

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**GABRIELLA MIZZY DE FÁTIMA GOMES PACHECO
LORRANY MOTA DA FÉ**

**DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA A CIDADE DE GOIÂNIA -
GO**

**TRINDADE
2022**

**GABRIELA MIZZY DE FÁTIMA GOMES PACHECO
LORRANY MOTA DA FÉ**

**DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA A CIDADE DE GOIÂNIA -
GO**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil para obtenção de nota parcial.

Orientador(a): Me. Bruna Andrade Ferreira
Coorientador: Me. Vinícius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall

**TRINDADE
2022**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

P116d Pacheco, Gabriella Mizzy de Fátima Gomes.

Determinação da Equação de Chuvas para a Cidade de Goiânia - GO
[manuscrito]/ Gabriella Mizzy de Fátima Gomes Pacheco; Lorrany Mota da Fé. . –
2022.

37 f.

Orientadora Me. Bruna Andrade Ferreira; co-orientador Me. Vinícius Otto de
Aguiar Ritzmann Marzall. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano, Campus Trindade, 2022.

Bibliografia.

1. Chuvas intensas. 2. Intensidade-Duração Frequência. 3. Distribuição de
Gumbel. I. Ferreira, Bruna Andrade. II. Marzall, Vinícius Otto de Aguiar Ritzmann. III.
Instituto Federal Goiano, Campus Trindade. IV. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) 18 | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gabriella Mizzy de Fátima Gomes Pacheco e Lorrany Mota da Fé

Matrícula:

2018108200840199 e 2018108200840024

Título do trabalho:

Determinação da Equação de Chuvas para a Cidade de Goiânia - GO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 18 / 01 / 2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade

17 / 01 / 2023

Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

**GABRIELLA MIZZY DE FÁTIMA GOMES PACHECO
LORRANY MOTA DA FÉ**

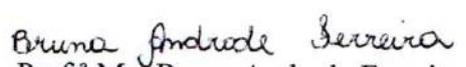
**DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA A CIDADE DE GOIÂNIA -
GO**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil para obtenção de nota parcial.

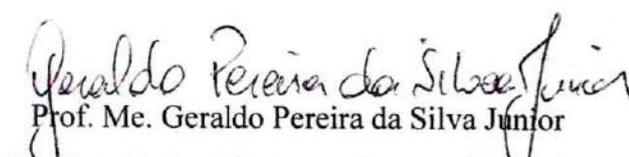
Orientador: Me. Bruna Andrade Ferreira

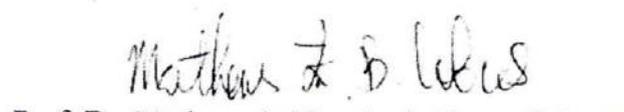
Coorientador: Me. Vinícius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall

Aprovado em 28 de outubro de 2022


Prof.^a Me. Bruna Andrade Ferreira

Instituto Federal Goiano - Campus Trindade
Presidente / Orientador


Prof. Me. Geraldo Pereira da Silva Junior
Instituto Federal Goiano - Campus Trindade
Membro interno


Prof. Dr. Mathcus de Figueiredo Braga Colares
Membro externo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, a Deus por esta conquista em nossas vidas, em segundo lugar, nossos orientadores, Prof.^a Me. Bruna Andrade Ferreira e Prof. Me. Vinícius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall pelo esforço e dedicação no desenvolvimento do nosso trabalho, além da contribuição na nossa vida pessoal e profissional. Agradecemos também, a Prof.^a Dra. Maria Socorro Duarte da Silva pela colaboração neste trabalho e aos professores da banca, Prof. Me. Geraldo Pereira da Silva Júnior e Prof. Dr. Matheus de Figueiredo Braga Colares pela disponibilidade em contribuir com o nosso trabalho. De maneira especial, agradecemos às nossas famílias pelo apoio, incentivo e dedicação durante todo o período acadêmico. E, por fim, aos nossos amigos pela parceria e momentos compartilhados durante nossa trajetória.

RESUMO

A precipitação máxima pode ser compreendida como um acontecimento extremo, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma específica região geográfica. Os dados destas precipitações são obtidos através das relações das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) que determinam a intensidade máxima de precipitação que poderá acontecer em um determinado período de tempo (BASSO *et al.*, 2019). Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar a equação de chuvas IDF para o município de Goiânia-GO, contribuindo na elaboração de projetos de obras hidráulicas, e melhorar a segurança no dimensionamento da vazão de projetos pluviais para a cidade estudada. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura por meio de pesquisa bibliográfica e, posteriormente, foram analisados os eventos chuvosos ocorridos na cidade de Goiânia durante o período de 10 anos (2009 a 2019), obtidos do pluviógrafo nº. 83423, operado pelo Instituto Nacional de Meteorologia. A partir destes dados, foi aplicado o modelo de distribuição de Gumbel e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Com isto, foi feita a análise das séries anuais dos valores extremos de eventos chuvosos ocorridos no município e estudados os métodos de regressão não linear para determinação dos parâmetros da equação. Estes parâmetros foram obtidos através das calibrações *Root Mean Squared Error* e *Mean Absolute Percentage of Error*, os quais possibilitaram a obtenção da equação de chuvas IDF. Desta forma, foi possível comparar a intensidade obtida através do modelo de distribuição de Gumbel e dos dois métodos de calibração, identificando o erro percentual entre eles.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Intensidade-Duração-Frequência. Distribuição de Gumbel.

ABSTRACT

Maximum precipitation can be understood as an extreme event, with duration, temporal and spatial distribution critical to a specific geographic region. The data of these precipitations are obtained through the intensity-duration-frequency (IDF) curves which determine the maximum precipitation intensity that may occur in a given period of time (BASSO *et al.*, 2019). Thus, the objective of this work was to present the IDF rainfall equation for the municipality of Goiânia-GO, contributing to the elaboration of hydraulic works projects, and to improve the safety in the flow of storm projects for the city studied. Initially, a literature review was performed through bibliographic research and, subsequently, the rainy events that occurred in the city of Goiânia during the 10-year period (2009 to 2019) were analyzed, obtained from the pluviographer no. 83423, operated by the National Institute of Meteorology. From these data, the Gumbel distribution model and Kolmogorov-Smirnov adhesion test were applied. With this, the annual series of the extreme values of rainy events occurred in the municipality was performed and the nonlinear regression methods were studied to determine the parameters of the equation. These parameters were obtained through the Root Mean Squared Error and Mean Absolute Percentage of Error calibrations, which made it possible to obtain the IDF rainfall equation. Thus, it was possible to compare the intensity obtained through the Gumbel distribution model and the two calibration methods, identifying the percentage error between them.

Keywords: Heavy rains. Intensity-Duration-Frequency. Gumbel distribution.

