



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

BENHUR DE SOUZA SANFELICI DEMORI

ANÁLISE DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE BUEIRO DA RODOVIA TO-080

Palmas – TO

2018

BENHUR DE SOUZA SANFELICI DEMORI
ANÁLISE DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE BUEIRO DA RODOVIA TO-080

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. M.e Edivaldo Alves dos Santos.

Palmas – TO

2018

BENHUR DE SOUZA SANFELICI DEMORI
ANÁLISE DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DE BUEIRO DA RODOVIA TO-080

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. M.e Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca examinadora:

Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos
Orientador
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Prof. Mse Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Jose Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família,
professores, amigos e a todos a
que contribuíram e acreditaram na
minha jornada.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida, família e amigos.

Aos meus pais Natal e Marildes por todo suporte, esforço e força que passaram para mim, sem eles eu não teria alcançado objetivo algum. Também, aos meus irmãos Jéssica e Arthur pela paciência em meus momentos de estresse.

Meus avós José e Rosália, aos meus tios e tias por sempre mostrarem orgulho que tem por mim e por me tratarem sempre muito bem.

Aos amigos da época que fiz o curso de Engenharia Ambiental, especialmente, a Leilivan Pimentel pelo suporte, conselhos e companheirismo nos bons e maus momentos e a Nanini Castilhos Sant'anna, também, pelo suporte, conselhos e companheirismo nos bons e maus momentos, e além disso a sua alegria e descontração de sempre.

Agradeço aos amigos que conheci durante de Engenharia Ambiental que fizeram o curso de Engenharia Civil simultaneamente e sempre me ajudaram com as caronas e nos trabalhos.

Ao falar de caronas, não posso esquecer de Ozias, que além de ter sido meu colega de faculdade, é meu vizinho e agora um amigo, pois nos conhecemos mesmo durante as conversas e discussões durante as caronas.

Ao Professor Edivaldo Alves dos Santos pelas orientações e conselhos sempre de forma alegre e descontraída durante a trajetória de elaboração do TCC.

A todos os professores do colegiado de Engenharia Civil por todo conhecimento passado e capacitação profissional, também pelo esforço, dedicação e qualidade de ensino ofertada todos os acadêmicos de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA.

A Atlético Extrema que participei de diversas competições de Futsal e, por meio, destes treinos e competições pude me adaptar e enturmar com os colegas do curso de Engenharia Civil.

A galera do Futebas do sabadão, onde durante os anos de graduação, pude descontrair e sair da rotina da semana.

Aos amigos de longa data... amizades de IFTO, UFT e ULBRA, dentre eles destaco Patrick, Marco Túlio, Evandro, Anízio e Luiza, e também aos amigos que não citei que mesmo com o passar dos anos, distância e rotina continuamos sempre em contato, mantendo uma amizade verdadeira e sincera, pois todos foram importantes em minha trajetória.

À “família” Nattiva, só tenho a agradecer esta equipe, onde a quase dois anos estagiei, sempre fui muito bem tratado, acolhido e orientado, me passaram grande conhecimento e experiência profissional. E agora estou a quase dois anos como funcionário da empresa, valorizo muito a oportunidade que me deram, sei que tenho grandes amigos e companheiros.

E, por último, agradeço à CEULP/ULBRA pelo ensino.

RESUMO

DEMORI, B.S.S. **Análise da capacidade hidráulica de bueiro da rodovia TO-080**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, Palmas – TO, 2018.

Em estudos para a elaboração de projetos de obras hidráulicas, a análise do uso e ocupação do solo, juntamente com as equações de chuvas intensas da região, são utilizadas como base para calcular-se a vazão da chuva a ser adotado em projeto. Tais variáveis permitem maior precisão no dimensionamento das mesmas, de forma que sejam evitados eventos como inundações, erosões e rompimentos das obras. Este estudo analisa a contribuição da vazão da chuva em projeto para o dimensionamento de um bueiro no trecho de transposição do ribeirão Boa Esperança com a Rodovia TO-080. Obteve-se uma bacia hidrográfica de contribuição com área de 38,23km², comprimento do talvegue de 13,00km e declividade de 0,0038m/m, dados estes utilizados como base para o tempo de concentração de 244,55min calculados. A análise do uso e ocupação do solo quantificou as seguintes classes: pastagem e solo exposto em 29,15km², mata de galeria 2,08km² e cerrado 7,00km², e a bacia teve número curva médio de 73,49. A partir da equação IDF elaborada para o estudo alcançou-se uma intensidade de precipitação de 18,24mm/h e 23,96mm/h para o tempo de retorno de 20 anos, e a lâmina d'água de escoamento calculada para foi de 45,40mm e de 36,81mm pelo método SCS para o primeiro e segundo cenário, respectivamente. Enquanto que a conversão em vazão da lâmina foi abordada em dois cenários o primeiro teve 80,35m³/s de vazão para o tempo de duração de chuva de 6h e o segundo 95,91m³/s para duração igual ao tempo de concentração. De maneira análoga, a obra hidráulica foi dimensionada para estes dois cenários, de forma que para o primeiro tivemos um bueiro retangular quadruplo com 1,40x1,60m, e o segundo um bueiro retangular quadruplo com 1,50x1,65m. Constatou-se, portanto, que a metodologia aplicada neste estudo pode ser empregada como subsídio para obras de drenagem rodoviária. Verificou-se ainda que o segundo cenário apresenta maior segurança a possíveis eventos de chuvas intensas em relação ao primeiro, pois pode suportar maiores vazões e possíveis alterações no uso da bacia hidrográfica.

Palavras-chaves: Bacia hidrográfica, método SCS, vazão de projeto, bueiro.

ABSTRACT

DEMORI, B.S.S. **Analysis of the hydraulic capacity of manhole of highway TO-080**. Course Completion Work - Civil Engineering, Lutheran University Center of Palmas – CEULP/ULBRA, Palmas – TO, 2018.

In studies for the elaboration of hydraulic works projects, the analysis of the use and occupation of the soil, together with the intense rainfall equations of the region, are used as a basis for calculating the rainfall to be adopted in the project. These variables allow greater precision in their design, so that events such as flooding, erosion and disruption of works are avoided. This study analyzes the contribution of the rainfall flow in a project for the design of a manhole in the stretch of transposition of the Boa Esperança stream with the TO-080 highway. It was obtained a watershed of contribution with area of 38.23 km², length of the river of 13.00km and slope of 0.0038m / m, data used as basis for the concentration time of 244.55min calculated. The analysis of land use and occupation quantified the following classes: pasture and soil exposed in 29.15km², gallery forest 2.08km² and cerrado 7.00km², and the basin had a mean curve number of 73.49. From the IDF equation prepared for the study, a precipitation intensity of 18,24mm/h and 23.96mm/h for the return time of 20 years, and the calculated runoff water depth was 45.40mm and 36.81mm by the SCS method, while the leaf flow conversion was approached in two scenarios. The first one had a flow rate of 80.35m³ / s for the duration of rainfall 6 h and the second 95.91m³ / s for duration equal to the concentration time. In an analogous way, the hydraulic work was dimensioned for these two scenarios, so that for the first one we had a quadruple rectangular manhole with 1.40x1.60m, and the second a quadruple rectangular manhole with 1.50x1.65m. It was verified, therefore, that the methodology applied in this study can be used as a subsidy for road drainage works. It was also verified that the second scenario presents greater security to possible events of intense rains in relation to the first one, since it can withstand greater flows and possible alterations in the use of the hydrographic basin.

Keywords: River basin, SCS method, project flow, manhole.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo hidrológico.	16
Figura 2: Valores do coeficiente de escoamento superficial.	23
Figura 3: Valores de C.....	23
Figura 4: Tipos do solo adotados para o método SCS.	25
Figura 5: Dados do CN para os tipos de solo.	26
Figura 6: Características do hidrograma.	28
Figura 7: Exemplo de bueiros e os quatro tipos de entradas.....	31
Figura 8: Valores de (n) da fórmula de Manning.	33
Figura 9: Coeficiente de Rugosidade de Strikler (K)	33
Figura 10: Área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico de algumas seções usuais.	34
Figura 11: Situação local de estudo.	37
Figura 12: Canal para escoamento após evento.....	37
Figura 13: Localização da Área de Estudo e Bacia Hidrográfica delimitada.	42
Figura 14: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica.	43
Figura 15: Barramento próximo a localização do bueiro.	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Parâmetros Morfométricos da Bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança.	41
Quadro 02. Categorias adotadas e respectivas áreas obtidas.	41
Quadro 03. Valores de CN adotados no estudo.	45
Quadro 04. Parâmetros do método SCS para a obtenção da vazão de escoamento superficial no primeiro cenário.	45
Quadro 05. Parâmetros do método SCS para a obtenção da vazão de escoamento superficial no segundo cenário.	45
Quadro 06. Determinação da vazão de projeto e dados para o dimensionamento da obra hidráulica.	45
Quadro 07. Determinação da vazão de projeto e dados para o dimensionamento da obra hidráulica.	46
Quadro 08. Dimensionamento da obra hidráulica – bueiro retangular de concreto I – primeiro cenário.	47
Quadro 09. Dimensionamento da obra hidráulica – bueiro retangular de concreto II – segundo cenário.	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	16
3.2 PRECIPITAÇÃO	18
3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	18
3.4 BACIA HIDROGRÁFICA	19
3.5 MODELOS DE CONVERSÃO CHUVA – VAZÃO.....	20
3.5.1 Método Racional.....	21
3.5.2 Método do SCS	24
3.5.3. Hidrograma Unitário	27
3.5.4 Modelos Sintéticos de Tratamento de Séries Históricas de Precipitação	28
3.6 ELEMENTOS DE DRENAGEM PARA TRANSPOSIÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA....	30
3.6.1 Bueiros	30
3.6.2 Pontes e Pontilhões	35
3.7 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS	35
4 METODOLOGIA.....	37
4.1 ÁREA DE ESTUDO	37
4.2 BACIA HIDROGRAFICA	37
4.3 PRECIPITAÇÃO	37
4.4 MODELO CHUVA-VAZÃO	38
4.4.1 Método SCS.....	38
4.5 DIMENSIONAMENTO DA OBRA HIDRAULICA.....	39
4.6 DETALHAMENTO DA OBRA PROJETADA	39
5. RESULTADOS	41
5.1 ÁREA DE ESTUDO E BACIA HIDROGRÁFICA	41
5.2 PRECIPITAÇÃO	44
5.3 MODELOS CHUVA-VAZÃO – MÉTODO SCS	44
5.4 DIMENSIONAMENTO DA OBRA HIDRAÚLICA.....	45
5.5 OBSERVAÇÕES A ÁREA DE ESTUDO	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49

REFERENCIAS	50
ANEXOS	53
ANEXO I – PLANILHAS DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO IDF	53
ANEXO II – DETALHAMENTO DO BUEIRO RETANGULAR.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Área de bacia hidrográfica

ANA – Agência Nacional de Águas

C – Coeficiente de Escoamento Superficial

CN – Número Curva

IDF – Intensidade Duração e Frequência

I – Intensidade média de precipitação

Ia – Abstração inicial

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

IDF – Intensidade, duração e frequência

IME – Instituto Militar de Engenharia

Km² – Quilômetros quadrados

m – Metros

mm – Milímetros

m² – Metros quadrados

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MNT – Modelo Numérico de Terreno

P – Precipitação

PEAD – Polietileno de alta densidade

PRFV – Plástico reforçado de fibra de vidro

S – Potencial máximo de retenção após começar o escoamento superficial

SCS – Soil Conservation Service

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission

UFV – Universidade Federal de Viçosa

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho fará a avaliação da capacidade de uma bacia hidrográfica em escoar superficialmente um volume de água precipitado na bacia do ribeirão Boa Esperança até o ponto que será transposto por um bueiro da rodovia TO-080, de forma que a partir da chuva crítica na região, se possa, por meio de métodos de conversão de chuva em vazão dimensionar o bueiro necessário para a transposição.

Salienta-se que no local de estudo havia um bueiro retangular de 1,00x1,50m situado um trecho da rodovia TO-080, onde o ribeirão transbordou após uma chuva atípica ocorrida no dia 08 de março de 2018, e acarretou no rompimento de 10m da pista no local de transposição da hidrografia pela rodovia pelo bueiro.

O conhecimento do escoamento do ciclo hidrológico através do estudo do deslocamento das águas sobre a superfície do solo e a evolução do uso e cobertura do solo com o decorrer do tempo. É de fundamental importância para o projeto de obras de engenharia, dimensionadas de modo a suportar as vazões máximas decorrentes do escoamento superficial (KAISER, 2006).

