



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

Marcelly Lira dos Santos

ESTUDO DA CAPACIDADE HÍDRICA DE UM BUEIRO NO CÓRREGO BREJO
COMPRIDO LOCALIZADO NA RODOVIA TO-050 EM PALMAS - TO

Palmas – TO

2018

Marcelly Lira dos Santos

ESTUDO DA CAPACIDADE HÍDRICA DE UM BUEIRO NO CÓRREGO BREJO
COMPRIDO LOCALIZADO NA RODOVIA TO-050 EM PALMAS - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Palmas – TO

2018

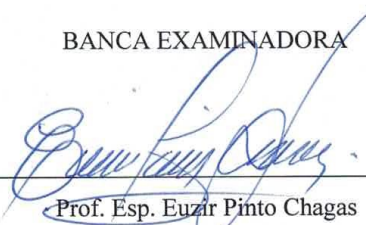
Marcelly Lira dos Santos
ESTUDO DA CAPACIDADE HÍDRICA DE UM BUEIRO NO CÓRREGO BREJO
COMPRIDO LOCALIZADO NA RODOVIA TO-050 EM PALMAS - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Aprovado em: 19 / 11 / 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Orientador

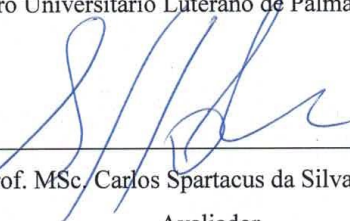
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. MSc. Dalton Cardozo Bracarense

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. MSc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Dedico este estudo à minha família, eles que foram o meu alicerce nessa jornada. Ao meu pai Joil Gomes Dos Santos e minha mãe, Maria Luzia Pereira de Lira, por estarem sempre ao meu lado e com toda a razão falando e mostrando que conquistas fáceis não são válidas e as difíceis não são impossíveis.

Aos meus amigos e professores que, em suas palavras, sempre transmitiam a confiança e motivação para continuar em frente.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me iluminar, proteger e guiar o meu caminho. Acredito que minhas vitórias foram obtidas por intermédio de algo maior de tudo que é terreno.

Agradeço aos meus pais, Maria Luzia Pereira e Joil Gomes dos Santos, por todo o apoio concedido e por acreditarem em mim. Eles serão sempre um exemplo de luta, trabalho, esforço e dedicação, um exemplo que irei espelhar.

Agradecimento em especial ao meu orientador, Professor Euzir Pinto Chagas, pela compreensão, paciência e dedicação em contribuir para o meu conhecimento.

Agradeço ao Professor Carlos Spartacus, um grande profissional na área e pode contribuir conhecimento para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade pelo companheirismo e disponibilidade para me auxiliar em vários momentos.

*“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso,
mas o que ele se torna com isso”*

John Ruskin

RESUMO

SANTOS, Marcely Lira dos. **Estudo da capacidade hídrica de um bueiro no córrego Brejo Comprido localizado na rodovia TO-050 em Palmas – TO.** 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O processo urbanização em áreas verdes vem acontecendo de forma intensa na cidade de Palmas – TO, cada vez mais o crescimento torna-se inevitável com isso tem-se alterações nas bacias hidrográficas, onde-se tem o aumento da impermeabilização do solo, o que contribui para o aumento da vazão, infiltração, perímetro molhado, escoamento superficial, etc. podendo causar danos a um dispositivo de drenagem já existente. Recentemente ocorreram casos de transbordamento fluvial em bueiros existentes nas rodovias municipais, estaduais e federais do estado do Tocantins em períodos de chuvas. A ocorrência desses casos está ligada ao mal dimensionamento dos dispositivos de drenagem. Por isso é necessário o perfeito dimensionamento desses dispositivos para garantir a segurança e conforto aos usuários e também conservação das rodovias. Este trabalho, portanto, tem como principal objetivo de estudar a capacidade hídrica de um bueiro no córrego Brejo Comprido, através dos estudos hidrológicos e estudos hidráulicos, a fim de verificar se o bueiro possui capacidade para atender uma futura vazão levando em conta a urbanização na bacia. Foi realizado a verificação em um Bueiro Triplo Celular de Concreto, onde analisou-se estudos hidrológicos da região (através do método Hidrograma Unitário) e estudos hidráulicos do dispositivo de drenagem (através da equação da continuidade e fórmula de mannig), levando em conta orientações do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT. Portanto, o bueiro analisado não possui resultado satisfatório para suportar uma futura vazão, possibilitando a ocorrência de transbordamento e rompimento no futuro.

Palavras-chave: Drenagem, processo de urbanização, obra-de-arte corrente, hidrograma unitário, dimensionamento hidráulico

ABSTRACT

SANTOS, Marcely Lira dos. **Study of the Hydraulic Capacity of a Culver in Brejo Comprido Stream Located in TO-050 in Palmas - TO.** 2018. 57 f. Final Course Assignment (Undergrad) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2018.

The urbanization process in green areas has been happening in an intense way in the city of Palmas - TO, more and more the growth is inevitably done with this, one has in the hydrographic basins, where there is the increase of the waterproofing of the ground, which O increase in flow, infiltration, high perimeter, runoff, etc. are capable of causing an existing drainage problem. In a growing case of cases occurring in the states of the municipality, state and federal of the state of Tocantins in rainy areas. The hypothesis of the examples is related to poor design of drainage devices. Therefore, it is necessary to design devices to ensure the safety and comfort of users and also the storage of highways. This work, therefore, has as main objective to study a water capacity of a system without Stream Brejo Understood, through hydrological and practical hydraulic studies, a process of verification of storage capacity to attend a future flow taking an account of urbanization basin. A verification was carried out at a Brazilian company, where the hydrological analyzes of the region were carried out and the drainage process (entry of the management unit and formula) of the DNIT Road Drainage Manual was implemented. Therefore, the analyzed buyer can not be able to satisfy a future flow, allowing the occurrence of transshipment and break in the future.

Keywords: Drainage, urbanization process, current of work of art, unit hydrograph, hydraulic dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ciclo hidrológico | 17 |
| Figura 2 - Esquema de balanço hídrico de uma Bacia Hidrográfica | 22 |
| Figura 3 - Mapa de Isozonas..... | 28 |
| Figura 4 - Relação de precipitação e tempo de recorrência..... | 28 |
| Figura 5 - Hidrograma de uma bacia rural e depois urbanizada..... | 30 |
| Figura 6 - Bueiro tubular | 32 |
| Figura 7 - Bueiro celular..... | 33 |
| Figura 8 - Grandezas Hidráulicas | 34 |
| Figura 9 – Localização da área de estudo..... | 37 |
| Figura 10 - Delimitação da área de contribuição..... | 38 |
| Figura 11 - Valores de CN futuros para bacias urbanas de Palmas- TO..... | 42 |
| Figura 12 - Bueiro Triplo Celular..... | 43 |
| Figura 13 - Curva precipitação x duração | 46 |
| Figura 14 - Hidrograma unitário..... | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Tempo de recorrência recomendado | 19 |
| Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial | 24 |
| Tabela 3 - Valores de "k" calculados segundo a Lei de Gumbel..... | 27 |
| Tabela 4 - Relação entre tamanho da área e quantidade de estações pluviométricas..... | 29 |
| Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade | 36 |
| Tabela 6 - Precipitação máxima de cada ano | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| CEULP | Centro Universitário Luterano de Palmas |
| CN | Curver number |
| DNIT | Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes |
| PMSB | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| TO | Tocantins |
| ULBRA | Universidade Luterana do Brasil |
| TR | Tempo de Recorrência |
| IDF | Intensidade-Duração-Frequência |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA | 14 |
| 1.2 HIPÓTESES | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS | 14 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 14 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 ESTUDO HIDROLÓGICO | 16 |
| 2.1.1 Ciclo hidrológico | 16 |
| 2.1.2 Precipitação | 17 |
| 2.1.3 Tempo de recorrência (Tr) | 19 |
| 2.1.4 Tempo de concentração (Tc) | 20 |
| 2.1.5 escoamento superficial | 20 |
| 2.1.6 Bacia hidrográfica | 21 |
| 2.1.7 Vazão: método racional | 23 |
| 2.1.8 Vazão: método racional corrigido | 24 |
| 2.1.9 Vazão: método hidrograma unitário triangular - SCS | 25 |
| 2.2.1 Distribuição de Gumbel | 26 |
| 2.3 MÉTODO DAS ISOZONAS | 28 |
| 2.4 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS | 29 |
| 2.4.1 Preenchimento de falhas | 29 |
| 2.5 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO | 30 |
| 2.6 DRENAGEM TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES | 31 |
| 2.6.1 Obras de arte corrente (bueiros) | 31 |
| 2.7 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO | 33 |
| 3 METODOLOGIA | 37 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO | 37 |
| 3.2 COLETA DE DADOS | 38 |
| 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO HIDROLÓGICO | 39 |
| 3.3.1 Determinação do Tempo de Recorrência | 39 |
| 3.3.2 Obtenção da precipitação máxima diária | 39 |
| 3.4 CÁLCULO DA VAZÃO MÁXIMA | 40 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.4.1 | Determinação do tempo de concentração (tc) | 40 |
| 3.4.2 | Determinação do tempo de duração da chuva (tr) | 41 |
| 3.4.3 | Determinação do tempo de pico (tp) | 41 |
| 3.4.4 | Determinação do tempo de base (tb) | 41 |
| 3.4.5 | Determinação da descarga de pontos do HUT | 41 |
| 3.4.6 | Determinação da precipitação efetiva | 42 |
| 3.5 | CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO HIDRÁULICO | 42 |
| 3.5.1 | Cálculo da área molhada de cada célula | 43 |
| 3.5.2 | Cálculo do perímetro molhado de cada célula | 43 |
| 3.5.3 | Determinação da inclinação | 43 |
| 3.6 | VERIFICAÇÃO CAPACIDADE HIDRÁULICA | 44 |
| 4 | RESULTADOS | 45 |
| 4.1 | COLETA DE DADOS | 45 |
| 4.2 | PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA | 45 |
| 4.3 | DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA | 47 |
| 4.3.1 | Cálculo do Tempo de Concentração | 47 |
| 4.3.2 | Cálculo do tempo de duração da chuva unitária (tr) | 47 |
| 4.3.3 | Cálculo do tempo de pico (tp) | 47 |
| 4.3.4 | Cálculo do tempo de base (tb) | 48 |
| 4.3.5 | Cálculo da descarga de pontos do HUT | 48 |
| 4.3.6 | Cálculo da Precipitação efetiva e parcial | 48 |
| 4.4 | DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO | 49 |
| 4.4.1 | Determinação raio hidráulico | 49 |
| 4.4.2 | Determinação velocidade | 50 |
| 4.4.3 | Determinação da vazão | 50 |
| 5 | CONCLUSÃO | 52 |
| | REFERÊNCIAS | 53 |

INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo é inevitável o processo de urbanização, cada vez mais é necessário a abertura de novos loteamentos e áreas urbanas. Tal crescimento torna inevitável a alteração de ecossistemas, dentre os quais pode ser citado as bacias hidrográficas, as mesmas são afetadas diretamente com o crescimento urbano, uma vez que quando uma cidade cresce, cresce também a impermeabilização do solo, o que contribui para a alteração de um afluente, como por exemplo a vazão, infiltração, perímetro molhado, escoamento superficial, etc podendo causar danos a um dispositivo de drenagem já existente. Para isso deve haver um perfeito planejamento para a drenagem da água.

