Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS E PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL PARA A CIDADE DE GOIÁS-GO, BRASIL

Heavy rainfall equation and probable maximum precipitation in Goiás-GO, Brazil

Ecuación de lluvia intensa y precipitación máxima probable para la ciudad de Goiás-GO, Brasil

Virgílio Lourenço Silva Neto
Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins (IFTO)
virgilio.neto@ifto.edu.br

Lucas Barbosa e Souza
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
lbsgeo@uft.edu.br

Marcelo Ribeiro Viola
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
marcelo.viola@ufla.br

Marco Antonio Vieira Morais
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso (IFMT)
marco.morais@ifmt.edu.br

Resumo: A precipitação pluvial constitui um elemento importante cujas características devem ser investigadas para as atividades de planejamento e de gestão dos recursos naturais, dos espaços urbanos e rurais. Considerando essa premissa, objetivou-se neste estudo ajustar a função cumulativa de probabilidade Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual, obter a equação de intensidade-duração-frequência por meio da metodologia de desagregação de chuvas, e determinar a precipitação máxima provável diária para a Cidade de Goiás – GO, município reconhecido pela UNESCO por seu patrimônio histórico e cultural. Foram utilizadas informações do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, com dados de chuvas diárias de um período de 40 anos entre 1980 e 2019. Os cinco anos com os maiores valores de precipitações máximas diárias foram os de 1992 (169,7 mm), 1981 (150,6 mm), 1993 (140,3 mm), 1995 (132,3 mm) e 1980 (131,6 mm). O ajuste da distribuição Gumbel pelo método dos momentos mostrou-se adequado, constatado por meio do teste de aderência de Komolgorov-Smirnov com nível de significância de 5%. O ajuste da equação

de chuvas intensas por regressão não linear foi considerado adequado, com R^2 igual a 0,9976, o que foi confirmado pela plotagem da reta 1:1. O cálculo da Precipitação Máxima Provável (PMP) diária para Goiás-GO, pelo método estatístico de Hershfield chegou a um valor de 423mm.
Palavras-chave: Precipitação máxima diária anual. Hidrologia. Desagregação das chuvas.

Abstract: Heavy rainfall is an important element whose characteristics must be investigated for planning and management activities of natural resources, urban and rural spaces. Considering this premise, the objective of this study was to adjust the Gumbel cumulative probability function to the maximum annual daily precipitation, obtain the heavy rainfall equation by rainfall disaggregation methodology, and determine the probable maximum precipitation in a daily scale for the City of Goiás – GO, a municipality recognized by UNESCO for its historical and cultural heritage. Information from the INMET Meteorological Database was used, with daily rainfall data for a period of 40 years between 1980 and 2019. The five years with the highest values of maximum daily rainfall were 1992 (169.7 mm), 1981 (150.6 mm), 1993 (140.3 mm), 1995 (132.3 mm), and 1980 (131.6 mm). The adjustment of the Gumbel distribution by the method of moments proved to be adequate, verified through the Kolmogorov-Smirnov test with a significance level of 5%. The adjustment of the heavy rainfall equation by nonlinear regression was considered adequate, with R^2 equal to 0.9976, which was confirmed by the plotting of the 1:1 straight line. The calculation of the daily Maximum Probable Precipitation (PMP) for Goiás-GO, by the statistical method of Hershfield reached a value of 423 mm.
Keywords: Maximun Daily Rainfall. Hydrology. Rainfall Disaggregation**.**

