foz (m),
Relação de relevo (Rr): $Rr = \frac{Hm}{Lb}$	Rr – relação de relevo; Hm – amplitude altimétrica máxima (m); Lb – comprimento da bacia (m).
Índice de rugosidade (Ir): $Ir = Hm \times Dd$	Ir – índice de rugosidade; H – amplitude altimétrica máxima (m); Dd – densidade de drenagem (km/km ²).

Quadro 3 – Parâmetros morfométricos

Fonte: Adaptado de (Christofolletti, 1980); (Horton, 1945); (Villela; Mattos, 1975).

A obtenção dos valores da área da bacia, perímetro, comprimento total dos rios, comprimento do rio principal e comprimento do eixo da bacia foi feita através dos recursos disponíveis no *software* QGIS e os resultados foram mostrados na tabela de atributos do próprio programa.

A hierarquia fluvial da bacia hidrográfica foi classificada segundo a proposta de Strahler (1952).

3.2.2 Elaboração dos Mapas Temáticos

As elaborações dos mapas hipsométrico e de declividade foram realizadas integralmente no *software* QGIS.

Para o mapa hipsométrico, criou-se um projeto e foi necessária a reprojeção da imagem SRTM para as coordenadas SIRGAS 2000 – UTM zone 22S, sendo a mesma recortada para o limite da bacia hidrográfica desejada.

Com a ferramenta *r.recode*, a imagem foi reclassificada para os valores reais de altitude, em seguida, foi classificada em faixas de altitude que variam de 50 metros em 50 metros, posteriormente utilizou-se a ferramenta *sombreamento*, que cria uma camada que, juntamente com a imagem classificada, gera um efeito de profundidade.

A imagem SRTM reprojeta também foi utilizada para a geração do mapa de declividade. Primeiramente, utilizou-se a ferramenta declividade para criar um mapa variando de 0% a 100%. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *r.reclass* para classificar a declividade segundo a EMBRAPA (1979), com o seguinte comando:

```
0.0000 thru 3.0000 = 1 (0 - 3%)
3.0001 thru 8.0000 = 2 (3 - 8%)
8.0001 thru 20.0000 = 3 (8 - 20%)
20.0001 thru 45.0000 = 4 (20 - 45%)
45.0001 thru 75.0000 = 5 (45 - 75%)
75.0001 thru 2000.0000 = 6 (> 75%)
end
```

As classes de declividade foram definidas segundo a EMPRAPA (1979): plano: de 0 a 3%; suave ondulado: de 3 a 8%; ondulado: de 8 a 20%; forte ondulado: de 20 a 45%; montanhoso: de 45 a 75%; escarpado: acima de 75%.

3.2.3 Cálculo da Vazão de Projeto

Para calcular a vazão de projeto da estação de tratamento de água, foi necessário determinar primeiro o período de retorno (T), o tempo de concentração (tc), a intensidade média de precipitação intensa (i) para o município de Cascavel – PR e, coeficiente de escoamento (C).

Para a determinação do período de retorno (T), seguiu-se as instruções das Diretrizes para Elaboração do Estudo de Cota de Inundação para Assente de Estruturas de Saneamento – Projeto de Engenharia, disponibilizada pela SANEPAR.

A fórmula utilizada foi:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - k)^{1/n}}$$

Em que:

T – período de retorno em anos;

k – riscos admissíveis para 30 anos;
n – vida útil em anos.

Os valores adotados para k e n seguiram o TIPO II da Tabela 1. Considerou-se o tempo de recorrência de 100 anos, com isso, o valor de k foi de 0,26 e n igual a 30 anos.

Tabela 1 - Riscos a serem assumidos em função da vida útil e do porte de Sistemas de Captação e tratamento de água

TIPO	Vazão	Probabilidade de ocorrência a cada ano	Riscos Admissíveis para 30 anos	Tempos de recorrência a serem investigados
TIPO I	$Q \geq 400$ L/s	0,01 = 1% e 0,005 = 0,5%	0,26 = 26% e 0,14 = 14%	100 e 200 anos
TIPO II	$115 \leq Q \leq 400$ L/s	0,02 = 2% e 0,01 = 1%	0,45 = 45% e 0,26 = 26%	50 e 100 anos
TIPO III	$31 \leq Q < 114$ L/s	0,04 = 4% e 0,02 = 2%	0,71 = 71% e 0,45 = 45%	25 e 50 anos
TIPO IV	$Q < 30$ L/s	0,10 = 10% e 0,04 = 4%	0,96 = 96% e 0,71 = 71%	10 e 25 anos

Fonte: SANEPAR (2014).

