



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

DANIEL PEREIRA DA SILVA

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO RIOZINHO, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE GOIATINS-TO

Palmas - TO

2021

DANIEL PEREIRA DA SILVA

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO RIOZINHO, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE GOIATINS-TO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Hider cordeiro Morais  
Coorientador: Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos

Palmas - TO  
2021

DANIEL PEREIRA DA SILVA

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO RIOZINHO, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE GOIATINS-TO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Palmas - TO, \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. ....

Universidade .....

---

Prof. Dr. ....

Universidade .....

---

Prof. Dr. ....

Universidade .....

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro, quero agradecer a Deus por me dar força e fé para percorrer esta jornada;

À minha família, meus pais, Donatil Ribeiro da Silva, Maria Pereira da Silva e a meus nove irmãos, o berço da onde sai todos os meus conhecimentos mais valiosos;

Ao meu orientador Prof. M.e Hider cordeiro Moraes, pela oportunidade trabalho;

Ao meu Coorientador Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa;

Aos meus verdadeiros amigos.

“Sobre tudo o que se deve guardar, guarda o teu coração, porque dele procedem as saídas da vida.”

Provérbios 4:23 ARC

## RESUMO

Avaliar de uma maneira precisa os processos de transformações de chuva – vazão é de suma importância para um melhor desenvolvimento dos gerenciamentos, dos recursos hídricos. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio riozinho, localizada na região do município de Goiatins, do estado do Tocantins. Este trabalho tem como objetivo a atingir a vazão máxima de projeto da bacia hidrográfica, para isso é necessário realizar uma delimitação automática da bacia, que a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizada do projeto TOPODATA, e utilizando o SIG gratuito e de linguagem aberta QGIS, é possível chegar aos parâmetros morfométricos da bacia isso com o auxílio dos plugins SAGA, GRASS. Foram então determinados os parâmetros que influenciam no comportamento hidrológico da área, como: características geométricas da bacia sendo eles (área, perímetro, forma da bacia), os parâmetros da rede de drenagem que é (ordenamento dos cursos d'água; densidade de drenagem; extensão média do escoamento superficial) e de relevo (declividade média; perfil longitudinal do canal principal). De acordo com os valores obtidos, verificou-se que a bacia hidrográfica do Rio riozinho possui uma densidade de drenagem de 0,254 km/km<sup>2</sup>. Foi observado também que a bacia apresenta forma alongada considerada forma elíptica, o que lhe garante uma baixa tendência de enchentes. Isso tudo foi comprovado fazendo uma análise dos dados como preenchimentos de falha, tempo de retorno e frequência, isso tudo contribuindo para que fosse possível calcular a chuva de projeto, e posteriormente chegar ao objetivo final que é vazão máxima de projeto. E por meio das análises, os resultados encontrados mostraram-se muitos satisfatórios e eficientes, isso uma vez que os tais dados são escassos região da bacia em estudo e servirá de fonte de dados para futuros projetos e estudos ambientais, realizados na região.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica. Chuva-vazão. Vazão de projeto

## ABSTRACT

Accurately evaluating the processes of rainfall transformations – flow is of paramount importance for a better development of management of water resources. The study area is the river basin of the Riozinho River, located in the region of the municipality of Goiatins, in the state of Tocantins. This work aims to achieve the maximum flow of the river basin project, for this it is necessary to carry out an automatic delimitation of the basin, which from a Digital Elevation Model (DEM), made available from the TOPODATA project, and using the free GIS and QGIS open language, it is possible to reach the morphometric parameters of the basin with the help of the SAGA and GRASS plugins. The parameters that influence the hydrological behavior of the area were then determined, such as: geometric characteristics of the basin, namely (area, perimeter, form of the basin), the parameters of the drainage network (ordering of water courses; drainage density ; average extension of runoff) and relief (average slope; longitudinal profile of the main channel). According to the values obtained, it was found that the river basin of the Riozinho River has a drainage density of 0.254 km/km<sup>2</sup>. It was also observed that the basin has an elongated shape considered to be an elliptical shape, which guarantees a low tendency for flooding. This was all proven by analyzing data such as fault fillings, return time and frequency, all of which contributed to making it possible to calculate the design rainfall, and later reach the final objective, which is maximum design flow. And through the analysis, the results found proved to be very satisfactory and efficient, since such data are scarce in the region of the basin under study and will serve as a source of data for future projects and environmental studies carried out in the region.

**Keywords:** hydrographic basin. Rain-flow. project flow

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Sistemas de ordenamento dos canais.....	19
Figura 2 — Ciclo Hidrológico.....	22
Figura 3 — Tipos de Chuvas Segundo a Origem do processo .....	25
Figura 4 — Característica de um Pluviômetro Manual .....	29
Figura 5 — Características de um Pluviógrafo, baseado no mecanismo de cubas basculantes .....	30
Figura 7 — Valores aproximados do parâmetro CN para diferentes condições de cobertura vegetal.....	59



## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 — Bacia Hidrográfica do Rio Riozinho .....	34
Mapa 2 — Modelo Digital de elevação - MDE .....	44
Mapa 3 — Ordenamento da bacia hidrográfica do rio Riozinho, conforme metodologia de Strahler (1957). .....	46
Mapa 4 — localização dos postos pluviométricos .....	47
Mapa 5 — localização dos postos pluviométricos e os polígonos de Thiessen .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Medidas e valores de parâmetros morfométricos da BHRC .....	43
Tabela 2 — Dados dos postos pluviométricos .....	48
Tabela 3 — tabela com as médias mensais.....	48
Tabela 4 — tabela período base .....	50
Tabela 5 — serie anual de precipitação máxima.....	51
Tabela 6 — coeficiente de correlação das serie anual de precipitação total.....	52
Tabela 7 — serie anual de precipitação máxima preenchida as falhas.....	52
Figura 8 — Gráficos com a curva de tendencia e suas correlações .....	53
Tabela 9 — serie anual de precipitação máxima preenchida as falhas.....	54
Tabela 10 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 747001 ...	55
Tabela 11 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 847001 ...	56
Tabela 12 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 848003 ...	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
ANA	Agência Nacional de Águas
BH	Bacia Hidrográfica
BHRR	Bacia hidrográfica do Rio Riozinho
cm <sup>2</sup>	Centímetro Quadrado
Dd	Densidade de Drenagem
Etc	Et Cetera
g	Gramma
h	Hora
ha	Hectare
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
km	Quilômetros
km/km <sup>2</sup>	Quilômetros por Quilômetros quadrado
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrado
L	Litro
L.s-1	Litros por segundo
m	Metro
m <sup>3</sup> .s-1	Metro Cúbico por segundo
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
ml	Mililitro
mm	Milímetro
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTM	Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

-	Menos
()	Parênteses
%	Porcentagem
+	Mais
=	Igual
n°	Número

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivos Geral</b> .....	15
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	15
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA .....	15
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA .....	17
2.1.1	<b>forma da bacia hidrográfica</b> .....	17
2.1.2	<b>Área da Bacia Hidrográfica</b> .....	17
2.1.3	<b>rede de drenagem da bacia</b> .....	18
2.1.3.1	Ordem dos cursos d'água. ....	18
2.1.4	<b>balanço hídrico</b> .....	19
2.1.5	<b>variáveis hidrológicas</b> .....	20
2.1.6	<b>serie hidrológica</b> .....	20
2.2	CICLO HIDROLÓGICO .....	21
2.3	ETAPAS DA CICLO HIDROLÓGICO .....	22
2.3.1	<b>Precipitação atmosféricas</b> .....	22
2.3.2	<b>Infiltração</b> .....	23
2.3.3	<b>Escoamentos</b> .....	23
2.3.4	<b>evaporação e/ou Evapotranspiração</b> .....	23
2.4	CHUVAS .....	24
2.4.1	<b>Chuvras Frontais</b> .....	25
2.4.2	<b>Chuvras Convectivas</b> .....	26
2.4.3	<b>Chuvras Orográficas</b> .....	26
2.5	MEDIÇÃO DA CHUVA .....	27
2.5.1	<b>Pluviômetros</b> .....	28
2.5.2	<b>pluviógrafos</b> .....	29
2.6	MODELOS CHUVA-VAZÃO .....	30
2.7	VAZÃO .....	31
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	33
3.1	DESENHO DO ESTUDO (TIPO DE ESTUDO) .....	33
3.2	PROCESSAMENTO DE DADOS .....	33
3.2.1	<b>Localização da bacia</b> .....	33
3.2.2	<b>Procedimentos para Delimitação</b> .....	34
3.3	IDENTIFICAÇÃO E REALIZAÇÃO DO TRATAMENTO ESTÁTICOS.....	35
3.3.1	<b>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)</b> .....	35
3.3.2	<b>SISTEMA DE DRENAGEM</b> .....	36
3.3.2.1	Densidade de Drenagem (Dd) .....	36
3.3.2.2	extensão média do escoamento superficial (I) .....	36
3.3.2.3	Índice de Sinuosidade (Sin) .....	37

3.3.2.4	Declividade do Curso d'água principal (Ieq) .....	37
3.3.3	<b>CARACTERÍSTICAS DE FORMA</b> .....	37
3.3.3.1	Fator de Forma ( $F_f$ ).....	37
3.3.3.2	Coeficiente de Compacidade (kc).....	38
3.3.3.3	Índice de Circularidade (Ic).....	39
3.3.3.4	Declividade média da bacia (I) .....	39
3.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS PLUVIOMETRICO.....	40
3.5	PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE A BACIA.....	40
3.5.1	<b>Método de Thiessen</b> .....	40
3.6	VAZÃO .....	41
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	43
4.1	SISTEMA DE DRENAGEM .....	44
4.1.1	<b>densidade de drenagem (Dd)</b> .....	45
4.2	DADOS PLUVIOMETRICO .....	46
4.2.1	<b>Estações pluviométrica</b> .....	47
4.2.2	<b>Ano hidrológico</b> .....	48
4.2.3	<b>Período base</b> .....	49
4.2.4	<b>Serie anual de Precipitação Máxima</b> .....	51
4.2.4.1	<b>Coeficiente de correlação</b> .....	52
4.2.4.2	<b>Preenchimento de falhas</b> .....	52
4.2.4.3	<b>Análise de frequência e tempo de retorno</b> .....	54
4.3	PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE A BACIA.....	57
4.4	VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO .....	59
5	<b>CONCLUSÃO FINAL</b> .....	61
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida e ao desenvolvimento econômico-social das nações. Trata-se de um recurso natural renovável que pode tornar-se escasso com o crescimento das populações, das indústrias e da agricultura. (TUCCI, 2000).

Assim o Ciclo Hidrológico se constitui de uma sucessão de vários processos na natureza pelos quais a água inicia o seu caminho indo de um estágio inicial até retornar a posição primitiva. Este fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado fundamentalmente pela energia radiante e associado à gravidade e à rotação terrestre. Estima-se que cerca de 10% do total de vapor seja reciclado diariamente. (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Os recursos hídricos são de importância econômica e estratégica para o desenvolvimento regional e o estudo destes recursos, por meio de monitoramento, torna-se essencial para um bom planejamento, gerenciamento e uso destes recursos. As bacias hidrográficas são vulneráveis a alterações da vegetação, pois essas alterações interferem nas propriedades do solo, refletindo nas propriedades da água dos rios, ou seja, a presença ou não de vegetação pode influenciar nas características da água e no ciclo hidrológico em um manancial, o que é de fundamental importância para a sustentabilidade do ambiente. No entanto, para atingir um nível desejável de preservação destes recursos, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados ao monitoramento e análise dos principais componentes do ciclo hidrológico; (Balbinot et al., 2007). Dentre as regiões de importância prática para os hidrologistas destacam-se as Bacias Hidrográficas (BH) ou Bacias de Drenagem, por causa da simplicidade que oferecem na aplicação do balanço de água, os quais podem ser desenvolvidos para avaliar as componentes do ciclo hidrológico para uma região hidrologicamente determinada. Bacia Hidrográfica é, portanto, uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída. (Carvalho; Mello; Silva, 2007).

Assim, em análises hidrológicas, a bacia hidrográfica é necessariamente a unidade de pesquisa e planejamento, sendo o conhecimento de suas características físicas o primeiro passo nos estudos de gerenciamento dos recursos hídricos. O uso

e ocupação do solo nas bacias hidrográficas interferem decisivamente no regime hidrológico, ocasionando variações expressivas tanto em termos de vazões máximas como de vazões mínimas. (SANTOS, 2010).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 **Objetivos Geral**

Analisar os comportamentos das vazões do rio Riozinho, ao longo das séries históricas.

### 1.1.2 **Objetivos Específicos**

Delimitação e caracterização da área da bacia hidrográfica.

Identificação e realização do tratamento estáticos na série histórica das estações Pluviométrica.

Determinação da vazão máxima de projeto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Em virtude da grande demanda contínua de água na área da bacia, que podem estar gerando um déficit na oferta da vazão do rio, o presente trabalho tem como intuito descobrir e analisar a capacidade hídrica da sub bacia do rio riozinho, rio afluente a margem direita do rio Tocantins.

através de estudos sobre dados coletados, podemos chegar em um parâmetro de análise para verificar se os impactos causados pelas ações antrópicas na região, pode ter causado uma redução na oferta da vazão na bacia do rio Riozinho, desse modo o trabalho proposto irá apresentar as características principais e a disponibilidade hídrica da bacia, que é de grande importância para o planejamento a longo prazo. Visando a longevidade dos recursos hídricos para as próximas gerações e a sustentabilidade do ecossistema, de acordo o Art. 7º da lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997)

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA



Os Múltiplos usos recorrentes na área da bacia sem discernimento e planejamento podem causar diversos problemas para as futuras gerações, como uma possível redução Hídrica. Devido a essas causas pode a ver uma redução nas vazões ao longo do tempo, quais os efeitos que podem ser provocados na área e no principal rio da bacia hidrográfica devido a essa redução hídrica?

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. (TUCCI, 2000, p. 40).

A bacia hidrográfica, também denominada bacia pluvial ou bacia de drenagem, é uma delimitação geográfica e hidrológica contornada por divisores de água ou divisores topográficos que encaminham água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto em comum, conhecido como exutório. (silva et al., 2016).