Resumen: La precipitación pluvial es un elemento importante cuyas características deben ser investigadas para las actividades de planificación y gestión de los recursos naturales, espacios urbanos y rurales. Considerando esta idea, el objetivo de este estudio fue ajustar la función de probabilidad acumulada de Gumbel a los datos de precipitación máxima diaria anual, obtener la ecuación intensidad-duración-frecuencia mediante la metodología de desagregación de lluvia y determinar la precipitación máxima diaria probable para el Ciudad de Goiás – GO, municipio reconocido por la UNESCO por su patrimonio histórico y cultural. Fueron utilizadas informaciones del Banco de Datos Meteorológicos del INMET, con datos de lluvias diarias de un período de 40 años entre 1980 y 2019. Los cinco años con los valores más altos de precipitaciones máximas diarias fueron 1992 (169,7 mm), 1981 (150,6 mm), 1993 (140,3 mm), 1995 (132,3 mm) y 1980 (131,6 mm). El ajuste de la distribución de Gumbel por el método de momentos resultó adecuado, verificado a través de la prueba de adherencia de Komolgorov-Smirnov con un nivel de significación del 5%. El ajuste de la ecuación de lluvias intensas por regresión no lineal se consideró adecuado, con R^2 igual a 0,9976, lo que fue confirmado por el trazado de la línea recta 1:1. El cálculo de la Precipitación Máxima Probable (PMP) diaria para Goiás-GO, por el método estadístico de Hershfield, alcanzó un valor de 423mm.
Palabras clave: Precipitación máxima diaria anual. Hidrología. Desagregación de precipitaciones.

Submetido em: 03/12/2021
Aceito para publicação em: 14/03/2022
Publicado em: 02/05/2022

INTRODUÇÃO

As diferentes formas de apropriação e uso dos espaços urbanos e rurais têm contribuído para mudanças de superfície com destacadas implicações sobre o escoamento das águas pluviais, por inúmeras vezes causando situações de calamidade, com perdas econômicas e de vidas humanas. Infelizmente, fenômenos como enchentes e inundações, alagamentos, enxurradas e movimentos de massa tornaram-se comuns e, a cada estação chuvosa, sempre presentes nas notícias veiculadas pelos meios de comunicação. Trata-se de um cenário em que convergem aspectos de gênese natural e antrópica, em que o evento pluvial passa a constituir ameaça frente às situações de vulnerabilidade das populações e, consequentemente, do próprio espaço desigualmente produzido (SANT'ANNA NETO, 2008; MONTEIRO, 2009; SOUZA; ZANELLA, 2010; MONTEIRO, 2015).

Considerando tal conjuntura, compreender as características da precipitação pluvial sobre uma localidade se reveste de fundamental importância para diversas atividades relacionadas ao seu planejamento e gestão, no sentido de reduzir a ameaça representada pela variabilidade das chuvas, incluindo os fortes aguaceiros e as ocasiões de escassez, em episódios de estiagem. Dentre os diferentes setores beneficiados direta ou indiretamente por esse conhecimento, destacam-se a produção agrícola e pecuária, a infraestrutura urbana, o aproveitamento dos recursos hídricos e o gerenciamento de riscos ambientais. Configura-se, pois, um conhecimento estratégico capaz de subsidiar tomadas de decisão em múltiplas frentes, incluindo a segurança de pessoas e de bens materiais de interesse privado e coletivo (SANTOS, 2004; MASCARÓ; YOSHINAGA, 2013; CHANG *et al.*, 2015).

No caso das cidades históricas, como a Cidade de Goiás – GO, a melhor compreensão do comportamento das chuvas é também vital para a conservação do patrimônio arquitetônico, como seu casario e equipamentos públicos tombados. Ao tratar dos impactos pluviais nessa cidade, área para qual este estudo é voltado, Cavalcanti *et al*. (2008) afirmam que:

> As cheias são documentadas desde o século XVIII e acarretam grandes destruições, principalmente ao centro histórico, edificado em estilo Barroco e tombado pelo IPHAN. A cidade é cortada ao meio pelo rio, sendo interligada por três pontes que já foram levadas várias vezes pela força das águas. A última grande enchente do Vermelho ocorreu na manhã do dia 31/12/2001, após uma precipitação pluviométrica de 140,9 mm antecedida por vários dias chuvosos. Cerca de 85 edificações da área tombada pela Unesco sofreram sérios danos, e aproximadamente 35 foram totalmente destruídas (CAVALCANTI *et al*., 2008, p. 169).