O tempo de concentração (t_c) foi calculado segundo a fórmula de Kirpich (1940):

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{Hm} \right)^{0,385}$$

Em que:

t_c – tempo de concentração, em minutos;

L – comprimento do rio principal, em km;

Hm – diferença de nível entre o ponto mais remoto e a seção considerada, em metros.

Para o cálculo da intensidade média de precipitação intensa (i), utilizou-se a equação de chuva intensa no Brasil, determinada por Otto Pfafstetter (1982),

ajustada para os valores do município de Cascavel – PR, segundo (AMORIM; BERNARDO; PITTA, 2015):

$$i = \frac{1062,92 \times T^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}}$$

Em que:

i – intensidade média de precipitação intensa, em mm/h;

t – duração da precipitação, em minutos;

T – período de retorno, em anos.

Para a determinação do coeficiente de escoamento (C), foi necessário utilizar a ferramenta *Classificação Supervisionada – SPC* do QGIS, para mapear e calcular as áreas referentes a vegetação, solo exposto e urbanização dentro da área da bacia hidrográfica. Esta ferramenta possibilitou que a classificação fosse feita pixel a pixel, fazendo uso da imagem 223/077 de 26 de agosto de 2018, do satélite LANDSAT-8, sensor OLI. Posteriormente, calculou-se a média para o coeficiente de escoamento, seguindo a fórmula:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{A}$$

Em que:

C – coeficiente de escoamento superficial para a área de interesse, adimensional;

C_i – coeficiente de escoamento superficial para a subárea i, adimensional;

A_i – subárea considerada, em ha;

A – área total considerada, em ha.

Os valores encontrados com a ferramenta SPC para as subáreas consideradas foram: Vegetação: 6141,510 ha; Solo Exposto: 3442,500 ha; Área Urbana: 2000,340 ha.

Para os valores de C_i, utilizou-se a Tabela 2:

Tabela 2 - Valores de C de acordo com diferentes superfícies de revestimento

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Calçadas	0,75 – 0,85
Telhado	0,75 – 0,95
Cobertura: grama/areia	
plano (declividade 2%)	0,05 – 0,10
médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 – 0,15
alta (declividade 7%)	0,15 – 0,20
Grama, solo pesado:	
plano (declividade 2%)	0,13 – 0,17
médio (declividade de 2 a 7%)	0,18 – 0,22
alta (declividade 7%)	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE (1969) apud SANEPAR (2014).

Realizou-se a média dos valores de C para asfalto, concreto, calçadas e telhado para obtenção do valor final (0,84) que foi multiplicado pela subárea referente à área urbana.

Para as áreas referentes a vegetação e solo exposto, foram utilizados os valores de 0,35 (grama, solo pesado, declividade 7%), e 0,20 (grama/areia, declividade 7%) respectivamente.

Para o cálculo da vazão de projeto, utilizou-se a equação do método racional modificado, uma vez que este método procura corrigir o fato do escoamento superficial sofrer um retardamento em relação ao início da precipitação:

$$Q_{max} = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \times D$$

Em que:

Q_{max} – vazão máxima de escoamento superficial, em m³/s;

C – coeficiente de escoamento superficial, admesional;

i – intensidade média de precipitação intensa, em mm/h;

A – área da bacia de drenagem, em ha.

D - coeficiente de retardamento, admesional.

Para bacias maiores que 80 ha até 200 ha:

$$D = 1 - 0,009 \times \frac{L}{2}$$

Em que L é o comprimento axial da bacia, em km.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL

Na análise do comportamento da bacia estudada, constatou-se uma hierarquia fluvial de 5ª ordem (Figura 5), segundo classificação proposta por Strahler em 1952. É composta por 130 canais de primeira ordem, 31 canais de segunda ordem, 7 canais de terceira ordem, 2 canais de quarta ordem e 1 canal de quinta ordem. A Figura 5 mostra a Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel delimitada, juntamente com as ordens dos seus rios e, suas microbacias sendo as áreas coloridas.