Sartori (2004) acrescenta que o estudo do escoamento superficial é de grande importância para o dimensionamento de obras de engenharia e manejo agrícola. Sua quantificação é uma tarefa complexa e dependente de vários fatores, os quais são agregados a parâmetros ou variáveis obtidas por meio de modelos de chuva-vazão.

As séries hidrológicas são de fundamental importância para a gestão e planejamento dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Assim, a existência de uma série consistente é imprescindível. No entanto, em diversas regiões do Brasil, é notável a carência de registros históricos de séries hidrológicas, principalmente de vazões (PEREIRA *et al.*, 2016).

Dados de vazão em bacias hidrográficas são escassos no Brasil, existindo, na maior parte, monitoramento hidrológico em grandes bacias, normalmente conduzido por empresas de energia elétrica ou indústrias de grande porte. Nas últimas décadas, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado diversos modelos hidrológicos para a reprodução do processo de transformação de chuva em vazão (PEREIRA *et al.*, 2016).

Os modelos são muito úteis, em virtude da sua flexibilidade em prever comportamentos futuros ocasionados por alterações de ocupação do solo, e também num país como o Brasil, pela escassez de dados fluviométricos, principalmente em pequenas bacias as quais se encontram em crescente processo de exploração (SARTORI, 2004).

No estudo de enchentes máximas, uma falha na estimativa desses volumes pode acarretar grandes prejuízos. Uma vez superdimensionado o volume tem-se o desperdício de

capital e se subdimensionado leva a grandes prejuízos com a falha da estrutura, e em muitos casos coloca em risco a saúde ou até vidas humanas (SARTORI, 2004).

O uso e ocupação do solo contribui diretamente no volume escoado superficialmente por uma bacia hidrográfica, além de fatores climáticos, obras construídas na bacia e fatores fisiográficos da própria bacia. De forma que é possível correlacionar a baixa eficiência dos bueiros a alteração do regime de escoamento superficial provocado pela alteração do uso e cobertura do solo, após o período de execução da obra ou durante a existência da obra.

Nesse sentido, justifica-se a importância de estudos que visem entender o comportamento da água no ciclo hidrológico, principalmente aqueles com enfoque na relação entre a chuva e a vazão, com vistas à produção hídrica das bacias em áreas que apresentem uma expressiva diversificação quanto aos seus usos (MACIEL, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da capacidade hidráulica do bueiro situado na bacia de contribuição do ribeirão Boa Esperança no município de Divinópolis do Tocantins.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a chuva crítica de projeto da uma bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança;
- Caracterizar a bacia hidrográfica;
- Dimensionar bueiro para bacia hidrográfica e comparar com o executado em loco.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

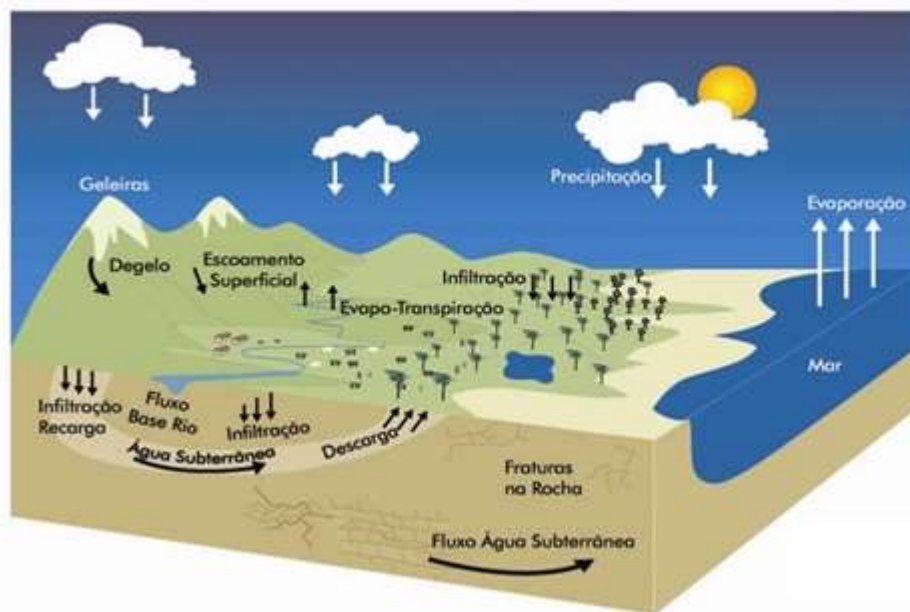
3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A troca constante de água em seus diferentes estados físicos ocorrida na hidrosfera entre a água superficial, subterrânea, atmosfera, dos oceanos, das calotas polares, do solo e das plantas é comumente conhecido como ciclo da água, ou melhor, ciclo hidrológico (MMA, 2018).

Righetto (1998), resume o ciclo hidrológico, no processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamento fluviais e as interações entre esses componentes.

A água passa por um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento (Figura 1). Esse fenômeno em que ocorre é promovido pela força da gravidade, rotação terrestre e pela energia do Sol (MMA, 2018).

Figura 1: Ciclo hidrológico.



Fonte: MMA, 2018.

A maior parte da água que cai sobre a terra se direciona para o mar, uma pequena porção evapora durante a queda, outra evapora da superfície terrestre e outra é transpirada pelas plantas (WILKEN, 1978).

A primeira etapa do processo é a precipitação, esta ocorre de várias formas, a mais comum é a chuva, que ocorre quando há grande concentração de vapor d'água e de núcleos de condensação, como poeira ou gelo. A interação destes formam uma grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere as forças atuantes do meio

atmosférico e ocorra a precipitação. Durante o trajeto em direção a superfície parte da precipitação já evapora (WILKEN, 1978).

Quanto as outras formas de precipitação como neve e granizo, estas ocorrem quando o vapor d'água transforma-se diretamente em cristais de gelo e estes atingem o peso e tamanho suficientes para precipitarem (TUCCI, 2000).

Após a precipitação vem a interceptação, esta ocorre tanto com a chuva quanto com a neve. Esta etapa ocorre durante a descida do volume precipitado em direção ao solo, parte dele é retido em folhas e caules, de onde evapora. Isto é devido ao fato de exceder a capacidade de armazenagem de água na superfície das folhas e caules, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode-se reprecipitar para o solo (SILVEIRA, 2000).

Em seguida acontece a infiltração, nesta etapa a fração do volume precipitado que atinge o solo, enquanto a superfície do solo não se satura, infiltra. No interior do solo a infiltração e a percolação são orientadas pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade. Os vegetais absorvem pelas raízes parte da umidade do solo aumentada pela infiltração e devolvem na forma de vapor d'água à atmosfera por transpiração. A fração que não é aproveitada pelos vegetais percola para o lençol freático de modo que contribui para o escoamento de base dos rios (SILVEIRA, 2000).

Evaporação para atmosfera é o fenômeno que fecha o processo do ciclo hidrológico ocorrido em qualquer momento do processo enquanto a água circula na superfície terrestre. Um fator a se considerar que durante a queda parte da água pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se. Enquanto que a outra parte de água que infiltrou no solo, é retirada pelas plantas por meio de suas raízes para ser usada nos seus processos metabólicos e, posteriormente, a transpira, uma vez que em contato com o ar, a água está disponível para evaporar (BRAGA, 2005).

Braga (2005) resume o processo do ciclo hidrológico, este inicia quando o sol fornece energia a superfície terrestre para a evaporação das águas na atmosfera, à medida que o vapor de água sobe, ao reduzir sua temperatura, o mesmo se expande, elevando a umidade relativa do ar, até se atingir a saturação da capacidade de armazenamento de vapor d'água, de forma que o vapor d'água condense, forme gotículas e aumente de densidade, ao passo que a gravidade é responsável com que as gotículas de água precipitem. Essas podem cair na forma de chuva, neve ou granizo, conforme a temperatura de condensação.

Ao atingir a superfície uma fração escoar pela superfície de imediato, outra parcela de água infiltra e percola no solo e nas rochas, conforme a proporção da permeabilidade do solo (WILKEN, 1978). De modo que flui lentamente entre as partículas e os espaços vazios, de

maneira que se reúnem em rios, lagos, aquíferos e oceanos, evapora e retorna a atmosfera, onde o ciclo se repete.

3.2 PRECIPITAÇÃO

Segundo Braga (2005) o estudo entre a relação entre a precipitação e a evapotranspiração em condições ideais de saturação de água no solo é um mecanismo para se compreender a dinâmica da absorção da água, de maneira que a parcela de água que infiltra no solo depende diretamente das condições de umidade dos poros do solo em que apresenta água e ar, impactando diretamente nos biomas formados.

Segundo Wilken (1978) as frentes frias geram chuvas intensas que resultam em inundações nas pequenas bacias. Enquanto que as frentes quentes são extensamente distribuídas, de forma que geram inundações repentinas nas grandes bacias.

As precipitações podem ser classificadas em convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas.

As chuvas de convecção são características das regiões equatoriais, a apresentar chuvas com grande intensidade e de pequena duração, ocorridas em áreas pequenas, estas podem provocar inundações em pequenas bacias. Essas chuvas são resultado dos movimentos ascendentes do ar quente, leve, em relação ao ar frio, pesado, a ocorrer quando o ar úmido é aquecido na proximidade do solo, eleva-se o ar menos denso e, conseqüentemente ocorre o esfriamento no topo da camada de ar, de forma a gerar um em equilíbrio instável. Assim o ar é forçado a passar sobre uma massa de ar mais densa e mais fria que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens, e a conseqüente precipitação (WILKEN, 1978).

As chuvas orográficas são caracterizadas por chuvas de pequena intensidade e de grande duração em pequenas áreas. Estas chuvas ocorrem quando ventos quentes e úmidos, oriundos do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e resfriam-se, assim o ar quente e úmido condensa-se o vapor, forma-se nuvens e ocorre as chuvas (TUCCI, 2000).

Por último, as chuvas frontais ou ciclônicas são de longa duração que atingem grandes áreas com intensidade média e ventos fortes com circulações ciclônicas, de maneira que podem produzir cheias em grandes bacias (TUCCI, 2000).

3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial é observado primeiramente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao microrelevo do solo, ao passo que a erosão de partículas do solo causada pelos filetes em seus trajetos, ligada a topografia, da forma a uma microrede de drenagem converge para riachos, ribeirões, córregos e rios (TUCCI, 2000).

Segundo Pinto *et al.*, (1995) o escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície do planeta. E esse estudo considera as movimentações das águas desde a menor porção de chuva, que ao cair sobre uma fração da superfície do solo saturada de umidade ou impermeável, escoam pela superfície e forma as enxurradas, córregos, ribeirões, rios e lagos de acumulação da água escoada.

Fatores como a área e forma da bacia, sua conformação topográfica tais como as declividades, depressões e represamentos naturais, as condições de superfície do solo e constituição geológica do subsolo e, também, a presença de obras como represamentos, drenagem superficial e canalização influenciam diretamente as águas que alimentam um corpo hídrico. As alterações dos fatores acima citados influenciam na descarga anual, nas variações de vazão, nas vazões máximas instantâneas e o coeficiente de escoamento superficial ao longo do tempo (GARCEZ, 1988).

3.4 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é um perímetro delimitado de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (TUCCI, 2000). De modo que a bacia hidrográfica se constitui essencialmente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um único leito no exutório.

Toda a área em que as águas superficiais do escoamento, superficial ou subterrâneo alimenta o deflúvio convergindo a uma hidrografia, como córregos, ribeirões e rios, por meio da gravidade e diferença de nível do terreno, limitada por divisores topográficos é chamada de bacia hidrográfica (GARCEZ, 1988). Os divisores de águas separam as bacias hidrográficas topograficamente, esses fazem a recepção natural das águas das chuvas, estas escoam por meio da rede de drenagem, das áreas elevadas para as baixas do relevo, até se acumularem na porção mais baixa alimentando as hidrografias.

As nascentes formadoras dos rios situam-se nas regiões mais altas da bacia hidrográfica, as mesmas são advindas do afloramento de lençóis freáticos da água subterrânea. Pinto (1995) resume que a bacia hidrográfica de uma seção de um curso d'água é a área geográfica coletora de água de chuva que escoam pela superfície do solo até atingir a seção considerada.

Pires *et al.*, (2002) conceitua a bacia hidrográfica na perspectiva de um estudo hidrológico, que o mesmo envolve um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes, além de representar a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Enquanto que no ponto direcionado à conservação dos recursos naturais, o conceito abrange, além dos

aspectos hidrológicos, o conhecimento da estrutura biofísica da bacia hidrográfica, assim como as mudanças nos padrões de uso da terra e suas implicações ambientais, de forma que o conceito de bacia hidrográfica se compare ao de ecossistema.

