

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

GERAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF PARA A CIDADE DE GOIÂNIA, UTILIZANDO ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

*Nicolle Silva Oliveira¹; Mel Martins Vaz²; Natasha de Lima Dias Conceição³; Ismael Torres Guedes⁴; Julliana Gomes Martins⁵; Kamila Almeida dos Santos⁶; Guilherme da Cruz dos Reis⁷
Ravel Eurico Basso⁸; Klebber Teodomiro Martins Formiga⁹*

Abstract: The Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation is said to be an essential mathematical relationship in the study of precipitation in a location, as is the case in Brazil, which has large volumetric extensions. Therefore, the objective of this study is to generate an IDF equation for the city of Goiânia, located in the center of Brazilian territory. Thus, it is necessary to collect and model the obtained data, for example, through rain gauge stations. As a result, from the 22 stations in the capital, the data from rain gauge 18, located at the State University of Goiás, was chosen. For the development of the IDF, the probability distributions chosen was the GEV distribution (for durations up to 120 minutes) and the Gumbel (EV) distribution (between 120 to 1440 minutes). Furthermore, two equation models were selected – one with 4 and another with 8 parameterers -and the equation with a greater number of parameters showed better compatibility with the historical data series compared to the other. However, further studies are still needed, increasing both the duration and the number of stations used.

Resumo: A equação Intensidade-Duração-Freqüência (IDF) é dita como uma relação matemática essencial no estudo da precipitação de um local, como é o caso do Brasil, que possui grandes extensões volumétricas de água. Sendo assim, objetivo desse estudo é de gerar uma equação IDF para a cidade de Goiânia, situada no centro do território brasileiro. Assim, faz-se necessário a coleta e modelagem dos dados obtidos, por exemplo, por meio de estações pluviométricas. Em resultado, das 22 estações na capital, foram escolhidos os dados do pluviômetro 18, situado na Universidade Estadual de Goiás. Para o desenvolvimento da IDF, a distribuição de probabilidade escolhida foi a distribuição de GEV (duração até 120 minutos) e Gumbel (EV) (entre 120 e 1440 minutos). Ademais, foram escolhidos dois modelos de equação, 4 e de 8 parâmetros, sendo que a equação com maior número de parâmetro apresentou melhor compatibilidade com os dados da série histórica em comparação á outra. No entanto, ainda sim é necessário mais estudo, aumentando o tempo de duração e a quantidade de estações utilizadas.

Palavras-Chave – Pluviômetro; Chuva.

1. INTRODUÇÃO

A Hidrologia é uma ciéncia que estuda o recurso hídrico dentro da bacia hidrográfica e que tem como objetivo avaliar a disponibilidade de água para diversos projetos seja para o abastecimento

1;2;3;4;5) Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Escola de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás: Av. Universitária 1670 - Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, (62) 99247-4855, silvanicolle03@gmail.com.
6;7;8) Universidade Federal de Goiás: Av. Universitária 1670 - Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, (62) 99247-4855, silvanicolle03@gmail.com.

de público ou controle de inundações (Tucci, 2001). Com a tendência de escassez hídrica no mundo, aumentaram-se os estudos quanto ao uso sustentável e racional da água, e com isso, se tornou fundamental uma análise da precipitação atual, por meio da observação dos dados de eventos históricos (Carvalho, 2019).

Em relação aos estudos de chuva na bacia, as curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são ditas como uma relação matemática que utiliza de dados com continuidades de longo prazo, sendo esses dados de chuvas pontuais de curta duração (como de 5 minutos) (Ewea *et al.* 2016; Al-Wagdany, 2020). Ademais, as curvas IDFs são uma representação por meio de um gráfico da probabilidade de ocorrência de precipitações extremas (Marra; Morin; Peleg; Mei; Anagnostou, 2017 apud Ghebreyesus; Sharif, 2021). Sendo que problemas para a obtenção de uma curva precisa são: a falta e/ou a presença incompleta de registros nas estações pluviométricas, o que é o caso dos países menos desenvolvidos, sendo necessário a modelagem e ajustes dos dados nesses locais (Kidd; Becker; Huffman; Muller; Joe; Skofronick-Jackson; Kirschbaum, 2017 apud Ghebreyesus; Sharif, 2021; Nandalal; Gnanapala, 2017).