Conforme apontado, a Cidade de Goiás foi instalada às margens do rio Vermelho, no alto curso dessa bacia, que compõe o sistema hidrográfico Araguaia-Tocantins. A ocupação da bacia do rio Vermelho remonta ao século XVIII, por conta de intensa atividade de mineração e o uso agropecuário, o que implicou em uma acumulada pressão. Da área total da bacia, 65% são atualmente utilizados para fins agrícolas e pecuários, com destaque para a cobertura do solo com pastagens. O conjunto das alterações promovidas ao longo do tempo, incluindo a ocupação de áreas onde a entropia do relevo indica a maior suscetibilidade a processos erosivos, acabou por traçar um panorama ambiental desfavorável à bacia, especialmente em se tratando dos riscos relacionados à pluviosidade (VIEIRA *et al.*, 2014). Especificamente em seu trecho urbano, na Cidade de Goiás, o rio Vermelho apresenta intervenções em seu canal, por conta da ocupação secular de suas margens, construção de vias que acompanham o curso do rio e de pontes para atravessá-lo. Soma-se a isso a precariedade da infraestrutura de drenagem pluvial, certamente dificultada pelas características da urbanização e o tipo de calçamento em seu sítio histórico, o que torna a relação entre a cidade e as chuvas ainda mais complexa e delicada.

A intensidade das chuvas e a precipitação máxima provável são variáveis que demonstram duas das características da precipitação pluvial em uma localidade e cuja determinação configura-se estratégica no cenário traçado. Prólo *et al*. (2021) afirmam que são intensas as chuvas de ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área específica, determinada a partir da relação Intensidade-Duração-Frequência, analisadas por meio das chamadas curvas IDF. Tais curvas são basicamente funções de distribuição cumulativa da intensidade da chuva máxima condicionada a uma duração, ligando a intensidade máxima da chuva observada para uma dada duração com seu tempo de retorno (FERREIRA FILHO *et al*., 2020).

No tocante à precipitação máxima provável (PMP), o conceito é definido como a maior altura de chuva teoricamente possível de ocorrer em determinado local e época (WMO, 2009). Inúmeras organizações no mundo determinam os padrões de segurança para o cálculo de cheia de projeto, onde para grandes e importantes barragens, a cheia de projeto deve ser obtida através do conceito da cheia máxima provável (CMP), que é determinada com base na PMP (BURGER, 2014).

Dada a importância do tema, diversos estudos têm sido realizados no âmbito da hidrologia com base na análise das características das chuvas intensas e das precipitações máximas prováveis. Paola *et al*. (2014), avaliaram 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 (10 ’, 30’, 1h, 3h, 6h, 12h); Sherif *et al*. (2014) também analisaram as chuvas com base em distribuição de probabilidades, curvas IDF e PMP para os Emirados Árabes Unidos; no Brasil, Pfafstetter (1957) realizou um estudo pioneiro nesta área, sendo ainda hoje utilizado como referência para projetos de dimensionamento de obras hidráulicas.

Em diversas unidades federativas do Brasil também foram desenvolvidos trabalhos voltados para as chuvas intensas e a PMP. Para o Rio Grande do Sul, Caldeira *et al*. (2016) avaliaram a influência de três conjuntos de constantes de desagregação na estimativa de intensidades de chuva usando curvas IDF ajustadas a partir de séries de chuva diária no estado; Souza *et al*. (2012) obtiveram as relações de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para o Estado do Pará, utilizando-se a metodologia da desagregação da chuva de 24h; no Tocantins, em um amplo estudo realizado, Silva Neto *et al*., (2017), Silva Neto *et al*., (2020) e Silva Neto *et al*. (2020) determinaram coeficientes de desagregação de chuvas diárias para o Estado, calcularam e mapearam a precipitação máxima provável e as chuvas intensas, respectivamente; Back *et al*. (2012) determinaram as relações entre precipitações de diferentes durações para o Estado de Santa Catarina com o objetivo de desagregar a chuva diária em chuvas de curta duração; 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 para o município de Ipameri-GO, respectivamente.

Assim, objetiva-se no presente estudo ajustar a função cumulativa de probabilidade Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual, obter a equação de chuvas intensas

por meio da metodologia de desagregação e determinar a precipitação máxima provável para a Cidade de Goiás-GO.