Os dispositivos de drenagem devem ser projetados para atender uma determinada vazão. Através das características da bacia hidrográfica e do terreno natural, poderá ser realizado estudos para determinação de uma vazão e dimensionamento do dispositivo de drenagem para atender a vazão máxima e assim, garantir o perfeito escoamento da água e segurança da estrada. (DOTTO, 2015).

Em rodovias, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), a drenagem tem como o objetivo de fazer com que a água não alcance o corpo estradal, conduzindo-a para outros locais que não afete a durabilidade da via. As águas se originam de uma determinada bacia e precisam ser desviadas, onde são utilizados dispositivos de drenagem como: bueiros, pontes ou pontilhões para transpor essa água de um lado para o outro.

No âmbito geral, o trabalho tem como finalidade de estudar a capacidade hidráulica de um bueiro triplo de seção celular no córrego Brejo Comprido, situado na marginal da Rodovia TO-050 na cidade de Palmas - TO. A bacia possui grande área verde, porém, nos últimos anos houve grande parte desta área desmatada com abertura de novos loteamentos, e possivelmente será uma área a ser afetada com a urbanização. O trabalho será capaz de verificar se o bueiro existente possui seção capaz de suportar a vazão máxima futura considerando a ocupação urbana, através do estudo hidrológico na bacia hidrográfica, através dos estudos hidrológicos na bacia e estudos hidráulicos no dispositivo de drenagem.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando os casos de transbordamento fluvial em bueiros existentes nas rodovias municipais, estaduais e federais, em períodos de chuvas, quais os estudos necessários a fim de evitar a ocorrência de insuficiência da capacidade hidráulica?

1.2 HIPÓTESES

- O bueiro poderá apresentar seção capaz de atender a vazão máxima a ser drenada com as devidas alterações no ciclo hidrológico;
- O bueiro poderá apresentar insuficiência em sua seção para suportar a vazão máxima a ser drenada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar a capacidade hídrica de um bueiro no córrego Brejo Comprido localizado na rodovia TO-050 em Palmas – TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar estudo hidrológico da bacia;
- Elaborar estudo hidráulico do bueiro;
- Verificar capacidade hídrica do bueiro existente;

1.4 JUSTIFICATIVA

O processo de aceleração da urbanização que vem ocorrendo nas últimas décadas, principalmente nos países em grande desenvolvimento, é o responsável por diversos fatores que afetam o ciclo hidrológico, tais como: retirada de vegetação, impermeabilização do solo, alterações na topografia do terreno, deposição irregular de resíduos e canalização dos canais fluviais. As alterações no ciclo da água acarretam em danos e prejuízos à população, geram inundações, modificam o escoamento superficial e subsuperficial, podendo desencadear ou

aumentar a erosão e o assoreamento de rios urbano. Esses problemas estão relacionados com a falta de planejamento adequado durante a implantação das cidades, causando impactos no ciclo da água. Por isso, é necessário que haja um bom planejamento urbano para que o solo seja ocupado e se tenha dispositivos adequados para drenagem de água.

As rodovias atravessam a drenagem natural e as águas devem escoar sem que sejam represadas a montante e sem causar danos às benfeitorias fora do seu curso natural, ou seja, os cursos de água não podem ser afetados pelas estradas e rodovias, a fim de não alterarem os regimes hidrológicos das microbacias hidrográficas. Com isto, tem-se os bueiros são determinados como obras para permitir a condições para o escoamento dos cursos de água nas rodovias, onde estes devem sempre ser conservados, realizando sempre manutenções preventivas, a fim de evitar obstrução do bueiro e garantir um perfeito funcionamento e vida útil. Um bueiro com obstrução pode vim a causar alagamentos e consequente danos para moradores e para a rodovia existente.

As alterações hidrológicas podem tornar a capacidade hidráulica de uma obra de arte corrente (bueiro) insuficiente para atender a demanda, principalmente em período de chuvas. Como exemplo pode-se mencionar que o jornal Anhanguera responsável por transmitir notícias do Tocantins, onde mostra no dia 12 de abril deste ano, o alagamento que aconteceu na marginal da rodovia TO-050 no bairro Bela Vista. De acordo com Instituto Nacional de Meteorologia, em menos de uma hora choveu cerca de 40,0 milímetros. Ocorreu alagamentos nas moradias e na marginal que ficou impossibilitada de trafegar. Segundo a defesa civil o bueiro ali existente encontrava-se entupido e o córrego obstruído, mencionou também que este bueiro pode apresentar insuficiência para suportar esse aumento.

Portanto, situações como estas tornam-se necessário realizar estudos a fim de evitar a insuficiência hidráulica de um bueiro e as possíveis interferências nos processos naturais em áreas de contribuição, a partir destas informações é avaliado um novo dimensionamento da capacidade hidráulica visando atender as futuras alterações hidrológicas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTUDO HIDROLÓGICO

Em sua literatura TUCCI (2002), explana que a hidrologia aplicada está apontada para os diversos tipos de problemas através do uso de recursos hídricos, conservação do meio ambiente e apropriação da bacia.

Segundo Naghettini e Pinto (2007), através dos princípios da hidrologia consegue-se fazer o planejamento, projetos e operações de sistemas de aproveitamento e manejo dos recursos hídricos na hidrologia aplicada, e que obtenção dos resultados depende dos cálculos das variantes existentes em ocorrências hidrológicas como: ciclo hidrológico, precipitação, escoamento superficial, infiltração, escoamentos, etc. A intensidade dessas ocorrências hidrológicas se dá em função do tempo ou do espaço, através do estudo das escalas geográficas do local.

De acordo com Tucci, temos que:

No âmbito da utilização da Hidrologia em recursos Hídricos ou como às vezes chamada Engenharia Hidrológica, a mesma é entendida como a área que estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando os recursos hídricos no espaço e no tempo e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos. A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. (TUCCI, 2002, p. 25 – p. 26).

A hidrologia pode ser aplicada na Engenharia para a determinação de recursos hídricos de uma certa região, características da água, construções de obras hidráulicas (pontes, bueiros e galerias, barragens, etc.), irrigações, projetos de drenagem e aproveitamento hidrelétrico. (GARCEZ E ALVAREZ 1988).

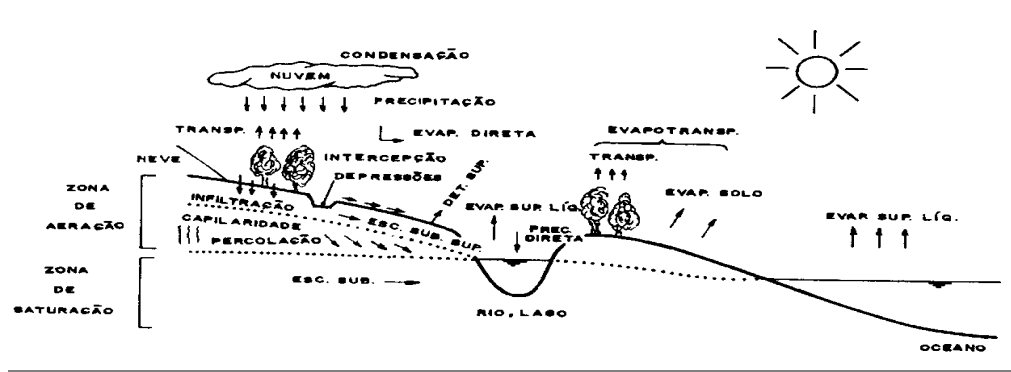
2.1.1 Ciclo hidrológico

De acordo com Pinto *et al.* (1976), a água possui três estados, são eles: sólido, líquido ou gasoso, e pode ser encontrada na atmosfera e na superfície terrestre. A água, através da movimentação em círculos, pode-se designar o ciclo hidrológico, onde muda de estado ou de posição em relação à Terra, os elementos principais desse ciclo são: precipitações, escoamentos.

Para Chow (1988) o ciclo hidrológico é de grande importância para estudo da hidrologia. O autor menciona que o ciclo não tem início ou fim, são inúmeros processos que

acontecem constantemente. A figura 1 representa o ciclo hidrológico e suas fases, onde a água torna-se parte da atmosfera através da evaporação dos oceanos e da superfície terrestre, o vapor da água é levantado e transportado para atmosfera até que se condense e precipite na terra ou nos oceanos, a água precipitada intercepta na vegetação, tornando assim um fluxo na superfície terrestre, e então irá ocorrer infiltração no chão, fluir através do solo como um escoamento subterrâneo e descarregar em correntes como escoamento superficial. Grande parte da água interceptada e parte do escoamento superficial é retornado à atmosfera através do fenômeno denominado evaporação e assim retomando novamente o ciclo.

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte - Chow (1988)

Ainda, segundo Pinto *et al.* (1976), a parte mais importante para fazer um estudo hidrológico é baseado na repetição dos processos de precipitação e o escoamento na superfície no decorrer do tempo. Em suma, para se fazer projetos de obras futuras tem-se a necessidade de realizar um estudo hidrológico com base em elementos do passado e probabilidade estatística.

2.1.2 Precipitação

Na hidrologia toda água que vem da atmosfera e cai sobre a superfície pode ser conceituada como precipitação, as diferentes formas de precipitação ocorrem como chuva, neve, neblina, granizo e geada. A chuva cai em forma de precipitação que possui grande importância para os estudos hidrológicos, pois é através da chuva que a água tem a capacidade de escoar sobre a superfície. Através do estudo da intensidade de uma precipitação é possível controlar inundações e erosão do solo. A precipitação tem como características: distribuição de tempo e espaço, duração e seu total. (TUCCI, 2002)

Ainda, segundo Tucci (2002), as precipitações podem ser caracterizadas em diferentes tipos de grandezas, que podem ser:

- a) Altura pluviométrica (P ou r): é a espessura média da água que cai sobre o local atingido pela precipitação, levando em conta que essa água não sofresse infiltração, nem evaporação e escoamento sobre o local. A unidade de medida usual pode ser considerada como milímetro de chuva;
- b) Duração (t): é considerado o tempo em que a chuva se precipita em uma determinada região. Utiliza-se as seguintes unidade para medição: minuto ou a hora;
- c) Intensidade (i): é obtida normalmente pela relação $i = P/t$ utilizando mm/h ou mm/min como unidade de medidas.
- d) Frequência e tempo de recorrência (Tr): pode ser considerado como o número médio dos anos no qual a encontra a precipitação igualada ou superada;

Segundo Garcez e Alvarez (1988), existem dois aparelhos principais para operação de medição das precipitações pluviométricas, são eles:

- a) Pluviômetro: são aparelhos que recolhem a água que cai para a medição volumétrica;
- b) Pluviógrafo: é um aparelho que registra a quantidade de chuva recolhida, este possui um mecanismo que irá registrar dados automaticamente

É necessário obter um amplo conhecimento nos valores de chuvas intensas para realizar o dimensionamento de um projeto de drenagem e manejo de águas. As chuvas intensas são obtidas com base nas curvas IDF, onde relaciona a duração, intensidade e frequência. As curvas podem ser expressas conforme a equação 1. (TUCCI, 2002).

$$i = \frac{K.Tr^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

Onde:

- a, b e c = são coeficientes ajustados para cada região;
- i = é a intensidade da precipitação em mm/h;
- t = é a duração em minutos;
- Tr = é o tempo de retorno em anos;

2.1.3 Tempo de recorrência (Tr)

Jabôr (2015) define tempo de recorrência, podendo ser denominado também como: período de recorrência, período de retorno ou tempo de retorno como sendo a média de anos em que se pode ocorrer ou ser superado um dado evento. Indica por análise de frequência o espaço médio entre eventos maiores ou iguais que uma dada grandeza ou a probabilidade de que tal evento aconteça em um ano qualquer. O valor do tempo de ocorrência é proporcional aos valores das vazões, ou seja, se aumentar o valor do tempo de ocorrência aumenta-se os valores da vazão, fazendo com que a obra tenha um coeficiente de segurança maior.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2005), escolher o período de recorrência e a vazão para projetar uma obra de engenharia, depende da sua importância e do resultando na escolha de um valor para poder saber qual o risco de superação adequado à segurança da rodovia.