As IDFs são importantes para o estudo Hidrológico de um local e são utilizadas para determinar a vazão máxima em função de um tempo de retorno determinado em modelos, como hidrogramas unitários e método racional (Rodas, 2023 apud López, 2024). Porém, independente da forma que se obteve os dados de chuva para a geração de IDFs, é crucial a atualização das curvas já existentes por conta intensificação das mudanças climáticas no mundo que geram alteração nas precipitações extremas anuais (Monier; Gao, 2015 apud Ghebreyesus; Sharif, 2021).

As chuvas e vazões provenientes de outros países vizinhos do Brasil, contribuem significativamente para o abastecimento da bacia Amazônica, que por sua vez, sua água abastece a maior parte das bacias brasileiras (ANA, 2024). Devido ao grande volume de bacias no território, ao qual não se limita pelos limites políticos de cada estado, o país foi dividido em 12 regiões hidrográficas com média de precipitação anual de 1760 mm, de forma desproporcional ao longo de sua extensão (CNRH, 2003 apud ANA, 2024). Com isso, tendo em vista que o território brasileiro tem vasta quantidade de água no país, é indispensável a presença de estudos hidrológicos no país (CNRH, 2003 apud ANA, 2024).

Goiânia está situada dentro da região hidrográfica do Paraná (ANA, 2024). Em 2019, Novais atualizou as técnicas de sistemas de classificação climática, definindo o clima de Goiânia inserido no domínio tropical, com dois subdomínios: semiúmido e semiseco (Nascimento; Novais, 2023).

Ademais, a média de chuva em Goiânia é de 1.571,4 mm, majoritariamente entre os meses de outubro e abril de acordo com INMET (2022 apud Nascimento; Novais, 2023). Assim, faz-se justificável a realização de estudos nessa capital, por conta da quantidade e a variação de precipitação anual que é observada nessa região.

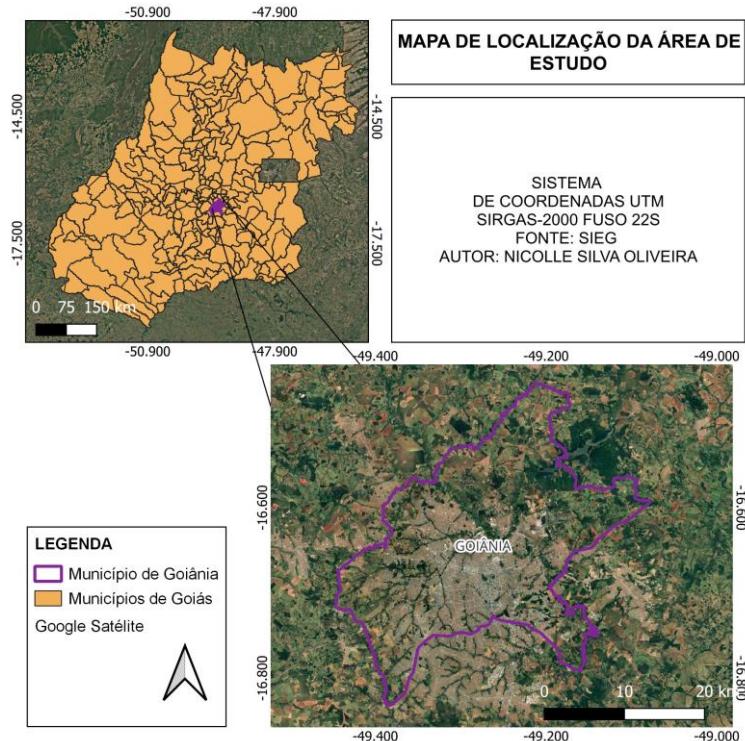
Assim, o objetivo do trabalho é a atualização da equação IDF, através dos parâmetros da fórmula de acordo com as chuvas intensas que Goiânia obteve em um determinado período de análise, utilizando os dados de uma estação pluviométrica.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

As estações pluviométricas em estudos estão situadas dentro de Goiânia, capital do estado de Goiás (Figura 1). O município em questão possui o clima tropical com estação seca e com temperatura média de 22,1°C anuais e precipitação média anual de 1624,8 mm (Köppen Brasil, [sd]).

Figura 1-Mapa de localização da área de estudo



Para atualização da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), seguiu-se a:

- **Coleta da série histórica de dados pluviométricos** em intervalos diários ou sub-diários de todas as estações pluviométricas de Goiânia. Com posterior filtro desses dados, excluído dados inconsistentes ou incompletos. E em seguida, foi feita a seleção de uma das melhores estações e do período da série histórica de melhor consistência.

- **Modelagem de dados** através do software Matlab, os dados foram agrupados em intervalos de 1 minuto com as precipitações máximas anuais determinadas em durações de: 1, 2 e 30 minutos; 1, 2, 6, 12, 24 horas.

