



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Equações IDF dos municípios cearenses geradas a partir de dados pluviométricos

Tatiane Lima Batista¹, Paulo Roberto Lacerda Tavares², Máisa de Caldas Lopes³, Vicente de Sousa Lima Neto⁴

¹ Professora Mestra, Assistente B-II, Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Av. Prfa. Machadinho Lima - Crateús, CE, 63700-000, (88) 3691-9700, tatiane@crateus.ufc.br, (autor correspondente). ² Professor Doutor, Associado IV, Universidade Federal do Cariri, Campus de Juazeiro, Av. Tenente Raimundo Rocha Nº 1639, Bairro Cidade Universitária, Juazeiro do Norte-CE, CEP 63048-080, (88) 3221-9569, paulo.tavares@ufca.edu.br. ³ Mestranda em Recursos Hídricos, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, maisa.lopes@ufca.alu.br. ⁴ Professor Mestre, Universidade Regional do Cariri, Campus Crajubar, Avenida Leão Sampaio, nº 107, Triângulo, CEP 63041-235, Juazeiro do Norte, Ceará vicente.neto@urca.br.

Artigo recebido em 22/02/2024 e aceito em 28/11/2024

RESUMO

As equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são fundamentais para o estudo de chuvas intensas em projetos de infraestrutura hídrica e são construídas a partir de dados de chuvas de diferentes durações. O objetivo deste trabalho foi gerar as equações IDF para os municípios do estado do Ceará a partir de dados pluviométricos. A metodologia consistiu de: ajuste das séries de precipitações máximas diárias anuais a uma distribuição de probabilidade, dentre Gamma com 2 e 3 parâmetros, Log Normal com 2 e 3 parâmetros e Gumbel; desagregação da chuva diária em chuvas de menores durações pelo método das isozonas; geração dos parâmetros das equações pelo método usado por Fechine Sobrinho (2014) e avaliação do ajuste a partir de métricas como coeficiente determinação (R^2), NASH e erro percentual (EPE). A metodologia foi implementada em um programa computacional construído na linguagem Java, gerando como resultados o mapa das distribuições de probabilidade com melhor ajuste na região e a lista de equações IDF para os municípios do estado do Ceará. As distribuições Gumbel e Gamma se destacaram como as de melhor ajuste para a maioria dos municípios. Com valores de R^2 superiores a 0,983 e EPE inferiores a 4,4%, o método demonstrou alto desempenho. O uso de ferramentas de hidroinformática foi essencial para automatizar a metodologia. Estes resultados se apresentam como um compilado de relevância única, com amplo potencial de aplicação prática nos projetos de engenharia hídrica, fortalecendo o conhecimento sobre chuvas intensas na região e abrindo espaço para futuras análises.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Desagregação de chuva diária. Isozonas.

IDF equations of cearense municipalities generated from rainfall data

ABSTRACT

The Intensity-Duration-Frequency (IDF) equations are essential for studying intense rainfall in hydraulic infrastructure projects and are developed from rainfall data of different durations. The objective of this work was to generate IDF equations for the municipalities of Ceará State using pluviometric data. The methodology involved: fitting the annual maximum daily rainfall series to a probability distribution, including Gamma with 2 and 3 parameters, Log Normal with 2 and 3 parameters, and Gumbel; disaggregating daily rainfall into shorter durations using the isozone method; generating the equation parameters using the method applied by Fechine Sobrinho (2014); and evaluating the fit using metrics such as determination coefficient (R^2), NASH, and percentage error (EPE). The methodology was implemented in a Java-based computer program, producing a map of the best-fit probability distributions in the region and a list of IDF equations for Ceará municipalities. Gumbel and Gamma distributions showed the best fit for most municipalities. With R^2 values above 0.983 and EPE below 4.4%, the method demonstrated high performance. The use of hydroinformatics tools was crucial in automating the methodology. These results form a uniquely relevant compilation with significant practical application potential in hydraulic engineering projects, enhancing the understanding of intense rainfall in the region and paving the way for future analyses.

Keywords: Intense rains. Disaggregation of daily rainfall. Isozones.

Introdução

As chuvas intensas se apresentam como a precipitação de uma grande quantidade de água em um curto período de tempo. Por isso, podem gerar um alto escoamento superficial, o que pode causar erosões de solos, enchentes, inundações em áreas rurais e urbanas, além de contaminação de corpos hídricos (Aragão et al., 2013). O conhecimento da distribuição temporal e espacial dessas chuvas é essencial em meteorologia, hidrologia e engenharia civil para o dimensionamento de obras hidráulicas, tais como canais, vertedores, estradas, sistemas de esgoto e concepção de redes de drenagem de águas pluviais (Pérez-Zanón et al., 2016; Coelho Filho et al., 2017).

As equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) fornecem as informações relacionadas às características dessas chuvas intensas, revelando a intensidade máxima de precipitação provável associada a uma duração e a um período de retorno. Uma aplicação do estudo das chuvas intensas pode ser observada quando dados de vazões máximas observadas em estações fluviométricas são inexistentes ou insuficientes para uma determinada localidade. Dessa forma, a vazão de projeto é determinada a partir de uma chuva de projeto, que pode ser encontrada utilizando equações IDF (Coutinho et al., 2019).

Alguns outros exemplos de aplicações das equações IDF são: avaliação de riscos hidrológicos de falhas de barragens considerando mudanças climáticas (Carneiro et al., 2022), modelagem hidráulico-hidrológica de bacias para estudo e cenarização de inundações (Fava et al., 2022), podendo incluir análise de implementação de soluções, gestão de risco em infraestruturas rodoviárias sob enxurradas (Flores et al., 2024) e estudo de soluções sustentáveis de gerenciamento de drenagem urbana para mitigação de efeitos de mudanças climáticas, inundações e poluição de rios (Macedo et al., 2022).

Através de dados pluviográficos é possível determinar as intensidades de chuva para durações inferiores a 24 horas, informação necessária para ajuste de uma Equação IDF. Porém, no estado do Ceará, como também na maioria dos estados do Brasil, há dificuldade de acesso a esses dados, além de problemas como curtos períodos de observação e falhas nas medições (Rangel & Hartwig, 2016). Isso constitui um problema para os projetistas, já que as equações IDF apresentam resultados melhores quando as séries de dados utilizadas são extensas (Rodrigues, et al., 2008). Por outro lado, a ampla disponibilidade de dados

pluviométricos com tempos de observações longos favorece o desenvolvimento e aplicação de métodos que desagregam as chuvas diárias em chuvas de menores durações (Garcia et al., 2011).

O engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter foi o pioneiro no Brasil na análise de registros pluviográficos e pluviométricos para a determinação de curvas IDF. O autor trabalhou com 98 postos localizados em diferentes regiões do Brasil, a partir da plotagem das curvas IDF em escala bilogarithmica. Denardin et al. (1980) iniciaram o estudo das relações entre intensidade, duração e tempo de retorno das chuvas para o estado do Rio Grande do Sul com base nos dados analisados por Pfafstetter (1957). Denardin e Freitas (1982) perceberam a importância da continuidade desse estudo para outras regiões do país e ajustaram equações matemáticas que relacionavam as características fundamentais das chuvas (intensidade, duração e tempo de retorno) para 80 das estações climatológicas estudadas por Pfafstetter (1957) utilizando o método descrito por Denardin et al. (1980) com o objetivo de fornecer ferramentas para projetos de engenharia e hidrologia, possibilitando o cálculo da intensidade máxima média das chuvas para cada região.

A partir de então, vários foram os trabalhos desenvolvidos em todas as regiões do Brasil, utilizando dados de pluviógrafos e de pluviômetros para obter as características de intensidade, duração e frequência das chuvas intensas. Alguns métodos frequentemente utilizados para realizar a desagregação da chuva diária em chuvas de menores durações são: método das isozonas (Torrico, 1974), método das relações entre durações (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 1979) e o método de Bell (Bell, 1969).

O método das isozonas foi desenvolvido pelo engenheiro José Jaime Tabora Torrico em 1974 utilizando como base as estações estudadas por Pfafstetter (1957), dados de postos pluviométricos e pluviográficos, distribuídos pelo Brasil. Torrico (1974) dividiu o território brasileiro em 8 zonas de relações iguais entre a precipitação máxima anual de 1 hora e de 24h, para diferentes tempos de retorno. Apresentou também as relações entre as alturas de precipitação de 6min e de 24h, para tempos de retorno entre 5 e 50 anos e 100 anos. Para a conversão da chuva de um dia em chuva de 24h foi proposto também a utilização de um coeficiente igual a 1,095.

O método das relações entre durações se baseia na tendência das curvas de probabilidade de diferentes durações manterem-se paralelas entre si e na similaridade existente nas relações entre

precipitações médias máximas para locais diferentes (CETESB, 1979). Tucci (1997) apresenta os valores médios dos coeficientes de desagregação encontrados para o Brasil. Recentemente, estudos tem identificado algumas limitações na utilização de coeficientes únicos para o Brasil e para diferentes períodos de retorno: Passos et al. (2021) identificaram que os coeficientes de desagregação devem ser considerados para regiões hidrologicamente homogêneas e que o período de retorno tem influência sobre eles, sendo importante, portanto, considerá-lo. Abreu et al. (2022) identificaram que o uso de coeficientes de desagregação específicos deve ser preferido em relação aos coeficientes convencionais, pois produzem menores erros de estimativa. Porém, ressaltaram que os coeficientes de CETESB (1979) ainda podem ser úteis e considerados como alternativa em locais sem dados de chuva de menores durações. Terassi et al. (2023) identificaram que é necessária uma atualização desses coeficientes para o leste da Amazônia, considerando valores diferentes para grupos homogêneos, permitindo avaliar melhor a dinâmica da precipitação regional.

O Método de Bell (1979) estima a altura pluviométrica de uma chuva intensa com base em um evento padrão de 60 minutos e 2 anos de período de retorno. A fórmula relaciona a precipitação de qualquer duração e período de retorno com a altura do evento padrão, utilizando parâmetros regionais ajustados (Sousa et al., 2016). Bell (1979) desenvolveu equações específicas para diferentes regiões do mundo, aplicáveis a chuvas com duração entre 5 e 120 minutos e período de retorno entre 2 e 20 anos. No Brasil, a Equação foi ajustada por Righetto (1998), que também propôs uma relação entre a precipitação de 60 minutos e a de um dia para o período de retorno de 2 anos. Righetto (1998) verificou que a metodologia apresentou um bom desempenho na estimativa de precipitações máximas de curta duração, representando uma alternativa na determinação das chuvas críticas de projeto.