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente. (TUCCI, 2000, p. 41).

#### 2.1.1 forma da bacia hidrográfica

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante devido ao tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou, em outras palavras, tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma. Em geral as bacias hidrográficas dos grandes rios apresentam a forma de uma pera ou de um leque, mas as pequenas bacias variam muito no formato. dependendo da estrutura geológica do terreno. Existem vários índices utilizados para determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas; assim o coeficiente de compacidade a relaciona com um círculo e o fator de forma com um retângulo. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 13).

#### 2.1.2 Área da Bacia Hidrográfica

Área da bacia é representada normalmente por A, a área é um dado fundamental, para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, porque seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia. Por isso considera-se como a área da bacia hidrográfica a sua área projetada verticalmente. Uma vez definidos os contornos da bacia, a sua área pode ser obtida por planimetragem direta de mapas que já incorporam a projeção vertical. Também é possível determinar a área de uma bacia por cálculos matemáticos de mapas arquivados eletronicamente através do SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (TUCCI, 2000, p. 46).

### **2.1.3 rede de drenagem da bacia**

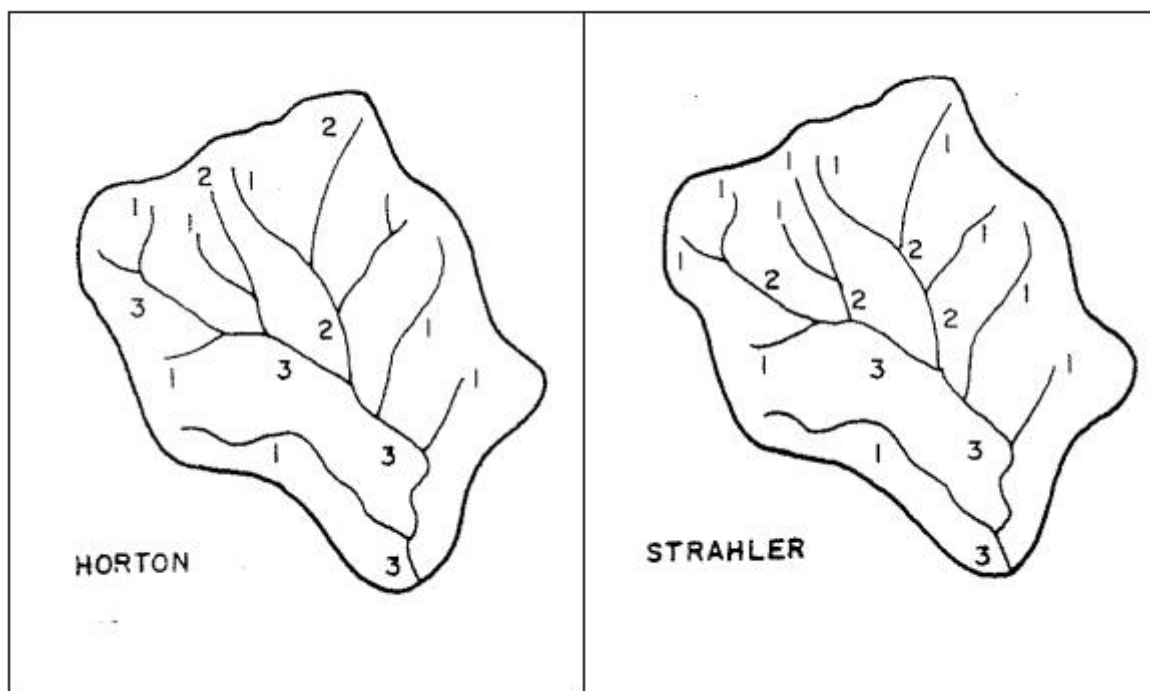
A rede de drenagem da bacia está associada a capacidade e eficiência em que se transforma a chuva em escoamento superficial. É constituída por um dreno principal e seus tributários, classificados como perenes (aqueles que mesmo em períodos mais seco observa-se a presença de escoamento), intermitente (o escoamento não ocorre em períodos de secas) e efêmeros (apresenta escoamento em períodos de chuva). (MEDEIROS, 2017, p. 18).

#### **2.1.3.1 Ordem dos cursos d'água.**

Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra, os critérios para ordenação dos cursos d'água. Sendo os canais de primeira ordem aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente. Segundo o mesmo autor, outra metodologia para descrever a ordem dos cursos d'água da bacia foi proposta por Arthur N. Strahler, em 1952, onde os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da

confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores, assim sucessivamente.

Figura 1 — Sistemas de ordenamento dos canais



Fonte: TUCCI (2000)

#### 2.1.4 balanço hídrico

O balanço hídrico é a circulação da água que ocorre na atmosfera, hidrosfera e litosfera. O balanço hídrico da bacia hidrográfica envolve a quantificação dos componentes de entrada e saída do sistema (também chamado de “volume de controle”). Entre os modelos mais simples em hidrologia destaca-se a equação do balanço hídrico. A equação de balanço hídrico nada mais é do que a equação de continuidade, na qual se colocam em evidência as variáveis hidrológicas mais importantes: precipitação, evapotranspiração, deflúvio e armazenamento superficial e subterrâneo (Finkler, p. 35).

O balanço hídrico, em macro escala, pode ser considerado o próprio ciclo da água. Em uma escala intermediária representada por uma microbacia, refere-se as

variações na vazão da água dos cursos hídricos. Já na microescala, o balanço hídrico é considerado através da determinação da disponibilidade da água do solo (Finkler, p. 36).

### **2.1.5 variáveis hidrológicas**

As variáveis hidrológicas são controladas por inúmeros fatores em diferentes escalas, temporais e espaciais. Portanto, essas variáveis sofrem influências desde os tipos em escala regional como o clima e atividades antrópicas, ou em escala da bacia como o tipo de solo, uso e cobertura da terra, erosão e relevo, até os tipos em escala de microbacias onde as condições de contorno como profundidade do canal, largura do canal, velocidade da água, variáveis de qualidade de água são mais facilmente monitoradas para a determinação dos habitats que serão mantidos nessas condições. Variáveis hidrológicas como vazão natural, vazão média, vazão específica, vazão de permanência e vazão ecológica serão comentados a seguir (GUANDIQUE; MORAIS, 2015, p. 441-442).

A determinação da quantidade de água numa determinada bacia hidrográfica depende inicialmente da área considerada, do clima e das condições de uso e cobertura da terra que influenciam de forma direta o comportamento sazonal dos fluxos de água dentro da área analisada. (GUANDIQUE; MORAIS, 2015, p. 441).

### **2.1.6 serie hidrológica**

As séries hidrológicas podem incluir todas as observações disponíveis, coletadas em intervalos de tempo regulares ao longo de vários anos de registros, ou apenas alguns de seus valores característicos como, por exemplo, os máximos anuais ou as médias mensais. No primeiro caso, quando nenhum registro é desprezado, trata-se da chamada série hidrológica completa e, no segundo, quando apenas algumas observações do registro são consideradas, ou quando elas são resumidas por meio de valores médios anuais ou mensais, trata-se da série hidrológica reduzida. (PINTO; NAGHETTINI, 2006, p. 8)

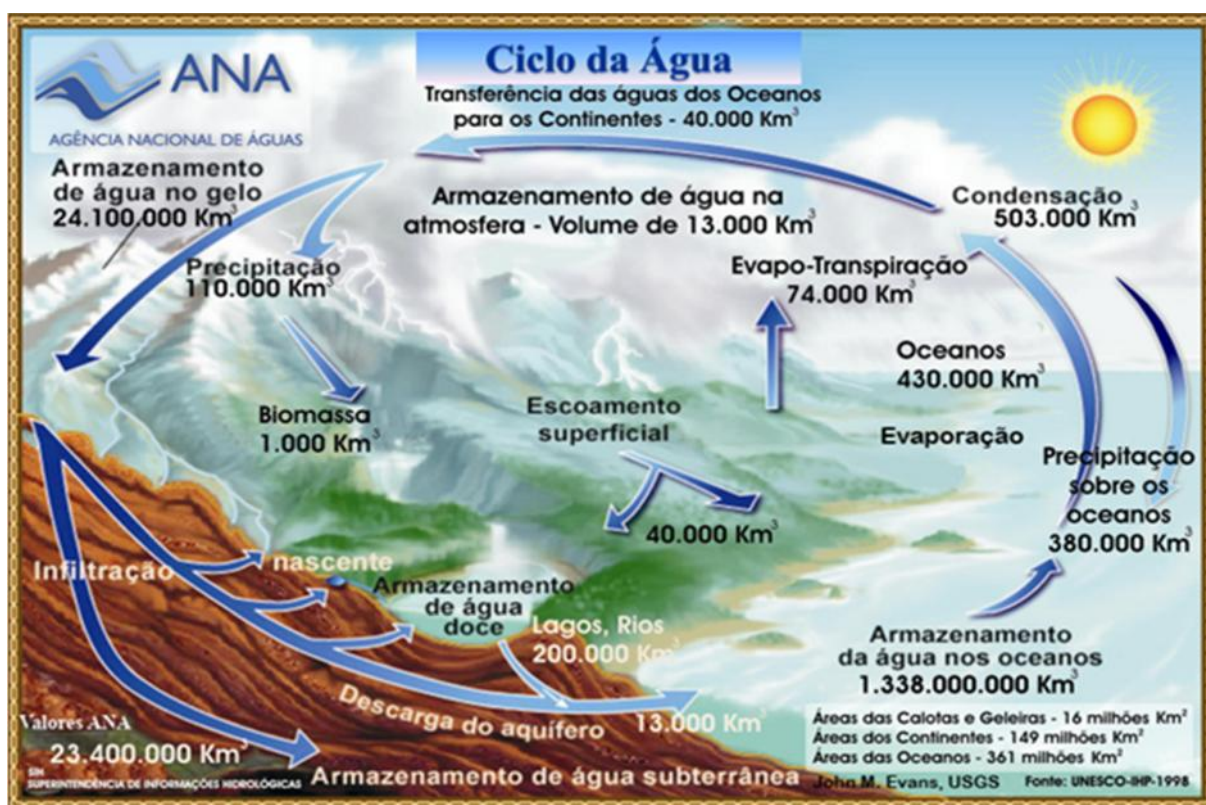
A série composta por todas as vazões médias diárias observadas em uma estação fluviométrica é um exemplo de uma série completa, enquanto aquela

composta pelas vazões médias anuais, organizadas de acordo com a ordem cronológica das ocorrências, é um exemplo de série reduzida. (PINTO; NAGHETTINI, 2006, p. 8)

## 2.2 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. (TUCCI, 2000, p. 35). O comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformações de estado e relações com a vida humana é bem caracterizado por meio do conceito de ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico pode ser considerado como composto de duas fases principais: uma atmosférica e outra terrestre. Cada uma delas incluem, armazenamento temporário de água, transporte e mudança de estado (Garcez; Alvarez, 1988, p. 2). O Ciclo Hidrológico se constitui de uma sucessão de vários processos na natureza pelos quais a água inicia o seu caminho indo de um estágio inicial até retornar à posição primitiva. Este fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado fundamentalmente pela energia radiante e associado à gravidade e à rotação terrestre. (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010, p. 2). O ciclo hidrológico caracteriza-se por um fenômeno natural de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera (principalmente na troposfera) dirigido pelo Sol associado à gravidade e à rotação terrestre. Compõem o ciclo hidrológico: a evapotranspiração, a condensação, a precipitação, o escoamento e a infiltração (Schiavetti; Camargo, 2002, p. 52).

Figura 2 — Ciclo Hidrológico



Fonte: Adaptado de Ana (Agência Nacional de Águas)

### 2.3 ETAPAS DA CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Garcez e Alvarez (1988) O ciclo hidrológico pode ser compreendido em quatro etapas principais sendo elas precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho), escoamentos subterrâneos (infiltração, águas subterrâneas), escoamentos superficiais (torrentes, rios e lagos), evaporação (na superfície das águas e no solo) e transpiração dos vegetais e animais. no qual cada um tem a sua particularidade na forma de se apresentar em cada etapa do ciclo hidrológico.

Quando universalmente considerado, o volume de água compreendido em cada parte do ciclo hidrológico é relativamente constante; porém, quando se considera uma área limitada, as quantidades de água em cada parte do ciclo variam continuamente, dentro de amplos limites. A superabundância e a escassez de chuva representam, numa determinada área, os extremos dessa variação (Garcez; Alvarez, 1988, p. 3).

#### 2.3.1 Precipitação atmosféricas

Entende-se por precipitações atmosféricas como o conjunto de águas originadas do vapor de água atmosférico que cai, em estado líquido ou sólido, sobre a superfície da terra. O conceito engloba, portanto, não somente a chuva, mas também a neve, o granizo, o nevoeiro, o sereno e a geada. (Garcez; Alvarez, 1988, p. 57).

A precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra. A precipitação é formada a partir dos seguintes estágios. dos resfriamentos do ar à proximidade da saturação, da condensação do vapor d'água na forma de gotículas e do aumento do tamanho das gotículas por coalizão e aderência até que estejam grandes o suficiente para formar a precipitação. (Sperling, 1995, p. 18).

### **2.3.2 Infiltração**

Infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto, é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior. (TUCCI, 2000, p. 335).

### **2.3.3 Escoamentos**

As águas provenientes das chuvas atingem o leito do curso de água por quatro vias diversas sendo eles: escoamento superficial, escoamento subsuperficial (hipodérmico), escoamento subterrâneo, precipitação direta sobre a superfície livre. (Pinto et al., 1976, p. 36).

A precipitação que atinge a superfície da Terra tem dois caminhos por onde seguir: escoar na superfície ou infiltrar no solo. O escoamento superficial é responsável pelo deslocamento da água sobre o terreno, formando córregos, lagos e rios e eventualmente atingindo o mar. A quantidade de água que escoar depende dos seguintes fatores principais, intensidade da chuva e capacidade de infiltração do solo. (Sperling, 1995, p. 18).