METODOLOGIA

O município de Goiás situa-se na microrregião da bacia do Rio Vermelho, localizando-se a aproximadamente 15º56'04" de latitude Sul e 50º58'25" de longitude oeste. A sede Municipal está situada a 135 km a noroeste de Goiânia. A altitude média é de 512 metros, sendo circundada nos lados sul e oeste pela Serra Dourada e a topografia em sua maior parte é considerada pouco propicia às lavouras mecanizadas, visto que, 50% delas é ondulada e 10% montanhosa (SILVA NETO; LIMA, 2014).

Com base na classificação climática proposta para o Estado de Goiás e Distrito Federal realizada por Novais (2020), a Cidade de Goiás possui o subtipo climático Tropical Semisseco Central, influenciado pela ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) entre novembro e março e pela ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) no período seco. O autor ressalta que o subdomínio é o semisseco, com até sete meses secos no ano, com ocorrência de frentes frias periódicas e reduzida frequência de geadas (NOVAIS, 2020).

A obtenção das informações pluviométricas se deu através Banco de Dados Meteorológico do INMET, com dados de precipitação diária de um período de 40 anos, entre 1980 e 2019. A descrição do procedimento adotado para aplicar a distribuição Gumbel, de acordo com Mello e Viola (2013) encontra-se a seguir, nas Equações 1 a 5.

$$f_{obs} = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

Em que i é posição em que os dados ocupam dentro da série histórica ordenada e N é o tamanho da série histórica.

A Função de Densidade da Probabilidade (FDP) da distribuição Gumbel é dada por:

$$f(x) = \alpha \, . \, e^{[-\alpha.(x-\mu)-e^{-\alpha.(x-\mu)}]} \quad (2)$$

A integração da FDP fornece a função cumulativa de probabilidade (FCP), que na forma de excedência, é dada por:

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-\alpha.(x-\mu)}} \quad (3)$$

A distribuição de Gumbel apresenta 2 parâmetros (α e μ), que são calculados pelas expressões abaixo, considerando o método dos momentos (ARAGÃO *et al*., 2013; MELLO; VIOLA, 2013):

$$\alpha = \frac{1{,}2826}{s} \tag{4}$$

$$\mu = \overline{x} - 0{,}45 \cdot s \tag{5}$$

Para estimativa de uma variável hidrológica (X) em função do tempo de retorno (TR), aplica-se a Equação 6:

$$x_{TR} = \frac{-LN\,[-LN\left(1-\frac{1}{TR}\right)]}{\alpha} + \mu \tag{6}$$

Deve-se destacar a necessidade de se comprovar previamente se a distribuição é adequada para a série histórica a ser trabalhada, o que pode ser feito a partir de testes estatísticos não paramétricos (MELLO; SILVA, 2013). Verificada a aderência dos dados à distribuição de probabilidades, foram calculadas as chuvas intensas diárias para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, e 100 anos, então, foi realizada a desagregação da chuva para as durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos pela metodologia proposta pela Cetesb (1980). A partir deste banco de dados foi ajustada a equação de chuvas intensas por regressão não linear, usando o método dos mínimos quadrados:

$$i_{m,m} = \frac{k.TR^{a}}{(b + t_d)^{c}} \tag{7}$$

Onde, $i_{m,m}$= intensidade média máxima de precipitação, mm.h^{-1}; TR = tempo de retorno, anos; td = tempo de duração da chuva, minutos; k, a, b e c são parâmetros de ajuste relativos à localidade.

Para estimativa da PMP diária, primeiramente foi utilizada a série histórica de precipitação máxima diária anual de 40 anos, para obtenção de $\overline{X}_n$ e S_n (média e desvio padrão, respectivamente). Posteriormente, adotou-se o procedimento descrito por Silva Neto *et al*., (2020), baseado na metodologia da WMO (2009), que emprega o método estatístico desenvolvido por Hershfield (1961) e aperfeiçoada por ele em 1965 (HERSHFIELD, 1965). O

método é baseado na equação geral de frequência proposta por Chow (1964), descrita na Equação 8:

$$X_{PMP} = \overline{X}_n + K.S_n \quad (8)$$

Sendo X_{PMP} a precipitação máxima provável para uma determinada duração e local, mm, $\bar{X}_n$ e S_n são, respectivamente, a média e o desvio padrão da série de chuvas máximas anuais de uma dada duração, mm, e *K* é o fator de frequência.

