



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANTONIO SERAFIM DE NEGREIROS FILHO**

**EFEITO DO MÉTODO DE OBTENÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO  
HIDROGRAMA DE PROJETO: ESTUDO EM MUNICÍPIOS CEARENSES**

**CRATEÚS**  
**2023**

ANTONIO SERAFIM DE NEGREIROS FILHO

EFEITO DO MÉTODO DE OBTENÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO HIDROGRAMA  
DE PROJETO: ESTUDO EM MUNICÍPIOS CEARENSES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, Campus Crateús, como  
requisito parcial à obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Me. Tatiane Lima Batista.

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N311e Negreiros Filho, Antonio Serafim de.  
Efeito do método de obtenção da precipitação no hidrograma de projeto : Estudo em municípios cearenses / Antonio Serafim de Negreiros Filho. – 2023.  
62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2023.  
Orientação: Profa. Ma. Tatiane Lima Batista.

1. Vazão de projeto. 2. Equação IDF. 3. Hietograma de projeto. I. Título.

CDD 620

---

ANTONIO SERAFIM DE NEGREIROS FILHO

EFEITO DO MÉTODO DE OBTENÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO HIDROGRAMA  
DE PROJETO: ESTUDO EM MUNICÍPIOS CEARENSES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, Campus Crateús, como  
requisito parcial à obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Me. Tatiane Lima Batista (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Vicente de Sousa Lima Neto  
Universidade Regional do Cariri - URCA

A minha mãe, Elizete (*in memoriam*).

## RESUMO

A vazão de projeto é um parâmetro essencial para o dimensionamento de obras hidráulicas. Contudo, a quantidade de postos fluviométricos é pequena no estado do Ceará, conseqüentemente, havendo poucos dados de vazão. A vista disso, é necessário utilizar os modelos de transformação chuva-vazão para obter esses dados de vazão a partir de dados pluviométricos ou pluviográficos. Para dados pluviométricos há a necessidade de utilizar métodos de desagregação de chuva diária para transformar chuvas de longas durações em menores durações. Desse modo, esta pesquisa buscou responder ao seguinte questionamento: Quais as diferenças nas vazões máximas dos hidrogramas de projeto resultantes da aplicação de diferentes métodos de obtenção de precipitação? Portanto, este trabalho buscou comparar os hidrogramas de projeto resultantes do uso de equações IDF obtidas a partir de dados pluviométricos e pluviográficos para os municípios de Quixeramobim e Fortaleza. Buscou-se na literatura equações analíticas e equações obtidas pelos métodos de desagregação de chuva diária para os municípios. Por meio delas e com os métodos dos blocos alternados e do hidrograma unitário do SCS (Soil Conservation Service) foram obtidos, com auxílio dos softwares *Excel* e *HEC-HMS*, os hietogramas de projeto e os hidrogramas de projeto, para diferentes tempos de retorno. Os resultados demonstraram, para Quixeramobim, que a equação analítica gerou vazões de pico, de modo geral, superiores aos demais métodos, essa diferença ficou entre 14 a -22,1%, -27,1 a -59,6% e de -31,4% a -50,1 % para os métodos de Bell, das relações entre durações e das isozonas, entre os tempos de retorno. Para Fortaleza, os métodos obtidos por dados pluviométricos tiveram vazões de pico superiores às da equação analítica, com a diferença ficando entre 60,1 a 57,5%, 11,7 a 10,2%, 24,5 a 1,7% para os métodos de Bell, das relações entre durações e das isozonas, entre os tempos de retorno. Assim, constatou-se que o método de Bell majorou as vazões dentre os métodos de desagregação de chuva diária, enquanto que os métodos das relações entre durações e das isozonas tiveram valores mais próximos da equação por meio de dados pluviográficos, mas apresentaram, em alguns casos, diferenças significativas.

**Palavras-chave:** equação IDF; vazão de projeto; hietograma de projeto.

## ABSTRACT

The design flow is an essential parameter for sizing hydraulic works. However, the number of river gauge stations is small in the state of Ceará, consequently, there is little flow data. In view of this, it is necessary to use rainfall-flow transformation models to obtain these flow data from rainfall or pluviographic data. For rainfall data, there is a need to use daily rainfall disaggregation methods to transform long-term rainfall into shorter durations. durations. Therefore, this research sought to answer the following question: What are the differences in the maximum flows of the project hydrographs resulting from the application of different methods of obtaining precipitation? Therefore, this work sought to compare the project hydrographs resulting from the use of IDF equations obtained from rainfall and rainfall data for the municipalities of Quixeramobim and Fortaleza. Analytical equations and equations obtained by the daily rainfall disaggregation methods for the municipalities were searched in the literature. Through them and with the methods of alternating blocks and the SCS (Soil Conservation Service) unitary hydrograph, they were obtained, with the aid of Excel software. and HEC-HMS, the design hyetographs and the design hydrographs, for different return times. The results demonstrated, for Quixeramobim, that the analytical equation generated peak flows, in general, higher than the other methods, this difference was between 14 to -22.1%, -27.1 to -59.6% and -31.4% to -50.1% for the Bell methods, the relationships between durations and the isozones, between return times. For Fortaleza, the methods obtained from rainfall data had peak flows higher than those of the analytical equation, with the difference being between 60.1 to 57.5%, 11.7 to 10.2%, 24.5 to 1.7% for Bell's methods, of relations between durations and of isozones, between return times. Thus, it was found that the Bell method outperformed the flows among the daily rainfall disaggregation methods, while the methods of relationships between durations and isozones had values closer to the equation using rainfall data, but presented, in some cases, significant differences.

**Keywords:** IDF equation; design flow; project hyetogram.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estações fluviométricas gerenciadas pela ANA no estado do Ceará.....	17
Figura 2 - Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS.....	28
Figura 3 - Fluxograma da pesquisa.....	32
Figura 4 - Mapa de localização de Quixeramobim - CE.....	33
Figura 5 - Mapa de localização de Fortaleza - CE.....	34
Figura 6 - Hietogramas para diferentes metodologias de obtenção de precipitação para o município de Quixeramobim.....	42
Figura 7 - Comparação entre as precipitações estimadas pelos métodos de desagregação de precipitação diária e mediante a equação obtida por meio de dados pluviográficos de Denardin e Freitas (1982), bem como as respectivas equações lineares, para cada período de retorno. .	43
Figura 8 - Hidrogramas referentes aos diferentes métodos de obtenção de precipitação para o município de Quixeramobim.....	45
Figura 9 - Variação das vazões de pico (Quixeramobim).....	46
Figura 10 - Hietogramas para diferentes metodologias de obtenção de precipitação para o município de Fortaleza.....	48
Figura 11 - Comparação entre as precipitações estimadas pelos métodos de desagregação de precipitação diária e mediante a equação obtida por meio de dados pluviográficos de Rodrigues <i>et al.</i> (2008), bem como as respectivas equações lineares, para cada período de retorno.....	49
Figura 12 - Hidrogramas referentes aos diferentes métodos de obtenção de precipitação para o município de Fortaleza.....	51
Figura 13 - Variação das vazões de pico (Fortaleza).....	53



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Equações IDF .....	36
Quadro 2 - Características dos solos.....	38
Quadro 3 - Valores de CN para bacias rurais .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros das bacias hidrográficas.....	35
Tabela 2 - Precipitações máximas (Quixeramobim) .....	43
Tabela 3 - Vazões máximas para as metodologias de obtenção de precipitação (Quixeramobim) .....	45
Tabela 4 - Índice de concordância entre as vazões dos métodos de desagregação de chuva diária e da equação de Denardin e Freitas (1982).....	46
Tabela 5 - Precipitações máximas (Fortaleza).....	49
Tabela 6 - Índice de concordância entre as vazões dos métodos de desagregação de chuva diária e da equação de Rodrigues <i>et al.</i> (2008).....	52
Tabela 7 - Vazões máximas para as metodologias de obtenção de precipitação (Fortaleza)...	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CNM	Confederação Nacional dos Municípios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
PCDs	Plataformas de Coletas de Dados
SCS	Soil Conservation Service
IDF	Intensidade - Duração - Frequência
NRCS	Natural Resources Conservation Service
HUT	Hidrograma Unitário Sintético Triangular
CN	Curve Number
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Vazão de projeto</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.1</b>	<i>Modelos chuva-vazão</i> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1.1</b>	<i>Método Racional</i> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1.2</b>	<i>Método SCS</i> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<i>Estudos sobre a influência dos métodos de obtenção de precipitação nas vazões dos hidrogramas de projeto</i> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Relação Intensidade-duração-frequência</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Estudos sobre relações IDF no estado do Ceará</i> .....	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Hietograma de projeto</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Método dos blocos alternados</i> .....	<b>24</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Estudos relacionados a hietogramas e ao método dos blocos alternados</i> .....	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>Hidrograma de projeto</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Hidrograma unitário sintético triangular do SCS</i> .....	<b>28</b>
<b>2.4.2</b>	<i>Estudos relacionados com hidrograma unitário sintético triangular</i> .....	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Quixeramobim</i> .....	<b>32</b>
<b>3.1.2</b>	<i>Fortaleza</i> .....	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Dados das bacias hidrográficas</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Geração de hietogramas</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Estimativa do hietograma de precipitação</i> .....	<b>35</b>
<b>3.3.2</b>	<i>Cálculo da chuva excedente e do hietograma de projeto</i> .....	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Geração de hidrogramas</b> .....	<b>39</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Hidrograma unitário</i> .....	<b>39</b>
<b>3.4.2</b>	<i>Hidrograma de projeto</i> .....	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>Comparação entre os resultados obtidos para as diferentes metodologias de obtenção de precipitação</b> .....	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Quixeramobim</b> .....	<b>41</b>

<b>4.1.1</b>	<b><i>Hietograma de projeto</i></b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Hidrograma de projeto</i></b> .....	<b>44</b>
<b>4.2</b>	<b>Fortaleza</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Hietograma de projeto</i></b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Hidrograma de projeto</i></b> .....	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As enchentes e inundações são eventos associadas ao fenômeno das chuvas intensas, caracterizadas por grandes volumes de precipitação com irregularidades tanto no tempo quanto no espaço (Araújo *et al.*, 2008). De acordo com um estudo realizado pela Confederação Nacional de Municípios (CNM), no recorte de 1º a 31 de dezembro de 2022, houve um prejuízo de 931,4 milhões de reais em decorrência das chuvas em todo o Brasil, além de 14.313 habitações atingidas e 525 mil pessoas afetadas. Outra pesquisa, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em parceria com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), em 2018, realizado com um censo de 2010, afirma que a população e domicílios aproximados em áreas de risco são, respectivamente, 8 270 127 e 2 471 349, onde essas são áreas passíveis ao acontecimento de desastres ambientais, como ocupação de margens de rio, encostas e morros (Tominaga; Santoro; Amaral, 2015).

Diante disso, são necessários estudos sobre o comportamento das chuvas, vazões e seus efeitos nas bacias hidrográficas para a diminuição de consequências negativas e para a projeção de políticas sustentáveis (Correa *et al.*, 2017). Nesse contexto, a medição e coleta das informações de vazão são essenciais para compreender o comportamento do regime hidrológico. Contudo, a escassez de postos fluviométricos é uma realidade que prejudica a disponibilidade de dados de vazão, tendo em vista que esses equipamentos estão localizados principalmente em grandes bacias hidrográficas, associado ao seu alto custo de instalação, tornando a rede fluviométrica carente de informações (Machado, 2022).

Assim, os modelos de transformação chuva-vazão são alternativas para contornar a carência de dados fluviométricos. Essas técnicas usam as características das chuvas para estimar as vazões correspondentes em uma determinada localidade. O uso das equações IDF de chuvas intensas é apropriado nesse contexto para se obter informações sobre as precipitações que serão usadas como dados de entrada em modelos que relacionam a chuva à vazão. Tucci (1993) afirma que para obras hidráulicas é necessário conhecer o comportamento de chuvas intensas sob três parâmetros: intensidade, duração e frequência. Com essas grandezas formam-se as curvas IDF (intensidade-duração-frequência) para determinados tempos de retorno (Damé; Teixeira; Terra, 2008).

Contudo, para obtenção da equação IDF são necessárias informações de pluviógrafos, mas os dados provenientes desse equipamento são limitados em países em desenvolvimento (Yu; Hashim; Eusof, 2001). Com isso, faz-se uso de dados pluviométricos.

Porém, para utilizá-los é preciso recorrer a metodologias para transformar chuvas mais longas em chuvas de curtas durações a partir de séries históricas, pois Damé *et al.* (2010) afirma que para práticas hidrológicas são necessários dados de precipitação com 5, 10, 15, 30 minutos e 1 hora.

Assim, possuindo as relações IDF, pode-se encontrar os hietogramas de projeto, através de métodos como o dos Blocos Alternados, sendo a representação da precipitação em uma distribuição de tempo (Abreu *et al.*, 2018). A partir disso, é possível encontrar o hidrograma de projeto, definido como o gráfico da variação de vazão com o tempo (Leal, *et al.*, 2017; Tucci, 1993), obtido com o uso de uma metodologia de transformação chuva-vazão (Cunha *et al.*, 2015). Assim, com este artifício é possível determinar as vazões de pico, fundamentais para o cálculo de obras de drenagem, canais, dentre outras obras hidráulicas.

Alguns trabalhos estudam a relevância e o impacto dos métodos de se obter dados de chuva nas vazões de pico dos hidrogramas de projeto. Como exemplo podem ser citados os trabalhos de Coutinho *et al.* (2019) e Damé *et al.* (2010), os quais têm como área de estudo a Bahia e o Rio Grande do Sul, respectivamente. Contudo, para o estado do Ceará há escassez nesse tipo de análise, tendo estudos voltados para a comparação de métodos de obtenção de precipitação na geração de equações IDF, exemplificado nas pesquisas de Lima Neto *et al.* (2018) e Oliveira (2021a), mas também pesquisas que exploram como a metodologia de obtenção do hietograma influencia nas vazões máximas, por exemplo, em Muniz *et al.* (2017). Desse modo, esta pesquisa busca responder ao seguinte questionamento: quais as diferenças nas vazões máximas dos hidrogramas de projeto resultantes da aplicação de diferentes métodos de obtenção de precipitação?

Essa temática foi pautada pela importância dos dados de precipitação no dimensionamento de obras hidráulicas, especialmente em locais sem dados de vazão, onde métodos de transformação chuva-vazão serão utilizados. Assim, faz-se necessário estudos com intuito de analisar como os métodos de obtenção da precipitação influenciam nas vazões dos hidrogramas de projeto, tendo em vista gerar precisão, segurança e economia nas atividades que usufruem dessas informações. Este trabalho propõe comparar os hidrogramas de projeto de bacias hidrográficas localizadas em municípios cearenses que possuam equações IDF geradas por dados de pluviógrafos e pluviômetros, verificando o efeito desses métodos no resultado final.

## 1.1 Objetivo geral

Comparar hidrogramas de projeto resultantes do uso de equações IDF obtidas a partir de dados pluviométricos e pluviográficos para os municípios de Quixeramobim e Fortaleza.

## 1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Calcular a precipitação utilizando as equações IDF obtidas por meio de pluviômetros e pluviógrafos.
- Gerar hietogramas de projeto usando o método dos blocos alternados para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos;
- Calcular o hidrograma unitário por meio do hidrograma unitário sintético triangular;
- Gerar o hidrograma de projeto para cada metodologia de obtenção de precipitação, com auxílio do software *HEC-HMS 4.11*, para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.
- Comparar as precipitações obtidas por meio das equações de pluviômetros em relação as equações pluviográficas.
- Comparar as vazões obtidas das equações IDF de dados pluviométricos e pluviográficos.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção tem a função de trazer todo o conhecimento necessário para o correto entendimento do presente trabalho. O referencial teórico foi subdividido em 4 partes, sendo elas: vazão de projeto, relação intensidade-duração-frequência, hietograma de projeto e hidrograma de projeto.

### 2.1 Vazão de projeto

A vazão é o volume que passa por uma seção transversal em um determinado tempo, geralmente expressa em litros por segundo ou metros cúbicos por segundo. Ela decorre da relação entre a bacia e a precipitação, suas características são moldadas de acordo com as propriedades da bacia, influenciando na infiltração, no armazenamento e evapotranspiração (Collischonn; Dornelles, 2013).