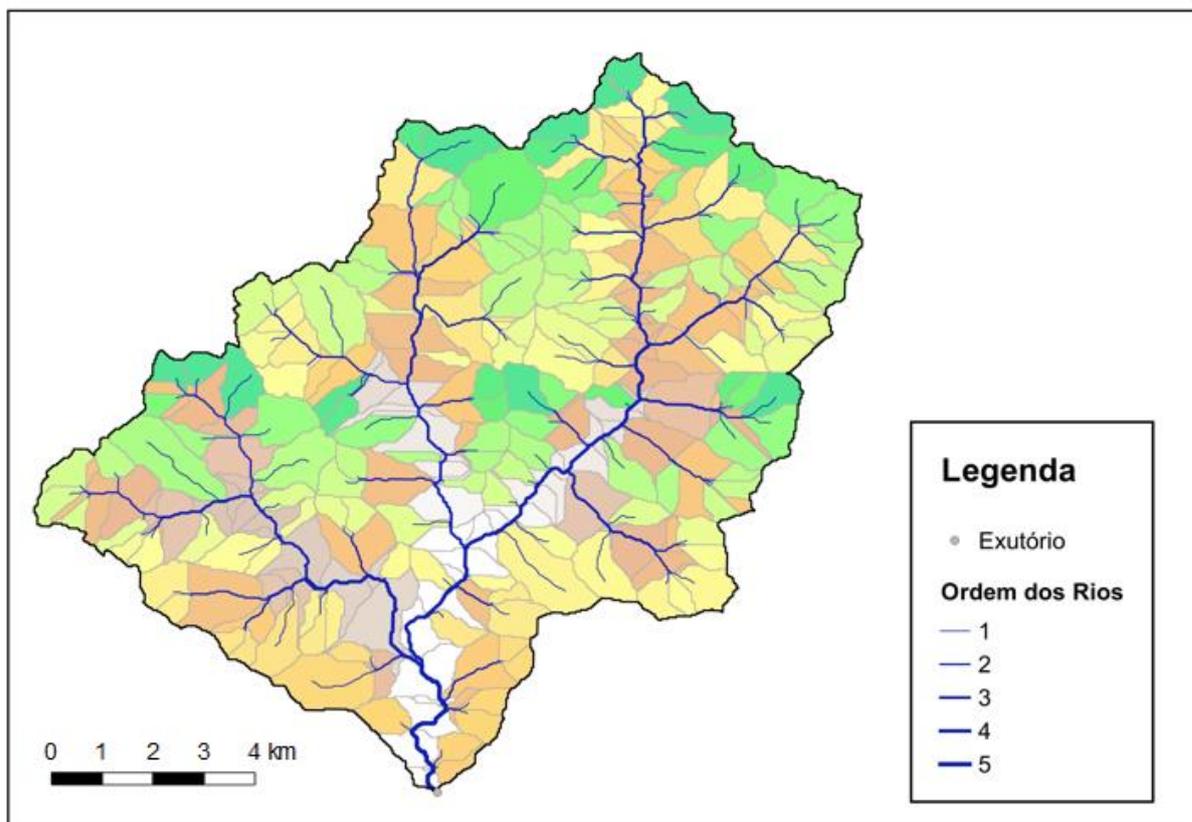


Figura 5 – Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Cascavel – PR

Fonte: Autoria Própria (2018).

Quanto a hipsometria, a bacia em estudo apresentou altitude máxima de 795 metros e mínima de 590 metros. A disposição da altitude pode ser verificada na Figura 6.