LISTA DE SIGLAS

ALEA- Análise de Frequência Local de Eventos Hidrológicos Anuais

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

GRG- Gradiente Reduzido Generalizado

IDF- Intensidade-Duração-Frequência

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

MAPE- Mean Absolute Percentage of Error

RMSE- Root Mean Squared Error

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** - Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Oliveira (2005) para o tempo de retorno de 2 anos. 26
- Gráfico 2** - Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Oliveira (2005) para o tempo de retorno de 25 anos. 27
- Gráfico 3** - Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Costa e Brito (1999) para o tempo de retorno de 2 anos. 28
- Gráfico 4** - Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Costa e Brito (1999) para o tempo de retorno de 25 anos. 29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Séries de precipitações máximas anuais.	22
Quadro 2 - Coeficientes alfa e beta.	22
Quadro 3 - Precipitação máxima possível de ser superada a cada tempo de retorno para cada intervalo de tempo.	23
Quadro 4 - Intensidade possível de ser superada a cada tempo de retorno para cada intervalo de tempo.	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
	2.1 Precipitações Máximas	13
	2.2 Variáveis	13
	2.3 Distribuição de Gumbel	14
	2.4 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov	15
	2.5 Ano hidrológico	16
	2.6 Séries de máximos anuais	16
3	METODOLOGIA	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A precipitação máxima pode ser compreendida como um acontecimento extremo, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada região geográfica (TUCCI, 1993). Os dados destas precipitações são obtidos através das relações das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), que determinam a intensidade máxima de precipitação que poderá acontecer em um determinado intervalo de tempo, os quais preferencialmente precisam se manter atualizados e dispostos em um banco de dados de forma acessível (BASSO *et al.*, 2019).

Para estabelecer os dados das chuvas intensas é necessário a determinação das variáveis: intensidade, duração e frequência (COELHO FILHO; MELO e ARAÚJO, 2017). Borges e Thebaldi (2016) comentam ainda que, é essencial o entendimento destas três variáveis (intensidade, duração e frequência), tendo em vista que estas são responsáveis por determinar a precipitação máxima em um local específico, especialmente, em obras que têm influência direta da precipitação. Sendo assim, torna-se necessário a utilização dos dados pluviográficos atualizados a fim de determinar as curvas IDF, com o intuito de adquirir maior confiabilidade na elaboração de projetos referentes à drenagem urbana, minimizando falhas que ocasionam inundações e de demais projetos de obras hidráulicas (MARTINEZ JÚNIOR; MAGNI, 1999).

Desta forma, com a finalidade de definir a probabilidade de ocorrência das chuvas intensas, são utilizadas algumas ferramentas como, por exemplo, a hidrologia estatística. A hidrologia estatística, busca apresentar os princípios da teoria de probabilidades e da estatística matemática, aplicados na identificação e interpretação da aleatoriedade presente nos processos hidrológicos, assim, como na formulação e estimação de modelos probabilísticos de suas respectivas variáveis características. Esta ferramenta, por sua vez, é capaz de planejar, projetar e operar sistemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos. (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Diversos modelos matemáticos são sugeridos para demonstrar a relação de intensidade-duração-frequência das chuvas intensas, dentre eles os trabalhos mais recentes para a região de Goiânia-GO são o de COSTA & BRITO (1999) e OLIVEIRA *et al.* (2005), que desenvolveram algumas metodologias para a determinação de chuvas de menor duração a partir dos dados pluviométricos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Entretanto, a definição dessa relação, apresenta dificuldades em função da pouca

quantidade de registros pluviográficos, de pluviógrafos e do reduzido intervalo de observações disponíveis (SILVA *et al.*, 1999a, 1999b; MARTINEZ JÚNIOR, 1999 e COSTA & BRITO, 1999). Com isso, é notória a importância da elaboração de uma equação IDF e de uma atualização periódica, a fim de melhorar a confiabilidade dos valores utilizados nos projetos hidráulicos.

Além disso, o crescimento das áreas urbanas motivado pelo aumento populacional, analisado nos últimos anos, tem intensificado a apreensão em relação à drenagem pluvial dos municípios (CARVALHAIS *et al.*, 2019). Sendo assim, um dos fatores determinantes das possíveis mudanças de regimes pluviais são em decorrência das ilhas de calor. Este fenômeno pode ser definido como a diferença entre a temperatura ambiente nos ambientes urbanos e periféricos. Este, por sua vez, surge e se intensifica em decorrência do aumento das estruturas urbanas, podendo desencadear anomalias locais impactando a saúde e o ambiente (IPING *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a equação de chuvas IDF para o município de Goiânia a partir dos dados pluviográficos analisados durante o desenvolvimento do projeto. Desta forma, a equação poderá contribuir na elaboração de projetos de obras hidráulicas, de forma a obter maior segurança no dimensionamento da vazão de projetos pluviais no município.

Para isso, foram estudadas bibliografias atualizadas sobre o tema, onde foram analisadas as séries anuais dos valores extremos de eventos chuvosos ocorridos na cidade de Goiânia e aplicado o modelo de distribuição de Gumbel e o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 5%. Além disso, foi estudado o método de regressão não linear de Gauss-Newton para determinar os parâmetros e validar a equação de chuvas IDF obtida.

O trabalho foi estruturado em seções, de modo que a seção dois apresentará a revisão de literatura que aborda os principais conceitos para melhor entendimento, sendo eles: precipitações máximas; variáveis; distribuição de Gumbel; teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov; ano hidrológico; e máximos anuais. Já a seção três apresentará o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento do trabalho e, posteriormente, a seção quatro discutirá os resultados obtidos. Por fim, na seção cinco serão feitas as considerações finais pelas autoras acerca da compreensão do trabalho desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Precipitações Máximas

A precipitação máxima é definida como a maior coluna pluviométrica, condizente a uma determinada duração, efetivamente provável de acontecer sobre uma determinada região de drenagem em um período do ano (WMO, 1973). Além disso, a ocorrência de tais eventos costuma gerar danos socioeconômicos, prejuízos ambientais, além de riscos à vida humana (FARIAS; SILVA; COELHO, 2013; QAMAR *et al.*, 2017).

Na cidade de Goiânia existem duas estações bem definidas, uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril. De acordo com o trabalho de Casaroli *et al.* (2018), a média de precipitação pluviométrica até o ano de 2015, foi de 1.494,66 mm ano⁻¹, com variabilidade de 12,6%. Além disso, o trabalho apresenta que há uma tendência de redução das chuvas em Goiânia-GO, na ordem de 3,7 mm dia⁻¹, com probabilidade de 99% de ocorrerem chuvas iguais ou menores que 50 mm dia⁻¹. Assim, há uma tendência de redução do número de dias chuvosos e aumento do número de dias secos.

2.2 Variáveis

As variáveis que representam os eventos intensos são a duração, a intensidade e a frequência de ocorrência em relação a um período de retorno (MELLO *et al.*, 2001). A relação dessas três variáveis gera as equações IDF que possibilitam realizar estimativas da frequência de ocorrência de eventos hidrológicos intensos, baseando-se em modelos matemáticos de distribuição de probabilidades, que utilizam inferência estatística para estabelecer os parâmetros das estruturas desses modelos (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

As ligações entre as variáveis que definem as precipitações máximas devem ser obtidas por meio da análise de chuvas ao longo de um período de tempo relativamente considerável, de maneira que seja possível definir as frequências como probabilidades. Estas relações gerarão um conjunto de curvas intensidade-duração, uma para cada período de retorno (CASTRO; SILVA; SILVEIRA, 2011).