Cada projeto de drenagem deve ser analisado o tempo de recorrência, entretanto são recomendados os seguintes período de recorrência apresentado na tabela 1 apresenta, sendo um determinado tempo de recorrência para cada tipo de obra de drenagem. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 2006)

Tabela 1 - Tempo de recorrência recomendado

| Tipo de dispositivo de drenagem | Tempo de recorrência (anos) |
|--|---------------------------------------|
| Drenagem Superficial. | 5 a 10 |
| Drenagem Sub-superficial. | 10 |
| Bueiros tubulares. | 15 (como canal) ou 25 (como orifício) |
| Bueiros celulares. | 25 (como canal) ou 50 (como orifício) |
| Pontilhão. | 50 |
| Ponte. | 100 |

Fonte - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006).

Ainda, segundo, Jabôr (2015), afirma que pode escolher, para um período de retorno, um intervalo de 10 anos, tendo em vista o dimensionamento de um canal em terra. Caso no futuro, houver insuficiência do canal, poderá revesti-lo, duplicando a sua capacidade de vazão, com aproveitamento integral das obras já executadas.

2.1.4 Tempo de concentração (Tc)

Tempo de concentração em contrapartida a uma seção de um curso d'água tem como definição ser o intervalo de tempo contado do início da precipitação até o instante onde toda a bacia contribuirá para a vazão na seção estudada. O tempo de concentração corresponde à duração de tempo em que a partícula de água demore mais tempo para atingir uma determinada seção. (PINTO, et al. 1976)

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2005), o tempo de concentração pode ser representado no hidrograma unitário, onde está definido pelo intervalo de tempo entre o início de uma precipitação até instante que a vazão está sendo contribuída por todos os pontos da bacia, que é um fator de importância na conformação e na descarga máxima da enchente do projeto.

Da Paz (2004), afirma que existem várias equações que relacionam o tempo de concentração com os aspectos físicos das bacias. Recomenda – se utilizar a equação desenvolvida por *California Culverts Practic*, conforme apresenta a equação 2:

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2)$$

Onde:

- tc = tempo de concentração (min);
- L = extensão do rio principal (km);
- H = diferença das cotas entre o ponto a montante e o exutório da bacia (m).

2.1.5 Escoamento superficial

A água que percorre sobre a superfície terrestre devido ao efeito da gravidade, é conhecida como escoamento superficial, sendo uma de suas fases que compõe o ciclo hidrológico a ser estudado. Onde o escoamento superficial está inteiramente relacionado a precipitação atmosférica e possui grande importância para diversos estudos na área da engenharia. A previsão de cheia dos cursos de água, no caso os rios, está diretamente ligada a um estudo minucioso da análise quantitativa desses dois fenômenos, escoamento superficial e precipitação. (GARCEZ E ALVAREZ, 1988)

Villela e Mattos afirmam que:

Devido à influência da gravidade, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo são realizados em direção a cotas mais baixas e podem, eventualmente, ser descarregados nos oceanos. Entretanto, quantidades substanciais da água superficial e subterrânea retornam à atmosfera por evaporação e transpiração antes de atingirem o oceano. (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 1)

Segundo Tucci (2002), vários fatores influenciam no escoamento, e esses se agregam em dois conjuntos:

- a) *Controles de jusante*: poder ser definido como a inclinação da linha de água. É através do controle de jusante que pode diminuir a vazão de um rio, para evitar que se ocorra mudança de seção, reservatórios, estrangulamentos em aterros, entre outros;
- b) *Controles locais*: controlam a capacidade de escoamento de água, no qual esse depende da área da seção, da largura, da rugosidade das paredes e do perímetro.

Segundo Pinto *et al.* (1976), as águas resultantes de precipitação chegam ao leito do curso por quatro divisões:

- Escoamento superficial;
- Escoamento sub-superficial;
- Escoamento subterrâneo;
- Precipitação direta sobre uma superfície líquida.

2.1.6 Bacia hidrográfica

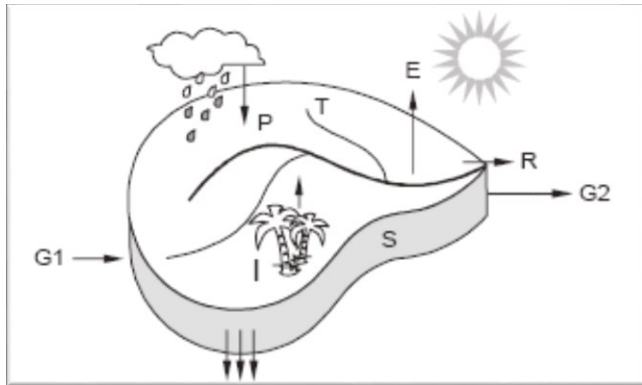
Bacia hidrográfica é usada para caracterizar a área de captação natural da água da chuva onde é escoada para um determinado ponto de saída, que é denominado de exutório. A constituição da bacia é através de um conjunto de superfícies, terreno para escoar a água e uma rede drenagem. (DA PAZ, 2004).

Garcez e Alvarez (1988, p.44) defendem em seu trabalho que “Bacia Hidrográfica é denominado como conjunto das áreas com declividade no sentido de determinada seção transversal de um curso d’água, medidas as áreas em projeção horizontal.”.

De acordo com Villela e Mattos (1975), a utilização do balanço hídrico em uma determinada bacia Hidrográfica, é um fenômeno que ocorre quando se inicia a precipitação em um local e a água que cai sobre o solo começa a ser armazenada, devido a superfície não ser

totalmente plana, parte desta água poderá sofrer evaporação ou infiltração, a água armazena-se por um determinado tempo no solo e parte para camadas mais profundas dando origem aos lençóis subterrâneos, ou pode-se mover lateralmente formando o escoamento superficial. A figura 2 apresenta como pode ser visualizado o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica:

Figura 2 - Esquema de balanço hídrico de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: Villela e Mattos (1975).

Onde:

- P = precipitação;
- E = evaporação;
- T = transpiração;
- I = infiltração;
- S = armazenamento.

Para os autores Villela e Matos (1975) conhecer o sistema de drenagem, ou seja, quais os tipos de curso d'água que está drenando uma determinada região é de grande importância para o estudo de bacias hidrográficas. Os cursos d'água são classificados de acordo com o escoamento, são eles:

- a) Perenes: são aqueles cursos d'água que possuem água durante o tempo todo, ou seja, não desce abaixo do nível do leito do curso d'água, mesmo estando em tempos bastante secos. Isso acontece devido à alimentação que o lençol subterrâneo mantém contínua;
- b) Intermitentes: é um tipo de curso d'água que escoam nos períodos de chuvas onde transportam todo o tipo de deflúvio e secam na estiagem;

- c) Efêmeros: são aqueles cursos d'água que existe durante ou logo após o período de chuva e transportam apenas o escoamento superficial.

É muito importante realizar o estudo da área da bacia, pois é através da área que se consegue definir a potência hídrica que a bacia pode oferecer. Através do valor da área pode-se multiplicar pelo valor da lâmina da chuva precipitada irá resultar no volume de água recebido na bacia. Também pode-se encontrar a área de uma determinada bacia através de mapas no Sistema de Informação Geográfica. (TUCCI, 2002)

2.1.7 Vazão: método racional

O método racional consiste em determinar a descarga máxima de uma bacia através de uma expressão onde o valor desta descarga está relacionado com a área da bacia e a intensidade da chuva. Este método exige a determinação de um parâmetro único que expressa o comportamento que a área exerce na formação do deflúvio, este parâmetro é denominado como coeficiente de deflúvio, onde representa a relação existente entre vazão e precipitação. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT, 2006).

Da Paz (2004), afirma que a precipitação tem ocorrência de forma uniforme na área da bacia, onde a intensidade também ocorre uniformemente ao longo do tempo em que ocorre as chuvas, ou seja, a distribuição temporal e espacial é uniformemente ligada a precipitação em que ocorre no território.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006), o método racional é utilizado de acordo com a área da bacia, portanto a área para análise tem que ser menor ou igual a 4 km².

Para determinação da vazão através do método racional utiliza-se a seguinte equação para cálculo:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{36 \times 10^4} \quad (3)$$

Onde:

- Q = Vazão ou descarga máxima (m³/s);
- i = Intensidade, duração e frequência de chuva (mm/h);
- C = Coeficiente de deflúvio (adimensional);
- A = Área de contribuição (km²);

De acordo com Tucci (2002), coeficiente de deflúvio é conhecido como coeficiente de Runoff onde tem definição de ser a razão entre o volume de total precipitado e o volume total do escoamento superficial.

Os valores do coeficiente de escoamento são indicados pela tabela 2, onde cada valor depende do tipo de solo e revestimento. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 2006)

Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial

| Características da superfície | Coeficiente de escoamento |
|--|---------------------------|
| Revestimento de concreto de cimento Portland | 0,70 – 0,90 |
| Revestimento betuminoso | 0,80 – 0,95 |
| Revestimento primário | 0,40 – 0,60 |
| Solos sem revestimento com baixa permeabilidade | 0,40 – 0,65 |
| Solos sem revestimento com permeabilidade moderada | 0,10 – 0,30 |
| Taludes gramados | 0,50 – 0,70 |
| Prados e campinas | 0,10 – 0,40 |
| Terrenos cultivados em vales | 0,10 – 0,30 |

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006).

2.1.8 Vazão: método racional corrigido

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), para as bacias hidrográficas que possuírem área entre 4 km² e 10 km², é necessário utilizar o método racional corrigido.

Sendo assim, a fórmula para a determinação da vazão através do método racional corrigido é representada pela equação 4:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^n \quad (4)$$

Onde:

- i = Intensidade, duração e frequência de chuva (mm/h);
- C = Coeficiente de deflúvio (adimensional);
- A = Área de contribuição (km²);
- n = Coeficiente de distribuição.

2.1.9 Vazão: método hidrograma unitário triangular - SCS

Segundo, Porto *et al.* (1999), hidrograma unitário é um hidrograma de escoamento superficial direto, onde a área sob a curva corresponde a um volume unitário de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias. Este método visa possibilitar a determinação do hidrograma de projeto de uma bacia hidrográfica qualquer seja a sequência de eventos chuvosos.

Tomaz (2013), afirma que o hidrograma unitário possui características que são as variáveis tempo de base (*tb*), tempo de duração da chuva (*tr*) e tempo de concentração (*tc*) e tempo de pico (*tp*). A escolha do tempo de duração da chuva unitária é arbitrária, entretanto recomenda-se que para áreas de até 32km² seja da ordem de 1/3 a 1/4 do tempo de concentração da bacia

Ainda, conforme, Tomaz (2013), o hidrograma unitário possui intensidade de chuva efetiva constante durante uma determinada tormenta onde produz o hidrograma unitário. A chuva efetiva está distribuída uniformemente em toda a área da bacia. O tempo de duração do deflúvio superficial é devido a ocorrência da chuva efetiva que possui.