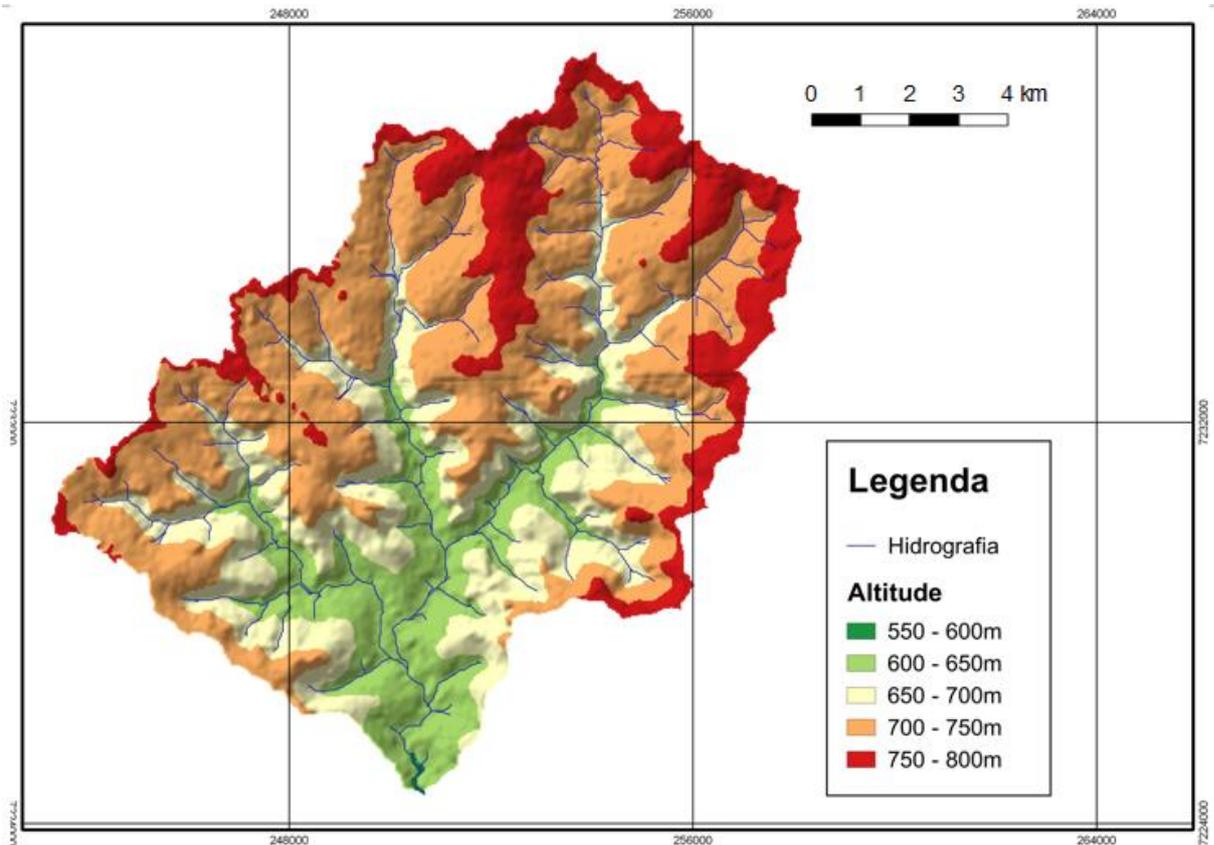


Figura 6 – Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel

Fonte: Autoria Própria (2018).

A declividade máxima apresentada foi de 45% e mínima de 0,017%, o mapa de declividade (Figura 7) foi classificado segundo as classes propostas pela EMBRAPA (1979).