A Frequência ou Tempo de retorno, expresso em anos, é estabelecida como o valor médio esperado do tempo de recorrência associado a um determinado evento. Ou seja, ele corresponde ao tempo médio necessário (em anos) para que o evento aconteça ou seja superado em um ano qualquer e é equivalente ao inverso da probabilidade de que tal evento de referência ocorra ou seja superado. No caso das equações IDF, os eventos de referência são as precipitações máximas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Dada a importância destas variáveis, foram realizados vários estudos no âmbito da hidrologia, com base na análise das características das chuvas intensas e das precipitações máximas prováveis. Paola *et al.* (2014), consideraram curvas de intensidade-duração-frequência para três estudos de caso: Addis Ababa (Etiópia), Dar Es Salaam (Tanzânia) e Douala (Camarões) a partir de técnicas de desagregação de chuvas diárias, em intervalos de tempo menor (10min, 30min, 1h, 3h, 6h, 12h); Sherif *et al.* (2014) também analisaram as chuvas baseadas em distribuição de probabilidades e curvas IDF para os Emirados Árabes Unidos; já no Brasil, Pfafstetter (1957) realizou um estudo pioneiro nesta área, sendo ainda hoje utilizado como referência para projetos de dimensionamento de obras hidráulica. Em Goiás, estudos como os de Oliveira *et al.* (2008) e Pereira *et al.* (2017), dedicaram-se à estimativa de chuvas intensas e determinação de curvas IDF.

2.3 Distribuição de Gumbel

A série de precipitação máxima diária anual é geralmente apresentada por uma Função Densidade de Probabilidade que melhor se adequa a valores extremos, sendo séries do tipo assintótica, ou seja, bastante próximas (ROWINSKI *et al.*, 2002; BEIJO, 2002). A distribuição de probabilidade de Gumbel é comumente utilizada na literatura, na análise de frequência de eventos hidrológicos (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A partir da função probabilidade, obtêm-se os valores da distribuição de Gumbel, correspondente a cada valor de chuva máxima. (SUBRAMANYA, 2013; GHOSH; MISTRI, 2013).

A distribuição de Gumbel mostra um parâmetro de escala e outro de forma, em que são estimados pelo método dos momentos, especialmente, os momentos de 1ª e 2ª ordens, que caracterizam, respectivamente, média e variância (BEIJO, 2002 e FREITAS *et al.*, 2001). No entanto, estes parâmetros podem ser adquiridos pelo método dos momentos-L e método da máxima verossimilhança (NAGHETTINI; PINTO, 2007), onde possibilitará melhores estimativas para estes parâmetros, visto que aumenta a probabilidade de definir o valor mais provável para aquela série histórica (CLARKE, 2002 e BEIJO, 2002)

O método da máxima verossimilhança consiste, sobretudo, em maximizar uma função dos parâmetros da distribuição, conhecida como função de verossimilhança. O equacionamento para a condição de máximo deriva em um conjunto de equações e incógnitas de mesma quantidade, cujas soluções produzem os estimadores de máxima verossimilhança (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O método dos momentos-L estima os parâmetros através da igualdade dos momentos-L populacionais e dos momentos-L amostrais, que resultará nas estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidades em questão (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.4 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é um teste não-paramétrico, que possui como base a distinção máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. Este teste não é aplicado em variáveis aleatórias discretas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Servem para equiparar as possibilidades empíricas de uma variável com as possibilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste. Assim, atestando se os valores da amostra podem provavelmente ser apontados como procedentes de uma população com aquela distribuição teórica (CARGNELUTTI *et al.*, 2004).

2.5 Ano hidrológico

Ano hidrológico condiz a um período fixo de 12 meses, podendo variar de acordo com a região em estudo. No caso do estado de Goiás, o ano hidrológico pode começar no início do período chuvoso (outubro) e terminar no final da estação seca (setembro) (NAGHETTINI e PINTO, 2007). É recomendado que seja utilizado, no mínimo, um ano hidrológico completo de dados analisados para calibração de modelos de chuva-vazão (SOROOSHIAN; GUPTA e FULTON, 1983). A definição e a caracterização do ano hidrológico, assim como a distribuição espacial e o volume pluviométrico precipitado, são fatores de extrema importância para vários estudos em pluviometria e fluviometria dentro do ciclo hidrológico de uma região (SILVA e MENDES, 2021).

2.6 Séries de máximos anuais

O valor máximo do evento chuvoso em cada ano é selecionado e, assim, é ordenada uma série de amostras. Essa série é denominada séries de máximos anuais. Quando se utiliza estas séries, considera-se que os eventos selecionados são independentes e identicamente distribuídos. A independência dos eventos pode ser garantida pela escolha dos dados de precipitação por ano hidrológico, pois impede a escolha de dois eventos máximos ocorridos durante o mesmo período chuvoso (PINTO, 2013).

As séries de máximos anuais não devem apresentar erros acidentais ou sistemáticos, devem possuir um número mínimo de elementos para garantir uma boa confiabilidade nas extrapolações (PIRES, 1994). Este método é um dos mais empregados na prática de engenharia para a análise de frequência de cheias. Várias aplicações práticas deste modelo foram produzidas para diversas obras hidráulicas de grande porte em muitos países (SCUISSIATO, 2013).

3 METODOLOGIA

Este trabalho consistiu em uma pesquisa descritiva com abordagem qualitativa, com foco bibliográfico. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura por meio de uma pesquisa bibliográfica, constituída principalmente de livros, artigos científicos e demais documentos com valor científico. A partir da pesquisa bibliográfica é possível adquirir um amplo alcance de informações, possibilitando o uso de dados dispersos em várias publicações, corroborando no desenvolvimento ou na melhor determinação do quadro conceitual do objeto de estudo (GIL, 2008).

Posteriormente, foi utilizado o banco de dados de eventos chuvosos ocorridos na cidade de Goiânia, obtidos do pluviógrafo nº. 83423, Latitude -16,66, Longitude -49,25, operado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir da aplicação desses dados, foi possível descrever um código na linguagem Python (**Apêndice A**) para determinar as alturas precipitadas máximas anuais para a duração de 10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 960 e 1440 minutos. É importante destacar que, antes da obtenção das alturas precipitadas máximas pelo código na linguagem Python houve a tentativa de obtê-las através do Excel, por meio da ferramenta condicional “SES”, disponibilizada pelo próprio software. Porém, como nos tempos maiores de duração foi atingido o máximo de condições possíveis pela ferramenta, houve a necessidade da utilização da linguagem Python, possibilitando descrever o código através de uma soma móvel condicionada para cada tempo de duração em cada ano hidrológico.

Ressalta-se ainda que, as alturas foram obtidas através dos dados de eventos chuvosos adquiridos no projeto de iniciação científica intitulado “Análise das chuvas intensas da cidade de Goiânia”, o qual analisou o período de dez anos (2009 - 2019). Este valor máximo das precipitações diárias permitiu o desenvolvimento das séries anuais dos valores extremos para o banco de dados citado acima.