Foram analisadas as distribuições de probabilidade estatística: GEV, Gumbel EV, Log-Normal e Log-Pearson III, para ajustar os dados do registro obtidos pela estação pluviométrica. Em seguida, é preciso identificar a melhor das distribuições de probabilidade, para dois intervalos de tempos diferentes, por meio do teste de aderência de Kolmogorov, Anderson-Darling e A.C. Posteriormente calculou-se, utilizando a distribuição de probabilidade escolhida, as precipitações máximas para tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, ajustando para melhor coincidir com os dados registrados, gerando as intensidades em mm/min.

-**Seleção da Equação IDF** para escolher a equação de melhor representatividade para a região analisada, pela seleção dessa equação da literatura. Foi, assim, feita uma comparação com a equação geral (1) e a equação mais complexa desenvolvida por São Paulo no artigo de DAEE-CTH (2018) (2).

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

Em que:

i: Intensidade (mm/h);

a, b, c e d: Parâmetros de ajuste;

Tr: Tempo de retorno (ano);

t: Duração (min).

$$i = a * (t + b)^c + d * (t + e)^f * [g + h * \ln \ln \left[\frac{Tr}{Tr-1} \right]] \quad (2)$$

Em que:

i: Intensidade (mm/h);

a, b, c, d, e, f e g: Parâmetros de ajuste;

Tr: Tempo de retorno (ano);

t: Duração (min).

Para melhor modelagem da equação, usou-se o método de regressão linear múltipla como método estatístico para estimar os parâmetros da equação IDF, com a utilização do Excel e a ferramenta solver, que minimizará o desvio entre os dados obtidos e os coletados das estações. Verificando sua consistência e fazendo ajustes se necessário, ao verificar sua precisão, por meio do método do erro médio relativo, com o objetivo de minimizar o desvio do calculado pela IDF e do obtido na série histórica.

3. RESULTADOS EQUAÇÃO IDF

3.1. Coleta e seleção das estações pluviométricas

Em relação ao estudo coletou as séries históricas de dados de precipitação de 25 estações, realizando as devidas modelagens dos dados a fim de retirar os erros e inconsistências, resultando no Quadro 1. Em seguida, foi colocado no Excel as séries de dados dos Pluvs (nome dado junto com uma numeração para os pluviômetros de cada local de Goiânia, como visto no Quadro 1), sendo que com a apresentação de erros das estações, devido a inconsistências e agrupamento de alguns postos, foi retirado do estudo o Pluv 19, 23, 24 e 25. Sendo assim, há 20 estações com dados tratados, porém foi escolhido apenas um dos postos para estudo nesse trabalho.

Quadro 1- Nome da estação utilizada e localização

NOME	LOCALIZAÇÃO		
Pluv1	Colégio Estadual Duca Viggiano	Pluv14	Colégio Estadual Bandeirante
Pluv2	Colégio Estadual Damiana da Cunha	Pluv15	Colégio Estadual José Alves de Assis
Pluv3	Colégio Estadual Carlos Alberto de Deus	Pluv16	Colégio Estadual Pedro Xavier Teixeira
Pluv4	Colégio Estadual Cultura e Cooperativismo	Pluv17	Instituto Educacional Emmanuel
Pluv5	Colégio Estadual da Polícia Militar Polivalente Modelo Vasco dos Reis	Pluv18	Universidade Estadual de Goiás - UEG
Pluv6	Escola Municipal Jarbas Jayme	Pluv19	Universidade Federal de Goiás - UFG
Pluv7	Colégio Estadual Jardim América	Pluv20	Duque de Caxias

Pluv8	Escola Municipal Jaime Câmara	Pluv21	Francisco Bibiano
Pluv9	Escola Municipal Vila Rosa	Pluv22	Solon
Pluv10	Escola Municipal Antônio Fidelis	Pluv23	Colégio Estadual Cultura e Cooperativismo
Pluv11	Escola Dinâmica 13 de maio	Pluv24	Colégio Integração (Berçário Pequeno Urso)
Pluv12	Colégio Integração (Berçário Pequeno Urso)	Pluv25	Universidade Federal de Goiás - UFG
Pluv13	Colégio Ateneu Salesiano Dom Bosco		

A série histórica selecionada será de 1/08/2011 até o mais recente dado de 2025 (Prec 2012-Prec 2025), devido a consistência dos dados. Sendo que cada Prec corresponde a soma de toda chuva de um ano hidrológico em milímetros (Tabela 1).