É importante destacar que, para gerar essas equações, normalmente se segue um procedimento que começa com o ajuste da série de precipitações máximas diárias anuais a uma distribuição de probabilidade adequada. A partir desse ajuste, são determinadas as precipitações correspondentes a diversos períodos de retorno, que, em seguida, são desagregadas para diferentes durações. Por fim, ajustam-se as equações que descrevem essas relações (Lima Neto et al., 2021, Coelho et al., 2023). Na literatura, há modelos de equações amplamente utilizados para esse propósito (Pansera et al., 2022). Todo esse processo,

especialmente quando aplicado a um grande número de estações pluviométricas, exige rigorosa análise estatística e matemática, sendo, portanto, passível de automatização por meio de softwares, que podem ser extremamente úteis em cada etapa.

As características das chuvas em uma região dependem de diversos fatores que estão relacionado em princípio com questões climáticas globais de larga escala, mas que podem ser influenciadas por questões locais como relevo, usos do solo e localização geográfica (Arcomano et al., 2023). Podem até existir períodos nos quais as chuvas de uma região são mais intensas, o que confere certa sazonalidade em sua ocorrência. (Manke et al., 2022). Devido à forte dependência das equações IDF com as características locais, seria ideal que a literatura disponibilizasse uma ampla variedade de equações para diferentes regiões, assegurando que as especificidades locais sejam adequadamente contempladas nas análises.

Diversos estudos foram realizados em todas as regiões do Brasil para determinar as características de intensidade, duração e frequência das chuvas intensas, utilizando dados de pluviógrafos e pluviômetros. Entre os principais trabalhos, destacam-se Genovez e Zuffo (2000) no estado de São Paulo, que analisaram diferentes métodos para determinar a chuva associada a períodos de retorno; Oliveira et al. (2008) que aplicaram métodos como o das isozonas e de Bell em Goiás e Oliveira et al. (2011) que estudaram 136 estações pluviométricas em Mato Grosso. Outros estudos incluem Back et al. (2011) em Santa Catarina, Souza et al. (2012) no Pará e Souza et al. (2016) em Rondônia, além de Silva Neto et al. (2016), que analisaram as chuvas intensas no Tocantins.

No Nordeste, Campos et al. (2017) estimaram as equações IDF para 90 estações pluviométricas na Paraíba, enquanto Silva et al. (2002) estabeleceram as equações para 19 estações na Bahia. Em Sergipe, Aragão et al. (2013) ajustaram as equações para 48 postos pluviométricos, e em Alagoas, Silva e Clarke (2004) mapearam as intensidades de precipitações na bacia do Rio São Francisco. No Pernambuco, Silva et al. (2012a) desenvolveram equações IDF para 23 estações e, no Rio Grande do Norte, Barreto et al. (2013) encontrou uma Equação IDF para Mossoró. Por fim, Campos et al. (2014) e Campos et al. (2015) realizaram estudos no Piauí e Maranhão, respectivamente, ajustando curvas IDF para mais de 100 estações em cada estado.

Mais recentemente, Moreira et al. (2020), Dias et al. (2020), Back e Cadorin (2020), Back e Cadorin (2021), Coelho et al. (2023) e Lima Neto et al. (2023) desenvolveram as equações IDF no

estado da Bahia, Pará, Acre, Amapá, Maranhão e Pernambuco, respectivamente. Em relação à comparação entre os métodos de desagregação da chuva diária, pode-se destacar o trabalho de Oliveira et al. (2008) que, com base em séries históricas de chuva para alguns municípios de Goiás, demonstrou que a metodologia das isozonas, em relação às metodologias de Bell e das relações entre durações, foi a mais adequada para a estimativa das características das chuvas intensas para dados diários de pluviômetros.

Para o Ceará, pode-se citar os trabalhos pontuais Silva et al. (2013) que utilizaram os registros de 30 anos de dados pluviográficos para construir uma Equação IDF para a cidade de Fortaleza; Fachine Sobrinho et al. (2014), que desenvolveu as equações IDF através de dados pluviométricos, utilizando o método das isozonas para os municípios de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha; Alves (2015) que automatizou a metodologia aplicada por Fachine Sobrinho et al. (2014) e aplicou em algumas cidades do Cariri cearense e Batista et al. (2018) que desenvolveram as equações IDF para os 19 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza utilizando o método das isozonas.

Percebe-se, então, um espaço para abordar a questão das chuvas intensas no estado do Ceará como um todo. Este trabalho pretende, portanto, contribuir com essa linha de pesquisa, tendo como delimitação a modelagem de equações IDF a partir de dados pluviométricos usando a metodologia das isozonas a nível municipal, abrangendo os 184 municípios do estado do Ceará. Portanto, a hipótese da pesquisa é a de que o método aqui adotado é eficiente para produzir um conjunto de equações IDF que poderão ser úteis para realização de projetos hidráulicos em todos os municípios do estado do Ceará.

Portanto, define-se como objetivo geral da pesquisa gerar as equações IDF para os municípios do estado do Ceará a partir de dados pluviométricos usando o método de desagregação das isozonas de Torrico (1974) e a metodologia de geração de parâmetros das equações comprovada por Fachine Sobrinho (2014). Os objetivos específicos foram: (a) avaliar a ferramenta de hidroeinformática usada para implementar o método, (b) avaliar as distribuições de probabilidade que melhor se ajustaram às séries de precipitações máximas diárias para a área de estudo e (c) avaliar a qualidade do ajuste dos parâmetros das equações IDF com base em métricas estatísticas.

Pretende-se também abrir caminhos para análises futuras acerca das chuvas intensas no estado como: a construção de equações a partir de

outros métodos de desagregação, possibilitando a realização de comparações, inclusive, com métodos baseados em dados pluviográficos e estudos de avaliação geoestatística das chuvas intensas no estado semelhantes aos realizados em Barbosa et al. (2022) e Rodrigues et al. (2024).

Material e métodos

O estado do Ceará, localizado no Nordeste brasileiro, é composto por 184 municípios divididos em 14 regiões para fins de planejamento. O regime climático é marcado por uma concentração de chuvas que ocorre no período de dezembro a junho ou julho, com pouca ou nenhuma precipitação no restante do ano. A formação geológica do estado é composta, predominantemente, por rochas cristalinas. A associação desses elementos produz um cenário de rios intermitentes que, geralmente, escoam apenas durante a parte do ano em que as chuvas ocorrem. (Silva et al., 2012b).

No que diz respeito ao clima, segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2017), o estado do Ceará possui cerca de 93% de seu território inserido na região do Semiárido nordestino.

Para cada município foi selecionado o posto pluviométrico com a maior quantidade de anos de observação. As Tabelas 1, 2 e 3 mostram a localização geográfica dos postos escolhidos para cada município e a quantidade de anos de observação de cada um deles, além de suas características geográficas, latitude e longitude. Foi utilizado nesta pesquisa o banco de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme).

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda a utilização de uma série de dados igual ou superior a 30 anos para estudos de chuvas intensas (CETESB, 1979). Para o estado do Ceará, os municípios que apresentaram a menor quantidade de anos de dados pluviométricos foram Jijoca de Jericoacora e Varjota, com 25 anos de dados cada. Menos de 5% dos 184 postos pluviométricos estudados tinham uma quantidade de anos de observação inferior a 30, sendo todos superiores a 25.

Os dados de precipitação pluviométrica armazenados nos arquivos extraídos do banco de dados da Funceme foram analisados. Os anos que apresentaram falhas nos meses da quadra chuvosa para o Ceará foram excluídos. A partir desses dados, foram geradas as séries anuais de precipitações diárias máximas para cada posto pluviométrico.

Tabela 1 – Características dos postos pluviométricos do estado do Ceará

Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)	Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)
Abaíara	36	-7.36	-39.05	Coreaú	41	-3.55	-40.66
Acarape	34	-4.23	-38.70	Crateús	43	-5.18	-40.68
Acaraú	43	-2.89	-40.12	Crato	43	-7.24	-39.41
Acopiara	43	-6.11	-39.44	Croatá	27	-4.43	-40.91
Aiuaba	39	-6.57	-40.12	Cruz	28	-2.93	-40.18
Alcântaras	32	-3.59	-40.54	Dep. Irapuan Pinheiro	43	-5.92	-39.27
Altaneira	38	-7.00	-39.74	Ererê	28	-6.02	-38.34
Alto Santo	38	-5.51	-38.27	Eusébio	27	-3.90	-38.50
Amontada	28	-3.36	-39.83	Farias Brito	38	-6.92	-39.57
Antonina do Norte	38	-6.77	-39.99	Forquilha	35	-3.80	-40.26
Apuiarés	35	-3.95	-39.43	Fortaleza	98	-3.75	-38.58
Aquiraz	38	-3.90	-38.38	Fortim	28	-4.45	-37.80
Aracati	43	-4.57	-37.77	Frecheirinhas	35	-3.76	-40.81
Aracoiaba	43	-4.37	-38.81	General Sampaio	36	-4.05	-39.45
Ararendá	27	-4.75	-40.83	Graça	31	-4.05	-40.75
Araripe	38	-7.20	-40.13	Granja	43	-3.12	-40.83
Aratuba	43	-4.42	-39.05	Granjeiro	37	-6.89	-39.22
Arneiroz	38	-6.33	-40.16	Groaíras	34	-3.91	-40.38
Assaré	43	-6.87	-39.87	Guaiúba	43	-4.05	-38.64
Aurora	43	-6.94	-38.97	Guaracibaca do Norte	43	-4.16	-40.75
Baixio	43	-6.73	-38.72	Guaramiranga	43	-4.27	-38.93
Banabuiú	29	-5.32	-38.92	Hidrolândia	38	-4.40	-40.42
Barbalha	43	-7.31	-39.30	Horizonte	28	-4.10	-38.48
Barreira	29	-4.29	-38.64	Ibaretama	27	-4.82	-38.82
Barro	43	-7.18	-38.78	Ibiapina	40	-3.92	-40.89
Barroquinha	27	-3.02	-41.13	Ibicuitinga	29	-4.97	-38.63
Baturité	40	-4.33	-38.87	Icapuí	29	-4.70	-37.36
Beberibe	31	-4.18	-38.13	Icó	43	-6.41	-38.86
Bela Cruz	36	-3.06	-40.17	Iguatu	43	-6.37	-39.31
Boa Viagem	43	-5.12	-39.73	Independência	43	-5.39	-40.31
Brejo Santo	43	-7.49	-38.98	Ipaporanga	28	-4.90	-40.76
Camocim	42	-2.90	-40.85	Ipaumirim	39	-6.79	-38.72
Campos Sales	43	-7.07	-40.37	Ipu	43	-4.32	-40.71
Canindé	36	-4.35	-39.30	Ipueiras	43	-4.53	-40.72
Capistrano	43	-4.47	-38.90	Iracema	43	-5.81	-38.30
Caridade	31	-4.23	-39.18	Irauçuba	36	-3.75	-39.79
Cariré	43	-3.95	-40.47	Itaiçaba	36	-4.68	-37.82
Caririaçu	43	-7.05	-39.29	Itaitinga	28	-3.95	-38.48
Cariús	34	-6.54	-39.50	Itapajé	43	-3.68	-39.58
Carnaubal	39	-4.16	-40.94	Itapipoca	43	-3.50	-39.58
Cascavel	39	-4.13	-38.23	Itapiúna	43	-4.58	-38.95
Catarina	37	-6.14	-39.88	Itarema	28	-2.92	-39.92
Catunda	29	-4.65	-40.20	Itatira	38	-4.53	-39.63
Caucaia	44	-3.75	-38.68	Jaguaratama	33	-5.61	-38.76

