

Vitória Regina Cardoso de Oliveira

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE UMA GALERIA NO
CÓRREGO MATO REDONDO LOCALIZADO NA TO-134 NO MUNICÍPIO DE
ANGICO-TO

Palmas – TO

2018

Vitória Regina Cardoso de Oliveira
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE UMA GALERIA NO
CÓRREGO MATO REDONDO LOCALIZADO NA TO-134 NO MUNICÍPIO DE
ANGICO-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. MsC. Edivaldo Alves Santos

Palmas – TO

2018

Vitória Regina Cardoso de Oliveira
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE UMA GALERIA NO
CÓRREGO MATO REDONDO LOCALIZADO NA TO-134 NO MUNICÍPIO DE
ANGICO-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. Edivaldo Alves Santos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Edivaldo Alves Santos

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof^a. Dr^a. Elizabeth Hernández Zubeldia.

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado essa experiência incrível que contribuiu para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus pais pelo incentivo e por acreditar que eu seria capaz de superar essa etapa da minha vida. À minhas irmãs pelo apoio, por estarem sempre do meu lado nos momentos felizes e tristes. Aos meus amigos que torceram pelo meu sucesso. Aos colegas da faculdade pelos momentos compartilhados.

Agradeço ao meu orientador Edivaldo Alves Santos pela paciência, pela confiança e pelas orientações que contribuíram para o meu conhecimento.

RESUMO

DE OLIVEIRA, Vitória Regina Cardoso. Avaliação da Capacidade Hidráulica de uma Galeria no Córrego Mato Redondo Localizado na TO-134 no Município de Angico-TO. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

A drenagem tem a finalidade de evitar que água alcance o corpo estradal, transferindo sua direção para outros locais seguros que não afete a segurança da via. Sendo assim, é necessário a utilização de dispositivos de drenagem que elimine toda a água que possa atingir a plataforma da via. Por isso, é essencial o perfeito dimensionamento desses dispositivos para garantir a segurança e conservação das estradas. Recentemente ocorreram inúmeros casos de rompimentos de galerias causadas pelo mal dimensionamento das estruturas, por isso faz-se necessário o bom funcionamento desses dispositivos, afim de evitar riscos que possam afetar a durabilidade das rodovias. Este trabalho tem como principal objetivo analisar os estudos hidrológicos e hidráulicos, a fim de determinar se a galeria no córrego Mato Redondo na cidade de Angico-TO é capaz de atender a vazão de projeto máxima atual. Após a finalização dos cálculos, concluiu-se que para uma chuva com intensidade de 108,41 mm/h, a vazão de projeto foi de 18,97 m³/s e a vazão máxima que a galeria suporta é de 24,06 m³/s considerando a lâmina d'água de 75%. Portanto a vazão analisada tem um resultado satisfatório, descartando a possibilidade de um transbordamento ou de seu rompimento.

Palavras chave: Drenagem. Galeria celular. Hidrologia.

ABSTRACT

DE OLIVEIRA, Vitoria Regina Cardoso. Evaluation of the Hydraulic Capacity of a Gallery in Mato Redondo Stream Located in TO-134 in the Municipality of Angico-TO. 2018. Course Completion Work (Bachelor) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The DNIT Highway Drainage Manual shows how primordial is the perfect design of drainage devices on highways to ensure the safety and conservation of roads. Recently there have been numerous cases of galleries disruption caused by the poor design of the structures, so it is necessary the proper functioning of these devices, in order to avoid risks that may affect the durability of the highways. This work has as main objective to analyze the hydrological studies, using the Rational and hydraulic method, in order to determine if the gallery in the Mato Redondo stream possesses hydraulic sufficiency. After completing the calculations, it was concluded that for a rainfall with an intensity of 108.41 mm / h, the project flow rate was 18,97 m³ / 75% water blade. Therefore, the analyzed flow has a satisfactory result, discarding the possibility of an overflow or its rupture.

Keywords: Drainage. Cellular Gallery. Hydrology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	13
Figura 2 - Tipos de chuvas	15
Figura 4 - "Produção" de escoamento superficial nas superfícies vertentes de uma bacia hidrográfica.....	19
Figura 5 - Mapa das bacias da cidade de Angico-TO.....	21
Figura 6 - Representação da bacia hidrográfica como um sistema aberto.	22
Figura 7 - Delimitação da área contribuinte conforme o ponto considerado.	23
Figura 8 - Hidrograma	24
Figura 9 - Elementos hidráulicos característicos de diferentes tipos de seções transversais. ..	32
Figura 10 - Referências para aduelas abertas e fechadas.....	33
Figura 11 - Galeria de seção transversal fechada.	34
Figura 12 - Localização da cidade de Angico-TO no estado do Tocantins.....	35
Figura 13 - Área de contribuição do córrego Mato Redondo.....	36
Figura 14 - Curvas de Nível e delimitação da bacia da área de contribuição.....	37
Figura 15- Dados da curva IDF da cidade de Tocantinópolis-TO.	38
Figura 16 - Determinação da área de acordo com a vegetação para a determinação do coeficiente de Runoff.....	39
Figura 18 - Galeria celular de seção simples.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Período de retorno adotados.	17
Tabela 2- Valores recomendados para o coeficiente C	26
Tabela 3 - Número CN para cada tipo de cobertura.	29
Tabela 4 - Coeficiente de Rugosidade de Manning (n).	31
Tabela 5 - Limites superiores para velocidades em canais.	31

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

TO - Rodovias

NBR- Norma Brasileira

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Km – Quilômetros

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2.	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.1	Objetivos Específicos.....	12
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1.	CICLO HIDROLÓGICO	13
2.2.	PRECIPITAÇÃO	14
2.2.1.	Chuvas Máximas	16
2.2.2.	Tempo de recorrência	17
2.2.3.	Tempo de Concentração	18
2.2.4.	Análise de dados de precipitação	18
2.3.	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	19
2.4.	BACIA HIDROGRÁFICA	20
2.4.1.	Delimitação da Bacia Hidrográfica	22
2.4.2.	Área da Bacia.....	23
2.5.	RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO	23
2.6.	MÉTODO RACIONAL	25
2.6.1	Coeficiente de Escoamento Superficial (C).....	26
2.7.	HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - SCS	27
2.8.	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	29
2.8.1.	Sistema de Drenagem da Galeria Celular (aduela).....	32
3.	METODOLOGIA	34
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO	34
3.2.	DETERMINAÇÃO INTENSIDADE DE CHUVA.....	37
3.3.	TEMPO DE RECORRÊNCIA.....	38
3.4.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	38
3.5.	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DEFILÚVIO ‘C’	39
3.6.	MÉTODO RACIONAL	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	41
4.2.	DETERMINAÇÃO INTENSIDADE DE CHUVA.....	41

4.3.	MÉTODO RACIONAL	41
4.4.	DIMENSIONAMENTO DA GALERIA	42
4.5.	ANÁLISE DA VAZÃO MÁXIMA COM A VAZÃO SUPORTADA	43
5.	CONCLUSÃO	44
6.	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Segundo Dotto (2015), os dispositivos de drenagem devem ser projetados para atender uma determinada vazão. Diante as características do terreno natural e da bacia hidrográfica, 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 de água e segurança da estrada.

As galerias são dispositivos de drenagem responsáveis pela transposição de curso d'águas, de modo a garantir a segurança e durabilidade das vias ou estradas. O seu dimensionamento consiste em estabelecer uma seção capaz de drenar o escoamento de um rio, considerando sua vazão máxima.

No caso da transposição de talvegues, essas águas originam-se de uma bacia e que, por imperativos hidrológicos, têm que ser desviadas de maneira a não comprometer a estrutura da estrada, levando ao seu comprometimento. Esse objetivo é alcançado através da introdução de uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros ou construção de pontilhões ou pontes transpondo os cursos d'água, obstáculos a serem vencidos pela rodovia.(DNIT, 2006)

Para que uma obra de drenagem de rodovias tenha sucesso no seu funcionamento, é fundamental os estudos hidráulicos e hidrológicos, que consistem em assegurar o deslocamento dos cursos d'água evitando riscos para as estradas.

O mal dimensionamento de galerias pode ocasionar diversos danos, tanto para a estrutura do projeto, quanto no terreno natural. Dentre esses danos, podemos citar a erosão de taludes, a ruptura do aterro devido ao transbordamento das águas ou inundação de áreas a montante. (DOTTO, 2015).

A cidade de Angico, onde será estudada a galeria pertencente ao trabalho, está localizada no extremo norte do Tocantins, região conhecida como Bico do Papagaio, com aproximadamente 3.423 habitantes, densidade demográfica de 7,03 hab/km² de acordo com os dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e área de 450 Km² estimada em 2016.

Este trabalho tem como finalidade avaliar a capacidade hídrica de uma galeria de seção celular simples, situada na TO-134 no km 029 na cidade de Angico-TO, onde serão desenvolvidos processos com base na caracterização da bacia, na intensidade e no método racional, escolhido para a verificação da vazão. Esse estudo permite verificar se a seção projetada ainda atende a carga hidráulica ou a vazão máxima atual.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Os bueiros devem ser dimensionados de modo que possam atender a capacidade hídrica do curso d'água, garantindo a vida útil do projeto. Qual a eficiência da galeria do Córrego Mato Redondo, sabendo que a altura do escoamento não pode ultrapassar 75%?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade hidráulica da galeria no Córrego Mato Redondo localizado na TO-134 no município de Angico-TO.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Delimitar a área de contribuição da bacia do Córrego.
- Caracterizar a bacia do córrego a ser estudado.
- Analisar a capacidade hídrica a montante do córrego.
- Avaliar a eficiência da galeria a transpor o curso d'água do córrego Mato Redondo verificando a lâmina de escoamento considerando a maior chuva.