### **2.3.4 evaporação e/ou Evapotranspiração**



A evaporação e a evapotranspiração ocorrem quando a água líquida é convertida para vapor de água e transferida, neste estado, para a atmosfera. O processo somente poderá ocorrer naturalmente se houver ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera, ou de ambos e, será controlado pela taxa de energia, na forma de vapor de água que se propaga da superfície da Terra. Esta transferência ocorre fisicamente, nas formas de difusão molecular e turbulenta. Logo, o processo de evaporação/evapotranspiração de superfícies naturais, pode ser simulado com embasamento físico, por modelos que descrevem o efeito de resistência à difusão molecular e turbulenta sobre a distribuição de energia do sol ou da atmosfera (TUCCI, 2000, p. 253).

Evaporação é o processo físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso. Em meteorologia, o termo evaporação restringe-se à mudança da água no estado líquido para vapor devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, as variáveis meteorológicas que interferem na evaporação, particularmente de superfícies livres de água, são a temperatura do ar, vento e pressão de vapor. (TUCCI, 2000, p. 253).

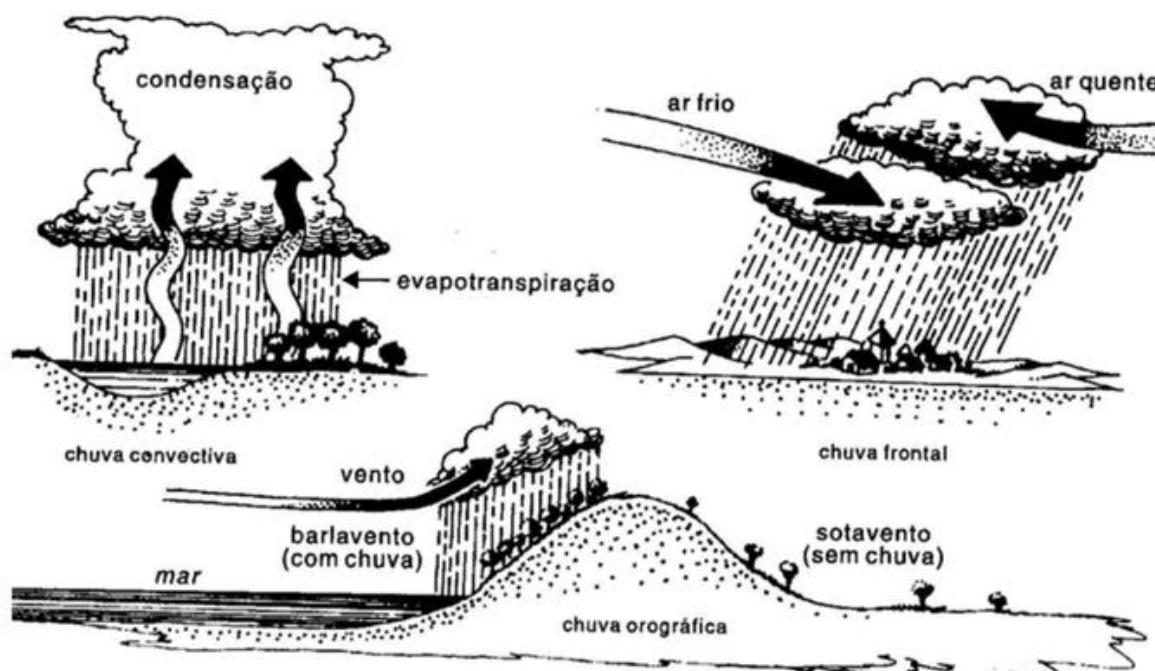
## 2.4 CHUVAS

A formação das chuvas está associada à ascensão das massas de ar quente e úmidas e a formação de nuvens. As nuvens se formam pela perda do ar conter umidade. Isto ocorre normalmente, quando massas de ar que estão com alta umidade relativa, sofrem resfriamento (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010, p. 5).

Pinto et al. (1976) Destaca que de todas as etapas do ciclo hidrológico, a forma de chuva por ser mais facilmente medida, e a que mais contribuem para a vazão dos rios. Devido as outras formas ser bastante incomum a ocorrência em alguns lugares da superfície terrestre. Assim podemos destacar a chuva entre as varias etapas do ciclo hidrológico.

Para ocorrer uma chuva é necessário que essas gotículas cresçam a partir de “núcleos de condensação” (poeira, aerossóis e etc.) até atingirem um peso suficiente capaz de sobrepor as forças de sustentação e, portanto, se precipitem. São três os tipos de chuvas na Natureza: Chuvas Convectivas, Chuvas Orográficas e Chuvas Frontais. (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010, p. 6).

Figura 3 — Tipos de Chuvas Segundo a Origem do processo



Fonte: Adaptado de MACHADO (2005)

#### 2.4.1 Chuvas Frontais

Provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas. São chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. Essas precipitações podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica. Podem produzir cheias em grandes bacias (TUCCI, 2000, p. 180).

As chuvas frontais ocorrem quando se encontram duas grandes massas de ar, de diferente temperatura e umidade. Na frente de contato entre as duas massas o ar mais quente (mais leve e, normalmente, mais úmido) é empurrado para cima, onde atinge temperaturas mais baixas resultando na condensação do vapor. As massas de ar que formam as chuvas frontais têm centenas de quilômetros de extensão e movimentam-se de forma relativamente lenta, conseqüentemente as chuvas frontais caracterizam-se pela longa duração e por atingirem grandes extensões. No Brasil, as

chuvas frontais são muito frequentes na região Sul. (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 54).

#### 2.4.2 Chuvas Convectivas

As chuvas convectivas ocorrem pelo aquecimento de massas de ar, relativamente pequenas, que estão em contato direto com a superfície quente dos continentes e oceanos. O aquecimento do ar resulta na sua elevação para níveis mais altos da atmosfera onde as baixas temperaturas condensam o vapor, formando nuvens denominadas *cumulunimbus*. Este tipo de nuvem tem desenvolvimento na direção vertical, com sua base em baixas altitudes e seu topo em grandes altitudes (-500m até-15km) (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 54).

Esse processo pode ou não resultar em chuva, e as chuvas convectivas são caracterizadas pela alta intensidade e pela curta duração, e ocorrem predominantemente no turno vespertino do dia. Normalmente, porém, as chuvas convectivas ocorrem de forma concentrada sobre áreas relativamente pequenas. No Brasil, há uma predominância de chuvas convectivas, especialmente nas regiões tropicais, nas regiões Sul sua frequência é maior na estação do verão (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 54).

Quando em tempo calmo, o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local de ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações. São as chuvas convectivas, características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão (tempestades violentas). São, geralmente, chuvas de grande intensidade de pequena duração, restritas a áreas pequenas. São precipitações que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias (TUCCI, 2000, p. 180).

#### 2.4.3 Chuvas Orográficas

As chuvas orográficas ocorrem em regiões onde um grande obstáculo do relevo, como uma cordilheira ou serra muito alta, impede a passagem de ventos quentes e úmidos, que sopram do mar, obrigando o ar a subir para níveis mais altos da atmosfera. Em maiores altitudes, a umidade do ar se condensa, formando nuvens junto aos picos da serra, onde chove com muita frequência. (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 55).

são chuvas que são oriundas da passagem de uma massa de ar quente e úmido por uma cadeia de montanha, provocando a ascensão forçada do ar, que gradativamente se esfria provocando a condensação do vapor de água e conseqüentemente a formação de nuvens que se precipitam. Caracterizam-se pela sua longa duração e baixa intensidade e por não apresentarem qualquer tipo de descarga elétrica. (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010, p. 6).

Quando ventos quentes e úmidos, soprando geralmente do oceano para continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas. Quando os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto projeta-se a *sombra pluviométrica*, dando lugar a áreas secas ou semiáridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta (TUCCI, 2000, p. 180).

## 2.5 MEDIÇÃO DA CHUVA

Dois são os tipos principais de aparelhos utilizados para a medida das precipitações: os simples receptores, que recolhem a água tombada e a armazenam convenientemente para posterior medição volumétrica (pluviômetros), e os aparelhos registradores, que registram continuamente a quantidade de chuva que recolhem (pluviógrafos). (Garcez; Alvarez, 1988, p. 64).

A chuva também pode ser estimada utilizando radares meteorológicos. A medição de chuva por radar está baseada na emissão de pulsos de radiação eletromagnética que são refletidos pelas partículas de chuva na atmosfera, e na medição da intensidade do sinal refletido. A relação entre a intensidade do sinal enviado e recebido denominada refletividade, é correlacionada à intensidade de chuva

que está caindo em uma região. A principal vantagem do radar a possibilidade de fazer estimativas de taxas de precipitação em uma grande região no entorno da antena emissora e receptora, embora existam erros consideráveis quando as estimativas são comparadas com dados de pluviógrafos (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 57).

Também é possível fazer estimativas da precipitação a partir de imagens obtidas por sensores instalados em satélites. A temperatura do topo das nuvens, que pode ser estimada a partir de satélites, tem uma boa correlação com a precipitação. Além disso, existem experimentos de radares a bordo de satélites que permitem aprimorar a estimativa baseada em dados de temperatura de topo de nuvem (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 57).

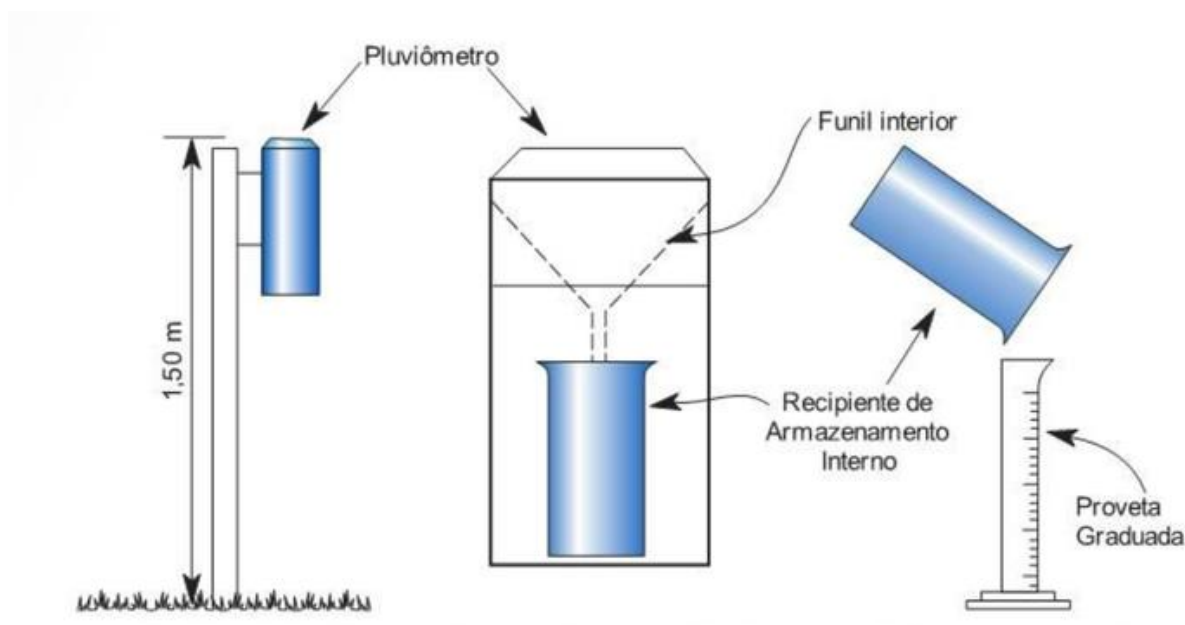
### 2.5.1 Pluviômetros

A chuva é medida utilizando instrumentos chamados pluviômetros que nada mais são do que recipientes para coletar a água precipitada com algumas dimensões padronizadas. O pluviômetro mais utilizado no Brasil tem uma forma cilíndrica com uma área superior de captação da chuva de (400 cm<sup>2</sup>), de modo que um volume de (40 ml) de água acumulado no pluviômetro corresponda a (1 mm) de chuva. O pluviômetro é instalado a uma altura padrão de (1,50 m) do solo e a uma certa distância de casas, árvores e outros obstáculos que podem interferir na quantidade de chuva captada (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 56).

Em princípio, qualquer recipiente poderia funcionar como pluviômetro, desde que de uma forma qualquer fosse impedida a evaporação da água acumulada. A necessidade de tornar os resultados comparáveis entre si exige, porém, como já foi assinalado, a normalização, em particular no que diz respeito a área do receptor (Garcez; Alvarez, 1988, p. 64).

Os pluviômetros são normalmente observados uma ou duas vezes por dia, todos os dias, em horas certas e determinadas (importante): não indicam, portanto, a intensidade das chuvas ocorridas, mas tão-somente a altura pluviométrica diária (ou a intensidade média em 12 h). (Garcez; Alvarez, 1988, p. 64).