Tabela 1- Soma dos Prec dos Pluvs selecionados.

	Pluv 5	Pluv 6	Pluv 7	Pluv 8	Pluv 10	Pluv 11	Pluv 12	Pluv 14	Pluv 15	Pluv 16	Pluv 17	Pluv 18
PREC 2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.521,20	1.829,40	1.862,00	1.719,40	1.579,80	1.958,00	1.596,60
PREC 2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.347,20	1.183,40	1.325,00	1.581,60	1.537,20	1.252,60	1.451,80
PREC 2014	1.713,80	1.455,80	1.571,00	1.167,20	1.623,80	1.739,80	1.484,00	1.863,40	1.862,00	1.932,20	1.861,40	1.740,20
PREC 2015	1.166,00	803,80	41,20	588,40	1.531,60	422,20	305,60	737,60	1.403,60	653,00	226,00	1.209,80
PREC 2016	1.599,80	1.159,40	1.609,00	669,60	537,60	882,80	400,20	973,80	553,40	867,00	802,60	1.130,80
PREC 2017	1.031,60	1.418,00	1.408,40	775,80	1.416,00	793,40	752,60	1.177,80	691,40	1.063,00	942,60	1.247,60
PREC 2018	1.490,40	1.505,00	1.649,60	1.415,40	1.816,20	1.146,60	1.017,60	1.350,80	1.569,00	1.495,20	1.508,80	1.448,40
PREC 2019	1.423,80	1.468,60	1.388,80	1.435,20	1.423,40	1.260,80	1.200,40	1.361,00	1.369,80	1.346,60	1.378,80	1.376,20
PREC 2020	1.330,80	1.463,80	212,60	0,60	1.576,60	260,20	1.247,20	1.361,20	1.342,00	1.462,80	1.413,60	1.414,60
PREC 2021	1.555,60	1.697,20	415,80	1.221,40	1.590,00	946,60	1.363,60	1.152,80	1.433,20	1.605,00	676,80	1.493,40
PREC 2022	1.721,40	1.432,40	1.522,00	1.589,00	1.573,60	1.352,00	1.514,80	1.612,60	1.495,60	1.538,40	1.724,00	1.550,80
PREC 2023	1.568,00	0,00	1.540,40	1.447,20	1.570,80	696,20	818,80	939,80	1.525,40	1.480,40	1.493,60	1.630,20
PREC 2024	7,80	0,00	1.622,00	8,80	1.017,20	355,00	1.356,00	498,80	1.104,60	1.681,60	1.537,20	1.503,60
PREC 2025	0,00	0,00	604,20	0,00	0,00	1.270,80	1.471,40	993,50	0,00	1.206,60	1.669,00	1.606,40

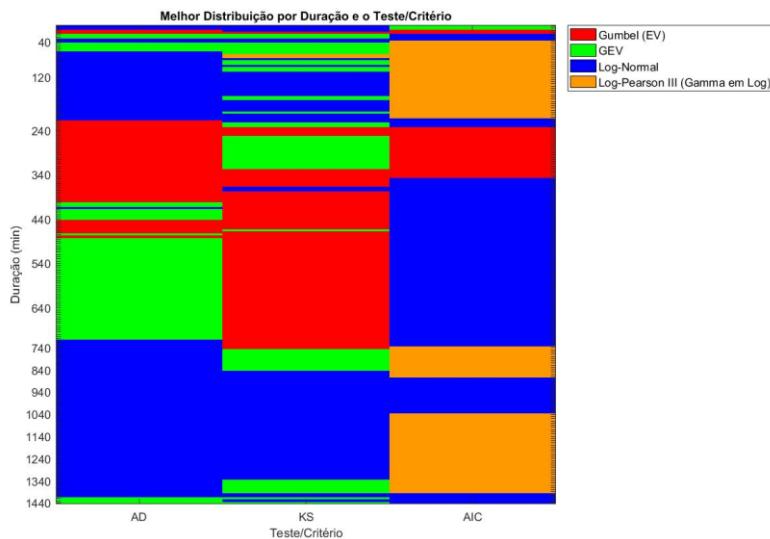
Com isso, foi escolhido o Pluv 18, sendo esse um posto pluviométrico localizado na Universidade Estadual de Goiás, devido a sua melhor consistência histórica, identificada pela soma de precipitação anual estar sempre a cima de 1000 mm.

3.2. Modelagem dos dados e obtenção da distribuição de probabilidade

Os registrados obtidos na estação foram coletados por meio de dados subdiários referentes a cada 0,2 mm de chuva coletados no pluviômetro e utilizando o software Matlab foi possível converter os dados em minuto em minuto.