Segundo, Da Paz (2004), o método SCS baseia-se em estudos que procuram correlacionar a precipitação de uma chuva unitária e CN, onde a precipitação efetiva é representada pela equação 5.

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,8\right)^2}{\left(P + \frac{20320}{CN} - 203,2\right)} \quad (5)$$

Onde:

- P = Precipitação para uma chuva unitária (mm);
- Pe = Precipitação efetiva (mm);
- CN = Curver Number.

A aplicação conjunta dos princípios básicos do hidrograma unitário em um cenário de múltiplos eventos chuvosos com a finalidade de definir o hidrograma de projeto de uma bacia hidrográfica é feita por meio da operação matemática denominada convolução. A convolução é a operação matemática de duas funções P (precipitação) e U (Hidrograma Unitário Triangular) dando origem a uma terceira função Q (vazão) que pode ser vista como uma das funções modificadas. (TOMAZ, 2013).

2.2 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

Conforme Naghettini e Pinto (2007), a hidrologia estatística tem como objetivo determinar os fundamentos da estatística matemática, onde são utilizados na interpretação e aleatoriedade dos processos hidrológicos. Para o estudo de estatística na hidrologia, é preciso conhecimento nos seguintes itens: variáveis hidrológicas, séries hidrológicas e dados hidrológicos.

2.2.1 Distribuição de Gumbel

Segundo Hartmann (2011), a utilização do método de distribuição de Gumbel está entre as melhores que se ajusta em relação aos fenômenos meteorológicos, principalmente para estudo de precipitação máxima. Este método de distribuição proporciona uma estimativa da equação das chuvas intensas que pode ser aplicada ao modelo chuva-vazão.

Para-se calcular a média entre as precipitações máximas ocorrida no ano foi utilizado a equação 6:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

Onde:

- \bar{x} : média aritmética (mm);
- x_i : variável (mm);
- n : número de dados.

Para-se calcular o desvio padrão entre as precipitações máximas ocorrida no ano foi utilizado a equação 7:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

Onde:

- \bar{x} : média aritmética (mm);
- x_i : variável (mm);
- s : desvio padrão (mm);
- n : número de dados.

Para cálculo da precipitação é necessário o valor do fator de frequência “k” segundo a distribuição da Lei de Gumbel.

A tabela 3 apresenta os valores de “k” em função do número de eventos considerados e Tempo de Recorrência determinado. (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA, 1998).

Tabela 3 - Valores de "k" calculados segundo a Lei de Gumbel

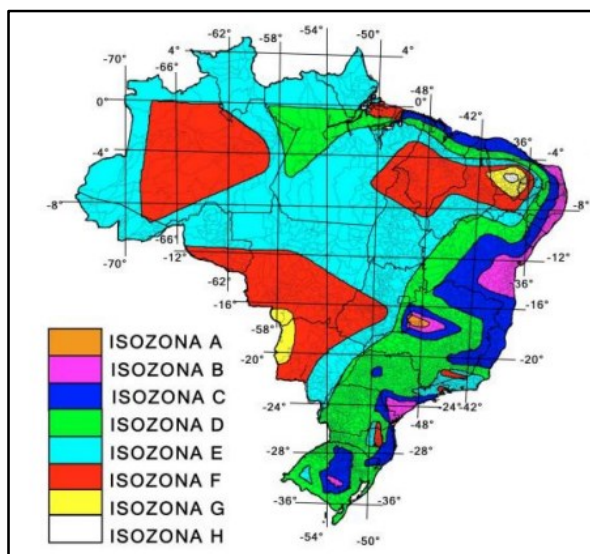
| Nº de eventos considerados | TR – Tempo de Recorrência | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 10 | 1,058 | 1,848 | 2,289 | 2,568 | 2,847 | 3,588 | 4,323 |
| 11 | 1,034 | 1,809 | 2,242 | 2,516 | 2,789 | 3,516 | 4,166 |
| 12 | 1,013 | 1,777 | 2,202 | 2,472 | 2,741 | 3,456 | 4,166 |
| 13 | 0,996 | 1,748 | 2,168 | 2,434 | 2,699 | 3,405 | 4,105 |
| 14 | 0,967 | 1,724 | 2,138 | 2,401 | 2,663 | 3,360 | 4,052 |
| 15 | 0,981 | 1,703 | 2,112 | 2,372 | 2,632 | 3,321 | 4,005 |
| 16 | 0,955 | 1,682 | 2,087 | 2,344 | 2,601 | 3,282 | 3,959 |
| 17 | 0,943 | 1,664 | 2,066 | 2,321 | 2,575 | 3,250 | 3,921 |
| 18 | 0,934 | 1,649 | 2,047 | 2,300 | 2,552 | 3,223 | 3,888 |
| 19 | 0,926 | 1,636 | 2,032 | 2,283 | 2,533 | 3,199 | 3,860 |
| 20 | 0,919 | 1,625 | 2,018 | 2,268 | 2,517 | 3,179 | 3,836 |
| 21 | 0,911 | 1,613 | 2,004 | 2,252 | 2,500 | 3,157 | 3,810 |
| 22 | 0,905 | 1,603 | 1,992 | 2,238 | 2,484 | 3,138 | 3,787 |
| 23 | 0,899 | 1,593 | 1,980 | 2,225 | 2,470 | 3,121 | 3,766 |
| 24 | 0,893 | 1,584 | 1,969 | 2,213 | 2,457 | 3,104 | 3,747 |
| 25 | 0,888 | 1,575 | 1,958 | 2,201 | 2,444 | 3,088 | 3,729 |
| 26 | 0,883 | 1,566 | 1,949 | 2,191 | 2,432 | 3,074 | 3,711 |
| 27 | 0,879 | 1,560 | 1,941 | 2,182 | 2,422 | 3,061 | 3,696 |
| 28 | 0,875 | 1,553 | 1,932 | 2,172 | 2,412 | 3,048 | 3,681 |
| 29 | 0,870 | 1,547 | 1,924 | 2,163 | 2,402 | 3,037 | 3,667 |
| 30 | 0,866 | 1,541 | 1,917 | 2,155 | 2,393 | 3,026 | 3,653 |
| 31 | 0,863 | 1,535 | 1,910 | 2,148 | 2,385 | 3,015 | 3,641 |
| 32 | 0,860 | 1,530 | 1,904 | 2,141 | 2,377 | 3,005 | 3,629 |

Fonte - Departamento Estadual de Infraestrutura, 1998.

2.3 MÉTODO DAS ISOZONAS

O método das Isozonas está baseado em uma observação que foi feita por José Jaime Torrico, onde aborda as chuvas de 1 hora e 24 horas em um papel de probabilidades e foi constatado uma de tendência de semirretas que relaciona altura de uma chuva com a duração. Cada região do Brasil que apresentasse essas semirretas seria classificada uma Isozona, conforme a figura 3. (TORRICO, 1974).

Figura 3 - Mapa de Isozonas



Fonte - Torrico (1974)

Cada Isozona apresenta relação do tempo de recorrência com a precipitação de 24h, 1h e 6min, conforme a figura 4.

Figura 4 - Relação de precipitação e tempo de recorrência

| | Relação: | 1h/24h | | | | | | | | | | 6min/24h | |
|----------|----------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|--------|
| | | Tr | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 | 1000 | 10000 | 5 ~ 50 |
| ISOZONAS | A | 36,2 | 35,8 | 35,6 | 35,5 | 35,4 | 35,3 | 35,0 | 34,7 | 33,6 | 32,5 | 7,0 | 6,3 |
| | B | 38,1 | 37,8 | 37,5 | 37,4 | 37,3 | 37,2 | 36,9 | 36,6 | 35,4 | 34,3 | 8,4 | 7,5 |
| | C | 40,1 | 39,7 | 39,5 | 39,3 | 39,2 | 39,1 | 38,8 | 38,4 | 37,2 | 36,0 | 9,8 | 8,8 |
| | D | 42,0 | 41,6 | 41,4 | 41,2 | 41,1 | 41,0 | 40,7 | 40,3 | 39,0 | 37,8 | 11,2 | 10,0 |
| | E | 44,0 | 43,6 | 43,3 | 43,2 | 43,0 | 42,9 | 42,6 | 42,2 | 40,9 | 39,6 | 12,6 | 11,2 |
| | F | 46,0 | 45,5 | 45,3 | 45,1 | 44,9 | 44,8 | 44,5 | 44,1 | 42,7 | 41,3 | 13,9 | 12,4 |
| | G | 47,9 | 47,4 | 47,2 | 47,0 | 46,8 | 46,7 | 46,4 | 45,9 | 44,5 | 43,1 | 15,4 | 13,7 |
| | H | 49,9 | 49,4 | 49,1 | 48,9 | 48,6 | 48,6 | 48,3 | 47,8 | 46,3 | 44,8 | 16,7 | 14,9 |

Fonte - Torrico (1974)

2.4 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Nas estações pluviométricas que se realizam as medições das chuvas através do pluviômetro e as medições também da intensidade dessas chuvas através do pluviógrafo. Essas estações são localizadas distantes de edificações e vegetações altas. Através das estações pode-se encontrar os valores de vazões médias, precipitações, áreas de drenagem e evapotranspirações médias ou anuais. A tabela 4 apresenta o tamanho da área para a quantidade de estações pluviométricas. (RIGHETTO, 1978)

Tabela 4 - Relação entre tamanho da área e quantidade de estações pluviométricas

| Área de drenagem (há) | Quantidade mínimo de estações pluviométricas |
|-----------------------|--|
| 0-12 | 1 |
| 12-40 | 2 |
| 40-80 | 3 |
| 80-200 | 1 a cada 40 há |
| 200-1000 | 1 a cada 200 há |
| 1000-2000 | 1 a cada 250 há |
| >2000 | 1 a cada 750 há |

Fonte: Righetto (1978)

2.4.1 Preenchimento de falhas

De acordo com Da Paz (2004), uma estação pluviométrica pode obter uma série com erros ao longo dos anos, onde pode se ter problemas mecânicos ou com o operador, de modo que se tenha períodos sem precipitações registradas ou com existência de falhas. Para se realizar o preenchimento de falhas são utilizados os seguintes métodos:

- a) Método de ponderação regional: este método consiste em estimar a precipitação que ocorreu no posto com falha considerando proporcional a outras precipitações de postos vizinhos, onde é selecionado pelo menos três postos vizinhos. Normalmente este método é utilizado para séries anuais ou mensais;
- b) Método da regressão linear: este método para o preenchimento de falhas é utilizado a técnica da regressão linear simples ou múltipla, onde a precipitação do posto com falha é comparada estatisticamente com precipitações de outro posto vizinho.