Com o intuito de adquirir as precipitações máximas (mm) e as intensidades (mm/h) possíveis de serem igualadas ou superadas a cada 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 anos, a partir das séries anuais, foi aplicado o modelo de distribuição de Gumbel, utilizando ainda o método de regressão não linear de Gauss-Newton. Neste trabalho, o modelo de distribuições de Gumbel foi o escolhido para ser aplicado, uma vez que essas distribuições são originadas da teoria clássica de valores extremos (GUMBEL, 1958) e apresentam justificativas teóricas em sua utilização para a formação de valores máximos de dados hidrológicos

(NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A distribuição de Gumbel é considerada uma das que melhor se ajusta a eventos extremos, principalmente, precipitações máximas (ARAÚJO *et al.*, 2008; PENNER; LIMA, 2016). Assim como, o teste de Kolmogorov-Smirnov que tem sido comumente utilizado em análises estatísticas de chuvas intensas (NETO *et al.*, 2017; DORNELES *et al.*, 2019; MARTINS *et al.*, 2019). De fato, esta distribuição é uma das mais utilizadas para aplicar em acontecimentos máximos, como a distribuição das precipitações máximas anuais (PINTO, 2013). Com isto, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância de 5%, como recomendado por Naghettini e Pinto (2007), a fim de analisar a aderência deste modelo de distribuição em relação aos dados disponíveis. Desta forma, foram verificados se os dados obtidos inicialmente estariam inseridos à função Gumbel, de modo que não poderia rejeitar que eles pertencessem a uma distribuição de Gumbel.

Observa-se que para a utilização da distribuição de Gumbel houve a necessidade da estimação dos coeficientes alfa e beta, com o método dos momentos-L, para cada intervalo de tempo, os quais foram obtidos por meio do software Análise de Frequência Local de Eventos Hidrológicos Anuais (ALEA), versão 2012, o qual foi acessado através do site “<https://www.ehr.ufmg.br/downloads/>”. Esse software utiliza os métodos dos momentos, da máxima verossimilhança e momentos L para estimar os parâmetros das principais distribuições de probabilidades usadas na análise de frequências de eventos hidrológicos mínimos, médios e máximos anuais. A partir desses coeficientes, foram encontrados os quantitativos de precipitação para os tempos de retorno pré-determinados. Com esses dados, foi possível também definir as intensidades de chuva para cada duração de chuva definida durante a pesquisa.

Além disso, foi possível determinar a intensidade da precipitação obtida através de uma equação do tipo Talbot (**Equação 1**), que é uma das equações mais utilizadas para representar as relações de intensidade, duração e frequências das precipitações pluviais (CAMPOS, 2009, VILELLA E MATTOS, 1975, PONCE, 1989). A partir desta equação foi realizada a calibração dos parâmetros pelos métodos: *Root Mean Squared Error* (RMSE), que calcula a medida da raiz quadrada do erro médio e; *Mean Absolute Percentage of Error* (MAPE), do qual possibilita expressar a porcentagem média dos erros.

$$i = \frac{K \cdot T^\gamma}{(t+b)^c} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que:

i representa a intensidade da precipitação (mm/min)

T denota o tempo de retorno (anos)

t se refere à duração a precipitação em minutos

K , γ , b , c são parâmetros de ajustamento específicos.

As calibrações foram realizadas em uma planilha Excel bastante conhecida para cálculos simples. Entretanto, possui ainda ferramentas não muito conhecidas, como o Solver, que utiliza métodos como o Simplex para solução de problemas lineares e o algoritmo de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) para solução de problemas não-lineares (SACOMAN, 2012). A estimativa dos parâmetros da equação com o Solver, utilizando o algoritmo GRG, foi realizada de duas maneiras diferentes. Na primeira, buscou-se a minimização da raiz do erro quadrático médio, o que corresponde ao método RMSE, ou seja, os valores dos parâmetros são alterados até que se encontre o mínimo para a função, através da **Equação 2**. Já na segunda, conforme **Equação 3**, o objetivo foi minimizar o desvio percentual médio absoluto, que equivale ao método MAPE (PINTO, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (i_a - i_c)^2}{N-1}} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|i_a - i_c|}{i_a} \cdot 100}{N} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde,

i_a é a intensidade obtida na análise de frequência (mm/h),

i_c se trata da intensidade calculada pela equação (mm/h) e

N o tamanho da amostra.

Para a estimativa dos parâmetros da **Equação 1** foi necessário transformá-la primeiramente, por anamorfose logarítmica, na **Equação 4** a seguir.

$$\log i = \log A + c \log(t + b) \quad (\text{Equação 4})$$

onde, $A = kT^\gamma$

Posteriormente foi realizado o seguinte passo a passo:

1. Estimativa inicial do parâmetro “b” - foi determinada para cada tempo de retorno a soma “(t+b)”, onde adotou-se inicialmente $b = 0$. A determinação deste parâmetro foi realizada de forma com que seu valor variasse até a linearização da curva;
2. Estimativa inicial do parâmetro “c” - tendo o parâmetro “b” definido, foi possível definir os valores de “c” e “log A”, através do método dos mínimos quadrados, de maneira que a soma dos quadrados dos desvios entre os valores calculados de “i” e os observados fossem o menor possível. Estes, por sua vez, foram calculados através da **Equação 5** e **Equação 6**, ambas para cada tempo de retorno. Após a determinação do parâmetro “c” foi realizada ainda a média dos valores calculados.

$$\log A = \frac{\sum \log i \cdot \sum [\log(t+b)]^2 - \sum \log(t+b) \cdot \sum [\log i \cdot \log(t+b)]}{n \cdot \sum [\log(t+b)]^2 - [\sum \log(t+b)]^2} \quad (\text{Equação 5})$$

$$c = \frac{\sum \log(t+b) \cdot \sum \log i - n \cdot \sum [\log i \cdot \log(t+b)]}{n \cdot \sum [\log(t+b)]^2 - [\sum \log(t+b)]^2} \quad (\text{Equação 6})$$

onde,

n é igual ao número de durações adotadas no estudo

3. Estimativa iniciais dos parâmetros “k” e “ γ ” - estes foram determinados a partir dos valores de “log T” e os de “log A”, obtidos na análise anterior. Como $A = kT^\gamma$, temos por anamorfose logarítmica que

$$\log A = \log k + \gamma \log T \quad (\text{Equação 7})$$

Adotando a **Equação 7** como a curva de ajuste e aplicando o método dos

mínimos quadrados obtemos os parâmetros “ γ ”, por meio da **Equação 8**, e “ k ” através do inverso de “log k ” da **Equação 9**.

$$\gamma = \frac{n \sum (\log A \cdot \log T) - \sum \log T \cdot \sum \log A}{n \cdot \sum (\log T)^2 - (\sum \log T)^2} \quad \text{(Equação 8)}$$

$$\log k = \frac{\sum (\log T)^2 \cdot \sum \log A - \sum (\log A \cdot \log T) \cdot \sum \log T}{n \cdot \sum (\log T)^2 - (\sum \log T)^2} \quad \text{(Equação 9)}$$

onde,

n é igual ao número de períodos de retorno

A partir da calibração dos parâmetros realizada, foi feita a comparação entre o modelo de distribuição de Gumbel e as calibrações RMSE e MAPE e, também, entre a intensidade obtida pelos métodos de calibragem e a intensidade obtida por equações desenvolvidas em outros trabalhos, como os de Costa e Brito (1999) e Oliveira (2005), que serão discutidas na próxima seção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a determinação das séries de precipitações máximas anuais de cada ano hidrológico que são apresentadas no Quadro 1, foi necessário obter os coeficientes alfa e beta mostrados no Quadro 2, utilizando a distribuição de Gumbel. Através destes coeficientes, foram determinadas as precipitações máximas indicadas no Quadro 3 e as intensidades possíveis de serem igualadas ou superadas a cada período de retorno como mostrado no Quadro 4.