Posteriormente foi testada qual a distribuição de probabilidade melhor se adequa aos dados, com base em testes de aderência, resultando na Figura 2, que corresponde a um gráfico com as durações de 5 a 1440 minutos para a série do pluviômetro 18.

Figura 2-Melhor Distribuição de Probabilidade em relação a cada Teste de Aderência



Assim, do intervalo de duração de 5 a 120 min, a distribuição de GEV foi a melhor e de 120 até 1440 minutos foi a distribuição do Gumbel (EV).

Com isso, com ajustes nos scripts do Matlab, obteve-se os dados da intensidade calculada em mm por min, necessária para a realização do cálculo para IDF no Excel.

3.3. Realização e comparação da equação IDF

Por meio do método de regressão linear múltipla foram encontrados os valores dos respectivos parâmetros da equação da curva para cada intervalo de duração (Tabela 2 e 3), utilizando como estrutura da fórmula da Equação 1 e 2 e ajustando com o método do erro médio relativo e o desvio padrão.

Tabela 2- Parâmetros da curva IDF de 8 parâmetros.

	a	b	c	d	e	f	g	h
2h	192.571	1000.000	-1.069	4999.999	121.174	-2.431	-50.000	12.070
2h-24h	152.484	297.477	-4.987	73.220	56.631	-0.963	-1.037	0.102

Tabela 3- Parâmetros da curva IDF de 4 parâmetros.

	a	b	c	d
2h	781.127	59.223	1.402	0.137
2h-24h	288.382	177.187	1.133	0.074

Gerando assim, as equações personalizadas da 1 e 2:

Para a duração de 5 até 120 min.

Equação geral:

$$i \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{781,127 * Tr^{0,137}}{(t + 59,223)^{1,402}}$$

Equação de São Paulo:

$$i \left(\frac{mm}{h} \right) = 192,571 * (t + 1000)^{-1,069} + 4999,999 * (t + 121,174)^{-2,431} * [-50 + 12,070 * \ln \ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right)]$$

Para a duração de 120 min até 1440 min.

Equação geral:

$$i \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{288,382 * Tr^{0,074}}{(t+177,187)^{1,133}}$$

Equação de São Paulo:

$$i \left(\frac{mm}{h} \right) = 152,484 * (t + 297,477)^{-4,987} + 73,22 * (t + 56,631)^{-0,963} * [-1,037 + 0,102 * \ln \ln \left[\frac{Tr}{Tr-1} \right]]$$

Por fim, foi possível gerar as curvas IDFs, por meio das Equações 1 e 2, o que tende a mostrar a discrepância entre os dados de intensidade para cada duração, obtidos pela série histórica (os TR-), em comparação com os dados gerados pela equação (TR-EQ-), possibilitando avaliar a eficiência da equação (Figura 3 a 6). Visualmente, percebe-se que os Gráficos com 8 parâmetros estão mais compactos, o que tende a afirmar uma melhor relação entre os dados históricos e os calculados.

Além disso, foi também realizado um cálculo da média em relação a discrepância entre os dados obtidos pela série histórica e os calculados, tendo para a IDF de 8 parâmetros: 0,31 e 0,032 para 2h e para 2h-24h, respectivamente. O mesmo foi avaliado para a equação de 4 parâmetros, que se obteve valores de 0,49 e 0,04 para os desvios de 2h e 2h-24h, nessa ordem. Assim, é possível verificar que quanto mais parâmetros de ajuste utilizados, melhor é a aproximação e efetividade da equação escolhida, afirmando que a equação complexa de DAEE-CTH apresentou melhor desempenho.