1.3. JUSTIFICATIVA

Os dispositivos de drenagem têm o objetivo de fazer a transposição de talvegues em rodovias, de modo que atenda as descargas de projeto calculadas. A avaliação da capacidade do projeto do Córrego Mato Redondo tem como objetivo principal estudar o desempenho da galeria responsável pela drenagem do córrego, que precisa apresentar um escoamento seguro, evitando erosões no terreno natural e na estrutura do projeto.

A verificação da capacidade hidráulica de galerias vem se tornando cada vez mais importante devido uma grande quantidade de registros de rompimentos de galerias, causados pela insuficiente capacidade de suportar às vazões máximas de chuvas. Esse processo prejudica não só as vias, como causa transtornos para a população.

Portanto, situações como estas tornam-se necessário realizar estudo 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.

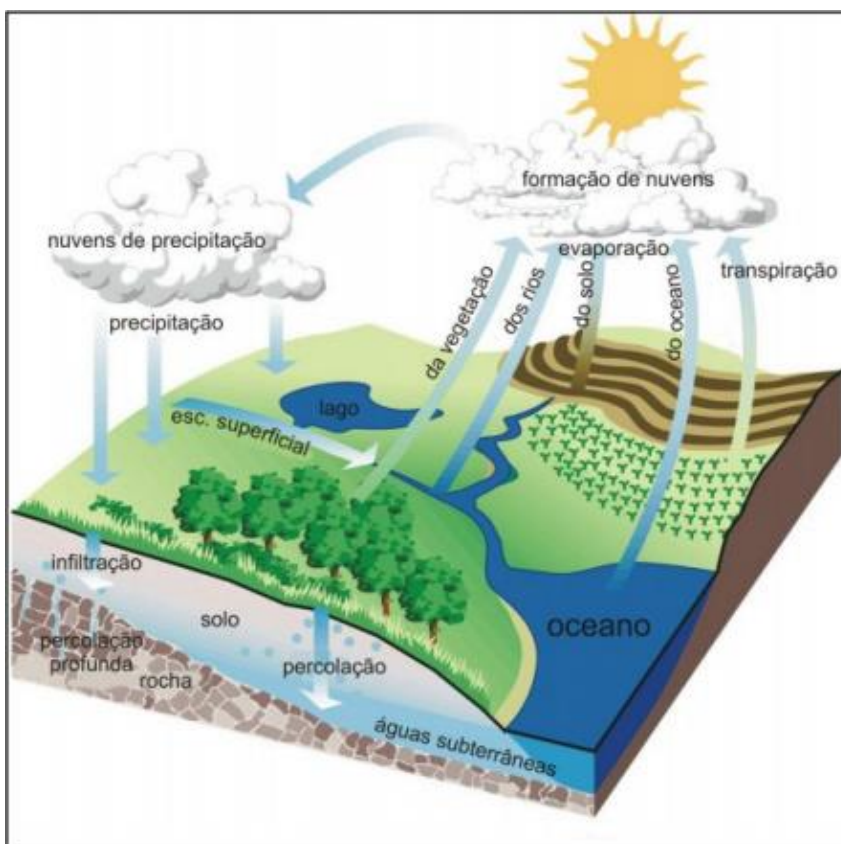
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico (Figura 1) é o fenômeno global de circulação fechada da água que ocorre entre a superfície terrestre e a atmosfera, influenciado pela energia solar. (TUCCI, 2002).

O ciclo da água se divide, basicamente, em quatro componentes, são eles: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial e infiltração.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Da Paz, 2004, p.7.

De acordo com as palavras de Tucci e Mendes (2006), o ciclo hidrológico na bacia hidrográfica é dividido em processos verticais e longitudinais, onde o vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração e infiltração, enquanto o longitudinal pelo escoamento superficial e subterrâneo.

Através da força da coesão, as moléculas da água se atraem e se movimentam constantemente quando em seu estado líquido. Essas moléculas quando na atmosfera, se movem verticalmente, enquanto na superfície terrestre se movem horizontalmente. A

temperatura da água é de acordo com a agitação de suas moléculas. Quando a temperatura aumenta essas moléculas ficam livres na atmosfera, em estado gasoso. Se a temperatura atingir zero grau centígrado, as moléculas movem-se em forma de gelo. (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010)

A energia solar é responsável pelo aquecimento do ar, do solo e da água superficial, sendo capaz de provocar o processo de evaporação da água, formando uma massa de ar. Essa massa é transportada pelo ar até formarem nuvens, onde se condensam e volta a terra sob forma de chuva, neve ou granizo, esse processo dá-se o nome de precipitação. (LE COLLISCHONN E TASSI, 2008).

Segundo Tucci (2002), a evapotranspiração é a soma da evaporação e da transpiração, estes podem ser definidos, respectivamente, como a perda de umidade do solo e das plantas para o meio ambiente.

Parte da precipitação que retorna das nuvens pode ser infiltrada no solo, quando esse possui capacidade de permeabilização, e essa água percola entre seus vazios até os aquíferos, onde são transportadas para os rios, contribuindo para manter os rios perenes nos períodos de estiagem. (TUCCI E MENDES, 2006).

Referente às palavras de Le Collischonn e Tassi (2008), no ciclo hidrológico pode existir alguns sub-ciclos, quando considerado em escala regional. A água que escoar para um rio pode ser evaporada, condensada e voltar para a superfície em forma de chuva, antes mesmo de chegar ao oceano, ao contrário do que ocorre no ciclo global considerado fechado.

2.2. PRECIPITAÇÃO

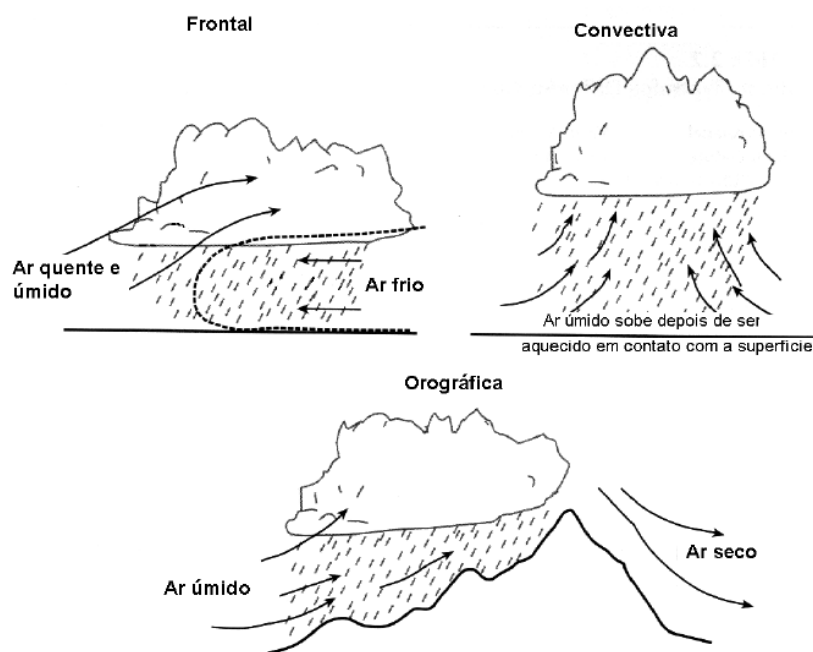
Toda água depois de evaporada e condensada que cai sobre a superfície terrestre é chamada de precipitação. Essa água se manifesta de várias formas, que podem ser: chuva, granizo, geada, neblina, entres outros, que se diferem de acordo com o seu estado físico. (TUCCI, 2002).

Segundo Tucci (2002), a quantidade de precipitação numa bacia durante o ano é de suma importância para a necessidade de projetos de irrigações e o abastecimento de água doméstico e industrial. O controle de inundação e erosão do solo pode ser feito através da utilização de cálculos de intensidade da precipitação. A chuva é o processo mais importante da precipitação devido seu poder de gerar escoamento sobre a superfície terrestre.

Conforme os estudos de Tucci (2002), a precipitação pode ser classificada das seguintes formas (Figura 2):

- **Convectivas:** quando em tempo calmo e os ventos são mais fracos, criam-se núcleos de ar que se permanecem em equilíbrio instável, onde o ar mais denso eleva-se e criam nuvens, onde se condensam e geralmente geram precipitações. Isso ocorre em regiões equatoriais, podendo ocorrer também em regiões temperadas no período de tempestades violentas. Normalmente, são as chuvas de maiores intensidades e de curta duração e podem causar inundações em pequenas bacias.
- **Frontais ou ciclônicas:** são chuvas de longas durações, onde o vapor d'água é condensado gerando chuva, ocasionadas devido ao encontro brusco de massas quentes e frias. Podem ocorrer ventos fortes e produzirem cheias em grandes bacias.
- **Orográficas:** São de baixa intensidade, longa duração e ocorrem quando há a elevação e resfriamento de ventos quentes e úmidos, e o vapor condensa-se formando nuvens e gerando chuvas. Essas cobrem pequenas bacias.

Figura 2 - Tipos de chuvas



Fonte: Collischonn e Tassi, 2008, p.16.

Para Le Collischonn e Tassi (2008), as grandezas que caracterizam uma chuva são:

Altura pluviométrica (P ou r): é a altura da lâmina da água precipitada que cai em uma determinada área considerando o fato de que não se escoe, nem evapora e nem se infiltra. Essa altura é dada em mm, que corresponde a 1 litro por cada metro quadrado.

Duração (t): é o período de tempo no qual a chuva ocorre e geralmente é dada em minuto por hora.

Intensidade (i): a equação utilizada para calcular a intensidade é $i = P/t$, onde P é a precipitação e t é o tempo, dada geralmente em mm/h ou mm/min.

Frequência de probabilidade e tempo de recorrência (Tr): é o número em média de anos em que é esperado que a chuva seja igualada ou superada. O inverso disso representa a probabilidade de um fenômeno igual ou superior.