Tabela 2 – Características dos postos pluviométricos do estado do Ceará

Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)	Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)
Cedro	43	-6.60	-39.06	Jaguaribara	37	-5.46	-38.46
Chaval	33	-3.04	-41.24	Jaguaribe	43	-5.89	-38.62
Choró	27	-4.85	-39.25	Jaguaruana	43	-4.85	-37.78
Chorozinho	29	-4.30	-38.50	Jardim	38	-7.58	-39.28
Jati	38	-7.68	-39.00	Pindoretama	29	-4.05	-38.33
Jijoca de Jericoacoara	25	-2.90	-40.45	Piquet Carneiro	43	-5.81	-39.41
Juazeiro do Norte	43	-7.25	-39.33	Pires Ferreira	28	-4.25	-40.65
Jucás	39	-6.52	-39.52	Poranga	38	-4.74	-40.92
Lavras da Mangabeira	43	-6.76	-38.96	Porteiras	38	-7.53	-39.12
Limoeiro do Norte	43	-5.15	-38.10	Potengi	43	-7.09	-40.03
Madalena	29	-4.85	-39.57	Potiretama	28	-5.70	-38.17
Maracanaú	43	-3.88	-38.63	Quiterianópolis	29	-5.91	-40.71
Maranguape	43	-3.90	-38.68	Quixadá	43	-4.97	-39.03
Marco	37	-3.12	-40.15	Quixelô	29	-6.26	-39.20
Martinópolis	43	-3.22	-40.70	Quixeramobim	43	-5.20	-39.28
Massapê	43	-3.52	-40.34	Quixerê	36	-5.07	-38.00
Mauriti	43	-7.38	-38.77	Redenção	39	-4.22	-38.73
Meruoca	38	-3.55	-40.45	Reriutaba	43	-4.14	-40.58
Milagres	38	-7.31	-38.95	Russas	43	-4.94	-37.98
Milhã	43	-5.68	-39.20	Saboeiro	40	-6.53	-39.90
Miraíma	38	-3.57	-39.97	Salitre	27	-7.29	-40.46
Missão Velha	43	-7.25	-39.15	Santa Quitéria	43	-4.33	-40.15
Mombaça	43	-5.75	-39.63	Santana do Acaraú	43	-3.46	-40.21
Monsenhor Tabosa	43	-4.80	-40.06	Santana do Cariri	38	-7.18	-39.74
Morada Nova	43	-5.19	-38.35	São Benedito	43	-4.05	-40.87
Moraújo	35	-3.47	-40.68	São Gonçalo do Amarante	43	-3.67	-38.98
Morrinhos	33	-3.23	-40.13	São João do Jaguaribe	43	-5.27	-38.27
Mucambo	43	-3.91	-40.74	São Luís do Curu	43	-3.67	-39.24
Mulungu	43	-4.31	-39.00	Senador Pompeu	43	-5.59	-39.37
Nova Olinda	43	-7.10	-39.68	Senador Sá	38	-3.35	-40.46
Nova Russas	43	-4.70	-40.57	Sobral	43	-3.66	-40.34
Novo Oriente	43	-5.53	-40.77	Solonópole	43	-5.73	-39.01
Ocara	15	-4.49	-38.59	Tabuleiro do Norte	43	-5.25	-38.13
Orós	39	-6.24	-38.91	Tamboril	38	-4.83	-40.32
Pacajus	43	-4.18	-38.47	Tarrafas	28	-6.68	-39.76
Pacatuba	38	-3.98	-38.61	Tauá	43	-6.01	-40.30
Pacoti	43	-4.22	-38.92	Tejuçuoca	28	-3.99	-39.58
Pacujá	36	-3.98	-40.70	Tianguá	43	-3.73	-40.99
Palhano	38	-4.75	-37.96	Trairi	41	-3.28	-39.27
Palmácia	38	-4.15	-38.85	Tururu	35	-3.60	-39.43
Paracuru	40	-3.40	-39.01	Ubajara	43	-3.85	-40.92
Palhano	38	-4.75	-37.96	Trairi	41	-3.28	-39.27

Tabela 3 – Características dos postos pluviométricos do estado do Ceará

Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)	Município	Qtd de anos	Lat (°)	Long(°)
Palmácia	38	-4.15	-38.85	Tururu	35	-3.60	-39.43
Paracuru	40	-3.40	-39.01	Ubajara	43	-3.85	-40.92
Paraipaba	28	-3.44	-39.14	Umari	36	-6.65	-38.70
Parambu	39	-6.22	-40.70	Umirim	28	-3.69	-39.34
Paramoti	36	-4.10	-39.23	Uruburetama	43	-3.63	-39.49
Pedra Branca	43	-5.45	-39.72	Uruoca	43	-3.32	-40.56
Penaforte	36	-7.83	-39.08	Varjota	25	-4.18	-40.48
Pentecostes	43	-3.80	-39.27	Várzea Alegre	43	-6.78	-39.30
Pereiro	38	-6.04	-38.46	Viçosa do Ceará	43	-3.57	-41.09

A sequência metodológica utilizada está apresentada na Figura 1 e detalhada posteriormente.

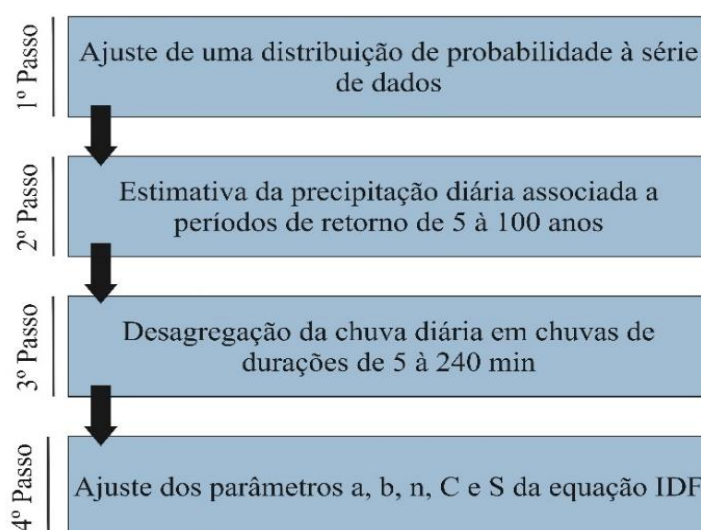


Figura 1 – Sequência metodológica para geração das equações IDF com as 4 etapas seguidas nesta pesquisa que são detalhadas adiante

No primeiro passo, foram analisados os seguintes modelos de distribuições de probabilidade: Gamma com dois parâmetros, Log Normal com dois parâmetros, Gumbel, Gamma com três parâmetros, e Log Normal com três parâmetros. Tais modelos foram escolhidos em função de sua aplicabilidade em outros trabalhos sobre chuvas intensas realizados no Brasil (Fechine Sobrinho et al., 2014, Lima Neto, 2021) e por serem distribuições adequadas para análises de extremos (Naghetini & Pinto, 2007). Para o desenvolvimento das equações IDF para os 184 municípios do estado do Ceará foi elaborado um programa computacional, utilizando a linguagem Java, para implementação da metodologia baseada no trabalho de Fechine Sobrinho et al. (2014). A janela de entrada de dados está apresentada na Figura 2.

A etapa da escolha da distribuição de probabilidade é essencial para evitar que a chuva de projeto, ao final, seja subestimada ou superestimada (Pansera et al., 2022). Para realizar o ajuste das séries anuais a uma distribuição de probabilidade foram utilizados os testes de aderência do Qui-Quadrado e de Lilliefors, e análise do coeficiente de determinação. Para auxiliar na escolha, também foram utilizados três índices estatísticos: Desvio Quadrático Médio (DQM), Desvio Quadrático Residual (DQR) e Desvio Médio Absoluto (DMA), formulados nas equações 1, 2 e 3, respectivamente. Esses índices mostram a discrepância entre as frequências observadas e calculadas com cada distribuição testada. (Fechine Sobrinho et al., 2014).

Ano	Precipitação
1988	87.0
1989	62.0
1990	61.4
1991	104.4
1992	82.6
1993	83.5
1994	83.0
1995	137.3
1996	85.2
1997	92.8
1998	86.0
1999	44.2
2000	90.8
2001	103.0

Figura 2 – Janela de entrada de dados do programa Gerador IDF, desenvolvido para implementação da metodologia da pesquisa. Nesta tela, os dados em formato.txt são carregados e a série de precipitações máximas diárias anuais é mostrada para conferência.

A etapa da escolha da distribuição de probabilidade é essencial para evitar que a chuva de projeto, ao final, seja subestimada ou superestimada (Pansera et al., 2022). Para realizar o ajuste das séries anuais a uma distribuição de probabilidade foram utilizados os testes de aderência do Qui-Quadrado e de Lilliefors, e análise do coeficiente de determinação. Para auxiliar na escolha, também foram utilizados três índices estatísticos: Desvio Quadrático Médio (DQM), Desvio Quadrático Residual (DQR) e Desvio Médio Absoluto (DMA), formulados nas equações 1, 2 e 3, respectivamente. Esses índices mostram a discrepância entre as frequências observadas e calculadas com cada distribuição testada. (Fechine Sobrinho et al., 2014).