O valor do fator de frequência *K* foi calculado utilizando-se a Equação 9, proposta por Burger (2014):

$$K = 20 - \frac{0{,}732 \cdot \bar{X}_n^{\,0{,}693}}{(d+0{,}372)^{0{,}420}} \quad (9)$$

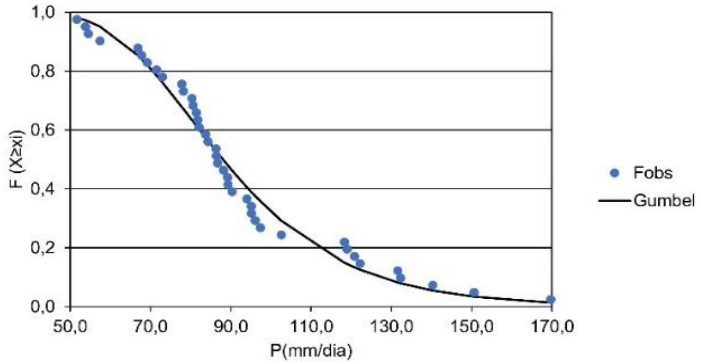
Em que, *d* é a duração, em horas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de dados utilizado no estudo compreende 40 anos, que equivalem a 14.610 dados de chuva diária. Os cinco anos com os maiores valores de precipitações máximas diárias foram 1992 (169,7 mm), 1981 (150,6 mm), 1993 (140,3 mm), 1995 (132,3 mm) e 1980 (131,6 mm). A análise da série histórica apresentou média $(\overline{X}_n)$ de 92,4 mm e desvio padrão e (S_n) de 26,6.

A distribuição Gumbel ajustada aos dados de precipitação máxima diária anual de Goiás-GO está mostrada na Figura 1. Observa-se boa aderência entre a distribuição e as frequências observadas, conforme também observado em estudos sobre chuvas intensas para o Pará, Tocantins e Goiás por Ferreira Filho *et al*. (2020), Silva Neto *et al*. (2020) e Oliveira et al. (2000), respectivamente.

Figura 1 – Distribuição de probabilidades Gumbel ajustada aos dados de frequência observada (Fobs) da série de precipitação máxima diária anual da Cidade de Goiás-GO.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov foi 0,089 (ΔF_{max}), enquanto que, o valor máximo tabelado para o nível de significância de 5% é de 0,210, indicando adequabilidade da distribuição ajustada. Os parâmetros α e μ foram respectivamente iguais a 0,04807 e 80,43.

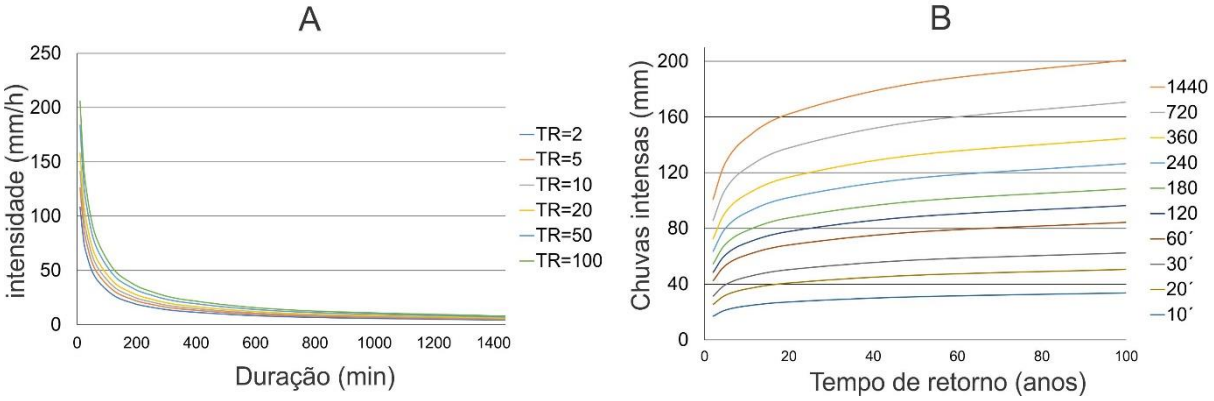
Tendo sido ajustada a distribuição de probabilidades Gumbel, determinaram-se os valores de precipitação máxima diária anual para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, e 100 anos, e posteriormente, pela metodologia de desagregação obtiveram-se as intensidades máximas com duração de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, conforme Tabela 1. As curvas IDF estão apresentadas na Figura 2A e as chuvas intensas representadas na Figura 2B.