Figura 3- Gráfico da IDF de 8 parâmetros - até 120 min

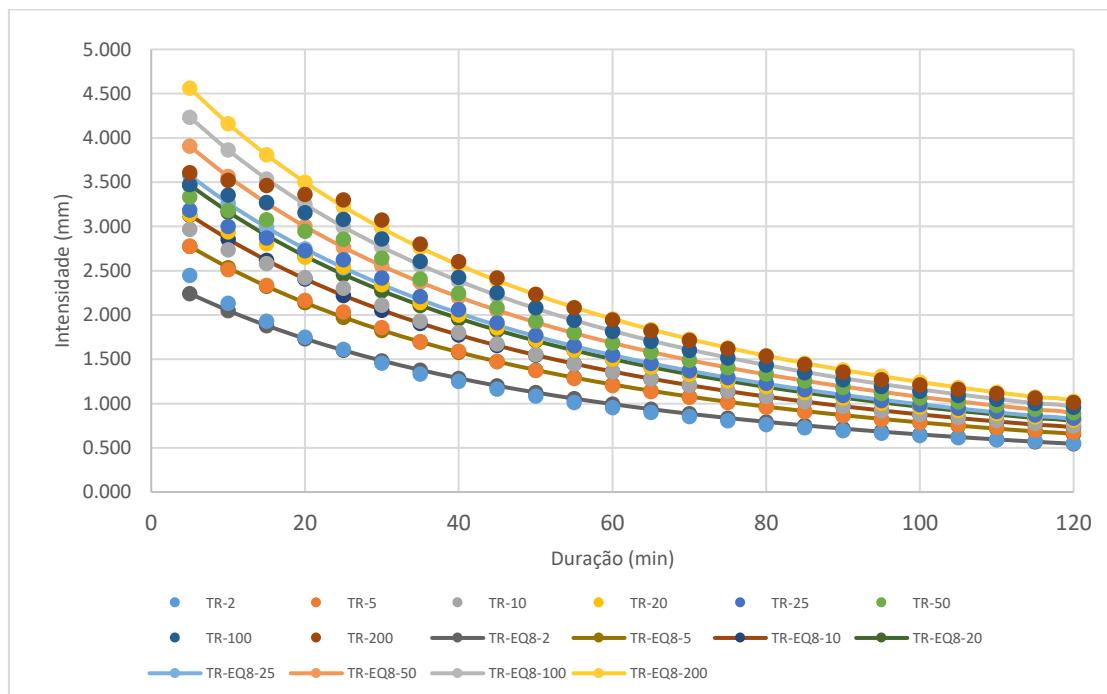


Figura 4- Gráfico da IDF de 8 parâmetros – 120 até 1440 min

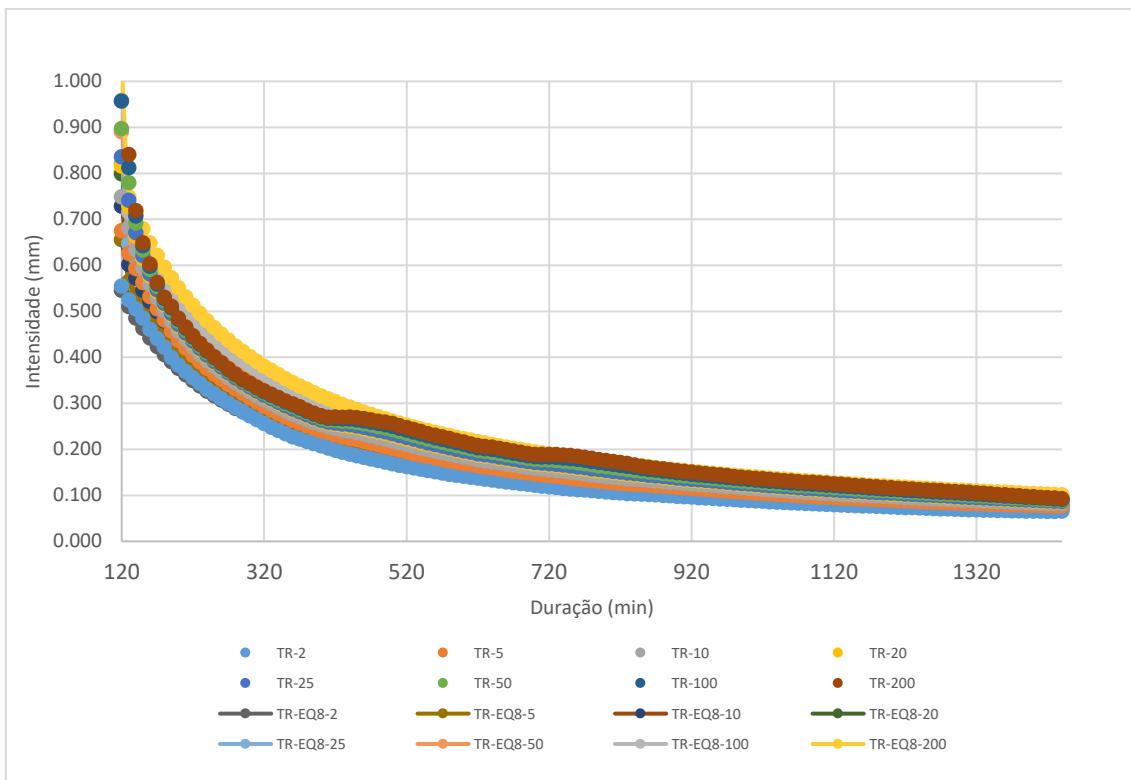


Figura 5- Gráfico da IDF de 4 parâmetros - até 120 min.