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_{oi} - x_{ei}}{x_{ei}} \right)^2} \quad (\text{Equação 1})$$

$$DQR = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{oi} - x_{ei})^2} \quad (\text{Equação 2})$$

$$DPMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_{oi} - x_{ei}|}{x_{ei}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: x_{oi} corresponde a i-ésima precipitação observada, x_{ei} corresponde i-ésima precipitação calculada e N é o número de eventos da amostra.

Para apresentação dos resultados dos testes, foi criada uma janela específica, mostrada na Figura 3. A distribuição escolhida como mais adequada foi aquela que teve os testes de aderência aceitos, possuiu os menores desvios e coeficiente de determinação mais próximo de 1.

Figura 3 – Interface de análise e escolha da distribuição de probabilidade de melhor ajuste. Nesta tela são mostrados os valores correspondentes aos testes de Qui-Quadrado, Lilliefors e dos índices estatísticos: DQM, DQR, DMA e R².

As precipitações máximas diárias anuais associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos foram encontradas a partir da distribuição de probabilidade escolhida anteriormente. Para aplicação do método das isozonas, inicialmente, foi utilizado o coeficiente para transformação da chuva diária ($P_{1 \text{ dia}}$) em chuva de 24 horas ($P_{24 \text{ horas}}$), conforme a Equação 4.

$$P_{24 \text{ horas}} = 1,095 P_{1 \text{ dia}} \quad (\text{Equação 4})$$

A isozona correspondente a cada posto pluviométrico foi determinada a partir do mapa de isozonas de Torrico (1974). Os valores das precipitações para a duração de 6 min e 1 hora foram encontrados pela multiplicação da precipitação de 24 horas pelos respectivos coeficientes de desagregação. Para as durações intermediárias, foi utilizada a interpolação logarítmica. Foram calculadas as intensidades para as durações de 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60, 90, 120, 180 e 240min, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos.

Para cada estação pluviométrica foram obtidos os parâmetros da Equação IDF, de acordo com a Equação 5. A janela final do software onde os parâmetros são exibidos está mostrada na Figura 4. O procedimento para ajuste dos parâmetros foi o apresentado em Fachine Sobrinho (2014), que é, resumidamente, composto pelas seguintes etapas: (1) o parâmetro c foi estimado com base na metodologia de Wilken (1978), conforme descrito pela Equação 6. Nesse método, para um período de retorno correspondente a 1/5 do período total de

observação, foram relacionados três pares de intensidades e durações: Sendo t_1 e t_2 as durações mais próximas das extremidades da curva e i_1 e i_2 os valores das intensidades correspondentes a elas. O valor de i_3 é dado pela Equação 7 e t_3 é seu respectivo tempo de duração; (2) Os valores dos parâmetros a , b e n são determinados pela análise de regressão linear múltipla através do método dos mínimos quadrados e (3) os valores das séries de intensidades encontradas pela Equação IDF para cada conjunto de parâmetros a , b , C e n , em função de S são comparados com os valores originais das séries de intensidades de forma que para cada S , ter-se-á um valor de χ^2 . O valor de S que minimizará o χ^2 será o valor adotado.

$$i = \frac{a(Tr+S)^b}{(t+C)^n} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: a , b , n , C e S são os parâmetros da Equação IDF; i é a intensidade da chuva (mm/min); Tr é o tempo de retorno (anos) e t é a duração do evento (min).

$$C = \frac{t_3^2 - t_1 * t_2}{t_1 + t_2 - 2 * t_3} \quad (\text{Equação 6})$$

$$i_3 = \sqrt{i_1} \sqrt{i_2} \quad (\text{Equação 7})$$

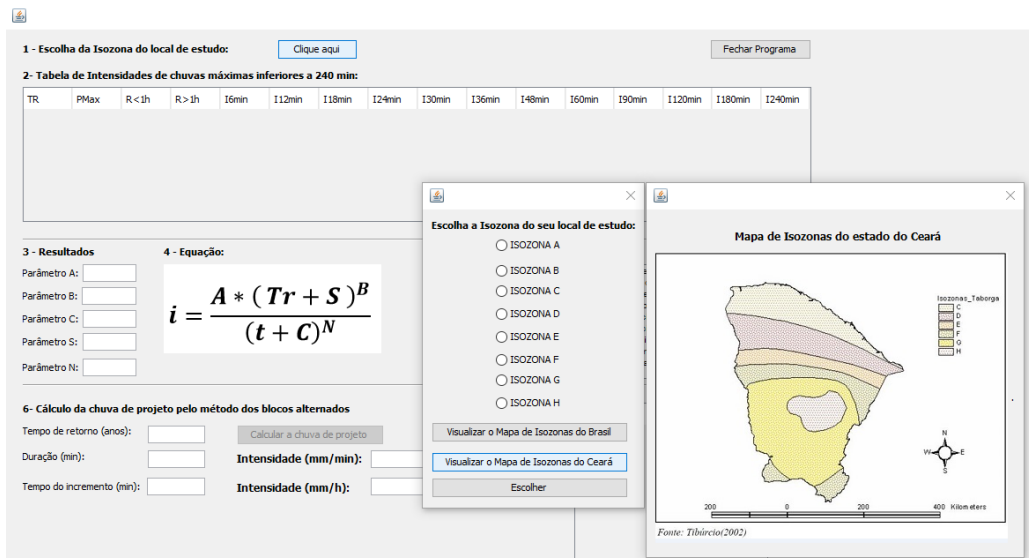


Figura 04 – Tela final do programa em que é apresentada a Equação IDF de cada posto pluviométrico. Nesta tela, inicialmente, a isozona é escolhida, os valores das intensidades para os diversos períodos de retorno e durações são apresentadas e, por fim, os parâmetros são mostrados. Há, ainda, um item extra que calcula a chuva de projeto a partir do método dos blocos alternados, não abordado por este trabalho.

Geradas todas as equações IDF, para cada posto pluviométrico, foram realizadas análises estatísticas, baseadas no coeficiente angular da reta de regressão e no coeficiente de determinação (R^2), no Erro Padrão da Estimativa (EPE) e no Coeficiente de NASH (NSE) para análise da qualidade do ajuste entre os resultados obtidos pela Equação e os dados originais desagregados.

A análise a partir do coeficiente de determinação consistiu em verificar se a relação linear entre os valores calculados pelas equações IDF e os estimados pelo método das isozonas é estatisticamente significativa, com maior linearidade expressa pela proximidade do R^2 do valor 1,0 (um). Segundo Walpole et al. (2009), avaliou-se, ainda, através de um teste t de Student, se esta relação linear é do tipo $Y = X$, ou seja, se as hipóteses de que o coeficiente angular da reta ($\hat{\beta}$) é igual a 1 (um) e o intercepto ($\hat{\alpha}$) é igual a 0 (zero) não podem ser rejeitadas ao nível de significância 5%.

As hipóteses testadas para o coeficiente angular $\hat{\beta}$ foram as seguintes:

$$H_0: \hat{\beta} = 1;$$

$$H_1: \hat{\beta} \neq 1;$$

A estatística de teste é dada pela Equação 8:

$$t_{\beta} = \frac{\hat{\beta} - 1}{s_{\hat{\beta}}} \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: t_{β} é a estatística de teste, $\hat{\beta}$ é o coeficiente angular da reta estimada e $s_{\hat{\beta}}$ o desvio padrão da estimativa de $\hat{\beta}$ dado pela Equação 9.

$$s_{\hat{\beta}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Equação 9})$$

O valor crítico (t_{crit}) foi encontrado na tabela da distribuição t de Student para um nível de significância de 5% e graus de liberdade n-2, sendo n o tamanho da amostra.

A hipótese nula é rejeitada se $t > t_{crit}$.

Espera-se que a hipótese nula não seja rejeitada, indicando que não se pode rejeitar a hipótese de que o coeficiente angular da reta é igual a 1.

Para o intercepto $\hat{\alpha}$, as hipóteses testadas foram as seguintes:

$$H_0: \hat{\alpha} = 0;$$

$$H_1: \hat{\alpha} \neq 0;$$

A estatística de teste é dada pela Equação

10:

$$t_{\alpha} = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 * \sum_{i=1}^n x_i^2}{n * (n-2) * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que: t é a estatística de teste, $\hat{y}_i$ é o valor estimado pela reta de regressão da variável dependente, y_i é o valor observado da variável

dependente, e $\bar{x}$ é a média da variável independente e x_i é o valor observado da variável dependente.

O valor crítico (t_{crit}) foi encontrado na tabela da distribuição t de Student para um nível de significância de 5% e graus de liberdade n-2, sendo n o tamanho da amostra.

A hipótese nula é rejeitada se $t > t_{crit}$.

Espera-se que a hipótese nula não seja rejeitada, indicando que não se pode rejeitar que o intercepto da reta é igual a 0.

Neste trabalho, a variável dependente y representa as intensidades encontradas pela Equação IDF ajustada e a variável independente x representa as intensidades desagregadas pelo método das isozonas.

O Erro Padrão da Estimativa (EPE), formulado na Equação 11, indica o grau de precisão dos modelos para determinação dos parâmetros das equações IDF através da comparação entre os valores obtidos pela a Equação IDF ajustada e os fornecidos pelo melhor ajuste de distribuição. Quanto mais próximo de 0 estiver, melhor será a qualidade do ajuste. (Silva, et al., 2012a).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (i_c - i_0)^2}{N}} \quad (\text{Equação 11})$$

Em que: EPE é o Erro Padrão da Estimativa, i_c (mm/min) é a intensidade calculada por meio da Equação IDF determinada; i_0 (mm/min) é a intensidade extraída dos dados originais e N é a quantidade de dados.