Tabela 1 - Chuvas intensas, em mm, calculadas com base no método de desagregação para duração entre 10 a 1440 minutos, e precipitação diária (1 dia), para a Cidade de Goiás-GO.

Duração	Tempo de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
1440 min.	100,4	127,3	145,1	162,1	184,2	200,8
720 min.	85,3	108,2	123,3	137,8	156,6	170,7
360 min.	72,3	91,6	104,4	116,7	132,6	144,6
240 min.	63,2	80,2	91,4	102,1	116,1	126,5
180 min.	54,2	68,7	78,3	87,5	99,5	108,4
120 min.	48,2	61,1	69,6	77,8	88,4	96,4
60 min.	42,2	53,4	60,9	68,1	77,4	84,3
30 min.	31,2	39,6	45,1	50,4	57,3	62,4
20 min.	25,3	32,0	36,5	40,8	46,4	50,5
10 min.	16,8	21,4	24,3	27,2	30,9	33,7
1 dia	88,1	111,6	127,2	142,2	161,6	176,1

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 2 - Curvas IDF para a cidade de Goiás, GO, considerando as durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos (A) e chuvas intensas (em mm) em função do tempo de retorno (B).



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Em estudo realizado por Mesquita *et al*. (2009), sobre as precipitações máximas diárias anuais para as regiões central e sudeste de Goiás, com tempo de retorno de até 25 anos, foram obtidos valores na faixa de 110 mm a 120 mm. No presente estudo, considerando-se apenas os períodos de retorno e precipitação máxima diária similares, os valores variaram entre 88 mm e 142 mm.

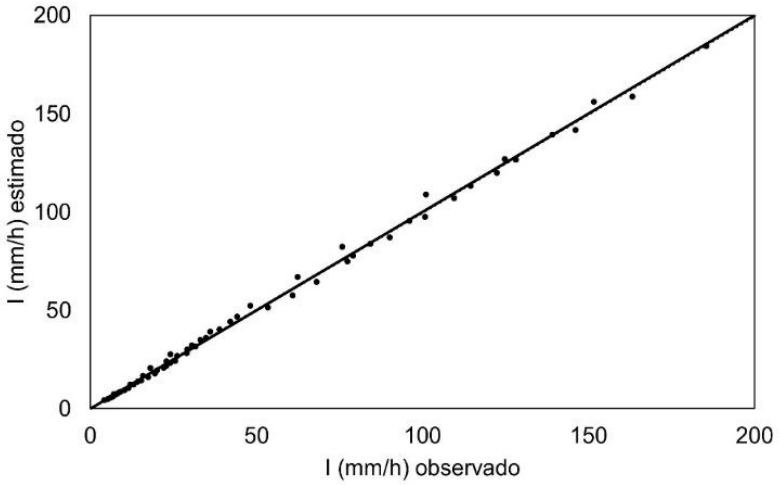
Considerando os parâmetros obtidos na regressão não linear, a equação de chuvas intensas para a Cidade de Goiás-GO está apresentada na Equação 10:

$$i_{m,m} = \frac{1174{,}71.\,TR^{0{,}164}}{(13{,}454+t_d)^{0{,}790}} \qquad R^2 = 0{,}9976 \tag{10}$$

Em que $i_{m,m}$ corresponde à intensidade média máxima (mm.h^{-1}); TR é o tempo de retorno (anos); t_d é a duração da chuva (minutos) e R^2 é o coeficiente de determinação.