Tucci (2000) refere-se a bacia hidrográfica como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Desse modo o papel hidrológico da bacia hidrográfica é transformar um volume concentrado de entrada no tempo, a precipitação, em uma saída de água, o escoamento, de forma distribuída no tempo.

A caracterização da bacia é obtida por meio de dados fisiográficos como a área, os comprimentos, as declividades e a cobertura do solo que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, e assim serem medidos diretamente ou expressos por índices, como área da bacia, rede de drenagem e declividade (SILVEIRA, 2000).

A área da bacia é possível ser determinada com o auxílio de ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas). O valor numérico da área é um dado fundamental para se definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, dessa forma ao multiplicar o valor pela lâmina da chuva precipitada define-se o volume de água recebido pela bacia (SILVEIRA, 2000).

3.5 MODELOS DE CONVERSÃO CHUVA – VAZÃO

Os modelos de transformação chuva-vazão têm por objetivo estimar o deflúvio em um sistema de drenagem qualquer, gerado por um evento de chuva. Buscam reproduzir as fases do ciclo hidrológico entre a precipitação e o escoamento superficial (KAISER, 2006).

O conhecimento adequado dos processos hidrológicos é essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia, principalmente no que concerne a dinâmica dos fluxos fluviais e a disponibilidade hídrica. Nisto se insere, a análise do regime de vazões que permite o equacionamento da oferta e volume de água dos cursos d'água, utilizado em tomadas de decisões orientadas a racionalização e preservação deste recurso (MACIEL, 2017).

Tucci (2004) em suas pesquisas faz distinção entre as vazões máximas, médias e as mínimas. Para o referido autor, a vazão máxima representa os valores extremos que podem resultar em enchentes nas margens. Sua estimativa é relevante para o controle de inundação e posterior dimensionamento das obras hidráulicas. A aferição desta variável pode ser realizada tanto a curto prazo, quanto a longo prazo. O primeiro refere-se ao acompanhamento de um evento em tempo real sendo resultante de uma precipitação. Já o segundo, caracteriza a previsão estatística da vazão máxima (diária ou instantânea) em qualquer período do ano.

A vazão específica é um importante parâmetro para comparação da produção de água entre bacias hidrográficas e ainda por verificar a influência dos períodos de cheia e de estiagem como resposta na vazão dos rios (MACIEL, 2017).

Em uma bacia hidrográfica a determinação da vazão máxima e do volume de cheia baseada em registros de vazão, necessita de séries históricas que sejam longas, para serem significativas das enchentes no local ou estacionárias, cujas estatísticas não se alteram por causa de mudanças na bacia. Todavia, no geral, tais condições não são cumpridas, principalmente em bacias urbanas. (SANTOS *et al.*, 2001).

Existe uma grande variedade de tipos de modelos de conversão de chuva-vazão, dentre eles o método racional, utilizado largamente em projetos de drenagem para estimativas de vazão em pequenas bacias, e há modelos que consideram a variabilidade espacial e temporal do evento chuvoso (KAISER, 2006), o método SCS utilizado em bacias de médio maiores que variam de 3km² a 250km², também há o hidrograma unitário, modelos sintéticos e entre outros.

3.5.1 Método Racional

O método racional, também chamado Método de Lloyd – Davies, é utilizado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo (TOMAZ, 2002). Podendo ser utilizado como mecanismo para guiar a resultados satisfatórios em projetos de drenagem urbana, já que tem o objetivo de determinar a vazão de pico (WILKEN, 1978).

Em projetos de engenharia é necessário conhecer o escoamento superficial que pode causar uma enchente dentro do período de retorno especificado no projeto (BARBOSA JÚNIOR, 2002). Para tanto, é estabelecido o hidrograma unitário da região em função da vazão, tempo de detenção e o período de retorno da bacia hidrográfica, assim, o método racional pode ser empregado com a finalidade de basear estudos na determinação da vazão da chuva de projeto ou também denominada de vazão de pico.

Os autores Tucci (1995), Tomaz (2002), CETESB (1980) e Wilken (1978) afirmam que para a aplicação do método racional devem ser adotados os seguintes princípios básicos:

- Área da bacia hidrográfica menor que 5km²;
- A escolha de um coeficiente de escoamento superficial representativo as condições futuras da bacia;
- A existência de uma relação intensidade-chuva-frequência representativa do regime de chuvas intensas na área;
- O tempo de concentração (t_c) e a duração média da chuva de tormenta devem ser iguais para o estudo;
- O evento de precipitação é distribuído de maneira uniforme por toda a área da bacia;
- O coeficiente de escoamento superficial incorpora todas as perdas;

- Durante a ocorrência da chuva de projeto as condições de permeabilidade das superfícies permanecem constantes, ou seja, não avalia o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões.

O método racional estabelece uma relação para que se calcule a vazão de pico por meio do produto entre as seguintes variáveis: coeficiente de escoamento superficial, intensidade média da precipitação sobre a área drenada e área total da bacia de estudo (equação 01).

$$\text{Eq. 01: } Q = C.I.A/360$$

Onde:

Q – Pico de vazão em m^3/s ;

C – Coeficiente de escoamento superficial (m^3/s);

I – Intensidade média da precipitação sobre a área drenada (mm/h);

A – Área total da bacia (ha).

a) Coeficiente de escoamento superficial (C)

O coeficiente C de escoamento superficial é também conhecido como coeficiente de *runoff* ou coeficiente de deflúvio. Por definição coeficiente de *runoff* é a razão entre o volume total de escoamento superficial no deflúvio e o volume total precipitado (TUCCI, 2000; RIGHETTO, 1998). É um número adimensional que varia de 0 a 1, a atribuição de um valor numérico para o coeficiente de deflúvio observa também a área de drenagem com as variadas superfícies quando é heterogênea com ocupações do solo.

Segundo Barbosa Júnior (2002) o coeficiente é atribuído de acordo com tabelas elaboradas com base nas características da bacia hidrográfica que consideram o tipo de solo, a vegetação e outros aspectos, como o uso e ocupação do solo, como as representadas nas figuras 2 e 3. E utiliza-se a equação 02 para o cálculo do coeficiente a ser adotado.

$$\text{Eq. 02: } C = [(C_1.A_1 + C_2.A_2 + C_3.A_3 \dots C_i.A_i)/(A_1 + A_2 + A_3 \dots A_i)]$$

Sendo:

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ – Coeficientes de escoamento superficial para as áreas $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i$, respectivamente (adimensional);

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ – áreas que possuem coeficientes $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ (km^2);

C – Coeficiente de escoamento superficial obtido pela média ponderada efetuada (adimensional).

Figura 2: Valores do coeficiente de escoamento superficial.

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: Tucci, 2000.

Figura 3: Valores de C.

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
Pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: grama solo arenoso		
plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
médio (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
Gramma, solo pesado		
plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
médio (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: Tucci, 2002.

Tomaz (2002) reforça que também influencia na determinação deste coeficiente o grau de compactação do solo, a porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões. Além de outros fatores como a porcentagem da área impermeável, duração da chuva, intensidade da chuva, forma da área de drenagem, interceptação e a capacidade de armazenamento de água na superfície do solo.

O Manual de Projeto de Drenagem Urbana elaborado pela CETESB (1980) afirma que “o coeficiente de *runoff* é a variável do Método Racional menos suscetível de determinações mais precisas e requer, portanto, muitos cuidados quando da sua seleção”, isto ocorre devido ao fato do uso de um valor fixo para qualquer área de drenagem e que, por outro lado, o coeficiente agrega em sua grandeza diversos fatores e influencias citados anteriormente.

b) Intensidade média de precipitação (I)

A intensidade média da chuva é dada pela altura pluviométrica por um determinado período de tempo, esta depende diretamente da duração e frequência do evento, equação 03. A área total da bacia assim como o coeficiente de escoamento superficial interfere diretamente no tempo de concentração do deflúvio (TUCCI, 2000).

$$\text{Eq. 03: } i = \frac{K * T_r^a}{(b + t_c)^c}$$

Onde:

i – Intensidade (mm/h);

Tr – Tempo de retorno (anos);

t_c – Tempo de duração da chuva (minutos);

K, a, b e c – Parâmetros a ser determinados para cada local.

O tempo de concentração se trata do tempo de percurso da água desde o ponto mais distante da bacia hidrográfica até a seção de interesse (TUCCI, 2000). Logo, adotar o tempo de concentração ideal, uma vez que a uma dada frequência a duração da precipitação excedente é igual ao t_c, equação 04, é essencial para o método racional. CETESB (1980) afirma que usualmente se adota tempo entre os valores de 10 a 30 minutos.

$$\text{Eq. 04: } t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Onde:

L – Comprimento do curso d'água (km);

H – Diferença de cotas entre a jusante e a montante do corpo hídrico (m).

O tempo de retorno se trata de outro fator a se observar na determinação da intensidade média de precipitação, pois se trata da frequência em que um evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez (TOMAZ, 2002).

c) Área total da bacia de estudo (A)

A área da bacia de contribuição delimita a extensão superficial de estudo. Autores divergem quanto ao valor limite de área que a bacia de contribuição pode ter para ser empregado o método racional. Tomaz (2002) cita que a área empregada neste método pode variar entre estudos e autores, porém o valor máximo segundo Wilken (1978) de medida normalmente adotado para este método é de 5km².

3.5.2 Método do SCS

O método SCS (*Soil Conservation Service*) elaborado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos é aplicado para áreas que variam de 3km² a 250km² (TOMÁZ, 2002). Este

método apresenta estimativas de determinação do escoamento superficial e das vazões de pico em bacias pequenas. O número curva (CN) ou número de deflúvio pode ser obtido a três maneiras.

- Características do solo;
- Pesquisas feitas no país, nos estados, em regiões ou cidades;
- Capacidade mínima de infiltração do solo.

Nos Estados Unidos o SCS classificou mais de 4000 solos com o objetivo de verificar o potencial de escoamento superficial em quatro grupos de solos, nomeados pelas letras A, B, C e D. No Brasil Porto (1995) elaborou no estado de São Paulo uma avaliação do escoamento superficial com o solo e o seu recobrimento vegetal. Na figura 4 encontram se classificados os solos por Tucci (1993), as classes foram elaboradas a partir da avaliação de Porto (1995).

Figura 4: Tipos do solo adotados para o método SCS.

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

O coeficiente número curva representa o escoamento superficial empiricamente a partir da combinação de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade do solo.

Segundo Tomáz (2002) a metodologia do SCS apresenta limitações, tais como:

- O número curva representa uma situação média em determinados projetos;

- A metodologia CN não apresenta o parâmetro do tempo e não leva em consideração a duração e intensidade da chuva de projeto;
- O número curva não é preciso quando a lâmina de água do escoamento for menor que 12,7mm;
- Se o número curva utilizado for composto e for menor que 40, deve-se utilizar outro procedimento para determinar o escoamento superficial.

A figura 5 apresenta uma tabela dos valores do número curva para bacias rurais a partir do tipo de solo da região de estudo conforme análise prévia do tipo do solo feita por meio da figura 4.

Figura 5: Dados do CN para os tipos de solo.

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras e Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: (Tucci et al, 1993)

A obtenção da vazão de escoamento superficial de uma determinada bacia por meio do método SCS é possível por meio das equações 5, 6 e 7.

$$\text{Eq. 5: } S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Onde:

S – Potencial máximo de retenção após começar o escoamento superficial (mm);

CN – Número curva.

$$\text{Eq. 6: } I_a = 0,2 * S$$

Ia – Abstração inicial (mm).

A abstração inicial (Ia) representa todas as perdas antes da ocorrência do escoamento superficial após a chuva, esta variável inclui a água retida nas depressões da superfície e interceptada pela vegetação, assim como a fração de água evaporada e infiltrada (TOMAZ, 2002).

$$\text{Eq. 7: } ES = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a+S)}$$

Onde:

ES – Volume escoado superficialmente da chuva excedente (mm);

P – Precipitação (mm).

Observação: A equação 5 somente é válida para $P > 0,2 * S$, pois quando $P < 0,2 * S$, o valor de Q seria 0.