No dimensionamento de obras hídricas, Tucci (1993) afirma que as vazões adotadas devem demonstrar as condições mais críticas em um determinado risco. Com isso, a vazão utilizada em projetos hidráulicos é a máxima, sendo definida como o valor referente a um evento ser igualado ou superado (Tucci, 1993).

A medição de vazão é importante, pois pode estimar a disponibilidade de água em pontos específicos de cursos d'água, além do conhecimento do comportamento de rios e seus eventos extremos (Collischonn; Dornelles, 2013). Essa medição também pode quantificar o consumo de água, servindo de mecanismo de gestão para outorgas e cobranças pelo uso da água (Sá, 2011). Existem métodos de obtenção de vazão de forma indireta e automática, tendo como exemplos o molinete, doppler acústico ou mesmo uso de satélites (Carvalho, 2008).

Porém, Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que devido à dificuldade de alocação de equipes técnicas aos locais de rios e também ao custo elevado dos equipamentos, usam-se medições em um mesmo local, denominado posto fluviométrico, onde é determinada a curva-chave, sendo a relação do nível, medido com uma régua na seção transversal do rio, e a vazão. Devido ser um processo barato e simples, pode ser realizado com maior frequência por um observador.

Contudo, Woldeesenbet, Elagib e Heinrich (2016) afirma que em países em desenvolvimento há uma ausência e não homogeneização de dados hidrológicos. Além da escassez, esses dados possuem falhas, dentre elas as mais comuns são problemas na calibração e falta de precisão dos equipamentos, ausência de pessoas qualificadas, controle de qualidade insuficiente e ausência de investimentos em manutenção (Depiné *et al.*, 2014). Assim, a rede

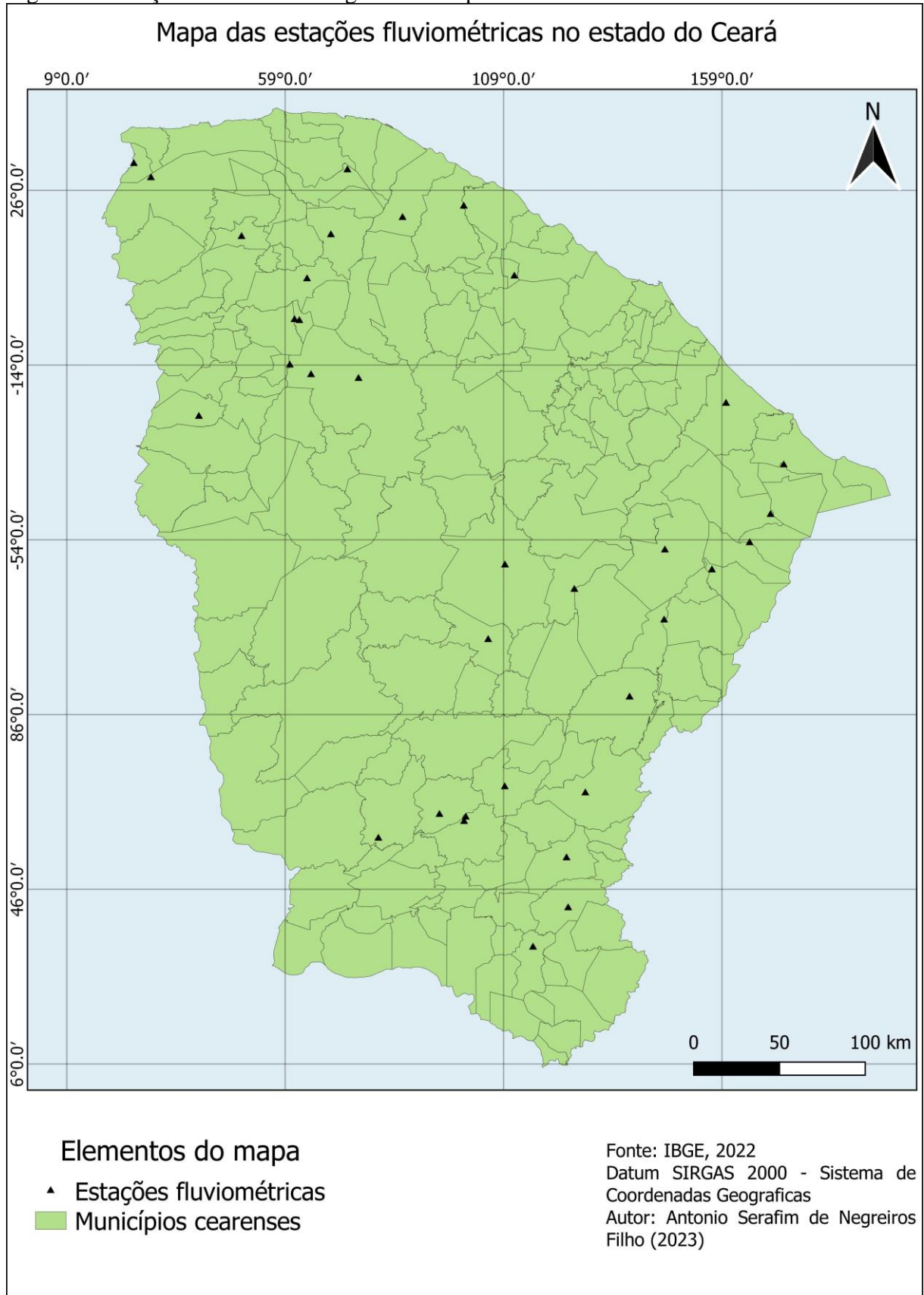
de postos de medição de vazão possui ainda mais carência de modo geral, devido a seus aparelhos caros e centralizados em grandes bacias hidrográficas (Machado, 2022).

No Brasil, a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) é responsável pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e em uma publicação, de abril de 2023, expôs que em 2020, a RHN possuía 23 mil estações sob responsabilidade de várias entidades. Destas, 4841 são gerenciadas diretamente pela ANA, onde 2717 são estações pluviométricas e 2024 são estações fluviométricas. Contudo, desses postos, apenas 1485 são estações que medem vazão.

O estado do Ceará compreende 35 estações fluviométricas, de acordo com o HidroWeb mobile, como visto na Figura 1. Percebe-se a baixa densidade desses equipamentos tendo como relação a extensão territorial do estado, em consequência, há escassez das informações de vazão.

Vale ressaltar que, os dados disponíveis no HidroWeb mobile, de acordo com o site oficial do aplicativo, são obtidos em Plataformas de Coletas de Dados (PCDs), onde a operação e manutenção em campo é realizada por profissionais de entidades parceiras ou contratadas pela ANA, sendo esta responsável pelo planejamento, normatização de procedimentos e equipamentos, fiscalização, organização dos dados hidrometeorológicos e sua publicação.

Figura 1 - Estações fluviométricas gerenciadas pela ANA no estado do Ceará.



Fonte: Autoria própria (2023).

### 2.1.1 Modelos chuva-vazão

Atrelado a maior densidade de postos pluviométricos em detrimento a postos fluviométricos, é necessário uso das informações de precipitação para encontrar as vazões em bacias desprovidas de informações de vazão, com isso usam-se os modelos de transformação chuva-vazão.

Esses métodos podem demonstrar as perdas por interceptação, evaporação, mostrar a distribuição espacial da precipitação, além do escoamento subsuperficial e o fluxo no solo por percolação e infiltração (Schuster, 2014).

De acordo com Schuster (2014), os fatores que afetam a escolha do modelo estão ligados às suas limitações de representação, objetivo da utilização, além da condição e abundância dos dados utilizados no modelo.

Adiante são apresentados alguns métodos de transformação chuva-vazão.

#### 2.1.1.1 Método Racional

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), o método racional faz a estimativa da vazão com base no tempo de concentração e em um parâmetro referente às propriedades da bacia, o coeficiente de escoamento da bacia. Contudo, esse método só pode ser aplicado a pequenas bacias, menores ou iguais a 2 Km<sup>2</sup> (Tucci, 1993), devido não permitir alcançar informações mais detalhadas sobre os hidrogramas em decorrência de chuvas intensas (Collischonn; Dornelles, 2013).

Seus princípios básicos são, de acordo com Tucci (1993), que o tempo de concentração é igual à duração da chuva intensa. Em decorrência das propriedades da bacia determina-se um coeficiente único de perdas  $C$  e não se verifica o volume de cheia e distribuição temporal das vazões. Esse método se baseia na equação 1.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Em que:  $Q$  é a vazão máxima em m<sup>3</sup>/s,  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial do método racional,  $I$  é a intensidade da chuva de projeto em mm/hora e  $A$  é a área da bacia hidrográfica em Km<sup>2</sup>.

### 2.1.1.2 Método SCS

O método *Soil Conservation Service* (SCS) é uma modelagem determinística e, de acordo com Sia e Silva (2021), devido sua facilidade, simplicidade e boa condição dos resultados obtidos, é um dos mais usados. Essa metodologia assume que, no decorrer de uma precipitação, são iguais a razão entre o volume instantâneo de escoamento direto pelo total de volume de chuva, e a razão do volume de infiltração pelo escoamento superficial potencial (Cunha *et al.*, 2015).

Assim, determina-se a chuva excedente por meio da precipitação e, a partir disso o hidrograma de escoamento direto, tendo como base informações de chuva, relações IDF, período de retorno, duração de chuva, além das propriedades da bacia.

Em comparação, Schuster (2014) afirma que a maior diferença entre o SCS e o método racional é que este não representa a distribuição da vazão ao longo do tempo e o volume de cheia. Além disso, o SCS é mais usado para obras de macrodrenagem.

### 2.1.2 Estudos sobre a influência dos métodos de obtenção de precipitação nas vazões dos hidrogramas de projeto

Trabalhos com relação à influência dos métodos de obtenção de precipitação na vazão do hidrograma de projeto ainda são pouco explorados no Estado do Ceará. Porém, há estudos em outros estados do país.

O estudo de Damé *et al.* (2010) fez uma comparação nas vazões de pico dos hidrogramas resultantes da utilização de equações IDF com tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, obtidas por meio de dados pluviométricos e pluviográficos para Pelotas-RS. O resultado constatou primeiramente um aumento, proporcional ao tempo de retorno, dos valores totais escoados, com isso, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos o percentual de lâmina escoada em relação ao total precipitado foi de 4,5; 6,5; 8,1; 9,7; 12,1 e 14,0%, respectivamente. Para a mesma sequência de tempos de retorno a diferença nas vazões de pico foi de 12,6; -4,4; 21,8; 38,7; 54,3 e 58,2%, respectivamente, a partir do uso do método de desagregação de chuva diária para obter a equação IDF. Assim, mesmo ocorrendo desvios, Damé *et al.* (2010) afirma que o método de desagregação de chuva diária é uma alternativa válida para geração de hidrogramas de projeto em locais desprovidos de equações IDF obtidas por dados pluviográficos.

Outra pesquisa foi a de Coutinho *et al.* (2019), a qual fez uma comparação nas vazões máximas para os períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 e 100 anos, utilizando relações

IDF obtidas pelos métodos de Bell e das relações entre durações, no estado da Bahia. A conclusão foi que o método das relações entre durações apresentou menores vazões de pico se comparadas ao método de Bell.

## 2.2 Relação Intensidade-duração-frequência

O conhecimento das propriedades das chuvas intensas é uma necessidade para se precaver de inundações e outras ocorrências de eventos extremos, além de ser usado para concepção de barragens, obras de drenagem, canais, etc. Com isso, a equação IDF tem como função três parâmetros que tentam caracterizar a precipitação, são eles: intensidade, duração e frequência. Tucci (1993) afirma que esses parâmetros são fundamentais para definir o comportamento das chuvas intensas.

As equações IDF são obtidas a partir de séries históricas de pluviógrafos, os quais formam um gráfico de precipitação ao longo do tempo e por este motivo é possível saber a altura de chuva em determinado período, e também por meio de pluviômetros que medem a altura de chuva sem considerar o tempo (Pinto *et al.*, 1976). Contudo, devido à escassez de dados pluviográficos, são usualmente utilizados dados pluviométricos. Com isso, há uma necessidade de transformar precipitações mais longas em precipitações de curtas durações, isto é, devido os registros de pluviômetros serem diários, é preciso converter essa chuva para 1 hora e em seguida 30, 15, 10 e 5 minutos.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013) a metodologia de obtenção das relações IDF se baseia na busca pelos maiores eventos de chuva de uma duração para cada ano da série de dados, posteriormente, é aplicada uma distribuição de frequências que distribua da melhor forma os valores, sendo esse processo repetido para os demais tempos de chuvas. O resultado desse processo é um gráfico ou equação. A equação IDF é genericamente exposta na forma da equação 2.

$$I = \frac{a \cdot TR^b}{(t_d + c)^d} \quad (2)$$

Em que: I é a intensidade da chuva (mm/hora) e a, b, c e d são parâmetros característicos da equação IDF de cada local, TR é o tempo de retorno em anos e  $t_d$  a duração da precipitação em minutos.

Assim, a curva IDF muda em relação ao local de estudo, mas também com o tempo de retorno e a duração da chuva. Pinto *et al.* (1976) afirma que quanto maior o tempo de retorno, mais intensa é a chuva, com isso, o período de retorno é definido pelo tipo de obra, por exemplo, o sistema de drenagem pluvial urbano requer, em média, de três a cinco anos, enquanto que vertedouros de barragens de cem a mil anos (Collischonn; Dornelles, 2013). Para a duração da chuva é usual utilizar o mesmo valor do tempo de concentração da bacia hidrográfica do local de estudo (Collischonn; Dornelles, 2013).

### **2.2.1 Estudos sobre relações IDF no estado do Ceará**

No contexto das equações IDF no estado do Ceará, há uma variedade de estudos que exploram esse assunto. Adiante, estão alguns exemplos.

No estudo de Rodrigues *et al.* (2008) foi realizada uma análise das séries históricas de estações nas cidades de Pentecoste e Fortaleza, posteriormente, ajustou-se esses dados para uma distribuição de probabilidade com intuito de estabelecer uma relação de intensidade, duração e frequência. Os resultados mostraram que os valores de intensidades pluviométricas necessitam de uma equação própria e para cada intervalo de recorrência em cada local. Outra pesquisa realizada em Fortaleza foi a de Lima Neto *et al.* (2018), que fez uma comparação entre uma equação IDF obtida por dados pluviográficos, desenvolvida por Silva, Palácio Junior e Campos (2013), e outra obtida por meio de uma ferramenta Hidroinformática desenvolvida por Batista (2015). Essa ferramenta faz um tratamento dos dados históricos de estações pluviométricas, usando a desagregação de chuva e gerando a equação IDF (Lima Neto *et al.*, 2018). Como resultados, a equação gerada pela ferramenta de Hidroinformática teve um coeficiente de NASH igual a 0,983, considerado um bom ajuste, e na comparação entre as duas equações o coeficiente de NASH ficou igual a 0,962, indicando uma boa correlação entre as equações obtidas pelos dados pluviográficos e pela ferramenta. Com isso, os autores constataram que o uso de metodologias alternativas na obtenção de equações IDF, por meio de dados pluviométricos, utilizando ferramentas computacionais, são uma alternativa válida para se utilizar em projetos hidráulicos.

O trabalho de Sousa e Paula (2018) buscou conhecer a distribuição espacial e temporal das chuvas pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Coreaú, localizado no estado do Ceará, por meio da calibração dos parâmetros da equação IDF das chuvas intensas no local em questão. Portanto, foi estabelecido a primeira determinação da equação IDF para região noroeste do estado do Ceará, confirmou-se o comportamento de chuvas com altos valores de

intensidades principalmente na região litorânea da bacia, e em termos de validação, os coeficientes foram satisfatórios, constatando-se que as relações entre diferentes durações de chuvas estão próximas das obtidas pela literatura. Com isso, os autores ressaltam a metodologia como adequada e com resultados satisfatórios.