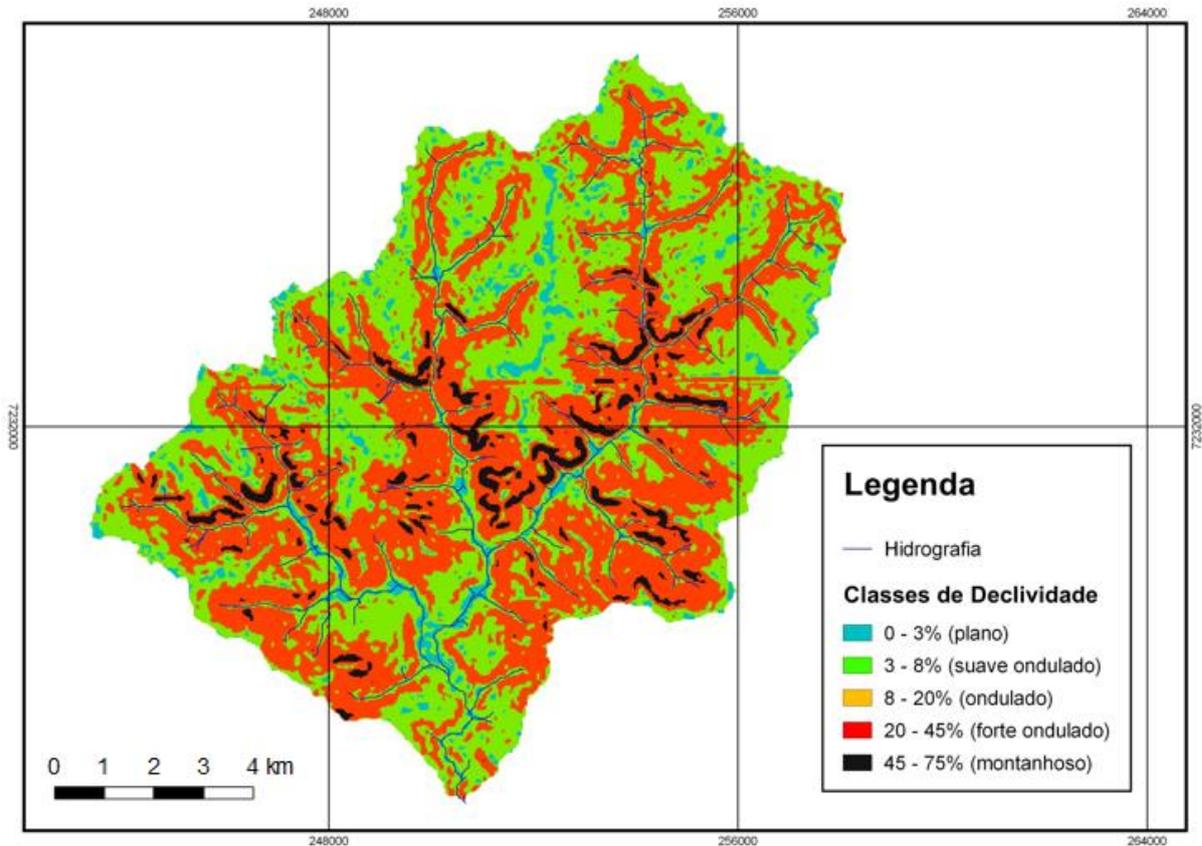


Figura 7 – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel

Fonte: Aatoria Própria (2018).

Os parâmetros morfométricos calculados para a bacia estão dispostos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Relação de Bifurcação

Número de canais	Ordem	Rb
130	1º	-
31	2º	4,19
7	3º	4,42
2	4º	3,5
1	5º	2
		Média ponderada = 3,5275

Fonte: Aatoria Própria (2018).

O valor ponderado de bifurcação é de 3,5275, o que está dentro dos parâmetros propostos por Horton (1945) e Strahler (1952), em que os valores dentro de uma mesma bacia devem ser constantes e jamais inferior a 2.

Este índice está relacionado ao comportamento hidrológico dos solos, sendo maior para solos menos permeáveis e menor para solos mais permeáveis (FRANÇA, 1968 apud CHEREM, 2008).

Tabela 4 - Resultados dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel

Parâmetros Morfométricos	Valores
Área da bacia (A)	116822751,9340 m ²
Perímetro da bacia (P)	68893,0697 m
Comprimento total dos rios (Lt)	136501 m
Comprimento do rio principal (L)	18454,4 m
Comprimento do eixo da bacia (Lb)	16629,8 m
Índice de sinuosidade (Sin)	1,1097
Comprimento médio dos canais (Lm)	798,2514 m
Fator de forma (Kf)	0,4224
Índice de circularidade (Ic)	0,3093
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,7847
Densidade de rios (Dr)	1,4637 canais/km ²
Densidade de drenagem (Dd)	1,1684 km/km ²
Coeficiente de manutenção (Cm)	855,8712 m ² /m
Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm)	205m
Relação de relevo (Rr)	0,01237
Índice de rugosidade (Ir)	175,4536
Número de canais	171 canais

Fonte: Autoria Própria (2018).

O índice de sinuosidade é uma das formas de demonstrar a carga sedimentar da bacia, bem como sua compartimentação litológica e estrutural, sendo que valores próximos a 1 indicam alto controle estrutural ou de energia e valores acima de 2 indicam baixa energia, podendo haver acúmulo de sedimentos. Desta forma, a bacia hidrográfica do Rio Cascavel apresenta um bom índice de sinuosidade ao estar próximo a 1.