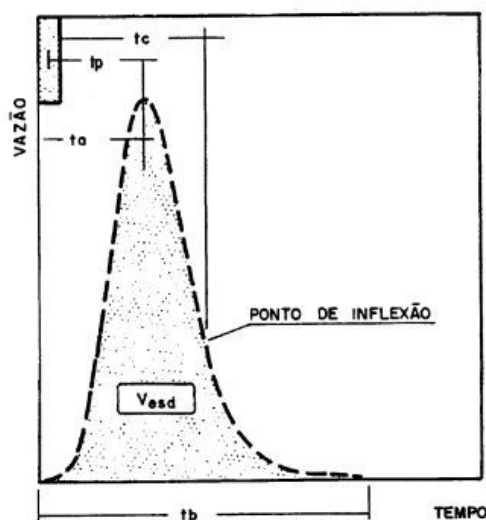
3.5.3. Hidrograma Unitário

O hidrograma unitário é definido como sendo o hidrograma resultante de uma chuva excedente unitária uniformemente distribuída sobre determinada bacia hidrográfica e também uniforme ao longo de sua duração (RIGHETTO, 1998).

Este método está baseado no conceito de hidrograma unitário que foi proposto por Sherman em 1932, em que propunha usar um escoamento superficial de 1cm de medida a partir de uma chuva com duração de tempo unitário, ou seja, de volume unitário. O período de duração unitário deve ser o menor possível para chuvas de intensidade (PINTO *et al.*, 1995).

Para a obtenção do hidrograma (figura 6) é necessário analisar as precipitações e vazões de uma determinada bacia em estudo, conforme tempo de concentração, tempo de base e o tempo de retardamento da chuva de projeto, com a finalidade de se determinar o volume escoado. É importante observar que o hidrograma é típico para cada bacia, ou seja, é único, não serve para outra (TOMAZ, 2002).

Figura 6: Características do hidrograma.



Fonte: Tomaz, 2002.

É utilizado como evento de referência quando se admite, no processo de transformação chuva-vazão, que a bacia se comporta como um sistema linear, ou seja, chuvas complexas podem ser subdivididas em chuvas simples e, se forem conhecidos os hidrograma resultantes das chuvas simples, pode-se determinar o hidrograma correspondente à chuva complexa, por meio da soma aritmética dos hidrogramas simples (RIGHETTO, 1998).

O hidrograma unitário apresenta as seguintes hipóteses básicas segundo Drenagem Urbana (1986) e MCCuen (1998) *apud* (TOMAZ, 2002):

- A intensidade da chuva efetiva é constante durante a chuva de tormenta em que se gera o hidrograma unitário;
- A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;
- Tempo de duração do hidrograma do escoamento superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante e os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal e entre outros são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia.

3.5.4 Modelos Sintéticos de Tratamento de Séries Históricas de Precipitação

A medida das precipitações é feita através da computação da quantidade de água recolhida em uma determinada área. As grandezas medidas são a altura pluviométrica ou altura de precipitação, duração da precipitação, intensidade entre a altura e duração da precipitação e a frequência da ocorrência de determinada precipitação (GARCEZ, 1988).

A quantificação de chuvas intensas é de grande importância nas obras de drenagem, tendo em vista a segurança das estruturas hidráulicas como barragens e pontes, e o funcionamento de infraestruturas (RIGHETTO, 1998).

Estas chuvas provocam cheias nos sistemas de drenagem, como escoamentos pluviais nas galerias e canais, de forma que as vazões de pico atingem valores próximos da capacidade do sistema. Assim, as chuvas intensas podem causar enchentes, isto é, podem gerar vazões superiores à capacidade do sistema de drenagem, resultando em possíveis rompimentos das obras hidráulicas e/ou inundações (RIGHETTO, 1998).

Conforme a frequência com que ocorrem as inundações, pode-se concluir sobre a eficiência dos sistemas de drenagem existentes, sendo a possível falha do sistema possível devido as alterações do uso e cobertura do solo de determinada região. Logo, o sistema de drenagem deverá sofrer modificações de forma a garantir os escoamentos de cheias dentro das especificações de projeto, admitindo-se uma falha a um período de retorno conforme a importância da obra.

Os dados recolhidos das estações pluviométricas devem ser submetidos a uma análise prévia e um preparo para que seja possível a utilização. Primeiramente, deve-se tabular os dados e em seguida ser feita uma análise estatística comparativa dos dados médios no mesmo período em estações vizinhas. Após da análise prévia e a correção de erros grosseiros nos dados, é possível que sejam completadas as falhas por meio de correlações numéricas (GARCEZ, 1988).

A análise de frequência de séries mensais e anuais é resultado da soma das precipitações diárias de cada ano, de maneira que se obtenha as precipitações máximas com ocorrência atípica, estas apresentam duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2000).

Estes dados servem de base para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia, estas são retratadas pelas curvas de intensidade, duração e frequência (IDF), de forma que ao correlacionar as intensidades e durações das chuvas, verifica-se que quanto mais intensa é a precipitação, menor será sua duração (BERTONI, 2000).

Projetos de obras hidráulicas, tais como sistema de drenagem, dimensionamento de bueiros, galerias pluviais e outros, necessitam o conhecimento da intensidade, duração e frequência das precipitações máximas (TUCCI, 2000).

A determinação da altura média precipitada sobre uma área pode ser feita após a interpretação dos dados pluviométricos. Uma vez que a quantidade de água precipitada na região analisada já foi feita, em geral, na bacia hidrográfica, para que se saiba a lamina média de água na área em um intervalo de tempo.

Por meio da análise de séries temporais, baseada na utilização dos dados históricos a partir de observações de dados pluviométricos, e em sua maioria com o auxílio dos métodos de previsão estatística, com a finalidade de se descrever o processo hidrológico no passado

podendo se interpretar como a variação dos dados pluviométricos interferem no comportamento do escoamento superficial de uma região em um intervalo de tempo (TUCCI, 2000). Existem diversos métodos como o estimador de média móvel e o de previsão com suavização exponencial, entre outros. A previsão de um evento chuvoso auxilia diretamente na tomada de decisão do dimensionamento de obras simulando situações futuras.

3.6 ELEMENTOS DE DRENAGEM PARA TRANSPOSIÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA

A drenagem pode ser superficial ou subterrânea, a superficial coleta e remove as águas superficiais que atingem ou possam atingir a obra como rodovias, barragens, ferrovias, aeroportos e etc., quanto a subterrânea realiza a interceptação e a remoção das águas subterrâneas que se situam sob a superfície do solo (IME, 2003).

A drenagem de transposição de talvegues é feita por predominantemente bueiros, pontilhões e pontes, esta drenagem pode ser feita por meio superficial, subsuperficial ou subterrâneo. A drenagem superficial pode ser feita por condutos livres, tais como bueiros, cortarios, valas, valetas e sarjetas. A subsuperficial transpõe o curso d'água abaixo do pavimento como pontes e pontilhões. Enquanto que a subterrânea pode ser feita por drenos longitudinais, descontínuos, paralelos e outros (IME, 2003).

Condutos livres são denominados canais e normalmente apresentam uma superfície livre de água em contato com a atmosfera, logo estão sujeitos a pressão atmosférica. São considerados canais todos os condutos que conduzem águas com uma superfície livre, com seção aberta ou fechada, e os de pequenas proporções geralmente são executados com a forma circular (AZEVEDO NETTO, 1998).

3.6.1 Bueiros

Bueiros são elementos de drenagem superficial constituídos transversalmente sob o leito das estradas, destinados a conduzir as águas proveniente de riachos, córregos, açudes ou bacias por elas cortados (IME, 2003).

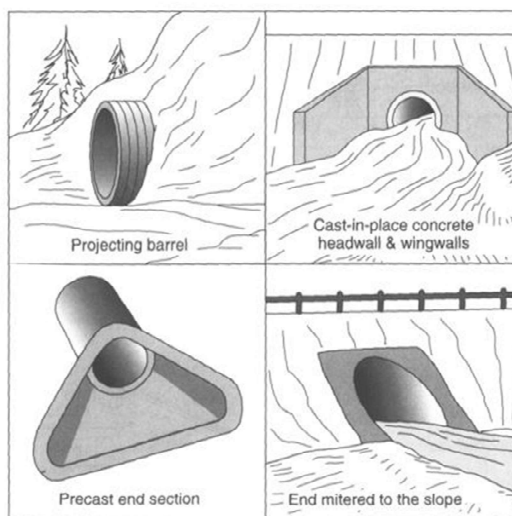
Em termos hidráulicos os bueiros podem ser dimensionados como canais, vertedouros ou orifícios. A escolha do regime a ser adotado depende de a possibilidade da obra poder ou não trabalhar com carga hidráulica a montante, pois poderia proporcionar o transbordamento do curso d'água causando danos aos aterros e pavimentos e inundação a montante do bueiro. Caso não seja possível trabalhar com a carga a montante, o bueiro deve trabalhar livre como canal (DNIT, 2006).

Conforme o DNIT (2006) os bueiros são obras destinadas a permitir a passagem livre das águas que ocorrem as estradas. O bueiro é composto por bocas e corpo. Corpo é a parte

situada sob os cortes e aterro, enquanto que as bocas constituem os dispositivos de admissão e lançamento, a montante e a jusante, e são compostas de soleira, muro de testa e alas.

Na figura 7 é apresentado quatro tipos de entrada e saída de bueiros. O bueiro localizado na fração superior esquerda da figura 7 é possível visualizar a entrada e saída projetantes do bueiro, a fração superior direita se visualiza um bueiro com muros de ala e testa, a inferior esquerda um bueiro que acompanham a saia do aterro e a inferior direita um bueiro de pré-moldados.

Figura 7: Exemplo de bueiros e os quatro tipos de entradas.



Fonte: Tomaz (2002).

Os bueiros podem ser classificados em quatro classes: quanto à forma da seção, ao número de linhas, aos materiais com os quais são construídos e à escondidade (DNIT, 2006).

- a) Quanto à forma da seção: Quando a forma de seção for circular os bueiros são denominados tubulares, serão celulares quando apresentarem seção transversal retangular ou quadrada, serão nomeados especiais quando tiverem formato de elipses ou ovóides. Para o caso dos bueiros metálicos corrugados, existe uma gama maior de formas e dimensões, entre elas: a circular, a lenticular, a elíptica e os arcos semicirculares ou com raios variáveis (ovóides).
- b) Quanto ao número de linhas: Será denominado simples, quando houver somente uma linha de tubos, de células e etc., serão duplos e triplos, quando houver 2 ou 3 linhas de tubos, células e etc.
- c) Quanto ao material: Os materiais atualmente usados para a construção de bueiros no DNIT são de diversos tipos: concreto simples, concreto armado, chapa metálica corrugada ou polietileno de alta densidade (PEAD), além do plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV). Nas bocas, alas e caixas coletoras usa-se alvenaria de pedra argamassada, com recobrimento de argamassa de cimento e areia, ou blocos de concreto de cimento, além de concreto pré-moldado.

d) Quanto à esconsidade: Primeiramente, define-se esconsidade como o ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia. Logo, serão denominados bueiros normais, aqueles que quando o eixo do bueiro coincidir com a normal ao eixo da rodovia, enquanto que serão esconsos quando o eixo longitudinal do bueiro apresentar um ângulo diferente de zero com a normal ao eixo da rodovia.

Para se dimensionar a obra, primeiramente deve-se determinar a velocidade do escoamento será utilizada as formulas de Manning ou de Strickler, equação 08 ou 09, baseadas na expressão de Chézy (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$\text{Eq. 08: } V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * I^{1/2}$$

$$\text{Eq. 09: } V = K * R_H^{2/3} * I^{1/2}$$

Onde:

K – Coeficiente de rugosidade de Stickler;

I – Declividade do fundo do canal (m/m);

V – Velocidade de escoamento;

R_H – Raio hidráulico: relação entre a área molhada e o perímetro molhado. Caso a canalização apresente seção circular é determinado pela relação, $R_H=A/P$, e em caso de seção plena ou meia seção, $R_H=D/4$;

n – Coeficiente de rugosidade de Manning.

O coeficiente de rugosidade de Manning é adotado conforme a natureza das paredes do canal, conforme pode ser visualizar na figura 8 (AZEVEDO NETTO, 1998) e o coeficiente de rugosidade de Stickler é adotado conforme os materiais e valores presentes na figura 9.

Figura 8: Valores de (n) da fórmula de Manning.