Outro estudo realizado no estado foi o de Oliveira (2021b), para as cidades de Fortaleza e Quixeramobim, o qual consistiu na avaliação do desempenho de equações IDF ao modelo alternativo proposto por Back (2020), embasado no método desagregação de precipitação diária. Foi também realizado uma comparação das equações IDF propostas pelo método citado com as obtidas por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) e Denardin e Freitas (1982) para Fortaleza e Quixeramobim, respectivamente. Os resultados demonstraram que o modelo alternativo proposto por Back (2020) se sobressaiu ao modelo tradicional, para a metodologia das relações entre durações, no que diz respeito à qualidade do ajuste das equações IDF às intensidades de chuva desagregadas. Em relação à comparação com as equações padrões dos municípios, os valores estimados com o modelo alternativo tiveram intensidades superiores e inferiores para Fortaleza e Quixeramobim, respectivamente.

Em seu estudo, Batista (2018) teve como objetivo desenvolver equações IDF para 184 municípios cearenses, utilizando séries de dados de precipitações obtidas por pluviômetros. Para a desagregação de chuva diária foi utilizado o método de Taborga Torrico (1974). Com isso, essa metodologia foi aplicada através de um programa computacional na linguagem *Java* com a finalidade de sistematizar o processo de determinação das equações IDF. Portanto, através da comparação dos resultados com equações existentes para Fortaleza, obteve-se bons índices de correlação.

Outro estudo foi o de Fachine Sobrinho *et al.* (2014), o qual teve o intuito de realizar a validação da metodologia de desagregação de chuvas das isozonas e sua utilização no desenvolvimento de equações IDF para três municípios da região metropolitana do Cariri-CE. Os resultados constataram que as intensidades máximas estimadas pelo método das isozonas foram confiáveis em comparação com as equações IDF, com altos índices de concordância e desempenho de Wilmott. Assim, sendo viável a utilização do método das isozonas como alternativa na concepção de equações IDF em regiões sem monitoramento.

### **2.3 Hietograma de projeto**

Para projetos hidráulicos é essencial a determinação da vazão máxima do córrego ou rio correspondente, com isso, um cenário de evento de chuva extremo é idealizado,



denominado chuva de projeto (Collischonn; Dornelles, 2013). Esta chuva é constituída levando-se em conta as propriedades fisiográficas da bacia hidrográfica e outros fatores utilizados na simulação hidrológica, assim como as probabilidades de precipitação intensa em um local específico (Chimene, 2020).

De acordo com Bemfica, Goldenfum e Silveira (2000), a chuva de projeto ou hietograma de projeto é uma forma simples de demonstrar a distribuição da precipitação ao longo do tempo, retratando paradigmas de chuva que resultam em picos de escoamento. Menezes Filho e Costa (2007) também definem hietograma de projeto como um seguimento de chuvas capaz de provocar uma cheia de projeto. Esse hietograma é usado como entrada para modelos de transformação chuva-vazão.

A chuva de projeto pode ser obtida por métodos baseados em equações IDF (Bemfica; Goldenfum; Silveira, 2000). Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que o hietograma é obtido por meio da partição da duração total da precipitação, sendo que cada hietograma tem um tempo de retorno correspondente, determinado pela análise do tipo de obra. Suas principais características são: duração, intensidade média e distribuição temporal.

Com isso, Collischonn e Dornelles (2013) relatam que a duração de uma chuva de projeto é definida de uma forma que, durante o escoamento que chega ao exutório, toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo simultaneamente, a vista disso, a duração deve ser maior ou igual ao tempo de concentração, sendo o tempo em que toda a bacia contribui para o escoamento em uma seção específica (Villela; Mattos, 1975).

A intensidade média, a qual corresponde a relação entre a altura precipitada e a duração para uma determinada frequência, é obtida por meio das curvas IDF correspondentes a um dado período de recorrência (Paulino, 2014).

Na composição do hietograma há também a distribuição temporal da precipitação em intervalos constantes, sua representação pode ser de forma discreta ou contínua e tem como resultados as intensidades médias em cada intervalo, formando-se um gráfico de barras (Chimene, 2020). Segundo Tiecher *et al.* (2013) essa distribuição ao longo do tempo da precipitação é essencial na obtenção do hietograma de projeto a partir das curvas IDF, tendo em vista que a distribuição temporal do evento chuvoso é uma propriedade pluviométrica importante, sendo perdida no momento em que os dados de chuva são sintetizados em equações IDF.

Alguns dos métodos tradicionais utilizados no Brasil são o método do hietograma triangular, método dos blocos alternados e o método de Chicago (Chimene, 2020).

### 2.3.1 Método dos blocos alternados

O método dos blocos alternados é uma forma simples de desenvolver um hietograma de projeto por meio de curvas intensidade-duração-frequência (Chow; Maidament; Mays, 1988). Assim, levando-se em conta as curvas IDF e a partir da hipótese de que o somatório dos volumes de chuva, enquanto se acrescenta blocos, coincide com o valor imposto pelas curvas IDF para cada duração parcial, possibilita a construção da chuva de projeto sintética (Paulino, 2014).

De acordo com Chow, Maidament e Mays (1988), no hietograma de projeto resultante dessa metodologia específica, as alturas de chuva ocorrem em  $n$  intervalos de tempos sucessivos de duração  $\Delta t$ , com uma duração total  $T_d$ , igual a  $n$  vezes  $\Delta t$ .

Assim, segundo Tavares (2005), esses são os passos do método dos blocos alternados:

- Define-se o intervalo de duração ( $\Delta t$ ) e a duração da precipitação ( $T_d$ );
- Por meio das curvas IDF, encontra-se a intensidade de chuva para cada duração;
- As intensidades são transformadas em alturas de precipitação e acumuladas até a parcela final de tempo;
- Calculam-se os incrementos dos totais acumulados;
- Os incrementos são reordenados em uma sequência temporal de forma que a intensidade máxima fique situada no centro da duração total ( $T_d$ ), enquanto os demais blocos situados na direita e na esquerda ficam em ordem decrescente a partir do centro.

Devido à arbitrariedade na escolha dos intervalos de tempo do hietograma, tem-se uma recomendação de utilizar um valor menor ou igual a um terço do tempo de pico ou um quinto do tempo de concentração, podendo influenciar nas propriedades do hidrograma de projeto (Mahunguana; Bravo, 2015). A vista disso, Mahunguana *et al.* (2013) obtiveram resultados que demonstraram que o aumento no intervalo de tempo do hietograma resultou em um amortecimento dos picos do hidrograma de projeto em 25% na representação discretizada e 13% na representação concentrada.

### 2.3.2 *Estudos relacionados a hietogramas e ao método dos blocos alternados*

Existem muitas pesquisas relacionadas a hietogramas de projeto no Brasil, assim como as que usam o método dos blocos alternados para chegar a eles. Com isso, a seguir são apresentados alguns trabalhos que tratam desses assuntos.

O trabalho de Menezes Filho e Costa (2007) teve como objetivo encontrar o escoamento superficial direto para uma bacia com dados de chuva em Goiânia-GO, além de comparar duas orientações quanto ao método dos blocos alternados. Com isso, para elaborar o hietograma usou-se o método dos blocos alternados e o método do hidrograma unitário para conceber o hidrograma de projeto. Assim, como resultado foram gerados os hidrogramas e concluiu-se, para o trabalho em questão, que o arranjo dos blocos alternados proposto por Tucci (1993) teve maiores picos, enquanto o *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) obteve um maior volume de escoamento superficial direto.

Na pesquisa de Mahunguana *et al.* (2013), foram avaliados os impactos dos valores adotados nos critérios de projeto durante o dimensionamento hidrológico de estruturas hidráulicas, dentre as variáveis analisadas estão a posição do pico do hietograma, discretização da bacia e o intervalo de tempo da precipitação. Portanto, foi considerada uma bacia hipotética na qual foram calculadas as distribuições de chuva ao longo do tempo por meio do método dos blocos alternados e as vazões pelo método do hidrograma unitário sintético triangular SCS. Como resultados, concluiu-se que, à medida que o pico do hietograma era deslocado para a direita do intervalo de tempo, o pico e o tempo de pico do hidrograma aumentava, atingindo valores em média de 85% entre as posições inicial e final. Para a discretização da bacia em sub-bacias, para os mesmos picos do hietograma, houve um aumento nos picos dos hidrogramas e redução do tempo de pico, tendo como aumento de 10% e 47% para a discretização com sub-bacia urbana a montante (rural no aporte lateral) e rural a montante (urbana no aporte lateral), respectivamente. Em termos do intervalo de tempo da chuva, houve um amortecimento dos picos dos hidrogramas com o aumento do intervalo, tendo uma redução em média de 13% e 25% dos picos nas representações concentrada e discretizada.

No trabalho de Pereira *et al.* (2013) foram feitos hietogramas, para a cidade de Uberlândia-MG, com diferentes metodologias, sendo elas o método dos blocos alternados, método de Huff e o método de Chicago. Como resultados, os autores concluíram que a metodologia de Chicago superestima os resultados se comparados com o método de Huff e dos blocos alternados, pois teve maiores valores de intensidade de precipitação para o período de retorno de 2 anos.

Para o estado do Ceará, a pesquisa de Muniz *et al.* (2017) fez uma análise da influência da escolha do hietograma na vazão de projeto, no reservatório de Macacos. As metodologias analisadas consistem no método dos blocos alternados, blocos avançados e blocos atrasados. Por fim, as conclusões dos autores foram que não houve diferenças significativas nas vazões de pico entre os métodos dos blocos alternados e atrasados, contudo, o dos blocos avançados tiveram vazões consideravelmente menores que os demais métodos.

## 2.4 Hidrograma de projeto

O hidrograma é caracterizado por uma curva de vazão registrada em uma seção de um rio ou curso de água, decorrente de uma chuva ocorrida na bacia hidrográfica correspondente (Pinto *et al.*, 1976). Com o hidrograma é possível extrair informações como a vazão de pico, o escoamento superficial direto e o escoamento subterrâneo (Mendes, 2018).

Villela e Mattos (1975) afirmam que os fatores fisiográficos que mais afetam o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica são: área, forma, topografia, permeabilidade e capacidade de infiltração da bacia. O escoamento superficial da água na bacia é afetado por alguns fatores como: a precipitação recolhida diretamente pela superfície livre das águas, o escoamento subsuperficial e a contribuição das águas subterrâneas (Pinto *et al.*, 1976).

O hidrograma unitário é uma teoria proposta por Sherman (1932), sendo um modelo linear simples que pode ser usado para deduzir o hidrograma resultante de qualquer quantidade de excesso de chuva (Chow; Maidament; Mays, 1988). Também pode ser definido como a resposta da bacia a uma chuva de volume unitário de duração  $\Delta t$ , em que para a geração do volume unitário pela precipitação, é necessário que a chuva tenha intensidade de  $1/\Delta t$  (Tucci, 1993). O volume de escoamento superficial é medido em altura de água sobre a bacia, fixado como 1 cm, sendo um escoamento fictício de uma chuva uniforme de 1 cm de altura e coeficiente de escoamento igual à unidade (Pinto *et al.*, 1976).

De acordo com Villela e Mattos (1975), essa teoria é embasada sob alguns princípios fundamentais, são eles:

- Chuvas com iguais durações tem durações de escoamentos superficiais correspondentes iguais;
- Duas chuvas de mesma duração, mas com volumes escoados distintos, resultam em hidrogramas com coordenadas proporcionais aos correspondentes volumes escoados;

- Chuvas anteriores não influenciam a distribuição no tempo do escoamento superficial de uma dada precipitação.

Assim, levando-se em conta as proposições citadas anteriormente, o hidrograma unitário é uma constante da bacia hidrográfica, representando suas propriedades de escoamento na seção considerada (Pinto *et al.*, 1976).

Um conceito importante na determinação do escoamento superficial é da precipitação efetiva, sendo definida como a parcela de chuva que gera escoamento superficial, sendo retirados os volumes evaporados, retidos nas depressões e o que foi infiltrado (Tucci, 1993). Uma das metodologias mais simples e utilizadas para a obtenção da chuva efetiva é o método SCS, o qual tem como parâmetro a característica do solo e da ocupação da bacia (*Curve Number*), sendo valores tabelados obtidos por meio de experimentos em bacias pequenas nos EUA (Collischonn; Dornelles, 2013).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), a bacia hidrográfica tem um comportamento linear, com isso, pode-se aplicar alguns princípios como o da proporcionalidade, que indica que o volume escoado é proporcional à intensidade da chuva. Outro princípio é o da superposição, que afirma que as vazões de um hidrograma de escoamento superficial, produzidas por precipitações efetivas sucessivas, podem ser obtidas por meio da soma das vazões dos hidrogramas correspondentes às chuvas efetivas individuais. Ainda de acordo com o autor, com a aplicação desses princípios é possível encontrar hidrogramas resultantes de eventos complexos, calculados através da convolução, a partir do hidrograma unitário.

Barbosa (2001) afirma que um modelo de previsão tendo como base o hidrograma unitário pode ser subdividido em alguns passos, sendo eles: obtenção das ordenadas do hidrograma unitário, estimativa da chuva efetiva, obtenção dos escoamentos superficial e subterrâneo, além da previsão de vazões.

Guo (2006) afirma que mesmo o processo precipitação-vazão não sendo linear, alguns métodos lineares como o hidrograma unitário ainda são recomendados. O princípio da abordagem do hidrograma unitário é a relação linear entre as taxas de escoamento e a quantidade de excedente de chuva, contudo, tal linearidade da relação é aplicável somente a um sistema de reservatório linear, quando o volume de armazenamento é linearmente relacionado ao fluxo de saída. Porém, ainda de acordo com o autor, na escassez de conhecimento sobre a bacia hidrográfica, a premissa da linearidade é aceitável.

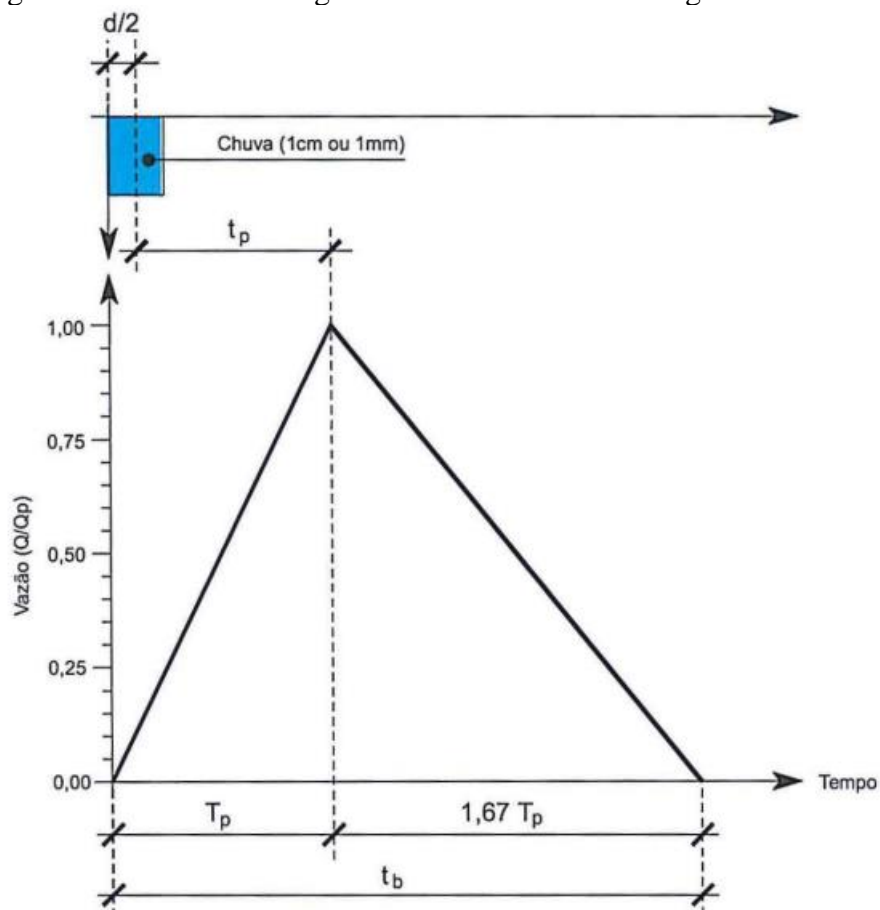
### 2.4.1 Hidrograma unitário sintético triangular do SCS

Em bacias monitoradas, os hidrogramas unitários podem ser obtidos por meio de dados observados, através da medição das precipitações e escoamento para cada evento de chuva. Contudo, quando não há monitoramento, usam-se os métodos do hidrograma unitário sintético (Steinmetz, 2017).

