JOÃO CANCIO DA ROCHA NETO
JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

ORIENTAÇÕES HIDROLÓGICAS PARA PROJETOS DE DRENAGEM

Belém-Pará
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS
E DESASTRES NA AMAZÔNIA

Produto Técnico vinculado a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R672i Rocha Neto, João Cancio da.
Impacto da chuva na rede de drenagem urbana: obras do BRT em Ananindeua, Pará / João Cancio da Rocha Neto. — 2022.
108 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2022.

1. Drenagem. 2. Correntes fluviais-medições. 3. Bus rapid transit. 4. Patologias. 5. Ananindeua (PA).

CDD: 627.54098115

MANUAL TÉCNICO

Orientações Hidrológicas para Projetos de Drenagem

JOÃO CANCIO DA ROCHA NETO

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia – PPGGRD

Belém – Pará

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCO E DESASTRE NA AMAZÔNIA

Autoria

JOÃO CANCIO DA ROCHA NETO

Coordenação

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

1ª Edição/abril de 2022

Produto Técnico vinculado a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

APRESENTAÇÃO

Este manual é um produto técnico oriundo da dissertação apresentada pelo discente João Cancio Rocha Neto para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia – PPGGRD, que durante o desenvolvimento desta percebeu a importância do estudo hidrológicos para o dimensionamento de obras de drenagem urbana. Sendo assim este manual visa orientar engenheiros e projetistas para conceber projetos de drenagem urbana que funcionem e evite constantes alagamentos no meio urbano, principalmente nas cidades da Amazônia. Portanto, antes de qualquer projeto de drenagem ou de obras hidráulicas é de suma importância estudo hidrológico para determinar as chuvas e vazões de projetos.

Neste manual é apresentado uma série de orientações para o estudo hidrológico voltados a projetos de drenagem e obras hidráulicas. Sendo assim o segundo capítulo aborda sobre a chuva, principal variável de estudo que envolve drenagem, porém, aqui ela não é tratada do ponto de vista da climatologia, mas da engenharia hidrológica, aborda a sua medição, o conceito de chuvas intensas bem como os métodos de obtenção, além disso, o método de distribuição temporal de chuva. No terceiro capítulo é apresentada a vazão, conceitos e métodos de mensuração desta variável, também aborda modelo chuva-vazão, e o conceito de bacia hidrográfica, principal unidade de gestão de recurso hídricos; ainda no terceiro capítulo é abordado o Hidrograma Unitário. No quarto capítulo é abordado um estudo de caso como exemplo da aplicação do estudo hidrológico. O quinto capítulo são os resultados e discussões do estudo de caso e por fim no sexto capítulo as conclusões do estudo de caso.

O “Manual de Orientações Hidrológicas para Projetos de Drenagem” não tem a pretensão de esclarecer todas as dúvidas a respeito de estudos hidrológicos. Mas, a intenção de apresentar o caminho que deve ser seguido para se conceber um projeto de drenagem duradouro e eficiente.

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 Objetivo geral 12
1.2 Objetivos específicos 12
2 REFERENCIAL TEÓRICO 13
2.1 Sazonalidade de chuvas na região metropolitana de Belém 13
2.2 Chuvas intensas 14
2.3 Modelo de distribuição de chuva de Huff 16
2.4 Modelo Chuva-Vazão NRCS – CN 18
2.5 Bacia hidrográfica 29
2.6 Hidrograma unitário 30
2.7 Drenagem Urbana 39
2.8 Impactos das ações da chuva 42
3 MATERIAIS E MÉTODOS 47
3.1 Delineamento 47
3.2 Área de estudo 47
3.3 Tratamento de dado 48
3.4 Modelagem hidrológica 49
3.5 Análise de patologia estrutural 49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 50
4.1 Análise estrutural das patologias 58
5 CONCLUSÃO 63
REFERÊNCIAS 64
APÊNDICE MANUAL TÉCNICO 71
1 INTRODUÇÃO 6
2 CHUVA 7

2.1 Medição da chuva (precipitação pluvial) 7

2.2 Chuvas Intensas 9

2.3 Equações de Chuvas Intensas 11

2.4 Método de Distribuição de Chuva de Huff 12

3 VAZÃO 16

3.1 Modelo Chuva-Vazão SCS – CN 16

3.2 Bacia Hidrográfica 19

3.3 Hidrograma Unitário 19

3.4 Convolução 24

4 ESTUDO DE CASO 24

4.1 Área de Estudo 24

4.2 Tratamento de Dados 25

4.3 Modelagem Hidrológica 26

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 26

6 CONCLUSÃO 33

7 REFERÊNCIAS 34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma área de captação de um pluviômetro..... 8

Figura 2– Determinação do diâmetro e raio médio da área de captação do pluviômetro..... 8

Figura 3 – Exemplos de Curvas de Intensidade, Duração e Frequência..... 9

Figura 4 – Exemplo de uso da curva IDF para identificar a intensidade da chuva.... 11

Figura 5 – Comparação da chuva observada distribuída e a chuva distribuída de Huff..... 13

Figura 6 – Curvas de probabilidade de excedência de chuva descritas por Huff..... 14

Figura 7 – Imaginando uma bacia hidrográfica como um sistema que transforma um evento de chuva em um hidrograma distribuído no tempo..... 20

Figura 8 – Ilustração do princípio da superposição de hidrogramas..... 21

Figura 9 – Hidrograma unitário adimensional e curva de massa..... 21

Figura 8 – Hidrograma unitário curvilíneo adimensional e hidrograma triangular equivalente..... 23

Figura 9 – Localização da sub-bacia hidrográfica Maguariaçu e o ponto de lançamento da drenagem do BRT..... 26

Figura 10 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos e diversas durações..... 28

Figura 11 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos e diversas durações..... 29

Figura 12 – Vista do Ponto de Lançamento no rio Maguariaçu com o escoamento sem influência de evento de chuva..... 30

Figura 13 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 21/10/2021.... 30

Figura 14 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 09/11/2021.... 31

Figura 15 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 08/12/2021.... 31

Figura 16 – Sub-bacia Maguariaçu com área incremental devido o lançamento da drenagem do BRT no rio Maguariaçu..... 32

Figura 17 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos para a chuva de projeto antes e depois do lançamento da drenagem do projeto BRT..... 33

Figura 18 – Hidrogramas para tempo retorno de 50 anos para a chuva de projeto antes e depois do lançamento da drenagem do projeto BRT..... 33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Intensidade calculadas pela equação de chuvas intensas de Belém.....12

Tabela 2 - Chuva originadas pela equação de chuvas intensas.....12

Tabela 3 - Percentual de chuva acumulada no tempo para a de HUFF 1º quartil com 50% de probabilidade de excedência.....14

Tabela 4 - Relação duração da chuva – quartil- frequência.....15

Tabela 5 - Quartis de distribuição temporal para chuva de 33,25 mm com tempo de 1,83 h....15

Tabela 6 - Valores de CN para a relação de classes de uso e cobertura da terra com os grupos hidrológicos de solo.....18

Tabela 7 - Razões para hidrograma unitário adimensional e curva de massa.....22

Tabela 8 - Chuva originadas pela equação de chuvas intensas.....27

Tabela 9 - Valores dos parâmetros utilizados no modelo hidrológico.....27

Tabela 8 - Chuva originadas pela equação de chuvas intensas.Erro! Indicador não definido.

Tabela 9 - Valores dos parâmetros utilizados no modelo hidrológico.Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano no Brasil trouxe resultados para a sociedade, ocasionando crescimento em fatores como o espaço e a economia, e junto com esse crescimento, foram assumidas novas formas de configurações do tecido urbano em metrópoles e em cidades menores (MARTINS, 2018). Segundo Lanuti et al. (2019), a drenagem no meio urbano é fundamentalmente importante no que se diz respeito a cidade.

Problemas ligados aos alagamentos na área urbana podem ser evitados com um eficiente projeto de drenagem, pois evita problemas que afetam a população. Neste sentido, a ausência de um planejamento adequado de drenagem ocasiona impactos na mobilidade das cidades e geram possíveis doenças através do contato da população com água contaminada (FRAGOSO, 2016).

Muitos problemas de alagamentos podem ser evitados se nos projetos concebidos fossem levadas em consideração as características climáticas e geomorfológicas. Um exemplo e a cidade de Belém-PA, que de acordo com Souza et al. (2019), possui dois períodos específicos de índices pluviométricos, o chuvoso e um menos chuvoso, com variações na primeira e segunda parte do ano (OLIVEIRA et al., 2016), sendo assim características geomorfológicas e climáticas de Belém favorecem os acontecimentos de inundações. De acordo com Pontes et al. (2017), os alagamentos nas áreas de várzea são favorecidos nos períodos de maior valor pluviométrico, associados a urbanização da cidade.

Os lançamentos da rede de drenagem em alguns bairros da região metropolitana de Belém só conseguiram ser efetivadas por meio de obras viárias para facilitar a mobilidade urbana. A implementação do Bus Rapid Transit (BRT) trouxe benefícios de mobilidade urbana, com uma infraestrutura segura, rápida e confortável para o usuário (PREFEITURA DE BELÉM, 2019).

Entretanto, na região metropolitana de Belém do Pará as obras viárias urbanas, a má gestão de resíduos sólidos e o inadequado funcionamento dos sistemas de drenagem, somados ao grande volume pluvial característico da região são, em ação conjunta, a causa dos frequentes pontos de alagamento pelo município, contribuindo para o cenário atual de uma das piores áreas saneadas do país, de acordo com Instituto Trata Brasil (2017).

Desse modo o Manual “Orientações Hidrológicas para Projetos de Drenagem” vem para reforçar a importância dos estudos hidrológicos antes de qualquer concepção e dimensionamento de obras de drenagem, a fim de evitar inundações, alagamentos, rompimentos de barragens, colapso de pontes, entre tantos eventos fortuito que colocam em risco a vida, que poderiam ser evitados.

2 CHUVA

A chuva para a engenharia hidrológica é um evento que inicia todo o ciclo hidrológico, não levando em conta o termo ciclo, mas é porque, de acordo com Tucci (2012), a hidrologia estuda a ocorrência de água em determinados locais, sua circulação, propriedade químicas e físicas, leis e fenômenos interativos que ocorrem entre a água e o meio ambiente. Sendo assim, a chuva ao precipitar sobre a superfície terrestre, parte e interceptada, infiltrada, evaporada, transpirada e escoada.

Portanto, a parte da chuva que interessa para a drenagem urbana é a que escoa, pois esta é a que causa alagamentos e inundações. Entretanto, não é tão simples mensurar a parcela da chuva que gera o escoamento. A chuva pode ser mensurada por diversos instrumentos de medição. Os mais conhecidos são pluviômetros e pluviógrafos, além destes, existem as medições por radar e por satélites. No Brasil existem a rede de medição gerenciada pelo instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que disponibiliza os dados de chuva e outras variáveis meteorológicas que podem ser baixadas no site: https://portal.inmet.gov.br/, e a outra rede é gerenciada pela Agencia Nacional de Água (ANA), que disponibiliza em sua base dados hidrometeorológicos (chuva, vazão, nível d'água, entre outras) por meio do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH) no site: https://www.snirh.gov.br/. Essas bases de informações são importantíssimas, contudo, existem uma série de problemas, principalmente na Amazônia, e um deles é distribuição de estações de medição que são espaças, outro é que muitas estações não têm séries históricas de dados contínuos e muitas já não estão ativas.

Contudo, esses problemas não são exclusivos da Amazônia e do Brasil, como um todo, outros países já passaram ou passam por situações parecidas, assim foram desenvolvidas metodologias e modelagens para suprir a necessidade de dados de chuvas e vazão. Um exemplo de metodologia para suprir a falta de dados de chuva para determinar a Intensidade, Duração e Frequência (IDF), é o uso de função de distribuição probabilidade.

2.1 MEDIÇÃO DA CHUVA (PRECIPITAÇÃO PLUVIAL)

Segundo a Organização Meteorológica Mundial - WMO (2008), a precipitação pode ser definida como o produto líquido ou sólido da condensação do vapor de água que oriundo de alguns tipos de nuvens, sob diversas formas, como: chuva, garoa, neve, grãos de neve, pelotas de neve, granizo e pelotas de gelo.

A unidade padrão de medida da precipitação líquida, geralmente, é o milímetro (volume/área) ou kg/m² (massa/área) quando no estado sólido. Os valores diários de precipitação devem ser lidos com a aproximação de 0,2 mm e, mas se for possível, com a aproximação de 0,1 mm. Os valores das medições semanais ou mensais devem ser lidos com aproximação pelo menos 1 mm.

As medições diárias da precipitação devem ocorrer em horários fixos e comuns a toda a rede de observação ou em intervalos compatíveis com as redes de interesse. No Brasil adotou-se o horário das 12 horas GMT (horário internacional), o que corresponde a 9 horas da manhã (horário de Brasília – fuso horário -3). O horário de verão não é considerado para esse tipo de medição.

A medição da chuva ou da pluviosidade é realizada com um instrumento denominado pluviômetro. O pluviômetro surgiu por volta do ano de 1441, inventado pelo príncipe Munjong, com propósitos de melhorar e controlar a produção agrícola. A inovação nesse invento foi à padronização dos coletores da precipitação e das suas medidas, que dessa forma foi possível realizarem a comparação das medidas em diversas localidades do reino.

Esses instrumentos são relativamente simples, pois são constituídos de um recipiente, com uma área de captação conhecida e uma área interna para armazenar a água precipitada, em um dado intervalo de tempo. Para se realizar a medição em um pluviômetro é necessária a presença de um observador, que dever ir periodicamente coletar o volume de água no interior do instrumento.