O pluviômetro é um aparelho formado por um recipiente cilíndrico com medidas padronizadas, responsável pelas medições de precipitação atmosférica, composto por um funil com diâmetro (D) padronizado e área conhecida, que recebe a água da chuva e uma proveta que permite medir o volume de água acumulado. Já os pluviógrafos são responsáveis pela obtenção de dados contínuos, com informações de início, final e quantidade das precipitações, que representam os volumes captados em um gráfico num cilindro. (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE), 2005).

2.2.1. Chuvas Máximas

A Chuva máxima pode ser explicado como quando acontece em quantidade extrema, com duração e distribuição considerada crítica para uma determinada área. Essa chuva ao atingir o solo e obras hidráulicas pode provocar erosão, inundações em áreas rurais e urbanas, entre outros. Através do estudo das precipitações é possível determinar a vazão de enchente de uma bacia. (TUCCI, 2002).

As precipitações máximas em uma bacia hidrográfica são de fundamental importância na área da engenharia de recursos hídricos. As informações obtidas são utilizadas como parte importante no dimensionamento hidráulico, como em bueiros, barragens, canais, vertedouros, entre outros. (FILHO; MELO; ARAUJO, 2017)

Segundo Le Collischonn e Tassi (2008), para se analisar a frequência de chuva máxima é necessário a obtenção dos cálculos da precipitação P que atinge uma área A numa duração D com a probabilidade de ocorrer em um ano qualquer, a partir dessas variáveis então é possível obter a curva de Intensidade- Duração- Frequência (curva IDF), dada pela equação:

$$i = \frac{c_1 \cdot T^{c_2}}{(t+c_3)^{c_4}} \quad (1)$$

Onde:

c_1, c_2, c_3, c_4 , são coeficientes ajustados para cada região que serão obtidos através do software Pluvio 2.1;

i é a intensidade da precipitação em mm/h;

t é a duração em minutos

T_r é o tempo de retorno em anos.

É a partir da análise estatística de longas séries de dados de um pluviógrafo que é obtido a curva IDF. Para desenvolver essa curva é necessário a seleção das chuvas de maior intensidade com uma duração escolhida em cada ano da série de dados. Baseado nessa série com determinado número de anos é estabelecida uma distribuição de frequência onde é melhor retratado a disposição dos valores observados. (LE COLLISCHONN; TASSI, 2008).

As curvas IDF são obtidas em várias localidades, mas isso somente pode ocorrer em grande região de entorno, pois não existem séries de dados de pluviógrafos em todas as cidades. Portanto, as cidades destituídas de pluviógrafos devem-se basear nos dados dos postos mais próximos. (LE COLLISCHONN; TASSI, 2008).

2.2.2. Tempo de recorrência

O tempo de recorrência ou período de retorno significa o período de tempo médio estimado para que uma determinada chuva seja igualada ou superada. O período de retorno está diretamente relacionado com a durabilidade e segurança das obras na engenharia. Ele é calculado para que o dimensionamento das estruturas resista às enchentes. A determinação do tempo de recorrência depende basicamente do tipo da obra e do tipo de ocupação, apresentado na tabela 1. (DOTTO, 2015).

Tabela 1- Período de retorno adotados.

Tipo de dispositivo de drenagem	Tempo de recorrência (anos)
Drenagem Superficial	5 a 10
Drenagem Subsuperficial	10
Bueiros tubulares	15 (como canal) ou 25 (como orifício)
Bueiros celulares	25 (como canal) ou 55 (como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: SOUSA, 2015.

Segundo DNIT (2005), para bueiros, canais ou galerias de drenagem nas obras rodoviárias os períodos de recorrência geralmente adotados são de 10 a 20 anos, e para as pontes de 50 a 100 anos, conforme tipo e importância da obra.

2.2.3. Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) é uma característica importante do hidrograma de uma bacia, e pode ser explicado como sendo o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o ponto (seção) analisado. (DA PAZ, 2004).

Uma das características fundamental na bacia hidrográfica é o comprimento da drenagem, porque está ligado ao tempo percorrido pela água ao longo de todo o sistema. Outra característica que influencia no tempo de viagem da água é a declividade média da bacia e do curso d'água principal. Quanto maior a declividade, menor o tempo de concentração (LE COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Segundo o DAEE, o tempo de concentração é o tempo que a chuva cai no ponto mais distante da bacia demora para chegar até a seção de interesse. É recomendado utilizar a fórmula do *California Culverts Practice*:

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

Onde:

t_c = tempo de concentração, em minutos;

L = extensão do talvegue, em km;

H = desnível do talvegue, em m.

2.2.4. Análise de dados de precipitação

Um posto de medição de chuva ou posto pluviométrico, tem o objetivo de apurar uma sequência constante de dados de precipitação ao longo dos anos. Durante essa apuração, normalmente, acontecem erros mecânicos ou com o operador, onde algumas precipitações não são registradas corretamente. Esses dados são facilmente detectados, por possuírem valores incoerentes ou erros grosseiros, normalmente por análise visual ou durante os estudos hidrológicos. (DA PAZ, 2004).

Segundo da Paz (2004), essas falhas podem ocorrer por motivos como:

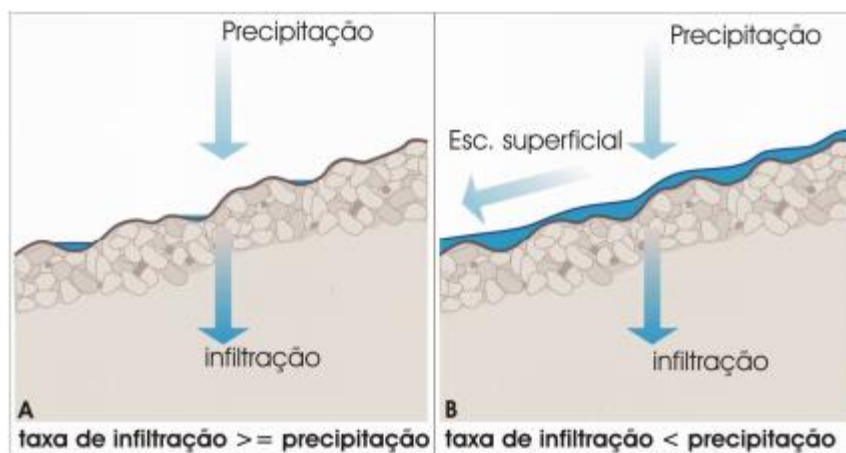
- 1) O preenchimento errado da caderneta pelo operador, quando apresenta valores acima do normal por falha de leitura.
- 2) Quando é estimado um valor para a leitura, normalmente perceptíveis, quando o operador não pôde comparecer ao local.
- 3) Por problemas mecânicos no sensor ou no registrador do instrumento, ocasionados por intempéries, animais ou vandalismo.

A análise de frequência pode ser classificada em regional ou local. A primeira acontece quando as informações de diferentes estações de monitoramento são agrupadas, sendo encontradas em pontos distintos de uma região geográfica, quando essa região é considerada homogênea, que significa que as características do ponto de vista hidrológico, climatológico e geomorfológico precisam ser semelhantes. Enquanto a segunda, o conjunto de dados que podem ser superados ou igualados são observados em apenas uma estação pluviométrica. (FILHO; MELO; ARAUJO, 2017).

2.3. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial (Runoff) é o processo em que a água da chuva proveniente das nuvens, atinge a crosta terrestre e percole até um curso d'água, que por fim se desagua nos oceanos. Quando o solo é impermeável, a concentração de volume de água que escoar sobre superfície da terra é bem maior. (TUCCI, 2000).

Figura 3 - "Produção" de escoamento superficial nas superfícies vertentes de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Da Paz, 2004, p.18.

De acordo com as palavras de Collischonn e Tassi (2008), numa bacia o escoamento, geralmente, é estudado em duas partes: geração de escoamento e propagação de escoamento

Durante as chuvas intensas, a maior parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue penetrar no solo e escoar, atingindo os cursos d'água e aumentando a vazão. É desta forma que são formados os picos de vazão e as cheias ou enchentes. (LE COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Segundo Tucci e Mendes (2006), vários fatores influenciam no escoamento, e esses se agregam em dois conjuntos:

- a) *Controles de jusante*: definem a inclinação da linha de água. Os controles de jusante diminuem a vazão de um rio, para evitar que se ocorra estrangulamentos em aterros, mudança de seção, reservatórios, entre outros.
- b) *Controles locais*: controlam a capacidade de escoamento de um rio, no qual esse depende da área da seção, da largura, da rugosidade das paredes e do perímetro.