1	Canais de chapas com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição em perfeitas condições	0,011
2	Canais de cimento muito liso de dimensões limitadas, de madeira aplainada e lixada, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de fundição usados	0,012
3	Canais com reboco de cimento liso, porém com curvas de raio limitado e águas não completamente limpas: construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado	0,013
4	Canais com paredes de cimento não completamente liso; de madeira como o n.º. 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio e juntas imperfeitas	0,014
5	Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não aplainada de chapas rebitadas	0,015
6	Canais com reboco de cimento não muito alisado e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação	0,016
7	Canais com reboco de cimento incompleto, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; de alvenaria revestindo taludes não bem perfilados	0,017
8	Canais com reboco de cimento rugoso, depósito no fundo, musgo nas paredes e traçado tortuoso	0,018
9	Canais de alvenaria em más condições de manutenção e fundo com barro, ou de alvenaria de pedregulhos; de terra, bem construídos, sem vegetação e com curvas de grande raio	0,020
10	Canais de chapas rebitadas e juntas irregulares: de terra, bem construídos com pequenos depósitos no fundo e vegetação rasteira nos taludes	0,022
11	Canais de terra, com vegetação rasteira no fundo e nos taludes	0,025
12	Canais de terra, com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões: revestidos com pedregulhos e vegetação	0,030
13	Alvéolos naturais, cobertos de cascalhos e vegetação	0,035
14	Alvéolos naturais, andamento tortuoso	0,040

Fonte: Azevedo Netto, 1998.

Figura 9: Coeficiente de Rugosidade de Strikler (K)

Material	K (m ^{1/3} / s)
Concreto	60 a 100
Tubos de Concreto	70 a 80
Asfalto	70 a 75
Tijolos	60 a 65
Argamassa de cascalho ou britas	50
Pedras assimétricas	45
Canal aberto em rocha	20 a 55
Canal em Terra (sedimentos médios)	58 a 37
Canal gramado	35

Fonte: Escola de Agronomia – UFG.

Na sequência, por meio da equação 10, substituindo os dados da velocidade de escoamento e da vazão encontrada conforme os modelos de conversão de chuva-vazão, item 2.5, encontra-se a área da seção molhada.

Eq. 10: $Q = A * V$

Onde:

Q – Vazão (m³/s);

A – Área da seção molhada (m²);

V – Velocidade de escoamento (m/s).

O dimensionamento da obra hidráulica é possível por meio da obtenção da área da seção a ser utilizada, sendo a seção circular, semicircular, retangular ou trapezoidal. Em seguida poderá se definir qual tipo de forma de conduto se adotará, pode-se determinar as variáveis como raio, base e profundidade, concluindo o dimensionamento da estrutura para o local a ser estudado.

Figura 10: Área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico de algumas seções usuais.

Forma ou seção	Altura de água	Área molhada	Perímetro molhado	Raio hidráulico	Observações
Condutos fechados					
Circular*	D	$3,14r^2$	$6,28r$	$0,500r$	$D = \text{diâmetro}$ $r = \text{raio}$
Circular	$0,75D$	$2,53r^2$	$4,19r$	$0,603r$	
Circular	$0,67D$	$2,24r^2$	$3,84r$	$0,583r$	
Circular	$0,50D$	$1,57r^2$	$3,14r$	$0,500r$	
Circular	$0,25D$	$0,614r^2$	$2,09r$	$0,293r$	
Quadrada*	a	a^2	$4a$	$a/4$	$a = \text{lado}$
Retangular*	a	ab	$2(a + b)$	$\frac{ab}{2(a + b)}$	$b = \text{base}$
Triangular 90° *	H	H^2	$2,83H$	$\frac{H}{2,83}$	$H = \text{altura}$
Condutos abertos					
Retangular	y	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b = \text{base}$ $y = \text{profundidade}$
Trapezoidal					
a) talude 60° com a horizontal				$\frac{\left(b + \frac{y}{\sqrt{3}}\right)y}{b + \frac{4y}{\sqrt{3}}}$	
b) talude 45° com a horizontal				$\frac{by + y^2}{b + 2\sqrt{2}y}$	

* Condutos a seção plena

Fonte: Azevedo Netto, 1998.

A – Área molhada: é a área útil de escoamento numa seção transversal;

S – Seção do conduto (total);

P – Perímetro molhado: linha que limita a área molhada junto as paredes e ao fundo do conduto;

h – Profundidade: altura de lâmina d'água acima do fundo do canal;

b – Largura superficial ou base: largura da superfície da obra em contato com a atmosfera;

r – Raio: metade distância em linha reta entre as extremidades da obra atravessando o centro geométrico da mesma.

3.6.2 Pontes e Pontilhões

Os pontilhões são obras usadas para a transposição de talvegues nos casos em que, por imposição da descarga de projeto ou do greide projetado, não possam ser construídos bueiros. Enquanto que pontes são obras-de-arte destinadas a vencer os talvegues formados pelos cursos d'água, cuja transposição não pode ser feita por bueiros e pontilhões.

Por sua maior importância e pelas suas extensões estas obras exigem estruturas mais complexas do que as usadas nos pontilhões e, por esta razão, no seu dimensionamento os procedimentos de cálculo deverão ser mais rigorosos.

3.7 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS

O uso de técnicas para identificar, extrair, condensar e realçar uma determinada informação por meio do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto advém como uma ferramenta para monitorar as mudanças globais, servindo de mecanismo para se elaborar estratégias para o estudo de cenários passados, atuais e futuros do meio ambiente (CROSTA, 1993).

Por meio do sensoriamento remoto pode-se classificar a cobertura e o uso do solo de uma determinada região utilizando da classificação multiespectral, esta pode ser supervisionada ou não supervisionada (NOVO, 1992).

Os impactos ambientais podem ser detectados e monitorados por meio de imagens de satélite, podendo assim ser feito um acompanhamento da transformação, ocupação e situação do ambiente por meio do sensoriamento remoto. A utilização de imagens de satélite para uma finalidade específica, com o devido auxílio de tecnologias na coleta e tratamento de informações espaciais para atender determinado objetivo é definido como geoprocessamento (REIS, 2011).

O geoprocessamento tem auxiliado a tomada de decisões sobre problemas ambientais, principalmente, em países de grande dimensão e com carência de informações como em ramos como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento regional (CÂMARA; MEDEIROS 1998).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) constituem um banco de dados obtidos com o auxílio do geoprocessamento e do sensoriamento remoto. Em SIGs que necessitam de parâmetros hidrológicos em seus processos de delimitação automática de bacias hidrográficas, são utilizadas informações de relevo, que podem ser representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno,

denominada Modelo Numérico de Terreno (MNT). O MNT pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos, como as imagens com diferentes níveis de cinza elaboradas pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) em que da cena adquirida consistiam em dados da variação de altimetria de uma superfície (SOBRINHO et al., 2010).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança localizada em um trecho da rodovia TO – 080 situado entre Divinópolis do Tocantins e Marianópolis do Tocantins. A bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança pertence a sub bacia do Rio Cocô que desagua no rio Araguaia. A região é conhecida como produtora de soja e gado de corte, sendo a rodovia a principal rota de passagem para a produção.

As figuras 11 e 12 ilustram a situação da área de estudo após o evento de elevada precipitação que transbordou o ribeirão Boa Esperança e desmoronou parte da pista da rodovia.

Figura 11: Situação local de estudo.



Figura 12: Canal para escoamento após evento.



Fonte: Autor.

4.2 BACIA HIDROGRAFICA

A determinação da bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança foi feita através da ferramenta do software *Arcgis*. O *software* por meio da delimitação automática da bacia hidrográfica, elaborado a partir de dados altimétricos das imagens elaboradas pela Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) disponibilizadas na plataforma *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS).

Foram obtidos dados como densidade de drenagem, comprimento do talvegue, altitude do ponto de nascente e exutório a partir da imagem SRTM. Também foi feita uma classificação da cobertura e uso do solo dentro do perímetro da bacia em que foram separadas em classes as áreas classificadas a serem utilizadas no Método SCS. Na sequência foi feita uma classificação da cobertura do solo conforme as classes elencadas na figura 5.

4.3 PRECIPITAÇÃO

Em virtude do município de Divinópolis não apresentar estação pluviométrica, verificou-se a existência de estações pluviométricas no entorno da região de estudo, foi utilizada

a estação localizada na cidade de Abreulândia, situada a aproximadamente 30km da bacia do ribeirão Boa Esperança. Foram adquiridos os dados da estação pluviométrica, a partir da plataforma *hidroweb* da Agencia Nacional de Águas (ANA) e analisou-se os dados consistidos.

Destes, selecionou-se as precipitações máximas diárias de cada mês no período de 1974 a 2006, em seguida, a partir destes, foram selecionados as máximas anuais e determinou-se a equação intensidade, duração e frequência (IDF) da região.

Também, foi obtido um modelo de intensidade, duração e frequência (IDF) para a região de estudo, onde suas variáveis foram obtidas por meio do *software Pluvio 2.1* elaborado e disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), utilizado para comparação com o modelo IDF calculado a partir dos dados pluviométricos baixados junto ao *hidroweb*.

4.4 MODELO CHUVA-VAZÃO

4.4.1 Método SCS

Neste estudo foi adotado o Método SCS conforme a área da bacia hidrográfica do corpo hídrico e seus afluentes até a rodovia TO-080, pois o Método Racional é recomendado para áreas menores que 5km². Também, foram obtidos outros fatores morfométricos, tais como comprimento do talvegue, ponto de acumulação de vazão escoada pela bacia e a declividade.

Foram adotados dois cenários para o dimensionamento, o primeiro adotou-se uma duração de chuva de projeto de 6h, de modo que se encontra a vazão escoada na chuva de projeto, conforme Pruski et al. (2004) recomenda que para a determinação da precipitação incidente de 6, 12 ou 24h. E o segundo cenário foi adotado o tempo de concentração calculado para o dimensionamento.

Para a determinação da vazão de projeto por este método obteve-se a precipitação, a abstração inicial e o potencial máximo de retenção do solo, os dois últimos foram calculados por meio das equações 05 e 06, enquanto que a precipitação será obtida a partir da divisão entre a intensidade de chuva (equação 03) e o tempo de concentração a ser encontrado para a bacia através da equação 04.

A equação de intensidade de precipitação foi feita a partir do ajuste de curvas pelo método dos mínimos quadrados dos dados de precipitação máxima anuais selecionados no item 3.3, encontrou-se os coeficientes da equação IDF.

Após determinada equação IDF da região de estudo, calculou-se o tempo de concentração, por meio da equação 04 elaborada por Kirpich e o tempo de retorno adotado no projeto do bueiro será de 20 anos (DNIT, 2006).

Obtido o tempo de concentração e adotado o tempo de retorno, substituiu-se estes dados na equação IDF determinada para a região de estudo por meio das máximas precipitações anuais

e para a equação IDF obtida por meio do *software Pluvio 2.1*, comparou-se os valores calculados.

Obtidos estes dados, pode-se calcular o volume escoado na região de estudo ou a lamina d'água escoada pela chuva de projeto, por meio da equação 07. O resultado calculado foi multiplicado pela área da bacia e dividido pela duração da chuva adotada.

4.5 DIMENSIONAMENTO DA OBRA HIDRAULICA

O dimensionamento da obra hidráulica para os dois cenários partirá inicialmente de uma constante, calculada por meio da equação 11, que será referência para o dimensionamento do bueiro retangular de concreto pelo método da tentativa, substituindo a vazão encontrada por meio do item 3.4, n adotado conforme interpretação da figura 8 e a declividade obtida no item 3.4.1.

$$\text{Eq. 11: } K = n * Q / \sqrt{I}$$

Onde:

K – Constante de referência de cálculo;

Q – Vazão (m³/s);

I – Declividade do fundo do canal (m/m), adotado 0,005m/m (Netto, 1998);

V – Velocidade de escoamento;

n – Coeficiente de rugosidade de Manning, adotado 0,013, figura 8 (Netto, 1998).

Adotou-se alturas e bases, obedecendo a relação altura/base maior ou igual a 0,75 (Netto, 1998), e através das alturas e bases variadas, calculou-se o perímetro molhado e a área molhada, conforme as relações exibidas na figura 10, dividiu-se a área molhada pelo perímetro e obteve-se o raio hidráulico.

Em seguida, utilizou-se a equação 12, o valor encontrado da constante nesta etapa foi comparado com o da etapa anterior. De forma que o valor de K obtido nessa etapa deve ser próximo ao valor de K calculado na etapa anterior para que se determine a altura e base ideal para o projeto.

$$\text{Eq. 12: } K = R_H^{2/3} * A_m$$

A_m - Área molhada: relação entre a base e altura molhada;

R_H – Raio hidráulico: relação entre a área molhada e o perímetro molhado.

4.6 DETALHAMENTO DA OBRA PROJETADA

Foi elaborado um *layout* para cada cenário com as plantas do bueiro a ser projetado a partir dos dados a determinados de seção transversal e a galeria retangular projetada, com finalidade de ilustrar visualmente o resultado final do projeto. Observa-se que, caso a altura do

bueiro seja elevada, será adotado mais de um bueiro com o objetivo de se evitar que a obra dimensionada fique próxima as camadas da rodovia.

5. RESULTADOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO E BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança obtida com o auxílio do *software Arcgis* e imagem SRTM apresentou área de 38,23km² e perímetro de 39,81km, figura 13. Delimitou-se a bacia hidrográfica até o ponto de coordenadas E(x)680.675,26m e N(y)8.919.020,60m, pois se trata do local de intersecção da hidrografia com a Rodovia TO-080, local para onde será dimensionada a obra de galeria objeto deste estudo.

A área de estudo apresenta características morfométricas, quadro 01, cota de montante e jusante, respectivamente, de 270m e de 220m, logo com diferença de cotas entre a jusante e montante de 50m e comprimento do talvegue é de 13km.

Quadro 01. Parâmetros Morfométricos da Bacia hidrográfica do ribeirão Boa Esperança.

Perímetro	39,81	km
Área	38,23	km ²
Comprimento do talvegue/curso d'água	13,00	km
Cota jusante	220,00	m
Cota montante	270,00	m
Diferença de cotas	50,00	m
Declividade do talvegue	0,0038	m/m

Posteriormente, utilizou-se a imagem do satélite Landsat 8, a data da cena é de 27 de novembro de 2017, para a classificação supervisionada. Foram adotadas 3 classes para a supervisão: Pastagem e solo exposto, mata de galeria e cerrado.

As áreas obtidas por meio da classificação, apresentadas no quadro 02 e figura 14, foram de 29,15km² para a categoria solo exposto, de 2,08km² para mata de galeria e 7km² para a categoria cerrado.

Quadro 02. Categorias adotadas e respectivas áreas obtidas.

Categoria	Área	und
Pastagem e solo exposto	29,15	km ²
Mata de Galeria	2,08	km ²
Cerrado	7,00	km ²
Área Total	38,23	km ²

Figura 13: Localização da Área de Estudo e Bacia Hidrográfica delimitada.

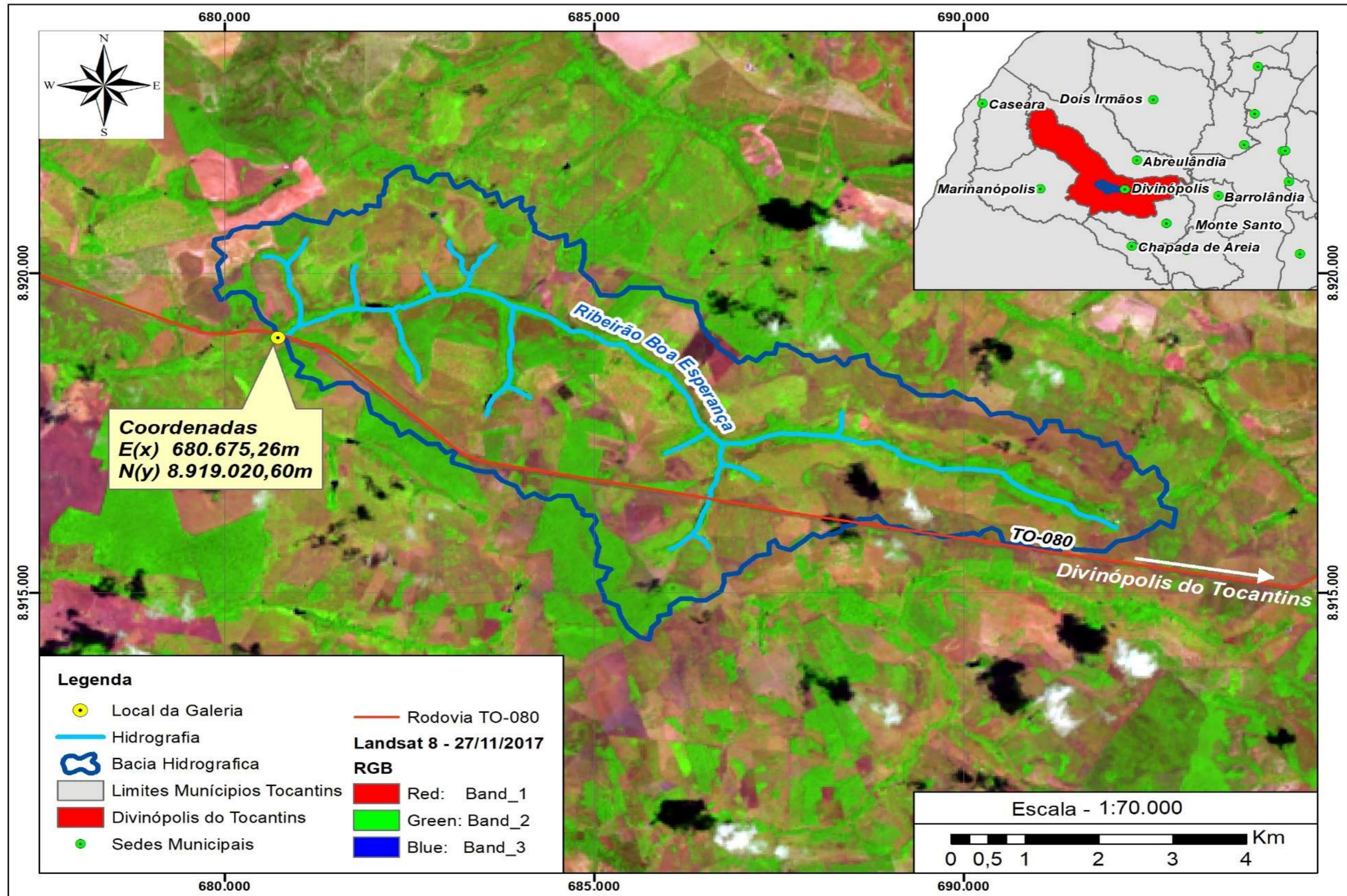
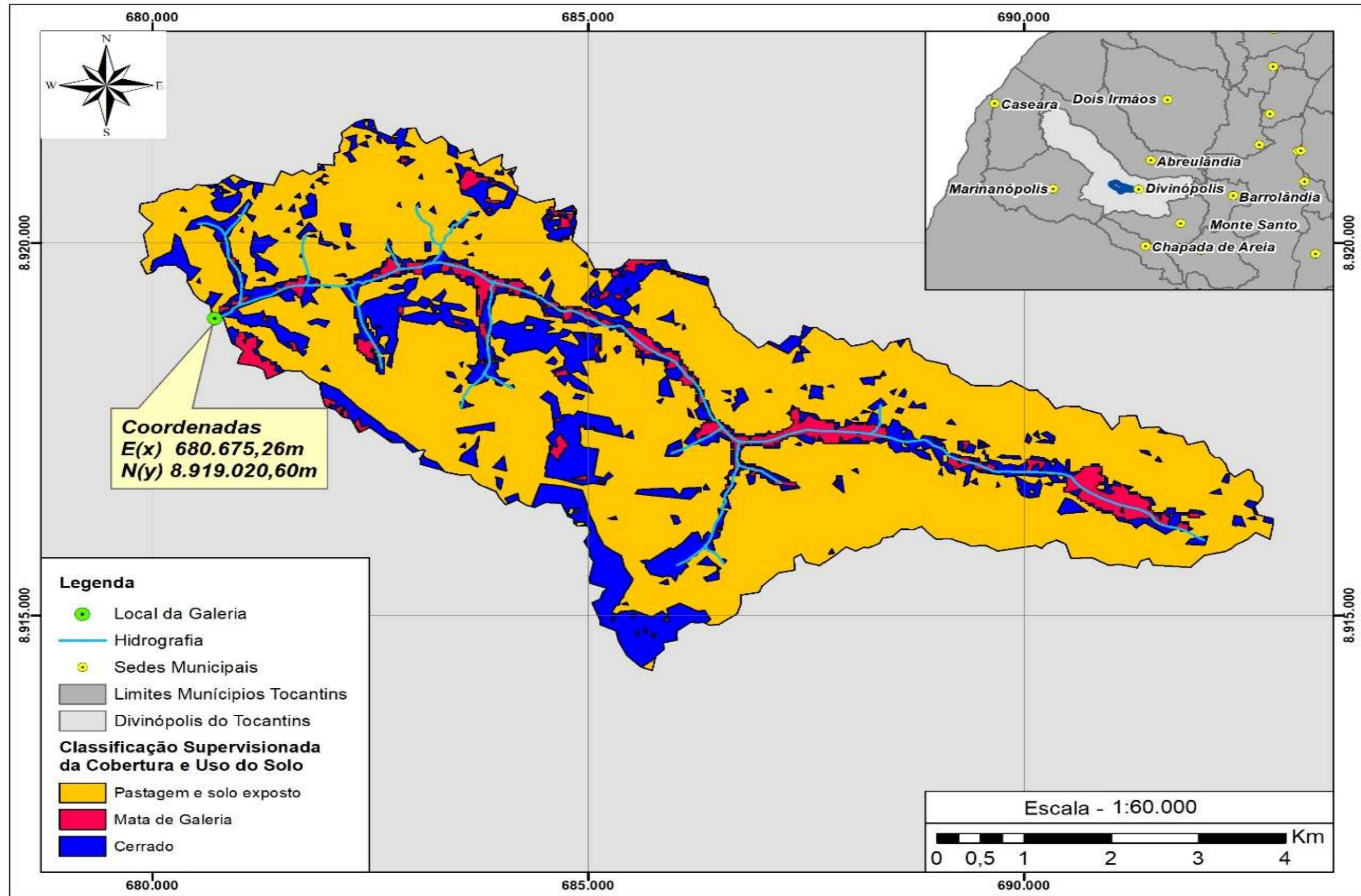


Figura 14: Classificação supervisionada da bacia hidrográfica.



5.2 PRECIPITAÇÃO

Neste estudo foram obtidas duas equações de chuva (IDF) para determinar a intensidade de precipitação para o tempo de retorno de projeto de 20 anos, a primeira foi obtida com o auxílio do *software Pluvio 2.1* apresentada na equação 13 e a segunda conforme a equação 14 foi obtida a partir dos dados de séries históricas do município de Abreulândia, a equação obtida para o tempo de retorno de projeto apresentou coeficiente de determinação - R^2 de 0,98.

A partir do comprimento do talvegue principal e da área da bacia hidrográfica, obteve-se por meio da equação de Kirpich o tempo de concentração (t_c) de 244,55min para a bacia em questão. O DNIT (2005) afirma que esta equação é indicada para casos de pequenas e grandes bacias hidrográficas, mesmo sendo recomendada a ser utilizada em áreas até 0,5km² (PRUSKI et al., 2004).

Nos estudos de Chaves (2016) obteve-se tempo de concentração de 60min para a bacia do córrego Brejo Cumprido localizado em Palmas – TO com área de 11,79km². E Souza (2017) encontrou para a bacia do ribeirão do Carmo com área de 321,60 km², situado em Ouro Preto – MG, o tempo de concentração de 500,79min.

A partir da equação 13 foi obtida a intensidade de precipitação de 28,35mm/h e com a equação 14 encontrou-se a intensidade de 23,96mm/h, esta última foi adotada para o dimensionamento.

$$\text{Eq. 13: } I = \frac{6168,507.Tr^{0,173}}{(tc+35,797)^{1,047}}$$

$$\text{Eq. 14: } I = \frac{1108,05.Tr^{0,07}}{(tc+9,92)^{0,73}}$$

Em Ipameri – GO os estudos de Pereira et al. (2017) determinou a equação IDF e obteve-se para o tempo de retorno de 20 anos e tempo de concentração de 240min a intensidade de 20mm/h. Silva e Miranda (2017) determinaram a equação IDF para o município de Porto Nacional – TO e para os mesmos tempos de retorno e concentração, 20 anos e 240min, respectivamente, obteve a intensidade de 19,79mm/h.

5.3 MODELOS CHUVA-VAZÃO – MÉTODO SCS

O modelo a ser adotado neste estudo é o SCS, em virtude da bacia hidrográfica estar no intervalo indicado para uso desta metodologia. Por meio das figuras 4 e 5 pode-se classificar a área de estudo quanto ao grupo de solo Tipo C, que serviu de referência para a adoção dos valores de CN, quadro 03, e também, para a obtenção do CN médio através da média ponderada.

Quadro 03. Valores de CN adotados no estudo.