O pluviômetro é composto por um corpo cilíndrico, com o fundo afunilado, por onde retira a água através de uma torneira. Em sua parte superior existe uma abertura circular com uma área que varia de 200 cm² a 500 cm², com uma borda bizelada (Figura 01).

Pluviômetros com maiores áreas de captação asseguram uma melhor representatividade da precipitação, no entanto, eles acumulam muito mais água, até mesmo em casos de quantidades pequenas de precipitação, o que irá exigir maiores reservatórios ou uma maior frequência de observações.

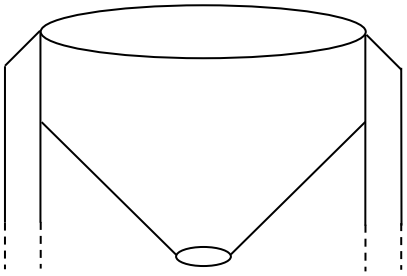


Figura 1 – Esquema de uma área de captação de um pluviômetro.

O pluviômetro deve ter uma secção reta de forma circular, para assegurar idênticas condições de exposições ao vento, independente da sua direção nas vizinhanças imediatas do instrumento. O aro que constitui o bordo do coletor deve ser bastante rígido para reduzir a possibilidade de deformações, o que tornaria o pluviômetro impróprio para uso normal. A superfície interna desse aro é perpendicular ao seu próprio raio; a externa é inclinada, minimizando a ocorrência de respingos para dentro do coletor, também sendo profundo e com o funil apresentando um ângulo de 45º para evitar que respingos internos saiam do equipamento. Na parte inferior do funil deve existir algum anteparo, como uma tela de peneira, que permita a passagem da água e impeça a passagem de detritos trazidos pelo vento e/ou animais.

A área de captação de um pluviômetro deve ser conhecida com erro não superior a 0,05%. Para determinação da área de captação de um pluviômetro será necessário um paquímetro de tamanho adequado (normalmente com 30 cm de abertura ou superior), onde se devem realizar diversas medidas do diâmetro em pontos diferentes na área de captação conforme ilustrado na Figura 02, para se determinar um diâmetro médio e posteriormente um raio médio. Após a determinação do raio médio da área de captação do pluviômetro, devemos utilizar a equação para determinar a área de captação do pluviômetro.

Exemplo:

$$r_{médio} = \frac{(D_1 + D_2 + D_3 + D_4)}{8}$$

Onde D é o diâmetro da área de captação, medidos em 4 pontos distintos.

$$ÁREA_{captação\ do\ Pluviômetro} = \pi . r_{médio}{}^2$$

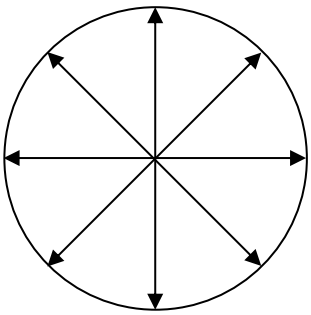


Figura 2 – Determinação do diâmetro e raio médio da área de captação do pluviômetro.

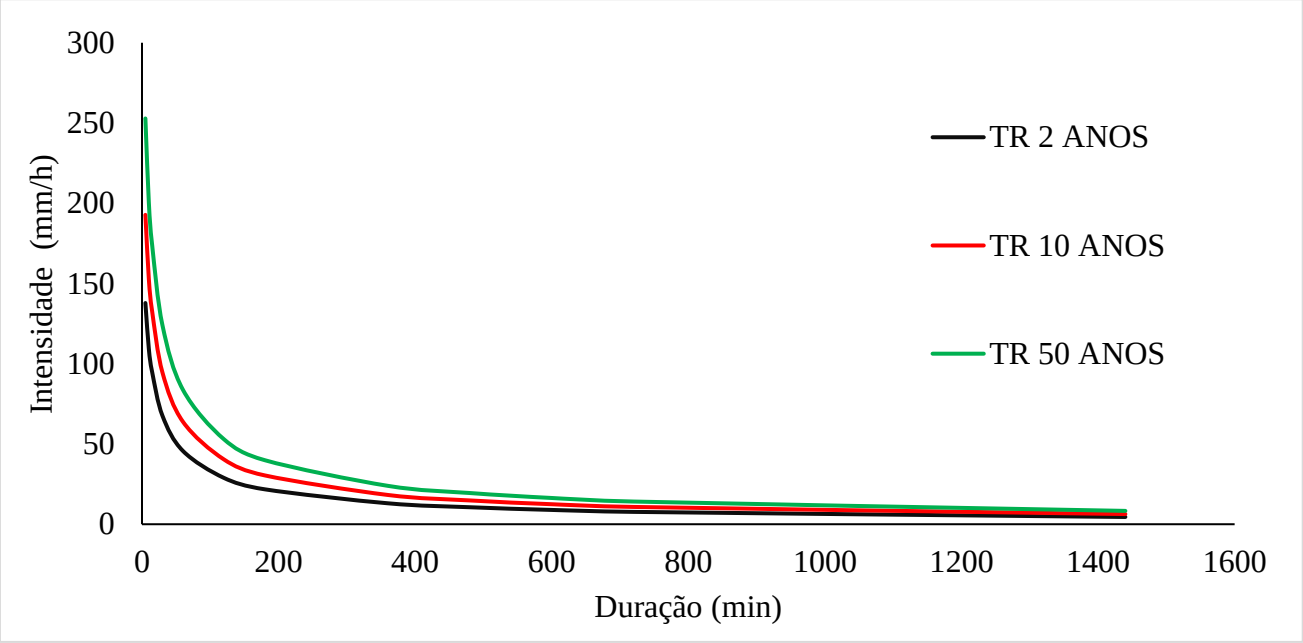
A intensidade da precipitação é dada pela profundidade linear por hora (altura da lâmina de água por hora), geralmente em milímetros por hora (mm/h). A intensidade da chuva é normalmente medida ou derivada em intervalos de um minuto devido à alta variabilidade de intensidade de minuto a minuto.

Segundo a WMO (2014), a precipitação pode ser classificada de acordo com a sua intensidade, onde os eventos de precipitação inferiores a 2,5 mm/h são classificados como leve; eventos de precipitação maiores ou iguais a 2,5 mm/h até valores menores que 10,0 mm/h são classificados como moderados; os eventos de precipitação maiores ou iguais a 10,0 mm/h até valores menores que 50,0 mm/h são classificados como fortes e eventos de precipitação maiores ou iguais a 50 mm/h são classificados como violentos, sendo que os valores da intensidade são baseados em medidas em intervalos de 3 minutos.

2.2 CHUVAS INTENSAS

Chuvas intensas são fenômenos meteorológicos responsáveis pelo escoamento de elevados volumes de água, em curto intervalo de tempo (ARBOIT; MANCUSO; FIOREZE, 2017). Para caracterizar as chuvas intensas, deve-se conhecer a Intensidade, Duração e Frequência (IDF) que podem ser representadas por meio das curvas na Figura 03 ou equações de chuvas intensas (BACK; CADORIN, 2020).

Figura 3 – Exemplos de Curvas de Intensidade, Duração e Frequência.



Fonte: os autores (2022).

Portanto, obras de drenagem urbanas, controle de cheias, barragens de contenção de rejeitos e obras hidráulicas em geral são dimensionadas com base em curvas IDF (CRUZ et. al., 2019). O método tradicional de estabelecimento das equações IDF é baseado na análise de longas séries históricas de dados de chuvas (BACK; CADORIN, 2020), sendo o ideal o uso de no mínimo 30 anos de dados (TUCCI, 1993) coletados em intervalos de 5 minutos, entretanto, há uma grande dificuldade em obter dados de chuva neste intervalo de tempo, sendo assim, utiliza-se dados de chuvas horária ou diárias (RANGEL; HARTWIG, 2017) por meio de metodologias de desagregação da chuva de 24 h. Tais metodologias empregam coeficientes para transformar chuva de 24 h em chuvas de menor duração (SOUZA et. al.,

2012). No caso da utilização dos dados de chuva para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, a magnitude, frequência, duração e a distribuição espacial são características fundamentais. A magnitude é expressa pela intensidade da precipitação, ou seja, a altura de chuva que precipita em um intervalo de tempo, como milímetros por hora (mm/h) ou por minuto (mm/min.). A duração é o tempo do evento chuvoso, e a frequência refere-se a expectativa de ocorrência de intensidades de chuva iguais ou superiores a um dado valor, para uma duração determinada. A distribuição espacial reflete a variação das relações entre a intensidade, a duração e a frequência de uma precipitação de uma localidade para outra (CPRM, 2013). As relações entre intensidade, duração e tempo de retorno das precipitações intensas, devem ser deduzidas a partir das observações de chuvas ocorridas durante um longo período para que seja possível considerar as frequências como probabilidades (DAEE, 2018). Essas relações se traduzirão por uma família de curvas intensidade-duração, uma para cada frequência, ou período de retorno (SÃO PAULO, 2018).

A distribuição de Gumbel (máximos), também denominada Tipo I, Fisher-Tippet tipo I e dupla exponencial, é a distribuição extrema mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes (NAGHETTINI; PINTO, 2007). É um método clássico que consiste em dividir a amostra inicial em subamostras de igual dimensão, concentrando o estudo nos máximos das subamostras. Assim, é possível afirmar que tais amostras são constituídas por realizações independentes e, obviamente, do mesmo fenômeno. Em muitas amostras de natureza ambiental, a subamostra natural é constituída por dados referentes a um longo tempo, por exemplo, 1 ano (MARTINS et. al., 2010). Vários autores têm utilizado a distribuição de Gumbel em estudos de precipitações máximas, seja para determinar a precipitação máxima provável ou o período de recorrência de chuvas máximas ou as curvas IDF, dentre os quais, Silva et. al. (2002) para o estado da Bahia, Souza et. al. (2012) para o estado do Pará, Arboit, Mancuso e Fioreze (2017) para o município de Iraí - RS, Cruz et. al. (2019) para o município de Altamira- PA, Back e Cadorin (2020) para o estado do Amapá.

De acordo com Martins et. al (2010), dados extremos associados a um fenômeno aleatório têm importância primordial quando se pretende inferir sobre a ocorrência e frequência de acontecimentos raros. Desta forma, modelos matemáticos são empregados para descrever eventos naturais de grande magnitude no intuito de prevenir calamidades como enchentes, secas, furacões, entre outros, calculando, por exemplo, a probabilidade da sua ocorrência, bem como o tempo médio que decorre entre duas ocorrências consecutivas. Em geral, o tempo médio que decorre entre duas realizações consecutivas de um acontecimento A se designa por período de retorno de A. Logo, o período de retorno de um acontecimento com probabilidade p é dado por $TR = 1/p$. Portanto, o tempo de retorno (TR) corresponde ao tempo médio necessário (em anos) para que o evento recorra, em um ano qualquer, e é igual ao inverso da probabilidade de que tal evento de referência ocorra. Em hidrologia, o conceito de tempo de retorno é empregado com muita frequência no estudo probabilístico de eventos máximos anuais, tais como enchentes ou alturas diárias de precipitação máximas anuais (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

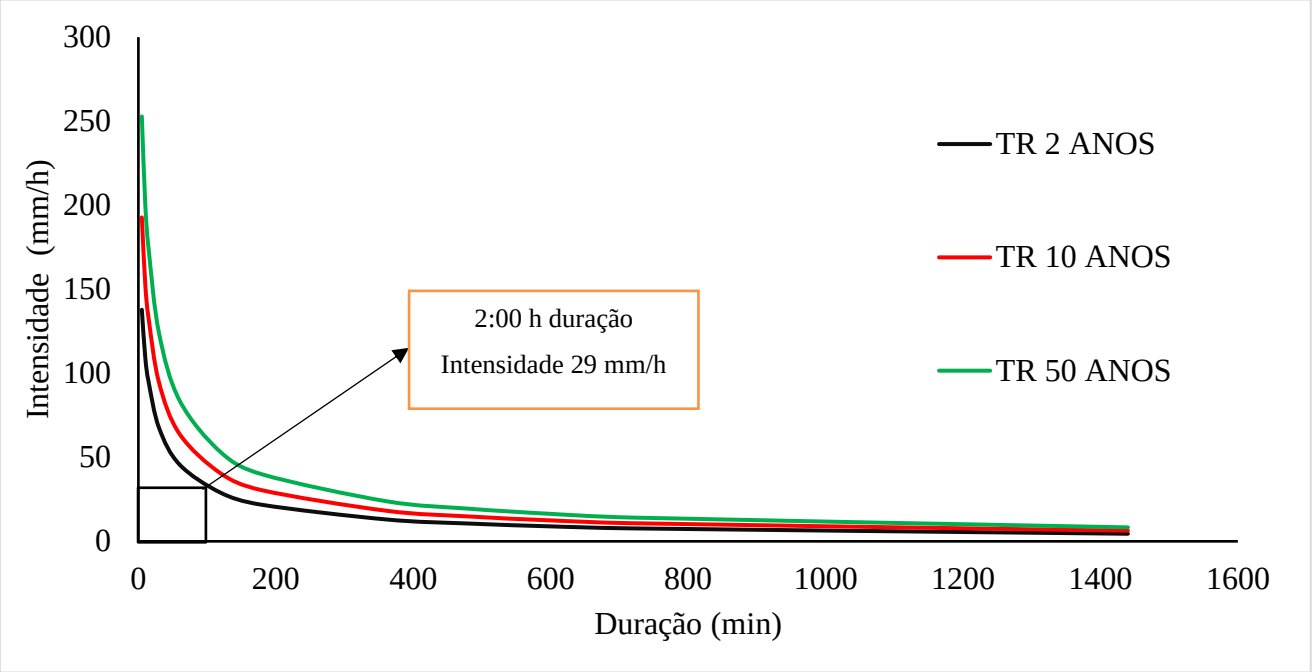
Conforme Righeto (1998) e Santos, Griebeler e Oliveira (2010), em áreas urbanas, chuvas intensas provocam cheias nos sistemas de drenagem naturais e causam picos de escoamento nas galerias pluviais, sendo seu estudo fundamental para a determinação da chuva de projeto para esses sistemas. No meio rural, conhecer as características das chuvas intensas é fundamental, uma vez que a sua intensidade é fator expressivo no processo de erosão do solo (REYES et. al., 1993), apresentando elevado potencial de redução na sua

capacidade produtiva e comprometendo os recursos hídricos superficiais (MELLO et. al., 2007), desta forma a obtenção de dados de precipitações intensas é necessária para o dimensionamento de sistemas de drenagem e obras de controle de erosão como terraços e canais escoadouros (BACK; CADORIN, 2020).