O coeficiente de NASH foi proposto por Nash e Sutcliffe (1970) como a somatória dos erros quadráticos padronizada pela variância da série observada. Seu valor numérico representa a fração da variância da série observada explicada pelo modelo em termos de magnitude relativa da variância dos resíduos do fluxo. O coeficiente pode variar entre negativo infinito e 1. O valor 1,0 representa a solução ótima e o (zero) o mínimo aceitável. Quando o valor do NASH for maior do que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores entre 0,36 e 0,75, é considerado aceitável e valores inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja considerado com inaceitável. (Silva et al., 2008). A Equação 12 representa o coeficiente de NASH.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (i_0 - i_c)^2}{\sum_{k=1}^N (i_0 - \bar{i}_0)^2} \quad (\text{Equação 12})$$

Em que: NSE é o coeficiente de NASH; i_c (mm/min) é a intensidade calculada por meio da

Equação IDF, i_0 (mm/min) é a intensidade extraída dos dados originais, N é a quantidade de dados e $\bar{i}_0$ é a média das intensidades extraídas dos dados originais.

Resultados

As etapas descritas na seção anterior foram implementadas por meio de uma ferramenta desenvolvida em linguagem Java, conforme mencionado previamente, o que simplificou o processo, considerando o grande número de municípios envolvidos. Para cada um dos 184 municípios cearenses foi associada uma distribuição de probabilidade para representar a série de precipitações diárias máximas anuais. O mapa da Figura 5 mostra a distribuição de probabilidade com melhor ajuste e escolhida para cada município.

As séries de precipitações máximas diárias anuais se ajustaram melhor às distribuições Gumbel (43 municípios) e Gamma 2 e 3 parâmetros (45 municípios cada). Já as distribuições Log Normal com 2 e 3 parâmetros foram as menos escolhidas como melhor ajuste, com 23 e 28 municípios, respectivamente. Lima Neto et al. (2021) encontraram, para o estado de Pernambuco, uma maior quantidade de municípios com melhor aderência à distribuição Gumbel e uma menor parte à Lognormal com 3 parâmetros. Os autores avaliaram a aderência à série de dados usando os mesmos testes deste estudo. Mora et al. (2024) usaram uma metodologia diferente da usada aqui para avaliar o ajuste, porém encontraram que a Gumbel foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados, quando comparada a outras como Normal, Pearson III, Log-Normal e Weibull. A distribuição Gumbel é amplamente utilizada na literatura para representar precipitações máximas diárias anuais, como nos trabalhos de Kareem et al. (2022), Lau e Behrangi (2022), Das et al. (2022) Kumar et al. (2024), Mousinho et al. (2024); e os resultados desta pesquisa reforçam sua eficiência, alinhando-se com os estudos existentes.

A distribuição Gamma também obteve destaque, apresentando-se como uma opção relevante para modelar precipitações máximas diárias, ampliando as possibilidades além da tradicional distribuição Gumbel.

As equações IDF ajustadas para cada município do estado do Ceará estão dispostas nas Tabelas 2 a 9.

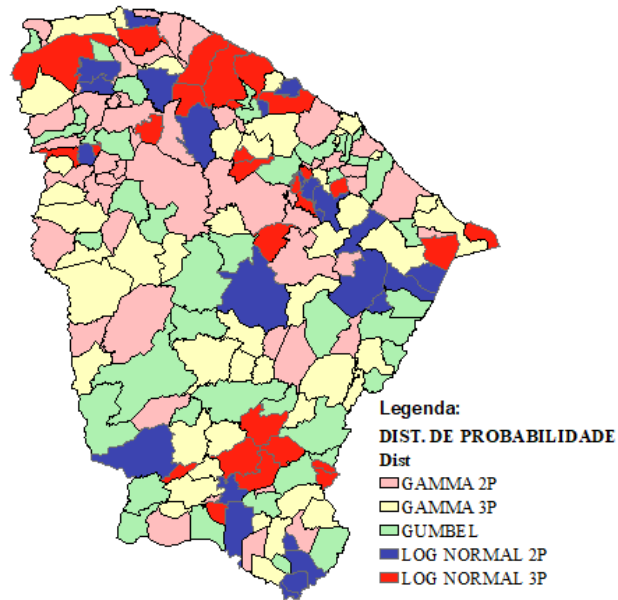


Figura 5 – Mapa das distribuições de probabilidade das precipitações diárias máximas anuais dos municípios cearenses

Tabela 4- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (Parte 01 de 06)

Município	Equação	Município	Equação
Abaíara	$i = \frac{24,799 * (Tr - 2,1)^{0,1}}{(t + 9,859)^{0,794}}$	Aurora	$i = \frac{25,673 * (Tr - 2,170)^{0,102}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Acarape	$i = \frac{18,014 * (Tr - 2,06)^{0,134}}{(t + 13,8)^{0,768}}$	Baixio	$i = \frac{15,130 * (Tr - 2,130)^{0,149}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Acaraú	$i = \frac{21,799 * (Tr - 2,11)^{0,128}}{(t + 15,95)^{0,760}}$	Banabuiú	$i = \frac{22,244 * (Tr - 2,210)^{0,093}}{(t + 9,423)^{0,808}}$
Acopiara	$i = \frac{23,880 * (Tr - 2,070)^{0,125}}{(t + 9,353)^{0,806}}$	Barbalha	$i = \frac{27,950 * (Tr - 2,160)^{0,099}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Aiuaba	$i = \frac{20,870 * (Tr - 2,080)^{0,156}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Barreira	$i = \frac{15,996 * (Tr - 2,060)^{0,173}}{(t + 13,830)^{0,769}}$
Alcantaras	$i = \frac{14,507 * (Tr - 2,100)^{0,1}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Barro	$i = \frac{23,509 * (Tr - 2,190)^{0,088}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Altaneira	$i = \frac{24,513 * (Tr - 2,160)^{0,104}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Barroquinha	$i = \frac{22,438 * (Tr - 2,100)^{0,109}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Alto Santo	$i = \frac{19,303 * (Tr - 2,01)^{0,129}}{(t + 11,080)^{0,787}}$	Baturité	$i = \frac{16,781 * (Tr - 2,060)^{0,128}}{(t + 13,770)^{0,768}}$
Amontada	$i = \frac{16,008 * (Tr - 2,040)^{0,172}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Beberibe	$i = \frac{22,894 * (Tr - 2,100)^{0,105}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Antonina do Norte	$i = \frac{17,440 * (Tr - 2,090)^{0,217}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Bela Cruz	$i = \frac{30,874 * (Tr - 1,940)^{0,091}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Apuiarés	$i = \frac{18,310 * (Tr - 2,180)^{0,081}}{(t + 13,800)^{0,768}}$	Boa viagem	$i = \frac{19,141 * (Tr - 2,100)^{0,141}}{(t + 9,805)^{0,794}}$

Tabela 5- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

Município	Equação	Município	Equação
Aquiraz	$i = \frac{24,048 * (Tr - 2,110)^{0,126}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Brejo Santo	$i = \frac{26,819 * (Tr - 2,070)^{0,173}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Aracati	$i = \frac{19,700 * (Tr - 2,090)^{0,182}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Camocim	$i = \frac{22,534 * (Tr - 2,140)^{0,100}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Aracoiaba	$i = \frac{15,193 * (Tr - 2,060)^{0,090}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Campos Sales	$i = \frac{17,072 * (Tr - 2,080)^{0,132}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Ararendá	$i = \frac{19,374 * (Tr - 2,090)^{0,141}}{(t + 11,170)^{0,788}}$	Canindé	$i = \frac{14,919 * (Tr - 2,140)^{0,143}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Araripe	$i = \frac{18,694 * (Tr - 2,150)^{0,118}}{(t + 11,090)^{0,787}}$	Capistrano	$i = \frac{18,061 * (Tr - 2,040)^{0,109}}{(t + 13,740)^{0,768}}$
Aratuba	$i = \frac{18,370 * (Tr - 2,120)^{0,099}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Caridade	$i = \frac{16,060 * (Tr - 2,060)^{0,137}}{(t + 13,830)^{0,769}}$
Arneiroz	$i = \frac{22,014 * (Tr - 2,160)^{0,131}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Cariré	$i = \frac{17,888 * (Tr - 2,070)^{0,137}}{(t + 13,740)^{0,768}}$
Assaré	$i = \frac{20,191 * (Tr - 2,190)^{0,092}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Caririaçu	$i = \frac{25,304 * (Tr - 2,080)^{0,129}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Cariús	$i = \frac{17,650 * (Tr - 2,130)^{0,187}}{(t + 9,859)^{0,794}}$	Forquilha	$i = \frac{16,515 * (Tr - 2,050)^{0,122}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Carnaubal	$i = \frac{16,578 * (Tr - 2,170)^{0,114}}{(t + 13,770)^{0,768}}$	Fortaleza	$i = \frac{21,711 * (Tr - 2,070)^{0,138}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Cascavel	$i = \frac{22,360 * (Tr - 2,040)^{0,133}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Fortim	$i = \frac{23,974 * (Tr - 2,160)^{0,080}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Catarina	$i = \frac{20,001 * (Tr - 2,080)^{0,126}}{(t + 9,859)^{0,794}}$	Frecheirinhas	$i = \frac{17,915 * (Tr - 2,090)^{0,159}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Catunda	$i = \frac{18,662 * (Tr - 2,090)^{0,149}}{(t + 12,100)^{0,776}}$	General Sampaio	$i = \frac{12,682 * (Tr - 2,080)^{0,159}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Caucaia	$i = \frac{21,052 * (Tr - 2,100)^{0,106}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Graça	$i = \frac{21,183 * (Tr - 2,050)^{0,145}}{(t + 13,830)^{0,769}}$
Cedro	$i = \frac{20,242 * (Tr - 2,120)^{0,183}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Granja	$i = \frac{18,996 * (Tr - 2,030)^{0,115}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Chaval	$i = \frac{18,477 * (Tr - 2,040)^{0,131}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Granjeiro	$i = \frac{28,807 * (Tr - 2,160)^{0,089}}{(t + 9,859)^{0,794}}$
Choró	$i = \frac{16,916 * (Tr - 2,09)^{0,163}}{(t + 11,170)^{0,788}}$	Groaíras	$i = \frac{17,618 * (Tr - 2,130)^{0,114}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Chorozinho	$i = \frac{16,032 * (Tr - 2,130)^{0,113}}{(t + 13,870)^{0,769}}$	Guaiúba	$i = \frac{17,421 * (Tr - 2,100)^{0,109}}{(t + 15,950)^{0,760}}$