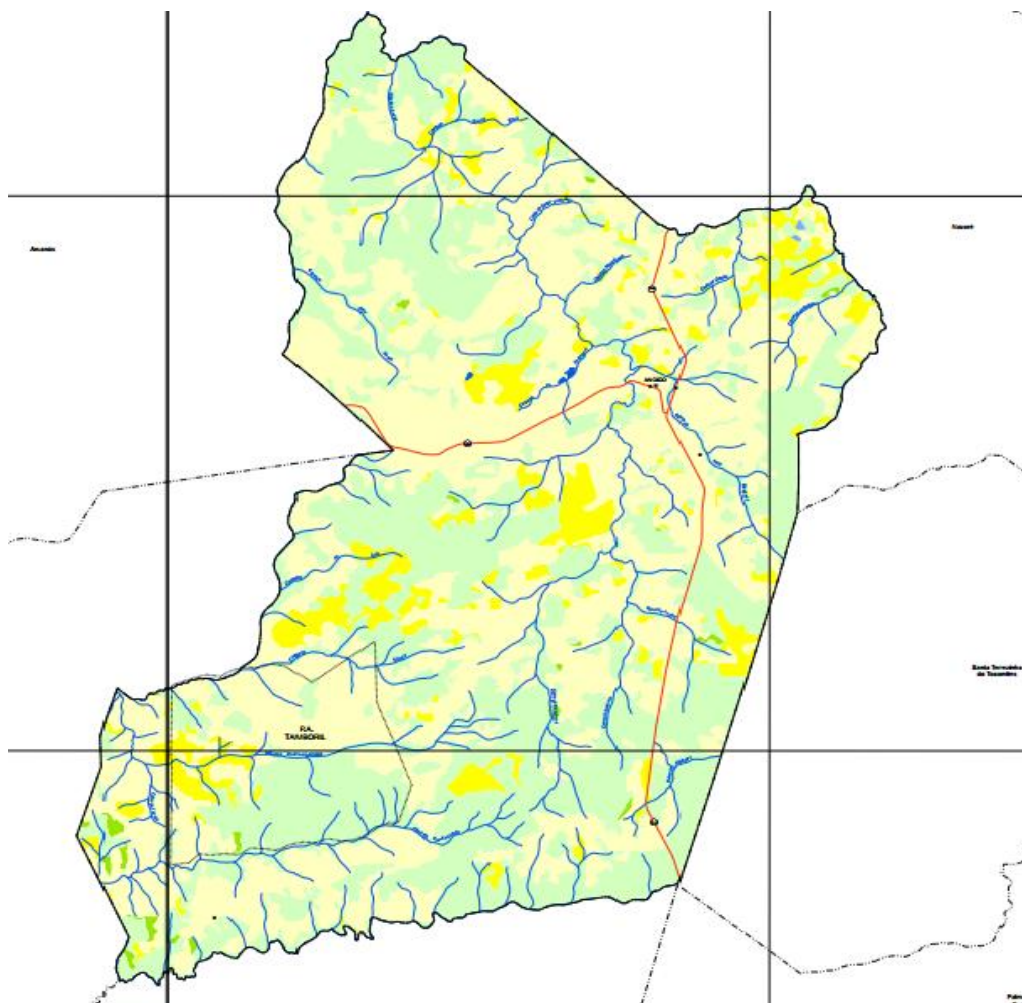
De acordo com Miranda, Oliveira, Silva (2010), a precipitação pode atingir o curso d'água de várias maneiras:

- Escoamento Superficial – que é a parte da água que não infiltra no solo e que se acumula nas depressões do terreno;
- Escoamento Sub-Superficial – ocorre nas partes mais rasas do solo, tornando-se difícil a separação do escoamento superficial;
- Escoamento Superficial – é a água que percola entre os vazios do solo e formam aquíferos. Essa água é responsável para manter os rios perenes no período de estiagem.
- Ação Direta das Precipitações – consequência das águas que caem sobre as partes líquidas.

2.4. BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área onde há acumulação de água precipitada, que escoam para uma única direção de saída, chamada de exutório. Ela é constituída por várias superfícies vertentes e de um conjunto de cursos d'água que convergem para o rio principal. (TUCCI, 2002).

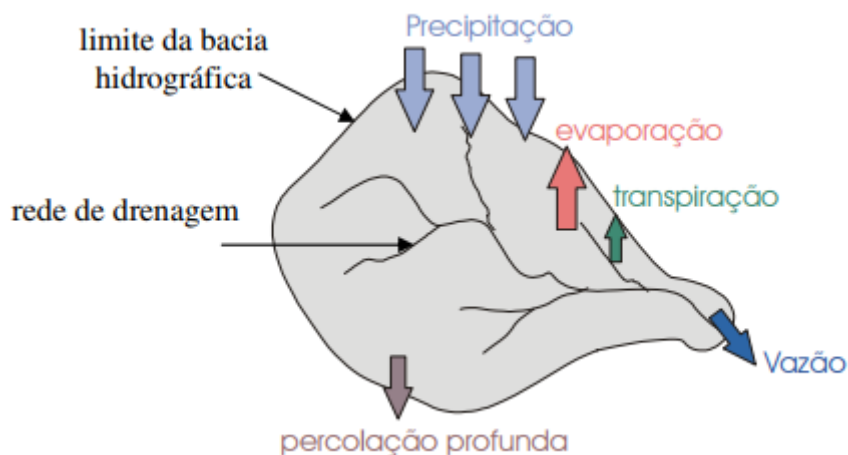
Figura 4 - Mapa das bacias da cidade de Angico-TO



Fonte: GEOAMBIENTE, 2008

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, onde a entrada é o volume de água da chuva e a saída é a quantidade de água escoado pelo exutório. Esse sistema é considerado aberto, pois nem toda água precipitada se transforma em escoamento no exutório ou se armazena na bacia. Há perdas intermediárias, relacionadas a água que evapora, transpira (pela vegetação) ou infiltra profundamente (Figura 6). Esses volumes de água representam uma parte da entrada no sistema que é “perdida” para a atmosfera ou para a profundidade do subsolo. (DA PAZ, 2004).

Figura 5 - Representação da bacia hidrográfica como um sistema aberto.



Fonte: Da Paz, 2004, p. 16.

Segundo Tucci e Mendes (2006), as principais características da bacia são:

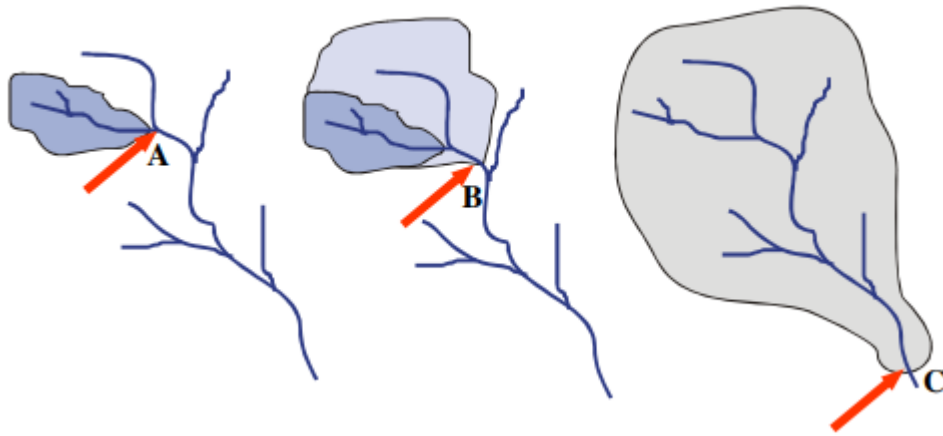
- área de drenagem,
- o comprimento do rio principal,
- declividade.

2.4.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica

Para delimitar a área de uma bacia hidrográfica (Figura 7) é preciso levar em consideração vários fatores contribuintes, como a topografia do terreno (relevo), feita pelas curvas de nível e a identificação dos pontos mais altos da bacia, feitos através de mapas impressos ou arquivos eletrônicos. (DA PAZ, 2004).

Segundo Da Paz (2004), existem três tipos de divisores de bacias: topográfico, de acordo com o relevo; geológico, em relação as características geológicas; freático, onde observa a nível do lençol freática. Os divisores topográficos, geralmente, são os únicos utilizados na delimitação e identificação de uma bacia, pois os geológicos e freáticos são destituídos das informações necessárias.

Figura 6 - Delimitação da área contribuinte conforme o ponto considerado.



Fonte: DA PAZ, 2004

2.4.2. Área da Bacia

Conforme as palavras de Da Paz (2004), a área da bacia, representa a sua área de drenagem e o resultado equivale à área plana entre os divisores topográficos. Esse cálculo é necessário para estimar o volume de água precipitado, relacionando com uma altura de água, pela expressão:

$$\text{volume precipitado} = \text{lâmina precipitada} \times \text{área da bacia} \quad (3)$$

A determinação da área é importante para o cálculo da capacidade hídrica de uma bacia (LE COLLISCHONN; TASSI, 2008).

2.5. RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO

A tentativa de analisar o comportamento de uma bacia hidrográfica conforme a ocorrência de uma determinada chuva, significa estimar a transformação chuva-vazão. Esse estudo contribui para determinar os impactos que a vazão pode causar nos rios ou no meio ambiente, como a impermeabilização do solo devido a urbanização ou o desmatamento e previsão e controle de enchentes (DA PAZ, 2004)

Ainda segundo Da Paz (2004), as formas mais utilizadas para a realização da chuva-vazão são:

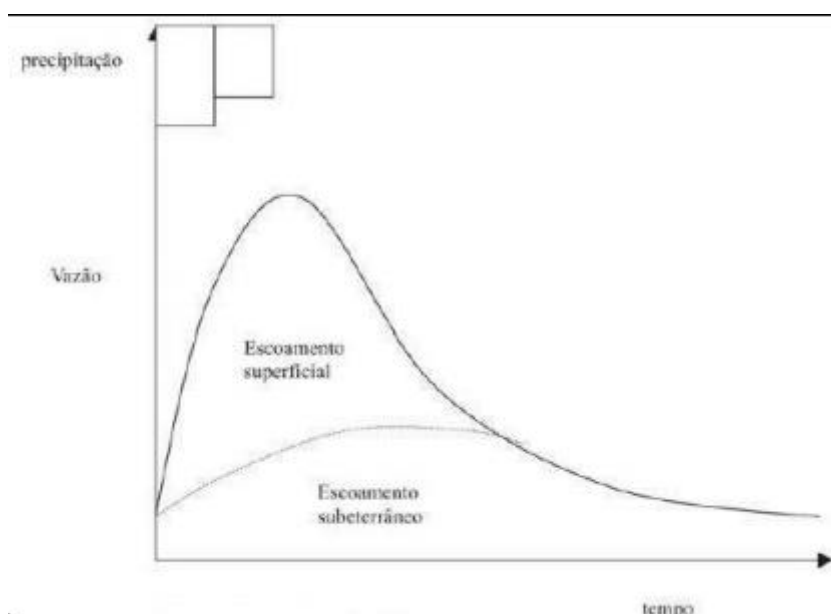
- (a) Métodos simples para estimar a transformação chuva-vazão, no qual utiliza equações empíricas, como o método racional e o hidrograma unitário, que consistem no cálculo da vazão e do tempo de pico do hidrograma.
- (b) Modelagem do processo chuva-vazão, onde utilizam modelos hidrológicos, que apresentam os processos físicos que acontecem na transformação chuva-vazão, sendo necessário a obtenção de dados históricos sobre chuva e vazão, parâmetros específicos para várias equações, informações de relevos, características do uso do solo, rede de drenagem, entre outros. Esse método possui alto custo de recursos e de tempo.