Segundo Villela e Mattos (1975), o fator de forma é um indicativo de maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia hidrográfica. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra que possua o mesmo tamanho, porém com um fator de forma mais elevado. Quanto mais próximo de um círculo for a forma da bacia, maior a probabilidade de proporcionar grandes enchentes.

Pode-se classificar o fator de forma da seguinte maneira: 1 – 0,75: sujeito a enchentes; 0,75 – 0,50: tendência mediana; menor que 0,50: não sujeito a enchentes.

A bacia hidrográfica do Rio Cascavel apresentou um fator de forma de 0,4224, desta forma, não é sujeita a enchentes.

Outro parâmetro relacionado a enchente é o coeficiente de compacidade (Kc), que pode ser classificado em: 1 – 1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes; 1,25 – 1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes; maior que 1,50: bacia não sujeita a grandes enchentes.

O coeficiente de compacidade da bacia em estudo se encaixa na terceira classificação, assim, não sendo sujeita a grandes enchentes.

Quanto ao índice de circularidade, segundo Castro e Alves (2003), esse parâmetro indica que uma bacia com índice abaixo de 0,51 é mais alongada, assim, favorecendo o escoamento e, se for acima de 0,51, a bacia é mais circular e tem escoamento reduzido e alta probabilidade de cheias.

O resultado obtido foi de 0,3093, portanto, a bacia possui um bom escoamento.

A densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia. Segundo Villela e Mattos (1975), este índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas. Salles (2010) cita trabalhos com densidade de drenagem com valores iguais a 1,63; 1,50; e 1,91, que, segundo Euclides (1992) são consideradas bacias hidrográficas medianamente drenadas, desta forma, pode-se inferir que com o valor obtido de 1,1684 km/km², a bacia hidrográfica do Rio Cascavel encaixa-se nesta classificação.

Schumm (1956) considera o coeficiente de manutenção como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, limitando sua área mínima requerida para o desenvolvimento de um canal.

O coeficiente de manutenção da bacia é alto (855,8712 m²/m), também demonstrado pelo índice de densidade de rios (1,4637 canais/km²), e, segundo Stipp, Campos e Caviglione (2010), pode-se atribuir a estes resultados o fato de a bacia possuir em sua maior parte baixas declividades e boa capacidade de recarga hídrica.

De acordo com Castro e Lopes (2001), a altitude média influencia a quantidade de radiação que a bacia recebe, influenciando diretamente a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Quanto maior a altitude da bacia, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, menos energia estará disponível para a evapotranspiração. Grandes variações na altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura, que, por sua vez, também causa variações na evapotranspiração.

Quanto à variação da temperatura em relação à altitude, Fritzsons et al. (2008) após analisar as séries históricas das estações meteorológicas do Paraná definiram o gradiente térmico do Estado em 126 metros. Esse se refere à média do mês de janeiro considerando todas as estações meteorológicas do Paraná (excluindo as do litoral), ou seja, há uma diminuição média de 1°C a cada 126 metros de altitude no Estado (OLIVEIRA et al., 2009).

A bacia em estudo possui uma amplitude altimétrica de 205 metros, o que é significativo, influenciando assim na temperatura e evapotranspiração da mesma.

4.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para a determinação da vazão de projeto, foi encontrado um valor de 100 anos para o período de retorno (T), o que está dentro dos parâmetros propostos por Plínio Tomaz (2010), levando-se em conta a segurança da população e as perdas materiais. A determinação do tempo de concentração (tc) é de fundamental importância para a determinação das vazões de projeto a partir de dados de chuva. De acordo com Villela e Mattos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção.

Utilizando-se a fórmula de Kirpich (1940), obteve-se o tempo de concentração igual a 213 minutos, sendo que a forma da bacia e tipo de solo influenciam no resultado. Normalmente, admite-se que as chuvas de projeto tenham duração igual, ou muito semelhante, ao tempo de concentração da bacia.

Para a intensidade média de precipitação intensa obteve-se o valor de 31,1787 mm/h e, a partir da média dos coeficientes de escoamento superficial, encontrou-se o valor de 0,40, que foi inserido na equação para obtenção da vazão máxima de projeto.