Tabela 6- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

Município	Equação	Município	Equação
Coreaú	$i = \frac{17,484 * (Tr - 2,110)^{0,122}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Guaracicaba do Norte	$i = \frac{21,296 * (Tr - 2,130)^{0,097}}{(t + 13,740)^{0,768}}$
Crateús	$i = \frac{23,355 * (Tr - 2,200)^{0,110}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Guaramiranga	$i = \frac{19,886 * (Tr - 2,060)^{0,117}}{(t + 13,740)^{0,768}}$
Crato	$i = \frac{28,144 * (Tr - 2,100)^{0,100}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Hidrolândia	$i = \frac{17,109 * (Tr - 2,070)^{0,129}}{(t + 12,040)^{0,775}}$
Croatá	$i = \frac{17,752 * (Tr - 2,240)^{0,088}}{(t + 12,130)^{0,777}}$	Horizonte	$i = \frac{17,552 * (Tr - 2,020)^{0,123}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Cruz	$i = \frac{20,962 * (Tr - 2,040)^{0,143}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Ibaretama	$i = \frac{19,392 * (Tr - 2,190)^{0,085}}{(t + 12,130)^{0,777}}$
Dep. Irapuan Pinheiro	$i = \frac{27,621 * (Tr - 2,210)^{0,075}}{(t + 9,353)^{0,806}}$	Ibiapina	$i = \frac{23,316 * (Tr - 2,120)^{0,087}}{(t + 13,770)^{0,768}}$
Ererê	$i = \frac{22,249 * (Tr - 2,060)^{0,112}}{(t + 9,877)^{0,795}}$	Ibicuitinga	$i = \frac{20,289 * (Tr - 2,140)^{0,081}}{(t + 11,140)^{0,788}}$
Eusébio	$i = \frac{22,628 * (Tr - 2,060)^{0,149}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Icapuí	$i = \frac{14,961 * (Tr - 2,080)^{0,231}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Farias Brito	$i = \frac{24,351 * (Tr - 2,100)^{0,103}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Icó	$i = \frac{23,262 * (Tr - 2,070)^{0,120}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Iguatu	$i = \frac{24,330 * (Tr - 2,110)^{0,097}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Jardim	$i = \frac{21,936 * (Tr - 2,170)^{0,088}}{(t + 11,090)^{0,787}}$
Independência	$i = \frac{22,812 * (Tr - 2,16)^{0,129}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Jati	$i = \frac{22,473 * (Tr - 2,070)^{0,132}}{(t + 11,090)^{0,794}}$
Ipaporanga	$i = \frac{21,158 * (Tr - 2,110)^{0,120}}{(t + 11,140)^{0,788}}$	Jijoca de Jericoacoara	$i = \frac{18,032 * (Tr - 2,160)^{0,100}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Ipaumirim	$i = \frac{21,670 * (Tr - 2,100)^{0,154}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Juazeiro do Norte	$i = \frac{25,832 * (Tr - 2,14)^{0,104}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Ipu	$i = \frac{20,638 * (Tr - 2,150)^{0,107}}{(t + 12,020)^{0,775}}$	Jucás	$i = \frac{25,871 * (Tr - 2,190)^{0,099}}{(t + 9,832)^{0,794}}$
Ipueiras	$i = \frac{18,603 * (Tr - 2,070)^{0,131}}{(t + 12,020)^{0,775}}$	Lavras da Mangabeira	$i = \frac{21,721 * (Tr - 2,050)^{0,104}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Iracema	$i = \frac{22,002 * (Tr - 2,140)^{0,127}}{(t + 11,070)^{0,787}}$	Limoeiro do Norte	$i = \frac{20,176 * (Tr - 2,070)^{0,148}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Irauçuba	$i = \frac{12,074 * (Tr - 2,040)^{0,186}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Madalena	$i = \frac{19,576 * (Tr - 2,090)^{0,146}}{(t + 11,140)^{0,788}}$

Tabela 7- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

Município	Equação	Município	Equação
Itaiçaba	$i = \frac{17,061 * (Tr - 2,140)^{0,144}}{(t + 13,800)^{0,768}}$	Maracanaú	$i = \frac{19,221 * (Tr - 2,140)^{0,081}}{(t + 15,95)^{0,760}}$
Itaitinga	$i = \frac{19,315 * (Tr - 2,020)^{0,125}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Maranguape	$i = \frac{19,359 * (Tr - 2,030)^{0,126}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Itapajé	$i = \frac{13,191 * (Tr - 2,090)^{0,089}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Marco	$i = \frac{17,440 * (Tr - 2,100)^{0,109}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Itapipoca	$i = \frac{13,2 * (Tr - 2,070)^{0,185}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Martinópolis	$i = \frac{17,359 * (Tr - 2,020)^{0,121}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Itapiúna	$i = \frac{16,008 * (Tr - 2,150)^{0,126}}{(t + 12,020)^{0,775}}$	Massapê	$i = \frac{17,023 * (Tr - 2,060)^{0,146}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Itarema	$i = \frac{22,703 * (Tr - 2,090)^{0,100}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Mauriti	$i = \frac{22,759 * (Tr - 2,080)^{0,130}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Itatira	$i = \frac{13,187 * (Tr - 2,070)^{0,155}}{(t + 12,040)^{0,775}}$	Meruoca	$i = \frac{21,385 * (Tr - 2,100)^{0,111}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Jaguaretama	$i = \frac{27,360 * (Tr - 2,080)^{0,135}}{(t + 9,397)^{0,807}}$	Milagres	$i = \frac{25,776 * (Tr - 2,150)^{0,111}}{(t + 11,090)^{0,787}}$
Jaguaribara	$i = \frac{22,389 * (Tr - 2,160)^{0,097}}{(t + 9,859)^{0,794}}$	Milhã	$i = \frac{26,750 * (Tr - 2,150)^{0,094}}{(t + 9,353)^{0,806}}$
Jaguaribe	$i = \frac{25,838 * (Tr - 2,200)^{0,115}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Miraíma	$i = \frac{13,550 * (Tr - 2,050)^{0,192}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Jaguaruana	$i = \frac{18,491 * (Tr - 2,060)^{0,147}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Missão Velha	$i = \frac{26,509 * (Tr - 2,170)^{0,085}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Mombaça	$i = \frac{21,990 * (Tr - 2,090)^{0,185}}{(t + 9,353)^{0,806}}$	Paraipaba	$i = \frac{19,357 * (Tr - 2,070)^{0,195}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Monsenhor Tabosa	$i = \frac{20,415 * (Tr - 2,200)^{0,110}}{(t + 11,070)^{0,787}}$	Parambu	$i = \frac{21,804 * (Tr - 2,100)^{0,141}}{(t + 9,832)^{0,794}}$
Morada Nova	$i = \frac{18,891 * (Tr - 2,070)^{0,146}}{(t + 11,070)^{0,787}}$	Paramoti	$i = \frac{15,111 * (Tr - 2,060)^{0,180}}{(t + 13,800)^{0,768}}$
Moraújo	$i = \frac{18,110 * (Tr - 2,040)^{0,178}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Pedra Branca	$i = \frac{21,818 * (Tr - 2,080)^{0,130}}{(t + 9,353)^{0,806}}$
Morrinhos	$i = \frac{17,478 * (Tr - 2,110)^{0,123}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Penaforte	$i = \frac{19,482 * (Tr - 2,070)^{0,161}}{(t + 11,110)^{0,787}}$
Mucambo	$i = \frac{18,996 * (Tr - 2,060)^{0,135}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Pentecostes	$i = \frac{14,898 * (Tr - 2,080)^{0,143}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Mulungu	$i = \frac{28,212 * (Tr - 1,99)^{0,063}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Pereiro	$i = \frac{25,339 * (Tr - 2,120)^{0,127}}{(t + 9,832)^{0,794}}$

Tabela 8- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

Município	Equação	Município	Equação
Nova Olinda	$i = \frac{25,110 * (Tr - 2,090)^{0,123}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Pindoretama	$i = \frac{24,138 * (Tr - 2,150)^{0,087}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Nova Russas	$i = \frac{20,558 * (Tr - 2,150)^{0,101}}{(t + 11,070)^{0,787}}$	Piquet Carneiro	$i = \frac{25,007 * (Tr - 2,160)^{0,099}}{(t + 9,353)^{0,806}}$
Novo Oriente	$i = \frac{23,592 * (Tr - 2,160)^{0,107}}{(t + 9,805)^{0,794}}$	Pires Ferreira	$i = \frac{20,853 * (Tr - 2,13)^{0,112}}{(t + 13,830)^{0,769}}$
Ocara	$i = \frac{18,264 * (Tr - 2,180)^{0,104}}{(t + 13,830)^{0,769}}$	Poranga	$i = \frac{18,779 * (Tr - 2,150)^{0,154}}{(t + 11,090)^{0,787}}$
Orós	$i = \frac{23,588 * (Tr - 2,210)^{0,083}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Porteiras	$i = \frac{23,347 * (Tr - 2,070)^{0,130}}{(t + 11,090)^{0,787}}$
Pacajus	$i = \frac{19,479 * (Tr - 2,110)^{0,133}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Potengi	$i = \frac{21,197 * (Tr - 2,140)^{0,109}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Pacatuba	$i = \frac{17,600 * (Tr - 2,010)^{0,115}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Potiretama	$i = \frac{19,892 * (Tr - 2,090)^{0,143}}{(t + 11,140)^{0,788}}$
Pacoti	$i = \frac{14,218 * (Tr - 2,100)^{0,181}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Quiterianópolis	$i = \frac{25,315 * (Tr - 2,230)^{0,092}}{(t + 9,877)^{0,795}}$
Pacujá	$i = \frac{16,856 * (Tr - 2,070)^{0,144}}{(t + 13,800)^{0,768}}$	Quixadá	$i = \frac{19,054 * (Tr - 2,150)^{0,112}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Palhano	$i = \frac{16,424 * (Tr - 2,070)^{0,142}}{(t + 13,770)^{0,768}}$	Quixelô	$i = \frac{22,883 * (Tr - 2,070)^{0,120}}{(t + 9,877)^{0,795}}$
Palmácia	$i = \frac{19,022 * (Tr - 2,120)^{0,102}}{(t + 13,770)^{0,768}}$	Quixeramobim	$i = \frac{19,035 * (Tr - 2,100)^{0,105}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Paracuru	$i = \frac{22,136 * (Tr - 2,030)^{0,119}}{(t + 15,95)^{0,760}}$	Quixerê	$i = \frac{16,090 * (Tr - 2,070)^{0,140}}{(t + 12,070)^{0,776}}$
Redenção	$i = \frac{21,226 * (Tr - 2,180)^{0,092}}{(t + 13,770)^{0,768}}$	Tabuleiro do Norte	$i = \frac{19,242 * (Tr - 2,070)^{0,124}}{(t + 11,070)^{0,787}}$
Reriutaba	$i = \frac{19,366 * (Tr - 2,130)^{0,120}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Tamboril	$i = \frac{19,335 * (Tr - 2,180)^{0,091}}{(t + 11,090)^{0,787}}$
Russas	$i = \frac{18,188 * (Tr - 2,160)^{0,095}}{(t + 12,020)^{0,775}}$	Tarrafas	$i = \frac{20,113 * (Tr - 2,030)^{0,138}}{(t + 9,877)^{0,795}}$
Saboeiro	$i = \frac{20,504 * (Tr - 2,120)^{0,192}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Tauá	$i = \frac{18,074 * (Tr - 2,080)^{0,124}}{(t + 9,805)^{0,794}}$