Figura 4 — Característica de um Pluviômetro Manual



Fonte: Collischonn e Dornelles (2016)

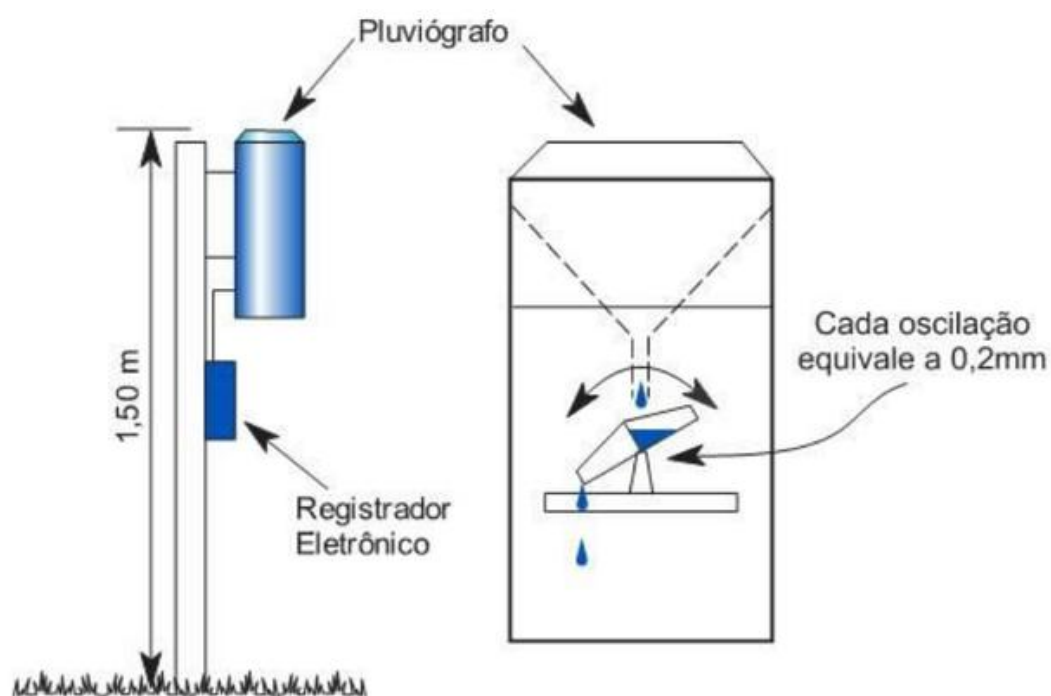
### 2.5.2 pluviógrafos

O pluviógrafo ou pluviômetro automático mais comum, atualmente, é o de cubas basculantes em que a água recolhida é dirigida para um conjunto de duas cubas articuladas por um eixo central. A água é dirigida inicialmente para uma das cubas e quando esta cuba recebe uma quantidade de água equivalente a (20 g), aproximadamente, o conjunto gira em torno do eixo, a cuba cheia esvazia e a cuba vazia começa a receber água. Cada movimento das cubas basculantes equivale a uma lâmina precipitada (por exemplo 0.2 mm), e o aparelho registra o número de movimentos e o tempo em que ocorre cada movimento (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 56).

A principal vantagem do pluviógrafo, ou pluviômetro automático, sobre o pluviômetro de medição manual, é que o primeiro permite analisar detalhadamente os eventos de chuva e sua variação ao longo do dia. Isto é especialmente importante em chuvas convectivas, cuja duração é curta e cuja intensidade é alta, e em bacias urbanas, que são as áreas em que esse tipo de chuva causa os maiores problemas. Além disso, o pluviógrafo eletrônico pode ser acoplado a um sistema de transmissão

de dados via rádio ou telefone celular, facilitando a criação e operação de sistemas de alerta de eventos hidrológicos extremos. (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 56).

Figura 5 — Características de um Pluviógrafo, baseado no mecanismo de cubas basculantes



Fonte: Collischonn e Dornelles (2016)

## 2.6 MODELOS CHUVA-VAZÃO

A definição de um modelo chuva-vazão é uma extensão da definição geral de modelos, ou seja, um modelo chuva-vazão é uma ferramenta que, através de uma abordagem simplificada dos processos do ciclo hidrológico, tem como objetivo principal, avaliar qual a resposta em termos de vazão de uma dada bacia hidrográfica em função de uma precipitação qualquer. Estes modelos devem ser capazes de descrever em função da precipitação, as perdas por evaporação, interceptação, infiltração e percolação da água subterrânea e de calcular o escoamento superficial e o escoamento de base (MACHADO, 2005, p. 28-29).

A escolha por um ou outro modelo é subjetiva e depende, além de questões como objetivos, limites, quantidade e qualidade de dados, também da questão de maior ou menor sensibilidade do usuário com o modelo. Não é válido afirmar que um

modelo seja melhor que outro quando se leva em consideração nesta avaliação o rigor que os mesmos tratam dos processos do ciclo hidrológico. Isto é válido quando se sabe que os erros embutidos pela simplificação de um ou outro processo são menores que os erros referentes aos dados de entradas. A precipitação é um exemplo disto, os erros devido às simplificações quanto à distribuição temporal e espacial da mesma são muito maiores do que qualquer refinamento da metodologia que simule os processos físicos da bacia. (MACHADO, 2005, p. 29-30).

Em termos gerais os modelos chuva-vazão são utilizados para: estudo do comportamento dos fenômenos físicos hidrológicos; análise de consistência e preenchimento de falhas; previsão de vazão em tempo real; previsão de cenários de planejamento; efeitos resultantes da modificação do uso do solo; dimensionamento de obras hidráulicas (Tucci, 1998) e (BARTH et al., 1987)

Na escolha de um modelo chuva-vazão deve-se levar em consideração aspectos como: os objetivos para os quais o modelo será utilizado, as limitações do modelo e qualidade e quantidade de dados (Tucci, 1998). Em termos gerais os sistemas hidrológicos são quase sempre contínuos, distribuídos, não lineares e estocásticos, no entanto nem todos os modelos chuva- vazão tratam o sistema como realmente ele é ou ocorre (MACHADO, 2005, p. 31).

## 2.7 VAZÃO

É o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água. Podemos distinguir as vazões normais e as vazões de inundação. No primeiro caso estão as que, ordinariamente, escoam no curso de água e no segundo as que, ultrapassando um valor limite, excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos de água. (Pinto et al., 1976, p. 38).

Vazão, ou caudal é o volume de água que passa por uma determinada seção de um rio ao longo de uma unidade tempo, assim, se o volume é dado em litros, e o tempo é medido em segundos, a vazão pode ser expressa em unidades de litros por segundo ( $L \cdot s^{-1}$ ). No caso de vazão de rios, entretanto, é mais usual expressar a vazão em metros cúbicos por segundo ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ), sendo que  $1 m^3 \cdot s^{-1}$  corresponde a 1000 litros por segundo) (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 173).



As vazões normais e as de inundação podem ser referidas a um instante dado ou aos valores máximo, médio ou mínimo de um determinado intervalo de tempo (dia, mês ou ano). No estudo de correlação com as precipitações, podem ser expressas também em milímetros de água por dia, mês ou ano, estendidos sobre a área da bacia hidrográfica. (Pinto et al., 1976, p. 38).

Medições de vazão são necessárias para a estimativa da disponibilidade de água em um determinado ponto de um rio, considerando os diversos usos de água. Também é necessário obter medições de vazões em situações extremas, como as cheias, para permitir o dimensionamento de estruturas ou medidas que permitam reduzir os prejuízos. As medições de vazão em rios são relativamente complexas, porque o ambiente em que são realizadas é o ambiente natural, onde as variáveis não estão inteiramente sob controle (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 173).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DESENHO DO ESTUDO (TIPO DE ESTUDO)

A metodologia que será utilizada nessa pesquisa, será o método de estudo de caso, com abordagem quantitativa, com objetivo metodológico exploratório e estatístico.

Esta pesquisa tem como o objetivo exploratório buscando alcançar maior familiaridade com o tema, buscando torná-lo mais explícito e claro fez uso da estrutura metodológica proposta por Bertucci (2008), é classificada como exploratória onde se busca conhecer os métodos e processos recomendados para o tratamento dos dados coletados.

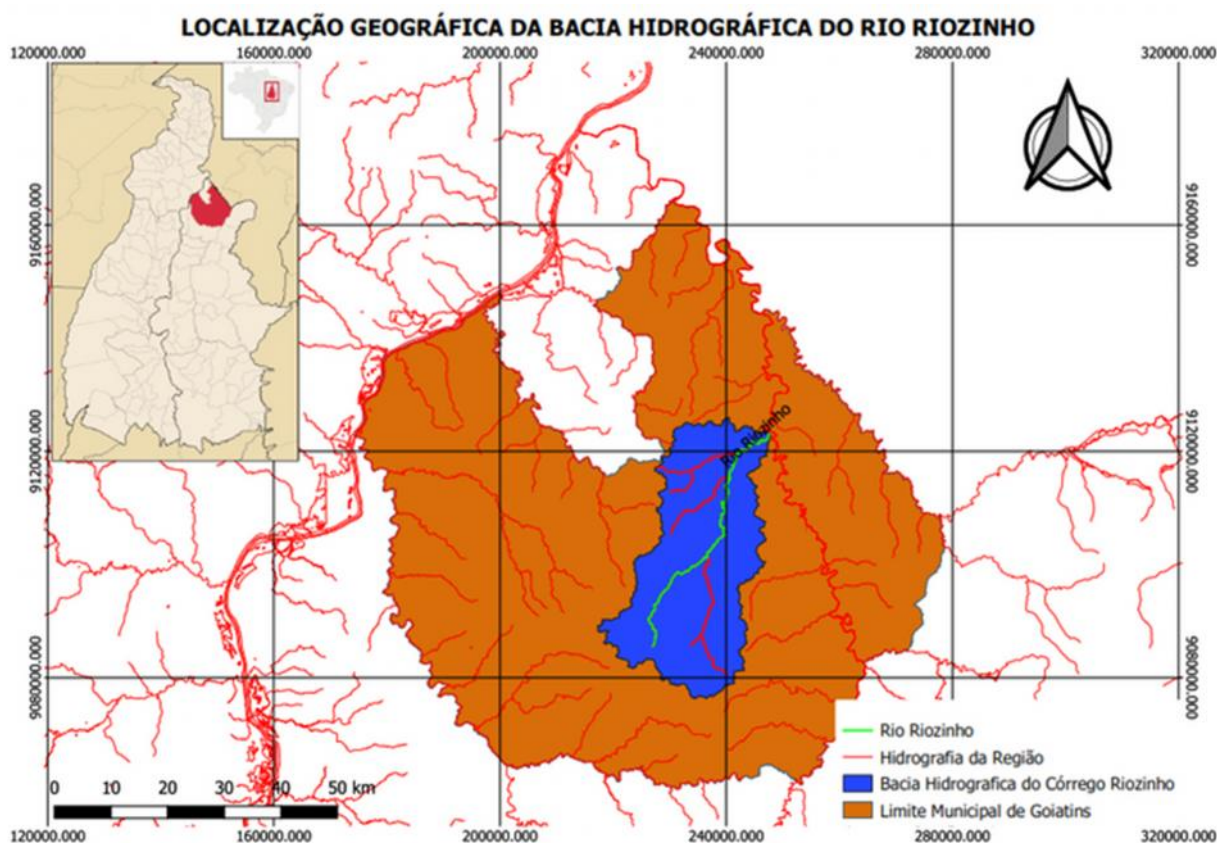
#### 3.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

Para realizar a caracterização morfometria da bacia hidrográfica do Rio Riozinho será utilizado o programa computacional QGIS 3.16.5 with GRASS 7.8.5 Tolls, o excel (para a construção de tabelas e gráficos), e também outros softwares pra obtenção dos resultados como fluvio 2.1, e o hidro 2.4 que será utilizados para o tratamento da series históricas.

##### 3.2.1 Localização da bacia

A bacia hidrográfica do Rio Riozinho (BHRR), localiza-se na região norte do estado do Tocantins, a bacia está abrangida totalmente no território de Goiatins, (mapa 1) sendo de suma importância para o município. a bacia encontra entre as coordenadas UTM 216600 - 9088273 m E: 248267 - 9123690 m N.

Mapa 1 — Bacia Hidrográfica do Rio Riozinho



Fonte: O autor (2021)

### 3.2.2 Procedimentos para Delimitação

Para delimitação automática da bacia hidrográfica foi manuseado o Modelo Digital de Elevação (MDE), este que se encontra no site do projeto TOPODATA, obtido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi utilizado os sistemas de coordenadas de projeção UTM e datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 Sul

Os processos de delimitação da bacia foram realizados utilizando as ferramentas do SIG gratuito e de linguagem aberta QGIS 3.16.5 with GRASS 7.8.5 Tolls, juntamente com os complementos (plug-ins) dos algoritmos do SAGA e do GRASS, que consistem em um conjunto de ferramentas que permitem a delimitação de bacias hidrográficas de maneira automática, rápida e objetiva (MEDEIROS, 2017, p. 27).

A grande maioria dos softwares que geram o Modelo Digital de Elevação necessita de que os dados digitais de entrada estejam com qualidade e estrutura

aceitáveis. Para isso, devem-se gerar arquivos individuais contendo os limites da área de trabalho, a hidrografia digital conectada e orientada no sentido do escoamento superficial e dados de altimetria discriminados em curvas de nível e pontos cotados. Posteriormente, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), finalizando como pós-processamento para geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente MDEHC. (Cardoso et al., 2005, p. 243).

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO E REALIZAÇÃO DO TRATAMENTO ESTÁTICOS

As fórmulas para obtenção dos parâmetros morfométricos, para a identificação dos dados e a Realização dos tratamentos estáticos, foi buscado referencias para cada um que foi escolhido e adotado no estudo e estão apresentadas a seguir

#### 3.3.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)

O tempo de concentração nada mais é do que o tempo que demora, desde o início da chuva para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, ou seja, o tempo que leva para uma gota no ponto mais distante do centro da bacia leva para chegar ao exutório. (Silva, 2018).

O tempo de concentração ( $t_c$ ), em minutos, é o tempo de percurso da água precipitada, desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica, até a seção de referência. O tempo de concentração é uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica e também para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle, onde a sua determinação deve ser tão rigorosa quanto possível. (MEDEIROS, 2017, p. 19).

Para a bacia em estudo o tempo de concentração será calculado pela fórmula de Dodge.

$$t_c = 2,8 \cdot \frac{A^{0,4}}{S^{0,1}} \quad (1)$$

Onde:

A = área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>);

S = declividade média da bacia (m/m).

### 3.3.2 SISTEMA DE DRENAGEM

#### 3.3.2.1 Densidade de Drenagem (Dd)

Uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice chamado densidade de drenagem Dd. Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efemeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e a sua área total. Representando o comprimento total dos cursos d'água na bacia por L. e a área de drenagem por A, a densidade de drenagem será dada pela expressão (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 16)

$$D = \frac{\sum L}{A_B} \quad (2)$$

Onde:

$\sum L$  = somatório do comprimento de todos os cursos d'água (km);

$A_B$  = área de drenagem (km<sup>2</sup>).

#### 3.3.2.2 extensão média do escoamento superficial (l)

Este índice é definido como sendo a distancia média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer da bacia. Considerando que uma bacia de área A possa ser representada por uma área de drenagem retangular, tendo um curso d'água de extensão L passando pelo seu centro, a extensão do escoamento superficial. L, será dada pela expressão (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 16).

$$l = \frac{A}{4 \cdot L} \quad (3)$$

Onde:

A = área da Bacia (km<sup>2</sup>);

L = curso d'água Principal (km).