Observa-se boa qualidade da equação de chuvas intensas ajustada no presente estudo (R^2 = 0,9976). Na Figura 3 apresenta-se a relação entre os valores estimados e observados em torno da reta 1:1, onde pode-se observar boas estimativas para toda a faixa de valores abordada.

Figura 3 - Relação entre intensidade máxima de precipitação observada e estimada, com dispersão na reta 1:1, correspondentes aos dados de precipitação da cidade de Goiás-GO.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Os resultados obtidos a partir da aplicação da Equação 10 indicam um comportamento típico das relações IDF, sendo a intensidade inversamente proporcional à duração do evento e diretamente proporcional ao tempo de retorno (Figura 2), fato também observado por Arboit *et al*. (2019) para Iraí-RS e Pereira *et al*. (2017) para Ipameri-GO

Considerando a precipitação máxima provável para duração de um dia, pode-se afirmar que a maior altura de chuva teoricamente possível de ocorrer na cidade Goiás-GO é de 423 mm. O fator de frequência obtido por meio da Equação 9 foi de 15,96.

Em estudos sobre as precipitações máximas prováveis para o Tocantins utilizando este mesmo método estatístico de Hershfield, Silva Neto *et al*. (2020) observaram que os valores relativos à duração de 1440 min (24h) variou entre 410,9 e 768,2 mm, enquanto as lâminas para outras durações variaram entre 184,6 e 266,7 (1h), 198,7 e 452,7 (3h), 197,4 e 518,8 mm (6h) e 335,5 e 667,2 mm (12h), os autores também observaram valores de K entre 8,98 e 16,54. Burger (2014), em estudo sobre a PMP no estado do Paraná, região sul do Brasil, comparou valores de K obtidos pela Equação 9, com o método proposto por Hershfield, constatando que o modelo foi considerado adequado para a interpolação das curvas do gráfico de Hershfield para determinar o valor de K. A PMP de 24h estimada pelo estudo de Burger (2014) variou entre 344 e 716 mm.

Essas informações podem ajudar no planejamento de ações mitigatórias associadas com a ocorrência de precipitações extremas que possam culminar em inundações, que é um

tema de preocupação para a cidade de Goiás, cujo patrimônio histórico vem sofrendo durante as grandes inundações do Rio Vermelho. Cavalcanti *et al*. (2008) fazem importantes observações para o entendimento das enchentes do Rio Vermelho, na cidade em questão, os autores destacam que a lâmina precipitada no dia da enchente ocorrida no ano de 1981 foi 150,6 mm e na enchente ocorrida 20 anos depois, no dia 31 de dezembro de 2001 foi de 140,9 mm. Os autores também classificam a intensidade das enchentes e destacam os danos provocados por elas. Em 1981, a intensidade da enchente foi classificada como média e provocou danos em pontes e destruição de prédios, mas em 2001, a intensidade da enchente do Rio Vermelho foi classificada como alta e também provocou a destruição de pontes e edificações.

Neste sentido, o presente estudo disponibiliza a relação intensidade-duração-frequência e a respectiva equação de chuvas intensas para a cidade de Goiás-GO, para duração da chuva entre 10 e 1440 minutos e tempo de retorno de até 100 anos, com o objetivo de corroborar com o planejamento de recursos hídricos local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de Goiás-GO apresentou valores de precipitação máxima diária anual que variaram entre 51,7 (referente ao ano de 2010) e 169,6 mm (referente ao ano de 1992).

Com base na metodologia de desagregação de chuvas, a equação de chuva intensa ajustada apresentou bom desempenho, com R^2 equivalente a 0,9976. Considerando especificamente o tempo de retorno de 20 anos, as chuvas intensas apresentaram lâminas com valores de 27 mm (10 min), 40 mm (20 min), 50 mm (30 min), 68 mm (60 min), 77 mm (120 min), 87 mm (180 min), 102 mm (240 min), 116 mm (360 min), 137 mm (720 min) e 162 mm (1440 min).

O ajuste da equação de chuvas intensas para Goiás-GO possibilita a estimativa da intensidade da chuva com duração de 10 a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos, podendo contribuir para o dimensionamento de obras hidráulicas, conservação dos solos, entre outras.