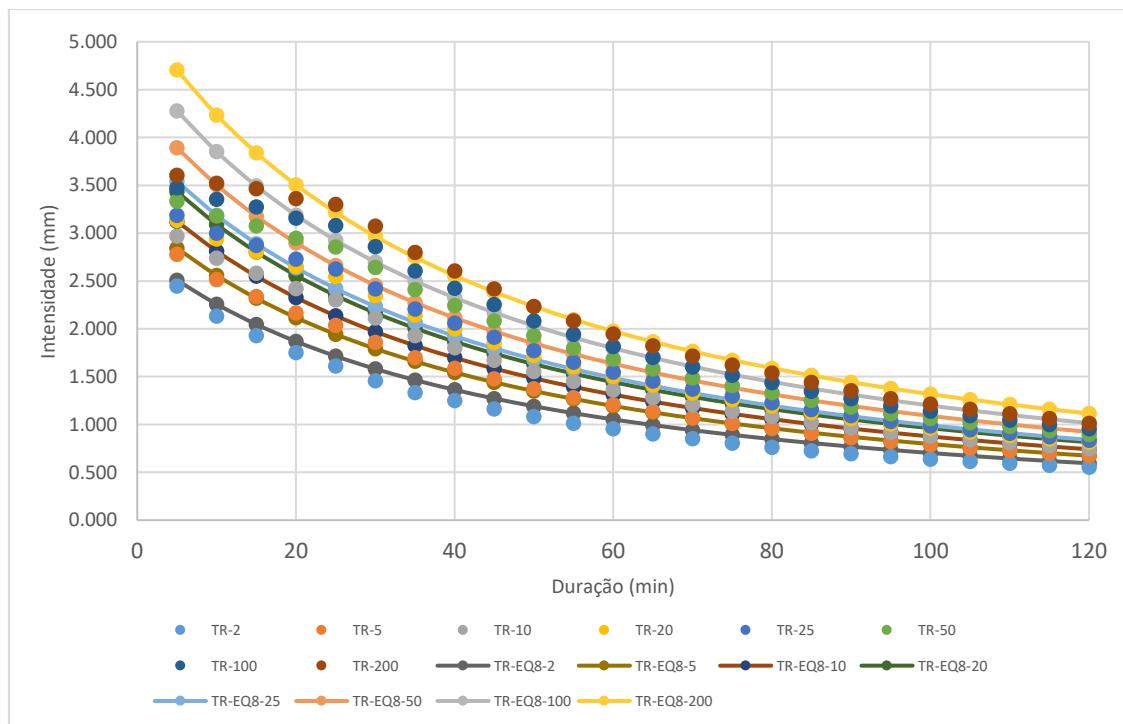
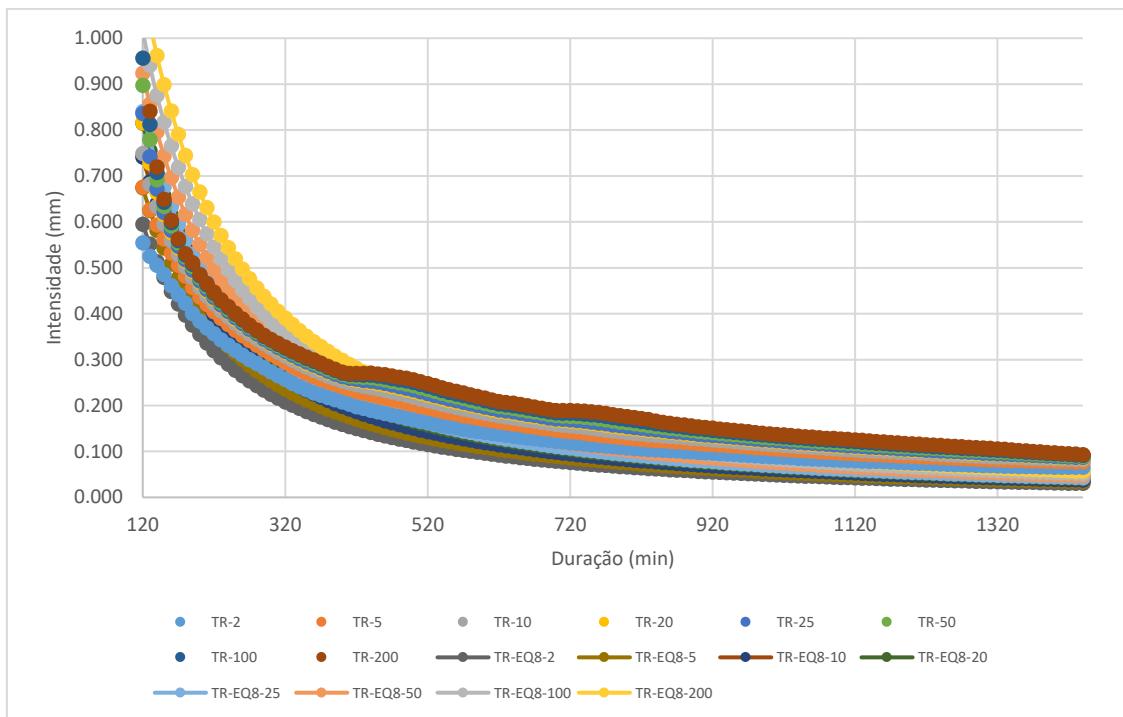