Para representar uma sequência de vazões, na qual pode ocorrer um risco é utilizado um hidrograma (Figura 8) de projeto ou ocorrência. Essa sequência é caracterizada pela distribuição temporal, volume e valor máximo. (TUCCI, 2002).

Segundo Tucci (2002), para se determinar a vazão e o hidrograma, que são obtidos através da chuva que ocorre ou que pode ocorrer, são classificadas em:

- Representação de um evento específico: onde deve existir a precisão dos dados e as vazões são estabelecidas baseadas na precipitação da bacia e nas situações de umidade do solo e perdas iniciais reais.
- Dimensionamento: deve-se adotar uma quantidade de anos onde possa ocorrer um determinado risco, onde a vazão possui um regime crítico. O risco deve ser definido em relação aos objetivos do projeto.

Figura 7 - Hidrograma



Fonte: Tucci; Mendes, 2006, p.23.

De acordo com Tucci e Mendes (2006), durante período de chuva, o volume do escoamento superficial é maior e reduz de acordo com a diminuição das precipitações. Enquanto o escoamento subterrâneo permanece no período de estiagem, responsável pela vazão dos rios.

Com base nas palavras de Tucci (2002), o hidrograma de projeto é estabelecido a partir da precipitação e é relacionado a:

- a) precipitação máxima provável, usados em importantes obras hidráulicas;
- b) precipitações em relação ao risco ou probabilidade de ocorrência.

No processo de relação chuva-vazão, a dinâmica das vazões máximas de um rio está associada aos riscos que podem ocorrer, onde são utilizados para prever enchentes e dimensionar obras hidráulicas. (MACIEL, 2017).

2.6. MÉTODO RACIONAL

O Método Racional é responsável pelo cálculo da vazão de pico do hidrograma para uma determinada bacia, considerando que a vazão e a área da bacia sejam diretamente proporcionais. Para isso, a precipitação deve ocorrer de maneira igual para toda área da bacia e a intensidade seja constante ao longo da duração da chuva. (DA PAZ, 2004).

De acordo com o DNIT, o Método Racional consiste no cálculo da vazão máxima de uma enchente de projeto em função da área da bacia, a intensidade da chuva e o coeficiente de escoamento superficial, através de uma fórmula simples e de fácil compreensão. Devido sua facilidade de cálculo, é uma das expressões mais utilizadas em todo o mundo para o cálculo de descarga máxima.

Para o cálculo da vazão de projeto a partir do método racional utiliza-se a seguinte equação:

$$Q = \frac{C.I.A}{3,6} \quad (4)$$

Onde:

- Q = Vazão de projeto (m³/s)
- C = Coeficiente de DEFLÚVIO (Run-off)

- I = Intensidade e Frequência e Duração (mm/h)
- A = Área de contribuição (km²)

Segundo o 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.

2.6.1 Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O coeficiente *C* ou *runoff*, é determinado com relação ao uso do solo da área de concentração e representa o grau de impermeabilização ou de urbanização da bacia. Quanto maior o coeficiente *C*, menor o grau de infiltração no solo, ou seja, maior o volume de água que se transforma em escoamento superficial. (DAEE, 2005)

Tabela 2- Valores recomendados para o coeficiente C

Declividade (%)	Solo Arenoso	Solo Franco	Solo Argiloso
	Florestas		
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
	Pastagens		
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
	Terras cultivadas		
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Carvalho e Silva, 2006.

A vegetação, os tipos de solo e o nível de urbanização são fatores que influenciam diretamente no valor do coeficiente *C*. Quanto maior o grau de ocupação, mais impermeável é o terreno e maior quantidade de água precipitada que deixa de infiltrar. Quando a bacia apresenta ocupação muito variada o coeficiente pode ser calculado através de médias ponderadas como na equação 4.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (5)$$

2.7. HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - SCS

O método SCS, ou *Curve Number*, foi criado em 1950 pelo *United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA SCS)*, atualmente *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, e desde então tem sido bastante utilizado para calcular o escoamento superficial direto, a partir de eventos de precipitação. Nessa mesma época foi criado o método do Hidrograma Unitário. Assim, quando há a junção dos dois são chamados de Métodos SCS (PAULINO, 2014).

Segundo Martins (2017), o método HUT-SCS, possui um conjunto maior de parâmetros em relação ao Método Racional, como a abstração inicial do solo, a umidade antecedente do solo, o tipo de solo da bacia e a precipitação efetiva.

O DAEE, recomenda o uso do método SCS para o cálculo de vazões máximas e a criação de hidrogramas para o dimensionamento de dispositivos hidráulicos, em bacias superiores 2km², quando não há dados históricos fluviométricos.

Para o cálculo do método SCS, é utilizado a seguinte fórmula a seguir.

$$\frac{\text{volume infiltrado}}{\text{capacidade máxima de absorção}} = \frac{\text{precipitação efetiva}}{\text{precipitação total}} \quad (6)$$

Devido as perdas iniciais nesse processo, provocadas por desníveis do terreno e cobertura vegetal, a equação torna-se da seguinte forma:

$$\frac{P - Q - Ia}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \quad (7)$$

Onde:

- Q: altura da lâmina d'água escoada (mm);
- P: altura precipitada (mm);
- S: índice de armazenamento d'água no solo da bacia (mm);
- Ia: perdas iniciais (mm).

Os criadores dos métodos estimam as perdas iniciais (I_a) em 20% de S , dessa forma a equação que associa a altura precipitada, P , o índice de armazenamento d'água na bacia, S , e à altura da lâmina escoada, Q , é dada pela equação...

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (8)$$

A equação é válida quando $P \geq 0,2S$. Caso contrário, $P < 0,2S$, o modelo considera que não ocorre deflúvio superficial, ou seja, $Q=0$.

O S em mm, está associado com o CN, conforma a equação a seguir:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (9)$$

Em que:

- CN: *Curve Number* ou número de deflúvio (adimensional).
- S: índice de armazenamento d'água na bacia (mm)

De acordo com as palavras de Paulino 2014, o CN está relacionado com as condições de uso e ocupação e tipos de solos, de valor adimensional e que pode variar entre 0 e 100. A partir desse valor, é possível calcular a máxima capacidade de retenção de uma certa área de drenagem em um determinado momento.

A tabela 3 representa os valores de CN de acordo com o tipo de cobertura, a condição hidrológica e grupo hidrológico de solo (A, B, C e D) de acordo com a taxa de infiltração mínima (MARTINS, 2017).

Tabela 3 - Número CN para cada tipo de cobertura.

Descrição da cobertura		Número da curva por grupo hidrológico de solo			
Cobertura	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Pasto pastagem, ou grama - contínuo forragem para pastagem	Pobre	68	79	86	89
	Razoável	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
Grama de prado - contínua, protegido da pastagem e geralmente cortada para feno		30	58	71	78
Mistura de ervas daninhas, grama e vegetação rasteira	Pobre	48	67	77	83
	Razoável	35	56	70	77
	Boa	30	48	65	73
Matas com grama combinada (pomar ou fazenda com árvores)	Pobre	57	73	82	86
	Razoável	43	65	76	82
	Boa	32	58	72	79
Matas	Pobre	45	66	77	83
	Razoável	36	60	73	79

Fonte: Martins, 2017.

2.8. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, apresenta o dimensionamento de canais com técnicas utilizadas nos projetos de drenagem urbana, analisando os casos simples através dos conceitos básicos de hidráulica de canais. As equações a seguir, tratam-se de escoamentos em regime uniforme e permanente, usados quando as características hidráulicas (h , Q e V) são constantes no tempo e ao longo do percurso, com o escoamento acontecendo em condutos livres, nos quais parte do perímetro molhado permanece em contato com a atmosfera:

- Equação de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i} \quad (10)$$

Onde:

- V = Velocidade média (m/s)
- n = coeficiente de rugosidade de Manning
- i = declividade média (m/m)
- R_H = raio hidráulico (m)

O raio hidráulico é determinado a partir do quociente da área molhada pelo perímetro molhado:

$$R_H = \frac{A_m}{P_m} \quad (11)$$

Sendo:

- R_H = raio hidráulico (m)
- A_m = área molhada (m²)
- P_m = perímetro molhado (m)

Para calcular a declividade do trecho do canal em estudo, utiliza-se a seguinte equação:

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (12)$$

Em que:

- i = declividade média (m/m)
- Δh = diferença de cotas de montante e jusante (m)
- L = comprimento (m)

Para o cálculo da vazão utiliza-se a equação da continuidade, dada pela expressão:

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

Onde:

- V = velocidade média (m/s)
- A_m = área molhada (m²)
- Q = vazão (m³/s)

A partir das equações é possível determinar a vazão em função do coeficiente de Manning, do raio hidráulico, da declividade média e da área molhada:

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i} A_m \quad (14)$$

A tabela 3 representa os valores do coeficiente de rugosidade n , utilizados nas equações 5 e 9.

Tabela 4 - Coeficiente de Rugosidade de Manning (n).

REVESTIMENTO	N
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto	0,018

Fonte: DAEE, 2005, p. 26.

A tabela 4 apresenta os valores de velocidades máximas em relação a alguns tipos de revestimentos.

Tabela 5 - Limites superiores para velocidades em canais.