2.5 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO

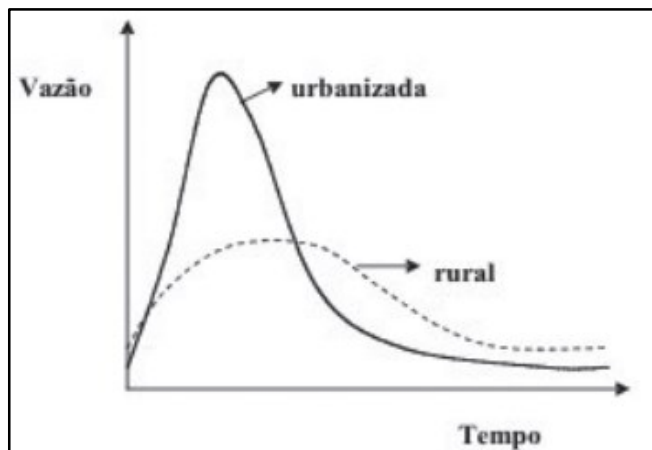
De acordo com Canholi (2005), nas últimas décadas houve uma expansão urbana com uma deficiência na infraestrutura de dispositivos de drenagem, causando problemas de alagamentos, ocorrendo principalmente em regiões que tem um rápido crescimento urbano. E assim não tendo a conscientização dos problemas da falta de planos ao longo prazo e medidas para controle de cheias

Segundo TUCCI (1997), a cobertura de uma bacia sofre alterações devido a impermeabilização do solo e instalação de condutos para o escoamento, e assim gerando alterações no ciclo, que são:

- a) Diminuição da infiltração da água no solo;
- b) A água não infiltrada no solo fica na superfície, causando aumento no escoamento superfície;
- c) Com a modificação da cobertura natural ocorre faz com que a evapotranspiração reduza, pois, a superfície urbana não irá reter a água de acordo com a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo;
- d) A diminuição da infiltração, faz com que aquífero diminua o nível do lençol freático (principalmente quando se tem área urbana muito extensa), e assim irá diminuir o escoamento subterrâneo.

A figura 5 apresenta o hidrograma de uma bacia em uma área rural e depois já urbanizada. Onde-se tem um grande aumento de vazão devido a influência da impermeabilização do solo.

Figura 5 - Hidrograma de uma bacia rural e depois urbanizada



Fonte: Águas urbanas - Tucci (1997).

2.6 DRENAGEM TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006), drenagem rodoviária tem a função primordial de eliminar a água que atinge a rodovia, absorvendo-a e transportando-a para locais que danifique menos e possa garantir segurança e durabilidade da estrada. A transposição é feita através da introdução de uma ou mais linhas de bueiros sobre aterros ou construções.

Simonette (2010) afirma em seu trabalho que drenagem de águas é um dos principais processos para construção de rodovias, e que grandes desastres acontecem devido à ausência e má execução do projeto de drenagem. A drenagem deve ser considerada um item de relação e influencia em todas as etapas de construção de uma rodovia. Desprezando-se a construção da drenagem em rodovias poderá ter os seguintes problemas no funcionamento: recalques e escorregamento de terras.

Drenagem de transposição de talvegues, conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), são águas que vem de origem de bacias, que por imperativos hidrológicos e do terreno, precisam atravessar as estradas sem afeta-las, com tempo de se assegurar a não interferência das águas sobre a hidrologia que comporta. Obras de transposição de talvegues podem ser bueiros, pontilhões e pontes.

De acordo com Dotto (2015), transposição de talvegues visa transpor as águas que escoam por cursos naturais (talvegues) e que cortam o traçado da estrada, sem comprometer sua estrutura. O dimensionamento para projetos de drenagem de transposição de talvegues deve ser realizado com base nos seguintes estudos:

- a) Hidrológicos: permite determinar a vazão máxima da bacia contribuinte que deverá ser drenada pelo dispositivo;
- b) Hidráulicos: determina qual o tipo e seção do o dispositivo a ser implantado e mais adequado para escoar a vazão de projeto.

2.6.1 Obras de arte corrente (bueiros)

Segundo Jabôr (2015), projetos de obras de arte correntes tem como objetivo realizar o dimensionamento de bueiros, garantindo com que a água transporte de um lado para o outro na estrada. A implantação de obras de arte corretes são destinadas a trabalhar como sendo orifícios, vertedouros ou canais e são considerados condutos curto.

Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), os bueiros podem ser definidos como obras de arte corrente, que permitem a livre passagem de água que passam pelas rodovias. Pode-se citar os seguintes elementos constituintes de um bueiro:

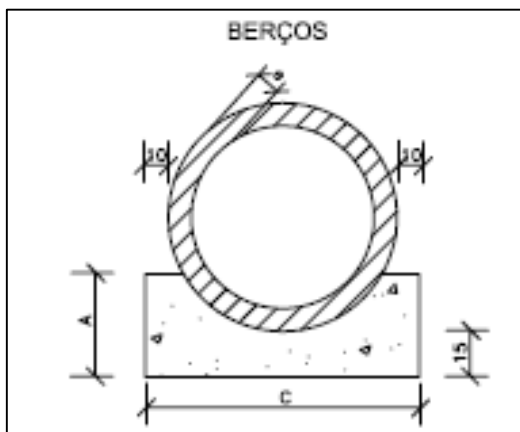
- Corpo: é a parte principal com função de permitir livre passagem das águas;
- Berço: pode ser definido como a base de assentamento do bueiro;
- Bocas: onde se tem dispositivos de admissão e lançamento, a montante e jusante.

Jabôr (2015) afirma que através do estudo hidrológico, informações de campo e cálculos consegue-se obter as vazões para as bacias hidrográficas que interceptam a rodovia, e assim realizar o dimensionamento dos bueiros. Afirma também que os bueiros podem trabalhar como canais ou orifícios, onde, um bueiro que carga hidráulica a montante poderá trabalhar como orifício e o bueiro que não possuir carga hidráulica a montante irá trabalhar como canal.

Existem quatro classes a serem classificados os bueiros conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), são as seguintes classes a saber:

- Quanto à forma da seção: podendo ser bueiros tubulares aqueles que possuem uma seção transversal circular, com variação no diâmetro entre 0,80 a 2,00m. A figura 6 apresenta a seção de um bueiro tubular:

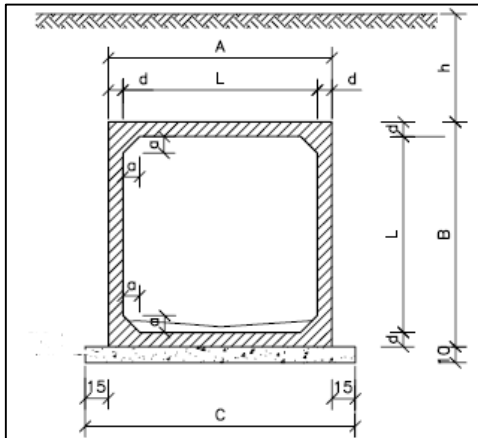
Figura 6 - Bueiro tubular



Fonte: Álbum de tipos de dispositivos de drenagem - DNIT (2006).

Pode-se classificar também em relação a forma da seção os bueiros como sendo celulares, que são aqueles que possuem uma seção transversal retangular ou quadrada, conforme apresentado na figura 7 apresenta.

Figura 7 - Bueiro celular



Fonte: Álbum de tipos de dispositivos de drenagem – DNIT (2006).

- b) Quanto ao número de linhas: classifica-se um bueiro quanto ao seu número de linhas através da quantidade de linhas de tubos que houver em um bueiro, como sendo bueiro simples aquele que possuir apenas uma linha de tubo conforme a figura 4, bueiro duplos quando possuir duas linhas de tubos e bueiros triplos quando possuir três linhas de tubos.
- c) Quanto ao material: na construção de bueiros existem diversos tipos de materiais, sendo eles: concreto simples, concreto armado, chapas metálicas ou polietileno de alta densidade. Todos esses materiais devem obedecer ao projeto-tipo do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT(2006).
- d) Quanto à esconsidade: pode ser definido esconsidade como um ângulo que se forma entre eixo do bueiro e a reta normal ao eixo da rodovia. Classifica-se os bueiros em normal e esconso.

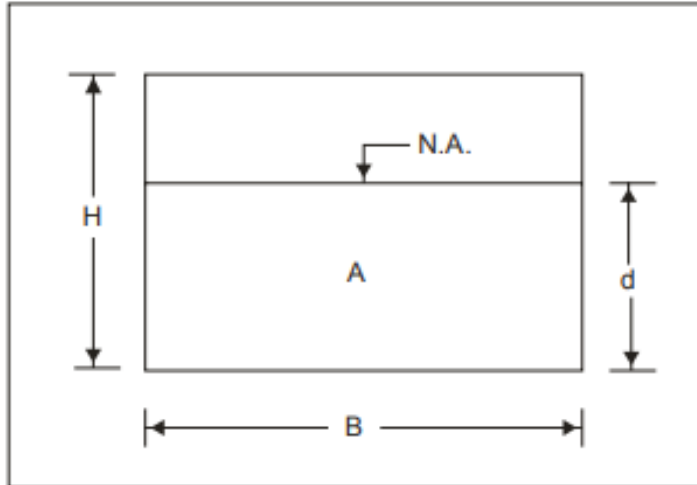
2.7 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Segundo Dotto (2015), os bueiros que trabalham com carga hidráulica a montante podem ocasionar transbordamento de água, danos ao aterro e a pavimentação da rodovia, estes são considerados bueiros que trabalham como orifício. Portanto, para a segurança, os bueiros não possuindo carga hidráulica a montante, serão dimensionados como canal.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura Transportes – DNIT (2006), os bueiros que trabalham hidraulicamente como canais, utilizam a metodologia do escoamento de regime crítico, onde, a altura do bueiro é considerada igual a energia específica mínimo.

Segundo o do Manual de Drenagem de Rodovias (2006), para cálculo da área molhada de um bueiro celular deve-se conhecer as grandezas hidráulicas, conforme apresentados na figura 8.

Figura 8 - Grandezas Hidráulicas



Fonte - Manual de Drenagem (2006)

Para cálculo da área molhada de cada célula de um bueiro celular de concreto utiliza-se a equação 8.

$$A_m = B \cdot d \quad (8)$$

O perímetro molhado para bueiro celular de concreto, pode ser calculado através da equação 9

$$P_m = B + 2 \cdot d \quad (9)$$

Onde:

- B = largura do bueiro;
- d = Nível da água;
- A_m = área molhada;
- P_m = Perímetro molhado.

É necessário calcular o raio hidráulico no dimensionamento de bueiros trabalhando como canais, para este cálculo utiliza-se a equação 10:

$$R_H = \frac{A_m}{P_m} \quad (10)$$

Onde:

- R_H = Raio hidráulico (m);
- A_m = Área molhada (m²);
- P_m = Perímetro molhado (m).

No trecho do canal é necessário calcular a declividade para realizar o estudo hidráulico, a equação 11 apresenta a fórmula para o cálculo.

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (11)$$

Onde:

- i = Declividade média (m/m);
- Δh = Diferença de cotas de montante e jusante (m);
- L = Comprimento (m);

Através dos resultados obtidos das equações anteriores, será necessário realizar o cálculo da verificação da velocidade, onde, foram desenvolvidas equações empíricas, um dessas podendo ser a fórmula de Manning, onde é definida pela equação 12. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, 2006).

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} \quad (12)$$

Onde:

- V = Velocidade média (m/s);
- n = Coeficiente de rugosidade de Manning;
- i = Declividade média (m/m);
- R_H = Raio hidráulico (m).

O valor do coeficiente de rugosidade é determinado através da tabela 5, onde o valor do coeficiente está relacionado com revestimento utilizado.

Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade

| Cimento | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Superfície acabada | 0,010 | 0,013 |
| Argamassa | 0,011 | 0,013 |
| Concreto com superfície de: | | |
| Acabamento a colher | 0,011 | 0,012 |
| Acabamento a desempenadeira | 0,013 | 0,015 |
| Acabamento com cascalhos no fundo | 0,015 | 0,017 |
| Sem acabamento | 0,014 | 0,017 |
| Sobre escavação em rocha boa | 0,017 | 0,020 |

Fonte - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, (2006).