### 3.3.2.3 Índice de Sinuosidade (Sin)

A relação entre o comprimento do rio principal L e o comprimento de um talvegue - Lt é denominada sinuosidade do curso d'água- Sin - que é um fator controlador da velocidade do escoamento. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 17).

$$S = \frac{L}{L_t} \quad (4)$$

Onde:

L = comprimento do rio principal (km);

Lt = comprimento de um talvegue em linha reta (km).

### 3.3.2.4 Declividade do Curso d'água principal (leq)

A Declividade do Curso d'água principal (leq) influencia diretamente na velocidade do escoamento da água no dreno principal da bacia. É definido pela diferença de cotas nas extremidades do dreno principal ( H) em relação a seu comprimento (L). (MEDEIROS, 2017, p. 19).

$$l_e = \frac{\Delta H}{L} \quad (5)$$

Onde:

H = Diferença de cotas nas extremidades do dreno principal (km);

L = comprimento do rio principal(km);

## 3.3.3 CARACTERÍSTICAS DE FORMA

### 3.3.3.1 Fator de Forma ( Ff )

Fator de forma - Ff - é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais

longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média (L) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 14).

O fator de forma constitui outro índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também, numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular discutida no item anterior, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num só ponto. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 14).

$$F_f = \frac{A}{L^2} \quad (6)$$

Onde:

A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

L = comprimento axial da bacia hidrográfica (km)

### 3.3.3.2 Coeficiente de Compacidade (kc)

Coeficiente de compacidade Kc - é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Onde P e A são respectivamente perímetro em km e área de bacia em km<sup>2</sup>. Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 13-14).

$$k_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (7)$$

Onde:

P = Perímetro da bacia (km);

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

### 3.3.3.3 Índice de Circularidade (Ic)

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada, em que IC é o índice de circularidade, A a área de drenagem (m<sup>2</sup>) e P o perímetro (m).

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (8)$$

Onde:

A = Área de drenagem (km<sup>2</sup>);

P = Perímetro da bacia (km)

### 3.3.3.4 Declividade média da bacia (I)

Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor Tc e maior as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos de enchente e a infiltração da água, trazendo como consequência, maior ou menor grau de erosão, dependem da declividade média da bacia (determina a maior ou menor velocidade do escoamento superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (Carvalho; Mello; Silva, 2007, p. 22).

A Declividade média da bacia (I), está diretamente associado ao tempo de duração de escoamento superficial direto e de concentração da precipitação nos drenos, afetando a forma e os valores máximos das vazões de escoamento ao longo da bacia. (MEDEIROS, 2017, p. 18)

$$I(\%) = \frac{D}{A_{bh}} \cdot (\sum C_i) \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

D = Equidistância entre as curvas de nível (m);

A<sub>bh</sub> = Área da bacia (m<sup>2</sup>);



$(\sum C_i) =$  Comprimento total das curvas de nível (m).

### 3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS PLUVIOMETRICO

o processamento dos dados pluviométricos é uma das partes mais importante para o desenvolvimento do trabalho, a primeira parte é consultar os dados dos postos pluviométricos da região e fazer o Download, para que possam ser processados, dados que se encontra no portal widroweb do site da ANA, que são dados referente à coleta convencional de dados hidro meteorológicos, que é, registros diários feitos pelos observadores e também medições feitas em campo pelos engenheiros hidrólogos e técnicos em hidrologia.

Na etapa do processamento foi usado o software Hidro Build 1.4.0.83, esse no qual é feito a manipulação dos dados para uma melhor qualidade dos resultados.

### 3.5 PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE A BACIA

A altura média de precipitação em uma área específica é necessária em muitos tipos de problemas hidrológicos, notadamente na determinação do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, cujo estudo pode ser feito com base em um temporal isolado, ou com totais de uma estação do ano, ou ainda com base em totais anuais. Existem três métodos para essa determinação: o método aritmético, o método de Thiessen e o método das Isoietas. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 54). será testado e aplicado no estudo, analisando as características da bacia o método que possa obter os resultados mais precisos e eficientes.

O método utilizado para chegar a precipitação total na bacia foi o modelo de Thiessen, como mostra a equação 11.

#### 3.5.1 Método de thiessen

$$P = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N (P_i \times A_i) \quad (11)$$

Onde:

P = Precipitação média da bacia

Pi = Precipitação de cada posto

Ai = Area de influência em cada posto.

### 3.6 VAZÃO

Vazão é o volume de água que passa por uma determinada seção de um rio dividido por um intervalo de tempo. Assim, se o volume é dado em litros, e o tempo é medido em segundos, a vazão pode ser expressa em unidades de litros por segundo (l.s-1). No caso de vazão de rios, entretanto, é mais usual expressar a vazão e metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>.s-1), (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 58).

Um dos métodos mais simples e mais utilizados para estimar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva é o método desenvolvido pelo National Resources Conservatoin Center dos EUA (antigo Soil Conservation Service – SCS). De acordo com este método, a lâmina escoada durante uma chuva é dada por: (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 58).

$$Q = \frac{(P-I_1)^2}{(P-I_1 + S)} \text{ Quando } P > I_1 \text{ e } Q=0 \text{ quando } P \leq I_1; \quad (13)$$

Onde:

Q = é a lâmina escoada ou volume de escoamento dividido pela área da bacia (mm);

P = é a precipitação durante o evento (mm);

I<sub>1</sub> = é uma estimativa das perdas iniciais de água, dado por I<sub>1</sub>=S/5;

S = é um parâmetro que depende da capacidade de infiltração e armazenamento do solo (parâmetro adimensional).

$$s = \frac{2}{C} - 2 \quad (14)$$

Onde:

S = é um parâmetro que depende da capacidade de infiltração e armazenamento do solo (parâmetro adimensional);

CN = tabelado (parâmetro adimensional).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices morfométricos e medidas geométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Riozinho (BHRR) encontram-se na abaixo.

A referida Bacia Hidrográfica (BHRR), apresentou área de drenagem de 869,003 km<sup>2</sup>, e com um perímetro de 246,998 km, De acordo com os parâmetros apresentados na (tabela 1). Sendo eles, Fator de Forma (F) = 0,350, Coeficiente de Compacidade (Kc) = 2,436 e Índice de Circularidade (Ic) = 0,179, De acordo com os resultados, pode-se afirmar que a bacia do rio Riozinho apresenta uma baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais de acordo com Villela e Mattos (1976). uma vez que apresenta coeficiente de compacidade afastado da unidade e um fator de forma abaixo da unidade. Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada. Tal fato pode ainda ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor encontrado foi de bem distante de 1. Desse modo, a bacia em estudo pode ser classificada como sendo de forma elíptica e com uma boa capacidade de Drenagem.

As altitudes na Bacia Hidrográfica do Rio Riozinho variaram de 195 a 449 m, apresentando uma amplitude altimétrica de 254 m, como apresentado abaixo. A figura 6 apresenta o Modelo Digital de Elevação – MDE.

Tabela 1 — Medidas e valores de parâmetros morfométricos da BHRC

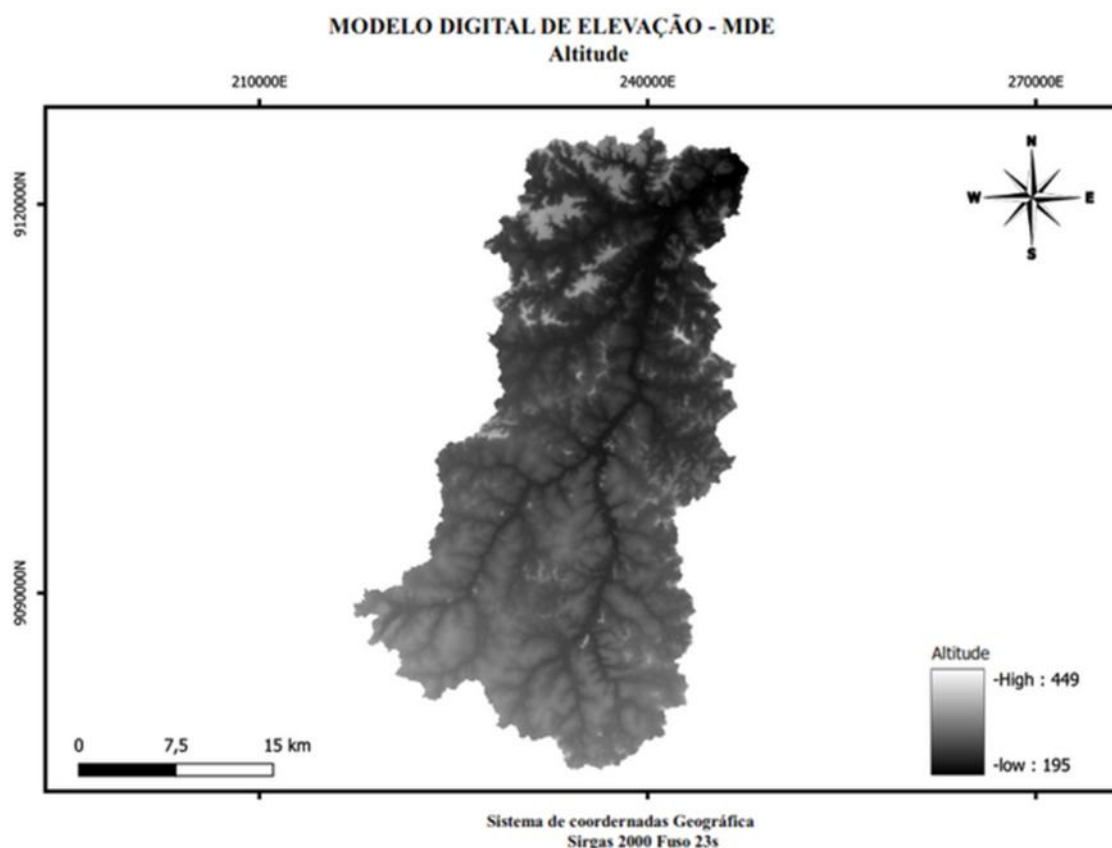
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Altitude Mínima	195 m
Altitude Máxima	449 m
Amplitude Altimétrica	254 m
Área da Bacia	869.003 km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia	246.998 km
Comprimento Axial	49.818 km
Soma do comprimento dos cursos d'agua	205.24 km
Nº dos Cursos D'agua de 1ª ordem	14
<i>Tempo de Concentração</i>	1010.972 min

#### **SISTEMA DE DRENAGEM**

Densidade de Drenagem	0.254	km/km <sup>2</sup>
Extensão Média do escoamento superficial	3.564	km
Índice de Sinuosidade	1.424	Pouca sinuosidade
Declividade do Curso d'água principal	0.00164	m/m
<b>CARACTERÍSTICAS DE FORMA</b>		
fator de forma	0.350	< 0,50 = não sujeito a enchentes
Índice de Circularidade	0.179	Quanto mais próximo de 1, maior a propensão a enchentes,
Coefficiente de Compacidade	2.346	> 1,50 - bacia não sujeita a grandes enchentes.
Declividade média da Bacia		

Fonte: O autor (2021)

Mapa 2 — Modelo Digital de elevação - MDE



Fonte: O autor (2021)

#### 4.1 SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante,

pois ele indica a maior ou a menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. (VILLELA; MATTOS, 1976, p. 15).

A bacia hidrográfica do riozinho apresentou pelos resultados mostrado uma bacia com um bom sistema de drenagem, teve uma declividade média da bacia de 0.00197 m/m, mostrando que por sua vez a bacia tem uma baixa declividade, o que ressalva uma baixa redução nos picos de enchentes, tudo isso por causa da baixa velocidade de escoamento, a bacia também conta com uma extensão média do escoamento superficial 3.564 km, já o índice de sinuosidade foi de 1,424, indicando que a bacia tem um baixa sinuosidade.

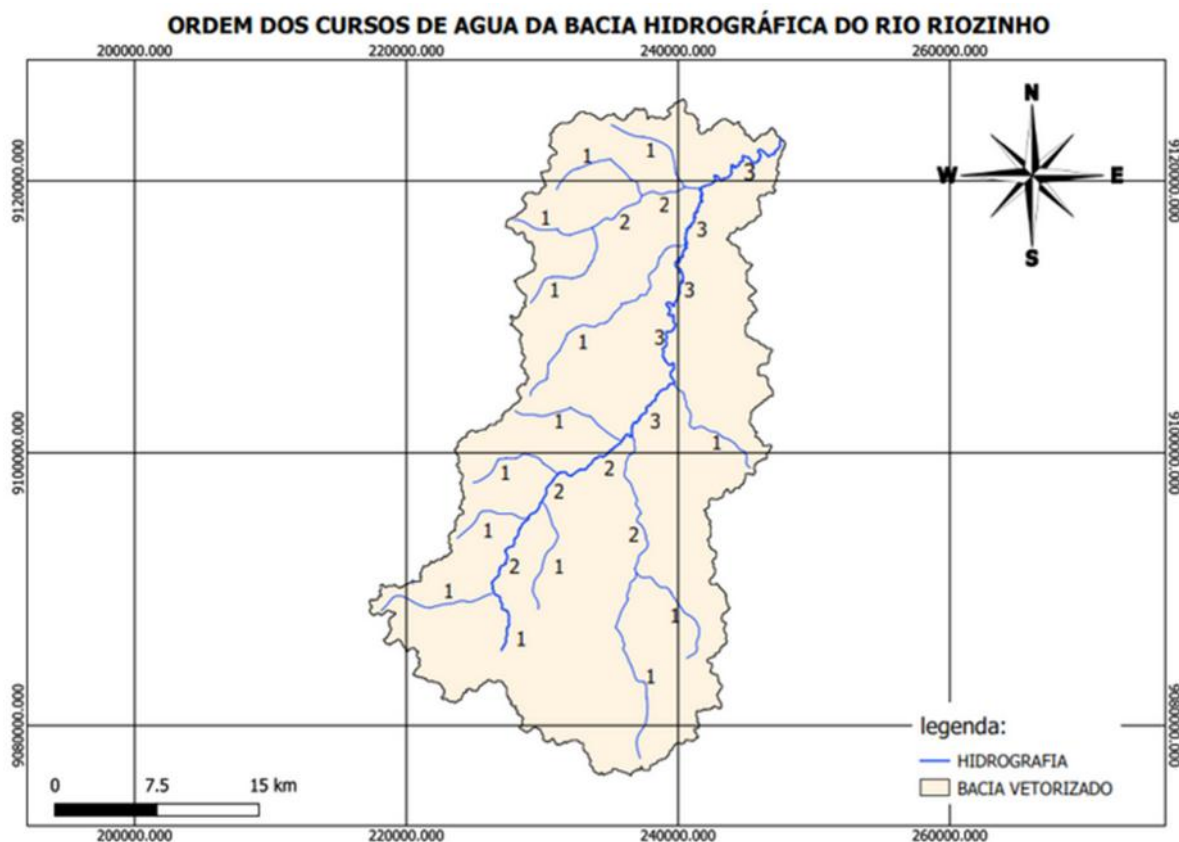
Outra característica morfométrica que é muito importante para fins de análise da propensão à ocorrência de enchentes é a declividade do curso d'água principal, que no caso em questão foi de 0.00164 m/m, um valor considerado baixo para canais naturais, e certamente comprovando que é a bacia é propensa a picos de enchentes.