Quadro 1 – Séries de precipitações máximas anuais.

Ano Hidrológico	Duração (min)										
	10	20	30	60	120	180	240	480	960	1080	1440
2009-2010	24,6	43,4	57,8	59,4	65,4	69	69	79,5	82,2	82,5	85,4
2010-2011	38,6	46,2	51,2	55,4	56,9	57	58	63,4	63,4	63,4	74,2
2011-2012	75,9	76,3	76,3	76,9	93,6	96,4	105,5	112,7	121,1	121,1	139,7
2012-2013	44,2	44,6	44,8	45,5	48,3	51,4	57	72,7	112,3	112,8	112,8
2013-2014	17,6	35,2	50,9	68,5	77,3	79,7	79,8	97	98,2	98,2	100,8
2014-2015	11	20	26,8	31,6	60,7	60,7	60,7	60,7	60,7	60,7	60,7
2015-2016	18	36	45,4	61,5	63,8	63,9	63,9	91,8	98,8	98,8	103
2016-2017	36,1	37,9	44,1	56,8	59,5	68,7	68,7	71,1	71,5	71,5	72,2
2017-2018	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	66,4	66,8	68,6	85,4	85,6	85,6
2018-2019	13	22,6	28,4	37,4	40,6	42,2	45	45,8	46,4	46,4	46,4

Fonte: Elaborado pelas autoras

Quadro 2 – Coeficientes alfa e beta.

Coeficiente	Duração (min)										
	10	20	30	60	120	180	240	480	960	1440	
Alfa	7,908	10,41	12,42	12,85	10,43	10,27	9,235	12,67	17,33	17,17	
Beta	19,09	30,02	37,05	45,74	54,31	55,64	57,38	65,16	69,53	72,69	

Fonte: Elaborado pelas autoras

Quadro 3 – Precipitação máxima possível de ser superada a cada tempo de retorno para cada intervalo de tempo.

Precipitação (mm)										
TR	Duração (h)									
	0,17	0,33	0,5	1	2	3	4	8	16	24
	Duração (min)									
	10	20	30	60	120	180	240	480	960	1440
2	22,0	33,8	41,6	50,4	58,1	59,4	60,8	69,8	75,9	79,0
5	31,0	45,6	55,7	65,0	70,0	71,0	71,2	84,2	95,5	98,4
10	36,9	53,4	65,0	74,7	77,8	78,8	78,2	93,7	108,5	111,3
20	42,6	60,9	73,9	83,9	85,3	86,1	84,8	102,8	121,0	123,7
25	44,4	63,3	76,8	86,8	87,7	88,5	86,9	105,7	125,0	127,6
30	45,9	65,3	79,1	89,2	89,6	90,4	88,6	108,0	128,2	130,8
50	49,9	70,6	85,5	95,9	95,0	95,7	93,4	114,6	137,2	139,7
60	51,4	72,6	87,8	98,2	96,9	97,6	95,1	116,9	140,3	142,8
70	52,6	74,2	89,7	100,2	98,5	99,2	96,5	118,9	143,0	145,5
80	53,7	75,6	91,4	102,0	99,9	100,6	97,8	120,6	145,4	147,8
90	54,6	76,8	92,9	103,5	101,2	101,8	98,9	122,1	147,4	149,9
100	55,5	77,9	94,2	104,9	102,3	102,9	99,9	123,4	149,3	151,7

Fonte: Elaborado pelas autoras

Quadro 4 – Intensidade possível de ser superada a cada tempo de retorno para cada intervalo de tempo.

Intensidade (mm/h)										
TR	Duração (h)									
	0,17	0,33	0,5	1	2	3	4	8	16	24
	Duração (min)									
	10	20	30	60	120	180	240	480	960	1440
2	131,93	101,51	83,20	50,45	29,07	19,80	15,19	8,73	4,74	3,29
5	185,71	136,90	111,36	65,01	34,98	23,68	17,81	10,52	5,97	4,10
10	221,32	160,34	130,00	74,66	38,89	26,25	19,54	11,71	6,78	4,64
20	255,47	182,82	147,88	83,91	42,64	28,71	21,20	12,85	7,56	5,15
25	266,30	189,95	153,55	86,84	43,84	29,50	21,73	13,21	7,81	5,32
30	275,12	195,75	158,17	89,23	44,80	30,13	22,16	13,50	8,01	5,45
50	299,68	211,92	171,02	95,88	47,50	31,90	23,35	14,32	8,57	5,82
60	308,41	217,66	175,60	98,24	48,46	32,53	23,78	14,62	8,77	5,95
70	315,78	222,52	179,45	100,24	49,27	33,07	24,14	14,86	8,94	6,06
80	322,16	226,71	182,79	101,97	49,97	33,53	24,45	15,08	9,09	6,16
90	327,78	230,41	185,74	103,49	50,59	33,93	24,72	15,26	9,21	6,24
100	332,81	233,72	188,37	104,85	51,14	34,29	24,97	15,43	9,33	6,32

Fonte: Elaborado pelas autoras

Após a realização das calibrações pelos métodos RMSE e MAPE, foi possível determinar as equações de chuvas IDF, através dos parâmetros obtidos para a **Equação (1)** de Talbot, as quais correspondem às Equações **(10)**, **(11)**, **(12)** e **(13)**, respectivamente.

- Determinação da equação de chuvas IDF pelo método de calibragem RMSE, no intervalo de tempo de 10 minutos até 3 horas.

$$i = \frac{6790,4475 \cdot T^{0,1923}}{(t+19,84)^{1,1442}} \quad \text{(Equação 10)}$$

- Determinação da equação de chuvas IDF pelo método de calibragem RMSE, no intervalo de tempo de 4 horas até 24 horas.

$$i = \frac{5436,2462 \cdot T^{0,1261}}{(t+152,58)^{0,9959}} \quad \text{(Equação 11)}$$

- Determinação da equação de chuvas IDF pelo método de calibragem MAPE, no intervalo de tempo de 10 minutos até 3 horas.

$$i = \frac{5268,4286 \cdot T^{0,1670}}{(t+15,90)^{1,0825}} \quad \text{(Equação 12)}$$

- Determinação da equação de chuvas IDF pelo método de calibragem MAPE, no intervalo de tempo de 4 horas até 24 horas.

$$i = \frac{8200,5504 \cdot T^{0,1237}}{(t+136,30)^{1,0632}} \quad \text{(Equação 13)}$$

Tendo as equações determinadas através dos métodos de calibração é possível comparar com algumas já desenvolvidas em outros trabalhos, como as que foram obtidas por Costa e Brito (1999), as quais correspondem às Equações (14) e (15) e, Oliveira (2005) (Equação 16). Vale destacar que a metodologia utilizada nestes trabalhos foram diferentes, uma vez que Costa e Brito (1999) obteve a equação por meio do método da estação-ano, enquanto Oliveira (2005) obteve através do método de desagregação de chuva. Destaca-se ainda que, a equação IDF gerada por Costa e Brito (1999) é a que é recomendada ainda pela Lei N° 9.511, de 15 de dezembro de 2014 de Goiânia para fins de dimensionamento.