Esses métodos consistem na determinação do hidrograma unitário baseado na determinação do valor de algumas abscissas, sendo elas o tempo de base e o de pico e algumas ordenadas como a vazão de pico (Tucci, 1993).

Assim, de acordo Collischonn e Dornelles (2013), o hidrograma unitário pode ser aproximado por um triângulo, definido pelos tempos de pico e base, e a vazão de pico, esse tipo de hidrograma é definido como hidrograma unitário triangular (HUT), visto na Figura 2.

Figura 2 - Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

Em que  $t_p$  é o tempo de pico,  $T_p$  é tempo de subida e  $t_b$  é o tempo de base.

Para Silveira (2010) essa metodologia é mais geométrica do que física, tendo em vista que o escoamento superficial direto é igual à área do triângulo. Outro ponto é que o método não leva em consideração os fenômenos de translação e o amortecimento do escoamento na bacia hidrográfica.

Coutinho *et al.* (2019) afirma que os parâmetros do hidrograma unitário triangular do SCS podem ser determinados pelos seguintes passos, determinando:

- O tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ), pode ser obtido pela equação 8;
- Cálculo do tempo de subida (3), onde  $d$  é a duração da chuva;

$$T_p = t_p + \frac{d}{2} \quad (3)$$

- Cálculo do tempo de pico (4);

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (4)$$

- Cálculo do tempo de recessão (5);

$$t_r = 1,67 \cdot T_p \quad (5)$$

- Cálculo do tempo de base (6);

$$t_b = 2,67 \cdot T_p \quad (6)$$

- A vazão de pico (7);

$$q_p = \frac{0,208 \cdot A}{T_p} \quad (7)$$

Assim, multiplica-se a precipitação pelas ordenadas do hidrograma unitário, para cada intervalo de tempo. O hidrograma de projeto é obtido fazendo a adição dos hidrogramas individuais de cada intervalo de chuva (Coutinho *et al.*, 2019).

Porém, Cunha *et al.* (2015) afirmam que devido à aplicação do modelo proposto pelo SCS ser em bacias distintas daquelas que foram executadas os estudos que deram origem ao modelo, profissionais da área de recursos hídricos no Brasil observaram um superdimensionamento de obras hidráulicas decorrentes do modelo, com isso, sendo irreais com a escala das bacias e com a observação das cheias locais.

O método do hidrograma unitário triangular é usualmente aplicado a bacias com áreas superiores a 5 km<sup>2</sup>. Em comparação com outros métodos, como o de Santa Bárbara e Clark, o hidrograma unitário triangular do SCS fornece maiores vazões de pico (Silveira, 2010).

#### 2.4.2 Estudos relacionados com hidrograma unitário sintético triangular

Nesse tópico serão abordados alguns estudos que trabalharam com a metodologia do hidrograma unitário triangular do SCS.

A pesquisa de França, Santos e Costa (2022) teve como objetivo medir o escoamento superficial nas bacias dos igarapés Santos e Santa, situados em Tucuruí-PA, utilizando o método do SCS, especificamente para os hidrogramas, foi utilizado o HUT. A conclusão foi um volume maior para a bacia do Igarapé Santos.

O trabalho de Mendes (2018) consistiu na estimativa da vazão máxima por meio de hidrogramas decorrentes de duas metodologias distintas de obtenção da precipitação efetiva, pelo índice  $\phi^1$  e o SCS, para bacias situadas em Uberlândia-MG, além disso, foram comparados os valores encontrados com outros obtidos por bacias experimentais. Os resultados mostraram que o hidrograma unitário triangular do SCS superestimou as vazões de pico, com erros relativos médios de 666,89%, enquanto as vazões provenientes do método da precipitação efetiva obtida pelo índice  $\phi$  se aproximaram dos resultados das bacias estudadas com um erro médio abaixo de 156%. Ademais, quando o ajuste para o tempo de ascensão do hidrograma foi feito em campo, para o método do hidrograma unitário triangular do SCS, obtiveram-se vazões de pico com erro médio abaixo de 2,17%, aproximando-se das medidas das bacias estudadas.

O estudo de Lima (2017) foi efetuado com intuito de avaliar o desempenho do modelo NRCS-CN-HUT distribuído quando submetido a um modelo digital de elevação (MDE) com alta resolução espacial obtido pela tecnologia lidar. Assim, foram simulados hidrogramas para nove eventos de chuva em uma bacia localizada em Porto Alegre-RS. A partir dessas simulações o autor constatou alguns comportamentos como, sensibilidade significativa do modelo as considerações de perdas iniciais, previsão adequada quanto a vazão de pico, propensão a uma atenuação do tempo de pico e na estimativa do volume total escoado constataram-se erros consideráveis.

Para o estado do Ceará, há a pesquisa de Fernandes, Costa e Studart (2017), a qual fez a avaliação da sensibilidade de hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método SCS pela variação do CN (Número da Curva) e o tempo de concentração. Esse estudo foi realizado para uma microbacia localizada no município de Juazeiro do Norte-CE. Portanto, concluiu-se que a forma do hidrograma obtido pelo método SCS tem muita dependência dos valores do CN e do tempo de concentração. Outra conclusão foi que a cheia máxima, na bacia analisada, tem

---

<sup>1</sup> De acordo com Mendes (2018), o índice  $\phi$  indica a taxa média de infiltração durante o escoamento superficial direto, decorrente de um evento de chuva isolado.

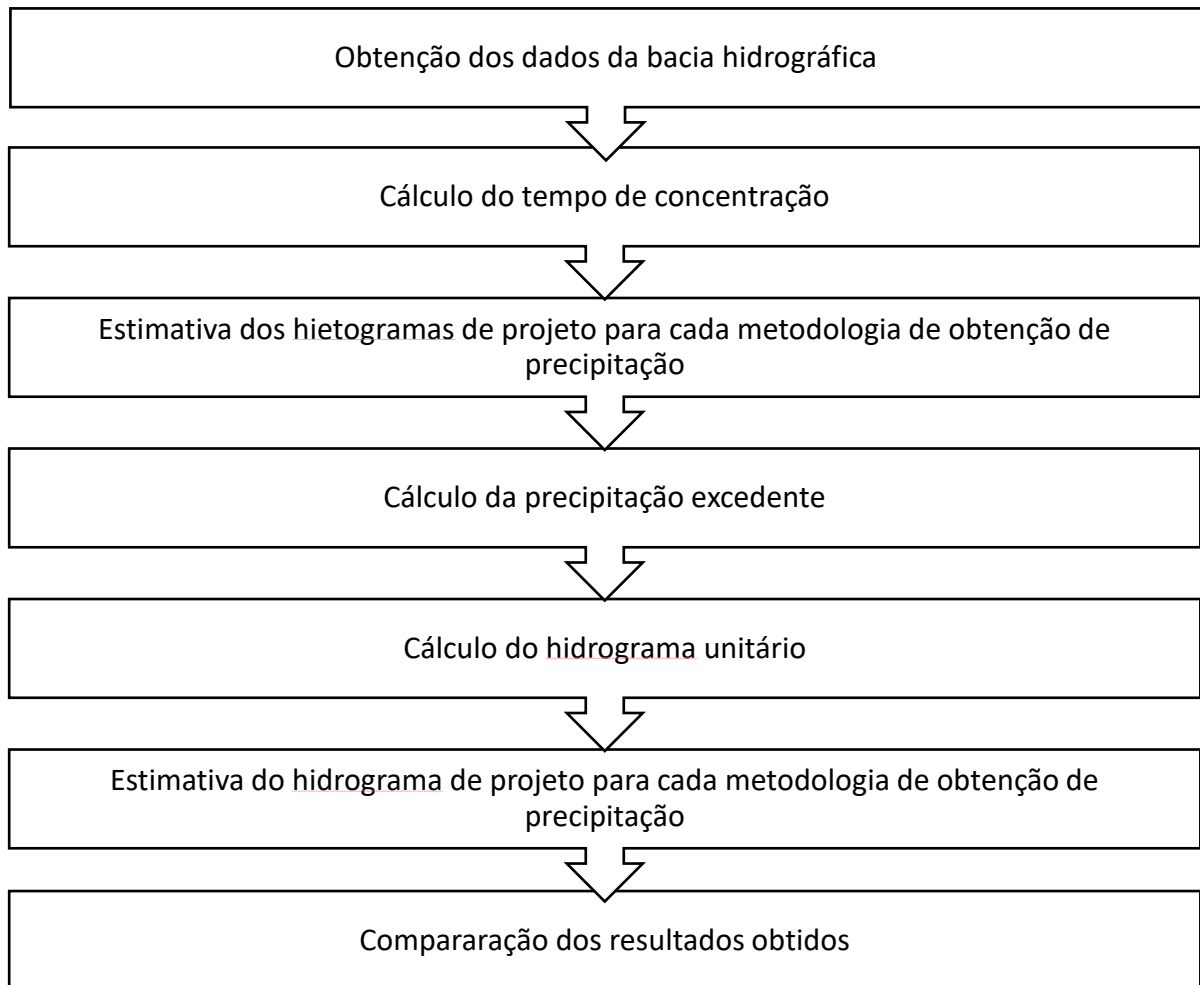


maior sensibilidade às modificações do CN quando utilizados tempos de concentração menores, além disso, a cheia máxima pouco se modifica em relação ao CN quando o tempo de concentração está próximo de 24 h.

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho tem como método de pesquisa o estudo de caso, com natureza quantitativa e com objetivo exploratório. A Figura 3 demonstra o passo a passo desta pesquisa.

Figura 3 - Fluxograma da pesquisa



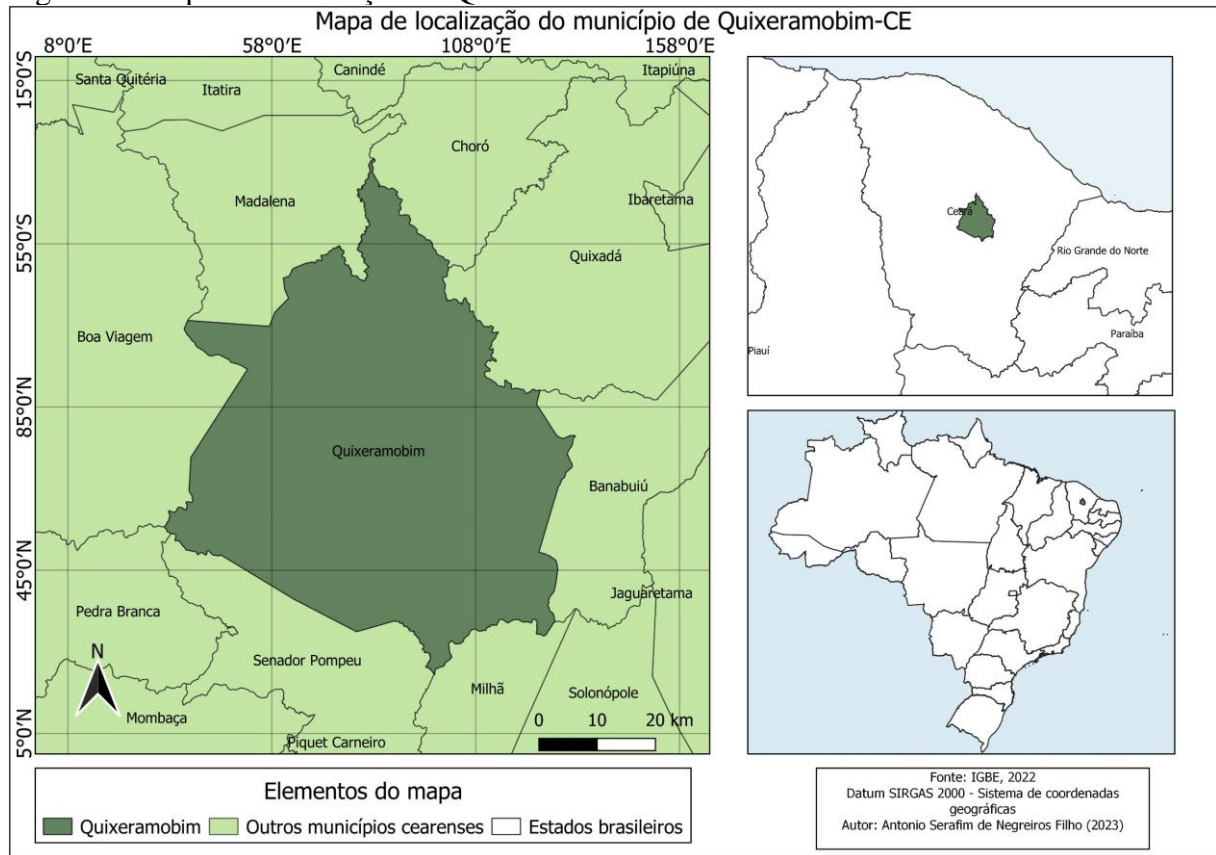
Fonte: Autoria própria (2023).

#### 3.1 Área de estudo

##### 3.1.1 Quixeramobim

Quixeramobim é um município cearense criado em 1766, localizado no sertão central do estado do Ceará, a uma distância em linha reta da capital Fortaleza de 183 km, como visto na Figura 4. Sua área absoluta é de 3.275,84 km<sup>2</sup> e possui como municípios limítrofes Quixadá, Choró, Madalena, Senador Pompeu, Milhã, Banabuiú, Boa viagem e Pedra Branca (IPECE, 2012).

Figura 4 - Mapa de localização de Quixeramobim - CE



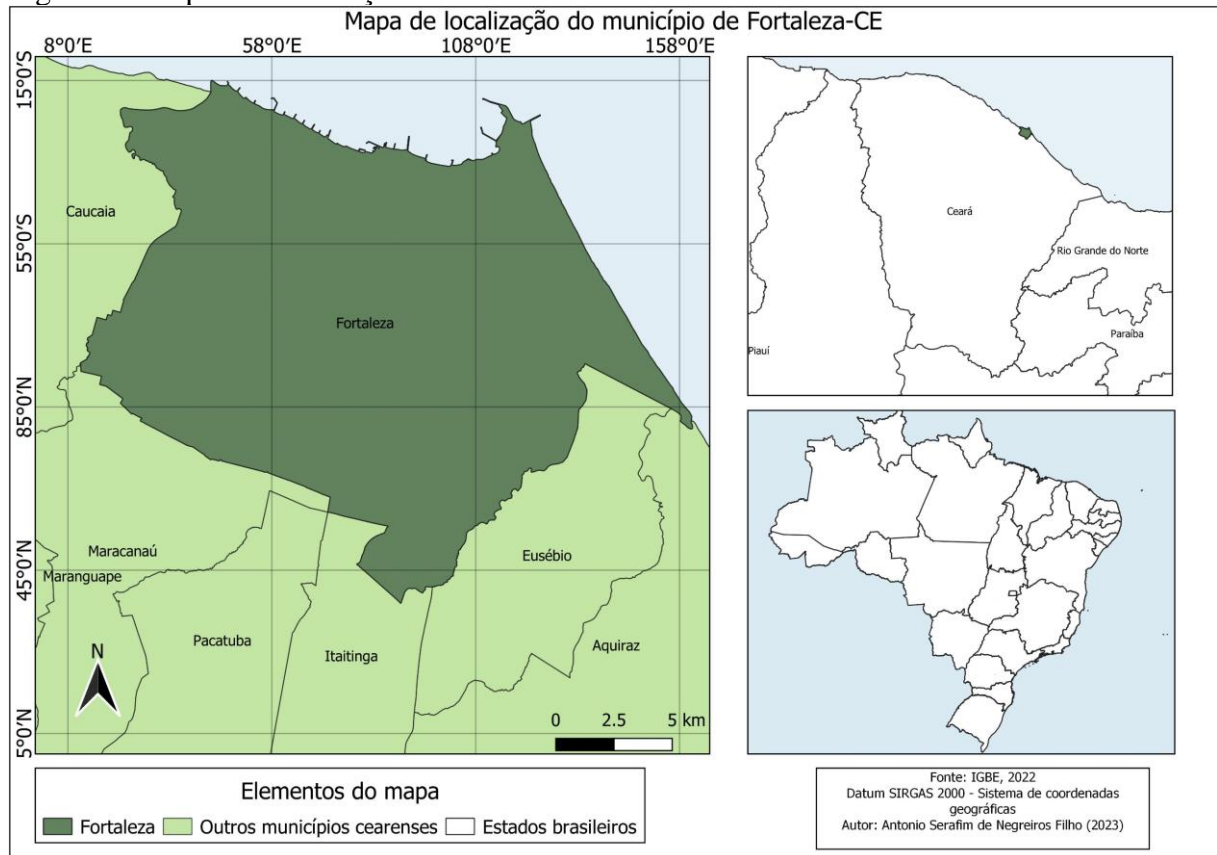
Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com o censo do IBGE de 2022, a população do município era de 78 502 pessoas. O clima de Quixeramobim é tropical quente semiárido, com temperatura média variando entre 26° e 28°, tendo seu período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e abril. Seu relevo é constituído de depressões sertanejas e maciços residuais, a bacia hidrográfica a qual está inserida é a do Banabuiú (IPECE, 2012).