Nesse sentido, Cruciani et al. (2002) citado por Santos, Griebeler e Oliveira (2010), afirma que conhecer o modelo de distribuição temporal de chuvas intensas de uma localidade torna mais realista a previsão hidrológica em projetos de engenharia em áreas rurais e urbanas, permitindo a caracterização e a quantificação, com maior precisão, do escoamento superficial, o que pode ser efetuado pela aplicação de métodos de análise de hidrógrafas, como o conhecido método do *Soil Conservation Service - SCS*, atualmente conhecido como *Natural Resources Conservation Service - NRCS*.

o uso da curva IDF para determinar as chuvas intensas é bastante simples, basta passar uma linha vertical partindo do eixo horizontal até tocar a curva, e a partir desse ponto traçar uma linha horizontal até tocar o eixo vertical da intensidade de chuva, conforme apresentado na Figura 04.

Figura 4 - Exemplo de uso da curva IDF para identificar a intensidade da chuva



Fonte: os autores (2022).

Embora seja simples de definir a chuva intensa pela curva IDF, a sua produção é bastante trabalhosa para ser traçadas por leigos, o que inclui a disponibilidade de dados e o conhecimento de estatística.

2.3 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS

O uso de equações de chuva intensas é de uso simples, basta inserir a duração da chuva em minutos e o tempo de retorno em anos, no Brasil existem equações de chuva para todas as capitais e algumas outras cidades, um estudo sobre equações de chuvas no Pará foi feito por Souza et al. (2012), em que foi disponibilizado as constantes de ajuste locais para várias cidades do estado.

A forma de expressão mais utilizado para a equação de chuvas intensas segue o modelo apresentado na Equação 1:

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

em que:

i - intensidade média da precipitação intensa, mm h^{-1};

t - Duração da precipitação, min;

T - Período de retorno, anos; e

k, a, b, c são constantes de ajuste locais.

Um exemplo é a equação de chuva intensas de Belém, já incluídos as suas constantes de ajuste locais é a Equação 2:

$$i = \frac{1100{,}7\ (TR^{0{,}1292})}{(d+10)^{0{,}742}} \quad (2)$$

Na Tabela 1, observar-se que as chuvas de maiores durações são menos intensas que as chuvas de curta durações.

Tabela 9 - Intensidade calculadas pela equação de chuvas intensas de Belém.

	Tempo de Duração (h)			
Tempo de retorno	2:00	3:00	4:00	5:00
10 anos	40,24 mm/h	30,20 mm/h	24,64 mm/h	20,01 mm/h
50 anos	49,27 mm/h	37,18 mm/h	30,33 mm/h	25,86 mm/h

Fonte: Autor (2022).

Com as intensidades de chuva, é possível saber qual o volume de chuva precipitado para cada duração, basta multiplicar a intensidade pela duração da chuva. Conforme o resultado apresentado na Tabela 2.

Tabela 10 -Chuva originadas pela equação de chuvas intensas.

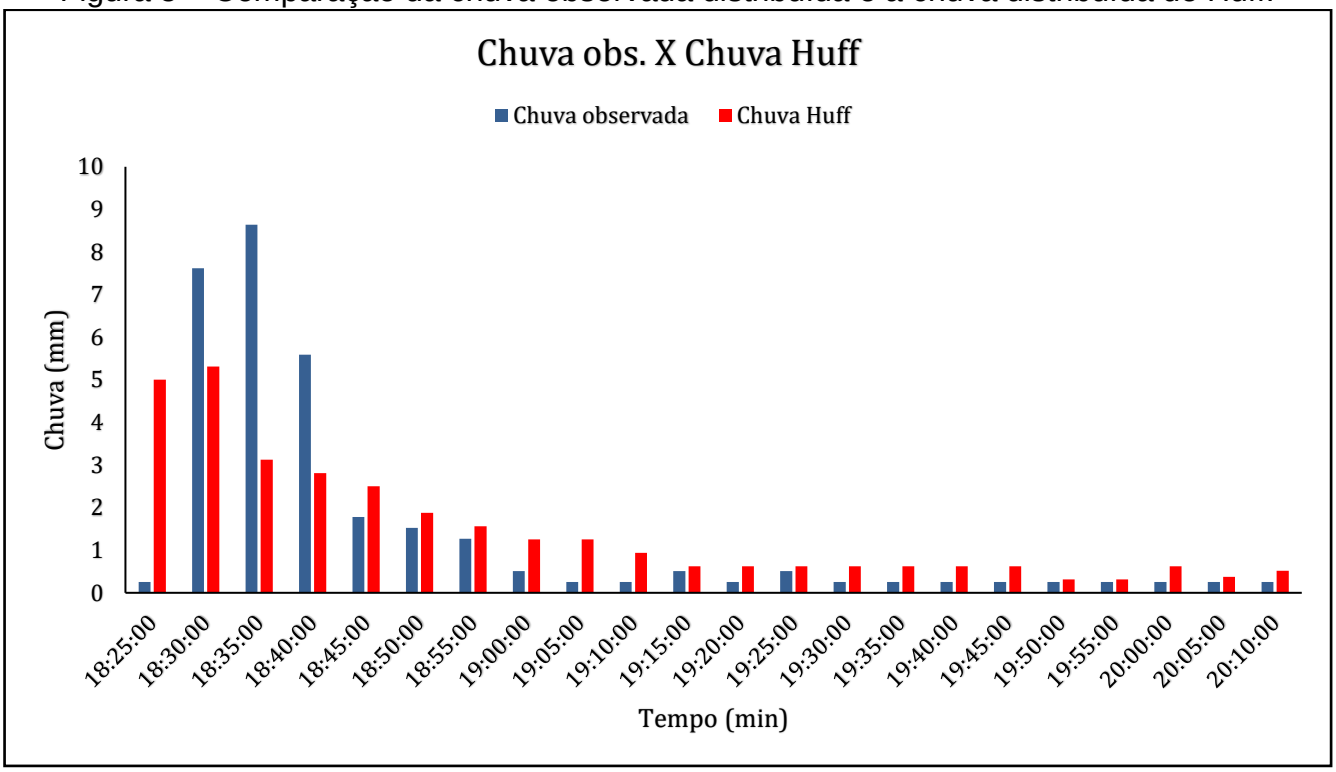
	Tempo de Duração (h)			
Tempo de retorno	2:00	3:00	4:00	5:00
10 anos	80,05 mm	90,61 mm	98,55 mm	100,05 mm
50 anos	98,55 mm	111,55 mm	121,33 mm	129,29 mm

Fonte: Autor (2022).

2.4 MÉTODO DE DISTRIBUIÇÃO DE CHUVA DE HUFF

Com o volume de chuva disponível, necessário distribuir a mesma temporalmente. Existem muitos métodos de distribuição temporal de chuva (Chicago, Yen e Chow, Blocos Alternados, entre outros), cabendo ao hidrólogo definir qual o método que mais se aproxima da distribuição real, porém aqui, é apresentado o método de distribuição temporal de Huff dada sua semelhança com a distribuição de chuvas da região metropolitana de Belém. A Figura 05 apresenta a comparação entre a distribuição temporal da chuva observada e a distribuição de Huff.

Figura 5 – Comparação da chuva observada distribuída e a chuva distribuída de Huff.

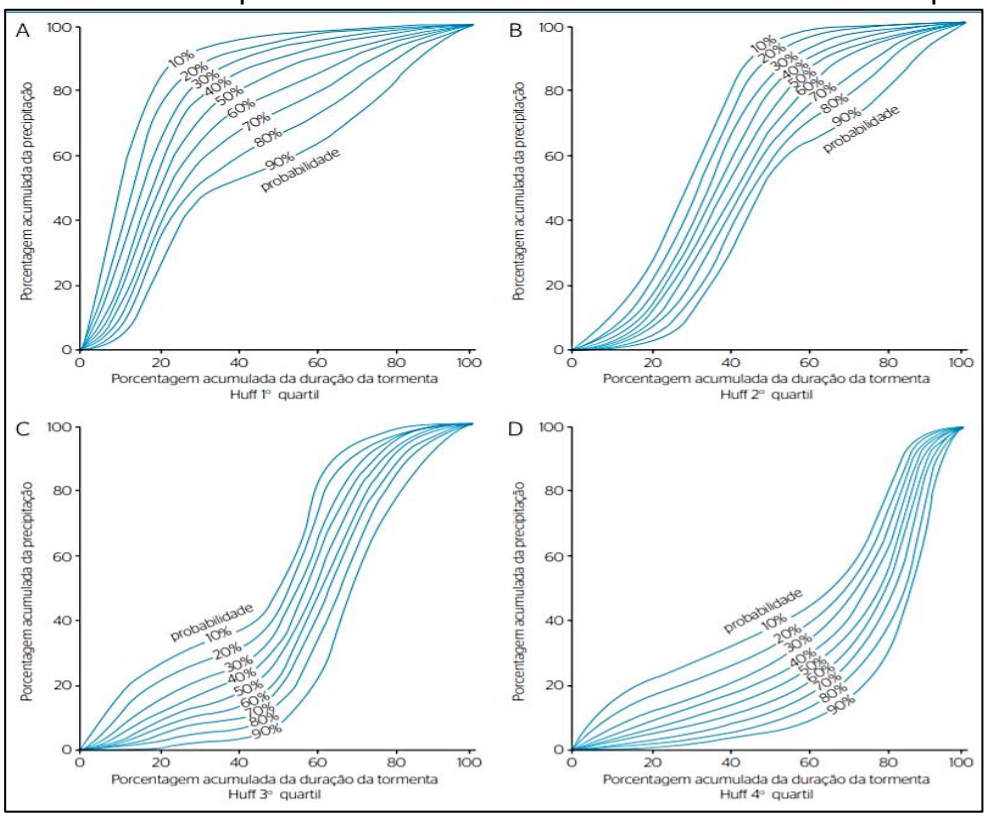


Fonte: Autor (2022).

A chuva utilizada para esta comparação ocorreu no dia 13/05/2021, sendo igual a 33, 25 mm com 110 minutos de duração (1,83 h). Foi mensurada por uma estação automática instalada próximo ao ponto de lançamento de drenagem do estudo de caso, que é apresentado no capítulo 4. Como pode ser observado, os maiores volumes de chuva acontecem nos primeiros minutos, tanto para a chuva observada como para a chuva de Huff.

O método de Huff (1967) divide as precipitações em quatro grupos (quartis), com durações de quatro partes iguais para cada, onde uma precipitação isolada é definida como a chuva intensa, separada da precipitação que a antecede por um intervalo de seis horas ou mais. O valor chuva média da rede de 45 postos pluviométricos foi adotado como critério de classificação e apenas as precipitações que excederam 13 mm foram adotadas no estudo, sendo estas classificadas e agrupadas de acordo com o quartil em que a chuva mais intensa ocorreu. As distribuições temporais são expressas em termos de probabilidade devido à grande variabilidade existente. Para os dados de chuva de cada quartil, tem-se uma análise estatística para a obtenção das curvas adimensionais de distribuição temporal, associadas a uma probabilidade de excedência (probabilidade de a chuva exceder a curva adimensional de distribuição temporal no respectivo quartil) apresentadas na Figura 06. Essa subdivisão foi efetuada de acordo com a localização do pico da precipitação em cada um dos quatro quartis (ABREU; SOBRINHA; BRANDÃO, 2017).

Figura 6 – Curvas de probabilidade de excedência de chuva descritas por Huff.



Fonte: Abreu, Sobrinha e Brandão (2017).

Utilizando o gráfico de distribuição temporal de chuvas do primeiro quartil pelo método de Huff (Figura 6A) é possível estabelecer, para cada percentual de duração de chuva, o percentual de chuva acumulada total e o percentual de chuva acumulado por intervalo de tempo. Na Tabela 1 é apresentada uma chuva com duração de uma hora em que o hietograma de projeto se enquadra no primeiro quartil com 50% de probabilidade de excedência (Figura 6A).

Tabela 11 - Percentual de chuva acumulada no tempo para a distribuição de HUFF 1º quartil com 50% de probabilidade de excedência.

Δt (min)	**% de duração**	**% acumulada de chuva**	**% no intervalo**
12	20	50	50
24	40	78	28
36	60	88	10
48	80	95	7
60	100	100	5
Total			100

Fonte: Tucci (1995) *apud* Abreu, Sobrinha e Brandão (2017).

Ao observar as durações das chuvas e seus respectivos quartis, obtêm-se as frequências associadas a essas chuvas, conforme Tabela 2, observa-se que as precipitações intensas de curta duração (menor do que 12 horas), normalmente de maior interesse para os projetos de drenagem urbana, foram classificadas com maior frequência entre o 1º e o 2º quartil; além disso, 66% das chuvas analisadas enquadraram-se no 1º ou no 2º quartil, com duração menor do que 12 horas (ABREU; SOBRINHA; BRANDÃO, 2017).