Figura 6- Gráfico da IDF de 4 parâmetros – 120 min até 1440 min.



4. CONCLUSÃO

Em suma, é importante a atualização das equações IDFs de determinados locais, devido as mudanças climáticas que o mundo está sofrendo que pode afetar no tempo de vida de projetos hidráulicos. Com isso, foi feito um estudo dos dados históricos das estações pluviométricas situadas em Goiânia, sendo selecionada a estação encontrada na Universidade Estadual de Goiás, para a realização dos cálculos. Em resultado, foi feito a modelagem de duas equações, uma genérica e outra de um artigo de São Paulo, tendo em vista uma duração de até 2 horas e outra de 2 até 24 horas. Em comparação, o desvio na equação genérica foi maior que a da equação mais complexa, afirmando a melhor eficiência dessa equação.

No entanto, é válido realizar mais testes com durações maiores e comparando com outras estações pluviométricas, uma vez que, dada a importância de se gerar equações IDFs para projetos hidráulicos, a comparação com outras estações ajuda a aperfeiçoar ainda mais as fórmulas.

AGRADECIMENTOS

Em agradecimento para o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Goiás, que possibilitou que eu realizasse essa pesquisa com o seu apoio.

REFERÊNCIA

- AL-WAGDANY, A. S. (2020). *Intensity-duration-frequency curve derivation from different rain gauge records*. Journal of King Saud University - Science, v. 32, n. 8, p. 3421-3431. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.028>. Acesso em: 20 set. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2024). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual*. Brasília: ANA, 166 p. Disponível em: https://www.snh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

CARVALHO, Leila M. V. Assessing precipitation trends in the Americas with historical data: a review. *WIREs Climate Change*, v. 11, n. 2, 10 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.627>. Acesso em: 6 ago. 2025.

DAEE-CHT - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. (2018). *Precipitações intensas no estado de São Paulo*. p. 270.

EWEA, H. A. et al. (2016). *Development of intensity-duration-frequency curves for the Kingdom of Saudi Arabia*. Geomatics, Natural Hazards and Risk, v. 8, n. 2, p. 570-584. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1250113>. Acesso em: 18 set. 2024.

GHEBREYESUS, D. T.; SHARIF, H. O. (2021). *Development and assessment of high-resolution radar-based precipitation intensity-duration-curve (IDF) curves for the state of Texas*. Remote Sensing, v. 13, n. 15, p. 2890. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13152890>. Acesso em: 20 set. 2024.

KÖPPEN BRASIL. [sd]. *Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros*. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LÓPEZ FERRAZ, R. L. et al. (2024). Intensity-Duration-Frequency curves for Manicaragua city, Cuba. *Enfoque UTE*, v. 15, n. 3, p. 49-58. Disponível em: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1046>. Acesso em: 29 ago. 2024.

MATLAB. (2016). Versão R2016a. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.

NANDALAL, K. D. W.; GHANANAPALA, P. (2017). *Development of IDF curves for Colombo*. Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, v. 50, n. 1, p. 33. Disponível em: <https://doi.org/10.4038/engineer.v50i1.7242>. Acesso em: 18 set. 2024.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. (2023). *Aplicação do sistema de classificação climática de novais para Goiânia-Go*. Geo UERJ, n. 42. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.73613>. Acesso em: 7 mar. 2025.

TUCCI, C. E. M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFGRS, 145 p.