### 3.1.2 Fortaleza

Fortaleza é um município cearense criado em 1725, localizado na mesorregião metropolitana de Fortaleza, no litoral do estado, representado na Figura 5. Sua área absoluta é de 314,9 km<sup>2</sup>, com altitude de 16 metros, o município faz limite com Caucaia, Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga, Eusébio, Aquiraz e oceano Atlântico (IPECE, 2017).

Figura 5 - Mapa de localização de Fortaleza - CE



Fonte: Autoria própria (2023).

O censo de 2022 do IBGE estimou a população do município como 2 428 708 habitantes. O clima de Fortaleza é tropical quente e subúmido, com temperaturas entre 26° e 28°, com períodos chuvosos entre os meses de janeiro e maio. Seu relevo é caracterizado por planícies litorâneas e tabuleiros Pré – Litorâneos, a bacia que o município está contido é a Metropolitana (IPECE, 2017).

### 3.2 Dados das bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas em estudo são as do açude Sítios Novos e a sub-bacia do riacho Caraúna, correspondendo a análise de Fortaleza e Quixeramobim, respectivamente. Os dados de caracterização das bacias são encontrados nos trabalhos de Lima, Santos e Cruz (2017) para a sub-bacia do riacho Caraúna e de Figueiredo e Campos (2007) para o açude Sítios Novos. Os parâmetros das bacias hidrográficas são vistos na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros das bacias hidrográficas

Parâmetros	Açude Sítios Novos (Figueiredo; Campos, 2007)	Sub-Bacia do riacho Caraúna (Lima; Santos; Cruz, 2017)
Area (km <sup>2</sup> )	441,71	119,25
Comprimento do rio principal (km)	52	33,04
Desnível do rio principal (m)	552	262

Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.3 Geração de hietogramas

Com as características das bacias determinadas, o primeiro passo foi o cálculo do tempo de concentração pela equação 8, de Kirpich. Silveira (2005) em sua pesquisa constatou que essa equação tem validade em bacias com áreas de até 12 000 km<sup>2</sup>, com erros relativamente pequenos.

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)^{0,385} \quad (8)$$

Em que  $tc$  é o tempo de concentração em minutos,  $L$  o comprimento de talvegue do rio principal em Km e  $\Delta h$  é a diferença de altitude ao longo do rio principal, dado em metros.

#### 3.3.1 Estimativa do hietograma de precipitação

Para calcular o hietograma de precipitação foi utilizado o método dos blocos alternados.

Primeiramente, foi determinado o valor da duração total da chuva, levando em conta o tempo de concentração, posteriormente, foi feita a discretização dos intervalos, formando-se os blocos de chuva.

Em seguida, foi calculada a intensidade de precipitação para cada bloco de chuva para cada metodologia, utilizando as equações do quadro 1.

Neste trabalho foram utilizadas equações IDF construídas a partir de dados pluviográficos e a partir de dados pluviométricos através dos seguintes métodos de

desagregação: Bell, relações entre durações e isozonas. Portanto, no total, serão comparados 4 hidrogramas, ao final.

Quadro 1 - Equações IDF

Número da equação	Equação	Método	Local	Referência
9	$i = \frac{1013,283 \cdot Tr^{0,214}}{(t + 19,427)^{0,729}}$	Bell	Quixeramobim	Oliveira (2021a)
10	$i = \frac{1234,703 \cdot Tr^{0,197}}{(t + 15,48)^{0,788}}$	Relações entre durações	Quixeramobim	Oliveira (2021a)
11	$i = \frac{21,711 \cdot (Tr - 2,07)^{0,138}}{(t + 15,945)^{0,76}}$	Isozonas	Quixeramobim	Batista (2018)
12	$i = \frac{2847,22 \cdot Tr^{0,3}}{(t + 43)^{0,97}}$	Pluviógrafo	Quixeramobim	Denardin e Freitas (1982)
13	$i = \frac{715,873 \cdot Tr^{0,214}}{(t + 19,427)^{0,729}}$	Bell	Fortaleza	Oliveira (2021a)
14	$i = \frac{897,0236 \cdot Tr^{0,145}}{(t + 15,48)^{0,788}}$	Relações entre durações	Fortaleza	Oliveira (2021a)
15	$i = \frac{19,035 \cdot (Tr - 2,1)^{0,197}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Isozonas	Fortaleza	Batista (2018)
16	$i = \frac{3458,3 \cdot Tr^{0,193}}{(t + 44)^{0,904}}$	Pluviógrafo	Fortaleza	Rodrigues <i>et al.</i> (2008)

Fonte: Autoria própria (2023)

Em que:  $i$  é a intensidade de precipitação em mm/h,  $t$  é a duração da chuva em minutos e  $Tr$  o tempo de retorno em anos. Para as equações pelo método das isozonas a intensidade é dada em mm/min.

Contudo, a equação proposta por Denardin e Freitas (1982) tem validade apenas para períodos de retornos abaixo de 15 anos e durações de chuva inferiores a 1440 minutos. Já a proposta por Rodrigues *et al.* (2008) e dos métodos de Bell e das relações entre durações tem validade para tempos de retorno igual ou abaixo de 100 anos e duração de chuvas inferiores a 1440 minutos. A equação obtida por meio do método das isozonas tem validade apenas para tempos de retorno acima de 2 anos e inferiores ou iguais a 100 anos, enquanto para duração a de chuva inferiores a 240 minutos. Portanto, para o presente trabalho foram verificados os valores extrapolados dessa metodologia.

Vale ressaltar que existe uma equação pluviográfica mais atual para o município de Fortaleza, na data da concepção desse estudo. Contudo, não foi utilizada devido a limitações em relação a duração de chuva, tendo em vista esse estudo trabalhar com durações de chuva superiores.

Em seguida, calculou-se a precipitação total acumulada até o último intervalo de tempo, multiplicando-se a duração da chuva pela intensidade, obtendo-se a precipitação total em milímetros. A seguir, encontrou-se a variação da precipitação total. Posteriormente, realizou-se o rearranjo dos blocos de chuva de modo que aquele de maior altura precipitada ficasse ao centro, enquanto os demais estariam situados a direita e à esquerda, de modo que haja um decréscimo vindo do centro. Com isso, o hietograma de projeto foi gerado para cada equação analisada, para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Os cálculos desta etapa foram realizados no software *Excel*.

### 3.3.2 Cálculo da chuva excedente e do hietograma de projeto

O cálculo da precipitação excedente, a qual gera o escoamento superficial, foi realizado pelo método SCS-CN, esse método está embasado na equação de balanço hídrico aplicada na superfície do solo (Collischonn; Dornelles, 2013).

Nesse método, admite-se que a razão entre a altura de precipitação retida na bacia hidrográfica depois do início do escoamento e a capacidade máxima de retenção de água da bacia é igual à razão entre a chuva efetiva e o escoamento superficial potencial, sendo essa a precipitação deduzida das perdas iniciais devido à saturação da superfície. As perdas iniciais são por evapotranspiração, infiltração, interceptação e armazenamento em depressões, assim o SCS admite perdas iniciais de 20% da capacidade máxima de retenção de água na bacia (Coutinho *et al.*, 2019).

A expressão para o cálculo da precipitação é indicada pela expressão 17, já para determinar a retenção máxima da camada superior do solo, utilizou-se a equação 18.

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)} \quad (17)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (18)$$

Em que:  $P_e$  é a precipitação efetiva,  $P$  a precipitação máxima acumulada,  $S$  o armazenamento máximo e  $CN$  o parâmetro da curva.  $P_e$ ,  $P$  e  $S$  tem sua unidade em milímetros e  $CN$  é adimensional.

As equações dependem do  $CN$ , sendo esse um parâmetro adimensional obtido por meio de tabelas que dependem do tipo, condições de uso e umidade do solo. Esse parâmetro varia de 0 a 100.

O quadro 2 mostra a classificação dos tipos de solos, enquanto o quadro 3 traz os valores do parâmetro  $CN$ .

Quadro 2 - Características dos solos

Solo	Características
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo;
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa

Fonte: Tucci (1993).

Quadro 3 - Valores de  $CN$  para bacias rurais

Uso do solo	Superfície	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 e 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
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas 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 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 (1993).

Assim, foi feito o cálculo da lâmina efetiva para cada duração, posteriormente o cálculo dos incrementos da lâmina efetiva acumulada, por intervalo de tempo. Esses passos foram realizados para cada hietograma de precipitação gerado.

### 3.4 Geração de hidrogramas

#### 3.4.1 Hidrograma unitário

O hidrograma unitário foi obtido pelo método sintético triangular, proposto pelo SCS. Assim, os parâmetros do hidrograma unitário foram obtidos pelas equações 19, 20 e 21, correspondendo ao tempo de pico, tempo de base e vazão de pico, respectivamente.

$$tp = \frac{d}{2} + 0,6 \cdot tc \quad (19)$$

$$tb = 2,67 \cdot tp \quad (20)$$

$$Qp = \frac{0,208 \cdot A}{tp} \quad (21)$$

Em que:  $tp$  é o tempo de pico,  $d$  a duração da chuva,  $tc$  o tempo de concentração,  $tb$  o tempo de base,  $Qp$  a vazão de pico e  $A$  área da bacia hidrográfica. Os valores dos tempos são dados em horas, a vazão em  $m^3/s$  e área da bacia em  $Km^2$ .

#### 3.4.2 Hidrograma de projeto

Com o hidrograma unitário calculado, multiplicou-se as ordenadas dele para cada bloco de chuva efetiva correspondente, gerando um hidrograma para cada bloco de chuva. Posteriormente, somou-se os hidrogramas de cada bloco de chuva para um mesmo intervalo de

tempo, obtendo-se o hidrograma de projeto. Essa etapa foi repetida para os diferentes métodos e para todos os tempos de retorno.

A precipitação excedente, o hidrograma unitário e o hidrograma de projeto foram calculados com o auxílio do software *HEC-HMS 4.11*. Os parâmetros de entrada foram a precipitação, o *lag time* (correspondente a 60% do tempo de concentração), a área da bacia e o CN adotado, sendo esse último valor determinado considerando os solos como tipo C, de acordo com o Quadro 2, e a vegetação como uma floresta normal, tendo embasamento no que foi apresentado por Coutinho *et al.* (2019). Assim, o CN adotado foi de 70, com base no Quadro 3. O valor do CN adotado foi o mesmo para as duas bacias, pois, o presente estudo tem o foco de realizar uma comparação entre as vazões de metodologias distintas de obtenção de precipitação, não tendo enfoque em valores precisos de vazão para os municípios correspondentes.

### 3.5 Comparação entre os resultados obtidos para as diferentes metodologias de obtenção de precipitação

Com todas as etapas concluídas, foram feitas as comparações dos resultados obtidos. Primeiramente, para os dados dos hietogramas de projeto, foram feitas correlações entre os métodos de desagregação de chuva diária e as equações pluviográficas para cada município, calculando-se a linha de tendência e o coeficiente de correlação para cada caso, consequentemente discutindo os resultados encontrados.

Para os hidrogramas de projeto foram feitas comparações entre as vazões de pico encontradas para cada metodologia, sendo a análise dividida para cada município estudado. Com isso, foram analisadas as vazões de pico e sua evolução ao longo do período de retorno para cada um dos métodos.

Também foram calculados os índices de concordância, com intuito de comparar o comportamento das vazões entre os métodos de desagregação de chuva diária e as equações analíticas, por meio da fórmula 22.

$$IC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum(Oi - Ei)}{\sum(|Oi - Om| |Ei - Em|)^2}\right) \quad (22)$$

Em que:  $O_i$  e  $E_i$  são as vazões calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente.  $O_m$  e  $E_m$  são as médias das vazões calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente.

## 4 RESULTADOS

Nessa etapa serão visualizados e discutidos os resultados obtidos para cada um dos municípios em estudo.

### 4.1 Quixeramobim

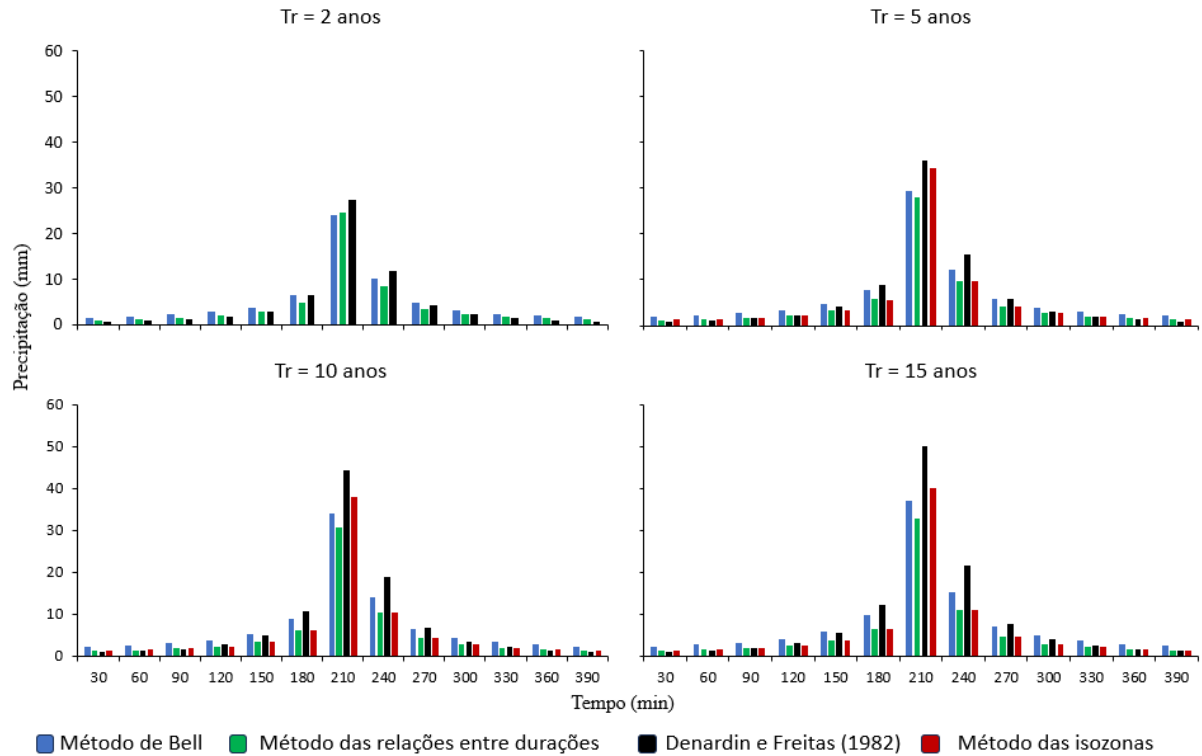
Nesta seção foram apresentados os resultados e as discussões referentes ao município de Quixeramobim.

#### 4.1.1 *Hietograma de projeto*

O tempo de concentração calculado pela equação 8 e com os dados da tabela 1, foi de aproximadamente 380 minutos.