Através da equação de Bernoulli e a da continuidade pode-se resolver vários problemas do movimento dos líquidos em regime permanente. Equação da continuidade é apresentada conforme a equação 13:

$$Q = V \cdot A_m \quad (13)$$

Onde:

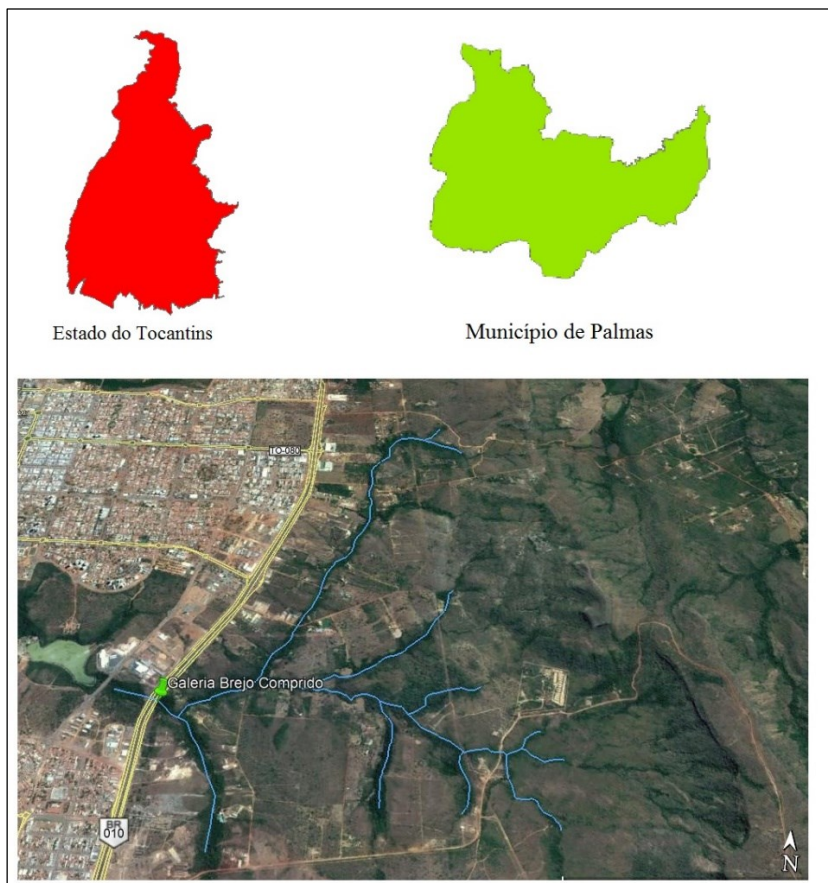
- Q= Vazão (m³/s);
- v = Velocidade (m/s);
- A_m = Área de escoamento

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa é caracterizada como exploratória, em que assume forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. O dispositivo de drenagem a ser estudado neste trabalho é um bueiro triplo celular de concreto denominado BTCC existente na galeria Brejo Comprido, onde possui o córrego brejo comprido a montante e está localizado na rodovia TO- 050 na cidade de Palmas - TO. A figura 9 apresenta a localização da área a ser estudada.

Figura 9 – Localização da área de estudo



Fonte – Próprio autor.

As principais características precisas para estudo da bacia são: área de contribuição, perímetro e cotas do terreno, onde esses valores são de suma importância para o dimensionamento de bueiros. A determinação desses valores é feita com o auxílio de softwares.

De acordo com o Google Earth, a galeria Brejo Comprido localiza-se nas coordenadas: latitude de - 10°12'49.46"S e longitude de - 48°18'37.01"O.

A figura 10, apresenta a delimitação da área de contribuição da bacia, que possui área equivalente a 21,2 km² e perímetro de 17,3 km.

Figura 10 - Delimitação da área de contribuição



Fonte - Próprio autor.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada através do estudo da estação pluviométrica Ribeirão Taquarussu do Porto de número 1048005, onde a série histórica contendo os dados hidrológicos foi obtido por meio da Rede Hidro Meteorológica Nacional que é de responsabilidade da ANA, adquiridos através do Hidroweb. Esses dados disponibilizados oferecerem informações diárias e mensais de todas as estações pluviométricas, disponíveis por regiões, desde a data de seu início de funcionamento.

Com os dados de precipitação diários da bacia, obteve-se a precipitação máxima durante o ano. Foi coletado as precipitações máximas entre os anos de 1990 a 2011 e assim obtém-se a precipitação média e desvio padrão neste período, através da Distribuição de Gumbel.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO HIDROLÓGICO

3.3.1 Determinação do Tempo de Recorrência

Para a determinação do Tempo de Recorrência, foi analisado a estrutura de drenagem a ser estudada. Como o estudo se trata de bueiros celulares funcionando como canal, pois não possui carga hidráulica a montante, portanto o Tempo de Recorrência conforme apresentado na Tabela 1, para esse tipo de bueiros é de 25 anos. Com Tempo de Recorrência determinado, tem-se o valor do coeficiente $K = 2,484$ de acordo com a lei de Gumbel.

3.3.2 Obtenção da precipitação máxima diária

A região em estudo está localizada na Isozona E (zona continental e noroeste, com coeficientes de intensidades altos), e para um Tempo de Recorrência de 25 anos, tem-se um percentual de 43% para precipitação de 1h/24 horas e 12,60% para 6 minutos.

Com o resultado da precipitação média e do desvio padrão entre os anos de 1990 a 2011, foi necessário a utilização do coeficiente médio no valor de 1,1 para o ajustamento e então obteve-se a equação 14. (TORRICO, 1974).

$$P_{24h} = 1,1 [P_m + (\sigma \cdot K)] \quad (14)$$

Onde:

- P_{24h} = Precipitação em 24 horas;
- P_m = Precipitação média;
- σ = Desvio padrão;
- K = Coeficiente ajustado pela tabela de Gumbel.

Para cálculo da precipitação em 1h utilizou-se o percentual referente a Isozona da região para 1h, no caso 43%, que se ajusta na equação 15.

$$P_{1h} = P_{24h} \cdot 43\% \quad (15)$$

Para cálculo da precipitação em 6min deve-se utilizar o percentual de 12,6%, que se ajusta na equação 16.

$$P = P_{24h} \cdot 12,6\% \quad (16)$$

Com os valores das precipitações em 24h, 1h e 6 min é possível gerar a curva precipitação x tempo e a equação logarítmica, conforme a equação 17.

$$P = a \cdot \ln |x| + b \quad (17)$$

Onde:

- P = Precipitação (mm);
- “a” e “b” = Parâmetros da curva IDF;
- x = Duração (h).

Os resultados de “a” e “b” são parâmetros necessários para se calcular a vazão pelo método do hidrograma unitário.

3.4 CÁLCULO DA VAZÃO MÁXIMA

Tendo em vista que a área de contribuição da bacia em estudo abrange uma área maior que 4 km², para cálculo da vazão máxima dessa bacia foi utilizado o método Hidrograma Unitário.

Para a construção do Hidrograma Unitário foi necessário a determinação do valor do tempo de concentração, tempo de duração, tempo de pico e tempo de base, cálculos da descarga de pontos do HUT, cálculo da precipitação efetiva e precipitação parcial, cálculo do HUT e determinação da vazão, conforme apresentados nos itens seguintes

3.4.1 Determinação do tempo de concentração (tc)

Para determinação do tempo de concentração da bacia estudada foi utilizado a equação 2 do item 2.1.4, desenvolvida por *California Culverts Practic*. A tabela 5 apresenta dados a ser inserido na equação 2, como H que é o desnível e L que é a extensão, com isso obtém-se o valor do tempo de concentração.

| Cota inicial (m) | Cota final (m) | H (m) | L (km) |
|------------------|----------------|-------|--------|
| 325 | 250 | 75 | 5,4 |

3.4.2 Determinação do tempo de duração da chuva (t_r)

Segundo, Tomaz (2013), para a determinação do tempo de duração deverá utilizar a equação 18

$$t_r = \frac{1}{4} \cdot t_c \quad (18)$$

Onde:

- t_r = Tempo de duração;
- t_c = Tempo de concentração.

3.4.3 Determinação do tempo de pico (t_p)

Para cálculo do tempo de pico deve utilizar a equação 19.

$$t_p = \frac{t_r}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (19)$$

Onde:

- t_p = Tempo de pico (h);
- t_r = Tempo de duração da chuva unitária (h);
- t_c = Tempo de concentração (h).

3.4.4 Determinação do tempo de base (t_b)

Para a determinação do tempo de base deve utilizar a equação 20.

$$t_b = t_p + 1,67 \cdot t_p \quad (20)$$

Onde:

- t_b = Tempo de base;
- t_p = Tempo de pico.

3.4.5 Determinação da descarga de pontos do HUT

De acordo com TUCCI (2002), a vazão máxima de um Hidrograma Unitário Triangular é obtida pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_p} \quad (21)$$

Onde:

- Q_p = Vazão de pico do HUT;
- A = Área (km²);
- t_p = tempo de pico (h).

3.4.6 Determinação da precipitação efetiva

A precipitação efetiva é calculada através da equação 5, onde esta equação relaciona a precipitação para uma chuva unitária e o CN para a bacia, onde será levado em conta um CN futuro, considerando urbanização na bacia.

Segundo o PMSB (2014), o CN futuro para a bacia do Córrego Brejo Comprido é de 76,40 conforme a figura 11 extraída do Plano Municipal de Saneamento Básico.

Figura 11 - Valores de CN futuros para bacias urbanas de Palmas- TO

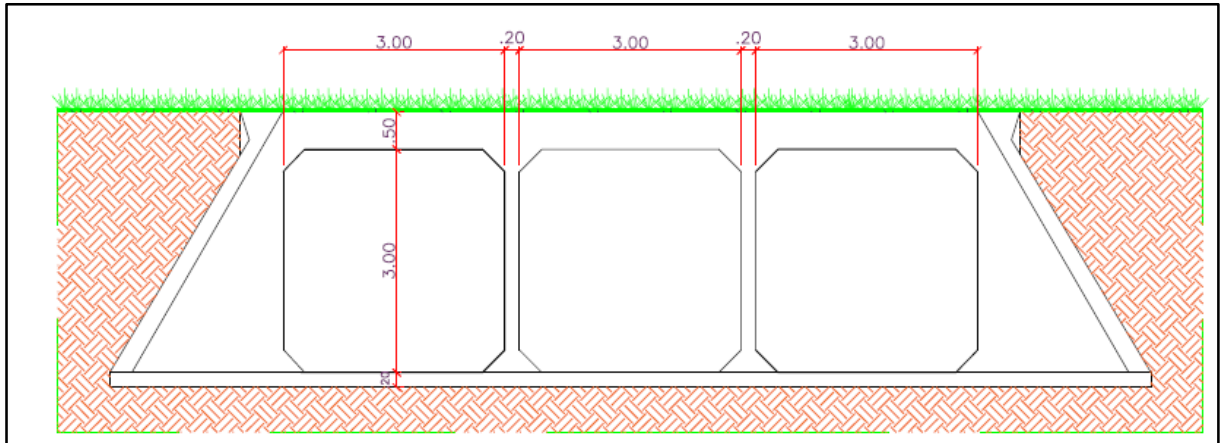
| Bacia | CN Atual | CN Futuro | Varição |
|------------------------|----------|-----------|---------|
| Ribeirão Água Fria | 62,83 | 64,22 | 102,2 |
| Afluente AF 1 | 76,86 | 85,2 | 110,9 |
| Afluente AF 2 | 65,45 | 77,37 | 118,2 |
| Córrego Brejo Comprido | 68,85 | 76,4 | 111,0 |
| Córrego Suçuapara | 74,33 | 86,94 | 117,0 |
| Córrego da Prata | 69,66 | 89,55 | 128,6 |
| Ribeirão Taquaruçu | 62,24 | 64,03 | 102,9 |
| Rib. Taquaruçú 1 | 66,83 | 88,1 | 131,8 |
| Córrego Machado | 81,07 | 88,9 | 109,7 |
| Córrego Taquari | 63,79 | 68,55 | 107,5 |
| Afluente TQ 1 | 64,72 | 75,34 | 116,4 |
| Córrego Cipó | 70,7 | 88,1 | 124,6 |
| Córrego Pé do Morro | 70,14 | 88,1 | 125,6 |

Fonte - PMSB (2014) – Adaptado

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO HIDRÁULICO

O dispositivo de drenagem a ser estudado é um BTCC (Bueiro Triplo Celular de Concreto) conforme apresentado na figura 12, sendo que cada célula possui dimensão de 3,0x3,0. Este dispositivo de drenagem não possui carga hidráulica a montante, portanto será dimensionado como um bueiro trabalhando em canal.