Tabela 12 - Relação duração da chuva – quartil- frequência.

Duração da chuva (horas)	Quartil	Frequência (%)
Menor do que 12	1º	30
Menor do que 12	2º	36
Entre 12 e 24	3º	19
Maior do que 24	4º	15

Fonte: Adaptado de Tucci (1995) e Canholi (2005) *apud* Abreu, Sobrinha e Brandão (2017).

A forma mais simples de utilizar o método de Huff é utilizando a tabelas de quartis por meio de planilha eletrônica onde é possível executar os cálculos rapidamente, a primeira coluna é preenchida com o percentual do tempo de duração até igual a unidade (exemplo: segunda linha, 5 % do tempo, e assim sucessivamente), da segunda a quinta coluna são os quartis tabelados por Huff (1967), a quinta coluna é preenchida multiplicando o tempo de duração da chuva pelo percentual do tempo (exemplo: segunda linha, 0,05 x 1,83 h = 0,0915, e assim por diante), a sexta coluna é preenchida multiplicando o volume de chuva pelo valor do quartil, no exemplo aqui dado é utilizado o 1° quartil (exemplo: segunda linha, 33,25 x 0,16 = 5,00, e assim por diante), e por fim o preenchimento da última coluna, que a variação da precipitação (exemplo: segunda linha, 5 – 0 = 5; terceira linha , 10,313 – 5 = 5,31, e assim, até o preenchimento de toda as colunas). A Tabela 5 apresenta a distribuição de Huff para a chuva utilizada na comparação da chuva observada com a chuva de Huff, que foi apresentada na Figura 3.

Tabela 13 - Quartis de distribuição temporal para chuva de 33,25 mm com tempo de 1,83 h.

%Tempo	1° Quartil	2° Quartil	3° Quartil	4° Quartil	t	P	ΔP
0	0	0	0	0	0	0	0,00
0,05	0,16	0,03	0,03	0,02	0,0915	5,00	5,00
0,1	0,33	0,08	0,06	0,05	0,183	10,31	5,31
0,15	0,43	0,12	0,09	0,08	0,2745	13,43	3,13
0,2	0,52	0,16	0,12	0,1	0,366	16,25	2,81
0,25	0,6	0,22	0,15	0,13	0,4575	18,75	2,50
0,3	0,66	0,29	0,19	0,16	0,549	20,63	1,88
0,35	0,71	0,39	0,23	0,19	0,6405	22,19	1,56
0,4	0,75	0,51	0,27	0,22	0,732	23,44	1,25
0,45	0,79	0,62	0,32	0,25	0,8235	24,69	1,25
0,5	0,82	0,7	0,38	0,28	0,915	25,63	0,94
0,55	0,84	0,76	0,45	0,32	1,0065	26,25	0,63
0,6	0,86	0,81	0,57	0,35	1,098	26,88	0,63
0,65	0,88	0,85	0,7	0,39	1,1895	27,50	0,63
0,7	0,9	0,88	0,79	0,45	1,281	28,13	0,63
0,75	0,92	0,91	0,85	0,51	1,3725	28,75	0,63
0,8	0,94	0,93	0,89	0,59	1,464	29,38	0,63
0,85	0,96	0,95	0,92	0,72	1,5555	30,00	0,63
0,9	0,97	0,97	0,95	0,84	1,647	30,31	0,31
0,95	0,98	0,99	0,97	0,92	1,7385	30,63	0,31
1	1	1	1	1	1,83	31,25	0,63

Fonte: Adaptado de Huff (1967).

3 **VAZÃO**

A vazão é definida como o volume de água que passa em uma determinada seção, quando se tem uma área regular, como a de uma determinada tubulação, é fácil calcular a vazão que passa ao longo do tempo. Contudo, quando a vazão tem que ser calculada em rios, torna-se difícil, pois demanda tempo, equipamentos, recursos humanos qualificados e custos elevados. Isso porque a vazão é calculada por mensuração da velocidade e esta varia no tempo e no espaço, sendo assim, tem que mensurar a velocidade em várias partes e profundidades da seção transversal do rio. Quando a seção transversal do rio não é muito larga e nem muito profunda, é possível utilizar o molinete, caso contrário utiliza-se ADCP. A equação que é utilizada para calcular a vazão é apresentada na Equação 3.

$$Q = \frac{A}{v} \tag{3}$$

Em que:

Q é a vazão em m^3/s;

A é a área da seção transversal em m^2;

v é a velocidade de fluxo do rio em m/s.

os dados de vazões estão disponíveis para muitos rios no SNIRH, contudo, a rede de medição não é o suficiente para quantidade de rios que existem na Amazônia, além disso as medições só estão disponíveis para os principais rios, sendo assim, é comum o uso de modelos hidrológicos chuva-vazão. Neste manual é apresentado o modelo SCS-CN

3.1 MODELO CHUVA-VAZÃO SCS – CN

Um dos caminhos que permitem conhecer a vazão de projeto quando não se tem dados históricos de vazão ou mesmo quando se apresentam em menor quantidade, é fazer um estudo de chuvas intensas da região (GARCIA et. al., 2011).

A relação funcional mais empregada para estimação do escoamento superficial em bacias não monitoradas é o método da Curva Número (CN) (CUNHA et. al., 2015). O valor da curva-número (CN) é um parâmetro empírico usado na determinação do escoamento superficial direto a partir dos excessos de precipitações, sendo dependente das mudanças de uso e cobertura da superfície (NAGEL et. al., 2020). Esse modelo chuva-vazão é largamente aceito por sua simplicidade, número limitado de parâmetros e autoridade da instituição de origem (PONCE; HAWKINS, 1996).

De acordo com o *United States Department of Agriculture* – USDA (1972) e Ponce e Hawkins (1996), o método da Curva Número (CN) foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) atualmente conhecido como *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), cujo principal objetivo era a segurança de projetos de estruturas de controle de água. Esse método se relaciona diretamente com o tipo de solo da bacia hidrográfica, suas coberturas e condições de umidade por meio da classe hidrológica do solo e da curva número, respectivamente, para converter dados de precipitação em volumes de escoamento (MARQUES; VICENTE; LIMA, 2016; USDA, 1972).

O modelo basicamente consiste em duas partes básica:

1) Definir a chuva efetiva, que é a parcela da chuva se transforma em escoamento superficial;

2)Transformar a chuva efetiva em vazão utilizando o método do hidrograma unitário.

Chuva efetiva ou escoamento superficial.

O USDA descreve o método NRCS-CN em *National Engineering Handbook* (2004), onde é estabelecida a relação explicitada na Equação 1 a seguir.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad P > Ia \tag{4}$$

$Q = 0 \qquad P \leq I_a$

Q = é o escoamento direto, em mm;

P = precipitação, em mm;

S = retenção máxima potencial, em mm;

I_a = perda inicial, em mm.

De acordo com Cunha et. al. (2015), o método do CN assume que, em uma dada bacia, ao longo da duração de um episódio de chuva, são iguais o quociente do volume instantâneo de escoamento direto (Q) pelo volume total de chuva (P) e o quociente do volume de infiltração (F), acumulado até aquele instante, pela retenção máxima potencial (S). Tal relação é explicitada na Equação 5 a seguir:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \tag{5}$$

Para satisfazer a conservação de massa, tem-se:

$$F = P - Q \tag{6}$$

Ao substituir a Equação 3 na Equação 2, obtêm-se:

$$\frac{P - Q}{S} = \frac{Q}{P} \tag{7}$$

E resolvendo para Q, resulta em:

$$Q = \frac{P^2}{P + S} \tag{8}$$

Esta é a relação chuva-vazão em que a Perda Inicial (I_a) é igual a zero. Esta perda corresponde a todas as perdas antes do escoamento. Inclui água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação e infiltração. É altamente variável, mas geralmente é correlacionada com os parâmetros de solo e uso e cobertura da terra (USDA, 1986).

Quando a perda inicial não é zero, a quantidade de chuva disponível para escoamento é $P - I_a$ em vez de P. Substituindo $P - I_a$ por P na equação 5 resulta em:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \tag{9}$$

Onde: $F \leq S$; $Q \leq P - I_a$

A retenção total para uma tempestade consiste em I_a e F, então a conservação da equação de massa pode ser expressa da seguinte forma.

$$F = (P - Ia) - Q \tag{10}$$

Substituindo o valor de F da equação 10 na equação 9, tem-se que:

$$\frac{(P - Ia) - Q}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \tag{11}$$

Resolvendo o escoamento total, Q, resulta na equação do escoamento.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - I_a) + S} \quad (12)$$

Esta é a relação chuva-vazão com a perda inicial explicitamente levada em consideração. Esta perda pode ser determinada a partir de eventos observados de chuva-vazão para pequenas bacias hidrográficas, onde o atraso é mínimo, como a chuva que ocorre antes do início do escoamento. A interceptação e o armazenamento da depressão da superfície podem ser estimados a partir das condições de cobertura e superfície, mas a infiltração durante a parte inicial da chuva é altamente variável e dependente de fatores como intensidade da chuva, formação de crostas de solo e umidade do solo.

A perda inicial é considerada uma função da retenção potencial máxima, S. Assim, uma relação empírica entre I_a e S foi expressa como:

$$Ia = 0{,}2S \quad (13)$$

Ao remover Ia como um parâmetro independente, esta aproximação permite o uso de uma combinação de S e P para produzir um valor de escoamento único. Logo, substituindo a Equação 13 na Equação 12, obtêm-se a Equação 14.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad P > Ia \quad (14)$$

A retenção máxima potencial (S) pode ser calculada utilizando a Equação 15. De acordo com Mota (2016), a retenção potencial máxima se refere às perdas por infiltração contínua na bacia hidrográfica. Nela, à medida que o CN varia entre 0 e 100, a retenção variará entre 0 a ∞, respectivamente. No entanto, quando o CN ponderado for inferior a 40, deve-se usar outro procedimento para determinar o escoamento. Desta forma, S varia inversamente com o escoamento, logo S = 0 indica que todo o volume precipitado será escoado superficialmente e S = ∞ indica que todo o volume precipitado infiltra na bacia.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (15)$$

O CN é um parâmetro adimensional, que traz consigo as informações de cobertura e uso da terra atrelada a capacidade de infiltração do solo. O CN pode ser definido cruzando as informações de uso e cobertura da terra com os tipos de solo, que foram agrupados em grupos hidrológicos de solo. Solos do grupo A tem maior capacidade de infiltração do que os solos dos outros grupos, solos do grupo B tem menor capacidade de infiltração do que o A e maior do que C, e assim sucessivamente. Atualmente a definição do valor de CN ficou facilitada com o uso de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Um estudo, usando esta metodologia, feito por Cruz, Blanco e Oliveira Junior (2021) determinou o CN para bacia hidrográfica da Amazônia e bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. Estes autores usaram a Tabela 6 para definir os valores CN.

Tabela 14 - Valores de CN para a relação de classes de uso e cobertura da terra com os grupos hidrológicos de solo.

LULC	Grupos Hidrológicos de Solo			
	A	B	C	D
Floresta	30	55	70	77
Savana	72	80	87	93
Campos	39	61	74	80
Pastagem	36	60	73	79
Agricultura	64	78	84	93
Área Urbana	80	85	90	95
Água	100	100	100	100

Fonte: Cruz, Blanco e Oliveira Junior (2021).

Em uma bacia hidrográfica pode existir diversos valores de CN, sendo assim, faz-se uma média ponderada do CN ($\overline{CN}$) sendo o peso, o tamanho área em que cada valor de CN se encontra. Conforme é apresentado na Equação 16.

$$\overline{CN} = \frac{CN_1A_1+CN_2A_2+CN_3A_3}{A_1+A_2+A_3} \quad (16)$$

3.2 Bacia Hidrográfica

De acordo com Collischonn e Tassi (2008), a bacia hidrográfica é entendida como a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.

Porém, para além do aspecto hidrológico, Porto e Porto (2008) definem bacia hidrográfica como o território em que se desenvolvem todas as atividades humanas, seja em áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema (PORTO e PORTO, 2008). O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem. Nesse sentido, a bacia hidrográfica é entendida como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento territorial. Do ponto de vista do planejador direcionado à conservação dos recursos naturais, o conceito tem sido ampliado, envolvendo o conhecimento da estrutura biofísica da bacia hidrográfica, bem como das mudanças nos padrões de uso da terra e suas implicações ambientais (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

A introdução de variáveis ambientais no planejamento urbano promoveu a inclusão de novas alternativas de gerenciamento e/ou avaliação do uso e ocupação do solo, destacando-se entre elas, a gestão por bacia hidrográfica (SCHUSSEL; NASCIMENTO, 2015). Conforme destaca Bevilacqua (2012), adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento implica reconhecer que é sobre este recorte espacial que as ações antrópicas e as degradações decorrentes refletem seu efeito (SCHUSSEL; NASCIMENTO, 2015). Portanto, é importante para qualquer projeto de infraestrutura urbana que envolva o manejo de recursos hídricos conhecer a bacia hidrográfica em que este esteja inserido.