Para a concepção do hietograma de projeto, foi determinado que a duração da chuva seria igual ao tempo de concentração, analogamente aos estudos de Coutinho *et al.* (2019) e Damé *et al.* (2010). Já na subdivisão dos blocos de chuva, de acordo com Collischonn e Dornelles (2013), os intervalos devem ser menores que o valor do tempo de concentração dividido por cinco e a duração total da chuva dividido pelo intervalo de tempo entre blocos deve ser um número inteiro. Com isso, foi adotado um intervalo de 30 minutos e a duração total da chuva foi aumentada para o valor acima mais próximo múltiplo de 30, com isso a duração da chuva foi de 390 minutos. Na Figura 6 são apresentados os resultados dos hietogramas obtidos para as diferentes metodologias de obtenção da precipitação.

Figura 6 - Hietogramas para diferentes metodologias de obtenção de precipitação para o município de Quixeramobim

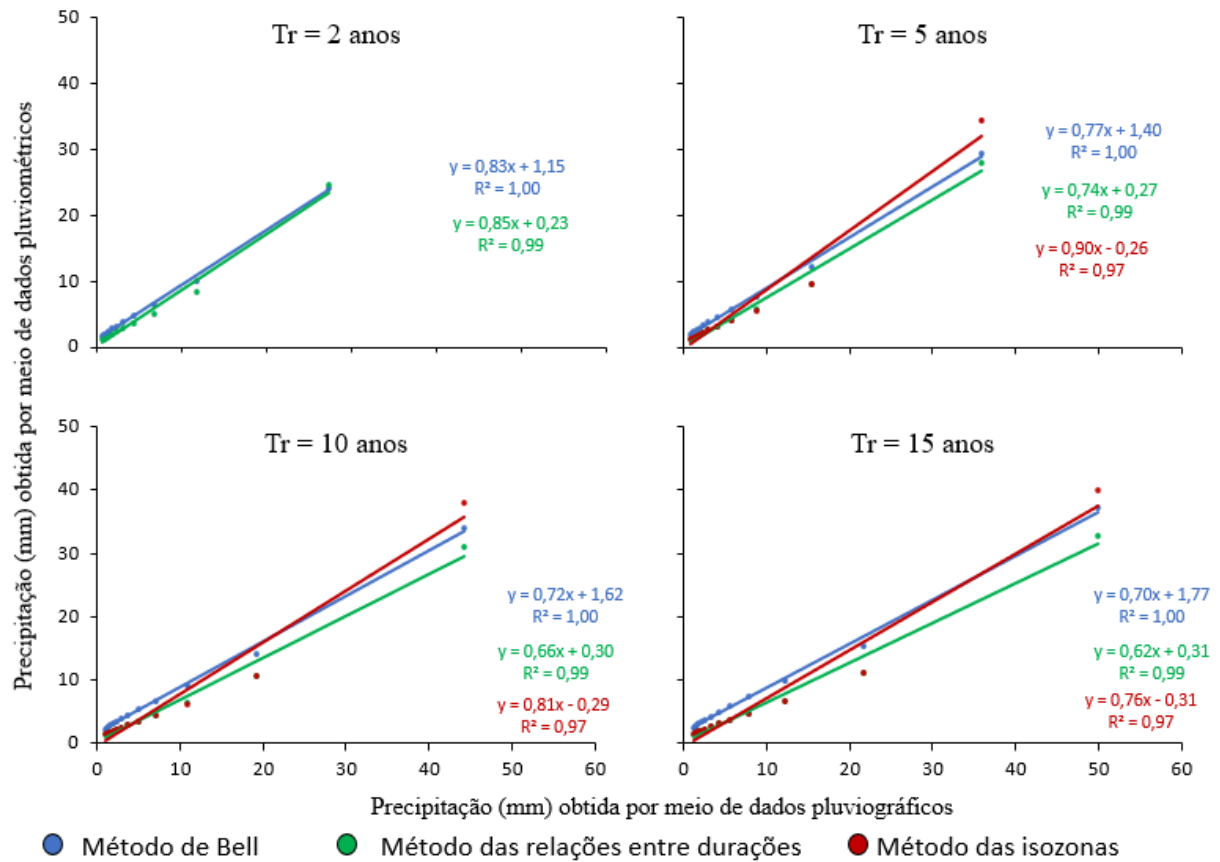


Fonte: Autoria própria

Nota-se que o método das isozonas não está presente no tempo de retorno de 2 anos, porque a equação correspondente a esse método não compreende valores de períodos de retorno abaixo de 2 anos, pois gera indeterminações. Para melhor visualização e comparação dos resultados, foram plotados gráficos que correlacionam as precipitações obtidas pelos dados pluviográficos e pelos métodos de desagregação de chuva diária. Esses resultados podem ser vistos na Figura 7.

Na tabela 2, estão indicadas as precipitações máximas em cada período de retorno.

Figura 7 - Comparação entre as precipitações estimadas pelos métodos de desagregação de precipitação diária e mediante a equação obtida por meio de dados pluviográficos de Denardin e Freitas (1982), bem como as respectivas equações lineares, para cada período de retorno.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Precipitações máximas (Quixeramobim)

	Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Denardin e Freitas (1982)	Método das isozonas
Precipitação máxima (mm)	2	24,2	24,5	27,3	
	5	29,4	28,0	35,9	34,3
	10	34,1	30,9	44,3	38,1
	15	37,2	32,8	50,0	40,1

Fonte: Autoria própria (2023)

Logo, pela figura 7, percebe-se que os coeficientes de correlação foram superiores a 0,95, tendo pouca ou nenhuma variação com a mudança do período de retorno, demonstrando que as precipitações obtidas por meio dos métodos de desagregação de chuva diária se aproximam daquelas obtidas pelos dados pluviográficos.

Contudo, analisando os hietogramas da figura 6 e as precipitações máximas da tabela 2, percebe-se que os valores de precipitação dos métodos de desagregação de chuva

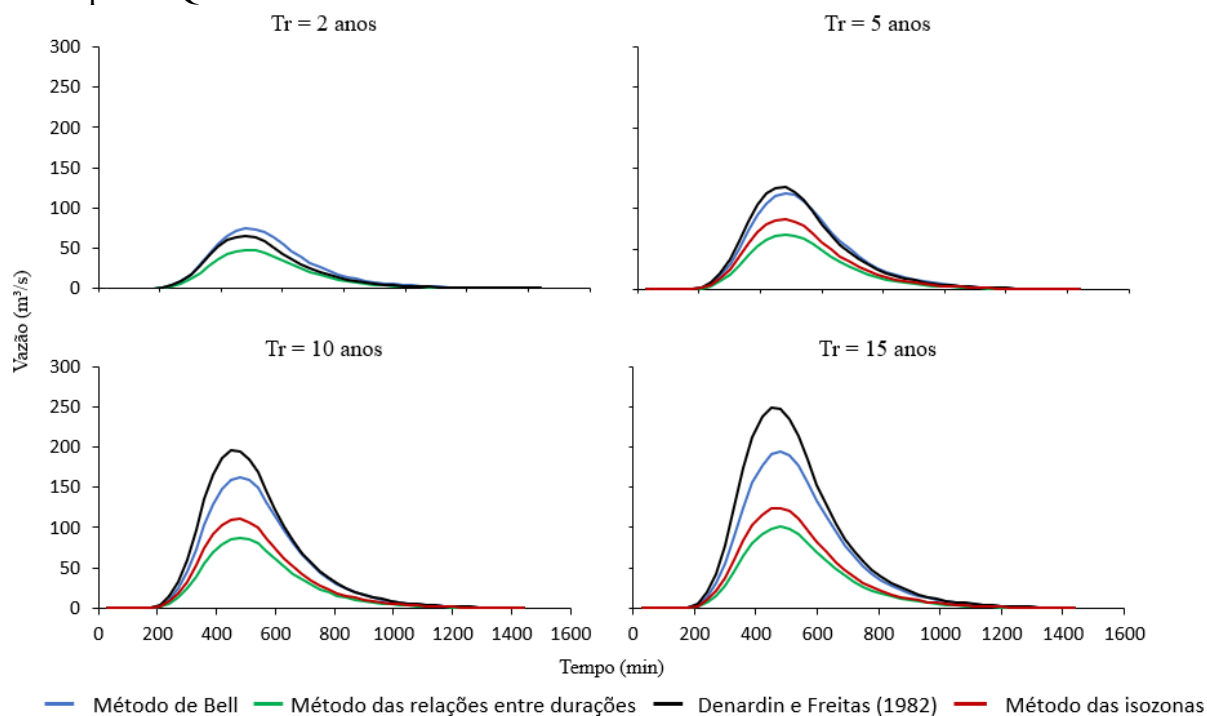
diária em relação àqueles obtidos por meio da equação analítica proposta por Denardin e Freitas (1982) são subestimados de forma geral, para todos os tempos de retorno, e principalmente nos tempos entre 180 e 270 minutos, onde ocorrem os picos de precipitação. Isso também é perceptível analisando os coeficientes angulares das retas da figura 7, os quais estão abaixo de 1, indicando que as alturas precipitadas da equação analítica são superiores às demais metodologias.

Em relação a comparação entre os métodos de desagregação, no hietograma, é possível perceber que o método de Bell se sobressai em relação aos demais de forma geral. Porém, sendo inferior em alguns momentos como nos valores de pico, ficando atrás do método das isozonas, como pode ser visto na figura 6. A reta de regressão do método das isozonas está em grande parte localizada entre as retas do método das relações entre durações e de Bell, se sobressaindo em relação aos demais nos pontos referentes ao pico do hietograma. Isso pode ser percebido também na análise do coeficiente angular da sua reta de regressão, que possui valor maior do que os valores dos demais métodos. Ou seja, a sua reta de regressão está mais inclinada do que as demais, superando os valores dos demais métodos para valores maiores de precipitação e ficando inferior aos demais métodos para valores menores de precipitações. Já as retas de regressão dos métodos de Bell e de relações entre durações são semelhantes, sendo este último aquele que produziu menores valores de precipitações na maioria dos casos.

#### **4.1.2 Hidrograma de projeto**

Os hidrogramas gerados a partir do *HEC-HMS 4.11* para cada um dos métodos podem ser vistos na Figura 8.

Figura 8 - Hidrogramas referentes aos diferentes métodos de obtenção de precipitação para o município de Quixeramobim



Fonte: Autoria própria

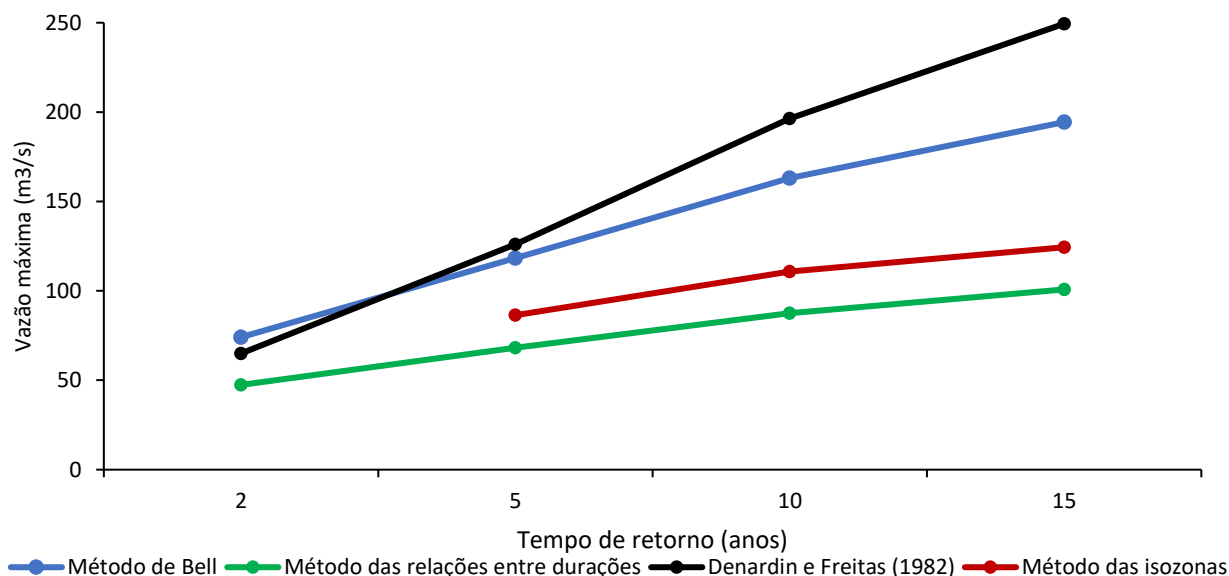
Com base nos resultados obtidos é possível identificar que a equação analítica de Denardin e Freitas (1982) superestima os valores de vazão para todos os tempos de retorno, com exceção ao de 2 anos, seguida pelos métodos de Bell, das isozonas e das relações entre durações. Logo, os resultados condizem com os valores de precipitação encontrados anteriormente. Com intuito de verificar as vazões máximas de forma mais precisa, a tabela 3 traz esses valores e a Figura 9 mostra a evolução dessas vazões ao longo dos períodos de retorno.

Tabela 3 - Vazões máximas para as metodologias de obtenção de precipitação (Quixeramobim)

	Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Denardin e Freitas (1982)	Método das isozonas
Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)	2	74,1	47,4	65	
	5	118,3	68,1	126	86,4
	10	163	87,6	196,3	110,8
	15	194,4	100,8	249,4	124,4

Fonte: Autoria própria

Figura 9 - Variação das vazões de pico (Quixeramobim)



Fonte: Autoria própria

Em conformidade com o que foi apresentado na Figura 8, a Figura 9 mostra que as vazões máximas são majoradas para a equação analítica, tendo valores chegando a quase a 250 m<sup>3</sup>/s no período de retorno de 15 anos. Também é perceptível que o método das relações entre durações é aquele que mais subestima os valores de vazões, tendo sua curva abaixo dos demais em todos os períodos de retorno. Já o método de Bell foi o que mais se aproximou dos valores da equação analítica.

Sendo assim, as vazões de pico das metodologias de desagregação de chuva diária variam em relação a equação analítica de 14 a -22,1%, -27,1 a -59,6% e de -31,4% a -50,1 %, para os métodos de Bell, relações entre durações e isozonas, respectivamente. Portanto, nota-se que essa diferença cresce à medida que o tempo de retorno aumenta.

O índice de concordância da tabela 4 permite a comparação entre as vazões, em todos os intervalos de chuva, entre os métodos de desagregação e a equação analítica.

Tabela 4 - Índice de concordância entre as vazões dos métodos de desagregação de chuva diária e da equação de Denardin e Freitas (1982).

Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Método das isozonas
2	98,94	96,36	-
5	99,69	86,35	94,85
10	98,69	77,71	88,49
15	97,76	72,66	83,37

Fonte: Autoria própria (2023)



Por meio da tabela 4, verifica-se um comportamento das vazões do método de Bell mais parecido com as vazões obtidas pela equação pluviográfica, com valores acima de 95 %. Para o método das isozonas e das relações entre durações, percebe-se um maior distanciamento se comparadas ao método anterior. Porém, de maneira geral, a diferença nos valores de vazão cresce à medida que o período de retorno aumenta, com destaque ao método das relações, que atingiu 72,66 % no período de retorno de 15 anos.

Verificando os resultados da literatura, percebe-se que os valores encontrados aqui estão diferentes daqueles encontrados por Damé *et al.* (2010), a qual fez a comparação entre as vazões encontradas pelo método das relações e a equação analítica, tendo a conclusão que as vazões de pico obtidas por meio dos dados pluviográficos foram inferiores. Contudo, com os resultados de Coutinho *et al.* (2019), que comparou as vazões pelos métodos de Bell e relações entre durações, é possível perceber a consonância entre os resultados encontrados neste trabalho e aqui, tendo em vista que as vazões de pico da metodologia de Bell foram superiores às do método das relações entre durações.