Categoria	CN
Pastagem e solo exposto	74,00
Mata de Galeria	78,00
Cerrado	70,00
CN médio	73,49

Após a quantificação do CN médio da área de estudo foi possível obter para ambos os cenários, através das equações 05 e 06, o potencial de retenção máxima do solo (S), a abstração inicial (Ia) e por meio da equação IDF obtida a partir de dados pluviométricos foi calculada a precipitação de projeto. Esses dados foram substituídos na equação 07 e determinou-se o volume escoado superficialmente da chuva excedente (ES) ou lâmina d'água de escoamento superficial, conforme ilustrado nos quadros 4 e 5.

Quadro 04. Parâmetros do método SCS para a obtenção da vazão de escoamento superficial no primeiro cenário.

Intensidade Média de Chuva	18,24	mm/h
Precipitação de projeto - P	109,41	mm
Potencial máximo de retenção após começar o escoamento superficial	91,65	mm
Abstração inicial - Ia	18,33	mm
Volume escoado superficialmente da chuva excedente	45,40	mm

Quadro 05. Parâmetros do método SCS para a obtenção da vazão de escoamento superficial no segundo cenário.

Intensidade Média de Chuva	23,96	mm/h
Precipitação de projeto - P	97,66	mm
Potencial máximo de retenção após começar o escoamento superficial	91,65	mm
Abstração inicial - Ia	18,33	mm
Volume escoado superficialmente da chuva excedente	36,81	mm

5.4 DIMENSIONAMENTO DA OBRA HIDRÁULICA

A primeira situação a ser apresentada utilizou-se tempo de precipitação de 6h. A partir dos dados computados no quadro 6 foi feito o produto entre o volume de lamina d'água calculada e a área da bacia, de forma que se distribuísse a camada de água uniformemente na mesma, em seguida o valor obtido foi dividido pelo tempo de precipitação, determinando-se a vazão de projeto de 80,35 m³/s.

Os dados de entrada para o dimensionamento estão presentes no quadro 06, estes foram substituídos na equação 10 e obteve-se o K1 inicial igual a 14,77 utilizado como referência para os valores de altura adotados. Para esta situação a velocidade de escoamento obtida foi 4,85/s.

Quadro 06. Determinação da vazão de projeto e dados para o dimensionamento da obra hidráulica.

Volume escoado superficialmente da chuva excedente	0,0454	m
Tempo da duração da precipitação	21600,00	s
Área da Bacia	38.230.000,00	m ²

Vazão de pico “Q”	80,35	m ³ /s
Coefficiente de rugosidade de Manning – n	0,0130	
I – Declividade do fundo do canal (m/m)	0,005	m/m
Velocidade do escoamento superficial	4,85	m/s

O segundo cenário abordado para o cálculo do dimensionamento do bueiro retangular de concreto, apresentado no quadro 07, foi a partir do tempo de duração da precipitação igual ao tempo de concentração de 244,55 minutos. Determinou-se a vazão de projeto igual a 95,91m³/s e a velocidade de escoamento é de 5,20m/s.

Quadro 07. Determinação da vazão de projeto e dados para o dimensionamento da obra hidráulica.

Volume escoado superficialmente da chuva excedente	0,0368	m
Tempo da duração da precipitação	14.673,28	s
Área da Bacia	38.230.000,00	m ²
Vazão de pico “Q”	95,91	m ³ /s
Coefficiente de rugosidade de Manning – n	0,0130	
I – Declividade do fundo do canal (m/m)	0,005	m/m
Velocidade do escoamento superficial	5,20	m/s

Através destes cenários pode se constatar o aumento do volume escoado e a velocidade que este percorrerá a bacia aumenta conforme o tempo de duração da chuva de projeto reduz. No quadro 08 e 09 pode-se observar a variação das alturas e bases do bueiro necessárias para transpor essas vazões no regime afogado, logo após a obtenção destes, calculou-se 25% a mais da altura e base para os bueiros trabalharem no regime de conduto não pressurizado.

Quadro 08. Dimensionamento da obra hidráulica – bueiro retangular de concreto I – primeiro cenário.

Bueiro retangular - Dimensionamento pelo método da tentativa (Primeiro Cenário)								
h(m)	b(m)	Am(h*b)	Pm[2*(h+b)]	Rh=Am/Pm	Rh(elevado a 2/3)	Am*Rh(elevado a 2/3)	Valor Conhecido	Diferença
1,00	1,50	1,50	5,00	0,30	0,45	0,50	14,77	-14,27
2,00	2,50	5,00	9,00	0,42	0,56	2,09	14,77	-12,68
3,00	3,50	10,50	13,00	0,61	0,72	5,64	14,77	-9,13
4,00	4,50	18,00	17,00	0,79	0,86	11,58	14,77	-3,20
4,25	4,75	20,19	18,00	0,84	0,89	13,49	14,77	-1,28
4,50	5,00	22,50	19,00	0,89	0,92	15,59	14,77	0,82
4,75	5,25	24,94	20,00	0,94	0,96	17,89	14,77	3,11
5,00	5,50	27,50	21,00	0,98	0,99	20,38	14,77	5,61

Para o primeiro cenário, destacou-se a linha referente à altura de 4,50m e base de 5,00m do dimensionamento do bueiro, pois a mesma apresenta valores de K1 e K2 com diferença de 0,82. Em seguida calculou-se 25% a mais da seção obtendo-se a altura de 5,63m e base de 6,25m para o bueiro não trabalhar no regime forçado. Como se trata de uma altura que pode afetar as camadas de base da rodovia, dividiu-se em quatro bueiros de altura de 1,40m e base de 1,60m.

Quadro 09. Dimensionamento da obra hidráulica – bueiro retangular de concreto II – segundo cenário.

Bueiro retangular - Dimensionamento pelo método da tentativa (Segundo Cenário)								
h(m)	b(m)	Am(h*b)	Pm[2*(h+b)]	Rh=Am/Pm	Rh(elevado a 2/3)	Am*Rh(elevado a 2/3)	Valor Conhecido	Diferença
2,00	2,50	5,00	9,00	0,42	0,56	2,09	17,63	-15,54
3,00	3,50	10,50	13,00	0,61	0,72	5,64	17,63	-11,99
4,00	4,50	18,00	17,00	0,79	0,86	11,58	17,63	-6,06
4,50	5,00	22,50	19,00	0,89	0,92	15,59	17,63	-2,04
4,75	5,25	24,94	20,00	0,94	0,96	17,89	17,63	0,25
5,00	5,50	27,50	21,00	0,98	0,99	20,38	17,63	2,75
5,50	6,00	33,00	23,00	1,08	1,05	25,99	17,63	8,36

Na segunda situação analisada, obteve-se medidas ideais para o bueiro a altura de 4,75m e base de 5,25m, destacadas na linha em amarelo, como acréscimo de 25%, obteve-se altura de 5,94m e base de 6,56m. Logo para o detalhamento adotou-se quatro bueiros com altura de 1,50m e base de 1,65m.

O detalhamento de ambas os cenários está ilustrado no tópico Anexo II – Detalhamento do Bueiro Retangular. Em ambas as situações, o comprimento do bueiro adotado foi de 20m.

5.5 OBSERVAÇÕES A ÁREA DE ESTUDO

A presença de um barramento localizado a 1.200m do local de exutório da bacia hidrográfica, figura 15, pode aumentar consideravelmente a vazão que convergirá ao bueiro em caso rompimento, transbordamento ou abertura desordenada do canal. Este cenário ao ocorrer juntamente ao evento de vazão de pico, pode provocar a obstrução do canal e, conseqüentemente, o rompimento da rodovia.

Figura 15: Barramento próximo a localização do bueiro.



Fonte: *Google Earth*.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Detectou-se, que o tempo de concentração está relacionado a fatores como área, declividade e comprimento do talvegue, e que é diretamente proporcional a esses fatores. Constatou-se, também, que a partir dos tempo de duração de 6h e do t_c de 244,55 minutos para o cálculo da vazão de projeto, que a partir destes dois cenários, pode se diagnosticar que ao reduzir o tempo as vazões de calculadas, $Q_1=80,35 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_2=95,91 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, as vazões aumentam.

Sugere-se que o cenário favorável a segurança é o segundo com altura de 5,94m e base de 6,56m, pois no local de estudo decorreu-se o transbordamento do ribeirão que transpõe a rodovia e esse cenário, provavelmente, se evitaria essa ocorrência. Para adequação de projeto foi adotado um bueiro retangular quadruplo com altura de 1,50m e base de 1,65m.

Verificou-se que o segundo cenário apresenta maior segurança a possíveis eventos de chuvas intensas que o primeiro, pois pode suportar maiores vazões e possíveis alterações no uso da bacia hidrográfica como barramentos conforme ilustrado. Além de poder evitar situações de obstrução ou incapacidade dos bueiros em escoar as águas pluviais e fluviais.

Comprovou-se que para obras de drenagem rodoviária a metodologia aplicada neste estudo pode ser empregada como subsidio para o dimensionamento destas. E também, a importância do dimensionamento correto e coerente, a partir da vazão de projeto, pois a análise incorreta de cenário pode interferir diretamente nas atividades socioeconômicas, como por exemplo, a ocorrência de interrupção de um trecho e uma rodovia pode levar a dificultar a locomoção e transporte de pessoas e produção rural na região, visto que será necessário desviar a rota em virtude do ocorrido.

REFERENCIAS

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. *et al.* **Manual de Hidráulica**. 8ª Ed. São Paulo: Editora Blücher, 1998. 669p.

BARBOSA JÚNIOR, Antenor Rodrigues. **Hidrologia aplicada**. UFOP. 2002.

BERTONI, Juan C. **Precipitação**. In: Tucci, Carlos Eduardo Morelli (Organizador). 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. 943p.

BRAGA, Benedito. *et al.* **Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Editora Pearson, 2005.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 333p.

BRASIL, Instituto Militar de Engenharia – IME. **Curso de Drenagem Urbana e Meio Ambiente: Drenagem Urbana e de Rodovias**. Rio de Janeiro, 2003.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios Básicos em Geoprocessamento**. In: Assad, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Brasília: Embrapa – SPI/ Embrapa-CPAC, 2ª Ed, 1998. 434p.

CETESB. **Drenagem urbana: Manual de Projeto**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – DAEE/CETESB. 2ª Ed. São Paulo. 1980.

CHAVES, M. S. R. **Análise da contribuição do canal para o controle de cheias urbanas na cidade de Palmas – TO**. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2016.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 170p.

G1. Palmas, TO. Disponível em <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/uma-semana-apos-desabamento-to-080-continua-interditada-no-oeste-do-tocantins.ghtml>. Acesso em 22/02/2018.

GARCEZ, Lucas Nogueira. ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2ª Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1988. 281p.

KAISER, Ilza Machado. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. São Carlos, SP. 2006.

MACIEL, Samuel Alves. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil**. Uberlândia, MG. 2017. 213p.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, editora Edgard Blucher, 1992.

PEREIRA, D. C.; et al. **Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – GO**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Volume 13, nº 2, p 233-246. 2017.

PINTO, Nelson L. de Sousa. *et al.* **Hidrologia Básica**. 5ª Reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1995. 278p.

PIRES, José Salatiel Rodrigues. SANTOS, José Eduardo dos. **A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais**. In: Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações. SCHIAVETTI, Alexandre. CAMARGO, Antônio F. M. (Editores). Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.

PRUSKI, F.F., *et al.* **Escoamento Superficial**. Editora UFV. Viçosa – MG. 2. Ed.: UFV, 2004.

REIS, J. T. **Estimativa da relação densidade habitacional e áreas impermeáveis nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena em Santa Maria – RS**. Instituto do Pesquisas Hidráulicas – UFGRS, Santa Maria – RS. 2011.

RIGHETTO, Antônio Marozzi. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/ USP, 1998. 840p.

SANTOS, Roberval dos., *et al.* **Estimativa do Hidrograma de Projeto com Base na Incerteza dos Parâmetros do Modelo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.29-41, 2001.

SILVA, K. F.; MIRANDA, T.C. **Determinação da equação e curva de intensidade-duração-frequência para a cidade de Porto Nacional**. XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2017.

SILVEIRA, André L. L. da. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: Tucci, Carlos Eduardo Morelli (Organizador). 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. 943p.

SOBRINHO, Teodorico Alves. *et al.* **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F.G. **Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo: Atributos morfométricos, equação de chuvas e tempo de concentração, e análise da suscetibilidade da inundação**. Revista Brasileira de Cartografia. 2017. Nº 69/7: 1355-1370. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais**. 2002. Disponível em <http://pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>. Acesso em 22/04/2018.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. 943p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo. 1978. 478p.