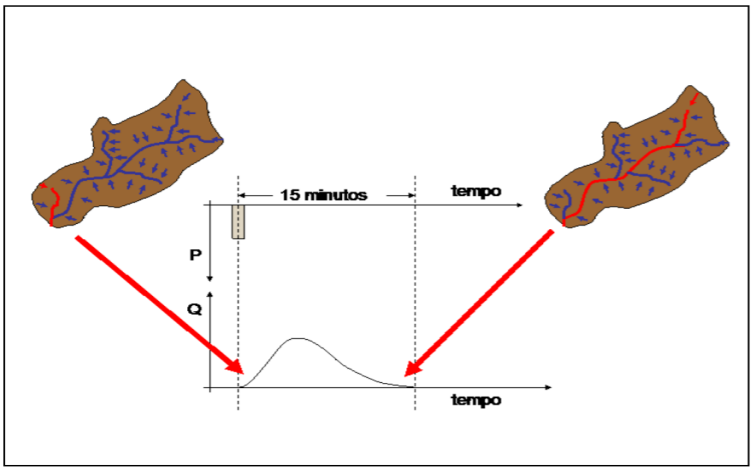
SNIRH disponibiliza os arquivos shapefile delimitando as bacias hidrográficas até o 6 nível hierárquico. Contudo, quando a bacia hidrográfica é menor do que a bacia hidrográfica de 6 nível, é preciso delimitar o perímetro da bacia hidrográfica. Essa é outra tarefa que ficou facilitada com o uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento, sendo assim, qualquer profissional, que entenda o mínimo de geoprocessamento, pode delimitar a bacia hidrográfica a partir de uma Modelo Digital de Elevação (DEM).

3.3 HIDROGRAMA UNITÁRIO

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, cuja entrada é o volume de água precipitado e cuja saída é o volume de água escoado pelo exutório. Entretanto, esse é um sistema aberto, já que nem toda a precipitação se torna escoamento no exutório ou fica armazenada na própria bacia (PAZ, 2004). Esse processo envolve modificações no volume total da água, uma vez que a chuva se divide em uma parte que infiltra no solo e outra que escoa superficialmente. A fração da chuva ocorrida num evento que gera escoamento superficial é conhecida como chuva efetiva, responsável pelo crescimento rápido da vazão de um rio durante e após uma chuva (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Em particular, se imaginamos um pulso de chuva de curta duração, a bacia hidrográfica é um sistema que transforma uma entrada quase imediata em uma saída distribuída ao longo do tempo, como mostrado na Figura 07. A figura mostra um gráfico de vazão (hidrograma) resultante de uma chuva efetiva na bacia. Este hidrograma corresponde a medições realizadas na saída (exutório) da bacia. Imediatamente após, e mesmo durante a ocorrência da chuva a vazão começa a aumentar, refletindo a chegada da água que começou a escoar na região mais próxima do exutório. Após algum tempo é atingido o valor máximo e, finalmente, inicia uma recessão, quando a água da chuva efetiva gerada na região mais distante da bacia atinge o exutório. No final da recessão o escoamento superficial cessa (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Figura 7 - Imaginando uma bacia hidrográfica como um sistema que transforma um evento de chuva em um hidrograma distribuído no tempo.



Fonte: Collischonn e Tassi (2008).

Aspectos como forma, área, relevo e rede de drenagem têm grande influência na forma do hidrograma, sendo assim, uma bacia com formato arredondado tende a apresentar o pico do hidrograma maior do que o de uma bacia de formato mais alongado, considerando semelhantes as demais condições. Nesse sentido, uma bacia com maiores declividades do terreno também está sujeita a maiores cheias (hidrogramas mais acentuados) do que aquelas mais planas (PAZ, 2004).

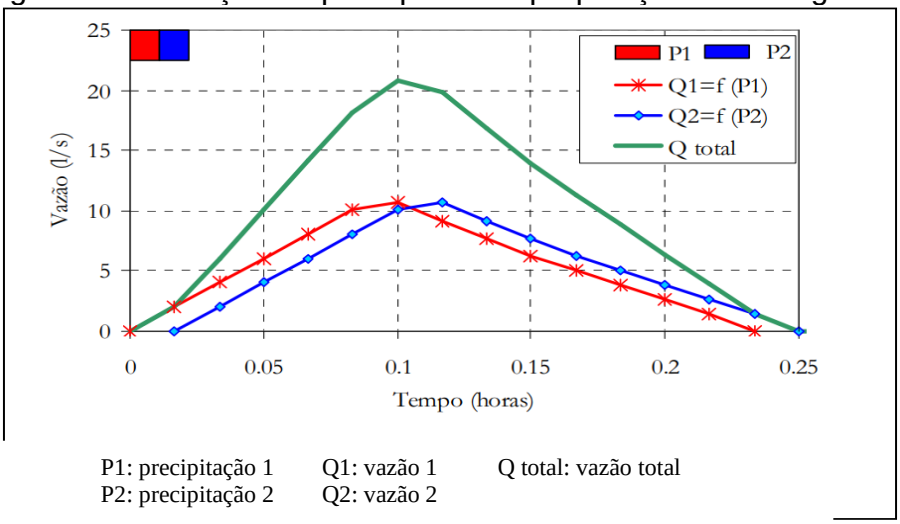
O Hidrograma Unitário (HU) representa o hidrograma de escoamento superficial correspondente a precipitação efetiva unitária (de 1mm ou 1 cm) de intensidade constante distribuída uniformemente sobre a área de drenagem. Esta teoria é baseada no princípio da proporcionalidade, de forma que a vazão varia diretamente com o volume do escoamento superficial, desta forma, considera-se que as ordenadas dos hidrogramas serão proporcionais à intensidade da chuva efetiva (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

O HU é um modelo linear concentrado simples, utilizado como função de transferência de uma bacia hidrográfica para gerar hidrogramas de cheias correspondentes a precipitações efetivas de quaisquer magnitudes e durações (PINHEIRO, 2011 *apud* CUNHA et.al., 2015). Com base no método desenvolvido pelo USDA (2007), o hidrograma unitário pode ser construído por meio da adoção de princípios, critérios e parâmetros conforme descrito nos parágrafos seguintes.

A teoria do hidrograma unitário considera que a bacia hidrográfica possui um comportamento linear, logo para a construção do hidrograma podem ser aplicados: o Princípio da Invariância, onde o hidrograma de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica resultante de um dado padrão de precipitação é constante; e o Princípio da Superposição que,

de acordo com Collischonn e Tassi (2008), considera que as vazões de um hidrograma de escoamento superficial, produzidas por chuvas efetivas sucessivas, podem ser encontradas somando as vazões dos hidrogramas de escoamento superficial correspondentes às chuvas efetivas individuais, como mostra a Figura 08; também inclui o princípio da proporcionalidade pelo qual as ordenadas do hidrograma são proporcionais ao volume de excesso de chuva (USDA, 2007).

Figura 8 - Ilustração do princípio da superposição de hidrogramas.

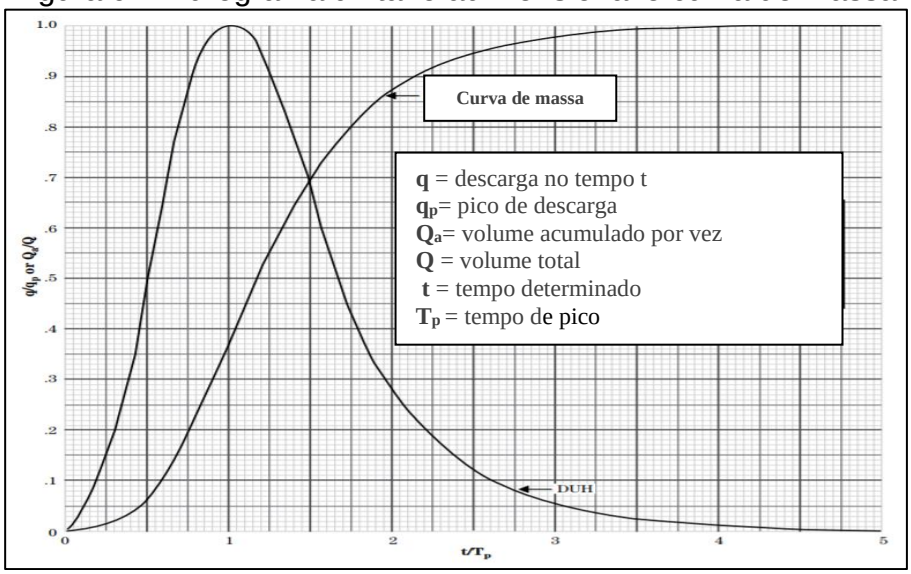


P1: precipitação 1 Q1: vazão 1 Q total: vazão total
P2: precipitação 2 Q2: vazão 2

Fonte: Collischonn e Tassi, (2008).

A unidade de tempo ou duração do hidrograma unitário é a duração de ocorrência do excesso de precipitação. O tempo ideal da unidade é inferior a 20% do intervalo de tempo entre o início do escoamento de uma chuva de curta duração e alta intensidade e o pico de descarga do escoamento correspondente. A duração da chuva é a duração real do excesso de precipitação. A duração varia de acordo com as chuvas reais. O hidrograma unitário adimensional usado pelo NRCS foi desenvolvido por Victor Mockus (1957), como descrito na Figura 09. Ele foi derivado de muitos hidrogramas unitários naturais de bacias hidrográficas que variam amplamente em tamanho e localizações geográficas (USDA, 2007).

Figura 9 - Hidrograma unitário adimensional e curva de massa.



Fonte: USDA (2007).

Este hidrograma curvilíneo adimensional tem seus valores de ordenadas expressos em uma razão adimensional q/q_p ou Q_a/Q e seus valores de abcissas como t/T_p (Tabela 8)

tendo um ponto de inflexão aproximadamente 1,7 vezes o tempo para atingir o pico (T_p) (USDA,2007).

Tabela 15 - Razões para hidrograma unitário adimensional e curva de massa.

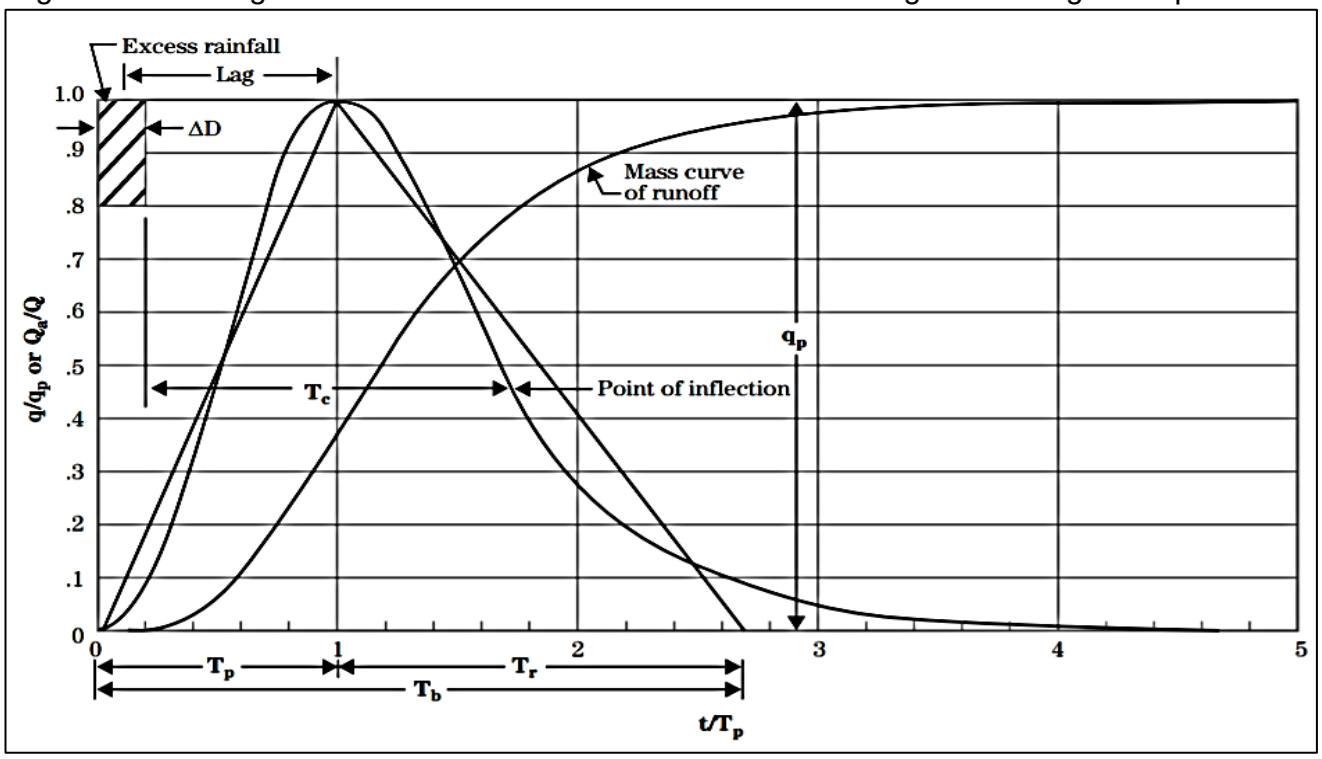
Razão de Tempo (t/T_p)	Razão de descarga (q/q_p)	Razão de curva de massa (Q_a/Q)
0	0,000	0,000
0,1	0,030	0,001
0,2	0,100	0,006
0,3	0,190	0,017
0,4	0,310	0,035
0,5	0,470	0,065
0,6	0,660	0,107
0,7	0,820	0,163
0,8	0,930	0,228
0,9	0,990	0,300
1,0	1,000	0,375
1,1	0,990	0,450
1,2	0,930	0,522
1,3	0,860	0,589
1,4	0,780	0,650
1,5	0,680	0,705
1,6	0,560	0,751
1,7	0,460	0,790
1,8	0,390	0,822
1,9	0,330	0,849
2,0	0,280	0,871
2,2	0,207	0,908
2,4	0,147	0,934
2,6	0,107	0,953
2,8	0,077	0,967
3,0	0,055	0,977
3,2	0,040	0,984
3,4	0,029	0,989
3,6	0,021	0,993
3,8	0,015	0,995
4,0	0,011	0,997
4,5	0,005	0,999
5,0	0,000	1,000

Fonte**:** USDA (2007).