Dentre os fatores climáticos que influenciam no escoamento superficial, destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento.

Com isso, pode-se realizar o cálculo da vazão máxima de projeto, utilizando-se a fórmula do método racional modificado. Otto Pfafstetter (1957) admite que o método seja utilizado para bacias de até 200 km², sendo assim, o resultado encontrado foi de uma vazão máxima de projeto igual a 374,5 m³/s.

É importante ressaltar que esta seria a vazão máxima de projeto para uma possível estação de tratamento de água para a bacia hidrográfica do Rio Cascavel no município de Cascavel – PR, levando em conta somente os parâmetros analisados no trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfométrica mostrou-se de extrema importância para se conhecer os parâmetros físicos de uma bacia hidrográfica, suas limitações e probabilidades de enchentes. Com o estudo da morfometria, torna-se possível o crescimento de atividades antrópicas de forma a não afetar o patrimônio ambiental e não colocar em risco os bens materiais e qualidade de vida da população.

O uso de ferramentas de geoprocessamento facilitou a coleta de dados, o acesso às informações, a elaboração de mapas e otimizou o tempo de estudo, demonstrando ser um ótimo meio para realizar pesquisas voltadas para o que tange a área de hidrologia.

A bacia hidrográfica do Rio Cascavel apresentou bom índice de sinuosidade, indicando não haver grande acúmulo de sedimentos que, juntamente com os resultados do fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade demonstraram que a bacia não possui tendência a enchentes. A mesma possui uma densidade de drenagem mediana. Apresenta declividade variando de 0,017% a 45%, e amplitude altimétrica máxima de 205 metros, o que influencia na velocidade do escoamento superficial e na evapotranspiração da bacia, respectivamente.

Possui uma vazão máxima de projeto considerada alta, no valor de 374,5 m³/s, sendo este o valor de segurança suportado para uma possível estação de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117- 124, 2003.

AMORIM, Milena V., BERNARDO, Thailiny; PITTA, Thamyris C. **Chuvas Intensas em Cascavel, Foz do Iguaçu e Terra Rica: Vazões e Intensidade Pluviométrica.** In: IX EPCC – Econtro Internacional de Produção Científica UniCesumar. n. 9, p. 4 – 8. Nov. 2015. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2015/anais/thamyris_caldas_pitta_1.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

BARBOSA, Sylvio E. da Silva et al. **Geração de Modelos de Regionalização de Vazões Máximas, Médias de Longo Período e Mínimas de Sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais.** Artigo Técnico: Engenharia Sanitária e Ambiental. Minas Gerais, v.10, n. 1, p. 64-71, jan/mar 2005, Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a07.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

BATISTA, Daiane F. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio – GO. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ**, Jataí – GO, n. 29, p. 15-35, jul.-dez. 2017.

BRASIL. Lei Federal N.º 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial [República Federativa do Brasil], Brasília, 9 jan. 1997.

CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. **Recuperação e conservação de nascentes.** Viçosa, MG: CPT, 2001. 84p.

CHEREM, Luis Felipe S. **Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas – MG.** 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/modelagem/dissertacoes/luizfelipecherem.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). **Diretrizes para Elaboração do Estudo de Cota de Inundação para Assente de Estruturas de Saneamento – Projeto de Engenharia.** Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2014/modulo_12.1_-_diretrizes_pe_-_cota_inundacao.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.** Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_srtm.html>. Acesso em: 20 jun. 2018.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 07 dez. 2018.

_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

FILHO, Luis César de A. L. et al. **Análise Morfométrica de uma Bacia Hidrográfica Urbana em Mossoró, RN.** In: II Simpósio de Manejo de Solo e água, PPGMSA/UFERSA. 05-09 dez. 2007. Mossoró – RN, 2007. Disponível em: <<https://even3storage.blob.core.windows.net/anais/74426.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

FONSECA, M. Braulio. **O uso do sistema de informações geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na serra do Espinhaço Meridional – MG.** 2010. 93f. Dissertação (Mestrado) - Programa de PósGraduação do Departamento de Geografia, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-86XLMN>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

HORTON, Robert E. **Erosional development os streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geol. Soc. America Bulletin, 56 (3), p. 257-370, 1945.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M.C.A.M.; GUIMARÃES, V.S. (2007). **Evolução da Hidrometria no Brasil.** Agência INMET. NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. 2011. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel/panorama>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG). **Cartas Topográficas**. Disponível em <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>. Acesso em: 18 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/index.php>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