#### 4.1.1 densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica. O sistema de drenagem da bacia em estudo, de acordo com a hierarquia de Strahler, possui ramificação de terceira ordem, o que significa pouca ramificação para a escala do mapa utilizado Cardoso et al. (2006).

A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do rio Riozinho foi de 0,236 quilômetros de cursos d'água por quilômetros quadrado de área. De acordo com Villela e Mattos (1976), esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km<sup>2</sup>, ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui uma capacidade de drenagem muito pobre. A bacia também conta um Comprimento total dos cursos d'água  $L_t = 205,2$  km.

Mapa 3 — Ordenamento da bacia hidrográfica do rio Riozinho, conforme metodologia de Strahler (1957).



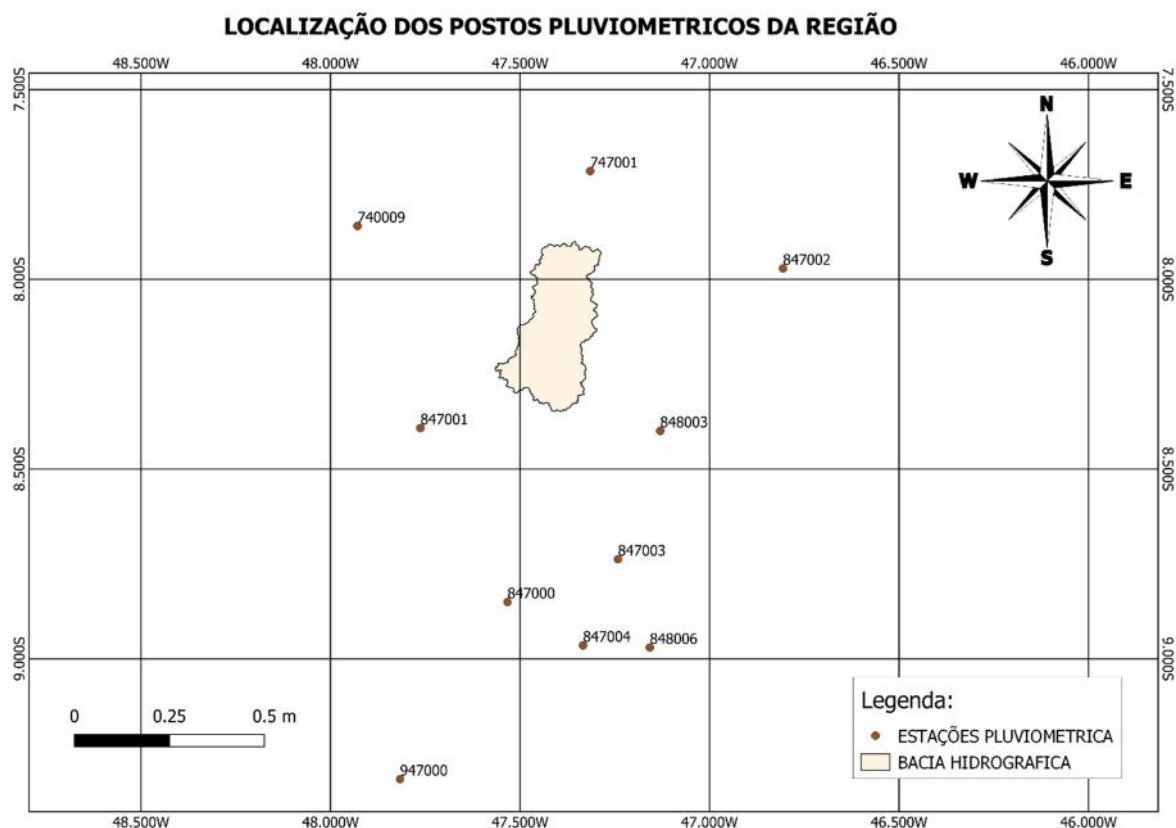
Fonte: O autor (2021)

De acordo com o mapa 3, a bacia hidrográfica do rio Riozinho é de terceira ordem, na hierarquia de Strahler e escala de 1:30.000. Isso indica que o sistema de drenagem da bacia é pouco ramificado, já que possui uma grande área de Drenagem.

#### 4.2 DADOS PLUVIOMETRICO

Os dados pluviométricos da série histórica foram retirados encontrados no portal widroweb do site da ANA do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a escolha das estações foi através do método de regionalização, isso devido a não ter uma estação pluviométrica dentro da bacia, foi usado o critério de pegar todas as estações que ficavam em torno da bacia, para uma melhor obtenção dos resultados como mostra a o mapa 4

Mapa 4 — localização dos postos pluviométricos



FONTE: O Autor

, realizando a reorganização dos dados através da ferramenta computacional Excel, pode-se elaborar um histograma com as precipitações máximas diárias de cada ano, no intervalo de 1994 a 2019, gráfico 2

#### 4.2.1 Estações pluviométrica

As estações pluviométricas mais próximas a bacia como o mapa 4, foram as estações: 747001(Goiatins); 740009(Palmeirante); 847000 (Conceição); 847001 (Itacajá); 847002 (Campos Lindos); 847003 (Recursolândia); 847004 (Centenário); 848003 (Tupiratins); 848006 (Bom Jesus do Tocantins) e 947000 (Dois Irmãos). Todas elas estão bem explicativas como mostra a tabela 2, mostrando a localização de todas com suas respectivas latitude e longitude.



Tabela 2 — Dados dos postos pluviométricos

ID	CODIGO	NOME	MUNICIPIO	LATITUDE	LONGITUDE
1	747001	Goiatins	Goiatins	-7.7147	-47.3150
2	740009	Palmeirante	Palmeirante	-7.8594	-47.9289
3	847000	Conceição	Centenário	-8.8500	-47.5333
4	847001	Itacajá	Itacajá	-8.3917	-47.7628
5	847002	Campos Lindos	Campos Lindos	-7.9711	-46.8064
6	847003	Recursolândia	Recursolândia	-8.7375	-47.2417
7	847004	Centenário	Centenário	-8.9642	-47.3339
8	848003	Tupiratins	Tupiratins	-8.3992	-47.1303
9	848006	Bom Jesus do Tocantins	Bom Jesus do Tocantins	-8.9700	-47.1578
10	947000	Dois Irmãos	Itacajá	-9.3167	-47.8167

FONTE: O Autor

#### 4.2.2 Ano hidrológico

Com a obtenção dos dados de todas as estações, e o resultados das precipitações médias mensais, encontrado no software hidro 1.4 disponibilizado pela ANA, foi encontrado a média das medias para poder se construir um mapa do ano hidrológico como gráfico 1. No qual foi encontrado um ano hidrológico com Início em setembro e término em agosto do ano Seguinte, deixando claro que o período mais seco na região da bacia encontra-se de maio a setembro, e o período chuvoso de janeiro a abril e outubro a dezembro.

Tabela 3 — tabela com as médias mensais

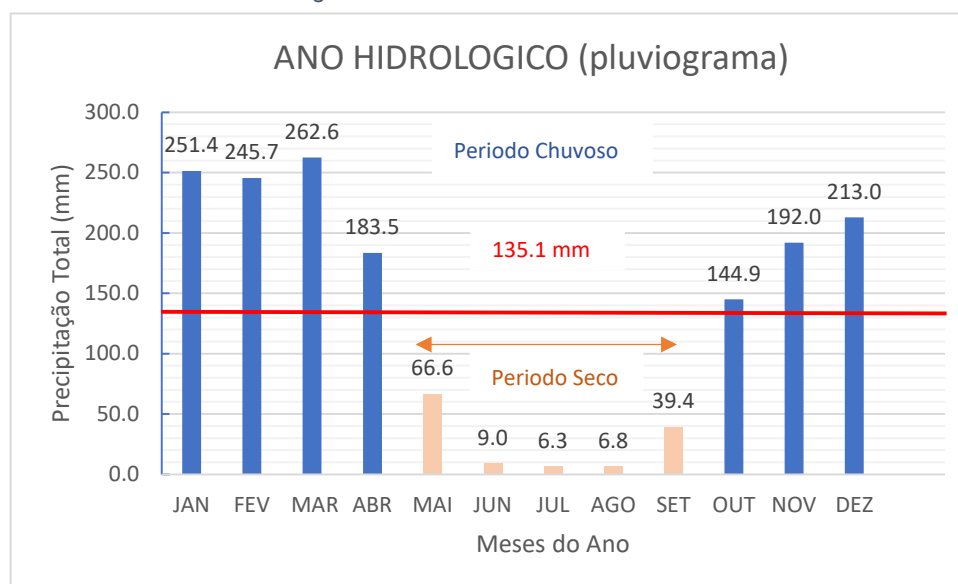
ID	CODIGO	NOME	MESES					
			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
1	747001	Goiatins	255.8	237.7	273.2	179.2	54.9	14.0
2	740009	Palmeirante	255.9	228.6	257.4	192.4	73.6	10.8
3	847000	Conceição	216.6	207.8	213.3	119.0	59.9	10.4
4	847001	Itacajá	293.8	286.3	293.2	224.1	71.4	9.7
5	847002	Campos Lindos	231.3	218.0	250.8	173.6	73.4	7.2
6	847003	Recursolândia	256.0	302.0	274.7	175.1	49.7	4.9
7	847004	Centenário	237.7	258.3	275.8	179.6	59.5	2.5
8	848003	Tupiratins	253.9	240.7	265.4	175.2	56.3	5.6
9	848006	Bom Jesus do Tocantins	267.8	241.3	267.5	209.6	84.1	6.9
10	947000	Dois Irmãos	245.3	235.9	255.0	207.3	83.6	18.0
<b>MEDIA</b>			<b>251.4</b>	<b>245.7</b>	<b>262.6</b>	<b>183.5</b>	<b>66.6</b>	<b>9.0</b>

FONTE: O Autor

(Conclusão)

ID	CODIGO	NOME							TOTAL
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1	747001	Goiatins	4.4	8.3	44.3	126.3	169.0	215.1	1592.5
2	740009	Palmeirante	2.9	5.1	43.6	103.4	179.7	182.6	1510.3
3	847000	Conceição	15.1	9.3	30.4	158.0	162.4	158.1	1527.0
4	847001	Itacajá	4.4	8.5	35.4	147.2	225.4	254.3	1851.6
5	847002	Campos Lindos	6.8	3.4	34.4	120.7	180.6	216.5	1520.3
6	847003	Recursolândia	0.9	5.6	36.2	134.6	193.6	264.7	1626.7
7	847004	Centenário	0.0	2.9	38.9	128.9	204.1	253.0	1629.7
8	848003	Tupiratins	5.6	9.7	49.5	159.6	194.9	231.5	1654.6
9	848006	Bom Jesus do Tocantins	1.9	3.0	33.3	107.6	193.9	193.9	1604.9
10	947000	Dois Irmãos	20.8	11.9	47.9	262.9	216.5	160.0	1845.3
<b>MEDIA</b>			<b>6.3</b>	<b>6.8</b>	<b>39.4</b>	<b>144.9</b>	<b>192.0</b>	<b>213.0</b>	

HI 1 - ano Hidrológico



**Ano Hidrológico:** Início em setembro e término em agosto do ano Seguinte;

**Período Seco:** maio a setembro;

**Período Chuvoso:** janeiro a abril e outubro a dezembro.

#### 4.2.3 Período base

O próximo a que foi tomado foi para determinar um período base, O período base serviu a iniciativa de dos tratamentos das series históricas, então foi entrado o período base para 30 anos, para que a partir daqui fossem coletados a series

históricas, as estações 847000 (conceição) e 947000 (dois irmãos), foram eliminadas do estudo devido ao baixo número de dados como mostra a tabela 4.

Tabela 4 — tabela período base

(continua)

ID	CODIGO	NOME	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1	747001	Goiatins											
2	740009	Palmeirante											
3	847000	Conceição											
4	847001	Itacajá											
5	847002	Campos Lindos											
6	847003	Recursolândia											
7	847004	Centenário											
8	848003	Tupiratins											
		Bom Jesus do											
9	848006	Tocantins											
10	947000	Dois Irmãos											
			30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20

(Continua)

ID	CODIGO	NOME	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	747001	Goiatins											
2	740009	Palmeirante											
3	847000	Conceição											
4	847001	Itacajá											
5	847002	Campos Lindos											
6	847003	Recursolândia											
7	847004	Centenário											
8	848003	Tupiratins											
		Bom Jesus do											
9	848006	Tocantins											
10	947000	Dois Irmãos											
			19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9

(conclusão)

ID	CODIGO	NOME	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	747001	Goiatins									
2	740009	Palmeirante									
3	847000	Conceição									
4	847001	Itacajá									
5	847002	Campos Lindos									
6	847003	Recursolândia									
7	847004	Centenário									
8	848003	Tupiratins									
9	848006	Bom Jesus do Tocantins									
10	947000	Dois Irmãos									
			8	7	6	5	4	3	2	1	

FONTE: O Autor

**Período Base:** 1991 a 2020 (30 anos de dados)

#### 4.2.4 Serie anual de Precipitação Máxima

A tabela abaixo mostra a precipitação máxima anual de cada estação pelo ano de ocorrência, ainda com suas respectivas falhas, dados no qual foram extraídos do site da ANA, e manipulados no software hidro 1.4, com um auxílio da planilha eletrônica no Excel.