- Equação de chuvas IDF desenvolvida por Costa e Brito (1999) para $1 \leq T \leq 8$ anos.

$$i = \frac{56,7928 \cdot (T^{0,1471 + \frac{0,22}{T^{0,09}}})^{0,6274}}{(t+24,8)^{0,97471}} \quad \text{(Equação 14)}$$

- Equação de chuvas IDF desenvolvida por Costa e Brito (1999) para $8 < T \leq 100$ anos.

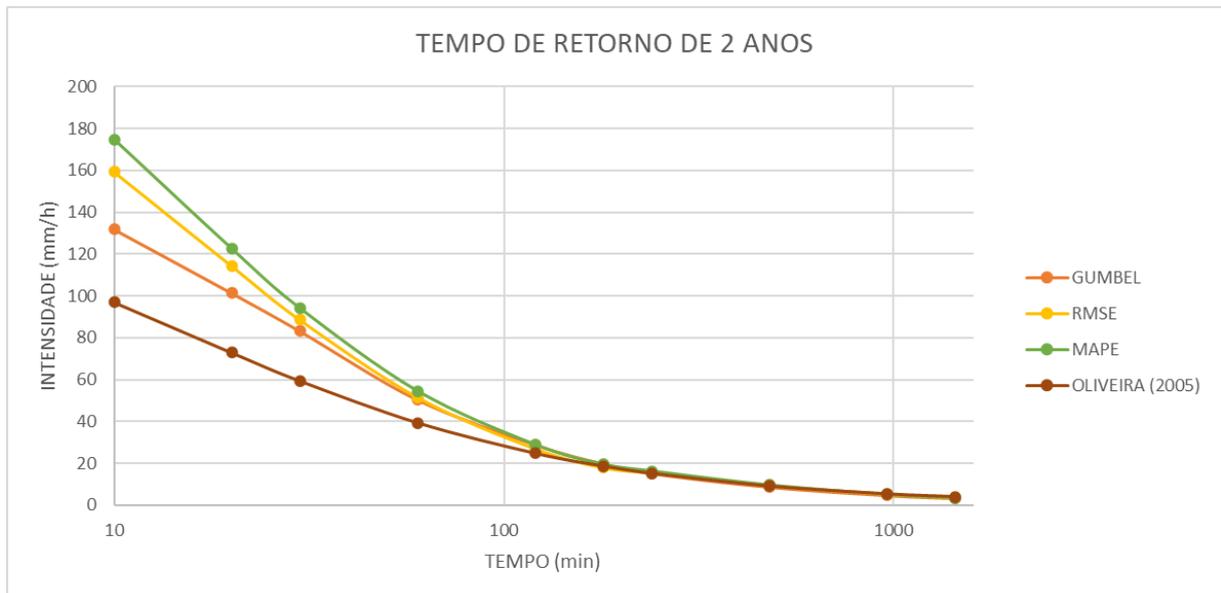
$$i = \frac{64,3044 \cdot T^{0,1471}}{(t+24,8)^{0,97471}} \quad \text{(Equação 15)}$$

- Equação de chuvas IDF desenvolvida por Oliveira (2005).

$$i = \frac{920,450 \cdot T^{0,1422}}{(t+12)^{0,7599}} \quad (\text{Equação 16})$$

Com isto, foi possível comparar a intensidade obtida pela distribuição de Gumbel e pelos dois métodos de calibração com a intensidade obtida pela equação desenvolvida por Oliveira (2005) (**Gráficos 1 e 2**).

Gráfico 1 – Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Oliveira (2005) para o tempo de retorno de 2 anos.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Gráfico 2 – Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Oliveira (2005) para o tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Analisando os gráficos, foi possível observar que o método de calibragem RMSE apresentou maior erro em relação à intensidade obtida pela distribuição de Gumbel, durante o intervalo de tempo de 10 minutos até 3 horas, visto que durante este intervalo o erro foi de 20,8% e já no intervalo de 4 a 24 horas o erro foi de 16,7%. Da mesma forma, o método de calibragem MAPE apresentou maior erro durante o mesmo período, sendo de 32,4% no intervalo de 10 minutos a 3 horas e 10,7% no intervalo de 4 a 24 horas.

Com isso, comparando as curvas, dos métodos de calibragem e da distribuição de Gumbel, obtidas nos **Gráficos (1)** e **(2)**, foi observado que os métodos de calibragem tiveram melhor aderência nos intervalos de tempo de retorno maiores. Desta forma, a aderência para o período de retorno de 25 anos foi melhor que para o período de 2 anos.

Já ao comparar a intensidade obtida através dos métodos de calibragem com a intensidade obtida pela equação IDF desenvolvida por Oliveira (2005) foi observado que o método RMSE apresentou uma diferença de intensidade menor do que o método MAPE no intervalo de tempo de 10 minutos até 3 horas para os dois tempos de retorno. Quanto ao tempo de duração de 4 horas até 24 horas ambos métodos obtiveram praticamente a mesma intensidade da que foi obtida por meio da equação de Oliveira (2005). Outra questão observada foi que para o tempo de retorno de 25 anos a diferença da intensidade foi maior do que para o tempo de

retorno de 2 anos na duração de 10 minutos até 3 horas, para ambos métodos de calibragem.

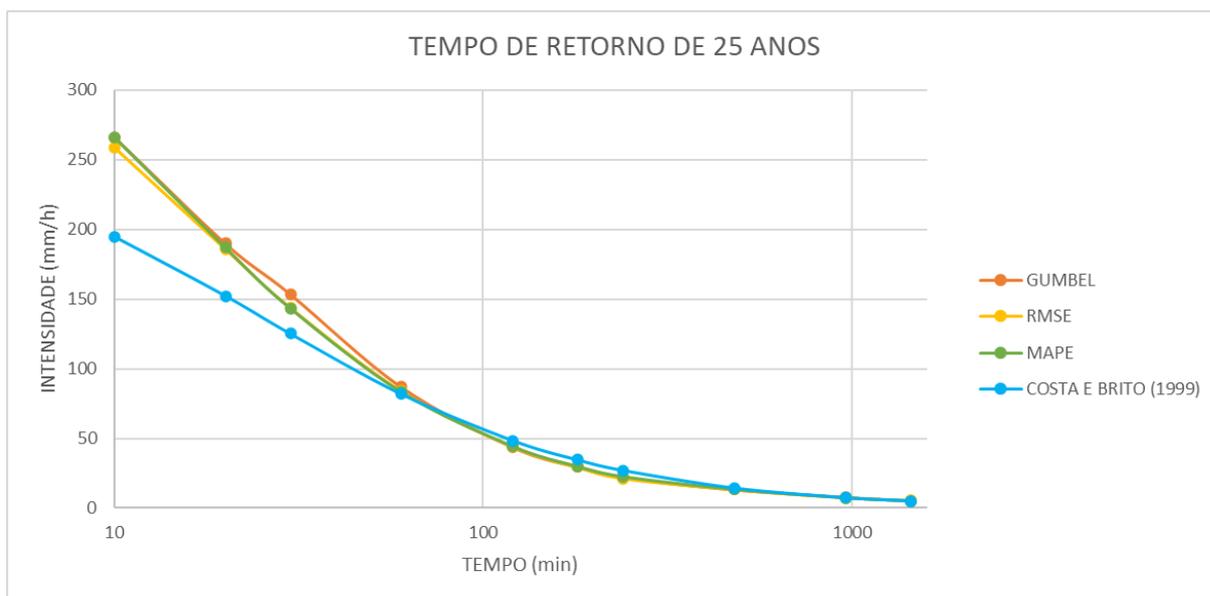
Já nos **Gráficos (3) e (4)** foi possível comparar a intensidade obtida através do modelo de distribuição de Gumbel e dos métodos de calibração com a intensidade obtida através da equação desenvolvida por Costa e Brito (1999).