A PMP diária estimada com base no método estatístico de Hershfield a partir de uma série histórica de 40 anos para a cidade de Goiás, foi de 423 mm, valor extremamente superior aos eventos máximos monitorados para a cidade no período de 1980 e 2019.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R. D.; SANTANA, G. R. D.; COSTA, C. E. F. F. D.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. D.; SRINIVASAN, V.S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.17, n.3, p.243-252, 2013.

ARBOIT, N. K. S.; MANCUSO, M. A.; FIOREZE, M. Ajuste de Equação IDF por Desagregação de Chuvas Diárias para o Município de Iraí, RS. **Anuário do Instituto de Geociências,** v.40, n.3, p.248-253, 2019.

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.16, n.4, p.391-398, 2012.

BURGER, L. C. **Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2014.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. D.; VARGAS, M. M.; GUEDES, H. A. S.; COLL, L. F. Desagegação de chuva diária: uma análise para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Scientia Agraria (SA),** v.16, n.3, p.1-21, 2016.

CAVALCANTI, M. A.; LOPES, L. M.; PONTES, M. N. C. D. Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. **Boletim Goiano de Geografia,** v.28, n.1, p.167-186, 2008.

CHANG, M.; GÓES, K.; FERNANDES, L.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P.(org.). **Metodologias de estudos de vulnerabilidade à mudança do clima**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill Company, 1964.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projetos**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980. 466 p.

FERREIRA FILHO, D. F.; RODRIGUES, R. S. S.; DA SILVA, M. D. N. A.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L. Aplicação de diferentes métodos de determinação de curvas de intensidade-duração-frequência no município de Belterra no estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development,** v.9, n. 2, p.e77922073, 2020.

HERSHFIELD, D. M. Technical Paper N. 40: Rainfall Frequency Atlas of the United States, Department of Commerce. **Weather Bureau, Washington, DC**, 1961.

HERSHFIELD, D. M. Method for estimating probable maximum rainfall. **American Water Works Association**, p.965-972, 1965.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados Meteorológicos. 2021. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/.

MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. **Infraestrutura urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2013.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

MELLO, C. R. D.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.37, p.37-44, 2013.

MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; DE OLIVEIRA, L. F. C. Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics),** v.39, n.2, p.73-81, 2009.

MONTEIRO, A. As cidades e a precipitação: uma relação demasiado briguenta. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v.5, p.7-25, 2009.

MONTEIRO, C. A. de F. A Climatologia Geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. In: MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil.** Campinas: Alínea, 2015, p.61-153.

NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v.40, n.1, p.1-29, 2020.

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.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. D. O. A.; ROMÃO, P.D. A.; CARVALHO, D. F. D. Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo Método de desagregação de Chuvas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.30, p.23-27, 2000.

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

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**.0020Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras púbicas; DNOS, 1957.

PRÓLO, T. T.; SILVA NETO, V.L.; CARMO, E. L. D.; SILVEIRA JÚNIOR, O.; SILVA, L. L. Equações de chuvas intensas para o sudeste do estado do Tocantins, Brasil. **Revista Sítio Novo,** v.5, n.2, p.26-35, 2021.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, Dourados, v.4, p.51-72,

2008.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficia de Textos, 2004.

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 NETO, V.L.; LIMA, S. D. O. Análise da erosividade das chuvas na Bacia do Rio Vermelho, na Cidade de Goiás. **Revista Territorial,** v.3, n.2, p.88-100, 2014.

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; SILVA, D. D.; GIONGO, M. Precipitação Máxima Provável no Tocantins: Primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield. **Revista Brasileira de Climatologia,** v.27, p.660-769, 2020.

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; GIONGO, M. Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. **Revista Ambiente & Água,** v.12, n.4, p.605-617, 2017.

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; GIONGO, M. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v.35, n.1, p.1-11, 2020.

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E. **Percepção de riscos ambientais**: teoria e aplicações. 2ed. Fortaleza: Edições UFC, 2010.

SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P.H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.16, n.9, p.999-1005, 2012.

VIEIRA, P.A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do rio Vermelho, Estado de Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.26, n.2, p.385-400, 2014.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP.** Geneva: 2009.