Tabela 5 — serie anual de precipitação máxima

	<b>747001</b>	<b>740009</b>	<b>847001</b>	<b>847002</b>	<b>847003</b>	<b>847004</b>	<b>848003</b>	<b>848006</b>
<b>1991</b>	99.0	70.0	75.0					
<b>1992</b>								
<b>1993</b>	98.0	63.5	62.3	61.2			126.9	
<b>1994</b>	61.3	119.5	102.8	85.5			86.8	
<b>1995</b>	87.0	85.5	85.0	92.3			75.4	
<b>1996</b>	87.2	89.0	100.9	89.0			76.9	
<b>1997</b>	66.5	98.8	104.0	147.6			102.0	
<b>1998</b>	66.4	63.4	60.3	89.9			132.1	
<b>1999</b>	91.8		93.1	62.9			114.7	
<b>2000</b>	69.9	76.3	63.1	83.9			80.4	
<b>2001</b>	92.4	80.6	126.4	55.7	61.1		123.0	
<b>2002</b>	68.8	60.3	154.2	102.4	114.7		64.2	
<b>2003</b>	65.3	91.0	64.0	51.9	92.0		81.6	
<b>2004</b>	80.0	102.3	84.5	111.4	91.9		161.3	
<b>2005</b>	93.2	121.3	116.0	95.6		99.4	97.2	70.4
<b>2006</b>	100.4	65.6	100.2	106.1	73.9	86.3	103.6	99.2
<b>2007</b>	92.4	115.7	89.2	106.4		93.9	80.9	85.0
<b>2008</b>	73.1			120.0				117.3
<b>2009</b>	83.9		78.7	82.0		82.0	75.6	67.5
<b>2010</b>	61.0	57.4	72.3			129.5		78.5
<b>2011</b>	83.3	91.9	120.4	53.7		68.5	109.9	
<b>2012</b>	72.2	83.9	78.9	92.2	137.0	146.7	75.1	85.6
<b>2013</b>	147.5		94.8	54.8		77.5	191.4	117.2
<b>2014</b>		103.6	119.6	78.2	95.3	221.3	82.3	95.1
<b>2015</b>	72.4	75.1	93.7	50.0	60.0	91.5	131.6	85.1
<b>2016</b>	102.0		86.6	115.4	106.3	92.3	85.6	147.8
<b>2017</b>	78.2		78.6	73.1	61.3	69.5	115.5	87.6
<b>2018</b>	108.9	98.7	113.8		194.3	117.3	139.5	135.1
<b>2019</b>	76.4	101.5	105.2		84.4	82.5	93.5	97.8
<b>2020</b>	80.9	107.0	85.5	72.7			106.1	

FONTE: O Autor

#### 4.2.4.1 Coeficiente de correlação

Logo após determinada a tabela com as serie históricas, foi encontrado uma correlação entre as series históricas, para entender qual melhor se adequa um coma outra, para que a partir de desse ponto possa ter sido feito o preenchimento de falhas.

Tabela 5 — coeficiente de correlação das serie anual de precipitação total

	747001	740009	847001	847002	847003	847004	848003	848006
747001	1.00	0.050	0.02	0.02	0.03	0.00	<b>0.27</b>	0.10
740009	0.05	1.000	<b>0.02</b>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
847001	0.02	0.021	1.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01
847002	0.02	0.008	0.02	1.00	0.23	0.02	0.03	0.07
847003	0.03	<b>0.004</b>	0.00	<b>0.23</b>	1.00	0.07	0.00	<b>0.25</b>
847004	0.00	0.006	0.02	0.02	0.07	1.00	0.14	0.00
848003	<b>0.27</b>	0.001	0.01	0.03	0.00	<b>0.14</b>	1.00	0.05
848006	0.10	0.00	0.01	0.07	<b>0.25</b>	0.00	0.05	1.00

FONTE: O Autor

#### 4.2.4.2 Preenchimento de falhas

O preenchimento de falha ocorreu pelo método de regressão linear que após ter a correlação em os postos foi traçado a curva de tendência para a obtenção das equações como mostra a tabela 6, e os seus respectivos coeficientes de correlação ( $R^2$ ).

Tabela 6 — serie anual de precipitação máxima preenchida as falhas

POSTOS	EQUAÇÃO	$R^2$
<b>747001 - 848003</b>	$y = 0.9079x + 28.014$	0.3001
<b>747009 - 847003</b>	$y = 0.638x + 45.429$	0.0619
<b>847001 - 740009</b>	$y = 0.3021x + 68.111$	0.0596
<b>847002 - 847003</b>	$y = 0.5376x + 44.389$	0.2809
<b>847003 - 848006</b>	$y = 0.2918x + 74.526$	0.3057
<b>847004 - 848003</b>	$y = -0.2523x + 132.07$	0.1014
<b>848003 - 747001</b>	$y = 0.9079x + 28.014$	0.3001
<b>848006 - 847003</b>	$y = 0.2918x + 74.526$	0.3057

FONTE: O Autor 1

Figura 6 — Gráficos com a curva de tendência e suas correlações



FONTE: O Autor

A tabela abaixo mostra a series anuais já preenchidas pelo modelo matemático de regressão linear, devido a faltas de dados e sem possibilidades de preenchimentos de falhas, não foi possível a obtenção de resultados para os anos de 1991 e 1992, para todas as estações preenchidas, como mostra a tabela 7.

Tabela 7 — serie anual de precipitação máxima preenchida as falhas

	<b>747001</b>	<b>740009</b>	<b>847001</b>	<b>847002</b>	<b>847003</b>	<b>847004</b>	<b>848003</b>	<b>848006</b>
<b>1991</b>	99.0	70.0	75.0					
<b>1992</b>								
<b>1993</b>	98.0	63.5	62.3	61.2	111.6	100.1	126.9	107.1
<b>1994</b>	61.3	119.5	102.8	85.5	102.3	110.2	86.8	104.4
<b>1995</b>	87.0	85.5	85.0	92.3	99.4	113.0	75.4	103.5
<b>1996</b>	87.2	89.0	100.9	89.0	117.7	112.7	76.9	108.9
<b>1997</b>	66.5	98.8	104.0	147.6	100.1	106.3	102.0	103.7
<b>1998</b>	66.4	63.4	60.3	89.9	113.9	98.7	132.1	107.8
<b>1999</b>	91.8	84.4	93.1	62.9	103.1	103.1	114.7	104.6
<b>2000</b>	69.9	76.3	63.1	83.9	105.0	111.8	80.4	105.2
<b>2001</b>	92.4	80.6	126.4	55.7	61.1	101.0	123.0	92.4
<b>2002</b>	68.8	60.3	154.2	102.4	114.7	115.9	64.2	108.0
<b>2003</b>	65.3	91.0	64.0	51.9	92.0	111.5	81.6	101.4
<b>2004</b>	80.0	102.3	84.5	111.4	91.9	91.4	161.3	101.3
<b>2005</b>	93.2	121.3	116.0	95.6	95.1	99.4	97.2	70.4
<b>2006</b>	100.4	65.6	100.2	106.1	73.9	86.3	103.6	99.2
<b>2007</b>	92.4	115.7	89.2	106.4	99.3	93.9	80.9	85.0
<b>2008</b>	73.1	92.6	96.1	120.0	108.8	111.7	94.4	117.3
<b>2009</b>	83.9	132.8	78.7	82.0	94.2	82.0	75.6	67.5
<b>2010</b>	61.0	57.4	72.3	118.0	97.4	129.5	83.4	78.5
<b>2011</b>	83.3	91.9	120.4	53.7	99.5	68.5	109.9	103.6
<b>2012</b>	72.2	83.9	78.9	92.2	137.0	146.7	75.1	85.6
<b>2013</b>	147.5	106.2	94.8	54.8	108.7	77.5	191.4	117.2
<b>2014</b>	102.7	103.6	119.6	78.2	95.3	221.3	82.3	95.1
<b>2015</b>	72.4	75.1	93.7	50.0	60.0	91.5	131.6	85.1
<b>2016</b>	102.0	113.2	86.6	115.4	106.3	92.3	85.6	147.8
<b>2017</b>	78.2	84.5	78.6	73.1	61.3	69.5	115.5	87.6
<b>2018</b>	108.9	98.7	113.8	148.8	194.3	117.3	139.5	135.1
<b>2019</b>	76.4	101.5	105.2	89.8	84.4	82.5	93.5	97.8
<b>2020</b>	80.9	107.0	85.5	72.7	103.1	105.3	106.1	104.6

FONTE: O Autor

#### 4.2.4.3 Análise de frequência e tempo de retorno

A fase de análise de frequência e tempo de retorno, foi um dos pontos cruciais para a chegar ao resultado final, ao longo do desenvolvimento do trabalho notou-se que pelos polígonos de Thiessen as estações que pelo método tinha mais influência dentro da bacia foram; os postos 747001 (Goiatins), 847001 (Itacajá) e o posto 848003 (Tupiratins). foi analisado uma ordem de 28 eventos na estação 747001, com um evento máximo de 147,5 (mm), e uma frequência de 3,45 (%), para um tempo de retorno de 29 anos.

Tabela 8 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 747001

<b>747001</b>	<b>Ordem (m)</b>	<b>Evento Pmax (mm)</b>	<b>F = (%)</b>	<b>T(anos)</b>
98.0	1	147.5	3.45	29
61.3	2	108.9	6.90	15
87.0	3	102.7	10.34	10
87.2	4	102.0	13.79	7
66.5	5	100.4	17.24	6
66.4	6	98.0	20.69	5
91.8	7	93.2	24.14	4
69.9	8	92.4	27.59	4
92.4	9	92.4	31.03	3
68.8	10	91.8	34.48	3
65.3	11	87.2	37.93	3
80.0	12	87.0	41.38	2
93.2	13	83.9	44.83	2
100.4	14	83.3	48.28	2
92.4	15	80.9	51.72	2
73.1	16	80.0	55.17	2
83.9	17	78.2	58.62	2
61.0	18	76.4	62.07	2
83.3	19	73.1	65.52	2
72.2	20	72.4	68.97	1
147.5	21	72.2	72.41	1
102.7	22	69.9	75.86	1
72.4	23	68.8	79.31	1
102.0	24	66.5	82.76	1
78.2	25	66.4	86.21	1
108.9	26	65.3	89.66	1
76.4	27	61.3	93.10	1
80.9	28	61.0	96.55	1

FONTE: O Autor

Já na estação pluviométrica 847001 (Itacajá), foi analisado uma ordem de 28 eventos , com um evento máximo de precipitação máxima de 154,2 (mm), e uma frequência de 3,45 (%), para um tempo de retorno de 29 anos.



Tabela 9 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 847001

<b>847001</b>	<b>Ordem (m)</b>	<b>Evento Pmax (mm)</b>	<b>F = (%)</b>	<b>T(anos)</b>
62.3	1	154.2	3.45	29
102.8	2	126.4	6.90	15
85.0	3	120.4	10.34	10
100.9	4	119.6	13.79	7
104.0	5	116.0	17.24	6
60.3	6	113.8	20.69	5
93.1	7	105.2	24.14	4
63.1	8	104.0	27.59	4
126.4	9	102.8	31.03	3
154.2	10	100.9	34.48	3
64.0	11	100.2	37.93	3
84.5	12	96.1	41.38	2
116.0	13	94.8	44.83	2
100.2	14	93.7	48.28	2
89.2	15	93.1	51.72	2
96.1	16	89.2	55.17	2
78.7	17	86.6	58.62	2
72.3	18	85.5	62.07	2
120.4	19	85.0	65.52	2
78.9	20	84.5	68.97	1
94.8	21	78.9	72.41	1
119.6	22	78.7	75.86	1
93.7	23	78.6	79.31	1
86.6	24	72.3	82.76	1
78.6	25	64.0	86.21	1
113.8	26	63.1	89.66	1
105.2	27	62.3	93.10	1
85.5	28	60.3	96.55	1

FONTE: O Autor

A estação pluviométrica 848003 (Tupiratins), foi a que teve um evento de precipitação máxima maior entre as 3 citadas, contendo uma precipitação máxima de 191,4 (mm), nessa estação foi analisado uma ordem de 28 eventos, e uma frequência de 3,45 (%), para um tempo de retorno de 29 anos.