Portanto, nota-se que o comportamento da equação analítica é diferente do encontrado na literatura. Porém, Oliveira (2021a) ressalta o fato da equação proposta por Denardin e Freitas (1982) ter sido concebida em 1982, em outro período de abrangência e assim envolvendo duas situações diferentes, acarretando diferenças nos valores de dimensionamento, devido a não atualização da equação. Desse modo, as equações de chuva têm a necessidade de revisões periódicas, com mais de 20 anos de idade, e que sejam revisadas pelo menos uma vez a cada 10 anos (Zuffo, 2004).

Vale ressaltar que a metodologia das isozonas está extrapolada para essa duração de chuva. Outro ponto relevante é que, de acordo com Oliveira (2021a), o método de Bell é um modelo que tem maior representatividade em precipitações de curtas durações e pequenos períodos de retorno, portanto, este fato pode ter influenciado essa metodologia ter se destacado das demais metodologias de desagregação.

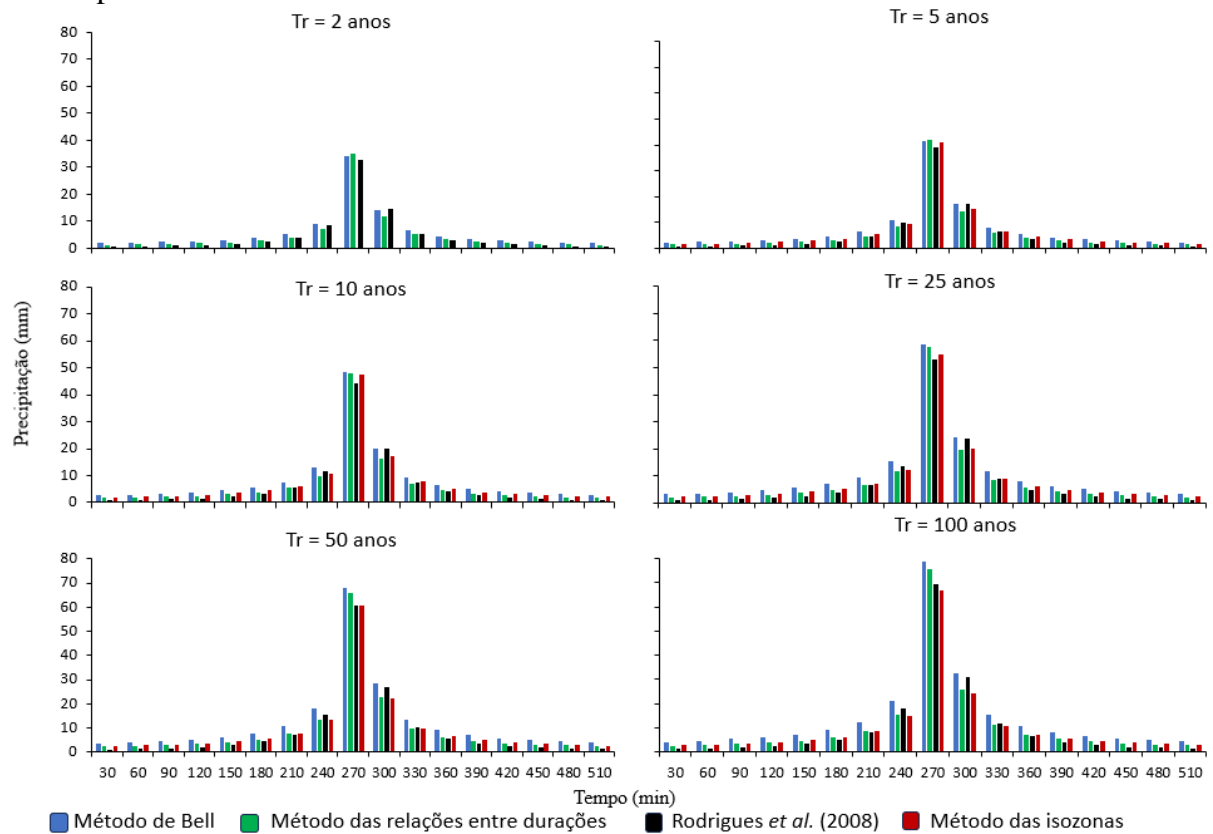
## **4.2 Fortaleza**

Neste tópico foram apresentados os resultados referentes ao município de Fortaleza.

### 4.2.1 Hietograma de projeto

O tempo de concentração encontrado para essa bacia foi de aproximadamente 481 minutos, assim, o intervalo de duração da chuva foi adotado como 30 minutos e a duração total foi de 510 minutos. Portanto, foram gerados os hietogramas, vistos na Figura 10.

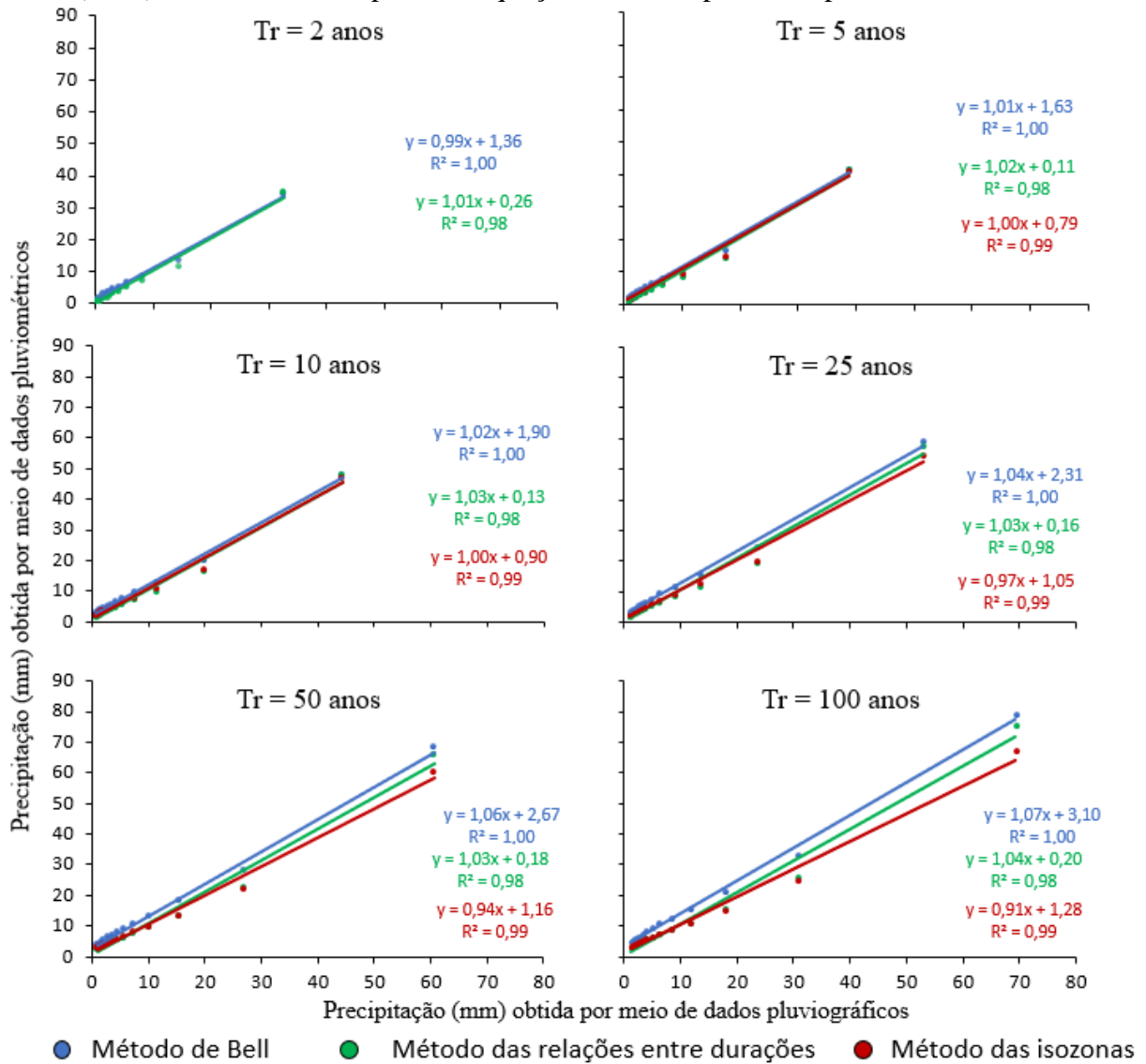
Figura 10 - Hietogramas para diferentes metodologias de obtenção de precipitação para o município de Fortaleza



Fonte: Autoria própria

As correlações entre as precipitações por meio de dados pluviográficos e dos métodos de desagregação de chuva diária são vistos na Figura 11. Já na tabela 5 estão representadas as precipitações máximas.

Figura 11 - Comparação entre as precipitações estimadas pelos métodos de desagregação de precipitação diária e mediante a equação obtida por meio de dados pluviográficos de Rodrigues *et al.* (2008), bem como as respectivas equações lineares, para cada período de retorno.



Fonte: Autoria própria

Tabela 5 - Precipitações máximas (Fortaleza)

	Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Rodrigues <i>et al.</i> (2008)	Método das isozonas
Precipitação máxima (mm)	2	34,2	35,0	32,6	
	5	41,6	41,9	38,9	41,2
	10	48,3	48,0	44,4	47,3
	25	58,7	57,5	53,0	54,7
	50	68,1	65,9	60,6	60,6
	100	79,0	75,5	69,3	66,9

Fonte: Autoria própria (2023)

Nesse caso, analisando a figura 11, os coeficientes de correlação também tiveram seus valores acima de 0,95, com quase nenhuma variação com a mudança do tempo de retorno, mostrando uma boa adequação entre os dados de precipitação entre os métodos de desagregação de chuva diária e a equação analítica proposta por Rodrigues *et al.* (2008).

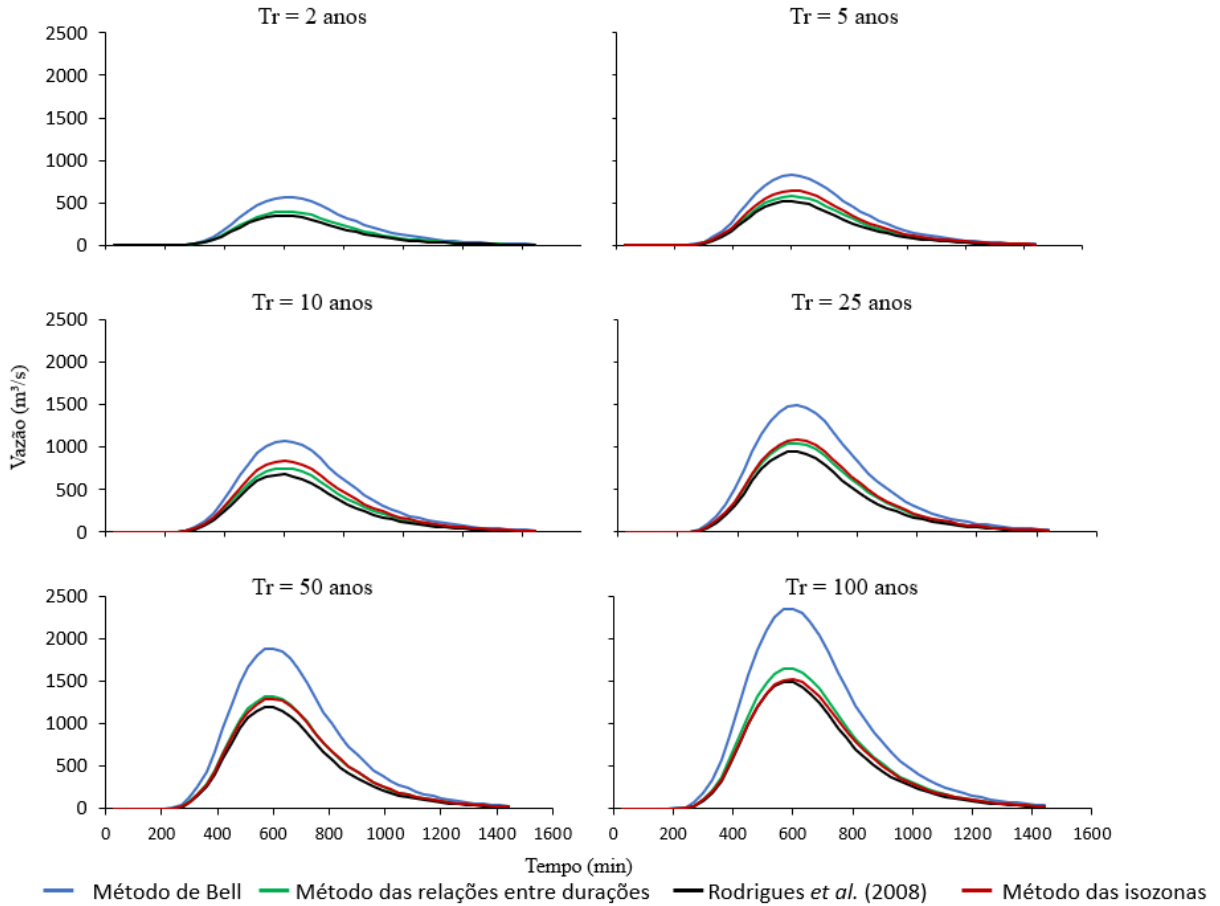
Destaca-se que mesmo com esses resultados, analisando-se os hietogramas da figura 10 e as precipitações máximas da tabela 5, nota-se que as precipitações maiores têm origem nas metodologias de desagregação de chuva diária em relação a equação analítica. Desse modo, as precipitações pelo método de Bell de maneira geral se sobressaem das demais metodologias, principalmente para os tempos de retorno de 25 a 100 anos, de acordo com os hietogramas e com o coeficiente angular da reta que foi superior nesses casos.

O método das relações entre durações também teve as alturas precipitadas mais altas em todos os períodos de retorno, com os coeficientes angulares da reta acima de 1 e próximo ou maior que o método anterior. Já o método das isozonas foi o que obteve menores valores de precipitação dentre os métodos de desagregação, visto que seu coeficiente angular da reta foi menor que 1, com isso inferior aos demais métodos em todos os períodos de retornos. Porém, destaca-se que, de forma geral, os coeficientes angulares das retas foram muito próximos de 1,0, o que evidencia a proximidade dos valores encontrados através de dados pluviográficos e pluviométricos. Os resultados foram, portanto, melhores do que aqueles encontrados para Quixeramobim.

#### **4.2.2 Hidrograma de projeto**

Os hidrogramas gerados a partir do *HEC-HMS 4.11* são vistos na figura 12.

Figura 12 - Hidrogramas referentes aos diferentes métodos de obtenção de precipitação para o município de Fortaleza.



Fonte: Autoria própria

Com os hidrogramas, constata-se a consonância destes resultados com os valores de precipitação apresentados anteriormente nos hietogramas. Percebe-se que o método de Bell se destaca visualmente em relação aos demais, produzindo valores de vazões maiores em todos os períodos de retorno. Os demais métodos apresentam uma boa aproximação nos gráficos de vazão. Vale ressaltar que mesmo com os valores do coeficiente angular inferior a 1, o método das isozonas gerou valores de vazão superiores a equação analítica.

O índice de concordância da tabela 6 permite comparar os comportamentos das vazões da equação pluviográfica em relação aos métodos de desagregação.

Tabela 6 - Índice de concordância entre as vazões dos métodos de desagregação de chuva diária e da equação de Rodrigues *et al.* (2008).

Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Método das isozonas
2	89,24	99,22	-
5	89,54	99,28	97,40
10	89,69	99,31	97,57
25	89,83	99,34	98,78
50	89,89	99,37	99,49
100	89,91	99,38	99,87

Fonte: Autoria própria (2023)

Com os valores da tabela 6, nota-se uma proximidade maior entre o comportamento das vazões nos métodos das isozonas e das relações entre durações, com valores acima de 97 %, enquanto o método de Bell está mais abaixo com valores da ordem de 89%.

Consultando a literatura, o comportamento nesse caso foi semelhante ao visto nos trabalhos de Damé *et al.* (2010) e Coutinho *et al.* (2019), em que, os métodos de desagregação de chuva diária tiveram vazões superiores às vazões obtidas pela equação analítica e que, as vazões pelo método de Bell foram superiores a aquelas obtidas pelo método das relações. Observa-se aqui um comportamento diferente do que foi observado em Quixeramobim, em que os valores do índice de concordância crescem à medida que o tempo de retorno aumenta para todos os métodos.