Gráfico 3 – Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Costa e Brito (1999) para o tempo de retorno de 2 anos.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Gráfico 4 – Comparação entre os métodos de obtenção da intensidade e Costa e Brito (1999) para o tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Elaborado pelas autoras

Ao observar os **Gráficos (3) e (4)**, foi percebido que, ao comparar a intensidade obtida com os métodos de calibração e a intensidade obtida com a equação desenvolvida por Costa e Brito (1999), o método RMSE obteve menor diferença de intensidade do que o método MAPE no intervalo de tempo de 10 minutos até 3 horas nos dois tempos de retorno. Já, quanto ao tempo de duração de 4 horas até 24 horas, foi observado que ambos métodos possuíram uma intensidade muito aproximada da obtida por Costa e Brito (1999) nos dois tempos de retorno.

Em um aspecto geral dos gráficos, pode-se notar ainda que, a diferença da intensidade entre os métodos de calibragem e a intensidade obtida por meio da equação desenvolvida por Oliveira (2205) foi maior do que quando comparados à intensidade obtida pela equação de Costa e Brito (1999) nos dois tempos de retorno. Sendo assim, as intensidades obtidas pelos métodos de calibração se diferenciaram menos das intensidades provenientes da equação IDF desenvolvida por Costa e Brito (1999).

Por fim, ressalta-se que existem algumas hipóteses para a ocorrência dos erros demonstrados pelos gráficos. Estas, por sua vez, serão apresentadas na próxima seção de forma a contribuir com trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou analisar as chuvas intensas de Goiânia durante o período de 10 anos para a elaboração de uma nova relação IDF para a cidade. Desta forma, utilizando o modelo de distribuição de Gumbel, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e aplicando os métodos RMSE e MAPE para calibração dos parâmetros da equação de Talbot, foram identificadas equações para períodos de 10 minutos a 3 horas e de 4 horas a 24 horas.

Deste modo, os resultados obtidos estão de acordo com os objetivos propostos no trabalho, uma vez que foi possível obter a equação de chuvas IDF por meio dos métodos de calibração, podendo contribuir de forma significativa para a execução de projetos de obras hidráulicas, sobretudo nos de drenagem urbana e possibilitará a mitigação dos impactos causados pelas precipitações.

No entanto, a utilização de períodos menores que 20 anos na determinação de chuvas intensas pelo método de máximos anuais pode gerar distorções nos coeficientes da equação IDF devido ao pequeno período de observação (PINTO, 2013). Desta forma, para contribuir ainda mais com este trabalho, sugere-se realizar a análise dos dados em um intervalo de tempo maior, visto que, neste trabalho, foram analisados apenas dez anos e a utilização de máximos anuais foram extraídos somente os maiores valores de cada ano, dando origem a apenas dez valores para serem aplicados nos métodos. Além disso, sugere-se também, a análise da influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o regime de chuvas, uma vez que as variações climáticas causadas por estes aspectos não foram consideradas.

6 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162–169, 2008.
- BASSO, R. E.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R. (2019). “Vazão de projeto na microdrenagem em locais sem dados de precipitação: estudo para o Rio Grande do Sul”. **Ambiente Construído**, pp. 233-247.
- BEIJO, L. A. **Distribuição de Gumbel**: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras, MG.2002. 91f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica) -Universidade Federal de Lavras, 2002.
- BORGES, G. M. R.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n. 4, p. 891-902, 2016.
- CAMPOS, J.N.B. **Lições em Modelos e Simulação Hidrológica**. Fortaleza, ASTEF, 2009. 166 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A; MATZENAUER, R; TRINDADE, J. K. da. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, 2004.
- CARVALHAIS, R. M; DE MORAES, N. A; SILVA, H. F; BERNARDES, I. M. M. (2019). “Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares” **Brazilian Journal of Development**, pp. 9765-9772.
- CASAROLI, D.; RODRIGUES, T. R.; MARTINS, A. P. B.; EVANGELISTA, A. W. P; JÚNIOR, J. A. Padrões de Chuva e de Evapotranspiração em Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n. 2, p. 247-256, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786332004>.
- CASTRO, A. L. P. de; SILVA, C. N. P.; SILVEIRA, A. Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). **Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.2, p.305-315, 2011.
- CLARKE, R. T. Fitting and testing the significance of linear trends in Gumbel distributed data. **Hydrology and Earth System Sciences**, Katlenburg-Lindau, Alemanha, v.6, n. 1, p.17-24. Feb, 2002.
- COELHO FILHO, J. A. P.; MELO, D. C. R.; ARAÚJO, M. L. M. Estudo de Chuvas Intensas para a Cidade de Goiânia/GO por meio da Modelação de Eventos Máximos Anuais pela Aplicação das Distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017.
- COSTA, A. R.; BRITO, V. F. 1999. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13. Belo Horizonte. **Anais da Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Cd-rom.

DORNELES, V. R. et al. Modeling of probability in obtaining intensity-duration-frequency relationships of rainfall occurrence for Pelotas, RS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 7, p. 499–505, 2019.

FARIAS, J. A. M.; SILVA, J. F. R. e.; COELHO, L. da S. Determinação de equação IDF, utilizando regressão linear em base logarítmica. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Rio Grande do Sul: ABRH, 2013. p.2.

FREITAS, A. J. et al. **Equações de chuvas intensas no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001.65 p.

GHOSH, S.; MISTRI, B. Performance of D.V.C. in Flood Moderation of Lower Damodar River, India and Emergent Risk of Flood. **Eastern Geographer**. v.19, n.1, p.55-66, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUMBEL E. J. **Statistics of Extremes**. New York: Columbia University Press, 1958.

IPING A., KIDSTON-LATTARI J., SIMPSON-YOUNG A., DUNCAN E., MCMANUS P. (Re)presenting urban heat islands in Australian cities: A study of media reporting and implications for urban heat and climate change debates. **Urban Climate**. 2018; 27(December):420–429. 2019.

MARTINEZ JÚNIOR, F. 1999. Análise das precipitações intensas no estado de São Paulo. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13. Belo Horizonte. **Anais da Associação Brasileira de Recursos Hídricos** (CD-Rom).

MARTINEZ JÚNIOR, F. M.; MAGNI, N. L.G. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 125 p.

MARTINS, D. et al. Disaggregation of daily rainfall data for the caraguatatuba city, in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1–8, 2019.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.25, n.3, p.693-698, 2001.