Figura 12 - Bueiro Triplo Celular



Fonte - Próprio autor.

3.5.1 Cálculo da área molhada de cada célula

Para cálculo da área molhada do bueiro em estudo utiliza-se a equação 7 do item 2.7. Segundo o DNIT, bueiros que trabalham como canal deve-se ter uma folga de projeto em relação ao enchimento da seção, o valor mínimo para é de 75% da seção, ou seja, em bueiros celulares o tirante hidráulico chamado também de lamina líquida, é calculado através da altura da seção multiplicado por 0,75.

3.5.2 Cálculo do perímetro molhado de cada célula

Para cálculo do perímetro molhado do bueiro em estudo utilizou-se a equação 8 do item 2.7

3.5.3 Determinação da inclinação

Para determinação da inclinação do bueiro, foi utilizado o método da mangueira de nível, onde este método fundamenta-se no princípio dos vasos comunicantes. A ferramenta utilizada é uma mangueira de nível com água sem bolhas, onde essa mangueira é colocada em um ponto de maior declive na posição vertical e desloca-se a mangueira na posição horizontal no sentido do declive e assim chegando ao ponto de menor declive. A diferença entre as leituras corresponde ao espaçamento vertical. O espaçamento horizontal é medido com uma trena e assim obtém-se o valor da inclinação.

Para realização do estudo hidráulico do bueiro em questão foi utilizado os princípios da hidrodinâmica, conforme as equações do item 2.7, pois é relevante a utilização da equação da continuidade relacionada com a fórmula de Manning, conforme as indicações do Manual de Drenagem de Rodovias (2006).

3.6 VERIFICAÇÃO CAPACIDADE HIDRÁULICA

Para a verificação da capacidade hidráulica, foi feito uma análise dos resultados do dimensionamento hidrológico e hidráulico, onde foi verificado a vazão máxima a ser drenada junto com a vazão que o bueiro estudado suporta. Se, por acaso, a vazão máxima for menor do que a vazão que o bueiro suporta, então o bueiro estudado terá suficiência hidráulica. No caso de a vazão máxima ser maior do que a vazão que o bueiro irá suportar, o bueiro irá sofrer uma insuficiência hidráulica e será preciso substituição ou uma complementação.

4 RESULTADOS

4.1 COLETA DE DADOS

Com análise da série histórica da estação pluviométrica mais próxima da bacia, foi retirado as precipitações máximas da planilha. Assim tendo as seguintes precipitações:

Tabela 6 - Precipitação máxima de cada ano

| Ano | Precipitação máxima diária (mm) | Ano | Precipitação máxima diária (mm) |
|------|---------------------------------|------|---------------------------------|
| 1990 | 88 | 2001 | 111,2 |
| 1991 | 79,9 | 2002 | 83,1 |
| 1992 | 70,3 | 2003 | 90,3 |
| 1993 | 89 | 2004 | 163,8 |
| 1994 | 76,3 | 2005 | 84,9 |
| 1995 | 118,2 | 2006 | 141,6 |
| 1996 | 124,3 | 2007 | 83,5 |
| 1997 | 87,3 | 2008 | 95,5 |
| 1998 | 62,7 | 2009 | 91 |
| 1999 | 104,7 | 2010 | 75,7 |
| 2000 | 84,1 | 2011 | 79,2 |

Com os valores de chuva máxima de cada ano, foi possível determinar o valor da precipitação média, de acordo com a distribuição de Gumbel, o valor da Precipitação média foi de 94,75 mm e o desvio padrão no valor de 24,08 mm, para um número de eventos igual a 22.

4.2 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA

Com o valor da precipitação média e do desvio padrão, pode-se determinar o valor da precipitação máxima em 24h, 1h e 6 min, através da equação 9, 10 e 11 respectivamente.

- Precipitação em 24 horas:

$$P_{24h} = 1,1 [P_m + (\sigma \cdot K)]$$

$$P_{24h} = 1,1 \cdot [94,75 + (24,08 \cdot 2,484)]$$

$$P_{24h} = 170,02 \text{ mm}$$

- Precipitação em 1 hora:

$$P_{1h} = 0,43 \cdot P_{24h}$$

$$P_{1h} = 0,43 \cdot 170,02$$

$$P_{1h} = 73,11 \text{ mm}$$

- Precipitação em 6 min

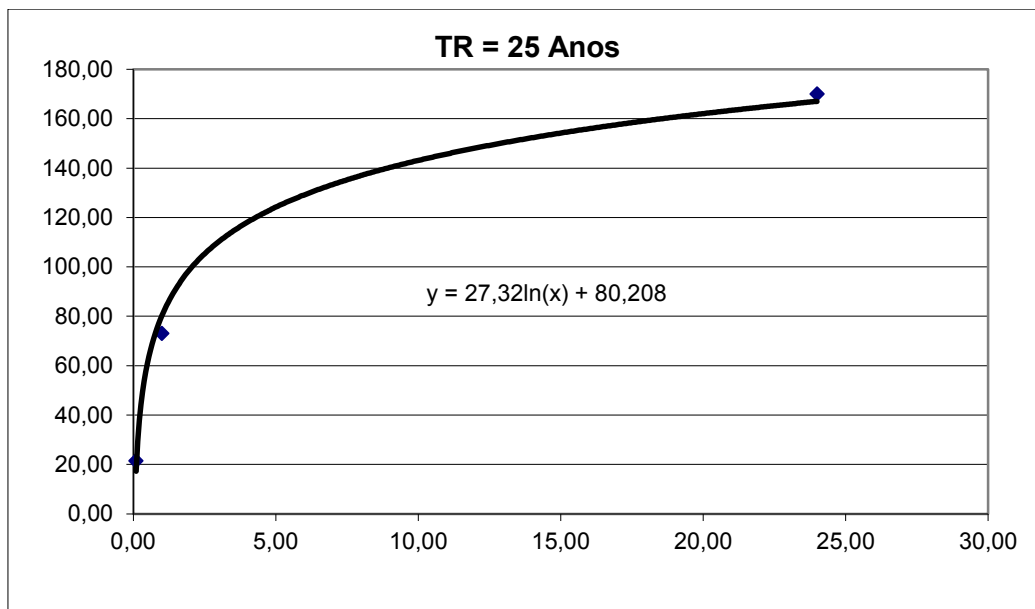
$$P = 0,126 \cdot P_{24h}$$

$$P = 0,126 \cdot 170,02$$

$$P = 21,42 \text{ mm}$$

Com os valores das precipitações em 24h, 1h e 6 min foi gerado a curva, onde apresenta a precipitação em relação a duração de chuvas em um tempo de recorrência de 25 anos, com o gráfico tem-se a equação logarítmica e nela compõe necessários para cálculo da vazão pelo método do hidrograma unitário SCS. A curva e a equação estão representadas pela figura 13.

Figura 13 - Curva precipitação x duração



Fonte - Proprio autor

A equação logarítmica para cálculo de precipitação em uma dada duração de chuva (x) é representada por: **$P = 27,32\ln(x) + 80,208$** .

4.3 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA

4.3.1 Cálculo do Tempo de Concentração

Para o cálculo do Tempo de concentração foram utilizados os valores do comprimento e desnível na equação 2, conforme abaixo:

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{5,4^3}{75} \right)^{0.385}$$

$$Tc = 75,85m \text{ in ou } 1,2565h$$

4.3.2 Cálculo do tempo de duração da chuva unitária (tr)

Para o cálculo do Tempo de duração da chuva unitária foi utilizado o valor do Tempo de Concentração, equação 17, conforme abaixo:

$$tr = \frac{1}{4} \cdot tc$$

$$tr = \frac{1}{4} \cdot 1,2565$$

$$tr = 0,314h$$

4.3.3 Cálculo do tempo de pico (tp)

Para o cálculo do Tempo de pico foi utilizado o valor do Tempo de Concentração e Tempo de duração, na equação 18, conforme abaixo:

$$tp = \frac{tr}{2} + 0,6 \cdot tc$$

$$t = \frac{0,314}{2} + 0,6 \cdot 1,2565$$

$$t = 0,92 h$$

4.3.4 Cálculo do tempo de base (*tb*)

Para o cálculo do Tempo de base foi utilizado o valor do Tempo de pico, na equação 19, conforme abaixo:

$$tb = tp + 1,67 \cdot tp$$

$$tb = 0,92 + 1,67 \cdot 0,92$$

$$tb = 2,4322 \text{ h}$$

4.3.5 Cálculo da descarga de pontos do HUT

Para cálculo da vazão de pico do HUT foi utilizado a área da bacia de 22,2 km² e o tempo de pico de 0,92h na equação 21, conforme cálculos abaixo.

$$Qp = \frac{2,08 \cdot A}{tp}$$

$$Qp = \frac{2,08 \cdot 22,2}{0,92}$$

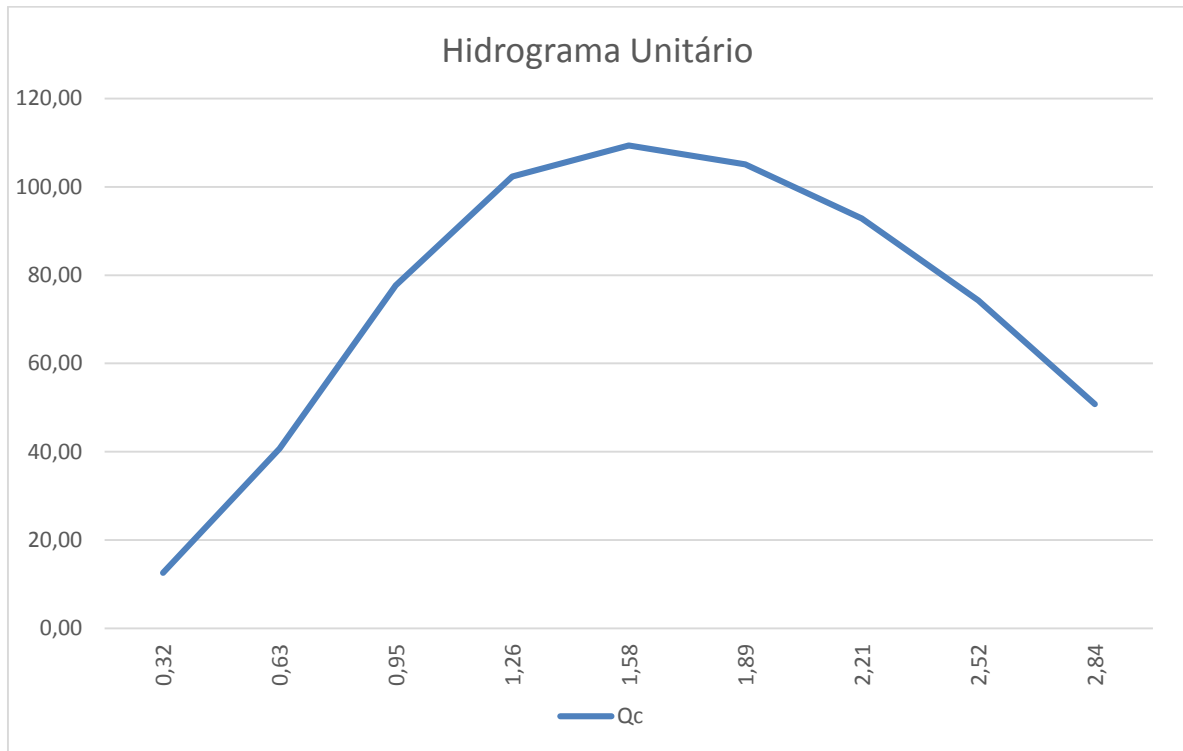
$$Qp = 50,10 \frac{m}{s} / cm$$

4.3.6 Cálculo da Precipitação efetiva e parcial

Com o valor da duração de chuva unitária pode-se determinar a precipitação através da equação logarítmica ($P = 27,32 \ln X + 80,208$). Através da equação da precipitação foi possível gerar uma planilha (ANEXO A) para calcular a precipitação efetiva, onde será utilizado o CN na equação, precipitação parcial, hidrograma unitário triangular e vazão acumulada através da convolução.