Muitas variáveis são integradas na forma de um hidrograma unitário. Visto que um hidrograma unitário adimensional é usado e os únicos parâmetros prontamente disponíveis nos dados de campo são a área de drenagem e o tempo de concentração, deve-se considerar a divisão da bacia hidrográfica em unidades hidrológicas de áreas de formato uniforme. Essas subáreas, se possível, devem ter um padrão de drenagem homogêneo, uso do solo homogêneo e aproximadamente o mesmo tamanho (USDA, 2007).

O hidrograma unitário curvilíneo adimensional tem 37,5% do volume total no lado ascendente, que é representado por uma unidade de tempo e uma unidade de descarga. Este hidrograma unitário adimensional também pode ser representado por um hidrograma triangular equivalente com as mesmas unidades de tempo e vazão, tendo, portanto, o mesmo percentual de volume no lado ascendente do triângulo como mostrado na Figura 10 a seguir (USDA, 2007).

Figura 10 - Hidrograma unitário curvilíneo adimensional e hidrograma triangular equivalente.



Fonte: USDA (2007).

De acordo com o USDA (2007), isso permite que a base do triângulo seja resolvida em relação ao tempo de pico usando a geometria dos triângulos. Resolvendo o comprimento da base do triângulo, se uma unidade de tempo T_p for igual a 0,375% do volume, tem-se:

$$T_b = 2{,}67T_p \quad (17)$$

$$Tr = 1{,}67Tp \quad (18)$$

$$t_p = 0{,}6Tc \quad (19)$$

$$T_P = t_P + \frac{D}{2} \quad (20)$$

$$q_p = 0{,}208A/T_p \quad (21)$$

Onde:

T_b = tempo de base do hidrograma triangular (h)

T_r = tempo de descida do hidrograma triangular (h)

Tp= tempo de ascenção do hidrograma (h)

t_p = tempo de pico do hidrograma triangular (h)

Tc= tempo de concentração (h)

qp= vazão de pico do hidrograma por mm de chuva efetiva ($m^3/s/mm$)

A= area da bacia hidrográfica (km^2)

Para cálculo do tempo de concentração existem diversas fórmulas empíricas criadas com dados de diferentes locais e para diferentes aplicações (CUNHA et. al., 2015). A equação de Kirpich, apresentada abaixo, pode ser utilizada para estimativa do tempo de concentração de pequenas bacias (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

$$t_c = 57\left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)^{0,385} \quad (22)$$

Onde tc é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; e ∆h é a diferença de altitude em metros ao longo do curso d'água principal.

3.4 Convolução

A partir dos princípios da proporcionalidade e da superposição é possível calcular os hidrogramas resultantes de eventos simultâneos de chuvas, a partir do hidrograma unitário. Portanto, é possível calcular a resposta da bacia hidrográfica a eventos de chuvas diferentes, pois a resposta é uma soma das respostas individuais (superposição). Se o sistema é linear e invariante (bacia hidrográfica), então, a Convolução (Equação 23) é a operação matemática que soma vários impulsos de entrada (chuva efetiva) e tem como saída uma resposta impulsional, que transforma chuva em vazão (hidrograma).

$$Q(t) = \int_0^\tau P(t-\tau)h(\tau)\,d\tau \quad (23)$$

A Equação 23 é a forma contínua da convolução, mas na hidrologia a forma utilizada é a discreta (Equação 24) devido à chuva ser discretizada no tempo.

$$Q_t = \sum_{i=j}^{t} P_i h_{t-i+1}\ ,\ \begin{cases} t \leq n, j = 1 \\ t > n, j = t - n + 1 \end{cases} \quad (24)$$

Sendo *n* o número de ordenadas do hidrograma unitário.

A partir que se tem o volume da chuva intensa e a sua distribuição no tempo, a área da bacia hidrográfica, o tempo de concentração da bacia, o CN ponderado da bacia, tempo de duração da chuva é possível converter a chuva em vazão. Manualmente seria muito demorado e laborioso fazer uso do modelo chuva-vazão, porém, pode-se usar linguagem de programação para rodar o modelo ou fazer uso do programa Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), que é de acesso livre e disponível no site: HEC-HMS (army.mil).

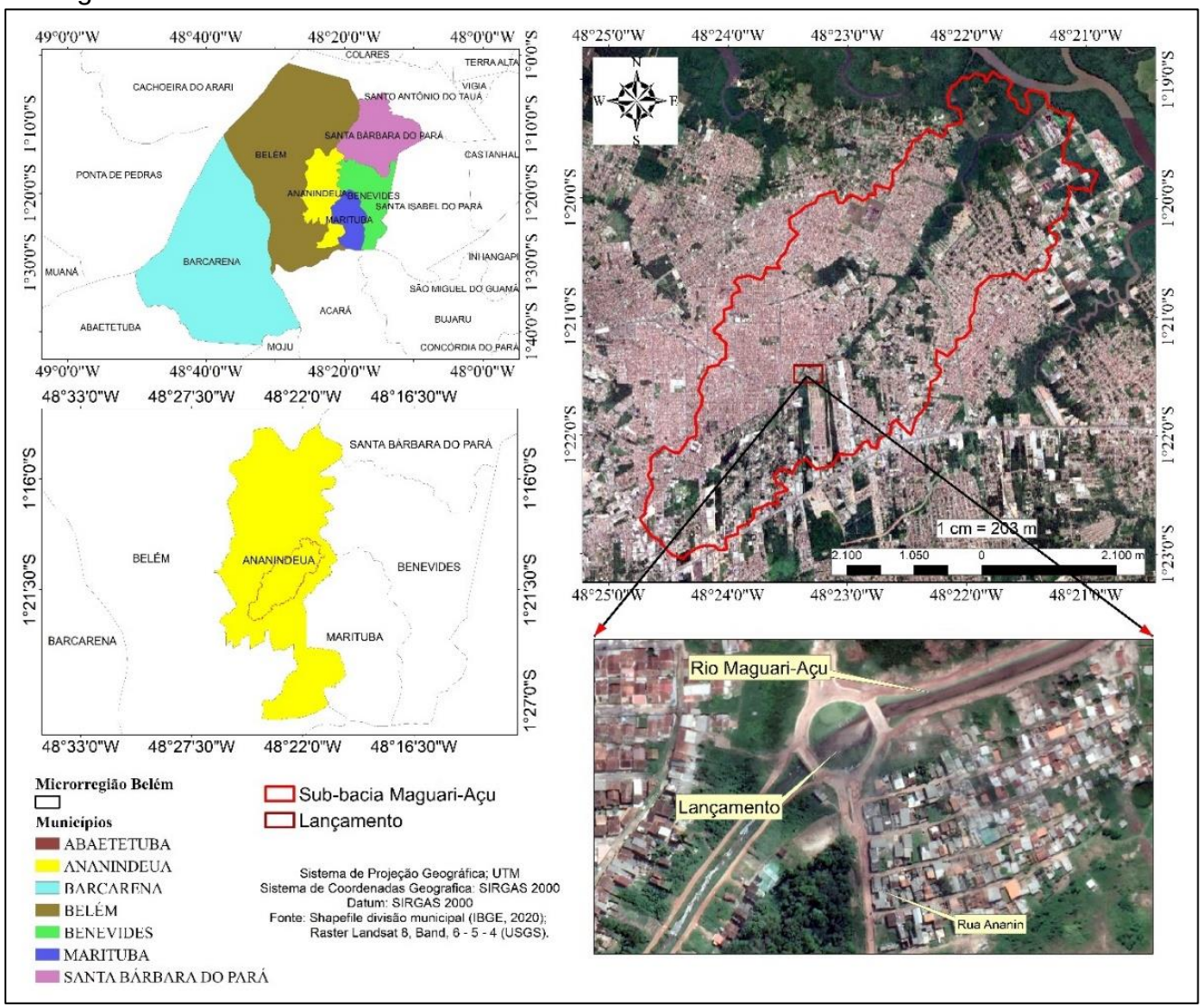
4 ESTUDO DE CASO

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a sub-bacia hidrográfica do rio Maguariaçu, que fica situada no município de Ananindeua – PA. O município pertence a microrregião de Belém. De acordo com o IBGE (2010) o município de Ananindeua está inserido na porção nordeste do estado do Pará, distante 120 km do mar e 160 km da linha do Equador. É banhada pelos rios Guamá e Pará, e pela Baía do Guajará, e além da entrada pela via fluvial, o acesso e saída da cidade são feitos pela única via de acesso que é a Rodovia BR-316.

De acordo com projeto da rede de drenagem obtido no Consórcio Troncal Belém (BRT Metropolitano – BR 316), O projeto BRT não passará pela sub-bacia hidrográfica Maguariaçu, porém o lançamento de drenagem será no rio Maguariaçu, e para a isso a rua Ananin será atendida por obras de drenagem urbanas até o ponto de lançamento (Figura 11). A rua Ananin é uma via que se inicia na rodovia BR 316 na sub-bacia do rio dos Patos, portanto, parte desta sub-bacia terá sua topografia modificada, passando a integrar a sub-bacia hidrográfica do rio Maguariaçu.

Figura 11 - Localização da sub-bacia hidrográfica Maguariaçu e o ponto de lançamento da drenagem do BRT.



Fonte: Autor (2022).

4.2 TRATAMENTO DE DADOS

As chuvas utilizadas no modelo hidrológico foram obtidas por meio da equação de chuva intensas de Belém (Equação 25) determinadas conforme metodologia descrita por Cruz et al (2019). os dados de chuva utilizados para gerar a equação são da estação convencional do INMET 82191. Foram utilizadas chuvas com tempo de retorno de 10 e 50 anos, e durações de 2, 3, 4 e 5 horas. Todas foram discretizadas em passo de tempo de 5 min utilizando o 1º quartil de Huff.

$$I = \frac{1100{,}7\ (TR^{0{,}1292})}{(d+10)^{0{,}742}} \tag{25}$$

Os dados de CN são provenientes do trabalho de Cruz, Blanco e Oliveira Junior (2021), neste trabalho os autores produziram um CN grid para a Amazônia em resolução espacial de 30 metros. Com estes dados de CN foi determinado um CN médio ponderado da sub-bacia Maguariaçu.

4.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem hidrológica foi feita no programa HEC-HMS, utilizando o modelo SCS-CN. Além das chuvas distribuídas e dos valores de CN este modelo precisa do Lag, que é igual 0,6 Tc. O tempo de concentração foi determinado utilizando a fórmula de Kirpich.

As saídas do programas são hidrogramas que nos permite analisar qual a chuva de projeto e vazão de pico devem ser levadas em consideração para dimensionar as estruturas de drenagem necessarias para evitar que não aconteça alagamentos ou colapso nas estruturas urbanas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As chuvas resultantes da equação de chuvas intensas são apresentadas na Tabela 7. As chuvas com tempo de retorno de 10 anos são utilizadas para dimensionar projetos de microdrenagem e as de tempo de retorno de 50 anos são utilizadas para dimensionar estruturas de macrodrenagem. De acordo com Tucci e Bertoni (2003), o tempo de retorno para a microdrenagem ficam entre 2 e 5 anos, pois estes estão associados ao menor risco e a baixos custos; o tempo de retorno de 10 a 50 anos estão associados a alto risco e a custo elevados. Contudo, Tucci (2000) ressaltam que em regiões tropicais os eventos de intensidade de precipitação podem possuir magnitude superior as de outras regiões. Portanto, adotar um tempo de retorno de 10 anos para a microdrenagem, prioriza a segurança das infraestruturas urbanas e da população, em termo de evitar alagamentos e perdas de bens, ou em caso mais extremo, perda de vida.

Tabela 16 - Chuva originadas pela equação de chuvas intensas.

	Tempo de Duração (h)			
Tempo de retorno	2:00	3:00	4:00	5:00
10 anos	80,05 mm	90,61 mm	98,55 mm	100,01 mm
50 anos	98,55 mm	111,55 mm	121,33 mm	129,29 mm

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 8 apresenta os valores do CN médio ponderado, tempo de concentração, Lag, área da sub-bacia hidrográfica e comprimento do rio utilizados para a modelagem hidrológica.

Tabela 17 - Valores dos parâmetros utilizados no modelo hidrológico.

CN	Tc (mim)	Lag (min)	Área (km²)	Comprimento do rio (km)
95	150	90	21,5	9

Fonte: Autor (2022).