Tabela 10 — Tabela análise de frequência e tempo de retorno estação 848003

<b>848003</b>	<b>Ordem (m)</b>	<b>Evento Pmax (mm)</b>	<b>F = (%)</b>	<b>T(anos)</b>
126.9	1	191.4	3.45	29
86.8	2	161.3	6.90	15
75.4	3	139.5	10.34	10
76.9	4	132.1	13.79	7
102.0	5	131.6	17.24	6

132.1	6	126.9	20.69	5
114.7	7	123.0	24.14	4
80.4	8	115.5	27.59	4
123.0	9	114.7	31.03	3
64.2	10	109.9	34.48	3
81.6	11	106.1	37.93	3
161.3	12	103.6	41.38	2
97.2	13	102.0	44.83	2
103.6	14	97.2	48.28	2
80.9	15	94.4	51.72	2
94.4	16	93.5	55.17	2
75.6	17	86.8	58.62	2
83.4	18	85.6	62.07	2
109.9	19	83.4	65.52	2
75.1	20	82.3	68.97	1
191.4	21	81.6	72.41	1
82.3	22	80.9	75.86	1
131.6	23	80.4	79.31	1
85.6	24	76.9	82.76	1
115.5	25	75.6	86.21	1
139.5	26	75.4	86.21	1
93.5	27	75.1	86.21	1
106.1	28	64.2	86.21	1

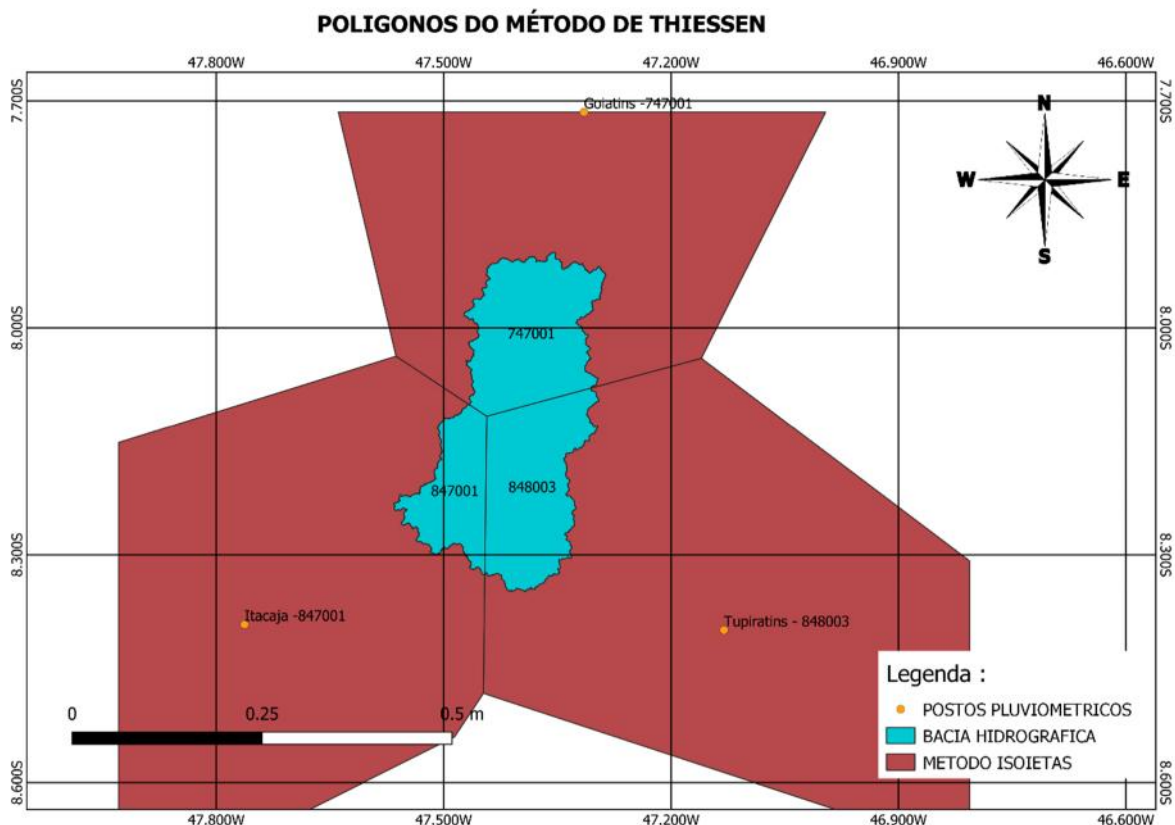
FONTE: O Autor

#### 4.3 PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE A BACIA

Como citado na metodologia, o modelo escolhido para encontrar a precipitação máxima, foi o método pelos modelos dos polígonos de Thiessen, que é um método indicado quando não há distribuição uniforme dos postos pluviométricos na região, como é o caso dos postos citados do estudo proposto. Esse método consiste em atribuir um fator de peso aos totais precipitados e medidos em cada postos pluviométricos, sendo que estes pesos são proporcionais à área de influência de cada posto.

O mapa 4 contém como já foi citado cima os polígonos de Thiessen, esse que foram usados para determinar a precipitação média sobre a bacia ou como alguns autores citam, a chuva de projeto.

Mapa 4 — localização dos postos pluviométricos e os polígonos de Thiessen



O modelo de precipitação máxima pelo método dos polígonos de Thiessen, consiste basicamente em atribuir um peso aos totais de chuva precipitados observados em cada postos pluviométricos, possibilitando que a área de influência de cada qual sobre bacia seja considerada na avaliação.

As estações que foram usadas no estudo da precipitação, foram as estações 747001 (Goiatins), 847001 (Itacajá) e o posto 848003 (Tupiratins), essa 3 foram escolhidas devido ter uma maior influência dentro da bacia.

A estação pluviométrica 747001, teve uma área de influência 347,916 (km<sup>2</sup>), e uma precipitação máxima de 147,5 (mm), já na estação pluviométrica 847001, teve uma área de influência 183,495 (km<sup>2</sup>), e uma precipitação máxima de 154,2 (mm), e a estação com maior precipitação foi a 848003, que teve uma precipitação máxima de 191,4 (mm), com uma área de influência 337,592 (km<sup>2</sup>), esses dados podem ser confirmados na tabela 11. Resolvendo o modelo matemático utilizando a equação 11, chegou a um resultado de uma precipitação média sobre a bacia de 165,969 (mm), como mostra a equação 15.

Tabela 11 — Tabela dos postos pluviométricos, contendo a precipitação máxima e a área de influência.

MÉTODO THIESSEN			
POSTOS	<b>747001</b>	<b>847001</b>	<b>848003</b>
PLUVIOMETRICOS			
P. MAX (mm)	147.5	154.2	191.4
AREA (km <sup>2</sup> )	347.916	183.495	337.592
<b>AREA TOTAL =</b>			<b>869.003</b>

FONTES: O Autor

$$P = \frac{(147,5 * 347,916) + (154,2 * 183,495) + (191,4 * 337,592)}{869,003} \quad (15)$$

$$P = 165.969 \text{ m}$$

#### 4.4 VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO

A vazão máxima de projeto que é o objeto final do trabalho, contou com o modelo do método scs (soil conservation service), que é também chamado pelo método do número da curva, por alguns autores. A equação usada para determinar o escoamento superficial, é mostrada na equação 13 e 14.

##### 4.4.1 Volume de escoamento: método scs (soil conservation service)

Figura 7 — Valores aproximados do parâmetro CN para diferentes condições de cobertura vegetal.

Condição	A	B	C	D
Florestas	41	63	74	80
Campos	65	75	83	85
Plantações	62	74	82	87
Zonas comerciais	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais	77	85	90	92

FONTES: (Collischonn; Dornelles, 2016, p. 58).

Para dá procedimentos a equação do volume de escoamento, o primeiro passo foi determinar o parâmetro S. o critério para escolher o CN foi basicamente analisando a cobertura vegetal da região da bacia, e o melhor que se adequava, a vegetação campos foi a escolhida e analisando o parâmetros manométrico chegou a uma conclusão, a bacia se enquadra como a categoria B, ou seja uma cobertura de média capacidade de infiltração, concluindo um CN de 75, Analisando critérios chegou a uma conclusão do parâmetro S com um valor de 84,667.

Utilizando os parâmetros encontrados em S, obtém se um valor de  $I_a$  de 16,93, como  $P > I_a$ , o escoamento superficial é dado pela fórmula 17, chegando a um valor final de escoamento, para uma chuva de 165,969 mm, de 95,043mm. Utilizando a equação 18, foi convertido a vazão de escoamento em (mm), para  $m^3$ , para que pudesse ser calculado a vazão de projeto.

A vazão de projeto por sua vez é dada pelo volume escoado por o tempo de concentração encontrado na bacia, que por sua vez apresentou uma vazão de projeto de 122,215 metros cúbicos por minutos, o que pode ser comprovado pela equação 19.

$$S = \frac{2}{7} - 2 = 84,6 \quad (16)$$

$$Q_v = \frac{(1,9 - 1,9)^2}{(16,9 - 1,9 + 8,6)} = 9,0 \quad m \quad (17)$$

$$Q = 0,0 \quad m * 1,3 * 10^6 m^2 = 1,5 \cdot 9 m^3 \quad (18)$$

$$Q_f = \frac{1,5 \cdot 9}{10,9} = 12,25 m^3/m \quad (19)$$

## 5 CONCLUSÃO FINAL

Conclui-se que, de acordo com a análise da morfometria feita na bacia pode se concluir que a bacia hidrográfica do Riozinho, apresenta uma baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação, assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada. Desse modo, a bacia em estudo pode ser classificada como sendo de forma elíptica e com uma boa capacidade de Drenagem, o que favorece o escoamento superficial da precipitação em direção ao curso d'água principal.

Essas características indicam que existe um reduzido potencial na ocorrência de enchentes e inundações ao longo do curso principal do córrego devido a bacia a bacia em estudo possui uma capacidade de drenagem muito pobre.

estudo buscou-se fazer uma avaliação dos dados pluviométricos na região no qual foi buscado as estações vizinhas da bacia, para ser feito todo um processamento de dados das estações, isso devido a não ter nenhuma estação na área de influência da bacia.

Os preenchimentos de falhas das estações estudadas foi possível devido ao modelo matemático de regressão linear, que com auxílio de uma planilha eletrônica foi capaz de realizar o preenchimentos dessas falhas, esse preenchimento de falhas foi muito importante para chegar ao resultado final, isso devido a ter que se utilizar os dados preenchidos para verificar o tempo de retorno e a frequência dos eventos de chuvas, isso deixando claro que as ocorrência de enchentes na bacia são de extrema raridade.

A área da bacia em estudo mostrou uma precipitação normal para os padrões brasileiro, isso como já foi citado contribui para que não existas enchentes na região, isso também muito a ver com o tempo de concentração da área da bacia, e a sua forma elíptica.

A vazão de projeto por sua vez, teve uma vazão razoável para o tamanho da bacia e para os outros parâmetros encontrados, ao decorrer do trabalho notou-se a grande importância que esse estudo tem na engenharia que por sua, uma vez realizado pode evitar catástrofes ambientais e assim está salvando vidas futuramente.

## REFERÊNCIAS

BALBINOT, Rafaelo *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, PR, v. 4, n. 1, p. 131-149, 28 11 2007.

BARTH, F. T. *et al.* **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, f. 259, 1987. 518 p.

BRASIL. Legislativo. LEI n. 9.433, de 07 de janeiro de 1997. **Diário Oficial**, Brasília, 09 de janeiro de 1997, ano 1997. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/01/1997&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=64>. Acesso em: 15 abr. 2021.

CARDOSO, Christiany Araujo *et al.* CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DEBOSSAN, NOVA FRIBURGO, RJ. **Sociedade de Investigações Floresta**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARDOSO, Christiany Araujo *et al.* CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIODEBOSSAN, NOVA FRIBURGO, RJ. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 10 11 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/cXmkNxXThc8ksdjWwFM6vNt/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 mai. 2021.

CARVALHO, Daniel F.; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. da. **Irrigação e Drenagem**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Rio de Janeiro, 2007, p. 1-86. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2021.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia Para Engenharia E Ciências Ambientais**. Porto Alegre: AD. G. ABRH, f. 175, 2016. 350 p.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. Biblioteca Virtual do ISCED. 149 p. Disponível em: <https://biblioteca.isced.ac.mz/bitstream/123456789/687/1/INTRODU%C3%87AO%20A%20HIDROLOGIA.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2021.

FINKLER, Raquel. **Planeamento, manejo e Gestão de bacias**: A bacia Hidrográfica. Ministério Público do Estado do Paraná - MPPR. 55 p. Disponível em: [https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias\\_hidrograficas/planejamento\\_manejo\\_e\\_gestao\\_unidade\\_1.pdf](https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf). Acesso em: 25 mai. 2021.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Editora Blucher, f. 152, 1988. 304 p.

GUANDIQUE, Manuel Enrique Gamero; MORAIS, Leandro Cardoso de. ESTUDO DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E DO BALANÇO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICA. **Universidade Estadual Paulista**, Sorocaba, 2015.

HIRATA,, A. A; BURKERT, D.. Morfometria da Bacia do Ribeirão Lajeado-SP.. **Formação(Online)**, v. 27, n. 50, p. 175-179, 2020.

MACHADO, FERNANDO WEIGERT. **MODELAGEM CHUVA-VAZÃO MENSAL UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS** . CURITIBA, 2005. 156 p Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, área de concentração Engenharia Hidrológica, Setor de Tecnologia) - Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, CURITIBA. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/093-Fernando\\_Weigert\\_Machado.pdf](https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/093-Fernando_Weigert_Machado.pdf). Acesso em: 22 mai. 2021.

MEDEIROS, Mateus Alves de. **MORFOMETRIADE BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**: bacia do açude do santa ruz do apodi-RN.. PAU DOS FERROS, f. 67, 2017. 67 p Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-árido (ufersa). Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6128/1/MatheusAM\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6128/1/MatheusAM_MONO.pdf). Acesso em: 20 mai. 2021.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de; OLIVEIRA, Marcus Vinicius Siqueira de ; SILVA, Danielle Ferreira da . **CICLO HIDROLÓGICO PLANETÁRIO** : Abordagens e Conceitos. Rio de Janeiro, 2010. 11 p. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/1461/1226>. Acesso em: 5 mai. 2021.

PINTO, Nelson L. de Sousa *et al.* **Hidrologia básica**. São Paulo: Editora Blucher, v. 1, f. 152, 1976. 304 p.

SANTOS, Edivaldo Alves dos Santos. **Influência do uso do solo no regime hidrológico da bacia do rio lontra** . Minas Gerais, f. 69, 2010 Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M.. **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Bahia: Editus - Editora da UESC, f. 145, 2002. 293 p.

SILVA, Bruno Cavalcante. **CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA TAQUARUÇU GRANDE**: Análise da vazão. Palmas, 2018. 69 p Trabalho de



Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário Luterano de Palmas (ceulp/ulbra), Palmas, 2018.

SILVA, D. C. C. *et al.* Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, 627- 642. 2016.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte : Editora UFMG, v. 1, f. 122, 1995. 243 p.

TUCCI, CARLOS E. M.. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, f. 472, 2000. 943 p.

TUCCI, Carlos E. M.. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH, f. 339, 1998. 669 p.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAW-hill do Brasil, f. 123, 1976. 245 p.