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

NETO, V. L. S. et al. Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 4, 2017.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.P.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.1, p.13-18, 2005.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; ANTONINI, J. C. D. A.; GRIEBELER, N. P. **Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás**. Engenharia Agrícola, v.28, p.22-33, 2008.

PAOLA, F. D.; GIUGNI, M.; TOPA, M. E.; BUCCHIGNANI, E. **Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfa ll curves, for data series and climate projection in African cities**. SpringerPlus, v.3, n.1, p.133, 2014.

PENNER, G. C.; LIMA, M. P. Comparação entre métodos de determinação da equação de chuvas intensas para a cidade de Ribeirão Preto. **Geociências**, v. 35, n. 4, p. 542–559, 2016.

PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTO, A. P. **Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri-Goiás**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.13, n.2, 2017.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. 0020 Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras públicas; DNOS, 1957.

PINTO, E. J. A. **Atlas Pluviométrico do Brasil: Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**, Belo Horizonte: CPRM, 2013.

PIRES, C. L. F. Análise de Frequência - Revisão Metodológica. **In: A Água em Revista, n. 3**. CPRM, Belo Horizonte, Out. , 1994, p. 13-22.

PONCE, V.M. **Engineering Hydrology: Principles and Practices**. New York.:Prentice Hall 1989. 640 p.

QAMAR, M. U.; AZMAT, M.; SHAHID, M. A.; GANORA, D.; AHMAD, S.; CHEEMA, M. J. M.; FAIZ, M. A.; SARWAR, A.; SHAFEEQUE, M.; KHAN, M.I. Rainfall Extremes: a Novel Modeling Approach for Regionalization, **Water Resources Management**, v.31, n.6, p.1975-1994, 2017.

ROWINSKI, P. M.; STRUPCZEWSKI, W. G., SINGH, V. P. A note on the applicability of log-Gumbel and log-logistic probability distributions in hydrological analyses: I. know pdf. **Hydrological Science Journal**, Walingford, Inglaterra, v. 47, n. 1, p.107-122, Feb. 2002.

SACOMAN, Marco Antônio Rahal. **Otimização de projetos utilizando GRG, SOLVER e EXCEL**. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2012. Belém, 2012.

SCUISSIATO, Clarissa. **Comparação dos métodos de séries de duração parcial e séries de máximos anuais na estimativa de cheias de projeto**. 2013. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SHERIF, M.; ALMULLA, M.; SHETTY, A.; CHOWDHURY, R. K. **Analysis of rainfall, PMP and drought in the United Arab Emirates**. International journal of climatology, v.34, n.4, p.1318-1328, 2014.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. 1999b. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, 18 (3): 22-33.

SILVA, D. D.; VALVERDE, A. E. L.; PRUSKI, F. F.; GONÇALVES, R. A. B. 1999a. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o estado de São Paulo. **Engenharia na Agricultura**, 7 (2): 70-87.

SILVA, F. W. R.; MENDES, A. T. Caracterização do ano hidrológico de Palmas/TO. **Natural Resources**, v.11, n.1, p.48-55, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.001.0007>.

SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. K.; FULTON, J. Evaluation of Maximum Likelihood Parameter Estimation Techniques for Conceptual Rainfall-Runof Models: Influence of Calibration Data Variability and Length on Model Credibility. **Water Resources Reserach**, v. 19, n. 1, p. 251-259, 1983.

SUBRAMANYA, K. **Engineering Hydrology**, 4 ed., New Delhi: McGraw-Hill Education, 2013. 534 p.

TUCCI, C. E. M. Precipitação. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993. p. 200.

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

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation**. Meteorological Organization. Geneva, 1973. 190 p.

APÊNDICE A - CÓDIGO EM LINGUAGEM PYTHON

```

#-----
#-----
# _____Programa para Identificar os maiores volumes de chuva dentro dos
períodos em estudo_____
#-----
#-----
#
=====
=====
# author: Vinicius Marzall
#-----
#-----
#
=====
=====
#
# Instruções:
# 1. Este programa trabalha com arquivos de dados Excel (.xlsx)
#
# 2. Cada planilha, separada por ano hidrológico, deve possuir somente
4 colunas, todas respeitando as
# letras maiúsculas e minúsculas dos nomes escritos abaixo:
#
# 2.1. Coluna 1: "Hora Inicial", sem aspas. Formato do conteúdo:
Data e hora (ex: 05/04/2020 13:00)
# 2.2. Coluna 2: "Hora final", sem aspas. Formato do conteúdo: Data
e hora (ex: 05/04/2020 13:00)
# 2.3. Coluna 3: "Chuva acumulada (mm)", sem aspas. Formato do
conteúdo: número decimal
# 2.4. Coluna 4: "Chuva Incremental", sem aspas. Formato do
conteúdo: número decimal
#
# 3. O diretório do arquivo .xlsx deve ser inserido corretamente
iniciado na linha 40 coluna 21,
# desse código
#
# 4. O programa desenvolvido ainda não está totalmente otimizado, dessa
forma é necessário que cada
# arquivo já esteja dividido com as datas referentes ao ano hidrológico
correto (Outubro a Setembro do ano
# seguinte. Em breve montarei um filtro onde será possível selecionar o
período que se quer analisar,
# lançando todos os dados em conjunto.
#
# 5. Para funcionamento desse programa, são necessários os pacotes
numpy, pandas e matplotlib instalados no
# python.
#
# 6. Feitos todos os passos anteriores, basta rodar o programa! Repetir
o processo para cada ano... :)

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches

```

```

from pandas import DataFrame, Timestamp

#Leitura dos dados da planilha excel
df = pd.read_excel(r'C:\Users\vinic\Desktop\Máximos
Anuais\Pasta1.xlsx', parse_dates=[0]) #<----inserir aqui o caminho do
arquivo

## NOTA: Daqui em diante não é necessário modificar o arquivo, basta
rodar o algoritmo na aba
## "Run --> Run Module" ou então apertar a tecla de atalho F5.

del df['Hora final']
del df['Chuva acumulada (mm)']
df.set_index('Hora Inicial', inplace=True)

df = df.sort_index()
#df = df.asfreq(freq='600s')
#df['Chuva Incremental'] = df['Chuva Incremental'].fillna(0)

df1=df.rolling('600s').sum()
df2=df.rolling('1200s').sum()
df3=df.rolling('0.5H').sum()
df4=df.rolling('1H').sum()
df5=df.rolling('2H').sum()
df6=df.rolling('4H').sum()
df7=df.rolling('8H').sum()
df8=df.rolling('16H').sum()
df9=df.rolling('24H').sum()
##df6=df6.sort_values(by='Chuva Incremental', ascending=False)
#print(df6)

#df6.to_excel('D:\Pasta2.xlsx')
#print(df2)
print('----- 10 minutos -----')
print(round(df1["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 20 minutos -----')
print(round(df2["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 30 minutos -----')
print(round(df3["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 60 minutos -----')
print(round(df4["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 2 Horas -----')
print(round(df5["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 4 Horas -----')
print(round(df6["Chuva Incremental"].max(),2))

```

```
print('-----')

print('----- 8 Horas -----')
print(round(df7["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 16 Horas -----')
print(round(df8["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

print('----- 24 Horas -----')
print(round(df9["Chuva Incremental"].max(),2))
print('-----')

# ===== FIM =====
```