ANEXOS

ANEXO I – PLANILHAS DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO IDF

Precipitações máximas diárias de Abreulândia	
ANOS	MÁXIMA (MM)
1974	70,00
1975	63,00
1976	95,00
1977	65,20
1978	55,00
1979	86,30
1980	71,20
1981	50,00
1982	75,00
1983	75,30
1984	59,10
1985	85,20
1986	72,10
1987	94,20
1988	93,20
1989	102,80
1990	99,40
1991	137,50
1992	101,00
1993	64,80
1994	123,20
1995	131,00
1996	59,00
1997	91,20
1998	121,20
1999	125,10
2000	146,20
2001	66,40
2002	116,20
2003	110,30
2004	83,20
2005	109,00
2006	123,70
\bar{X}	91,55
S	22,08

Relação	Constante	dc (min)	Altura de Precipitação h(mm)						
			2	5	10	20	25	50	100
1 dia	1	1dia	87,92	107,44	120,36	132,76	136,69	148,80	160,83
24h/1dia	1,14	1440	100,23	122,48	137,21	151,34	155,83	169,64	183,34
12h/24h	0,85	720	85,20	104,11	116,63	128,64	132,45	144,19	155,84
10h/24h	0,82	600	82,19	100,43	112,51	124,10	127,78	139,10	150,34
8h/24h	0,78	480	78,18	95,54	107,03	118,05	121,54	132,32	143,01
6h/24h	0,72	360	72,17	88,19	98,79	108,97	112,20	122,14	132,01

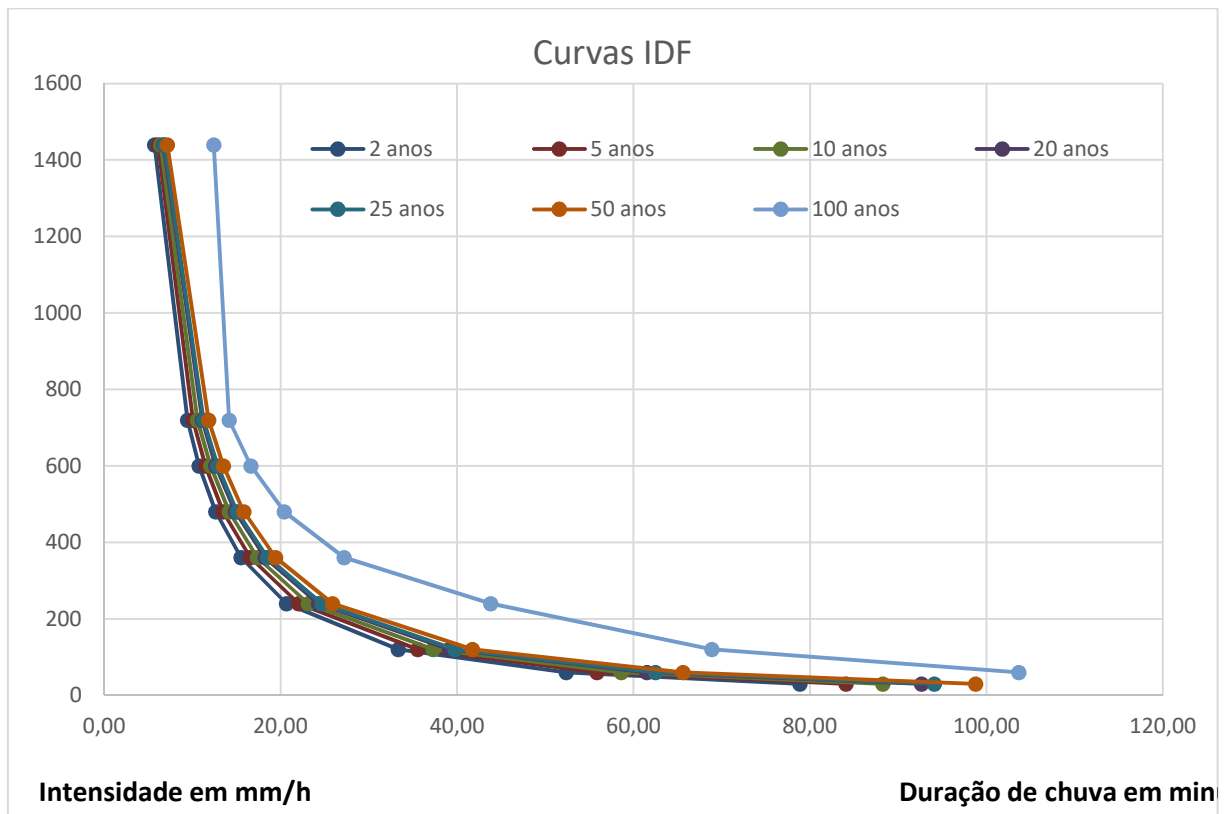
4h/24h	0,63	240	63,15	77,16	86,44	95,35	98,17	106,87	115,51
2h/24h	0,52	120	52,12	63,69	71,35	78,70	81,03	88,21	95,34
1h/24h	0,42	60	42,10	51,44	57,63	63,56	65,45	71,25	77,00
30min/1h	0,74	30	31,15	38,07	42,65	47,04	48,43	52,72	56,98
25min/30min	0,91	25	28,35	34,64	38,81	42,80	44,07	47,98	51,85
20min/30min	0,81	20	25,23	30,83	34,54	38,10	39,23	42,71	46,16
15min/30min	0,7	15	21,81	26,65	29,85	32,93	33,90	36,91	39,89
10min/30min	0,54	10	16,82	20,56	23,03	25,40	26,15	28,47	30,77
5min/30min	0,34	5	10,59	12,94	14,50	15,99	16,47	17,93	19,37

Intensidade de Precipitação (mm)							
	2	5	10	20	25	50	100
min	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1440	4,50	5,50	6,16	6,79	6,99	7,61	8,23
720	7,42	9,07	10,16	11,20	11,53	12,55	13,57
600	8,46	10,33	11,58	12,77	13,14	14,31	15,47
480	9,92	12,12	13,58	14,98	15,42	16,79	18,15
360	12,18	14,88	16,67	18,38	18,92	20,60	22,27
240	16,20	19,80	22,18	24,47	25,19	27,42	29,64
120	26,10	31,90	35,73	39,41	40,58	44,17	47,75
60	41,00	50,10	56,13	61,91	63,74	69,39	75,00
30	61,69	75,38	84,45	93,14	95,91	104,41	112,84
25	68,01	83,10	93,10	102,69	105,73	115,10	124,40
20	76,12	93,01	104,20	114,93	118,34	128,82	139,23
15	86,97	106,27	119,05	131,31	135,21	147,19	159,08
10	102,39	125,11	140,16	154,59	159,17	173,28	187,28
5	126,39	154,45	173,02	190,84	196,49	213,90	231,19

Transformação							
	2	5	10	20	25	50	100
min	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1440	4,18	5,10	5,72	6,31	6,49	7,07	7,64
720	7,10	8,68	9,72	10,72	11,04	12,02	12,99
600	8,22	10,04	11,25	12,41	12,78	13,91	15,03
480	9,77	11,94	13,38	14,76	15,19	16,54	17,88
360	12,03	14,70	16,47	18,16	18,70	20,36	22,00
240	15,79	19,29	21,61	23,84	24,54	26,72	28,88
120	26,06	31,85	35,68	39,35	40,51	44,11	47,67
60	42,10	51,44	57,63	63,56	65,45	71,25	77,00
30	62,30	76,13	85,29	94,08	96,86	105,45	113,97
25	68,04	83,14	93,14	102,73	105,77	115,15	124,45
20	75,70	92,50	103,63	114,30	117,69	128,12	138,47
15	87,23	106,59	119,41	131,71	135,61	147,62	159,55
10	100,93	123,34	138,17	152,40	156,92	170,82	184,62
5	127,10	155,31	174,00	191,91	197,60	215,11	232,49

Mínimos Quadrados							
Anos	2	5	10	20	25	50	100
	0,10	0,15	0,19	0,24	0,25	0,29	0,35
	0,10	0,15	0,19	0,23	0,24	0,29	0,34
	0,06	0,08	0,11	0,13	0,13	0,16	0,19
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
	0,17	0,26	0,32	0,40	0,41	0,49	0,58
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	1,20	1,80	2,25	2,74	2,91	3,45	4,03
	0,38	0,57	0,71	0,87	0,91	1,08	1,27
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,17	0,26	0,32	0,39	0,42	0,50	0,58
	0,07	0,10	0,13	0,15	0,16	0,19	0,23
	2,11	3,15	3,95	4,80	5,10	6,05	7,05
	0,50	0,75	0,95	1,15	1,23	1,46	1,68
$\Sigma =$	4,92	7,34	9,21	11,21	11,88	14,08	16,45

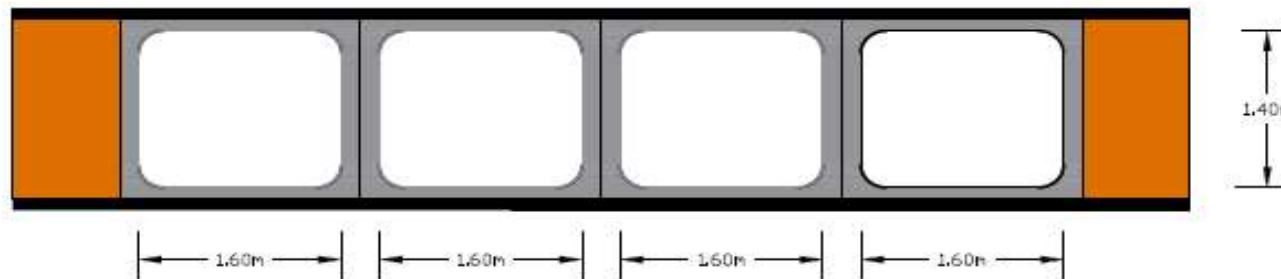
Ajuste para obtenção da equação de chuva - IDF							
Coefficientes	2	5	10	20	25	50	100
k =	863,09	989,68	1055,60	1108,05	1129,10	1173,13	1200,65
a =	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
b =	9,92	9,92	9,92	9,92	9,93	9,93	9,92
c =	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
$R^2 =$	0,9892	0,9862	0,9840	0,9818	0,9811	0,9789	0,9766



ANEXO II – DETALHAMENTO DO BUEIRO RETANGULAR



Vista Longitudinal
Escala 1:100

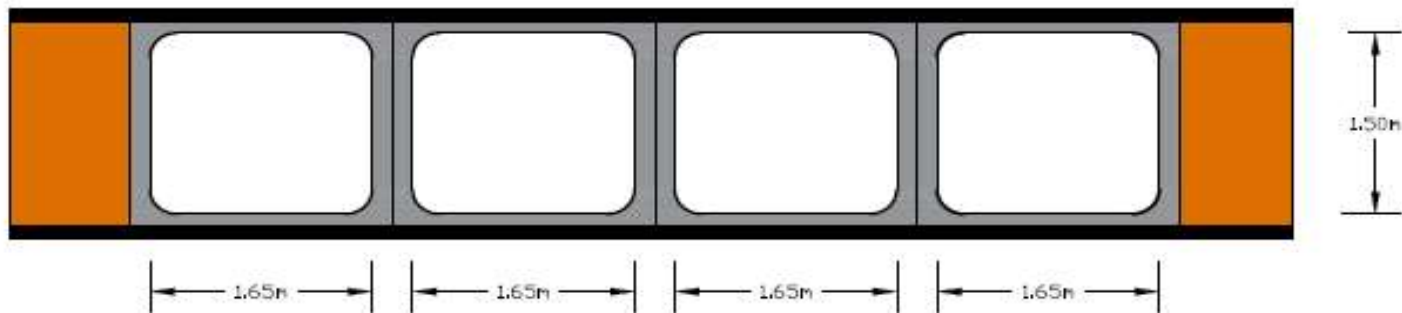


Vista Transversal
Escala 1:50

TÍTULO: Layout - Bueiro Retangular Quadruplo		
ASSUNTO: Trabalho de Conclusão de Curso	ESCALA - VISTA TRANSVERSAL: 1:50	FOLHA: 1/1
ACADEMICO: Benhur de Souza Sanfelici Demori	ESCALA - VISTA LONGITUDINAL: 1:100	DATA: 23/11/2018



Vista Longitudinal
Escala 1:100



Vista Transversal
Escala 1:50

TÍTULO: Layout - Bueiro Retangular Quadruplo		
ASSUNTO: Trabalho de Conclusão de Curso	ESCALA - VISTA TRANSVERSAL: 1:50	FOLHA: 1/1
ACADEMICO: Benhur de Souza Santeloi Demori	ESCALA - VISTA LONGITUDINAL: 1:100	DATA: 23/11/2018