Cobertura superficial	Velocidade máxima permitida m/s
Gramma comum firmemente implantada	1,50 - 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 - 1,20
Argila	0,80 - 1,30
Argila coloidal	1,30 - 1,80
Lodo	0,35 - 0,85
Areia fina	0,30 - 0,40

Areia média	0,35 - 0,40
Cascalho fino	0,50 - 0,80
Sílte	0,70 - 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento Portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 - 4,00

Fonte: DNIT, 2006, p. 112.

A figura 8 apresenta equações para calcular os elementos característicos das seções de canais de utilização mais frequente com base em sua geometria.

Figura 8 - Elementos hidráulicos característicos de diferentes tipos de seções transversais.

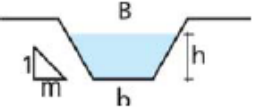
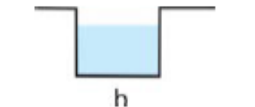
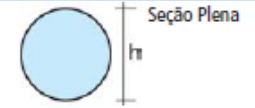
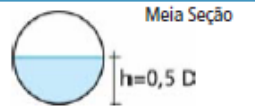
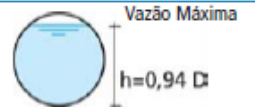
Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
 Meia Seção	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
 Vazão Máxima	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

Figura 8 - Elementos hidráulicos característicos de diferentes tipos de seções transversais.

Fonte: DAEE, 2005, p. 27.

2.8.1. Sistema de Drenagem da Galeria Celular (aduela)

De acordo com a NBR 15.396, as aduelas celulares são estruturas pré-moldadas em concreto armado, onde é feito o encaixe em áreas quadradas ou retangulares (macho e fêmea).

Essas estruturas são utilizadas em galerias ou dutos fechados, com o objetivo de fazer a transposição de cursos d'água.

Na figura 9 é possível identificar as referências para as aduelas abertas e fechadas de acordo com a norma NBR 15.396.

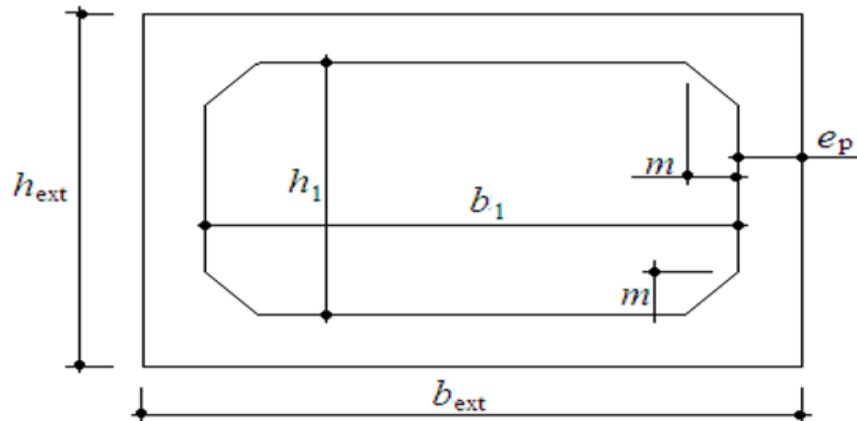
Figura 9 - Referências para aduelas abertas e fechadas.

ADUELAS DE CONCRETO ENCAIXE DE MACHO E FÊMEA SEÇÃO QUADRADA -NBR 15.396					
Nome	Seção (mm)	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Vol (m³/m)	Peso (Kg/pç)
Aduela	2.000x2.000	150	1.000	1,37	3.300
Aduela	2.000x2.000	200	1.000	1,92	4.610
Aduela	2.500x2.000	150	1.000	1,49	3.600
Aduela	2.500x2.000	200	1.000	2,00	4.800
Aduela	2.500x2.500	150	1.000	1,68	4.000
Aduela	2.500x2.500	200	1.000	2,24	5.380
Aduela	2.500x2.500	250	1.000	2,83	6.750
Aduela	3.000x1.500	150	1.000	1,49	3.600
Aduela	3.000x1.500	200	1.000	2,00	4.800
Aduela	3.000x2.000	150	1.000	1,64	4.000
Aduela	3.000x2.000	200	1.000	2,24	5.400
Aduela	3.000x2.500	150	1.000	1,82	4.370
Aduela	3.000x2.500	200	1.000	2,44	5.860
Aduela	3.000x3.000	200	1.000	2,64	6.340
Aduela	3.000x3.000	250	1.000	3,33	8.000
Aduela	3.000x3.000	350	1.000	4,77	11.500
Aduela	3.500x1.500	200	1.000	2,24	5.400
Aduela	3.500x2.500	200	1.000	2,64	6.340
Aduela	3.500x3.000	250	1.000	3,58	8.600
Aduela	3.500x3.000	350	1.000	5,12	12.300
Aduela	3.500x3.500	250	1.000	3,83	9.200
Aduela	4.000x2.500	250	1.000	3,58	8.600

Fonte: ABNT NBR 15.396 (2008)

A NBR 15.396, especifica que o escoamento que passa na galeria precisa ser de 75% da altura para escoamento. Portanto, deve ser pelo menos 7/10 da largura da vala, com 0,50 m no mínimo.

Figura 10 - Galeria de seção transversal fechada.



Fonte: NBR 15.396 (2006)

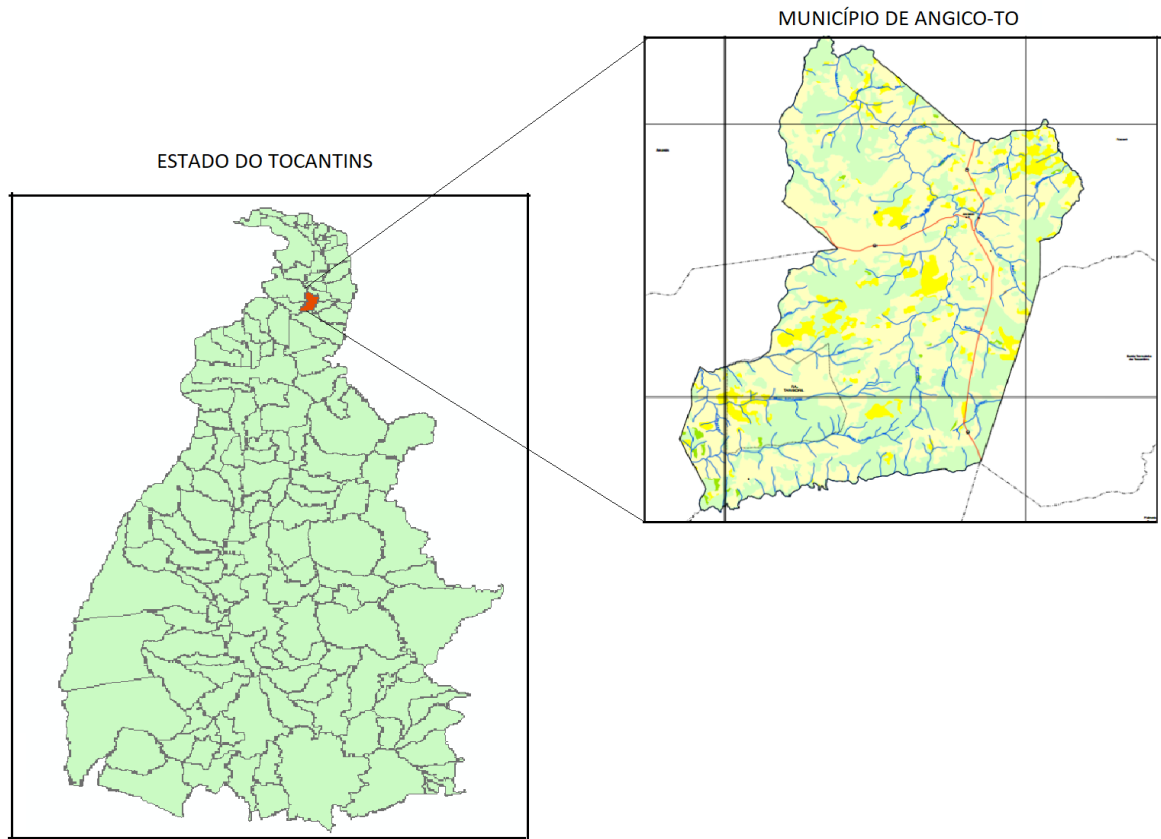
3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

A determinação da área de contribuição foi feita através das coordenadas do local de estudo, utilizando as ferramentas Arcgis e Google Earth. Assim, foi possível obter a carta topográfica do local para a geração dos dados necessários para a caracterização da seção em estudo, que são:

- Área de contribuição (Km²)
- Perímetro (Km)
- Inclinação e cotas do terreno.

Figura 11 - Localização da cidade de Angico-TO no estado do Tocantins.



Fonte: Autor.

O dispositivo de drenagem é uma galeria celular de seção simples, localizado na cidade de Angico-TO (figura 11) na TO-134 no km 049, com coordenadas $6^{\circ}23'17.62''S$ latitude e $47^{\circ}51'30.63''O$ longitude.

Após a delimitação da área de contribuição da bacia, foi determinado os valores de 6,25 km de perímetro e de 2,1 km² de área, dado pelo Google Earth. A figura 12 mostra a área de contribuição à montante da galeria.

Figura 12 - Área de contribuição do córrego Mato Redondo.