JÚNIOR, Carlos R. F.; TUCCI, Carlos E. M. **Estimativa da Vazão Máxima Instantânea de Projeto Através de um Modelo Matemático**. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/vazaomaxima.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

JUNIOR, Osvaldo B. P.; ROSSETE, Amintas N. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeira, MT – Brasil. **Geoambiente ON-LINE, Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí – GO**. Jataí – GO, n. 4, p. 38-53, jan-jun/2005. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/25872>>. Acesso em 29 jun. 2018.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P.T.A. Análise Morfométrica da Bacia do Rio do Tanque, MG-BRASIL. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto – MG, 2001, v. 54, n.2, p. 121-126, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 20 nov. 2018.

LEITE, Marcos E.; ALMEIDA, Jefferson W. L.; SILVA, Renato F. da. Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da bacia do rio Pacuí – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Montes Claros – MG, n. 64/5, p. 677-691, 2012. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/473>>. Acesso em 29 jun. 2018.

LIMA, Walter de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Departamento

de Ciências Florestais, Piracicaba – São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 29 de jun. 2018.

NETO, SILVIO L. R. **Análises morfométricas em bacias hidrográficas integradas a um sistema de informações geográficas**. 1994. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

OLIVEIRA, Éderson D. de. et al. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava/PR**. ANALECTA. Guarapuava, Paraná v.10 n. 2 p. 45-65 jul./dez. 2009. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/analecta/article/viewFile/2098/1801>>. Acesso em 20 nov. 2018.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvvas Intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos**. Série secundária: Coleção Acervo do CNG. Rio de Janeiro – RJ. 419 p., 1957.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CASCAVEL – PR. **Perfil do Município**. Disponível em <<http://www.cascavel.pr.gov.br/secretarias/seplan/pagina.php?id=202>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PROCESSAMENTO DIGITAL. **Delimitação de Bacia Hidrográficas com o TauDEM versão 2017**. Disponível em <<http://www.processamentodigital.com.br/2017/11/06/qgis28-delimitacao-de-bacias-hidrograficas-com-taudem/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SALLES, Moacir M. **O Uso do SIG na Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio São João – MG**. 2010. 29 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Curso de especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-955NE9/moacir_mello_salles.pdf?sequence=1>. Acesso em 20 nov. 2018.

SANTOS, Luciana C. C. **Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Métodos Determinísticos e Probabilísticos**. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental, com área de concentração em Recursos Hídricos) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/10243/1/tese_4366_.pdf>. Acesso em 24 nov. 2018.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy**. Geological Society of America Bulletin, N. Jersey, v.67, p.597-646, 1956.

SILVA, Magno M. M. da. **Avaliação Hidromorfológica da Região Metropolitana de Goiânia – Estimativa de Vazões Máximas e Caracterização Morfométrica**. 2017. 67 f. Monografia. Universidade Federal de Goiás – Escola de Engenharia Civil e Ambiental. Goiânia – GO, 2017. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/TCC_-_Magno_Muniz.pdf>. Acesso em 20 nov. 2018.

SOUZA, Celia R. de G. Suscetibilidade Morfométrica de Bacias de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações em Áreas Costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, ano 6, n.1. pp 45-61, 2005. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/38/157>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

STIPP, Nilza A. F.; CAMPOS, Ricardo A.; CAVIGLIONE, João Henrique. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais**. Portal de Cartografia – Geociências. Universidade Estadual de Londrina (UEL). Londrina, v.3, n.1. pp 105-124, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/8929>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

STRAHLER, Arthur. N. **Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosional topography**. Geol. Soc. America Bulletin, 63, p. 1117-1142, 1952.

TEODORO, V. L. et al. Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. In: **Revista Uniara: Revista do Centro Universitário de Araraquara**, Araraquara/SP. n. 20, p. 137-156. 2007. Disponível em: <https://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2018.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. 1. ed. São Paulo: Navegar, 2002.

Tonello, Kelly C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Ganhães – MG. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf>> Acesso em: 29 jun. 2018.

TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. **Mapa Índice TOPODATA**. Disponível em <<https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.

VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.