Através dos resultados da planilha gerou-se o hidrograma que está apresentado na figura 14, onde relaciona a vazão para uma determinada duração de chuva.

Figura 14 - Hidrograma unitário



Fonte - Próprio autor

Através da construção hidrograma unitário determina-se valor da vazão máxima na bacia do Córrego Brejo Comprido que é igual a 109,84 m³/s.

4.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Para o dimensionamento do bueiro foi necessário a obtenção das dimensões, feita no próprio local da obra, sendo 3,00 metros de altura e 3,00 metros de largura. Sendo assim, determinou-se como área total o valor de 9,0 m², área molhada de 6,75 m² e perímetro molhado de 7,5 m, considerando o valor máximo de 75% da área e da altura do bueiro.

4.4.1 Determinação raio hidráulico

Para o cálculo do raio hidráulico foram utilizados os valores de área molhada e perímetro molhado na equação 9, conforme abaixo:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

$$R_h = \frac{6,75}{7,5}$$

$$R_h = 0,90 \text{ m}$$

4.4.2 Determinação velocidade

Para o cálculo da velocidade foram utilizados os valores da inclinação de 0,5% e o coeficiente de rugosidade de Manning do concreto sem acabamento é de 0,014 (tabela 5), onde aplica-se na equação 11, conforme abaixo:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

$$V = \frac{1}{0,014} \cdot 0,90^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,005}$$

$$V = 4,71 \text{ m/s}$$

4.4.3 Determinação da vazão

A partir dos valores da velocidade e da área molhada foi determinada o valor da vazão a ser suportada em cada célula, através da equação de continuidade. A vazão encontrada deve ser multiplicada por três, pois o bueiro possui três células.

$$Q = V \cdot A_m$$

$$Q = 4,71 \cdot 6,75$$

$$Q = 31,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão total que o bueiro suporta é de 95,38 m³/s

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando a inclinação do bueiro de 0,5% e lamina líquida de 75%, a capacidade hídrica não suporta a vazão máxima de projeto, determinada no estudo hidrológico para um Tempo de Recorrência de 25 anos e CN = 76,40. A vazão máxima foi de 109,84 m³/s e a vazão

que o dispositivo suporta foi de 95,38 m³/s, assim apresentando insuficiência em sua capacidade hídrica.

A insuficiência da capacidade hídrica do dispositivo de drenagem analisado está relacionada ao aumento do CN, pois com este aumento do CN tem-se a diminuição da infiltração da água no solo e assim aumentando o escoamento superficial e vazão máxima.

Considerando uma lamina d'água de 90%, no bueiro, a capacidade de suportar uma vazão de 119,56 m³/s, com isso o bueiro terá suficiência hidráulica para suportar uma futura vazão ocasionada pelo efeito da urbanização.

5 CONCLUSÃO

Através da elaboração deste trabalho ficou evidente a importância do projeto de drenagem em rodovias, pois a construção da drenagem em uma rodovia é executada considerando o conforto e segurança ao usuário, com o intuito de impedir danos da água sobre as rodovias e posterior ocorrência de acidentes.

Para determinar os fatores que estão envolvidos no dimensionamento de um dispositivo de drenagem, é necessário a realização de estudos geotécnicos, topográficos e hidrológicos e definição do dispositivo de drenagem necessário para o trecho.

O presente trabalho possibilitou uma análise entre a vazão máxima e a vazão suportada pelo dispositivo de drenagem, este dispositivo é um BTCC (Bueiro Triplo Celular de Concreto) localizado no córrego Brejo Comprido na rodovia TO – 050. A análise permitiu fazer uma comparação entre as vazões e verificar se o dispositivo de drenagem possui capacidade hídrica para uma futura vazão, onde foi levado em conta a urbanização na bacia, onde irá aumentar o escoamento superficial e assim aumentando a vazão máxima.

A bacia do córrego Brejo Comprido possui uma área de 21,2 km², a vazão foi calculada através do método Hidrograma Unitário devido a área da bacia ser muito grande. Para um Tempo de Recorrência de 25 anos e CN futuro igual a 76,40 pode-se encontrar uma vazão máxima de 109,84 m³/s.

Para o dimensionamento hidráulico do bueiro foi encontrado uma inclinação de 0,5% e considerando uma lamina d'água de 75% da altura do bueiro, a partir desses dados o bueiro possui capacidade hídrica de uma vazão de 95,38 m³/s.

Portanto conclui-se que, o bueiro não apresenta capacidade hídrica para suportar uma futura vazão levando em conta o fator da urbanização na bacia, pois a vazão máxima é maior que a vazão que o bueiro existente suporta.

REFERÊNCIAS

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2005. 304 p.

CHOW, V.T. **Applied Hydrology**. International edition. New York: McGraw-Hill. 1988.

DA PAZ, Adriano Rolim. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s.n.] 2004. 138p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, **Álbum de projetos – Tipo de dispositivos de drenagem**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de drenagem de rodovias**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2006.

DOTTO, Fernando Marcuzzo. **Verificação do Dimensionamento de Dispositivos de Drenagem na Travessia Urbana de Santa Maria**. 2015. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Cap. 1.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1988.

JABÔR, M. A. **Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. Florianópolis. Apostila entregue no curso de drenagem de rodovias promovido pelo DEINFRA, 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PORTO, Rubem La Laina; FILHO, Kanel Zahed e MARCELLINI, Silvana Susko. **Escoamento Superficial**. 1999.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE PALMAS – PMSB. **Drenagem Urbana**. Prefeitura Municipal de Palmas. Vol. III. 2014.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, 840 p., 1998.

SIMONETTI, Henrique. **Estudo de impactos ambientais gerados pelas rodovias: sistematização do processo de elaboração de EIA/RIMA**. 2010, 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: piscinões, galerias, bueiros, canais, métodos SCS, Denver, Santa Bárbara**. Navegar. 2013

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974.

TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano**: Livro da água doce - cap 14, Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS – Porto Alegre- RS, 1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p., 1975.

ANEXOS

ANEXO A – Planilha Hidrograma Unitário

| MÉTODO HIDROGRAMA UNITÁRIO | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-----------|-----------------------------|-------------------|------------|---|
| Estação: | Taquarussu do Porto | | CN: | 76,4 | | |
| Curso D'água: | Córrego Brejo Comprido | | Tempo de concentração (tc): | 1,2592 h | | |
| Área de Contribuição: | 21,2 km ² | | Duração de chuva (ti): | 0,31 h | | |
| Comprimento do talvegue: | 5,4 km | | Tempo de pico (tp): | 0,92 h | | |
| Desnível: | 75 m | | Tempo de retorno (tr): | 1,5245 h | | |
| Declividade do talvegue: | 1,389% | | Tempo de base (tb): | 2,4374 h | | |
| | | | Vazão de pico (Qp): | 50,10 | m/s/cm | |
| Chuva Unitária | Precipitação | CN | P. efetiva | P. parcial | HUT | Vazão através da Equação de Convolução (m³/s) |
| 0,31 | 4,857 | 76,4 | 0,754 | 0,754 | 16,66 | 12,56 |
| 0,62 | 6,751 | 76,4 | 1,696 | 0,942 | 33,31 | 40,81 |
| 0,93 | 7,859 | 76,4 | 2,345 | 0,649 | 47,31 | 77,86 |
| 1,24 | 8,645 | 76,4 | 2,839 | 0,494 | 37,33 | 102,56 |
| 1,55 | 9,254 | 76,4 | 3,238 | 0,399 | 27,68 | 109,84 |
| 1,86 | 9,752 | 76,4 | 3,573 | 0,335 | 17,38 | 105,65 |
| 2,17 | 10,173 | 76,4 | 3,862 | 0,289 | 7,41 | 93,22 |
| 2,48 | 10,538 | 76,4 | 4,117 | 0,255 | -2,56 | 74,62 |
| 2,79 | 10,86 | 76,4 | 4,344 | 0,227 | -12,54 | 51,03 |

[Exportar relatório \(showStudyInCS3.php?cfa=39a7d9d1f3f39c067ff30a9547e714ca5697228&download=1\)](#)

Referências ABNT (<https://referenciabibliografica.net/?sr=cs-s>) Visualizar ▾

tcc 2 - finalizado.pdf (23/10/2018):

| Documentos candidatos | Arquivo de entrada: tcc 2 - finalizado.pdf (7729 termos) |
|---------------------------------|---|
| capacitacao.ead.unes... [2,14%] | Arquivo encontrado |
| scielo.br/pdf/ea/v22... [0,73%] | capacitacao.ead.unes... (https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf) |
| trabalhosfeitos.com/... [0,59%] | scielo.br/pdf/ea/v22... (http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf) |
| mundialagua.confea.o... [0,35%] | trabalhosfeitos.com/... (https://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Projeto-Completo-Instumentalização-Cientifica/64304530.html) |
| acquacon.com.br/dren... [0,31%] | mundialagua.confea.o... (http://mundialagua.confea.org.br/wp-content/uploads/2017/10/SistemadeDrenagemUrbana_RicardoAragao.pdf) |
| vdocuments.site/docu... [0,21%] | acquacon.com.br/dren... (http://www.acquacon.com.br/drenagem/palestras/carloseduardotucci_02.12.pdf) |
| planodiretor.palmas.... [0,12%] | vdocuments.site/docu... (https://vdocuments.site/documents/drenagem-urbana2c-tu) |
| ulbra-to.br/ [0,01%] | planodiretor.palmas.... (http://planodiretor.palmas.to.gov.br/media/arquivos/08e6fddca8ae4dc3aff49b8da24) |
| | ulbra-to.br/ (http://ulbra-to.br/) |
| | ulbra-to.br/laic/dow... (http://ulbra-to.br/laic/download/2017/02/12/Modelo-de-Trabalho-Conclusao-de-Curso-TCC-II-20171/download) |
| | catolica-to.edu.br/p... (http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/noticia/2726) |