Tabela 9- Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

Município	Equação	Município	Equação
Salitre	$i = \frac{19,206 * (Tr - 2,090)^{0,145}}{(t + 11,170)^{0,788}}$	Tejuçuoca	$i = \frac{16,643 * (Tr - 2,150)^{0,111}}{(t + 13,830)^{0,769}}$
Santa Quitéria	$i = \frac{20,195 * (Tr - 2,150)^{0,122}}{(t + 12,020)^{0,775}}$	Tianguá	$i = \frac{18,954 * (Tr - 2,130)^{0,105}}{(t + 13,74)^{0,768}}$
Santana do Acaraú	$i = \frac{16,993 * (Tr - 2,040)^{0,155}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Trairi	$i = \frac{16,116 * (Tr - 2,080)^{0,188}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Santana do Cariri	$i = \frac{22,839 * (Tr - 2,080)^{0,128}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	Tururu	$i = \frac{15,531 * (Tr - 2,040)^{0,134}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
São Benedito	$i = \frac{14,566 * (Tr - 2,100)^{0,134}}{(t + 13,74)^{0,768}}$	Ubajara	$i = \frac{17,661 * (Tr - 2,030)^{0,109}}{(t + 13,740)^{0,768}}$
São Gonçalo do Amarante	$i = \frac{12,830 * (Tr - 2,090)^{0,181}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Umari	$i = \frac{20,984 * (Tr - 2,080)^{0,125}}{(t + 9,859)^{0,794}}$
São João do Jaguaribe	$i = \frac{19,321 * (Tr - 2,080)^{0,128}}{(t + 11,070)^{0,787}}$	Umirim	$i = \frac{15,010 * (Tr - 2,040)^{0,136}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
São Luis do Curu	$i = \frac{16,241 * (Tr - 2,040)^{0,179}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Uruburetama	$i = \frac{12,592 * (Tr - 2,070)^{0,163}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Senador Pompeu	$i = \frac{25,206 * (Tr - 2,150)^{0,121}}{(t + 9,353)^{0,806}}$	Uruoca	$i = \frac{18,475 * (Tr - 2,040)^{0,156}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Senador Sá	$i = \frac{19,767 * (Tr - 2,110)^{0,134}}{(t + 15,950)^{0,760}}$	Varjota	$i = \frac{20,066 * (Tr - 2,130)^{0,116}}{(t + 13,870)^{0,769}}$
Sobral	$i = \frac{16,944 * (Tr - 2,130)^{0,110}}{(t + 13,740)^{0,768}}$	Várzea Alegre	$i = \frac{25,303 * (Tr - 2,090)^{0,111}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
Solonópole	$i = \frac{26,304 * (Tr - 2,150)^{0,09}}{(t + 9,353)^{0,806}}$	Viçosa do Ceará	$i = \frac{21,031 * (Tr - 2,110)^{0,103}}{(t + 13,740)^{0,768}}$

Em que: i é a intensidade da chuva (mm/min), Tr é o tempo de retorno (anos) e t é a duração do evento (min).

Foi observado que os valores de R^2 mantiveram-se praticamente constantes e foram todos superiores a 0,983. Coelho et al. (2023) encontraram resultados semelhantes para R^2 para o estado do Maranhão. Para 94% das estações estudadas, R^2 foi superior a 0,99. Os valores dos Erros Percentuais de Estimativa foram todos inferiores a 4,4%. Os resultados dos coeficientes de NASH encontrados variaram de 0,999 a 0,983, indicando como muito bom o desempenho do método para a geração das equações. Estes resultados foram semelhantes também aos encontrados por Lima Neto et al., (2021) para Batista, T. L.; Tavares, P.R.L.; Lopes, M.C.; Lima Neto, V. de S.

municípios do estado do Pernambuco, com valores de EPE variando de 2 a 7% e valores de NAH acima de 0,98.

Os resultados da análise da regressão linear entre os dois conjuntos de valores indicaram que o intercepto ($\hat{\alpha}$) tende a 0 e o coeficiente angular da reta ($\hat{\beta}$) tende a 1. O valor crítico $t_{crit} = 1,98$ foi calculado de acordo com o número de dados analisados e o grau de confiança de 5%. Os resultados das estatísticas de teste t para ambos os testes de hipóteses foram inferiores ao valor crítico t_{crit} para todos os municípios analisados, indicando a não rejeição das hipóteses de que o coeficiente angular da reta de regressão é igual a 1 ($H_0: \hat{\beta} = 1$) e o intercepto $\hat{\alpha}$ é igual a 0 ($H_0: \hat{\alpha} = 0$). Isso significa que a reta de regressão ajustada entre os conjuntos de dados tem um comportamento que

corresponde a uma relação linear próxima da identidade, ou seja, para cada unidade de aumento em uma variável, a outra também tende a aumentar na mesma proporção. Como os valores das estatísticas de teste t para ambos os parâmetros foram menores que o valor crítico (t_{crit}), não há evidências suficientes para rejeitar essas hipóteses, o que reforça a suposição de uma relação linear direta entre as variáveis analisadas, no caso, as intensidades calculadas pela Equação IDF gerada e os valores brutos, desagregados. Esse resultado reforça a eficiência do método usado aqui para definição dos parâmetros das equações IDF.

Conclusão

Este estudo ajustou 184 equações IDF para os municípios do estado do Ceará usando dados pluviométricos e o método de desagregação das isozonas de Torrico (1974).

- Destaca-se como contribuição, para a área de hidroinformática, o desenvolvimento do programa computacional utilizado para aplicação da metodologia revisada e utilizada neste trabalho, para a determinação das equações IDF dos municípios. As ferramentas de hidroinformática se mostraram bastante úteis no trabalho, permitindo a manipulação de uma grande quantidade de dados que precisavam ser coletados, analisados e tratados, proporcionando uma automatização da metodologia e facilitando a determinação dos resultados.
- Conclui-se que as distribuições Gumbel e Gamma (2 e 3 parâmetros) foram as que melhor se ajustaram às séries de precipitações máximas diárias anuais na maior parte dos municípios. Esses resultados confirmam a eficácia da distribuição Gumbel, já consolidada na literatura, e ressaltam a distribuição Gamma como uma opção relevante para estudos hidrológicos na área de modelagem de precipitações extremas.
- Os coeficientes das equações IDF puderam ser ajustados para todos os 184 municípios do estado do Ceará. O bom desempenho do método adotado permitiu a geração de um conjunto de equações que representam um compilado de relevância única para a determinação das chuvas intensas nos municípios cearenses.

Estas conclusões serão úteis para solução de uma variedade de problemas de projeto de engenharia hidráulica e hidrológica que necessitam de informações sobre as intensidades de chuva em diferentes durações e períodos de retorno. Esta pesquisa, também, fortalece a base de conhecimento atual sobre chuvas intensas no estado do Ceará e abre caminhos para trabalhos

futuros que podem envolver, por exemplo, comparações entre métodos e análises geostatísticas.

Referências

- Abreu, M. C., Cecílio, R. A., Pruski, F. F., Almeida, L. T., Santos, G. R., Zanetti, S. S., & Pereira, S. B. (2022). Daily rainfall disaggregation to estimate the intensity-duration-frequency relationship in Minas Gerais State, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65 (e22210694), 1-15. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210694>.
- Alves, F.M. (2015). *Desenvolvimento de um aplicativo computacional para obtenção de equações IDF em regiões desprovidas de pluviôgrafos utilizando o método das isozonas*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará].
- Aragão, R., Santana, G. R., Costa, C. E. F. F., Cruz, M. A. S., Figueiredo, E. E., & Srinivasan, V. S. (2013). Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diariamente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(3), 243-252. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001>
- Back, Á. J., & Cadorin, S. B. (2020). Chuvas extremas e equações intensidade-duração-frequência para o estado do Acre. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 55(2), 159-170. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200597>
- Back, Á. J., & Cadorin, SB (2021). Chuvas máximas diárias e equações de intensidade-duração-frequência para o estado do Amapá, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 313-325. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.69844>.
- Back, A. J., Henn, A., & Oliveira, J. R. L. (2011). Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2127-2134. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600027>
- Barbosa, A. G., de Souza Neto, I. R., Costa, V. A. F., & Mendes, L. A. (2022). Assessing intensity-duration-frequency equations and spatialization techniques across the Grande River Basin in the state of Bahia, Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, e43. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220083>.
- Barreto, H. B. F., Santos, W. de O., Freire, F. G. C., Sobrinho, J. E., & Barreto, F. P. (2013). Análise da precipitação máxima e relação

- intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN. *Acta Iguazu*, 2(4), 87-95. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v2i4.9114>
- Batista, T. L., Alves, F. M., & Tavares, P. R. L. (2018). Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF da região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil. *Revista DAE*, 66(211), 118-129. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.018>.
- Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(HY1), 311-327.
- Campos, A. R. (2015). Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. *Engenharia na Agricultura*, 23(5), 435-447.
- Campos, A. R., Santos, G. G., Silva, J. B. L., Filho, J. I., & Loura, D. de S. (2014). Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, 45(3), 488-498. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300008>
- Campos, A. R., Silva, J. B. L. da, Santos, G. G., Rafke, R. F., & Aquino, I. O. de. (2017). Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 15-21. <https://doi.org/10.1590/1983-40632017v4743646>
- Carneiro, B. L. D. S., Souza Filho, F. A., Carvalho, T. M. N., & Raulino, J. B. S. (2022). Hydrological risk of dam failure under climate change. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, e19. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220017>
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1979). *Drenagem urbana: manual de projeto*. São Paulo, SP: CETESB.
- Coelho Filho, J. A. P., Melo, D. C. R., & Araújo, M. L. M. (2017). Intense rainfall study of Goiânia/GO by modeling maximum annual events using Gumbel and Generalized Extreme Value distributions. *Ambiência*, 13(1), 75-88. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.01.05>.
- Coelho, M. M., Figueiredo, N. M., Coelho, M. T. M., & Campos Filho, L. (2023). Rainfall intensity model with spatialization of intensity-duration-frequency curve parameters: A case study for the state of Maranhão, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, 45, e63369. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.63369>.
- Coutinho, A. P., de Alcântara, L. R. P., Costa, I. R. de A., Barros, V. H. de O., Costa, L. F., Ribas, L. V. da S., Alves, E. M., & Antonino, A. C. D. (2019). O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 4(2), 146-156. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2376.146-156>
- Das, A. K., Srivastava, P., & Yadav, B. P. (2022). Isopluvial analysis and intensity duration frequency (IDF) curves for different cities in India. *Mausam*, 73(4), 887-898. <https://doi.org/10.54302/mausam.v73i4.3530>
- Denardin, J. E., & Freitas, P. L. (1982). Características fundamentais da chuva no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 10(17), 1409-1416.
- Denardin, J. E., Freitas, P.L, Wunche, V.A de & Wendt, V. (1980). Características fundamentais da chuva no Brasil: I., Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 15(4), 419-421.
- Dias, É. C., Penner, G., Colares, G. P. C., & Ribeiro, R. P. (2020). Utilização de dados pluviométricos diários para determinação da Equação IDF para o município de Abaetetuba – Pará. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 8694-8709. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-253>
- Fava, M. C., Macedo, M. B., Buarque, A. C. S., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., & Mendiondo, E. M. (2022). Linking urban floods to citizen science and low impact development in poorly gauged basins under climate changes for dynamic resilience evaluation. *Water*, 14(1467). <https://doi.org/10.3390/w14091467>
- Fechine Sobrinho, V., Rodrigues, J. O., Mendonça, L. A. R., Andrade, E. M. de, & Tavares, P. R. L. (2014). Desenvolvimento de equações intensidade-duração-frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(7), 727-734. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700009>
- Flores, V. A. A., de Sousa, F. O., & Oda, S. (2024). Enhancing risk management in road infrastructure facing flash floods through epistemological approaches. *Buildings*, 14(7), 1931. <https://doi.org/10.3390/buildings14071931>
- Garcia, S. S., Amorim, R. S. S., Couto, E. G., & Stopa, W. H. (2011). Determinação da Equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(6), 575-581.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600006>

<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/11412>

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). (2017). *Ceará em mapas*. Disponível em:

<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/index.htm>. Acesso em: 10 nov. 2017.

Kareem, D. A., Amen, A. R. M., Mustafa, A., Yüce, M. I., & Szydlowski, M. (2022). Comparative analysis of developed rainfall intensity-duration-frequency curves for Erbil with other Iraqi urban areas. *Water*, 14(419). <https://doi.org/10.3390/w14030419>.

Kumar, K. A., Sudheer, K. V. S., Pavani, K., Umadevi, G. D., Reddy, C. V. C. M., & Reddy, B. S. (2024). Extreme rainfall analysis for the development of rainfall intensity-duration-frequency curves for the semiarid region of Andhra Pradesh in India. *National Academy Science Letters*, 47(4), 395-399. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01360-6>.

Lau, A., & Behrangi, A. (2022). Understanding intensity-duration-frequency (IDF) curves using IMERG sub-hourly precipitation against dense gauge networks. *Remote Sensing*, 14, 5032. <https://doi.org/10.3390/rs14195032>.

Lima Neto, V. de S., Tavares, P. R. L., & Batista, T. L. (2021). Ajuste e validação de equações IDF a partir de dados pluviométricos para cidades do estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(4), 713-721. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360031>.

Macedo M. B., Gomes Júnior M. N., Jochelavicius, V., de Oliveira, T. R. P., & Mendiondo, E. M. (2022). Modular design of bioretention systems for sustainable stormwater management under drivers of urbanization and climate change. *Sustainability*, 14(6799). <https://doi.org/10.3390/su14116799>

Manke, E. B., Teixeira-Gandra, C. F. A., Damé, R. C. F., Nunes, A. B., Chagas Neta, M. C. C., & Karsburg, R. M. (2022). Seasonal intensity-duration-frequency relationships for Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(2), 85-90. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p85-90>.

Mora, V. A. J. E., Muñoz, O. Y., Matoski, A., Izzo, R. L. dos S., & Passig, F. H. (2024). Parameterization of Bernard's mathematical

model to estimate intensity-duration-frequency curves in the Curitiba and São José dos Pinhais sub-basins belonging to the upper Iguaçu River basin, Brazil. *Journal of the Geological Society of India*, 100(3), 434-443. <https://doi.org/10.17491/jgsi/2024/173850>

Moreira, P. G., Silva, J. B. L., Bento, N. L., Paulucio, D. P., & Souza, B. S. (2020). Estimativa dos parâmetros de equações de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para o estado da Bahia, Brasil. *Rede - Revista Eletrônica do PRODEMA*, 1(14), 151-164. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/572>. Acesso em: 02 fev. 2024.

Mousinho, F. H. G., Lima, J. M. S., Pereira, M. M. A., Pessoa, J. O., Santos, S. M., Oliveira, L. M. M., & Paiva, A. L. R. (2024). Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(2), 958-973.

Naghetini, M., & Pinto, E. J. A. (2007). *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte. CPRM.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.

Oliveira, L. F. C. de, Antonini, J. C. dos A., Fioreze, A. P., & da Silva, M. A. S. (2008). Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 353-360. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600008>

Oliveira, L. F. C., Viola, M. R., Pereira, S., & Morais, N. R. (2011). Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. *Ambi-Agua*, 6(3), 274-290. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.553>

Pansera, W. A., Gomes, B. M., de Mello, E. L., & Saad, J. C. C. (2022). Development of intensity-duration-frequency curves of intense rainfall with emphasis on the behavior of the upper tail of the distribution. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37(2), 213-221. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710069>.

Passos, J. B. de M. C., Silva, D. D. da, & Lima, R. P. C. (2021). Daily rainfall disaggregation coefficients for the Doce River Basin, Brazil: Regional applicability and the return period influence. *Engenharia Agrícola*, 41(2), 223-234. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p223-234/2021>.

- Pérez-Zanón, N., Casas-Castillo, M. C., Rodríguez-Solà, R., Peña, J. C., Rius, A., Solé, J. G., & Redaño, Á. (2016). Analysis of extreme rainfall in the Ebre Observatory (Spain). *Theoretical and Applied Climatology*, 124, 935–944. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1476-0>
- Pfaffstetter, O. (1957). *Chuvas intensas no Brasil*. Brasília, DF: Departamento Nacional de Obras e Saneamento.
- Rangel, E. M., & Hartwig, M. P. (2016). Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. *Revista Thema*, 14(2), 63-77. <https://doi.org/10.15536/thema.14.2017.63-77.353>
- Righetto, A. M. (1998). *Hidrologia e recursos hídricos*. EESC/USP.
- Rodrigues, A. A., Siqueira, T. M., Beskow, T. L. C., & Timm, L. C. (2024). Ordinary Cokriging applied to generate intensity-duration-frequency equations for Rio Grande do Sul State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 2365-2378. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04829-6>
- Rodrigues, J. O., Andrade, E. M. de, Oliveira, T. S. de, & Lobato, F. A. de O. (2008) Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecostes, Ceará. *Scientia Agraria*, 9(4), 511-519.
- Silva Neto, V. L. (2016). *Chuvas intensas no estado do Tocantins* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Tocantins].
- Silva, B. C. da, & Clarke, R. T. (2004). Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(3), 265-272.
- Silva, B. M., Montenegro, S. M. G. L., Da Silva, F. B., & De Araújo Filho, P. F. (2012). Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(3), 135-147. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p135-147>
- Silva, D. D., Gomes Filho, R. R., Pruski, F. F., Pereira, S. B., & Novaes, L. F. (2002). Chuvas intensas no estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(2), 362-367. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200030>
- Silva, F. O. E. da, Palácio Júnior, F. F. R., & Campos, J. N. B. (2013). Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. *Revista DAE*, (192), 48-59. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.106>
- Silva, P. M. de O., de Mello, C. R., da Silva, A. M., & Coelho, G. (2008). Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 234–240. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300006>
- Silva, V. P. R., Pereira, E. R. R., & Almeida, R. S. R. (2012). Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(2), 163-172. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862012000200005>
- Sousa, I. L. S. e., Amorim, R. S. S., & Torres, G. N. (2016). Calibração do modelo de Bell para estimativa de chuvas intensas para sete estações meteorológicas de Mato Grosso. *Geografia*, 41(3), 429-446. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/download/12644/8397>
- Souza, R. O. R. de M., Scaramussa, P. H. M., do Amaral, M. A. C. M., Pereira Neto, J. A., Pantoja, A. V., & Sadeck, L. W. R. (2012). Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(9), 999-1005.
- Souza, V. A. S. de, Dias, R. H. S., Silva Filho, E. P. da, Nunes, M. L. A., Andrade, C. D., & da Rosa, A. L. D. (2016). Determining IDF equations for the state of Rondônia. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18, 10-26. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.44119>
- Terassi, P. M. de B., Pontes, P. R. M., Xavier, A. C. F., Cavalcante, R. B. L., Serrão, E. A. de O., Sobral, B. S., Oliveira-Júnior, J. F. de, & Melo, A. M. Q. de. (2023). A comprehensive analysis of regional disaggregation coefficients and intensity-duration-frequency curves for the Itacaiúnas watershed in the eastern Brazilian Amazon. *Theoretical and Applied Climatology*, 154, 863–880. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04591-1>
- Torrice, J. J. T. (1974). *Práticas hidrológicas*. Rio de Janeiro. Transcon.
- Tucci, C. E. M. (2005). *Modelos hidrológicos* (2ª ed.). UFRGS.
- Walpole, R. E., et al. (2009). *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Wilken, P. S. (1978). *Engenharia de drenagem superficial*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.