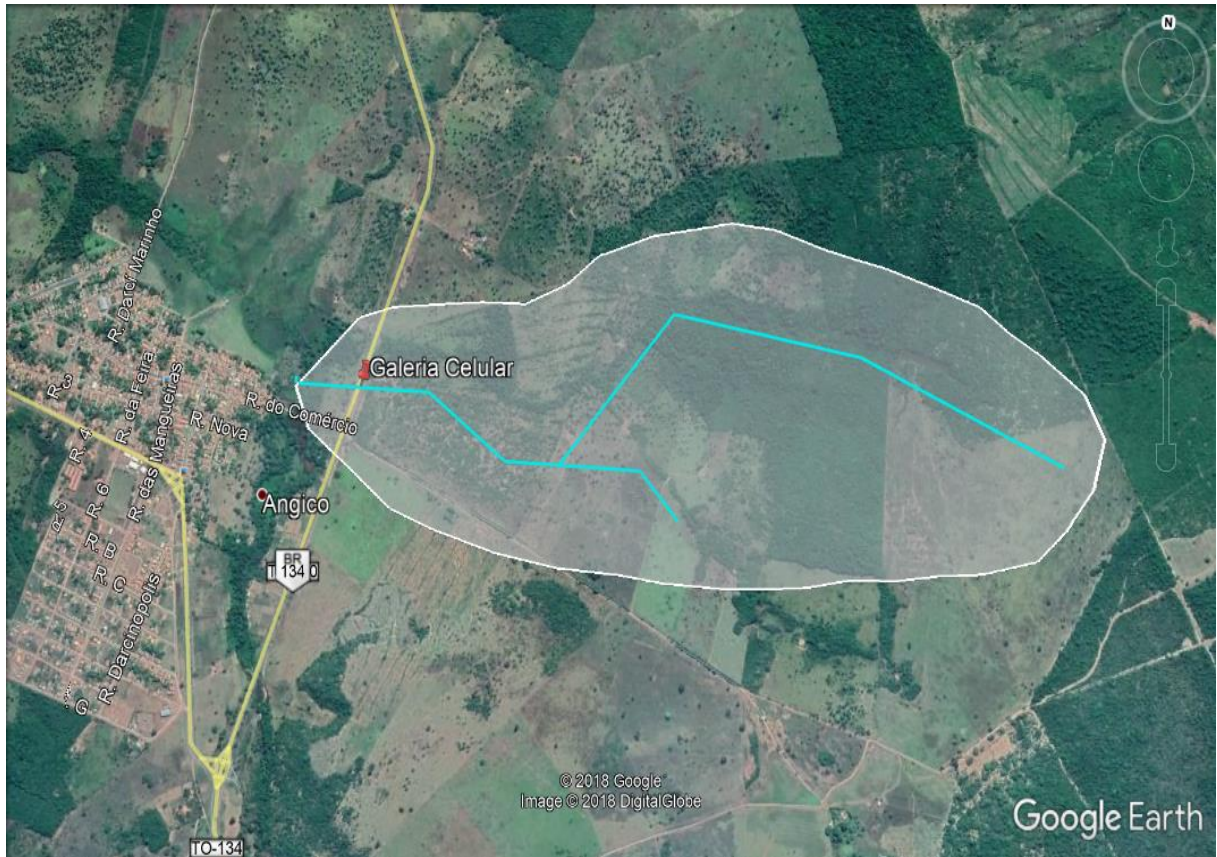
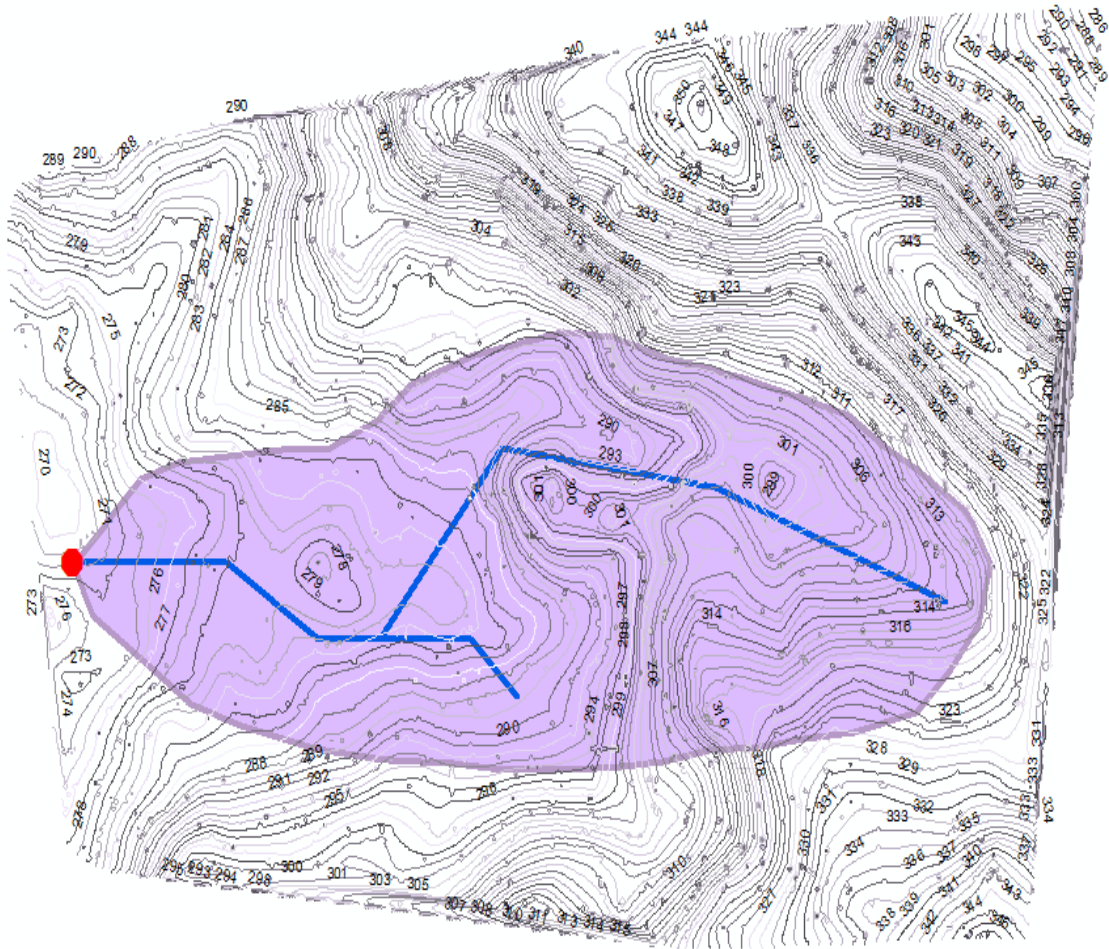


Figura 10 - Área de contribuição do córrego Mato Redondo.

Fonte: Google Earth.

Com dados obtidos a partir do Google Earth, foram geradas as curvas de nível da área de contribuição na ferramenta ArcGIS, conforme a figura 13.

Figura 11 - Curvas de Nível e delimitação da bacia da área de contribuição.



Fonte: ArcGIS.

3.2. DETERMINAÇÃO INTENSIDADE DE CHUVA

A obtenção da precipitação pluviométrica foi feita através equação Intensidade-Duração-Frequência, calculada de acordo com os coeficientes ajustados para a cidade de Tocantinópolis-TO, sendo o local mais próximo da cidade de Angico-TO, obtidos através da ferramenta Plúvio 2.1.

Figura 12- Dados da curva IDF da cidade de Tocantinópolis-TO.

Mapa do Brasil Relatório Ajuda

Estados : Tocantins

Estações :

- Araguatins
- Dianópolis
- Formoso do Araguaia
- Guaraí
- Miracema do Tocantins
- Natividade
- Projeto Rio Formoso (Formoso do Araguaia)
- Tocantinópolis**
- Tupiratins (Presidente Kennedy)

Localidades :

- Abreulândia
- Aguiamópolis
- Aliança do Tocantins
- Almas
- Alvorada
- Ananás
- Angico
- Aparecida do Rio Negro
- Aragominas
- Araguaçema

SILVA et al. (2003)

Relatório Ajuda

Cancelar

Fechar

Latitude : 00°00'00" Longitude : 00°00'00" Calcular

Parâmetros da Equação IDF

K:	9862	a:	0,187
b:	69,638	c:	1,072

Fonte: Plúvio 2.1.

Para a determinação da intensidade foi utilizada a equação IDF ajustados para a cidade de Tocantinópolis-TO, de acordo com a equação 1.

3.3. TEMPO DE RECORRÊNCIA

O tempo de recorrência foi definido a partir das recomendações do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT. Portanto, para bueiros celulares operando como canal foi determinado o tempo de retorno de 25 anos, conforme a tabela 1.

3.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração foi calculado pelo o método de *California Culverts Practice*, através da Equação 2.

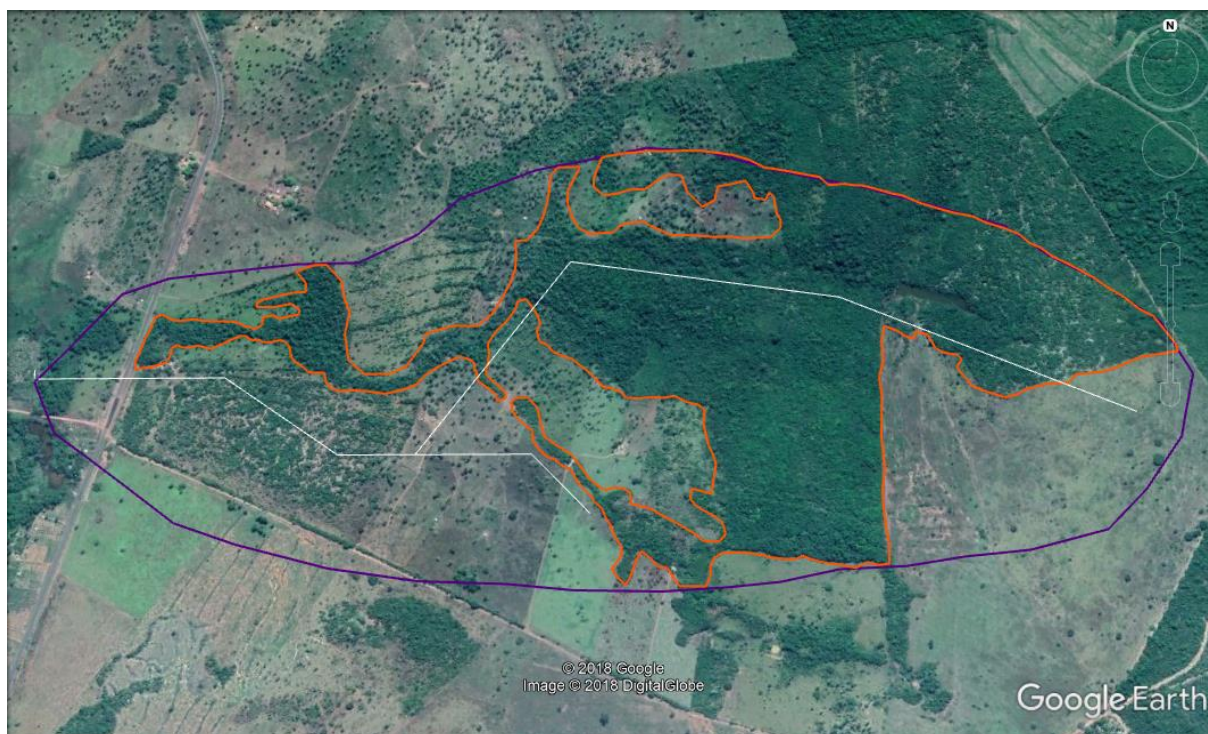
Para o valor de extensão do talvegue o Google Earth calculou um perímetro de 2,95 km.