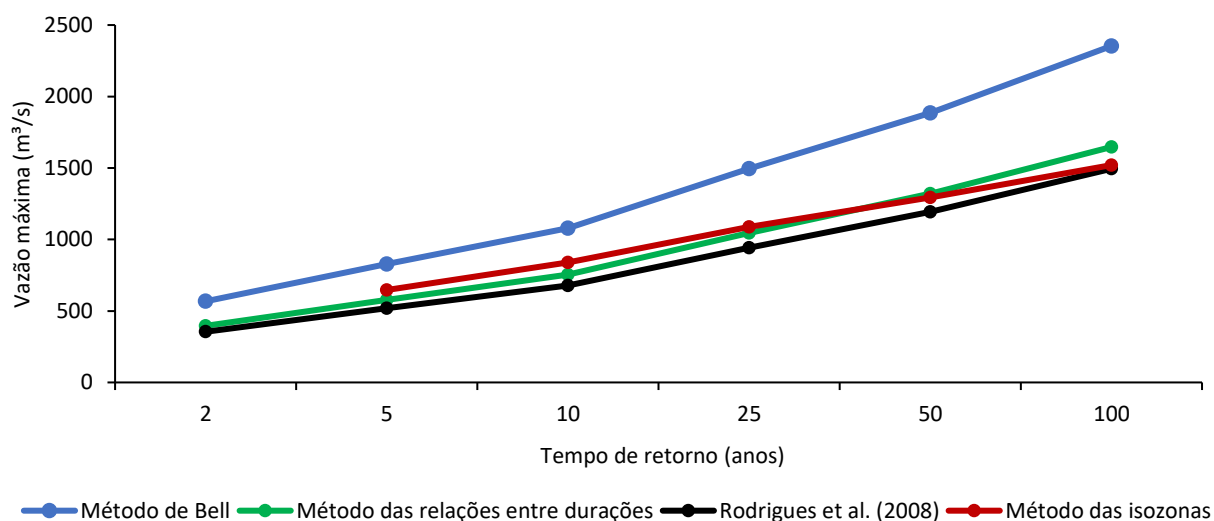
Na tabela 7 são visualizados os valores das vazões máximas para cada metodologia, em seus respectivos períodos de retorno. Já a Figura 13 mostra como essa vazão máxima varia ao longo do tempo de retorno.

Tabela 7 - Vazões máximas para as metodologias de obtenção de precipitação (Fortaleza)

	Tempo de retorno	Método de Bell	Método das relações entre durações	Rodrigues <i>et al.</i> (2008)	Método das isozonas
Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)	2	567,5	396	354,5	
	5	827,3	578,4	519,2	646,6
	10	1077,8	754,1	678	838,6
	25	1494,6	1046,1	942,8	1088,8
	50	1885,9	1319,9	1193,9	1293,9
	100	2353,5	1647	1494,4	1520,2

Fonte: Autoria própria

Figura 13 - Variação das vazões de pico (Fortaleza)



Fonte: Autoria própria

Como visto na tabela 7 e na Figura 13, as vazões máximas são maiores para o método de Bell em todos os tempos de retorno, chegando a valores de 2353,5 m³/s no período de retorno de 100 anos. Vale ressaltar, em comparação com a bacia de Quixeramobim, que os valores de vazão aqui encontrados são superiores devido ao aumento de alguns parâmetros da bacia, como comprimento do rio principal, desnível e área da bacia, assim, conseqüentemente aumentando o tempo de concentração e a vazão.

Por conseguinte, comparando-se as vazões de pico dos métodos de desagregação de chuva diária em relação a equação de Rodrigues *et al.* (2008), observa-se que aqueles tem vazões maiores em relação a essa. Contudo, constata-se uma diminuição da diferença entre essas vazões à medida que o período de retorno aumenta, sendo essa discrepância em torno de 60,1 a 57,5%, 11,7 a 10,2% e 24,5 a 1,7% para os métodos de Bell, das relações entre durações e das isozonas, respectivamente.

O método das isozonas, com valores extrapolados, obteve uma curva intermediária, ficando próxima das curvas da equação analítica e das relações entre durações. Vale destacar, a discrepância da metodologia de Bell em relação aos demais métodos de desagregação de chuva diária e a equação de Rodrigues *et al.* (2008). Isso pode ser explicado pelo fato desse método ser indicado para menores tempos de retorno e pequenas durações de chuva (Oliveira, 2021a).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o intuito de comparar os hidrogramas de projeto gerados através de dados de precipitação obtidos por meio de informações de métodos de desagregação de chuva diária de pluviômetros e pluviógrafos.

Os municípios foram escolhidos pelo fato de possuírem dados de equações IDF obtidas por meio de dados pluviográficos e por meio da desagregação da chuva diária através de três métodos que foram considerados neste trabalho: Bell, das isozonas e das relações entre durações. A equação para Fortaleza foi escolhida por compreender durações de chuva e tempos de retorno relativamente grandes, da ordem de 1440 minutos para duração de chuva e 100 anos para o tempo de retorno. Já para Quixeramobim, foi utilizada a equação vigente, sendo datada de 1982, portanto, desatualizada.

Para Quixeramobim, mesmo com os coeficientes de correlação indicando um bom ajuste entre as alturas precipitadas dos métodos de desagregação com a equação do pluviógrafo, houve um destaque das vazões de pico obtidas pela equação analítica proposta por Denardin e Freitas (1982). Essa diferença nos valores de vazão de pico chega a 22,1, 59,6 e 50,1% no tempo de retorno de 15 anos, para os métodos de Bell, das relações entre durações e das isozonas, respectivamente, demonstrando um crescimento com o aumento do tempo de retorno. Esse comportamento foi visto também por meio do índice de concordância, onde o método de Bell teve valores acima de 95% e os demais métodos foram inferiores, com valores chegando a 72,66%, no período de retorno de 15 anos. Os resultados podem estar associados ao fato da equação analítica ter sido concebida há mais de 40 anos, em outro cenário e com uma menor quantidade de dados de precipitação. Com isso, pressupõe-se que a idade da equação tenha influência nos resultados das vazões de pico geradas pelos hidrogramas de projeto. Avaliar se essa hipótese é verdadeira ou não está além do escopo deste trabalho.

Em Fortaleza, os coeficientes de correlação indicaram um bom ajuste entre as alturas precipitadas dos métodos de desagregação com a equação do pluviógrafo, de maneira geral, as vazões de pico dos métodos de desagregação de chuva diária foram superiores a equação proposta por Rodrigues *et al.* (2008), sendo esse comportamento condizente com os resultados encontrado na literatura. Nesse caso, a diferença foi maior para períodos de retorno menores, com método de Bell tendo valores entre 60,1 a 57,5%, o das relações entre durações entre 11,7 a 10,2%, e o das isozonas entre 24,5 a 1,7%. Esses resultados condizem com o que foi observado no índice de concordância, com o método das relações e das isozonas com valores acima de 97% e o método de Bell com valores na ordem de 89%.



O comportamento do método de Bell, dentre os métodos obtidos por dados pluviométricos, foi o que obteve maiores vazões de pico para ambos os municípios, podendo estar associado a essa metodologia ser indicada a pequenos períodos de retorno e durações de chuva, de acordo com Oliveira (2021a). Assim, como este trabalho está associado com bacias que envolvem durações de chuva e tempos de retorno relativamente grandes, esse método gerou vazões que se distanciam do comportamento dos demais métodos de desagregação.

Já os métodos das isozonas e das relações entre durações tiveram as curvas que mais se aproximaram da curva da equação analítica, exclusivamente para Fortaleza. Vale ressaltar, que o método da isozona mesmo extrapolado, gerou vazões de pico próximas da equação pluviográfica.

Com isso, tendo em vista as poucas equações IDF geradas por dados pluviográficos no território cearense, é válida a utilização dos métodos de desagregação de chuva diária para encontrar as vazões de projeto. Mesmo com a análise deste trabalho, ainda não se pode afirmar qual dos métodos é o mais representativo no território cearense, devido à baixa amostra de equações analíticas do estado. Contudo, de maneira geral, os métodos da isozonas e das relações entre durações foram os que obtiveram os resultados mais satisfatórios.

Sugere-se, assim, como continuação a este estudo, verificar a influência da mudança dos parâmetros da bacia no hidrograma de projeto, para os métodos de obtenção de precipitação apresentados aqui, trabalhando com bacias menores.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, E. C. D. F. et al. Hietogramas obtidos a partir de relações IDF para as mesorregiões sul/sudoeste e Campo das Vertentes, MG. **Sustentare**, Minas Gerais, v. 2, n. 2, p.1, 2018.
- ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **Hidroweb**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/sobre>. Acesso em: abril 2023.
- ARAÚJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 162 – 169, 2008.
- BACK, Á. J. Modelo alternativo de equação de chuvas intensas obtida a partir da desagregação da chuva diária. **RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.25, e2, 2020
- BARBOSA, A. M. Modelo de previsão de vazão baseado no hidrograma unitário. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 165 – 174, 2001.
- BATISTA, T. L. **Desenvolvimento de uma ferramenta de Hidroinformática para cálculo de equações IDF com aplicação na Região Metropolitana de Fortaleza**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, 2015.
- BATISTA, T. L. **Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- BEMFICA, D. C.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 5 – 16, 2000.
- CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meio convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física (RBGF)**, Recife, vol. 1, n. 1, p. 73 – 85, 2008.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **População em áreas de risco no Brasil**. Rio de Janeiro: CEMADEN, 2018.
- CHIMENE, C. A. Equacionamento dos vieses em cheias de projeto referência e simulada a partir de hietogramas sintéticos: Caso de estudo bacia hidrográfica de Sítios Novos. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 456 – 469, 2020.
- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, D. R. & MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.
- Confederação Nacional de Municípios (CNM). **Danos e prejuízos causados por excesso de chuvas em todo o Brasil entre 1o e 31 de dezembro de 2022**. Brasília: CNM, 2022.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

CORREA, S. W. et al. Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 549, p. 667 – 684, 2017.

COUTINHO, A. P. et al. O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 146 – 156, 2019.

CUNHA, S. F. et al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 837-838, 2015.

DAMÉ, R. DE C. F. et al. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 46–54, 2010.

DAMÉ, R. DE. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245 – 255, 2008.

DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. de. (1982). Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesq. gropec. bras.**, Brasília, v. 17, n. 10, p. 1409-1416, 1982.

DEPINÉ, H. et al. Preenchimento de Falhas de Dados Horários de Precipitação Utilizando Redes Neurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 51 – 63, 2014.

FECHINE SOBRINHO, V. et al. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 727-734, 2014.

FERNANDES, R. O.; COSTA, C. T. F.; STUDART, T. M. C. Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. **Revista Águas Subterrâneas**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 243 – 254, 2017.

FIGUEIREDO, N. N.; CAMPOS, J. N. B. O efeito do hietograma na vazão de pico de cheias. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 17, 2007.

FRANÇA, D. A. F.; SANTOS, V. C.; COSTA, C. E. A. S. Análise do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas no leste da Amazônia. **Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 16, p. 1 – 6, 2022.

GUO, J.C. Storm-water predictions by dimensionless unit hydrograph. **Journal of irrigation and drainage engineering**, [s. l.], v. 132, n. 4, p. 410-417, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **População em áreas de risco no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil das regiões de planejamento** – Grande Fortaleza 2017. Fortaleza- CE, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil básico municipal - 2012** – Quixeramobim. Fortaleza- CE, 2012.

LEAL, D. A. et al. Determinação da Precipitação efetiva em uma bacia hidrografica experimental. **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campo Grande, v. 8, 2017.

LIMA, D. M. **Aplicação do MDE de alta resolução espacial em uma abordagem distribuída do modelo NRCS-CN-HUT**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

LIMA, W. J. R.; SANTOS, F. A.; CRUZ, M. L. B. Análise dos parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do riacho Caraúna, em Quixeramobim (Ceará). **GEOAMBIENTE ONLINE – Revista eletrônica do curso de Geografia (UFG/REJ)**, Jataí, n. 29, 2017.

LIMA NETO, V. D. S. et al. Estudo comparativo de equações intensidade-duração-frequência da cidade de Fortaleza - CE, Brasil. **Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, Buenos Aires, v. 28, 2018.

MACHADO, C. D. **Geostatística aplicada a estimativa e espacialização de dados de vazão**. 2022. Tese (Doutorado em Tecnologias Ambientais) - Faculdade de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2022.

MAHUNGUANA, M. J. et al. Efeito da discretização espaço temporal na estimativa do hidrograma de projeto. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, v. 20, 2013.

MAHUNGUANA, M. J.; BRAVO, J. M. Avaliação do efeito de critérios de projeto no dimensionamento de redes de macrodrenagem através da simulação hidrológico-hidráulica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 484 – 495, 2015.

MENDES, N. G. **Hidrogramas de cheia em duas bacias hidrográficas no cerrado mineiro**. 2018. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MENEZES FILHO, F. C. M. M.; COSTA, A. R. Aplicação do método dos blocos alternados e da convolução de hidrogramas para determinação de escoamento superficial direto – esd. **Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**, [s. l.], v. 1, 2007.

MUNIZ, L. F. et al. Influência do hietograma sintético na cheia de projeto do reservatório macacos no estado do Ceará. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 22, 2017.

OLIVEIRA, D. R. **Métodos de desagregação na geração de equações IDF: estudo comparativo aplicado a municípios cearenses providos de pluviógrafos**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2021a.

OLIVEIRA, D. R. Análise de desempenho do modelo alternativo de equação de chuvas intensas aplicado a localidades do Ceará. **Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos**, Belo Horizonte, v. 24, 2021b.

PAULINO, P. F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PEREIRA, C. E. et al. Definição da chuva de projeto por métodos tradicionais para a cidade de Uberlândia-MG. **Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos**, Bento Gonçalves, v. 20, 2013.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Editora Blucher, 1976.

RODRIGUES, J. O. et al. Equações de intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 511 – 519, 2008.

SÁ, R. L. **Inventário de dados fluviométricos do estado do Espírito Santo**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal), Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de pesquisas hidráulicas, Porto Alegre, 2014.

SHERMAN, L. K. Streamflow from rainfall by unit-graph method. **Engineering News Record**, [s.l.], v. 108, p. 501 - 505, 1932.

SIA, N. B. P.; SILVA, J. C. D. Drenagem Urbana - cálculos e estimativas através do Modelo Soil Conservation Service (SCS). **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 33506 – 33514, 2021.

SILVA, F.O.E.; PALÁCIO JÚNIOR, F.F.R.; CAMPOS, J.N.B. (2013). Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, Fortaleza, n. 192, p. 48 – 59, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 05 – 23, 2005.

SILVEIRA, G. M. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUSA, F. R. C.; PAULA, D. P. Uso da equação de intensidade-duração-frequência de chuvas para bacia do rio Coreaú (Ceará, Brasil). **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 96 – 109, 2018.

STEINMETZ, A. A. **Estimativa de cheias aplicando a técnica de hidrograma unitário com diferentes abordagens de discretização espacial em uma sub-bacia do arroio Pelotas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

TAVARES, P. R. L. **Modelagem hidrológica e hidráulica associada a sistemas de informações geográficas para identificação de planícies de inundação e simulação do perfil d'água em um trecho do rio Maranguapinho**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

TIECHER, T. et al. Análise do padrão de distribuição temporal das chuvas em Santa Maria. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, v. 20, 2013.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. D. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 3ª. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**, São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WOLDESENBET, T. A.; ELAGIB, N. A.; HEINRICH, J. Gap filling and homogenization of climatological datasets in the headwater region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Intertional Journal of Climatology**, [s. l.], v. 37, 4 ed, p. 2122 – 2140, 2016.

YU, B.; HASHIM, G. M.; EUSOF, Z. Estimating the R-Factor with Limited Rainfall Data: a Case Study from Peninsular Malaysia. **Journal of soil & water conservation**, [s. l.] v. 56, n. 2, p. 101-105, 2001.

ZUFFO, A. C. Equações de Chuvas São Eternas? **Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, São Pedro, v. 21, 2004.