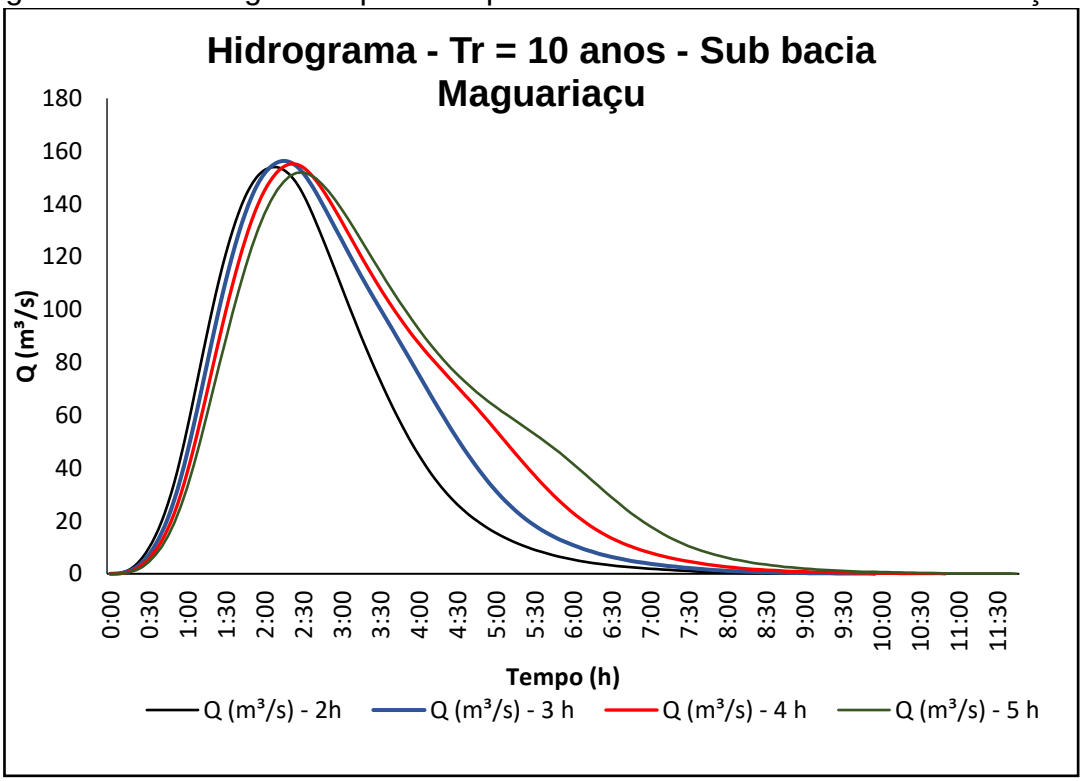
O parâmetro CN igual a 95 indica que a bacia hidrográfica tem baixa capacidade de retenção de água, ou seja, é uma bacia propensa a elevado volume de escoamento superficial. Kumar et al. (2021) consideram que bacia com CN >70 tem alto potencial de escoamento superficial; Cruz, Blanco e oliveira Júnior (2021), ressaltam que a Amazônia tem alto potencial de escoamento.

Levando em consideração o tamanho da bacia hidrográfica, que é e 21,5 km² e o comprimento do rio de 9 km, o tempo de concentração pode ser considerado alto devido à topografia ser plana. De acordo com Abdulkareem et al. (2019) o tempo de concentração é influenciado pela declividade da bacia.

A Figura 12 e 13 apresenta os hidrogramas resultantes da chuva com tempo de retorno de 10 anos e 50 anos, na devida ordem, para as durações de 2, 3, 4 e 5 horas. A chuva que

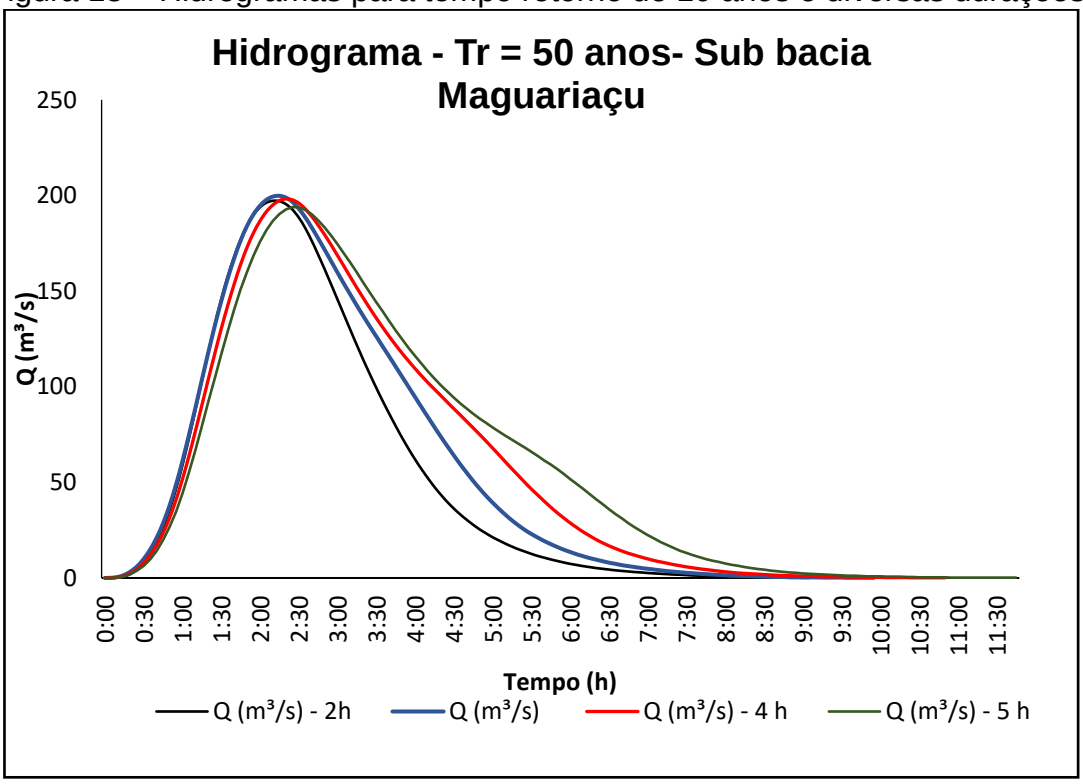
produz o hidrograma com a maior vazão de pico é a de 3h de duração, sendo esta, a chuva de projeto.

Figura 132 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos e diversas durações.



Fonte: Autor (2022).

Figura 13 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos e diversas durações.



Fonte: Autor (2022).

Os hidrogramas das Figuras 12 e 13, demonstram que a bacia hidrográfica apresenta uma alto potencial de escoamento superficial devido sua cobertura ser, em sua maior parte

urbanizada, pois os picos de vazões são elevados, > 150 m³/s para chuva com tempo de retorno de 10 anos e > 190 m³/s para chuva com tempo de retorno de 50 anos. Além disso, o pico do hidrograma ocorre durante o evento de chuva, demonstrando que os alagamentos ocorrem de forma repentina.

A imagem do rio Maguariaçu (Figura 14) antes de qualquer evento de chuvas. É importante ressaltar que o rio foi retificado e dragado devido a obras de macrodrenagem, transformando-o em um canal, visando diminuir os alagamentos. Como a imagem demonstra, o fluxo e a profundidade da lâmina d'água são baixos, devido uma série de interversão antrópica (barramentos e formações de lagos) ao longo de seu curso (RODRIGUES, 2017)

Figura 14 – Vista do Ponto de Lançamento no rio Maguariaçu com o escoamento sem influência de evento de chuva.

Fonte: Autor (2022).

Também, pode ser o observado na Figura 14 o assoreamento do leito do rio, isso é devido ao aumento de fluxo d'água que ocorre repentinamente durantes os eventos de chuva. A Figura 15, 16 e 17 apresentam o aumento de vazão no rio Maguariaçu durante eventos de chuva: 57,8 mm com 5 horas de duração no dia 21 de outubro de 2021; 32,8 mm com 8 horas de duração no dia 09 de novembro de 2021; e 43,2 mm com 5 horas de duração no dia 08 de dezembro de 2021, respectivamente.

Figura 15 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 21/10/2021.

Fonte: Autor (2022).

Figura 16 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 09/11/2021.

Fonte: Autor (2022).

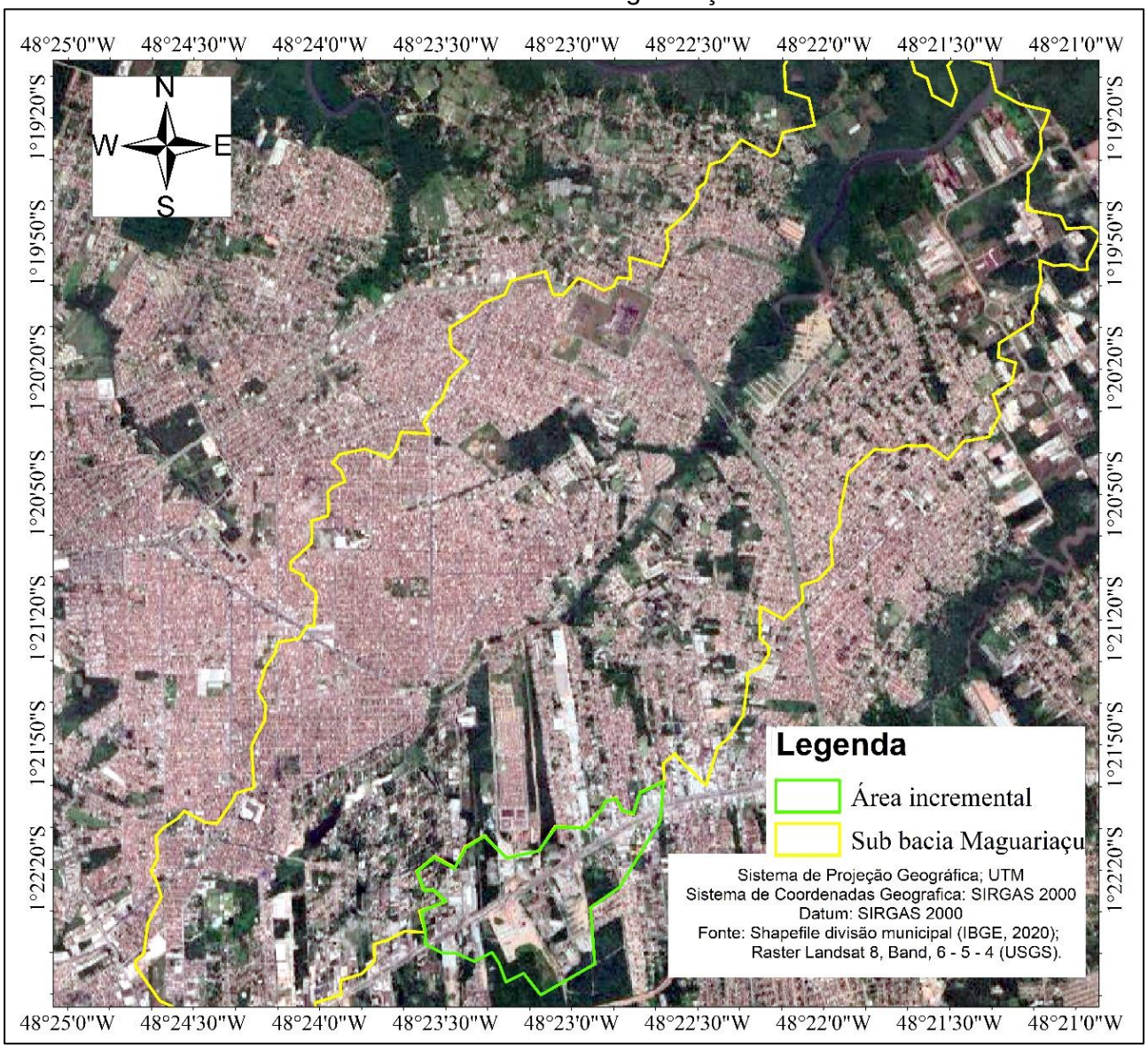
Figura 17 – Vista do rio Maguariaçu durante evento de chuva no dia 08/12/2021.

Fonte: Autor (2022).

A chuva do dia 21/10/2021 foi mais intensa do que as dos dias 09/11/2021 e 08/12/2021, contudo, nas Figuras 16 e 17 a cota do rio foi superior ao da Figura 15. Este aumento de cota é explicado pelo asfaltamento das vias e ao direcionamento da microdrenagem para o rio. Para os três eventos de chuvas referente as Figuras 18, 19 e 20 o rio não transbordou, Porém, os volumes pluviométricos foram abaixo da chuva de projeto para tempo de rertono de 10 anos.

As modificações nas bacias hidrográficas ocorrem comumente, na cobertura, com as retiradas de coberturas florestal e impermeabilização do solo. Porém, na bacia hidrográfica estudada, ocorrerá aumento de área, devido o lançamento de águas pluviais do projeto BRT no corpo hídrico principal da sub-bacia Maguariaçu. A Figura 18 apresenta o aumento da área em função da mudança de topografia para gerar a declividade suficiente para fazer o lançamento no corpo hídrico, ou seja, parte do escoamento superficial que iria para a sub-bacia hidrográfica do rio dos patos será lançado no rio Maguariaçu. A sub-bacia hidrográfica do rio Maguariaçu passará de 21,5 km² a 22,9 km².