Pelos dados de curvas de nível (Figura 13) encontrados através da ferramenta Arcgis, foi possível determinar o desnível do terreno, sendo a cota a montante de 313 m e cota a jusante de 272, portanto o valor do desnível do terreno é de 41 m.

3.5. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DEFILÚVIO “C”

Para o coeficiente de deflúvio foi estabelecido o valor recomendando pela tabela de coeficientes C (Run-off) de acordo com as características do uso do solo da área de concentração.

Figura 13 - Determinação da área de acordo com a vegetação para a determinação do coeficiente de Runoff.



Fonte: Google Earth.

Devido as características do solo da bacia ser variada, faz-se necessário utilizar uma média ponderada dos coeficientes de escoamento superficial. A partir dos dados obtidos pelo Arcgis, o solo da área de contribuição foi determinado como solo franco com uma declividade de 1,56%. Analisando a figura 15, a área delimitada na cor laranja é considera como floresta num total equivalente a 0,82 km², e a área restante como pastagem, num total de 1,28 km², valores retirados da tabela 2 no item 2.6.1. A tabela 2 determina para tipo de vegetação

pastagem e floresta com inclinação ente 0,5 e 1,0%, o coeficiente de 0,30. Sendo assim, descarta a necessidade do cálculo da média ponderada dos coeficientes. Portanto o valor do coeficiente de escoamento superficial necessário para o cálculo da vazão de projeto é de 0,30.

3.6. MÉTODO RACIONAL

A partir da caracterização da área de contribuição, a determinação da vazão máxima que ocorrerá na galeria, foi feita através do Método Racional, por meio da equação 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração foi calculado pelo o método de *California Culverts Practice*, através da Equação 2, com os dados de 2,95 km de perímetro e 41 m de desnível do talvegue.

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{2,95^3}{41} \right)^{0,385}$$

$$tc = 47,60 \text{ min}$$

4.2. DETERMINAÇÃO INTENSIDADE DE CHUVA

De acordo com os dados do software Plúvio 2.1, foram obtidos os valores dos coeficientes ajustado para a cidade de Tocantinópolis-TO, sendo o local mais próximo da cidade de Angico-TO com dados de equação IDF. Para um tempo de recorrência de 25 anos e um tempo de concentração de 47,60 minutos, obteve-se uma intensidade de 108,41 mm/h, representada no cálculo a seguir:

$$i = \frac{9776,144 \times 25^{0,187}}{(47,60 + 69,251)^{1,072}}$$

$$i = 108,41 \text{ mm/h}$$

4.3. MÉTODO RACIONAL

A partir da caracterização da área de contribuição, a determinação da vazão máxima que ocorrerá na galeria foi feita através do Método Racional, por meio da equação 4:

Após a determinação dos valores da área de contribuição de 2,1 km², intensidade de 108,41 mm/h e coeficiente de escoamento superficial de 0,30, os valores foram aplicados na fórmula do Método Racional, resultando em uma vazão de 18,97 m³/s, apresentada abaixo.

$$Q = C \cdot I \cdot A / 3,6$$

$$Q = 0,30 \cdot 108,41 \cdot 2,1 / 3,6$$

$$Q = 18,97 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4. DIMENSIONAMENTO DA GALERIA

Para o dimensionamento da galeria foi necessário a obtenção das dimensões da galeria, feita no próprio local da obra, sendo 3,00 metros de altura e 2,94 metros de largura. Sendo assim, determinou-se como área total o valor de 8,82 m², área molhada de 6,62 m² e perímetro molhado de 7,44 m, considerando o valor máximo de 75% da área da galeria, conforme a NBR 15.396.

Figura 14 - Galeria celular de seção simples.



Fonte: Autor.

Para o cálculo do raio hidráulico foram utilizados os valores de área molhada e perímetro molhado na equação 11, conforme abaixo:

$$R_H = \frac{6,62}{7,44}$$

$$R_H = 0,890 \text{ m}$$

Em seguida calculou-se a velocidade, considerando a declividade da galeria de 0.5% como a pior situação, sendo recomendado para bueiro a declividade entre 0,5 a 1% e o

coeficiente de rugosidade de Manning do concreto de 0,018 (tabela 4), utilizando a equação 10, demonstrada abaixo:

$$V = \frac{1}{0,018} 0,890^{2/3} \sqrt{0,005}$$

$$V = 3,63 \text{ m/s}$$

A partir dos valores de velocidade e de área molhada foi determinada o valor da vazão suportada pela galeria, através da equação de continuidade:

$$Q = 3,63 \text{ m/s} \times 6,62 \text{ m}^2 = 24,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5. ANÁLISE DA VAZÃO MÁXIMA COM A VAZÃO SUPORTADA

Considerando um tempo de retorno de 25 anos para a bacia de 2,1 km², a vazão de projeto calculada foi de 18,97 m³/s. A galeria possui 3,00 metros de altura e 2,94 de largura, logo a lâmina líquida admissível é de 2,25 m, levando em conta o valor de 75% da altura. Feito o cálculo do dimensionamento da galeria constatou que esta é capaz de drenar uma vazão de 24,06 m³/s, sendo maior que a vazão máxima de projeto. Portanto o bueiro tem suficiência hidráulica.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou uma análise entre vazão de projeto e a vazão suportada pela galeria no córrego Mato Redondo na rodovia TO-134. A comparação entre as vazões permitiu verificar se a galeria possui capacidade de drenar a vazão máxima e assim, garantir a segurança da via.

O método utilizado para a determinação da vazão máxima nesse trabalho foi o método racional e este apresentou um resultado satisfatório, para isso foi necessário a utilização do método de *California Culverts Practice*, para o cálculo do tempo de concentração e os dados da equação de Intensidade-Duração-Frequência para determinar a intensidade máxima da região.

A bacia do córrego possui uma área de 2,1 km², com o coeficiente de deflúvio de 0,30. A intensidade da chuva na região é de 108,41, calculada a partir dos coeficientes ajustados para a equação de IDF da cidade de Tocantinópolis-TO, local mais próximo da área de estudo. Esses dados foram determinados a partir de uma importante contribuição dos softwares Arcgis, Google Earth e Plúvio 2.1.

Em análise de cálculos, a vazão de projeto é de 18,97 m³/s e a vazão máxima suportada pela galeria é de 24,06 m³/s com a lâmina d'água de 75% (h1). Portanto, a galeria apresenta uma eficiência em seu dimensionamento, descartando a possibilidade de um transbordamento ou de seu rompimento.

Os resultados apresentados nesta pesquisa e as conclusões alcançadas são parte de um esforço preliminar e gradativo de aprimorar os conhecimentos hidrológicos para a Bacia do Córrego Mato Redondo e comparar as alterações no comportamento de variáveis hidrológicas importantes, como a vazão máxima.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15396**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2006. 12 p.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro/RJ: UFRRJ, 2006.

COELHO FILHO, José Alexandre Pinto; DE REZENDE MELO, Denise Christina; ARAÚJO, Maisa de Lourdes Martins. **Estudo de chuvas intensas para a cidade de Goiânia/GO por meio da modelação de eventos máximos anuais pela aplicação das distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos**. AMBIÊNCIA, v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017.

DAE - Departamento de águas e Energia Elétrica de São Paulo. Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização (Org.). **Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas**. São Paulo, 2005. 116 p.

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

DE MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiro; DE OLIVEIRA, Marcus Vinícius Siqueira; DA SILVA, Danielle Ferreira. **Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos**. *Geo Uerj*, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.

DNIT-Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Rodoviária, 2005. 133 p.

DNIT-Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Rodoviária, 2016. 133 p

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.

LE COLLISCHONN, Walter; LE TASSI, Rutinéia. de, **Introduzindo hidrologia**. Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, Cap.11, 2008

MACIEL, Samuel Alves. **Análise da Relação Chuva-Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil**. 2017. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Cap. 1.

MARTINS, Lorraine Campos et al. **Vazão máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia–MG.** 2017.

PAULINO, P.F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS para determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas.** 2014, 126f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

SOUSA, Priscilla Dilma de. **Drenagem superficial e de travessia urbana: dimensionamento de rede pluvial.** Engenharia Civil-Pedra Branca, 2017.

TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Brasília: Sqa, 2006. 302 p. Disponível em:. Acesso em: 19 jan. 2016.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente De Escoamento E Vazão Máxima De Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** RBRH. Volume 5 n.1 Jan/Mar 2000.

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