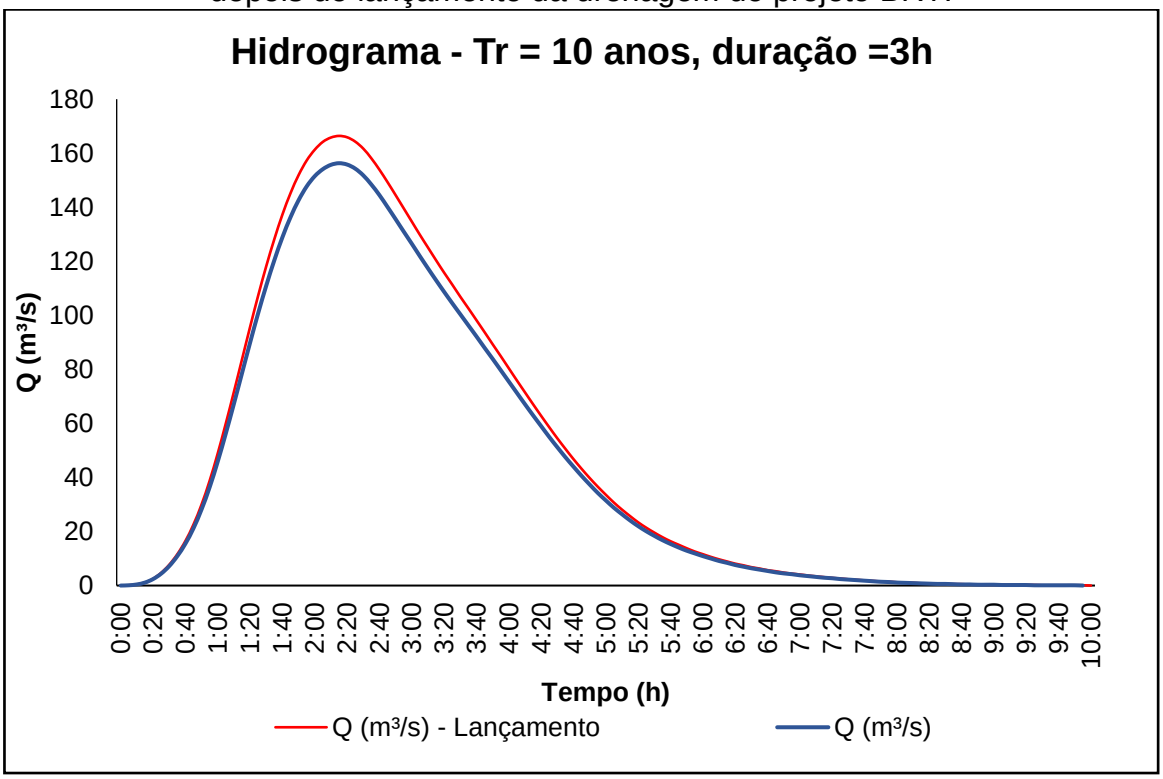
Figura 18 – Sub-bacia Maguariaçu com área incremental devido o lançamento da drenagem do BRT no rio Maguariaçu.



Fonte: Autor (2022).

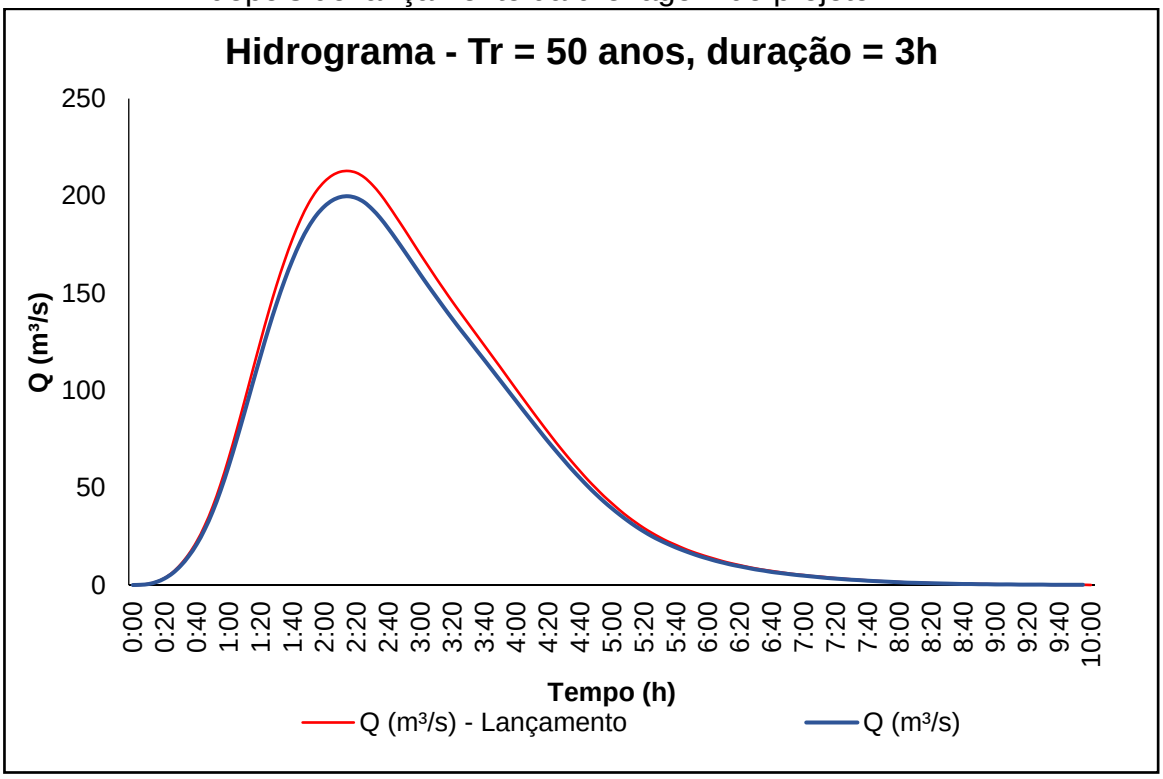
Com o aumento da área de drenagem da sub-bacia o volume escoado aumentará, a vazão de projeto para o tempo de retorno de 10 anos passará de 156,3 m³/s para 166,4 m³/s e para o tempo de retorno de 50 anos a vazão de projeto passará de 199,8 m³/s para 212,8 m³/s , conforme é apresentado na Figura 19 e 20, respectivamente.

Figura 19 – Hidrogramas para tempo retorno de 10 anos para a chuva de projeto antes e depois do lançamento da drenagem do projeto BRT.



Fonte: Autor (2022).

Figura 20 – Hidrogramas para tempo retorno de 50 anos para a chuva de projeto antes e depois do lançamento da drenagem do projeto BRT.



Fonte: Autor (2022).

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados a sub-bacia Maguariaçu terá sua área aumentada de 21,5 km² para 22,9 km², em virtude do lançamento de águas pluviais do projeto BRT no rio Maguariaçu, fazendo com que a vazão de projeto de tempo de retorno de 10 anos passe de 156,3 m³/s para 166,4 m³/s e para o tempo de retorno de 50 anos a vazão de projeto passará de 199,8 m³/s para 212,8 m³/s.

Para chuvas inferiores a chuva de projeto o rio não transbordou, porém o as Figuras 15, 16 e 17 apresentaram um aumento no fluxo do rio e no nível da água, é provalvel que com chuvas mais intensas e com o lançamento de águas pluviais da drenagem do projeto BRT ocorra o transbordamento do mesmo e o alagamento de áreas com cotas mais baixas. As obras de drenagem do BRT só levaram em consideração os alagamentos que ocorrem na BR 316, transferindo dessa maneira o alagamento para outras áreas.

Sugerimos como forma de minimizar os alagamentos na área, as medidas não estruturais: monitoramento do rio, com instalações de réguas linimétrica; geração de curva-chave; dragagem periódicas; campanhas de educação ambiental, para evitar o lançamento de resíduos sólidos na calha do rio; e retiradas dos moradores de áreas sujeitas a constantes alagamentos, que colocam as vidas destes em risco. Como medidas estruturais: construção de bacia de dentenção, afim de diminuir as ondas de cheia; e construção de casa populares, para alocar os moradores retirados das áreas sujeitas a alagamentos constantes.

7 REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, Jabir Haruna et al. Development of lag time and time of concentration for a tropical complex catchment under the influence of long-term land use/land cover (LULC) changes. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 3, p. 101, 2019.

ABREU, F. G. de; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 239-250, 19 jan. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1413-41522016146750. Acesso em: 1 ago. 2021.

ARBOIT, N. K. S.; MANCUSO, M. A.; FIOREZE, M. Adjustment of IDF Equation by Disaggregation of Daily Rainfall for Iraí County, RS. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 3, p. 248-253, 30 nov. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2017_3_248_253. Acesso em: 1 ago. 2021.

CPRM SERVIÇO GEOLÓGICO DO. **Atlas pluviométrico do Brasil**: metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. 2013. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11560. Acesso em: 1 ago. 2021.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia.** 6 ed. IPH UFRGS, 2008. 274 p.

CRONSHEY, R. Urban Hydrology for Small Watersheds. *In:* USDA, United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook**. NRCS, 1986. *E-book*. Disponível em: https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba. Acesso em: 1 ago. 2021.

CRUZ, J. S. *et al*. EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS COM DADOS CPC MORPHING TECHNIQUE (CMORPH) PARA O MUNICÍPIO DE ALTAMIRA - PA. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 192-207, 29 mar. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n1p192-207. Acesso em: 1 ago. 2021.

CRUZ, Josias da silva; BLANCO, Claudio José Cavalcante; DE OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. **Science of The Total Environment**, p. 152348, 2021.

CUNHA, S. *et al*. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia /Evaluation of the SCS method for effective rainfall and flood hydrograph estimation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 837-848, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p837-848. Acesso em: 7 nov. 2021.

SÃO PAULO, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E. ENERGIA ELÉTRICA. **PRECIPITAÇÕES INTENSAS NO ESTADO DE SÃO PAULO**. SÃO PAULO: [*s. n.*], 2018. *E-book* (246 p.). Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/site/hidrologia/. Acesso em: 1 ago. 2021.

FERREIRA, N. P. V. **Aplicação de método hidrológico no dimensionamento da rede de drenagem do Campus Morro do Cruzeiro**. 68f. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

HAWKINS, R.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E.; MULLEM, J. A. Curve Number Hydrology: State of the Practice. ASCE/EWRI Curve Number Hydrology Task Committee, 2009.

HUFF, F.A. (1967) Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research, v. 3, n. 4, p. 1007-1019.

KUMAR, Abanish et al. Surface runoff estimation of Sind River basin using integrated SCS-CN and GIS techniques. **HydroResearch**, v. 4, p. 61-74, 2021.

LIMA, G. V. B. A. et al. Métodos de estimativa da Intensidade de chuva para projetos de drenagem urbana em Marabá, Amazônia, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1-18, 2020.

MARQUES, S. M.; VICENTE, G. Z.; LIMA, C. G. da R. Estudo da Cobertura Vegetal e Modelo Chuva x Vazão na Sub-Bacia do Córrego do Luciano Município de Jardinópolis-SP. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 9, n. 17, 9 dez. 2016. Disponível em: https://doi.org/10.17271/1984324091720161449. Acesso em: 3 ago. 2021.

MARTINS, L. C. **O planejamento da drenagem urbana em cidades médias do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v. 9, n.2, p. 120-133, ago/2018.

MARTINS, C. M. T. *et al.* **Hidrologia Urbana**: conceitos básicos. Lisboa: ERSAR, 2010. *E-book* (187 p.). Disponível em: https://files.isec.pt. Acesso em: 1 ago. 2021.

MOCKUS, V. Design Hydrographs. *In*: USDA, United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook**. NRCS, 1972. *E-book*. Disponível em: https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=18393.wba. Acesso em: 1 ago. 2021.

NAGEL, Gustavo Willy *et al*. Cálculo da curva número para bacia hidrográfica urbana utilizando diferentes abordagens de classificação para imagem orbital RapidEye: estudo de caso para o arroio Pepino (Pelotas, RS). **Pesquisas em Geociências**, v. 47, n. 2, p. e092016, 22 out. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.22456/1807-9806.108583. Acesso em: 7 nov. 2021.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **HIDROLOGIA ESTATÍSTICA**. BELO HORIZONTE: CPRM, 2007. *E-book* (552 p.). Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique /Hidrologia/Difusao-do-Conhecimento/Livro-"Hidrologia-Estatistica"-981.html. Acesso em: 01ago. 2021.

PAZ, A. R. da. Hidrologia Aplicada. Caxias do Sul: UERGS, 2004. E-book (138 p.). Disponível em: http://www.ct.ufpb.br. Acesso em: 6 ago. 2021.

PONCE, Victor M.; HAWKINS, Richard H. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 1, n. 1, p. 11-19, jan. 1996. Disponível em: https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(1996)1:1(11). Acesso em: 7 nov. 2021.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, R. La L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados** [online]. 2008, v. 22, n. 63 [Acessado 28 setembro 2021], pp. 43-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Epub 12 Maio 2009. ISSN 1806-9592. https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004.

QAMAR, M. U. et al. Rainfall Extremes: A Novel Modeling Approach for Regionalization. **Water Resources Management,** v.31, n.6, p.1975-1994, 2017.

RANGEL, E.; HARTWIG, M. Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 63-77, 23 fev. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.15536/thema.14.2017.63-77.353. Acesso em: 1 ago. 2021.

RODRIGUES, Genisson. Estudo da Dinâmica da Paisagem da Sub-bacia do Rio Maguari-Açu-utilizando a metodologia PEIR. 2017.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, fev. 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000200001. Acesso em: 6 ago. 2021.

SCHUSSEL, Z.; NETO, P. N. Gestão pró-bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 137-152, Jul-set/2015.

SILVA, D. D. da *et al*. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1415-43662002000200030. Acesso em: 1 ago. 2021.

SOUZA, R. O. R. de M. *et al*. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999-1005, set. 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1415-43662012000900011. Acesso em: 1 ago. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre, RG: UFRGS, 1993. 943 p.

TUCCI, Carlos E. M; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5, n. 1 (2000), p. 61-68**, 2000.

WERNER, J. *et. al*. Hydrologic Soil Groups. *In:* USDA, United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook**. NRCS, 2009. *E-book*. Disponível em: https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=22526.wba. Acesso em: 1 ago. 2021.

WMO-No. 8, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization, 7ª Edição, 681p., 2008.
WMO-No. 8, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization, Edição 2014 , 1139 p., 2014.

WOODWARD, D. E. *et. al*. Hydrographs. *In:* USDA, United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook**. NRCS, 2007. *E-book*. Disponível em: https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17755.wba. Acesso em: 1 ago. 2021.

Realização: